

**HISTORIE POČASÍ A PODNEBÍ V ČESKÝCH ZEMÍCH  
SVAZEK XI**

RUDOLF BRÁZDIL, MIROSLAV TRNKA A KOLEKTIV

**SUCHO V ČESKÝCH ZEMÍCH:  
MINULOST, SOUČASNOST,  
BUDOUCNOST**

CENTRUM VÝZKUMU GLOBÁLNÍ ZMĚNY  
AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY, V.V.I.

BRNO

2015

Vydáno v rámci projektu „Vytvoření interdisciplinárního vědeckého týmu se zaměřením na výzkum sucha“ (CZ.1.07/2.3.00/20.0248)

## Oponenti

RNDr. Vilibald Kakos, Praha

Prof. RNDr. Bernard Šiška, Ph.D., Katedra ekologie, Fakulta evropských studií a regionálního rozvoje, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

## Autorský kolektiv

prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc., Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, brazdil@sci.muni.cz

prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, a Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, mirek\_trnka@yahoo.com

Mgr. Ladislava Řezníčková, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, a Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, ladkar@sci.muni.cz

Bc. Jan Balek, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, a Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, jan.balek.83@seznam.cz

Ing. Lenka Bartošová, Ph.D., Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, bartolen@gmail.com

doc. RNDr. Ivan Bičík, CSc., Katedra sociální geografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, bicik@natur.cuni.cz

doc. RNDr. Pavel Cudlín, CSc., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, cudlin.p@czechglobe.cz

doc. Ing. Petr Čermák, Ph.D., Ústav ochrany lesů a myslivosti, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, cermacek@mendelu.cz

prof. RNDr. Petr Dobrovolný, CSc., Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, dobro@sci.muni.cz

RNDr. Martin Dubrovský, Ph.D., Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II/1401, 141 31 Praha 4, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, madu1110@gmail.com

RNDr. Aleš Farda, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, farda.a@czechglobe.cz

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, hanel@vuv.cz

Ing. Jiří Hladík, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5, hladik.jiri@vumop.cz

Ing. Petr Hlavinka, Ph.D., Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, petr.hlavinka@mendelu.cz

prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc., Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, jansky@natur.cuni.cz



Ing. Pavel Ježík, Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, pavel.jezik@chmi.cz

Ing. Karel Klem, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, klem.k@czechglobe.cz

RNDr. Jan Kocum, Ph.D., Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, kocum1@natur.cuni.cz

Ing. Tomáš Kolář, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, koldatom@gmail.com

PhDr. Oldřich Kotyza, Oblastní muzeum, Dlouhá 139, 412 01 Litoměřice, muzeum.ltm@telecom.cz

Ing. Tomáš Kyncl, DendroLab Brno, Eliášova 37, 616 00 Brno, kyncl@dendrochronologie.cz

Mgr. Eliška Krkoška Lorencová, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, lorencova.e@czechglobe.cz

Dr. Ing. Jaromír Macků, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, pobočka Brno, Vrázova 1, 616 00 Brno, Macku.Jaromir@uhul.cz

Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D., Katedra fyziky atmosféry, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, jiri.miksovsky@mff.cuni.cz

Ing. Martin Možný, Ph.D., Český hydrometeorologický ústav, Observatoř Doksany, Doksany 105, 411 82 Doksany, a Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, m.mozny@seznam.cz

Ing. Radomír Muzikář, CSc., Slámova 60, 618 00 Brno, radomir.muzikar@karneval.cz

Ing. Ivan Novotný, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeská 250, 156 27 Praha 5, novotny.ivan@vumop.cz

Ing. Mgr. Adam Pártl, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, partl.a@czechglobe.cz

RNDr. Petr Pařil, Ph.D., Ústav botaniky a zoologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kamenice 753/5, 625 00 Brno, paril@sci.muni.cz

doc. Ing. Radek Pokorný, Ph.D., Ústav zakládání a pěstování lesů, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, pokorny.r@czechglobe.cz

Ing. Michal Rybníček, Ph.D., Ústav nauky o dřevě, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, michal.rybnicek@mendelu.cz

Ing. Daniela Semerádová, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, a Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, dany357@yahoo.com

Ing. Eva Soukalová, CSc., Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno, eva.soukalova@chmi.cz

Mgr. Zdeněk Stachoň, Ph.D., Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, zstachon@geogr.muni.cz

Mgr. Petr Štěpánek, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, stepanek.p@czechglobe.cz

RNDr. Přemysl Štych, Ph.D., Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, stych@natur.cuni.cz

Mgr. Pavel Trembl, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, a Katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2, pavel\_trembl@vuv.cz

doc. Mgr. Otmar Urban, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, urban.o@czechglobe.cz

Mgr. David Vačkář, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, a Centrum pro otázku životního prostředí, Univerzita Karlova v Praze, José Martího 407/2, 162 00 Praha 6, vackar.d@czechglobe.cz

PhDr. Hubert Valášek, CSc., Moravský zemský archiv, Palachovo nám. 1, 625 00 Brno, a Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno, valasek@mza.cz

Ing. Adam Vizina, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, adam\_vizina@vuv.cz

Ing. Radek Vlnas, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, 160 62 Praha 6, radek\_vlnas@vuv.cz

Ing. Jan Vopravil, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Žabovřeska 250, 156 27 Praha 5, vopravil.jan@vumop.cz

Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D., Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, zahradnicek.p@czechglobe.cz

prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D., Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, a Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Bělidla 986/4a, 603 00 Brno, zalud@mendelu.cz

© Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i.

© Rudolf Brázdil, Miroslav Trnka a kolektiv

ISBN 978-80-87902-11-0

# OBSAH

PŘEDMLUVA .....	9
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>13</b>
<b>2. DOSAVADNÍ POZNATKY O SUCHU V ČESKÝCH ZEMÍCH .....</b>	<b>15</b>
2.1 Sucho ve starých českých tiscích .....	15
2.2 Vědecké poznatky o suchu .....	19
2.2.1 Dopady sucha v zemědělství .....	26
2.2.2 Dopady sucha v lesnictví .....	29
2.2.3 Dopady sucha v hydrologii a vodním hospodářství .....	31
<b>3. VÝCHOZÍ ÚDAJE A METODY PRO STUDIUM SUCHA .....</b>	<b>33</b>
3.1 Přístrojová meteorologická pozorování .....	33
3.1.1 Indexy sucha založené na meteorologických měřeních .....	37
3.1.1.1 Standardizovaný srážkový index .....	37
3.1.1.2 Palmerův index intenzity sucha a Z-index .....	37
3.1.1.3 Standardizovaný srážkový evapotranspirační index .....	38
3.1.1.4 Souhrnný indikátor sucha .....	38
3.1.2 Modelování půdní vlhkosti a výskytu sucha .....	39
3.2 Přístrojová vodoměrná pozorování .....	42
3.2.1 Indexy hydrologického sucha .....	44
3.2.1.1 Prosté indexy založené na pozorování odtoku .....	45
3.2.1.1.1 Stanovení sucha podle Světové meteorologické organizace .....	45
3.2.1.1.2 Metoda prahové hodnoty (nedostatkových objemů) .....	46
3.2.1.1.3 Index regionálního nedostatku odtoku .....	46
3.2.1.1.4 Odtokový index sucha .....	47
3.2.1.1.5 Standardizovaný index odtoku .....	47
3.2.1.2 Prosté indexy založené na sledování zásob podzemní vody .....	47
3.2.1.2.1 Standardizovaný index úrovně hladiny .....	47
3.2.1.2.2 Index zdrojů podzemní vody .....	47
3.2.1.3 Komplexní indexy .....	48
3.2.1.3.1 Index dodávek povrchové vody .....	48
3.2.1.3.2 Index náhrad sucha .....	48
3.3 Dokumentární údaje .....	48
3.3.1 Informace o suchu z dokumentárních pramenů .....	48
3.3.2 Metody rekonstrukce teplot vzduchu a srážek z dokumentárních údajů .....	55
3.4 Dendrochronologické údaje .....	59
3.5 Monitorování sucha metodami dálkové detekce .....	61
3.5.1 Princip metody dálkové detekce .....	61
3.5.2 Metody dálkové detekce využívané pro studium sucha .....	61
3.5.3 Družicové systémy a parametry dat využívané ke studiu sucha .....	66
3.5.4 Příklady využití družicových systémů ke studiu sucha .....	67
<b>4. ČASOPROSTOROVÁ VARIABILITA SUCHA V ČESKÝCH ZEMÍCH .....</b>	<b>71</b>
4.1 Sucho v období přístrojových pozorování .....	71
4.1.1 Teplota vzduchu, srážky a sucho v období 1981–2010 .....	71

4.1.2	Časoprostorová analýza sucha v období 1961–2012 .....	74
4.1.2.1	Časoprostorová analýza půdní vlhkosti v období 1961–2012 .....	80
4.1.2.2	Trendy půdní vlhkosti v období 1961–2012 .....	84
4.1.2.3	Příčiny změn půdní vlhkosti a možné důsledky .....	89
4.1.3	Dlouhodobé kolísání a trendy indexů sucha .....	93
4.1.4	Časoprostorová analýza hydrologického sucha .....	96
4.1.4.1	Kolísání hydrologického sucha podle řad měsíčních průtoků .....	96
4.1.4.1.1	Řeka Labe v Děčíně v období 1887–2010 .....	96
4.1.4.1.2	Řeky v českých zemích v období 1931–2007 .....	99
4.1.4.2	Kolísání hydrologického sucha podle řad denních průtoků .....	108
4.1.4.3	Analýza hydrologického sucha na horní Otavě a horní Lužnici .....	113
4.1.4.3.1	Horní Otava .....	113
4.1.4.3.2	Horní Lužnice .....	118
4.1.5	Vybrané extrémní suché epizody .....	119
4.1.5.1	Rok 1808 .....	119
4.1.5.2	Rok 1809 .....	121
4.1.5.3	Rok 1811 .....	123
4.1.5.4	Rok 1826 .....	126
4.1.5.5	Rok 1834 .....	128
4.1.5.6	Rok 1842 .....	131
4.1.5.7	Rok 1863 .....	134
4.1.5.8	Rok 1868 .....	137
4.1.5.9	Rok 1904 .....	139
4.1.5.10	Rok 1911 .....	141
4.1.5.11	Rok 1917 .....	143
4.1.5.12	Rok 1921 .....	144
4.1.5.13	Rok 1947 .....	148
4.1.5.14	Rok 1953 (1954) .....	153
4.1.5.15	Rok 1959 .....	156
4.1.5.16	Rok 1992 .....	158
4.1.5.17	Rok 2000 .....	159
4.1.5.18	Rok 2003 .....	160
4.1.5.19	Rok 2007 .....	162
4.2	Sucho podle dokumentárních pramenů .....	165
4.2.1	Teploty vzduchu a srážky v českých zemích od začátku 16. století .....	165
4.2.2	Sucha v českých zemích podle dokumentárních pramenů .....	168
4.2.3	Vybrané extrémní suché epizody .....	172
4.3	Sucha podle šířek letokruhů dubu .....	182
4.3.1	Použitá data .....	182
4.3.2	Definování negativních roků .....	182
4.3.3	Verifikace negativních roků na základě přístrojových měření a proxy údajů .....	184
4.3.3.1	Období přístrojových pozorování .....	184
4.3.3.2	Období před začátkem přístrojových pozorování .....	187
4.3.4	Charakter tlakového pole negativních roků z dubové chronologie .....	189
4.4	Dlouhodobá chronologie sucha v českých zemích .....	190
4.5	Středoevropský kontext kolísání sucha v českých zemích .....	190
<b>5.</b>	<b>SUCHO A JEHO PŘÍČINY .....</b>	<b>197</b>
5.1	Synoptické příčiny výskytu sucha .....	197
5.1.1	Přízemní tlakové pole ve vztahu k suchu .....	197
5.1.2	Synoptické typy ve vztahu k suchu .....	200
5.2	Vliv klimatotvorných a cirkulačních faktorů na výskyt sucha .....	205

5.2.1	Statistická atribuční analýza — metodologie a data .....	205
5.2.2	Statistická atribuce sucha v českých zemích .....	210
5.2.3	Závěry z atribuční analýzy .....	213
5.3	Sucho a změny ve využívání krajiny .....	214
5.3.1	Základní informace o databázi LUCC Czechia .....	215
5.3.2	Trendy změn české krajiny od 19. století .....	215
5.3.3	Příklady lokalit s odlišným dopadem změn ve využití ploch na vodní režim v krajině .....	224
5.3.3.1	Kobylí .....	225
5.3.3.2	Abertamy .....	225
5.3.3.3	Mikroregion středního Polabí .....	227
5.3.4	Hlavní závěry ze studia využití ploch .....	230
<b>6.</b>	<b>DOPADY SUCHA NA VYBRANÉ SEKTORY NÁRODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ .....</b>	<b>231</b>
6.1	Zemědělství .....	231
6.1.1	Vliv sucha na rostliny .....	231
6.1.1.1	Vyhnutí se stresu .....	234
6.1.1.2	Tolerance k nedostatku vody .....	235
6.1.1.3	Mechanismy efektivního příjmu vody .....	236
6.1.2	Dopady sucha na výnosy zemědělských plodin .....	237
6.1.3	Dopady sucha na půdu .....	241
6.1.4	Půdní vlastnosti ovlivňující průběh a dopady sucha .....	249
6.2	Lesní hospodářství .....	253
6.2.1	Vodní provoz stromu a reakce na vodní stress .....	253
6.2.2	Projevy vodního stresu u stromů .....	255
6.2.3	Růstové odezvy dřevin na sucho .....	257
6.2.3.1	Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> /L./ Karst.) .....	258
6.2.3.2	Borovice lesní ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	260
6.2.3.3	Duby ( <i>Quercus</i> spp.) .....	261
6.2.3.4	Buk lesní ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) .....	261
6.2.4	Současné dopady na lesní porosty a lesní hospodářství .....	262
6.2.5	Lesní požáry v důsledku sucha .....	265
6.3	Vodní hospodářství .....	269
6.3.1	Dopady hydrologického sucha na vodní toky a na dostupnost vodních zdrojů .....	269
6.3.2	Vliv nádrží na průběh hydrologického sucha .....	271
6.3.3	Dopady hydrologického sucha na zdroje podzemní vody .....	272
6.3.3.1	Dlouhodobá variabilita hladin podzemní vody .....	275
6.3.3.2	Předpověď hladin podzemní vody .....	276
6.3.3.3	Výskyt minimálních hladin podzemních vod a hodnocení výskytu sucha .....	278
6.3.4	Vysychání drobných vodních toků jako indikátor výskytu a potenciálních dopadů hydrologického sucha .....	280
6.3.4.1	Bioindikace vysychavých toků pomocí vodních organismů a její metody .....	280
6.3.4.2	Vliv vysychání toků na vodní bezobratlé .....	283
6.3.4.3	Indikace vysychání pomocí kombinace metrik založených na makrozoobentosu ....	284
6.3.4.4	Očekávané dopady vysychání toků na jejich biotu .....	286
<b>7.</b>	<b>SCÉNÁŘE BUDOUCÍHO SUCHA PRO ČESKOU REPUBLIKU A JEHO OČEKÁVANÉ DOPADY .....</b>	<b>288</b>
7.1	Globální klimatická změna a emisní scénáře .....	288
7.2	Odhadované změny teploty vzduchu, srážek a intenzity sucha v Evropě v 21. století .....	292
7.3	Odhadované změny vybraných klimatologických charakteristik v České republice .....	302
7.3.1	Teplota vzduchu .....	303
7.3.2	Srážky .....	303

7.3.3	Vlhkost vzduchu, vítr a globální záření .....	305
7.3.4	Vodní balance .....	306
7.3.5	Indexy extremity .....	308
7.4	Očekávané dopady změny klimatu a sucha na zemědělství .....	310
7.4.1	Dopady změny klimatu na zemědělství v průběhu roku .....	314
7.4.1.1	Zima .....	314
7.4.1.2	Jaro .....	315
7.4.1.3	Léto .....	316
7.4.1.4	Podzim .....	317
7.4.2	Dopady změny klimatu na výnosy polních plodin .....	317
7.4.3	Dopady změny klimatu na půdu .....	318
7.5	Očekávané dopady změny klimatu a sucha na lesní porosty a lesní hospodářství .....	321
7.5.1	Rizika sucha pro stávající lesní porosty s převahou smrku ztepilého .....	323
7.5.2	Růst lesních porostů v současném a budoucím klimatu .....	324
7.6	Očekávané dopady změny klimatu a sucha na vodní hospodářství .....	326
7.6.1	Hydrologický režim a vodní zdroje .....	326
7.6.2	Vodní zdroje .....	329
7.6.3	Vodohospodářské soustavy a jejich ohrožení suchem .....	331
7.6.3.1	Povodí Vltavy .....	331
7.6.3.2	Povodí Ohře .....	332
7.6.3.3	Povodí Labe .....	332
7.6.3.4	Povodí Odry .....	332
7.6.3.5	Povodí Moravy .....	332
7.6.3.6	Kompenzace růstu nedostatkových objemů .....	333
7.6.4	Plánování aktivit v období nedostatku vody a sucha .....	334
7.7	Adaptace na bezpečnostní rizika sucha .....	337
7.7.1	Sucho a ekosystémové služby .....	338
7.7.2	Adaptivní kapacita v případě sucha .....	339
7.7.3	Definování území nejvíce zranitelných suchem .....	341
7.7.4	Adaptační opatření proti suchu a jejich percepce společností .....	341
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>344</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>349</b>
	<b>ARCHIVNÍ PRAMENY .....</b>	<b>387</b>
	<b>INTERNETOVÉ ZDROJE .....</b>	<b>395</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>396</b>



# PŘEDMLUVA

Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno se stalo nositelem projektu Vytvoření interdisciplinárního vědeckého týmu se zaměřením na výzkum sucha (CZ.1.07/2.3.00/20.0248), řešeného od srpna roku 2012 do června roku 2015 (<http://www.intersucho.cz>). Tento projekt byl podpořen Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky prostřednictvím Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost. Umožnil vznik multidisciplinárního týmu téměř 40 odborníků, specializujících se na různé aspekty výzkumu sucha, a to z pohledu časové a prostorové variability sucha v minulosti i současnosti, analýzy důsledků sucha a výhledu do budoucna (obr. 1a). Tento tým vznikl v rámci výzkumného centra excelence CzechGlobe patřícího pod Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Masarykovy univerzity v Brně (konkrétně Geografického ústavu Přírodovědecké fakulty) a Mendelovy univerzity v Brně. Projekt přispěl také k výraznému zvýšení kvalifikace jeho členů pomocí přímé spolupráce s několika desítkami zahraničních expertů formou výměnných a zahraničních stáží, tří letních škol (obr. 1b) a pěti workshopů s mezinárodní účastí, čímž významně napomohl urychlení odborného růstu všech členů týmů a maximalizaci jejich badatelského potenciálu. Spolupráce

v rámci interdisciplinárního týmu s účastí zahraničních odborníků vyústila v řadu vědeckých publikací zveřejněných v předních vědeckých časopisech, jakými jsou například *Climate of the Past*, *International Journal of Climatology*, *Climatic Change*, *Nature Climate Change*, *Journal of Climate* či *Nature*.

Předkládanou monografii o suchu v českých zemích vnímáme jako odpověď na rostoucí riziko výskytu období sucha ve střední Evropě, které je v posledních letech s velkou pravděpodobností nejvyšší za posledních 130 let. Pro Českou republiku, která je odkázána na rovnoměrné rozložení srážek během roku, jde podle výsledků našich i jiných výzkumů o zcela zásadní věc. Proto jsme se rozhodli uchopit problematiku sucha komplexně a snažili jsme se analyzovat výskyt sucha v minulosti a popsat významné epizody sucha a jejich příčiny, zabýváme se dopady sucha i otázkou, jak očekávaná změna klimatu ovlivní četnost a intenzitu tohoto extrémního jevu.

Protože uvedený projekt měl výrazně mezioborový charakter, na přípravě této monografie se podíleli meteorologové, odborníci na fyziku atmosféry, klimatologové, specialisté na historickou klimatologii, agroklimatologové, dendrochronologové a lesníci ve spolupráci s experty, kteří zpracovávají a interpretují družicová data. Autorský kolektiv pak doplnili odborníci na biologii, ekofyziologii rostlin, histo-



**Obr. 1.** a) Schematické znázornění okruhů problémů, jimiž se výzkumný tým v projektu zabýval; b) účastníci I. letní školy projektu, která proběhla v červnu roku 2013 v Telči

**Figure 1.** (a) Research topics investigated by the project research team; (b) participants in the first summer school, June 2013, in Telč



rii, hydrologii, pedologii, geografii a socio-ekonomii, a to i z institucí přímo nezapojených do projektu. Díky tomu se podařilo vytvořit publikaci se širokým záběrem a zmapovat podstatnou část výzkumných aktivit věnovaných problematice sucha na našem území. I přes svůj široký záběr nemohla kniha poskytnout prostor všem relevantním výsledkům a ani výzkumným týmům v České republice, takže pochopitelně ji nelze považovat za zcela vyčerpávající materiál ke složité problematice sucha. Kniha vychází zároveň jako XI. svazek volné publikační řady Historie počasí a podnebí v českých zemích (History of Weather and Climate in the Czech Lands), založené Geografickým ústavem Masarykovy univerzity v Brně.

Předkládaná monografie, jejíž vydání bylo možné jen díky finanční podpoře výše zmíněného projektu, se opírá také o několikaleté systematické výzkumné aktivity v oblasti klimatologie, monitoringu a dopadů sucha v České republice, v USA i v dalších evropských zemích, kdy mnozí členové autorského kolektivu byli ve své výzkumné činnosti podporováni také jinými grantovými projekty:

— Grantová agentura České republiky, grant č. P209/11/0956 Globální a regionální modelové simulace klimatu ve střední Evropě v 18.–20. století v porovnání s pozorovaným a rekonstruovaným klimatem (R. Brázdil, A. Farda, J. Mikšovský)

— Grantová agentura České republiky, grant č. 13-04291S Rekonstrukce hydro-klimatických podmínek jara a léta posledního milénia v České republice na základě dubové standardní chronologie (P. Dobrovolný)

— Grantová agentura České republiky, grant č. 13-16084S Sociální a ekonomické hybné síly ztrát zemědělské půdy v Česku po roce 1990 (I. Bičík)

— Grantová agentura České republiky, grant č. 13-19831S Hydrometeorologické extrémy na jižní Moravě odvozené z dokumentárních pramenů (L. Řezníčková, H. Valášek, P. Zahradníček)

— Grantová agentura České republiky, grant č. 13-32133S Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům (B. Janský)

— Grantová agentura České republiky, grant č. 14-12262S Dopady měnících se růstových podmínek na přírůst dřevin, produkci porostů a vitalitu — nebezpečí či příležitost pro středoevropské lesnictví? (P. Štěpánek)

— Technologická agentura České republiky, grant č. TA02020395 Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro ma-

nagement vodního hospodářství a údržby krajiny (BIOSUCHO) (P. Pařil)

— Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, grant č. LH12037 Vývoj modelů pro posouzení abiotických stresů u vybraných energetických dřevin (Z. Žalud)

— Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, grant č. LD13032 Změna klimatu a migrace jako adaptace (E. Lorencová, D. Vačkář)

— Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, grant č. LD13030 Vodní zdroje v českém zemědělství v podmínkách změny klimatu CZECH AGRIWAT (M. Trnka)

— Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, grant č. CZ.1.07/2.3.00/20.0246 Vybudování vědeckého týmu environmentální metabolomiky a ekofyziologie a jeho zapojení do mezinárodních sítí (O. Urban)

— Ministerstvo vnitra České republiky, grant č. VG20122015091 Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky (EnviSec) (A. Pártl, D. Vačkář)

— Ministerstvo životního prostředí České republiky, grant VaV — SP/1a6/108/07 Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (P. Cudlín, J. Macků)

— Ministerstvo životního prostředí České republiky, grant VaV — SP/1a6/125/08 Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky (R. Vlnas)

— Národní agentura pro zemědělský výzkum, grant č. QJ1230056 Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce (I. Novotný, J. Vopravil)

— Národní agentura pro zemědělský výzkum, grant č. QJ1310123 Růstové modely jako nástroj pro zvýšení produkčního potenciálu a potravinové bezpečnosti České republiky v podmínkách změny klimatu (D. Semerádová, Z. Žalud)

— Evropská komise (European Commission), grant č. 284443 European Plant Phenotyping Network (K. Klem)

— Interní grantová agentura AF MENDELU, projekt č. TP 7/2015 Dopady stresu sucha a vysokých teplot na výnosy ozimé pšenice a návrh adaptačních opatření pro jejich zmírnění (P. Hlavinka).

S ohledem na přípravu této monografie patří naše upřímné poděkování také následujícím institucím a jednotlivcům:

— oponentům knihy RNDr. Vilibaldu Kakosovi, Praha, a prof. RNDr. Bernardu Šiškoví, Ph.D., Kated-

ra ekológie, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra, Slovensko, za pečlivé prostudování publikace, její kritické zhodnocení a mnohé inspirující recenzní připomínky

— Národní knihovně České republiky v Praze a Národnímu muzeu v Praze za poskytnutí titulních stran starých tisků z jejich fondů a sbírek

— Mgr. Marku Batystovi, Ph.D. a Mgr. Elišce Skokanové z Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, za asistenci a připomínky k textům a mapám, které se zabývají problematikou půdy a půdních procesů

— Ladislavu Budíkovi, p. f., Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, RNDr. Martinu Culkovi, Ph.D., Geografický ústav, Masarykova univerzita Brno, doc. Ing. Radimu Váchovi, Ph.D. a Ing. Martinu Típplovi, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, za poskytnutí fotografické dokumentace

— Mgr. Lukáši Dolákovi, Geografický ústav, Masarykova univerzita Brno, za pomoc s korekcí současných názvů sídel a při shromažďování dokumentárních pramenů o suchu na jižní Moravě

— dr. Fidelu Gonzálesovi-Rouco, Universidad Complutense, Madrid, Španělsko, za odborné konzultace týkající se použití metody analýzy hlavních komponent

— Mgr. Kateřině Chromé, Ph.D., Centrum pro výzkum globální změny AV ČR, v.v.i., Brno, za pomoc při shromažďování dokumentárních pramenů o suchu na jižní Moravě

— Tonymu Longovi, Svinošice, za jazykovou korekci anglického shrnutí a popisků k obrázkům a tabulkám

— Vladimíru Ludvovi, Brno, za provedení počítačové sazby rukopisu a grafického návrhu titulní strany publikace

— RNDr. Josefu Šteklovi, CSc., Praha, za připomínky k popisu přízemního tlakové pole vybraných extrémně suchých měsíců

— všem dalším nejmenovaným kolegyním a kolegům, kteří přispěli radou či další konkrétní pomocí při zpracování tohoto díla.

Brno, květen 2015

Rudolf Brázdil, Miroslav Trnka

SUCHO V ČESKÝCH ZEMÍCH  
SOUČASNOST, BUDOUCNOST

**SUCHO V ČESKÝCH ZEMÍCH: MINULOST,  
SOUČASNOST, BUDOUCNOST**

---

# 1. ÚVOD

Sucho může být definováno jako záporná odchylka vodní bilance od klimatického normálu v dané oblasti během určitého časového intervalu. Z toho plyne, že příčinou sucha je deficit srážek za určitou dobu, zatímco vyšší teplota vzduchu, intenzivnější sluneční záření, nízká relativní vlhkost vzduchu či intenzivní proudění zvyšují ztráty vody evapotranspirací (viz například Allen et al., 1998) a mohou tak významně přispět k prohloubení důsledků takového jevu. Nicméně podle Lloyd-Hughese (2013) univerzální definice sucha musí vzít v úvahu zásobu vody v půdě, aktuální potřebu vody a její manažment. S ohledem na různé těžkosti spojené s takto komplexním přístupem dochází k závěru, že obecná objektivní definice sucha neexistuje, v čemž se fakticky shoduje s podstatně staršími závěry z práce Wilhita a Glantze (1985).

V závislosti na časovém měřítku a dopadech bývá sucho obvykle členěno do čtyř kategorií na sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické (Heim, 2002; Dai, 2011b), přičemž Mishra a Singh (2010) k nim dodávají ještě sucho podzemní vody (groundwater drought). Meteorologické sucho je signalizováno indikátory založenými na meteorologických veličinách a jeho identifikace tak předchází nástupu specifických dopadů, tj. dalších druhů sucha. Zemědělské sucho se projevuje nedostatkem vody pro růst rostlin a má trvání v měřítku týdnů až 6–9 měsíců. Suchými epizodami v tomto časovém rozsahu jsou ovlivňovány i lesní porosty. Hydrologické sucho je charakterizováno nedostatkem vody ve vodních tocích, nádržích nebo zvodnělých vrstvách, přičemž jeho dopady, stejně jako dopady sucha podzemní vody nebo socioekonomického sucha, jsou patrné až po delším čase. O socioekonomickém suchu začínáme hovořit v případě, kdy výskyt sucha začíná negativně ovlivňovat celou společnost, mimo již dříve zmíněné zemědělství (a lesnictví) a vodní hospodářství. Nedostatek vody se může negativně promítat do turistického ruchu, průmyslové produkce (v důsledku nedostatku technologické vody), produkce elektrické energie (nedostatkem vody pro samotnou výrobu v případě vodních elektráren či nedostatku vody nutné pro chlazení), života obyvatel (nedostatek pitné

vody, případně zemědělských produktů) a následně pak do celé ekonomiky a fungování společnosti. Zatímco meteorologické sucho je snadno indikovatelné na základě přístrojových měření, epizody sucha v období před začátkem těchto měření jsou obvykle založeny na výskytu významných dopadů sucha, identifikovatelných v dokumentárních pramenech (například nízké výnosy plodin, nízké průtoky na řekách či vysychající vodní toky, socioekonomické problémy) nebo v proxy datech (například úzké šířky letokruhů stromů indikujících suchá období).

Sucho má významné důsledky pro mnoho stránek lidské společnosti a ovlivňuje mnohé z jejích důležitých aktivit. V zemědělství přispívá k nižší úrodě zemědělských plodin v porovnání s normálními roky (například Hlavinka et al., 2009; Kolář et al., 2014). Delší sucha vedou k usychání stromů v lesích, které si vynucuje nahodilou těžbu dřeva předtím, než je dosažena optimální velikost stromů (Brázdil, 1998). Nízké vodní stavy na řekách a snížení zásob podzemní vody způsobuje problémy v hospodaření s vodními zdroji, a to zpravidla na dlouhou dobu (například Wilhite, Vanyarkho, 2000). Navíc sucha ovlivňují nejen lidskou společnost, ale vedou i ke zhoršování funkcí přírodních ekosystémů (Ciais et al., 2005). Toto vše ukazuje na význam výzkumu sucha v Evropě pro budoucnost, speciálně ve světle antropogenně podmíněné klimatické změny (Rowell, Jones, 2006) a pro potřeby vlastního vědeckého plánování odpovídajících reakcí na sucho (Wilhite et al., 2007). Socioekonomický význam sucha se projevuje ve velkém počtu studií věnovaných tomuto jevu v mezinárodním měřítku. Pozoruhodné mezi nimi je globální hodnocení Wilhita et al. (2000), přičemž socioekonomické výhody připravenosti k eliminaci následků sucha byly demonstrovány v práci Wilhita et al. (2007).

Četné práce signalizují rostoucí riziko výskytu sucha ve střední Evropě, které je v posledních letech s velkou pravděpodobností nejvyšší za posledních 130 let (Brázdil et al., 2009b). Řada studií z poslední doby zároveň ukazuje, že na území České republiky dochází k postupnému snižování disponibilní vody v půdě (například Trnka et al., 2015a). Je tomu tak zejména v období od dubna do června, což

je s ohledem na intenzivní růst rostlin a víceméně celkovou závislost našeho zemědělství (resp. krajiny) na pravidelně rozložených srážkách velmi nepříznivé. Navíc většina klimatických modelů předpokládá do budoucna pro Českou republiku takové klimatické podmínky, které povedou spíše k nárůstu podílu sušších půdně-vlhkostních režimů (například Dubrovský et al., 2014), a podle některých dojde i k dramatickému úbytku půdně-klimatických režimů, které jsou dnes typické pro pramenné oblasti (Trnka et al., 2013). Sucho tak bude nepochybně téměř jedním ze základních problémů, které s sebou přinese na naše území antropogenně podmíněná změna klimatu (Trnka et al., 2011b; Eitzinger et al., 2013; Trnka, 2014).

Změna klimatu bude s vysokou pravděpodobností znamenat také zvýšení klimatické variability spojené s výskytem delších a intenzivnějších epizod sucha. Z práce Trnky et al. (2013) vyplynulo, že alespoň v některých letech hrozí půdám v České republice výskyt vlhkostních režimů, které si v současnosti spojujeme s oblastí Středozemního moře. Týká se to například území jižní Moravy, která již v současné době patří mezi regiony nejvíce a nejčastěji ohrožené nedostatkem vláhy. Hlavním specifikem jižní Moravy jsou nižší srážkové úhrny, které neodpovídají vyšší potenciální potřebě vody díky teplejšímu a relativně slunečnému počasí. Na rozdíl od podobných oblastí v Dolním Rakousku či na Slovensku zde ale chybí významný zdroj vody, což činí region přes poměrně dobré půdní podmínky mimořádně zranitelným. Kromě problémů s rentabilitou pěstování běžných polních plodin bude jižní Morava a další oblasti České republiky velmi pravděpodobně ohrožena i vyšším rizikem výskytu lesních požárů a eroze. Vyšší teplota a nižší průtoky povedou také ke zhoršení podmínek pro chov ryb. Pokud jde o hydrologické dopady, je evidentní, že hrozí vyšší rozkolísanost průtoků a není vyloučeno ani ohrožení zásobování pitnou vodou ze zdrojů, které jsou bezprostředně ovlivňovány sezonními výkyvy srážek (Trnka, 2014; Trnka et al., 2015b).

S ohledem na výše uvedené skutečnosti si tak předkládaná monografie klade za cíl zpracovat komplexní analýzu sucha v České republice z pohledu minulosti, současnosti a budoucnosti. Jde o neobvykle širokou tematiku, která jistě nemůže být vyře-

šena jednou knihou, nicméně jde o unikátní shrnutí dosavadních vědeckých poznatků, které se mohou stát odrazovým můstkem pro pokračování a novou orientaci dalších výzkumů sucha a jeho dopadů. Aktuálnost předkládané tematiky podtrhuje i skutečnost, že po povodních představují sucha druhý nejvýznamnější hydrometeorologický extrém v naší zemi s významnými ekonomickými dopady (Brázdil et al., 2007a).

Stávající monografie je strukturována následujícím způsobem. Po této úvodní části podává kapitola 2 přehled o dosavadních poznatcích o suchu v České republice. Kapitola 3 uvádí informace o teplotních a srážkových řadách založených na přístrojových měřeních jako podkladu pro výpočet indexů sucha, popisuje vodoměrná měření jako základ pro sestavení indexů hydrologického sucha, charakterizuje dokumentární data s informacemi o suchu, dendrochronologické údaje a poznatky o suchu získané dálkovým průzkumem. Následující kapitola 4 uvádí analýzu sucha v českých zemích na základě indexů sucha vypočítaných pro přístrojové období, hodnotí intenzitu sucha založenou na detailním modelu půdní vlhkosti, ukazuje pětsetletou chronologii sucha vzniklou kombinací dokumentárních a přístrojových údajů, prezentuje citlivost dendrochronologie dubu na sucho a podává podrobnou charakteristiku nejvýznamnějších epizod sucha v období přístrojových pozorování i před ním. Na závěr je doplněna syntézou získaných poznatků, které zmiňuje v širším středoevropském kontextu. Diskuse synoptických příčin sucha na základě analýzy charakteristik přízemního tlakového pole v atlantsko-evropské oblasti, vlivu vybraných klimatotvorných faktorů na sucho a prezentace změn ve využití ploch se zřetelem k suchu v krajině je obsahem kapitoly 5. Další kapitola 6 je zaměřena na vybrané dopady sucha na zemědělství, lesnictví a vodní hospodářství v České republice. Na ni navazuje část týkající se budoucích scénářů sucha v období možné antropogenně podmíněné klimatické změny, a to i se zřetelem na dopady ve třech hlavních oblastech (zemědělství, lesnictví, vodní hospodářství), včetně vybraných adaptačních opatření (kap. 7). Poslední kapitola 8 shrnuje zásadní poznatky plynoucí z analýzy sucha v českých zemích v minulosti, současnosti a budoucnosti.



## 2. DOSAVADNÍ POZNATKY O SUCHU V ČESKÝCH ZEMÍCH

### 2.1 SUCHO VE STARÝCH ČESKÝCH TISCÍCH

Sucho je v církevní literatuře konce 16. a první poloviny 17. století, prodchnuté náboženskými spory, považováno za jednu ze sedmi ran božích. V tištěných kázáních té doby bylo proto sucho nedílnou součástí výkladu a nejrůznějších pojednání osob kněžského stavu. Dlouhodobě bylo chápáno jako fenomén, který je nejvlastnějším projevem Boží vůle. V dobových rukopisech a starých tiscích lze proto najít různě obsáhlé pasáže i celá díla zabývající se suchem.

Tak v mravoučném spise „Knihy duchovní o velikých skutcích Pána Boha Všemohoucího“ od Jana Štelcara Želetavského z roku 1588 (*Štelcar*), která vysvětluje, mohou-li čarodějníci a čarodějnice ovlivnit výskyt povětrnostních („*povětrí, kroupy, bouře, hromobití*“) a jiných úkazů, se sucho zatím explicitně neobjevuje. K problematice sucha se však vztahují dvě pozdější kázání kněze v Tuklatech, Víta Jakeše Přerovského,<sup>1</sup> který již předtím publikoval kázání iniciované vichřicí z 28. prosince 1612 (*Jakeš Přerovský I*), považovanou Brázdilem et al. (2004a) v českých zemích za „vichřici století“. První publikované kázání z roku 1615 se sucha dotýká v jeho druhé části „z knihy a proroctví Joela proroka Božího kapitoly první, v kterýchž se obsahuje a vypravuje o přepuštění a uvedení náramného sucha, hladu, hmyzně škodlivé směsice na zemi Judskou a Israelskou“ (*Jakeš Přerovský II*). Druhé je „Kázání o zadržování a vyvozování neb vylévání dešťův na zemi“ (*Jakeš Přerovský III*), dedikované Janu Floriánovi z Neudorfu, ve kterém se autor zabývá výkladem sucha v kontextu dobového chápání hří-

chu. Své pojednání dělí na dvě části. První část označená názvem „O zadržení a nedávání dešťů“ je zaměřena na to, „Kdo dešť zadržuje“ a „Kdy jej zadržuje“. Slovy proroků konstatuje, že lidé bezbožní přičítají sucho čarodějnicím a jejich kouzlům, nebo také zedníkům a stavitelům domů božích, neboť: „*Zedníci (prý) začavše a dělajíce tamto onde dílo, zadělali aby nepršelo.*“ Jiní naopak podle autora připisují sucho (zadržování deště) bezbožným a naprosto směšným příčinám a ničemným lidem. Ty všechny kárá slovy: „*Přestaň Boha v jeho slávě, moci a spravedlnosti trestání zlehčovati, přestaň jeho z moci a slávy laupiti: Přestaň prosím což právě a vlastně Božího jest, toho ničemným a smrtelným lidem přivlastňovati, až potud ukázáno kdo dešť zadržuje.*“ Ve druhém odstavci nazvaném „Kdy jej zadržuje“ vypočítává veškeré druhy hříchů, které vedou k tomu, že se Boží hněv obrací proti lidem a trestá je suchem: „*Aby nás od hříchů odvrátil a činění pokání svatého obrátil, všelijakými svými metlami Bůh nás trestající, k tomu směřuje, abychom těmi potrestání jsouce, napravili.*“ Druhou kapitolu nazvanou „O vyvozování a vylévání dešťů“ dělí na tři podkapitoly takto: „Kdo dává a vylévá dešť na zemi“, „Kdy Bůh dešť dává“ a „Komu Bůh dešť dává“. Všechny tři pasáže prokládá výroky proroků, aby zdůraznil Boží zásluhu poslanou na Zemi v podobě deště pro ty, jež plní všechna Boží přikázání: „*Jestliže v přikázáních mých chodíte, je plniti budete, dám vám dešť.*“ Celé pojednání končí Vít Jakeš Přerovský slovy: „*A tak majíce ukázáno, Kdo?, Kdy?, Proč? a na jaký konec dešť zadržuje a vyvodí, totiž, že sám Bůh, k jeho milosti v svatém pokání se obraťme, životů polepšeme, on dešť a požehnání své nám dá zde, a po smrti života věčného v Krystu účastníky činí.*“

Následujícího roku vyšlo další z českých pojednání zabývajících se suchem. Jedná se o publikované kázání domaželského kněze Daniela staršího Philomata.<sup>2</sup> Tisk vydaného kázání nese obsáhlý název

<sup>1</sup> Vít Jakeš se narodil roku 1571 ve Starém Přerově (odtud další příjmení Přerovský). Působil jako diakon v Dobrovinci a dne 1. srpna 1596 byl ordinován za kněze ve Wittenberku. V letech 1606–1611 působil jako luteránský kněz v Kralovicích u Prahy. Další informace o něm jsou z let 1611–1615, kdy byl kazatelem slova Božího v Tuklatech. V roce 1620 je uváděn jako kněz u sv. Havla na Starém Městě Pražském. Protože v roce 1621 poskytl poslední útěchu některým náčelníkům českého povstání, byl v prosinci téhož roku vypovězen z Prahy a uchýlil se do Kutné Hory. Roku 1623 pak uprchl do Drážďan, kde působil jako učitel a spisovatel. Vít Jakeš Přerovský zemřel roku 1648 ve věku 77 let (Tobolka, ed., 1946).

<sup>2</sup> Životopisné informace o Danielu starším Philomatovi jsou velmi skromné. V titulu dochovaného tištěného kázání z roku 1616 hovoří o sobě jako o faráři v Domaželicích a notarijsovi řádu evangelického kněžstva v Olomouckém kraji. Rukověť humanistického básnictví k jeho osobě dodává, že byl původem z Přerova, ordinovaný ve Wittenberku dne 6. května 1608 a že v Domaželicích působil v letech 1613–1616 (Truhlář et al., 1973).

„O hrozném a velikém suchu zdržení dešťů a odtud následujícím nedostatku vody, jakéhož sucha žádný z lidí nynějších, ode sta let i výšeji, starých nepamatuje“ (*Philomates*; obr. 2a). Vročení spisku uvozené datem 8. září 1616 ukazuje na jeho bezprostřední ovlivnění katastrofálním suchem tohoto roku.<sup>3</sup> Na začátku kázání reprodukuje řeč Písma svatého slovy: „*Hospodin obrací řeky v poušť a prameny vod v suchost, zemi úrodnou v slatinnou, pro zlost obyvatelů: zase pustiny suché obrací v jezera a zemi vyprahlou v prameny vod.*“ Již v úvodu konstatuje, že „*Bůh podle svého spravedlivého soudu hroznou pokutou nás navštívil, sucho veliké dopustil, dešť nad obyčej zadržel, odkudž obilíčka i jiných všechněch úrod, potrav i trav umenšení, nemoci nebezpečné i jiné rozličné zlé a žalostivé bídy se vlekou ...*“ Vlastní kázání pak člení na tři části. První nazval „Kdo jest ten tak mocný pán, jenž dešť zadržuje a vody odnímá“, kde po zdůraznění významu vody pro lidský život sám odpovídá: „*Ten Pán a pravý Neptunus žádný jiný není, jediné sám Pán Bůh ...*“ V této části dává také nepřímý odkaz na sucho stávajícího roku 1616, když píše: „*Tato první stránka poučuje nás, jak máme toto nynější veliké sucho a nedostatek vody právě vážiti a co o něm smejšleti.*“ Zároveň striktně odmítá jakékoliv jiné vysvětlení příčiny sucha: „*Někteří lidé domnívají se, že to náhodou a treffuňkem samo od sebe se děje ... Jiní smýšlejí, že to pochází od oučinku hvězd, zle proti sobě patřících, a praví, že musí některý rok suchý býti ... Mnoho jest i těch, kteříž toto všeckno ďáblu a čarodějníkům připisují ...*“ Vyústění těchto úvah pak logicky vyznívá jako „*pozůstává již tehdy to jediné, abychom my nynější sucho, neúrodu obilíčka i jiné neřestí, z nedostatku vody, na nás již přišlé, a deště se valící, za obzvláštní jistou a zřetelnou pokutu Boží poznávali a říkali: Prst Boží jest toto ...*“ Druhá část kázání „Pro které příčiny to [Bůh] činí“ uvádí a dokládá následujících pět důvodů: potupa slova Božího, modloslužebnictví, nevděk („*že lidé Panu Bohu za dešť a vodu neděkují, když jí dostatek mají*“), přestupování Božího přikázání a zlé užívání Božích darů. Třetí část kázání je uvozena názvem „Jakými prostředky zase dosti vody a deště dosáhnouti můžeme“ a podává odpovídající praktický návod věřícím: opravdové pokání, upřímné modlení a polepšení se v životě s vyvarováním se všech neřestí.

Krátce po *Philomatově* publikovaném kázání o suchu<sup>4</sup> byl v roce 1620 vydán spis protestant-

ského kněze Havla Žalanského, zvaného Phaeton,<sup>5</sup> pod názvem „O sedmi ranách Božích těžkých a velikých, které mezi jinými válku českou předešly a hlásaly a které s právem Podromi a Classica, totiž, předchůdcové a hlasatelé války české, slouti mohou Traktátů sedm. 1. O hřímání a hromobití. 2. O povodních. 3. O země třesení. 4. O bouřlivém povětrí. 5. O suchu. 6. O drahu a hladu. 7. O válce, metle Boží nejtěžší a smutném nepohodlí jejím“ (*Žalanský*; obr. 2b). Část pojednávající širěji o suchu s názvem „O suchu, metle Boží smutné a záhubné“ člení Žalanský na sedm kratších kapitol.

Úvodem dává do kontextu probíhající válečné střetnutí mezi císařem a stavy v zemích Koruny české, jež se odbývalo převážně na české půdě, s Božím hněvem, jenž trestá všechny tvory za porušování Božích přikázání: „*Jakož válku tuto českou předešlo zemětřesení, povodeň, častá bouřlivá povětrí, tak ji předešlo i sucho, sucho náramně veliké léta M.D.C.XVI. [1616]. Jedna pokuta Boží druhou stíhala a honila, druhá přišla, než jedna odešla. Ach jaká bída před tím byla po dvě zimy s mrazy, jak byla krutá, prudká a dlouhá zima: lidé nejstarší, že zimy prudší a tužší nepamatují, vyznali. Po prudké zimě bylo prudké horko a sucho po dvě léta, a to s patrnými hněvu Božího důvody: nebo když dešťů nejpotřebněji bylo, Bůh je zadržoval; pakli kdy ňaké deště dával, v hněvu je dával, je v hřímání, v hromobití, v krupobití dával, které někde lidi, jinde živočichy*

v Časlavi a poté (snad do roku 1621) jako farář v Lovčicích na Bydžovsku. Podle Knihopisu českých a slovenských tisků však dílo s názvem „*Jeronýma Stříbrského (z Českého Brodu), Far. v Lovčicích Kázání o metle Sucha*“ se nedochovalo v žádném výtisku (Horák, ed., 1963).

<sup>5</sup> Havel Žalanský se narodil roku 1567 v Žalanech, kde prožil svoje dětství. Vychodil farní školu v Bořislavi a pro své nadání byl poslán na vyšší studia do Prahy. Na fakultě svobodných umění získal klasické vzdělání a v roce 1591 se stal bakalářem. V témže roce byl ustanoven diakonem v Jičíně a studoval teologii v evangelickém učilišti v německém Zerbstu. V roce 1592 byl vysvěcen na kněze a působil jako církevní správce v Dohaličkách (nyní Dohalice), ve Starém Bydžově (1598–1600) a v Ledči nad Sázavou (1600–1602). V letech 1602–1610 pak byl farářem v chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře. Od roku 1610 působil jako kněz u sv. Jiljí na Starém Městě v Praze. V roce 1613 byl ustanoven děkanem v Lounech, ale na toto místo nenastoupil. Byl spoluzakladatelem konsistoře české utrakvistické církve. Pod pseudonymem Phaeton (tj. zářící, což označovalo původně v bájesloví syna boha slunce Helia) proslul jako výtečný řečník (byl zván i ke kázáním do Betlémské kaple) a humanistický spisovatel (autor náboženské protestantské literatury). Zemřel v Praze dne 10. března 1621 a byl pochován v kryté kostela sv. Jiljí. Za rekatolizačních akcí roku 1623 byly ale jeho ostatky zfanatizovaným davem vykopány a vyhozeny na ulici (Frinta, 1970; Merhaut, ed., 2008, s. 1811–1812).

<sup>3</sup> K podrobnému popisu extrémního sucha v roce 1616 v českých zemích viz kap. 4.2.3.

<sup>4</sup> Údajně k roku 1619 je datován spis Jeronýma Stříbrského z Českého Brodu, který je v roce 1617 uváděn jako kaplan





**Obř. 2.** Titulní strany jedné z nejstarších českých tisků pojednávajících o suchu: a) kázání kněze Daniela staršího Philomata z roku 1616 (předmět ze sbírek Národního muzea v Praze); b) dílo „O sedmi ranách Božích“ kněze Havla Žalanského z roku 1620 (Národní knihovna České republiky, Praha, sign. 54 K 010807/adl.2)

**Figure 2.** Title pages of one of the earliest Czech publications on drought: (a) Sermon by the Reverend Daniel Philomates the Elder, 1616 (from the collections of the National Museum, Prague); (b) *O sedmi ranách božích* [“On Seven Acts of God”] by the Reverend Havel Žalanský, 1620 (National Library of the Czech Republic, Prague, sign. 54 K 010807/adl.2)

*zemské a po místech i ptactvo nebeské zbiló; za deštěm jdoucí větrové vyli a všecko sušili.“*

V první kapitole „Kdo je původ sucha a neúrodného léta“ nenechává Žalanský hned v počáteční větě čtenáře na pochybách o roli Boha při jeho vzniku: „Jako mokrá, tak i sucha původ jest Bůh; jakož mokrú tak sucho jest rána Boží: od Boha jest nedostatek dešťů.“ Ve stejném duchu pokračuje výklad druhé kapitoly „Kdo je původ dešťů a let úrodných.“ I zde, stejně jako v předchozím textu, odvozuje autor blahodárné působení dešťů od božské podstaty. Svůj výklad opírá o církevní autority, když zdůrazňuje: „Bůh dává dešť a časy úrodné;“ a dodává: „žádný není, krom Boha, kterýžby rosú a deště časy svými dávati mohl: pročť se s právem mezi skutky Boží počítají.“ Třetí část „Jak škodlivé je lidem i dobytku velké sucho“ se zaměřuje na dopady sucha, které staví do protikladu k vodním přívalům a povodním: „Podobně když Bůh sucho přepouští a deště zdržovati [chce], veliká bída

bývá; nebo když studnice přesychají, potokové přesychávají, vody se v smrad obracejí, všechny věci vadnou a chřadnou, všecko na polích horkem stráveno bývá, [...], lidé i hovádka bídu mají, když veliký v vodě nedostatek trpí.“ V další kapitole „Proč Bůh ránu sucha na lidi přepouští“ se Žalanský zabývá lidskými hříchy, které jsou podle jeho vyjádření příčinou tohoto druhu extrémního projevu počasí. V celé této kapitole se v různých podobách zmiňuje o tom, že sucho je Boží pokutou za spáchané lidské hříchy. I v tomto případě cituje církevní autority, když dovozuje: „Ale bezbožným skrze to sucho a horko, horkem pekla hrozí. Mnohými mocnými, silnými zbraněmi Bůh opatřen jest: s nebe přívaly a bouřemi bojuje, jimiž někdy osení aby nevzešlo, někdy obilí již vyrostlé, někdy zralé kazí, někdy i do stodol svezené pálí, někdy skrze housenky i chrousty, červy, kobylky i úrody hubí, někdy celou zemi neplodností raní.“ Pátá část „Pro které hříchy Bůh lid svůj suchem trestal“ doplňuje výčet provinění

s patřičným komentářem: nestydatost, modlářství, cizoložství, opilství, klení, utiskování nevinných a lakomství. V souladu s vyjmenovanými druhy lidských hříchů ukazuje, jakým způsobem jsou tyto poklesky trestány suchem. Následující kapitola řeší problém nazvaný „Jací jsou účinkové sucha a co zlého ono přináší“. Žalanský postupně zmiňuje nedostatek vody, hlad a drahotu, mor a nemoci, a časté požáry, což dokládá vždy na několika vybraných případech z minulosti. Například u požárů uvádí následující událost: „Léta M. D. XL. [1540] Veliké sucho bylo a vína výborného hojná úroda, ale paličů mnoho bylo, kteří ohně kladli.“<sup>6</sup> Pojednání o suchu končí Žalanský doporučením „Kterak se v čas sucha, neúrody, i v jiných těžkostech chovati máme“: modlit se k Bohu, aby sucho a jiné nečasy odvrátil; oslavovat Boha; vyvarovat se vlastních hříchů.

Další, ale podstatně méně podrobné pojednání o suchu, lze nalézt o více než 200 let později v publikaci katolického kněze Václava Krolmuse<sup>7</sup> (obr. 3a) s názvem „Kronyka čili dějepis všech povodní posloupných let, suchých i mokrých, úrodných a neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v Království Českém“ (obr. 3b), vydané v roce 1845 v Praze (Krolmus, 1845), která vznikla jako reakce na katastrofální povodeň v Čechách z konce března roku 1845 (k této povodni viz například Brázdil et al., 2005a). Odpovídající kapitola „O suchu“ se omezuje pouze na popis některých dopadů sucha a končí doporučením, jak se na ně připravit (s. 15–17):

<sup>6</sup> K podrobnému popisu extrémně suchého roku 1540 v českých zemích viz kap. 4.2.3.

<sup>7</sup> Václav Krolmus se narodil dne 3. října 1790 v Březince u Bělé pod Bezdězem. Postupně studoval gymnázium v Mladé Boleslavi a České Lípě, filosofii v Praze a v Mostě (u piaristů), a od roku 1813 teologii v Litoměřicích. Roku 1815 byl vysvěcen na kněze a ustanoven kaplanem v Libicích, odkud musel v roce 1818 odejít do Nové Lysé. Zde přeložil církevní agendu do češtiny a vykonával podle ní církevní obřady. Ve svém působišti si jako vlastenecký kněz získal značnou popularitu, což zavedlo podnět k očerňování a k nedorozumění s nadřízenými církevními hodnostáři. Důsledkem toho bylo jeho několikeré přeložení, a to roku 1819 do Mšena, odtud roku 1823 do Brozan a ještě téhož roku na exposituru do Křesína. Nakonec roku 1832 dostal faru ve Zvíkovci. Roku 1843 byl Václav Krolmus poslán na odpočinek a až do své smrti dne 24. října 1861 žil stále v Praze. Byl znám jako sběratel lidové slovesnosti, vyvíjel poměrně rozsáhlou literární činnost a podílel se také na archeologických badáních průzkumem řady pohanských pohřebišť. Ve shrnujícím hodnocení k jeho rozsáhlé činnosti se však konstatuje, že „skutečnou cenu má toliko snesení materiálu, kdežto vlastní jeho výklady, postrádající vědeckého základu a trpíce přílišnou fantastičností a nedostatkem kritiky, jsou téměř bez ceny“ (Ottův slovník naučný, 1900, s. 242–243).

„Po mokrých létech přichází suchá léta a po suchých opět mokrá, jakž nám to příběhové Čeští dokazují, čehož i sami zkušeně jsme. O suchém létě jest nedostatek veliký na travách a na píce pro dobytek. Trávy na pastvištatech vyhoří, na paloucích se spálí, země veškerá žízní. Obilí více sype, zrno jádrné, námelné a zdravé, ale však skrovné jest. Šupinka tenká, pročez se míň votrub, ale více mouky namele. ... Víno a ovoce bývá sladší. Na suchoparech ze stromů spadne.

V suchých letech bylo a jest zle o melivo; kde měl hospodář semlet, když potokové vyschli a rybníků nebylo? pročez musili Čechové na řeky veliké, na Labe, na Izeru, na Ohři, na Mži a t. d. 6 ba i 7 hodin cesty se obracet. Z mlejna jednoho na druhý jezdit, když semlet nemohli, na 10 i 15 dní na mlejně s dobytkem dlíti a platiti než semleli. Hospodářství doma hynulo. V krajích lidé na polohách rovných okolo Bezna, Chorušic, Mšena, Březovic na písčítých krajinách a jinde více, kdež vody čisté ani kalové, ani pro sebe ani pro skot neměli, na 2 i 4 hodiny cesty vzdáli každého dne ve voznících voziti, aneb stáda svá ku nápoji k potokům a pramenům honiti.

Za těchto dnů vele suchých na vsích a městečkách, když se ohně Boží zňali, domy, dvory a lesy plamenem hořely, občané se na ně bolestně dívali; aneb drnem čili hlínou aneb řezankou zasejpal, nebo vody ku hašení neměli. ... V suchém létě skot, jenž zaprášené trávy požíval, na opar se rozstonal. ...

V suchém létě jezme a sázejme to, co sobě sucho oblibuje, a v suchu lépe roste. Potřebujeli se při sadbě zalejvání častého, nadělejme louží a kalištat skrovných, v nichž nám voda na jaře nachystaná, přes léto vydrží. Člověče přičiň se, a Bůh ti požehná.“

V následující části knihy popisuje Václav Krolmus spolu s dalšími hydrometeorologickými extrémy a pozoruhodnými událostmi také různé případy sucha z minulosti, které jsou však zejména pro starší období v mnoha případech velmi problematické. Jedná se zejména o případy extrémů, které přebírá z historicky málo věrohodné „Kroniky české“ od Václava Hájka z Libočan, vydané v roce 1541 (Hájek).<sup>8</sup>

Chápání sucha nikoliv jako přírodního fenoménu, ale jako vůle Boží, ovlivnilo na dlouhou dobu chování lidí nejen v českých zemích, ale i jinde ve světě, jak dokládají v obdobích dlouhého a extrémního sucha častá modlení nebo procesí s cílem vyprositi si u Boha déšť (viz dále kap. 4.1.5).

<sup>8</sup> Kritické zhodnocení Hájových zpráv o počasí a příbuzných jevech (včetně sucha) do roku 1500 podali Brázdil a Kotyza (1995).





**Obr. 3.** a) Katolický kněz Václav Krolmus na kresbě podle fotografie od Josefa Mukařovského v časopise Světozor (1883, č. 4, s. 37); b) titulní strana jeho díla o pohromách v Království českém z roku 1845

**Figure 3.** (a) The Catholic priest Václav Krolmus, drawing based on a photograph by Josef Mukařovský that appeared in Světozor journal (1883, No. 4, p. 37); (b) title page of Krolmus' publication on disasters in the Kingdom of Bohemia, 1845

## 2.2 VĚDECKÉ POZNATKY O SUCHU

Pozoruhodné příspěvky o suchu nezatížené jeho náboženským chápáním se objevují začátkem čtyřicátých let 19. století. Tak první článek F. X. J. Maška v časopise Vlastimil se snaží odpovědět patrně pod dojmem častějšího výskytu sušších období v předchozích desetiletích na otázku, jaké jsou příčiny nyní častějšího výskytu suchých než mokřých let (Mašek, 1840).<sup>9</sup> V zásadě se pokouší o fyzikální objasnění výparu, dosažení stavu nasycení vodní parou a jejím přenosem prouděním se zřetelem na oblast, ze které vítr přichází. Vyzdvihuje význam lesních porostů

<sup>9</sup> Obsah příspěvku vystihuje autor již v prvním odstavci, kde konstatuje (Mašek, 1840): „Míním tu přesvědčenu býti, že příčina dotčeného v přírodě úkazu v zákonech vypařování vod záleží; pak ve schopnosti vzduchu, tyto páry až do nasycení sobě připojovati a vázati; konečně ale ve schopnosti těchto par, z tvaru povětrného ochlazením opět ve stav kapalné tekutosti neb vody přecházeti.“

a zejména rybníků pro zvýšení obsahu atmosférické vlhkosti. V době panujícího velkého sucha roku 1842 se k této tematice vrátil v časopise Květy (Mašek, 1842). Příspěvek se nese v podobném duchu jako předchozí, kde na rozdíl od dobových úvah<sup>10</sup> hledá vysvětlení výskytu sucha v atmosférických procesech a klade velký důraz na zakládání rybníků.

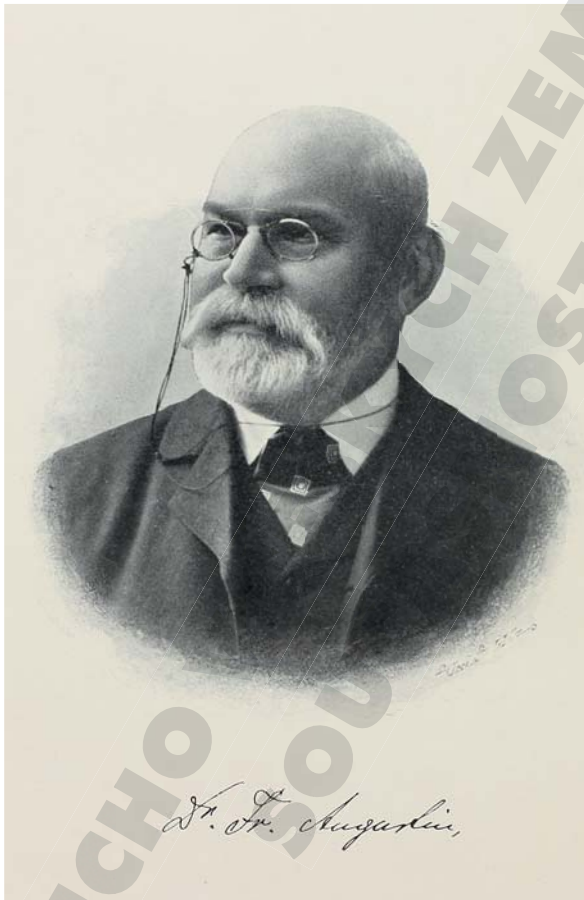
Patrně nejstarší ucelenou vědeckou prací věnovanou problematice sucha v českých zemích je spis prvního profesora meteorologie na pražské univerzitě, Františka Augustina (1846–1908), který popsals

<sup>10</sup> Autor hned v první větě článku vyslovuje podiv nad neznalostí přírodních zákonů mezi lidem: „Předsudky, pověry a neumělost sprostého lidu v přírodoskumu, zvláště v zákonech, dle kterých se rozličné úkazy a změny v povětrném oboru země dějí, jsou větší, nežli jsme až posud se domýšleli.“ O kousek dále pak pokračuje: „Není v tom ani zakletí krajiny, ani náhoda, ani položení peřinky pod hlavu umřelého příčinou; není to ani trest Boží, ani lidský. Kde to vše zcela přirozené, a vše jest tak pochopitelné, že tento celý pochod přírody každý, kdo zdravý soud má, co nejsnadněji nahlídne.“ (Mašek, 1842).

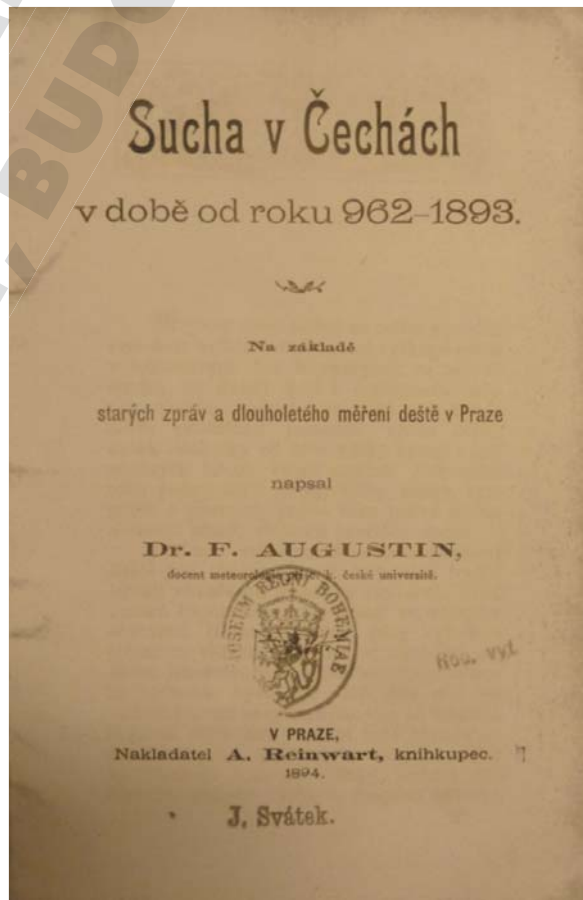
fyzikální procesy vedoucí ke vzniku srážek a sucha, a s využitím dokumentárních pramenů a přístrojových meteorologických měření v Praze charakterizoval sucha od roku 962 do roku 1893 v Čechách, stejně jako suchá a vlhká období v 19. století (Augustin, 1894; obr. 4). Tímto článkem patrně reagoval na velké sucho roku 1893 v Čechách, když již předtím analyzoval katastrofální povodeň ze září roku 1890 na Vltavě v Praze (Augustin, 1891), kdy poprvé u nás použil synoptické mapy k popisu jejích meteorologických příčin (Kakos, 2008). Podobná konstelace obou extrémů vedla již dříve zemský sněm v Čechách (po neobvykle suchém roce 1874 spolu s předchozí katastrofální povodní na Berounce a Ohři ve dnech 25.–27. května 1872) k iniciování založení Hydrografické komise pro Království české, která vznikla v roce 1875 a rozdělila se na sekci hydrometrickou a ombrografickou, zabývají se hydrologickými, resp. srážkoměrnými pozorováními (Brázdil et al., 2005a).

Ve třicátých letech minulého století vzbudila značnou pozornost sucha v letech 1932–1935. Zvýšený zájem o hydrologické sucho vyústil například v „debatní schůze“ konané ve dnech 12. prosince 1935 a 20. ledna 1936 v Brně, z nichž byl publikován soubor referátů pod názvem „Vodní hospodářství v době sucha“ (Zavadil et al., eds., 1936), týkající se mimo jiné vztahu sucha versus závlahy, regulace a meliorace (například Jůva, 1936; Vrba, 1936; Zaoral, 1936). Suchu na jižní Moravě z pohledu dlouhé srážkové řady Brna začínající rokem 1803 se ve sborníku věnoval Soukal (1936). Pozoruhodná je zde také studie profesora tehdejší Vysoké školy zemědělské v Brně Václava Nováka, který se zabýval vymezením pojmu sucho, čím je sucho vyvoláno a jak mu čelit (Novák, 1936). Autor dělí sucho mimo jiné na nezaviněné (tedy jako jev meteorologicko-klimatologický) a zaviněné jako „zjev vyvolaný ve větším či menším rozsahu lidským zásahem, ať je to agrikultura nebo ať technické zásahy, porušující

a



b



**Obr. 4.** a) První profesor meteorologie na pražské univerzitě František Augustin napsal první vědecké pojednání o suchu v Čechách (Strouhal, 1910); b) titulní strana díla (předmět ze sbírek Národního muzea v Praze)

**Figure 4.** (a) František Augustin, the first professor of meteorology at Prague University, who wrote the first scientific paper on drought in Bohemia (Strouhal, 1910); (b) its title page (from the collections of the National Museum, Prague)



soulad biologických hodnot v přírodě, zvláště poměr lesních ploch k polním, lučním a p.“<sup>11</sup> Z dalších prací věnovaných výše zmíněnému hydrologickému suchu lze uvést studii Kračmera (1937), který pojednal o periodách sucha v povodí řeky Moravy v letech 1932–1934, stejně jako v sousedních povodích Dyje, Váhu a Odry. Mezi příčinami sucha zmiňoval „nepřavidelnou zimu, za níž při nedostatku sněhu a deště nemohly povstati vydatné vody, které jediné sytí půdy vláhou pro letní horké období a udržují vyšší stavy na řekách až do konce jara.“ Vorel (1937a, 1937b) pak studoval období sucha na základě analýzy nízkých průtoků pro jednotlivá hlavní povodí v bývalém Československu. Problematika výše uvedeného sucha se promítla do diskusí o odpovídajících vodohospodářských opatřeních, mezi nimiž se přikládala značná váha výstavbě přehrad (Krejčí, 1937; Lossmann, 1937). V návaznosti na suchu se hodnotil i stav pozemků s drenáží (Solnař, 1937). K suchu z let 1932–1934 jako „nejdelší a nejkritičtější periodě sucha v tomto století“, se s větším časovým odstupem vrátili ještě Mihola a Polišenský (1975), kteří je hodnotili z hlediska průměrných ročních průtoků pro čtyři hydrologické stanice na řece Moravě a pro stanici Dluhonice na Bečvě v kontextu období 1921–1972. Za hlavní příčinu sucha označili analogicky jako Kračmer (1937) nepříznivé rozložení srážek v průběhu roku se zretelem na utváření odtoku.

Přestože kromě sucha ve třicátých letech bylo znamenáno ještě několik dalších suchých roků předtím (například 1904, 1911, 1921 nebo 1924), největšího ohlasu se dostalo katastrofálnímu suchu v roce 1947.<sup>12</sup> V návaznosti na ně došlo k oživení zájmu

<sup>11</sup> Zajímavou paralelou k současnosti je Novákovo vyjádření ke zvýšenému nebezpečí sucha (Novák, 1936, s. 23): „V posledních letech se množí stále více poplašné hlasy o zvýšeném nebezpečí sucha vůbec a pro zemědělskou produkci zvláště. Abnormálně suchý ráz posledních let se považuje za některých stran za zjev trvalý, který se bude zhoršovat a způsobovat vysušování dalších území, která dosud za „suchá“ považována nebyla. Příčiny vysušování určitých krajů se hledají jednak ve změně klimatu, jinak se svaluje vina ještě více na nesprávné zacházení se zásobami vody na našem státním území.“ Dále se podle Nováka říká, že „Sucho a jeho rozsah i škodlivé účinky se zvětšují, celé kraje, které byly normálně na srážky chudé, vysušují se stále více, obvody sucha se rozšiřují. To nezavinuje jen příroda, ale hlavně člověk sám, ... tím, že příliš rychle odvádí vodu ze země regulacemi vodních toků, vypouštěním rybníků, vysušováním mokřadů, nadbytečným drenováním pozemků atd.“

<sup>12</sup> Bez vztahu k suchu roku 1947 vyšla v témže roce publikace Bratránka (1947), který charakterizoval relativně suché a mokré oblasti v povodí Labe, Odry a Moravy na základě porovnání průměrných úhrnů srážek 975 srážkoměrných stanic v období 1876–1925 se srážkovým úhrnem přísluš-

o tuto problematiku a na stránkách časopisu Meteorologické zprávy se objevilo několik článků zabývajících se suchem. Týkaly se sucha na jižní Moravě (Gregor, 1947; Jílek, 1948) a na Slovensku (Petrovič, 1948), popisu metody stanovení potenciální evapotranspirace podle Thornthwaita (Gregor, 1948), vyjádření k této metodě a k roli větru při vzniku sucha na jižní Moravě (Gregor, 1949) či k obecnému popisu vzniku sucha (Veselý, 1949b). S ohledem na ztráty způsobené suchem v zemědělství vydal Státní ústav meteorologický v Praze dvě publikace věnované problematice sucha na území tehdejšího Československa. V první z nich byl použit Langův dešťový faktor, počítaný jako poměr průměrného ročního množství srážek k průměrné roční teplotě vzduchu, přičemž bylo použito nové členění oblastí, neboť původní Langova škála byla pro naše území příliš hrubá (Minář, 1948a).<sup>13</sup> Druhá publikace se pak zabývala vymezením oblastí suchého a vlhkého „podnebí polních kultur“ podle ukazatele „průměrné vláhové jistoty“,<sup>14</sup> který se stal základem pro rozdělení použitých stanic do sedmi zvolených tříd (Minář, 1948b). Tyto údaje byly stanoveny tabelárně pro celkem 890 stanic (spolu s průměrným ročním úhrnem srážek a průměrnou roční teplotou

ným dané nadmořské výšky, který byl vypočten metodou lineární regrese, vyjadřující závislost množství srážek na nadmořské výšce.

<sup>13</sup> Minář (1948a) si byl plně vědom omezení použitého indexu a složitosti problematiky sucha, jak plyne z jeho konstatování na s. 6: „Je třeba zdůraznit, že pomocí dešťových faktorů nemůže být plně vystižen skutečný stav suchosti jednotlivých krajů. Vždyť o suchosti krajů s klimatologického hlediska rozhoduje vedle srážek a teploty i výpar, jehož výše je závislá nejen na teplotě ovzduší a srážkách, ale především i na insolaci a směru a síle větru. Výpar je však dosud neprobádanou veličinou a jeho výše v různých krajích není známa natolik, aby mohl být použit pro vymezení a vzájemné porovnání suchosti krajů v tomto celostátním generelním zpracování. Vedle těchto ryze klimatických činitelů rozhodují o suchosti území zejména druh půdy a způsob jejího obdělávání, poměry podzemních vod, svažitost terénu, expozice ke světovým stranám [sic!], rostlinný kryt a j. Již z těchto několika náznaků je vidět, jak složitým problémem je stanovení suchosti krajů, a že jej nelze řešit úplně prací jedinou.“

<sup>14</sup> Podnebí polních kultur se chápe takové podnebí, které za příslušné teploty má aspoň takovou výši ročních srážek, že běžné polní plodiny mají tolik vláhy, že nehynou suchem. Průměrná vláhová jistota byla počítána ze vztahu  $(S - s') / t$ , kde  $S$  značí průměrný roční úhrn srážek v mm,  $s'$  roční úhrn srážek v mm, při němž nastává sucho, a  $t$  průměrnou roční teplotu vzduchu. Hodnota  $s'$  byla zjištěna podle vzorce stanoveného empiricky A. Gregorem. Čím nižší je hodnota ukazatele, tím vyšší je suchost daného místa. V sedmidílné stupnici pak byly suché oblasti klasifikovány jako nejsušší (ukazatel od hodnoty  $-4$  do nuly), silně suché (od 1 do 7) nebo středně až mírně suché (od 8 do 14) (Minář, 1948b).

vzduchu) a vyjádřeny také mapově (obr. 5). Brablec (1948) pak v reakci na práci Mináře (1948a) publikoval pro české země mapy Langova dešťového faktoru pro měsíce teplého půlroku. V další své práci Brablec (1949) charakterizoval sucho pro naše území indexem vlhka podle Thornthwaita a hydrotermickým koeficientem podle Seljaninova.<sup>15</sup> Veselý (1949a) pak otiskl v návaznosti na diskusi o problematice sucha dokonce i výňatky z výše uvedené Augustinovy publikace o suchu z roku 1894. V roce 1951 byla vydána monografie „Ochrana zemědělství před klimatickým suchem“, která podle autora J. Cablíka byla motivována suchým rokem 1947 (Cablík, 1951), a opírala se vedle domácích studií z velké části o době poplatné práce sovětských autorů.<sup>16</sup> Nosek (1952) se při porovnání srážek v Brně a Bratislavě na základě Pearsonovy křivky zaměřil také na rozdíly ve srážkách v suchém roce 1947, kdy menší extremitu srážek v Bratislavě přičítal „rozdílnému vlivu jižních poruch a orografickému ovlivnění srážek Alpami a Malými Karpatami.“ Krečmer (1952) studoval, jak se katastrofální sucho roku 1947 odrazilo negativně na výškovém vzrůstu některých dřevin v následujícím roce, což bylo nejlépe patrné u vejmutovky, jedle a smrku. Pozoruhodné bylo zamýšlení Stuchlíka (1952), zda rok 1953 bude kata-

strofálně suchý, což dovodil úvahou o vlivu sluneční aktivity s odpovídajícími změnami v atmosférické cirkulaci a existencí šestiletého cyklu suchých let.

Se suchem roku 1947 byly porovnávány i některé pozdější případy suchých epizod, jako například v roce 1959 (Hrubeš, 1959). Na sucho v roce 1959 a předchozí reagoval Frič (1960) krátkým výčtem suchých roků v Čechách od poloviny 10. století, ale pouhý výčet těchto roků bez uvedení příslušných dokumentárních pramenů postrádá vědeckou hodnotu. Reinhartová (1964) hodnotila sucho od září 1963 do srpna 1964 podle měsíčních úhrnů srážek (oproti suchu z roku 1947 byly suché hlavně zimní měsíce) a pro tři české meteorologické stanice stanovila vodní bilanci podle Thornthwaita. O suchu a jeho příčinách pojednával příspěvek Šamaje (1965), který v krátkosti vzpomněl i sucho roku 1947 na Slovensku. V profilovém díle týkajícím se agroklimatických podmínek v Československu byl při hodnocení vláhových poměrů použit mimo jiné hydrotermický koeficient Seljaninova, vypočítaný pro období 1931–1960 (obr. 6), a tak zvaný klimatický ukazatel zavlažení, daný rozdílem potenciální evapotranspirace a srážek (Kurpelová et al., 1975). Kakos (1977) v návaznosti na svoji předchozí studii (Kakos, 1974) hodnotil sucho z let 1971–1974 v Čechách s ohledem na srážkový a odtokový deficit s uvážením vlivu teploty a vlhkosti vzduchu. Tato sucha předčila od roku 1876 svojí větší extremitou jen čtyřletí 1933–1936 a 1949–1952. V další práci analyzoval Kakos (1979) meteorologické a hydrologické sucho vegetačního období roku 1976, které klasifikoval jako dvacetileté, resp. desetileté sucho. K epizodám sucha ze sedmdesátých let na jižní Moravě se vrátil ještě Polišínský (1981), který se zaměřil zejména na hodnocení sucha na Znojemsku. Menší kapitola byla věnována suchu i v rámci monografie s názvem „Podnebí a vodní režim ČSSR“, která vedle obecnějších konstatování vycházela z údajů pro stanici Praha-Klementinum a dotkla se také hydrologického sucha (Červený et al., 1984). Kakos (1984) se zabýval analýzou deficitu srážek a vlivem extrémních teplot vzduchu na sucho v dvojletí 1982–1983. Brázdil a Štekl (1988) pak studovali cirkulační procesy přispívající k výskytu extrémně nízkých měsíčních úhrnů srážek v Čechách, na Moravě a na Slovensku v období 1949–1980 s použitím map tlaku vzduchu na hladině moře, geopotenciálních výšek hladiny 500 hPa a relativní topografie 500/1000 hPa. Sklenář (1993) se zaměřil na hydrologické poměry jižní Moravy v letech 1981–1990 se zřetelem na analýzu suchých epizod.

<sup>15</sup> Hydrotermický koeficient podle Seljaninova HTK je dán vztahem:  $HTK = \Sigma R / 0,1TS_{10}$ , kde  $\Sigma R$  je úhrn srážek a  $TS_{10}$  je teplotní suma za období s průměrnou denní teplotou  $t_d \geq 10^\circ\text{C}$  (Kurpelová et al., 1975).

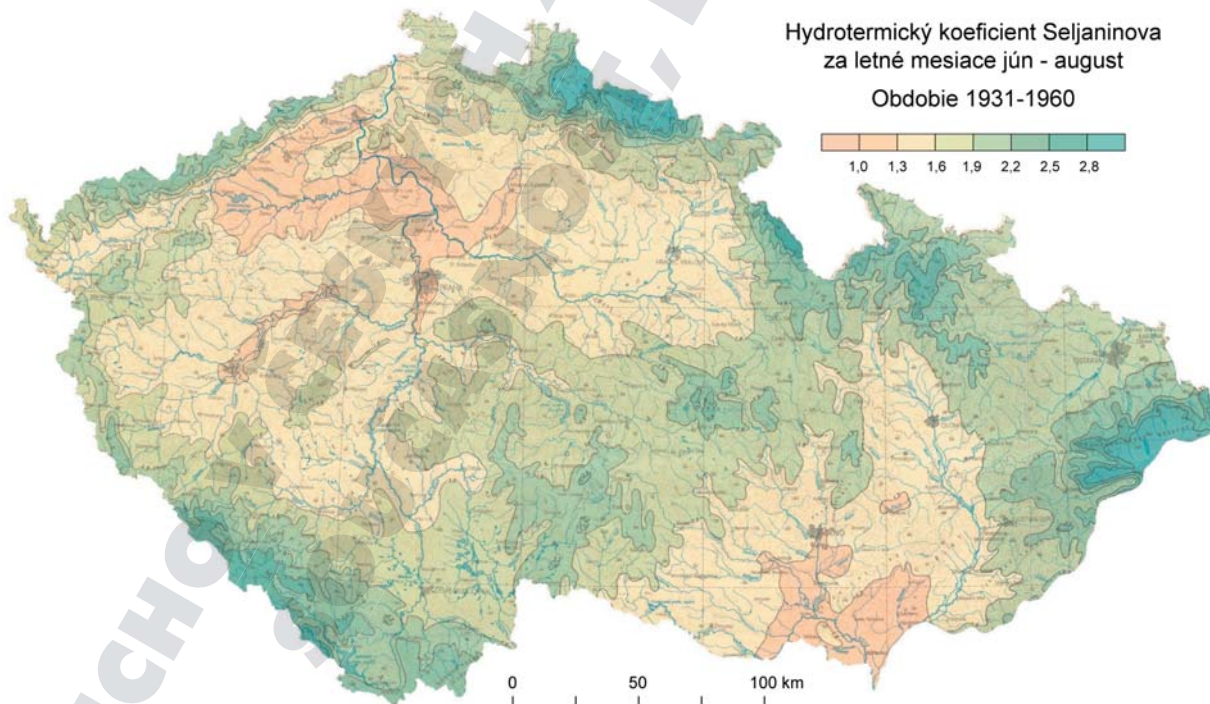
<sup>16</sup> Plánovací referát Krajského národního výboru v Brně zahájil v roce 1951 akci s názvem „Přeměna přírody jižní Moravy“, v rámci níž byl pozván do Československa sovětský expert P. D. Išin, který provedl průzkum kraje a na základě jeho poznatků pak byla provedena expertíza k plánu (*Přeměna přírody*). K meteorologickým činitelům expertízy se mimo jiné konstatuje: „Někteří vědečtí pracovníci, agronomové a zemědělské inženýři dospěli k přesvědčení, že téměř v každém kraji bývají sucha a výsušné větry, které škodí zemědělství a snižují sklízň. Dosti často prohlašovali, že pokles v množství ročních srážek, např. ze 600 mm na 450–500 mm v jednotlivých letech vyznačuje suchý rok a že snížení srážek za vegetační období, kdy místo 300 mm spadne jen 200 nebo 150 mm, způsobuje značný pokles sklízň. Tento názor ve většině případů nemá pevných a správných podkladů, protože nebyl proveden přesný rozbor fakt. Je ostatně možno považovat za suchý rok takový, kdy ze 475 mm srážek spadlo v květnu, červnu a červenci až 150 mm? Nutno předpokládat, že nikoliv.“ Dne 24. srpna 1952 pak byla podána zpráva k výzkumným pracím na jižní Moravě. K ní je dále přiložen nepodepsaný elaborát s názvem „Jižní Morava — sucho“, označený datem 20. listopadu 1952, který podává velmi fundovaný rozbor problematiky sucha v této oblasti. Zároveň reaguje na některé Išinovy připomínky a spíše uvádí na pravou míru některá jeho problematická konstatování. Z tohoto elaborátu je navíc zřejmé, že Išinova návštěva nepřinesla nic, co by našim odborníkům nebylo v té době známo (ibidem).





**Obr. 5.** Mapa Langova dešťového faktoru ve výřezu pro české země podle Mináře (1948a). Suché oblasti odpovídají hodnotě průměrného ročního úhrnu srážek menšího než 70 mm v přepočtu na 1 °C průměrné roční teploty vzduchu

**Figure 5.** Map of Lang's rain factor, from the section covering the Czech Lands (after Minář, 1948a). Dry areas are defined as those where the value of mean annual precipitation totals are less than 70 mm in re-calculation per 1 °C of mean annual temperature



**Obr. 6.** Mapa hydrotermického koeficientu Seljaninova pro letní měsíce červen-srpen v období 1931 – 1960 ve výřezu pro české země (podle Kurpelové et al., 1975)

**Figure 6.** Map of hydrothermic coefficient, after Seljaninov, for the summer months June–August, 1931 – 1960 in the section covering the Czech Lands (after Kurpelová et al., 1975)

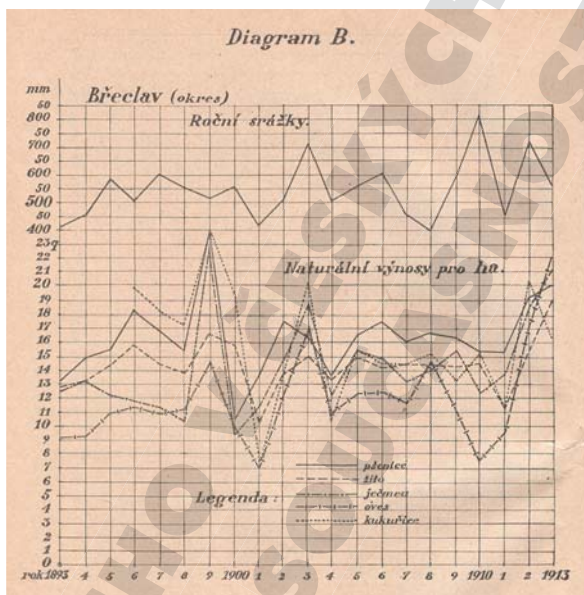


Několik prací bylo věnováno vymezení nejsušší oblasti na Moravě. Tak Vitásek (1942) ji definoval jako oblast s ročním průměrem srážek pod 500 mm, která podle průměrů z období 1901–1930 připadla na oblast dolní Jevišovky a zabírala plochu asi 405 km<sup>2</sup>. Protože ale podle průměrů z období 1876–1925 neklesly roční úhrny nikde pod 500 mm, doporučil Soukal (1947) v diskusním příspěvku na konferenci věnované problému hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech, zejména na jižní Moravě, kterou dne 28. června 1946 uspořádala Československá akademie zemědělská spolu s Poradním sborem zemědělským tehdejšího Zemského národního výboru v Brně (Zavadil, Smolík, eds., 1947), že suché oblasti je třeba vymezit roční izohyetou 550 mm. Dokládá (1947) však ve svém „orientačním šetření rozsahu suchých oblastí“ použil velikost výnosu zemědělských plodin jako projev „intensity a rozsahu faktorů sucha“ a konstatoval, že rozhodující vliv na výnosy má nikoliv množství ročních srážek, ale jejich rozložení během roku, jak dokumentoval na příkladu okresu Břeclav (obr. 7). Další příspěvky na zmíněné konferenci řešily například problémy se suchem na jižní Moravě se zřetelem na zemědělskou produkci (Bláha, 1947; Kočnar, 1947), lesnictví (Farský, 1947) a vodní hospodářství (Jůva, 1947), které vyústily do řady závěrů a doporučení směřujících ke snížení dopadů sucha. Gam (1947) porovnával jižní Moravu s jinými suchými oblastmi v Evropě

i ve světě na základě ukazatele sucha podle de Martonna. V menší míře se přednesené příspěvky dotkly i Čech (Kubarev, 1947) či Slovenska (Petrovič, 1947).

Následující velmi suchý rok 1947 nejen znovu obrátil pozornost k uvedenému problému (Gregor, 1947; Jílek, 1948), ale přispěl i k pozdější realizaci některých návrhů vzešlých ze vzpomínuté konference (například obnovení některých rybníků, budování závlahových zařízení). Po další práci věnované problému sucha na jižní Moravě Noskem (1953) se k vymezení nejsušší moravské oblasti podrobně vrátil Krška (1980), který zpracoval roční izohyety pro období 1947–1976 a stanovil oblast s ročním úhrnem srážek pod 500 mm v rozsahu 1 835 km<sup>2</sup> (oblast vymezená spojnicí Znojmo–Zbýšov a táhnoucí se dále až k Jevišovicím a poté kolem vyšších částí Bobravské vrchoviny pokračující k Brnu, zahrnující dále povodí střední a dolní Litavy a směřující od Židlochovic na jih k hranicím s Rakouskem). Skutečnost, že problém sucha na jižní Moravě nelze omezovat jen na roční úhrn srážek, dokumentoval opětovně Trachtulec (1984), který porovnával zásoby půdní vláhy na Znojemsku v suchých letech 1947, 1976 a 1983.

Nedostatek vláhy na jižní Moravě byl řešen budováním rozsáhlých systémů závlahových zařízení. Z podnětu Vládní koordinační komise pro vodohospodářské úpravy na jižní Moravě byla začátkem roku 1974 vytvořena při pobožce Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) v Brně odborná služba Agrometservis, která měla přispět ke zlepšení centrálního řízení závlahových systémů v podmínkách socialistického družstevního hospodaření. Její činnost spočívala ve vydávání krátkodobé regionální předpovědi počasí a v předpovědi potřebných závlahových dávek vybraných zemědělských plodin. Vláhová potřeba rostlin byla počítána z Penmanovy rovnice potenciální evapotranspirace. Závlahová soustava vybudovaná v letech 1966–1975 umožňovala zavlažovat na 20 300 ha zemědělské půdy (Konicar, 1977). V souvislosti s prostorovým vymezením oblasti závlah hodnotila Křivancová (1977) srážkové rozdíly v zavlažované oblasti pro období 1964–1973. K činnosti Agrometservisu se později vrátil Vítoslavský (1992), který podrobně analyzoval činnost tohoto systému. Následně Kohut (1992) vyhodnotil fungování Agrometservisu a výpočet vláhové potřeby vybraných zemědělských plodin v letech 1990–1991. Od roku 1993 pak byl Agrometservis nahrazen agrometeorologickým informačním systémem AVISO (Agrometeorologická výpočetní a informační soustava), zahrnujícím zpracování



**Obr. 7.** Porovnání ročního „naturálního“ výnosu vybraných zemědělských plodin a ročních úhrnů srážek na okrese Břeclav v letech 1893–1913 (Dokládá, 1947)

**Figure 7.** Comparison of annual “natural” yield of selected agricultural crops and annual precipitation totals in the Břeclav district, 1893–1913 (Dokládá, 1947)

agrometeorologické aplikace pro 70 stanic v České republice (Kohut, 1993; Vítoslavský, Kohut, 1999).<sup>17</sup>

Ve vztahu k obdobím sucha byly také prováděny analýzy různě definovaných bezesrážkových (suchých) period (například Mrkos, 1922; Rein, 1958; Pevný, 1965; Hrbek, Reinhartová, 1968). Nejdlejší z bezesrážkových period souhlasily s obdobími extrémního sucha. Tak například Lednický (1978) při analýze uvedených období v povodí Odry uvedl nejdelší trvání suché periody na stanici Melč v délce 42 dnů od 1. září do 12. října 1959 nebo na stanici Nové Heřminovy, kde nepršelo po 39 dnů od 21. srpna do 29. září 1959.

V souvislosti se studiem suchých a vlhkých oblastí v bývalém Československu byla věnována také pozornost výpočtu potenciální evapotranspirace s využitím různých vzorců. Tak Matějka (1972) aplikoval metodu Papadakise pro období 1926–1950 a uvedl geografické rozložení takto stanovených hodnot. Tomlain (1978, 1979) vypočítal pro vybrané meteorologické stanice hodnoty potenciálního výparu podle metody Budyka a skutečný výpar z půdy založený na řešení rovnic vodní a tepelné bilance podle práce Budyka a Zubenok, pro které vyjádřil mapově jejich geografické rozložení v období 1931–1960. K různým metodám výpočtu potenciální evapotranspirace, jejich testování a studia kolísání řad této charakteristiky na stanici Doksany se později vrátil Možný (1993).

<sup>17</sup> Oproti Agrometservisu, zaměřenému výhradně na problematiku závlah (především na jižní Moravě) na podkladě průběžných analýz potenciálního vláhového deficitu vybraných zemědělských plodin, je jeho nástupce model AVISO koncipován jako otevřený agrometeorologický model řešící komplexně agrometeorologickou problematiku. Pouze určitou jeho část lze aplikovat k závlahovým účelům, a to na základě podrobné analýzy aktuálního vláhového deficitu vybraných zemědělských plodin. Model AVISO s modifikací na naše podmínky byl sestaven podle anglické předlohy MORECS (The Meteorological Office Evaporation and Rainfall Calculation System). Zdrojem vstupních dat jsou kromě fenologických údajů denní data základních meteorologických prvků 198 automatizovaných klimatologických stanic na území České republiky (stav v roce 2014). Model je svojí strukturou zaměřen výhradně na časoprostorovou analýzu nedostatkového množství vody v krajinném prostředí, kdy na výstupu je řada speciálních agrometeorologických, případně hydrologických, charakteristik modelově zpracovaných pro standardní povrchy, resp. vybrané zemědělské plodiny (evapotranspirace, vláhová bilance, aktuální půdní vláhový deficit, zásoba využitelné vody v půdním profilu atd.). Je jedním z nástrojů pro „monitoring sucha“, provozovaný v pravidelných týdenních intervalech na webových stránkách ČHMÚ ([http://www.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P10\\_0\\_Aktualni\\_situace/P10\\_4\\_SUCHO&last=false](http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P10_0_Aktualni_situace/P10_4_SUCHO&last=false); Kohut, 2014).

Zvláštní pozornost analýze časové a prostorové variability sucha, které představuje druhý nejzávažnější hydrometeorologický extrém v České republice po povodních (Brázdil et al., 2007a), byla věnována po roce 2000. Tak Sládek (2001) navrhl metodu časového vymezení suchých období a kvantitativního hodnocení jejich výraznosti s použitím denních průměrů teploty vzduchu a úhrnů srážek, kterou aplikoval na údaje meteorologické stanice Praha-Karlov v období 1921–1999. Brázdil et al. (2003a) analyzovali kolísání extrémně suchých měsíců vymezených hodnotou percentilu 10 % na 94 meteorologických stanicích v České republice v období 1961–2000. Epizody sucha z roku 2003, vyjádřeného tzv. „indexem meteorologického sucha“ vyvinutým na ČHMÚ, se zčásti dotkla studie Pavlíka et al. (2003), věnovaná mimořádnému létu toho roku. Index meteorologicky možného sucha jako nová metoda hodnocení výskytu sucha byl publikován později Květoněm a Valtrem (2008). Krátký přehled informací o suchu v dokumentárních pramenech v českých zemích od Munzara (2003) s uvedením známých suchých let 1540, 1590, 1616, 1790 a 1842 ztrácí na vědecké hodnotě necitováním použitých pramenů. Možný (2004) studoval intenzitu sucha na šesti meteorologických stanicích v letech 1891–2003 pomocí vlastního indexu hydrometeorologického sucha (IHS), počítaného v denním kroku z hydrologické bilanční rovnice, zohledňující vedle množství spadlých srážek i ztráty vody evapotranspirací a odtokem. Blinka (2005) použil různé ukazatele sucha odvozené z tak zvané efektivní srážky (efektivní index sucha), které aplikoval na osm meteorologických stanic s pozorováními mezi lety 1876 a 2002. Dufková a Šťastná (2005) analyzovaly sucho na jižní Moravě a jeho vliv na půdní erozi. Fiala (2006) použil k vymezení sucha na meteorologické stanici Vráž u Písku v letech 1961–2004 metodu „součtových řad odchylek“ aplikovanou na řady denních srážkových úhrnů a průměrných denních teplot vzduchu.

Nejpodrobnější analýza sucha v období 1961–2000 se objevila se zřetelem na celou Českou republiku v „Atlasu podnebí Česka“ (Tolasz et al., eds., 2007), kde byly zveřejněny mapy Langova dešťového faktoru, standardizovaného srážkového indexu (SPI) pro 1 a 3 měsíce, Palmerova Z-indexu a Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI)<sup>18</sup> a indexu meteorologicky možného sucha (viz Květoň, Valter, 2008). Podrobně byla tematika sucha rozpracována se zřetelem

<sup>18</sup> K definicím SPI, Z-indexu a PDSI a jejich výpočtu podrobně viz kap. 3.1.1.

na Moravu a Slezsko s odpovídajícím mapovým vyjádřením charakteristik sucha v práci Brázdila et al. (2007a). Z hlediska popisu prostorového výskytu sucha na území České republiky je třeba zmínit práci Trnky et al. (2009a), kteří prezentovali metodiku analýzy sucha umožňující zjistit náchylnost jednotlivých oblastí k suchým epizodám kombinací různých indexů sucha (SPI, PDSI, Z-index). Pro výpočet těchto indexů použili autoři měsíční řady průměrné teploty vzduchu a množství srážek z 233 klimatologických stanic České republiky pro období 1961–2000. Ukázalo se, že více než 3 % našeho území spadají do vysoce rizikové oblasti náchylné k výskytu sucha a 12,3 % území musí čelit 50–60 % pravděpodobnosti výskytu sucha.

Brázdil et al. (2009b) se zaměřili na variabilitu indexů sucha v období 1881–2006 na základě výpočtů pro průměrnou teplotní a srážkovou řadu České republiky. Dubrovský et al. (2009), kteří vyvinuli a aplikovali relativní Palmerův index intenzity sucha (rPDSI) a Palmerův Z-index k odhadu efektu měnícího se klimatu na frekvenci sucha, zjistili, že riziko sucha pravděpodobně v budoucnu prudce vzroste jako důsledek projekce rostoucích teplot vzduchu. Možný et al. (2011) se věnovali využití sítě stanic měřících půdní vlhkost pro monitoring sucha v České republice. Potop et al. (2011) použili standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) ke studiu variability sucha zaznamenaného na pěti nížinných stanicích v období 1901–2010. Tých index pak aplikovali ke studiu sucha v České republice za vegetační období v letech 1961–2010 (Potop et al., 2012a). Analogicky analyzovali také prostorově-časové charakteristiky sucha s použitím SPEI pro 184 stanic v tomtéž období (Potop et al., 2014). Zahradníček et al. (2014) studovali extrémní sucho, které se vyskytlo mezi srpnem 2011 a květnem 2012, s ohledem na jeho dopady v zemědělství a v hydrologii.

Stav holé půdy jako indikátor sucha použili ve své práci Mužíková et al. (2013), kteří vyhodnotili počet dnů se suchým povrchem půdy v letech 1961–2010. Analýza neprokázala žádný trend v počtu suchých dní. Roky 2002, 2003, 2007 a 2009 vyhodnotili jako suché během první dekády 21. století. Trnka et al. (2015a) našli statisticky významný sestupný trend v řadách půdní vlhkosti založených jednak na měření, jednak na výpočtu podle modelu SoilClim, pro květen–červen v období 1961–2012. Naproti tomu vzestupný trend půdní vlhkosti byl zaznamenán pro zimní půlrok (říjen–březen). Porovnání období 2001–2012 s roky 1961–1980 navíc ukázalo, že pravděpodobnost výskytu sucha vzrostla

o 50 %. Tyto trendy souvisejí se statisticky významným vzestupem intenzity globálního záření a teploty vzduchu a s poklesem relativní vlhkosti vzduchu, které se promítají do zvýšení hodnoty referenční evapotranspirace všech měsíců vegetačního období v letech 1961–2012, potvrzené také měřeními výparu pro roky 1968–2012 (Trnka et al., 2014a). Dalšími faktory podporujícími pokles půdní vlhkosti je časnější ukončení sněhové pokrývky a uspíšený začátek vegetačního období.

Nověji sestavili Brázdil et al. (2013a) dlouhodobou českou chronologii sucha od roku 1500, kombinující informace z dokumentárních pramenů s přístrojovými měřeními, a popsali některá nejvýznamnější sucha doložená dokumentárními prameny v letech 1540, 1590, 1616, 1718 a 1719. Pro několikaletá extrémní sucha roku 1540 v Evropě, patrně z řady dokumentárních pramenů, použili Wetter et al. (2014) dokonce označení „megasucho“ (megadrought).<sup>19</sup> Brázdil et al. (2014a) se zabývali analýzou jarního a letního sucha v českých zemích v letech 1805–2012 s využitím průměrných řad pro celé území a zhodnocením podílu jednotlivých klimatotvorných faktorů na jeho dlouhodobé variabilitě.

Vedle přístrojových a dokumentárních údajů byly ke studiu suchých období v České republice použity také dendrochronologické údaje. Chronologie jedle (*Abies alba* Mill.), sestavená z letokruhů živých stromů a historických dřev na jižní Moravě pro období 1376–1996, byla použita k rekonstrukci srážek března–července (Brázdil et al., 2002a). V rocích s úzkými letokruhy převažovala obecně sušší jara a léta, což bylo zvláště demonstrováno na výběru 46 roků s extrémně úzkými letokruhy v konfrontaci se zprávami o suchu v dokumentárních pramenech. Büntgen et al. (2011a) pak použili tuto řadu, dále doplněnou a prodlouženou o další vzorky, pro rekonstrukci Palmerova Z-indexu pro květen–červen od roku 1500 do roku 2008, přičemž extrémní roky byly opět konfrontovány s informacemi o suchu z dokumentárních pramenů, popř. přístrojových měření.

### 2.2.1 Dopady sucha v zemědělství

V odborné literatuře byla věnována značná pozornost také dopadům sucha v různých oblastech národního hospodářství. Nejzávažnější dopady sucha jsou patrné především v zemědělství. Tak zvané zemědělské sucho (obr. 8) obvykle trvá od několika

<sup>19</sup> Komentář k suchému roku 1540 z pohledu dendroklimatologie publikovali Büntgen et al. (2015) a reakci na něj Pfister et al. (2015).





**Obr. 8.** Na polích se může sucho projevit vysycháním a rozpraskáním půdy podobně jako tomu bylo koncem září roku 2005 u Kobeřic (foto L. Budík)

**Figure 8.** Drought may be reflected in the drying and cracking of the soil in fields, similar to that which occurred towards the end of September 2005 around Kobeřice (photo L. Budík)

týdnů až do 6–9 měsíců (Trnka et al., 2009a). Nejvyšší počty suchých epizod na území České republiky se vyskytují na Žatecku (suchá podkrušnohorská oblast), v Polabské nížině (okresy Mělník, Nymburk a Kolín) a v oblasti jižní Moravy, přičemž počet suchých období výrazně roste s poklesem nadmořské výšky místa (Tolasz et al., eds., 2007). Potop et al. (2012c) analyzovali charakteristiky sucha pro oblasti s nadmořskou výškou pod 400 m, 401–700 m a nad 700 m během vegetačního období (duben–září) na základě údajů 184 klimatologických stanic z období 1961–2010. Vysoký výskyt kritického meteorologického a zemědělského sucha zaznamenali na jižní Moravě, v severozápadních Čechách, obecně na jihovýchodě republiky a v nížině řeky Labe. Krátkodobé (meteorologické sucho) a střednědobé sucho (sucho ovlivňující zemědělskou produkci) se na celém území České republiky vyskytlo ve studovaném čtyřicetiletí přibližně každých 3–5 let; dlouhodobé sucho (mající vliv na vodní systémy) se může vyskytovat každých devět let.

Značný počet studií se věnoval dopadům sucha, popř. dalších klimatologických faktorů, na produkci obilnin. Tak Trnka et al. (2007) prokázali signifikantní vliv sucha v období dubna–června na produkci ječmene jarního v 51 okresech České republiky (z 62 studovaných). Nejcitlivější na sucho byly okresy jižní Moravy a nejméně citlivé okresy na severní Moravě a ve Slezsku. Podle Hlavinky et al. (2009) byly výnosy ječmene jarního (a obecně jarních obilovin) více ovlivněny vodním stresem než výnosy plodin ozimých a produkce sena z trvalých travních porostů. Analýza vazeb mezi výskytem sezonního zemědělského sucha a výnosy osmi vybraných plodin ukázala, že významné periody sucha (hlavně v letech 1981–2000) přispěly k nízkým výnosům hlavních obilovin, stejně jako dalších sledovaných plodin. Potop et al. (2009) studovali vliv sucha na výnosy jarních a ozimých obilnin v oblasti středních Čech. Nejmenší výnosy zaznamenali v šedesátých a sedmdesátých letech, a následně v poslední analyzované dekádě 1991–2000. Vůbec nejnižší výnosy zjištěné

v letech 1964, 1976, 2000 a také 2003 šly jednoznačně na vrub sucha. Kolář et al. (2014) zařadili sucho mezi meteorologické faktory ovlivňující nízké výnosy jarního žita a ozimé pšenice na jižní Moravě v analyzovaném období 1961–2007. Malé výnosy obou obilnin v letech 2000, 2003 a 2007 zdůvodnili vysokými teplotami vzduchu a nízkými úhrny srážek od dubna do června. K podobným závěrům dospěli také Jačka et al. (2014), kteří studovali vliv suchých epizod na výnosy pšenice ozimé na lokalitách Louny a Rakovník. Autoři prokázali statisticky významnou korelaci mezi výnosy a indexy sucha na obou lokalitách. Zahradníček et al. (2014) při studiu extrémní suché epizody v České republice trvající od srpna 2011 do května 2012 (sucho roku 2012 bylo podle PDSI nejhorším za posledních 130 let) dokumentovali jeho dramatický vliv na zemědělskou produkci. Výnos obilnin byl ve sledované produkční oblasti na Moravě nejhorší za posledních 52 let, přičemž ozimé plodiny byly postiženy výrazněji než jarní. Potořová et al. (2015) použili detrendované řady SPEI pro 304 meteorologických stanic v období 1961–2012 pro studium vazby mezi suchem a velikostí výnosů pro šest druhů obilnin a pět dalších plodin. Nejtěsnější vazbu našli v případech obilnin, kdy odpovídající korelační koeficient v období květen–červen dosahoval hodnoty 0,52–0,60. Variabilita výnosů byla ovlivněna především suchem od dubna do června.

Několik prací se zabývalo také dopady sucha a dalších klimatických podmínek na produkci ostatních plodin. Blažková (2004) analyzovala vliv sucha (a dalších klimatologických prvků) na oddenky ovocných stromů. Vlivu sucha a teplotního stresu na tabák, pěstovaný v růstových komorách, se věnovali Dobrá et al. (2010). Potop a Türkott (2011) studovali variabilitu výnosů cukrovky během suchých a vlhkých období. Nejvýraznější snížení výnosů zjistili v letech s extrémně nepříznivým průběhem počasí ve vegetační době cukrovky (roky 2003, 2006 a 2010). Jako limitující označili nedostatek srážek a jejich nerovnoměrné rozložení spolu s vysokými teplotami vzduchu a dlouhým trváním slunečního svitu. V další práci analyzovali Trnka et al. (2011c) vliv suchých epizod na pastviny v České republice a v Rakousku pomocí jednoduchého modelu GRAM (z anglického výrazu Grassland Model), který umožňuje přesné stanovení stresu suchem a odhad výnosů pro trvalé travní porosty. Potop et al. (2012b) hodnotili sucho v nížinných oblastech České republiky v letech 1901–2010 a jeho vliv na zemědělské plodiny. Častější výskyt suchých epizod během vegetační sezony brukvovitých druhů způsobil poškození

zvláště během růstu hlízy kedluben a formování růstových vrcholů květáků a zelí (tedy v době pozdního jara a začátku léta). Během setí byla cibulovitá vegetace postižena suchem méně. Zemědělské plodiny, které se poměrně náhle ocitnou v podmínkách „suchého“ vlhkostního režimu, jsou navíc náchylnější k chorobám a škůdcům (Tolasz et al., eds., 2007; Kocmánková et al., 2008).

Řada autorů se věnovala vlivu sucha na vývoj semen, klíčení a růst různých variet zemědělských plodin. Tak Hejnák (2003) vyhodnotil stres suchem jako limitující faktor pro produkci tří variet ječmene jarního. Chloupek et al. (2003) sledovali toleranci klíčení semene ječmene jarního na stres suchem (a také chladem), který vyjadřovali pomocí tvrdosti semene. Velikost kořenového systému a následně výnosů v letech 2005–2008 použili Chloupek et al. (2010) pro analýzu tolerance na sucho pro 10–22 variet ječmene jarního. Malý kořenový systém úzce souvisel s nízkým výnosem zrna a s kvalitou sladu v suchých podmínkách, a to dokonce i u geneticky odlišných variet. Holková et al. (2010) porovnávali stresové reakce pěti různých genotypů ječmene jarního s rozdílnou senzitivitou na sucho. Testovaná použitá metodika ověřila a potvrdila odolnost na sucho pouze u dvou genotypů. Melišová et al. (2011) se snažili prokázat vazbu mezi potenciálním výnosem a aktivitou genu *Dhn4*, který je hlavním stresovým proteinem aktivovaným v podmínkách stresu suchem, pro tři variety ječmene jarního (Malz, Amulet a Boios) v letech 2009 a 2010. Vyšší aktivita tohoto genu u všech testovaných genotypů byla prokázána v sušším roce 2009, přičemž teplota a relativní vlhkost vzduchu během experimentu výrazně ovlivňovaly vztah mezi výnosem a odezvou rostliny. Chování proteinů u pšenice ozimé a ječmene jarního v suchých (ale také chladných a slaných) podmínkách studovali Kosová et al. (2014).

Toman et al. (2002) hodnotili vliv predikované klimatické změny na zemědělství a lesnictví. V rámci zemědělské části své práce vyzdvihli především problematiku zavlažování na suchých půdách, kdy bude nezbytné vyvinout nový systém zavlažování, který bude spotřebovávat menší část energie a vodních zdrojů (tzv. mikroirizace). Eitzinger et al. (2003) vyhodnocovali pomocí růstového modelu CERES<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Růstový model CERES (Crop Environment Resource Synthesis) patří do skupiny dynamických růstových modelů, které jsou složeny z několika modulů pro vstupní data, pro matematické výpočty růstu a vývoje porostů a pro prezentaci simulovaných výstupů (Šťastná et al., 2002). Model byl navržen tak, aby simuloval vliv kultivarů, hustotu porostu, klima,



vliv vodního stresu na výnosy pšenice ozimé, včetně oblasti jižní Moravy. Pro zajištění potenciálního výnosu ozimé pšenice v podmínkách budoucího klimatu bude nutné provádět, zvláště pro půdy s nízkou vodní kapacitou nebo bez významného vlivu hladiny podzemní vody, agrotechnická opatření zajišťující lepší hospodaření s vodou v půdě (například mulčování, správné střídání plodin). Zvláště letní plodiny budou více zranitelné a závislé na obsahu vody v půdě, které nebude dostatek kvůli vysokým teplotám vzduchu a zvýšené evapotranspiraci.

### 2.2.2 Dopady sucha v lesnictví

V lesnictví je sucho řazeno mezi abiotické škodlivé činitele, v rámci nichž bývají jeho dopady hodnoceny. Sucho obecně zhoršuje fyziologický stav dřevin a připravuje vhodné podmínky pro kolonizaci biotickými škůdci. Spiecker (2000) řadí sucho společně s požáry, vichřicemi, sněhem či lavinami mezi jevy, které způsobují změny v přirozené sukcesi lesa a mění řídicí faktory lesního porostu (například soutěživost o světlo, dostatek živin a vody, druhové složení).

Sucho může být přímo příčinou poklesu růstu a úmrtnosti dřevin. Tak například Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky (1995) uváděla jako nejkatastrofálnější sucha s dopady na lesy roky 1904, 1911, 1921, 1934, 1947, 1979 a 1991–1994. V období 1963–1996 připadla největší nahodilá těžba způsobená suchem na rok 1995 právě jako důsledek předchozích suchých roků (Brázdil, 1998). Mrkva (1993) ukázal, jak se sucho roku 1992 projevilo ve světle škod působených kůrovcem (obr. 9). Stanovský (2002), který studoval vazbu mezi klimatickými faktory (teplota vzduchu, srážky) a velikostí nahodilé těžby v lesích Slezské nížiny v období 1985–2000, zmiňuje primárně výrazné poškození alochtonních porostů smrku ztepilého (*Picea abies*) v devadesátých letech 20. století právě kůrovcem. Za pravděpodobný primární důvod této kalamity považuje nízký úhrn srážek během vegetačního období.

Urban (2000) hodnotil vliv přísušků a biotických škodlivých činitelů na růst a hynutí borovice černé (*Pinus nigra* Arnold) v roce 2000 na Brněnsku a také na dalších místech České republiky. Nejhorší vliv

na zdravý druhu měly přísušky na začátku vegetační fáze, zatímco biotičtí škodliví činitelé se na vitalitě druhu podíleli pouze marginálně. Jankovský a Palovčíková (2003) se také zabývali chřadnutím porostů borovice černé a zaměřili se na popis výskytu různých patogenů, které poškodily pletiva letorostů a urychlily jejich odumírání. Jejich významným predispozičním faktorem je dopad klimatických extrémů, zvláště pak sucha. Projevy nedostatku vody je možné sledovat na dokumentovaném snížení přírůstu letokruhů na sledovaných lesních porostech. Novák et al. (2010) studovali odolnost borovice lesní (*Pinus sylvestris*) na stres suchem a reakci následného průměrného přírůstu. Zjistili statisticky významný negativní vliv meteorologického sucha na přírůst borovice v posledních 30 letech. Na druhé straně prokázali statisticky významný pozitivní vliv průměrných teplot vzduchu v jarních měsících (únor a březen) na roční průměr přírůstu dominantních stromů. Jako hlavní efekty stresu suchem na borovici uvádějí snížení růstu, slabší zdravotní kondici či dokonce zvýšenou mortalitu, což odpovídá řadě dalších prací z různých částí Evropy (např. Linderholm, Molin, 2005; Davi et al., 2006; Weber et al., 2007).

Některé studie se zabývaly šířkou a nárůstem letokruhů u vybraných dřevin ve vztahu ke klimatickým podmínkám. Hoffmann et al. (2009) použili 250 řad šířek letokruhů pro jedli bělokorou (*Abies alba* Mill.) z oblasti jižní Moravy a sestavili její novou chronologii pro období 1325–2007. Doležal et al. (2010) analyzovali vztah nárůstu dřevní hmoty a šířky letokruhů ke klimatickým podmínkám pro dub letní (*Quercus robur* L.) a dub zimní (*Quercus petraea* Matt.) v oblasti Bílých Karpat v letech 1900–2006. Autoři ukázali, že nárůst pozdního (letního) dřeva obou dubů, rostoucích na hlubokých vápenatých půdách, které v létě vysychají, je asociován především srážkami května–června, zatímco přírůst časného (jarního) dřeva souvisí hlavně s teplotami předcházejícího podzimu a zimy. Nízké srážky a vysoké teploty v letním období pak negativně ovlivňují celkový roční přírůst. Vlivu klimatu (vedle jiných vnějších faktorů) přičítají uvedení autoři klíčovou roli v předčasné vysoké úmrtnosti dubů v Bílých Karpatech. Rybníček et al. (2012c) studovali přírůst smrku ztepilého (*Picea abies* L.) na Českomoravské vrchovině pro porosty se stářím 80–100 let. Velmi nízké přírůsty byly zaznamenány v letech 1974, 1976 a 1992. Silný nárůst letokruhů po roce 1992 vrcholil rokem 1997. Poté přírůsty postupně klesaly k minimu v letech 2003 a 2008. S nízkými přírůsty korelovaly nízké srážky května–srpna

---

půdní vlhkost a množství dusíku na růst a vývoj plodin a jejich výnosy. Primárním záměrem bylo předpovídat potenciální či alternativní manažmentové strategie a taktiky, které ovlivní výnos a zásahy v průběhu formování výnosového procesu. Model byl upraven také pro použití ve studiích vlivu klimatické změny z pohledu rostoucího atmosférického CO<sub>2</sub> (Rosenzweig, Iglesias, 1998).



**Obr. 9.** Výskyt suchých epizod je jedním z faktorů podporujících expanzi lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) neboli kůrovce. Ušchlé stromy po napadení kůrovcem na Lysé hoře na snímku z 20. května 2014 (foto M. Culek)

**Figure 9.** Trees desiccated subsequent to bark beetle (*Ips typographus*) infestation, Mt. Lysá hora, 20 May 2014. The occurrence of dry episodes supports the spread of bark beetles (photo M. Culek)

a vysoké teploty některých měsíců (červen, červenec a září předcházejícího roku a leden a srpen aktuálního roku). V další práci analyzovali Rybníček et al. (2015b) vliv sucha na růst dubu zimního (*Quercus petraea*) na Dražanské vrchovině a ukázali, že většina let s nízkým radiálním přírůstem byla způsobena malým množstvím srážek a vysokými teplotami vzduchu, zejména ve vegetační sezoně. Nejvyšší pokles radiálního přírůstu byl zaznamenán v letech 1964 a 1993.

Několik prací se věnovalo sledování transpirace u řady dřevin či lesních porostů (smrk ztepilý; borovice lesní; opadavé stromy jako osiky, břízy a olše; dub zimní) na různých lokalitách v zahraničí i v České republice. Pomocí sledování toku mízy kmenem stromu odvozovali míru transpirace a vliv sucha na tento proces u různých dřevin. Tak Čermák et al. (1995) analyzovali míru transpirace a odhadovali vliv sucha na porosty smrku ztepilého a borovice lesní ve Švédsku. V jejich sledování transpirace pro stejné porosty pokračovali při dvouletém experimentu ve středním Švédsku Cienciala et al. (1998). Matejka et al. (2002) vyhodnocovali vliv půdního sucha na evapotranspiraci ve smrkové monokultuře ve vrcholových polohách Moravskoslezských Beskyd. Uvádějí, že transpirace hodnoce-

ného mladého smrkového porostu velmi citlivě reaguje na změny půdní vlhkosti (při suché půdě se výrazně snižuje transpirace). Vanasche (2011) studoval dynamiku toku mízy dubu zimního během suchých period 1976–1977 a 2007–2008 v Soběšicích. Ačkoliv fyziologie dubu zimního mu umožňuje růst i v suchých oblastech, pozoroval autor v roce 1976 výrazné snížení toku mízy v okamžiku, kdy sucho začalo být kritické. Oltchev et al. (2002), kteří vyhodnocovali transpiraci různých porostů na Valdaji v Rusku v letech 1999 a 2000, zjistili, že průměrná denní míra transpirace u opadavých stromů (osiky, břízy, olše) byla vyšší než transpirace smrků (v podmínkách, kdy zásoba vody v půdě nebyla limitní). Také se ukázalo, že sucho v horních vrstvách půdy snižuje transpiraci smrků více než u osik a bříz, a to díky fyziologickým rozdílům a odlišné vertikální distribuci kořenů. Nadezhdina et al. (2014) sledovali na lokalitě Olomučany průtok mízy u smrku ztepilého a douglasky tisolisté, u nichž vyhodnotili rozdílnou absorpci vody kořenovým systémem a následný tok mízy kmenem. Douglasku tisolistou ohodnotili jako druh využívající vodu z větších hloubek v půdě efektivněji než smrk, což jí umožňuje růst i během suchých epizod, kdy v půdě není dostatek vláhy.



Smrk ztepilý studovali ve svých pracích i někteří další autoři. Tak Penka a Červená (1984) sledovali změny v rezistenci na sucho u semen smrku ztepilého v závislosti na obsahu rozloženého dřeva v substrátu. Palátová (2004) se zaměřila na vliv stresu suchem (srážky menší o 60 %), stresu způsobeného zvýšeným obsahem dusíku v půdě a dále jejich kombinací na smrk ztepilý na lokalitách Bukovinka a Herálec. Sucho vyvolalo řadu negativních jevů: potlačený výškový nárůst a průměr kmene, redukováná délka jehlic, odlistění (defoliace), viditelné symptomy nedostatku (žloutnutí jehlic) a zhoršená celková vitalita. Negativní vliv sucha byl pro porost ve většině případů podstatnějším problémem než negativní vliv zvýšeného dusíku v půdě. Zajíčková et al. (2011) analyzovali vztah mezi dostupností vody a objemem kmene u smrku ztepilého v Brdech ve vegetační sezoně (duben–říjen) roku 2009. Průměrný roční přírůst na lokalitách s uměle oslabeným vodním režimem činil jen 1,92 mm, zatímco v lesním porostu bez vlivu na vodní režim to bylo 12,97–21,33 mm.

Kula a Jankovská (2013) při analýze příčin požárů v České republice zjistili jejich vyšší výskyt v suchých letech s podprůměrnými srážkami. Zvláště sucho během jara napomáhá zvýšení počtu požárů jako například v letech 1974, 1976, 1979 a 1981. Pokud jde o četnost lesních požárů ve vegetační sezoně, existuje jejich zjevná vazba na klimatické podmínky plynoucí ze situace suchých let (například roky 1992 a 2003). Zahradníček et al. (2014) zjistili nejvyšší počet lesních požárů za posledních 15 let v extrémně suchém období srpna 2011 až května 2012. Výskyt ničivých požárů vyhodnocovali pomocí indexu nebezpečí požáru, který stanovili Možný a Bareš (2013). Toman et al. (2002) při hodnocení vlivu predikované klimatické změny na lesnictví uváděli právě nárůst nebezpečí výskytu lesních požárů a půdní eroze. Dále konstatovali větší ohrožení lesů znečištěným ovzduším a obecně i úbytek lesů.

Nověji se vlivem klimatické změny na lesní porosty v České republice zabývali Hlásný et al. (2011). Podle jejich závěrů se sucho velmi pravděpodobně stane klíčovým limitujícím faktorem pro lesní porosty v nižších polohách. Naproti tomu rostoucí teplota vzduchu spolu s prodloužením vegetační sezony ve vyšších polohách může být pro lesní společenstva prospěšná. Zvýšené teploty a suché periody budou příznivé pro dva klíčové lesní škůdce — lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) a bekyni velkohlavou (*Lymantria dispar*). Lze proto očekávat zvýšení počtu generací v rámci sezony v případě lýkožrouta smrkového a rozšíření hranice kalamitních výsky-

tů bekyně velkohlavé. V další práci se Hlásný et al. (2014) věnovali možné dynamice lesů v podmínkách změny klimatu ve střední Evropě a vypracovali systém opatření k adaptaci lesů na klimatickou změnu. Vzhledem k předpokládanému vývoji klimatu bude vhodné zvýšit pěstování dřevin tolerujících sucho a dále využívat oblasti vůči suchu rezistentní. Autoři zdůrazňují rovněž potřebu orientovat pěstování a hospodářskou úpravu lesů spíše na management rizik než na maximalizaci produkce.

### 2.2.3 Dopady sucha v hydrologii a vodním hospodářství

Pokud jde o hydrologické sucho (obr. 10), objevila se řada prací v souvislosti s workshopy zaměřenými na problematiku extrémních hydrologických jevů v povodích, organizovaných pravidelně od roku 1999 Českým vysokým učením technickým (ČVUT) a Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností (ČSVTVHS) v Praze a doprovázených vydáním sborníků referátů. Za zásadní mezi tam publikovanými pracemi lze považovat studii Kašpárka a Novického (1999), kteří shrnuli poznatky o metodách hodnocení hydrologického sucha, charakterizovali tehdejší stav výzkumů v České republice a formulovali závěry pro další studium hydrologického sucha. Kašpárek (2000) se rovněž věnoval analýze hydrologického sucha v povodích horní Metuje a Orlice na základě analýzy nedostatkových objemů, kdy období s průtokem pod zvolenou prahovou hranici je chápáno jako hydrologické sucho. Kříž (2002) diskutoval příčiny a důsledky hydrologického sucha v režimu podzemních vod. Řiřicová et al. (2003) hodnotili hydrologické sucho roku 2003 pro vybraná povodí v České republice podle denních minimálních průtoků, nedostoupení nedostatkových objemů a trvání deficitního období. Hodnocení téhož sucha se věnoval také Elleder (2003) na základě N-denních minimálních ročních průtoků a odpovídajících čar opakování, který studoval sucho roku 2003 v kontextu dlouhé řady průtoků v Děčíně i některých epizodických zpráv z dokumentárních pramenů. Ve vztahu k suchu je také práce Podlahy (2003), která hodnotila vliv geografických faktorů na režim minimálních průtoků na 104 malých povodích v období 1971–2000. Kašpárek (2005) analyzoval extrémní pokles průtoků na horní Metuji v roce 2004, který přičítal poklesu zásob podzemní vody, sezonnímu rozložení srážek a vzestupu potenciální evapotranspirace. Několik studií se zabývalo také analýzou minimálních denních průtoků  $Q_{300d}$ ,  $Q_{330d}$  a  $Q_{355d}$  v České republice (Kulasová et al., 2008) a na vybraných

povodích v severních Čechách (Romportl, Bubeníčková, 2008; Bubeníčková, Kulasová, 2010; Kulasová, Bubeníčková, 2010). Kroulík a Králová (2012) se ve stručnosti dotkli řešení problematiky sucha v současné legislativě České republiky a v dokumentech Evropské unie. Treml (2012) hodnotil největší hydrologická sucha 20. století a konstatoval, že novodobá sucha z devadesátých let minulého století a z roku 2003, v nichž došlo k významnému poklesu průtoků, nedosáhla extremity velkých suchých epizod z let 1953, 1947 a 1921. Fendeková et al. (2013) analyzovali pomocí metody prahové hodnoty a „sequent peak“ algoritmu hydrologické sucho v řadách průtoků a podzemního odtoku Rakovnického potoka, Metuje a Teplé v Čechách spolu s dalšími třemi toky na Slovensku. Jen na úrovni obecných proklamací a znalostí o suchu se nese příspěvek Liptáka a Dočkala (2013), který neuvádí nic ze slibované predikce sucha v povodích České republiky.

Hydrologické sucho bývá analyzováno také v návaznosti na příčinné meteorologické sucho. Tak je tomu v práci Kakose a Müllera (2004), kteří se podrobně zabývali analýzou hydrometeorologického sucha v Čechách od roku 1851. Problematice časové a prostorové variability sucha hodnocené metodou nedostatkových objemů na základě hydrologických řad 118 stanic od roku 1931 a předpokládaných změn v kontextu možné klimatické změny v podmínkách České republiky se věnuje obsáhlá publikace Vlnase et al. (2010). Epizody sucha na Třeboňsku, proti nimž „se lidé nemohli téměř nijak bránit“, se okrajově dotkla i práce Nováka (2011), zaměřená hlavně na povodně v letech 1890–2009. Treml (2011) analyzoval podle údajů 13 klimatologických a 7 vodoměrných stanic v České republice v období 1875–2010 největší meteorologická a hydrologická sucha, připadající podle jejich významnosti na roky 1953, 1959, 1947, 1921, 1983 a 1904. Epizody sucha mohou v podmínkách budoucí klimatické změny komplikovat hospodaření s vodou, jak ukazují závěry Boráka a Foltýna (2011) pro léta 2071–2097 v povodí Moravy a Dyje, kde by mělo dojít ke snížení zabezpečení minimálních zůstatkových průtoků na vodních tocích a poklesu nadlepšovacích průtoků u současných vodních nádrží v suchých obdobích běžného roku.

Nověji byl problematice sucha věnován také soubor referátů přednesených na odborném semináři



**Obr. 10.** Jedním z projevů hydrologického sucha je výrazný pokles vodních stavů nebo přímo vysychání vodních toků. Pohled proti proudu na vyschlé koryto řeky Veličky dne 1. září 2012 v blízkosti mostu silnice z Hroznové Lhoty do Kněždubu (foto P. Pařil)

**Figure 10.** Upstream view of the dried-up bed of the River Velička on 1 September 2012, near the Hroznová Lhota–Kněždub road bridge. A considerable fall in water levels, even to the point that watercourses dry up, is a typical manifestation of hydrological drought (photo P. Pařil)

s názvem Sucho a jak mu čelit, konaný v Praze dne 15. května 2013, které pokrývají široký okruh problémů: hydrologické sucho a jeho projevy, opatření k omezení důsledků sucha a ekologické aspekty sucha. S ohledem na zaměření této monografie zasluhuje pozornost několik publikovaných příspěvků. Tak Elleder (2013) se věnoval analýze hydrologického sucha z roku 1904. Vlnas et al. (2013) navrhli systém monitoringu a hodnocení hydrologického sucha. Soukalová a Muzikář (2013b) se zabývali periodicitou a předpovědí výskytu sucha v podzemních vodách. Pechková (2013) diskutovala problematiku dlouhodobé předpovědi srážek a meteorologického sucha.

# 3. VÝCHOZÍ ÚDAJE A METODY PRO STUDIUM SUCHA

Ke studiu a popisu sucha jako velmi komplexního jevu byla a je používána celá řada nejrůznějších indexů, vycházejících zpravidla z meteorologických (například množství srážek, teplota vzduchu, evapotranspirace) a hydrologických (například průtoky) veličin. Některé z indexů aplikovaných u nás byly již zmíněny a definovány v kap. 2.2. Z nich stojí za zmínku zejména Langův dešťový faktor (Brablec, 1948; Minář, 1948a; Brázdil et al., 2007a; Tolasz et al., eds., 2007) nebo hydrotermický koeficient Seljaninova (Brablec, 1949; Kurpelová et al., 1975), které byly mnohdy používány zejména pro svoji jednoduchost. Navíc aplikace teploty vzduchu ve vztahu ke srážkám měla nahrazovat chybějící údaje o potenciální evapotranspiraci, která s hodnotami teploty vzduchu zčásti koreluje.

Pro detekci, sledování a hodnocení epizod sucha se sestavují rozmanité indexy, vyvinuté v několika vědních disciplínách, z nichž žádný nemá všeobecnou platnost. Například podle Niemejera (2008) existuje v literatuře více než 80 takových indexů a jejich celkový počet pak odhaduje na dvojnásobek. Přehled o části používaných indexů, jejichž klasifikacemi a kritickým hodnocením se zabývali například Heim (2000, 2002), Vogt a Somma (2000) nebo Wu et al. (2007), podává tabulka 1. Pro odstranění případných nedorozumění jsou zde jejich názvy uvedeny v anglickém jazyce, přičemž české ekvivalenty jsou zmiňovány jen u těch, které jsou dále uváděny v této kapitole.

K výpočtu výše zmíněných indexů a vlastního studiu sucha na území českých zemí v současnosti i v minulosti mohou být využity různé typy údajů. V posledním tisíciletí před začátkem přístrojových meteorologických a vodoměrných pozorování se to týká zejména dendrochronologických údajů, patřících mezi přírodní nepřímá (proxy) data, a dokumentárních pramenů, souvisejících s činností člověka. Údaje z období přístrojových meteorologických měření a vodoměrných pozorování jsou pak základem pro výpočet indexů sucha, ale meteorologické údaje mohou sloužit i pro validaci modelů pro výpočet sucha. V posledních desetiletích byla standardní měření na meteorologických a vodoměrných stanicích doplněna metodami dálkové detekce, které jsou

využitelné rovněž při studiu sucha. Tato kapitola podává podrobnou informaci o jednotlivých typech těchto údajů, včetně základních metod jejich zpracování.

## 3.1 PŘÍSTROJOVÁ METEOROLOGICKÁ POZOROVÁNÍ

První přístrojová meteorologická pozorování z českých zemí pocházejí až z 18. století, tedy později než z řady jiných evropských zemí, kde začala již v předcházejícím století (Brázdil et al., 2005b). Zaměřili se pouze na teplotu vzduchu a srážky jako dva klíčové meteorologické prvky pro konstrukci indexů sucha, pak před začátkem souvislých meteorologických pozorování se jedná o dochovaná měření teploty vzduchu v Zákupcech od lékaře Johanna Carla Rosta od 1. ledna do 31. března 1720 (Brázdil, Valášek, 2002), měření teploty vzduchu a srážek z pražského Klementina od ředitele observatoře Josefa Steplinga pro rok 1752 (*Stepling*), měření teploty vzduchu z Telče od lékaře Františka Aloise Maga z Maggu od 7. května 1771 do 9. března 1775 (Brázdil et al., 2002c) či měření srážek z Těšína od prefekta tamního gymnázia Leopolda Jana Šeršníka od ledna 1777 do ledna 1778 (Brázdil et al., 2008c). Od 1. ledna 1775 jsou již k dispozici systematická měření teploty vzduchu z Prahy-Klementina, na která navázala od 1. května 1804 i měření množství srážek (Pejml, 1975). Od 1. ledna 1803 začala systematická měření srážek v Brně, přičemž teploty vzduchu se zde pozorovaly již od 1. května 1799 (Brázdil et al., 2005c, 2006). Další podrobné informace o historii přístrojových meteorologických pozorování v českých zemích jsou uvedeny v práci Brázdila et al. (2012a).

Vedle Prahy-Klementina a Brna lze pro území České republiky najít několik dalších stanic s dlouhými pozorovacími řadami. Jedná se o stanice Bystřice pod Hostýnem, Čáslav, České Budějovice, Dačice, Havlíčkův Brod, Klatovy, Olomouc, Opava, Přerov, Šumperk, Tábor a Valtice (tab. 2, obr. 11). Základní období pozorování na těchto stanicích je dáno denními záznamy počasí dostupnými v archivu ČHMÚ, která byla dále do minulosti prodloužena na bázi měsíčních hodnot z publikovaných údajů v ročen-



**Tab. 1.** Vybrané indexy sucha používané k jeho studiu (upraveno podle Byuna a Wilhite, 1999, a Niemejera, 2008). U některých indexů je uvedeno, zda se hodí k hodnocení sucha meteorologického (m), hydrologického v povrchových (h) nebo podzemních (g) vodách či zda se jedná o komplexní index (c) (Vlnas, ed., 2013)

**Table 1.** Selected drought indices used in the study of drought (adapted from Buyn, Wilhite, 1999, and Niemej, 2008). Certain indices are given in terms considered more appropriate to meteorological drought (m), hydrological drought of surface (h) or underground (g) waters, or if they are of a more exhaustive character (c) (Vlnas, ed., 2013)

Zkratka	Sucho	Název indexu	Zkratka	Sucho	Název indexu
<b>ADI</b>	c	Aggregate Drought Index	<b>RDI</b>	m	Reconnaissance Drought Index
<b>Am</b>	m	De Martonne Aridity Index	<b>RSDI</b>	h	Regional Streamflow Deficiency Index
<b>API</b>	m	Antecedent Precipitation Index	<b>SAI</b>		Standardized Anomaly Index
<b>BFI</b>		Base Flow Index	<b>SCI</b>		Soybean Drought Index
<b>BMDI</b>		Bhalme-Mooly Drought Index	<b>SDI</b>		Sperling Drought Index
<b>CMI</b>	c	Crop Moisture Index	<b>SDI</b>	h	Streamflow Drought Index
-	m-h-g	Deciles	<b>SRI</b>	h	Standardized Runoff Index
<b>DFI</b>		Drought Frequency Index	<b>sPDSI</b>	c	Self-calibrated Palmer Drought Severity Index
<b>DSI</b>		Drought Severity Index	<b>SPEI</b>	m	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
<b>EDI</b>	m	Effective Drought Index	<b>SPI</b>	m	Standardized Precipitation Index
<b>ETDI</b>		Evapotranspiration Deficit Index	<b>SMDI</b>		Soil Moisture Deficit Index
<b>GRI</b>	g	Groundwater Resource Index	<b>SMDI</b>		Soil Moisture Drought Index
<b>NDWI</b>		Normalized Difference Water Index	<b>SRWI</b>		Simple Ratio Water Index
<b>PHDI</b>	c	Palmer Hydrological Drought Index	<b>SWI</b>	g	Standardized Water Level Index
<b>PMDI</b>	c	Palmer Modified Drought Index	<b>SWSI</b>	c	Surface Water Supply Index
<b>Q90</b>		Low Flow Index	-	h	Threshold Level
<b>%N</b>	m-h-g	Percentage of Normal	<b>TCI</b>		Temperature Condition Index
<b>PAI</b>		Palfai Aridity Index	<b>VegDRI</b>		Vegetation Drought Response Index
<b>PDSI</b>	c	Palmer Drought Severity Index	-	h	WMO
<b>RAI</b>	m	Rainfall Anomaly Index	<b>WI</b>		Water Index
<b>RDI</b>	h	Reclamation Drought Index	<b>Z-index</b>	c	Palmer Moisture Anomaly Index

kách nebo z dokumentů dochovaných v zemských či okresních archivech. Zatímco měsíční srážkové úhrny jsou k dispozici pro všech 14 meteorologických stanic, měření teploty vzduchu existují pouze pro deset z nich. Na základě shromážděných metadata jednotlivých stanic provedli Brázdil et al. (2012a) homogenizaci těchto teplotních a srážkových řad s použitím metody PRODIGE — *PRO*cedure de *Dé*tectio*n d'In*homogénéité*s Gl*issées dans un *E*chantillon (Causinus, Mestre, 2004) a publikovali homogenizované měsíční, sezónní a roční řady do roku 2010. Tyto homogenizované sekulární řady byly dále využity k výpočtu indexů sucha uvedených v kap. 3.1.1.

K odstranění lokálních vlivů v jednotlivých řadách a k zesílení složky související s klimatickým

signálem stanovili Brázdil et al. (2012a) průměrné teplotní a srážkové řady pro české země s použitím homogenizovaných teplotních a srážkových řad výše zmíněných sekulárních stanic pro období 1800–2010, resp. 1804–2010. Pro výpočet průměrných řad byly nejdříve řady jednotlivých sekulárních stanic konfrontovány s řadami prostorových průměrů teploty vzduchu a srážek pro Českou republiku vypočítaných pro referenční období 1961–2000, pro které existuje nejlepší plošné pokrytí našeho území meteorologickými stanicemi (268 teplotních a 878 srážkových řad). Metoda kvantilové korekce byla použita ke konverzi originálních homogenních řad na statistické charakteristiky čtyřicetiletého průměru. V závislosti na kalibračním období 1961–2000 byla kaž-

**Tab. 2.** Základní data meteorologických stanic v České republice použitých v této studii (zeměpisná šířka, zeměpisná délka a nadmořská výška se vždy vztahují k poslední poloze stanice, na kterou byla prováděna homogenizace; T – teplota vzduchu, P – srážky) (Brázdil et al., 2012a)

**Table 2.** Basic data for the meteorological stations in the Czech Republic used in this study (latitude, longitude and altitude always relate to the last station location for which homogenisation was performed; T – air temperature, P – precipitation) (Brázdil et al., 2012a)

Stanice	Severní zeměpisná šířka	Východní zeměpisná délka	Nadmořská výška (m)	Prvek	Období
Brno	49°09'11''	16°41'20''	241	T	1800–2010
				P	1803–2010
Bystřice pod Hostýnem	49°23'47''	17°40'14''	314	T	1866–2010
				P	1872–2010
Čáslav	49°54'15''	15°23'44''	251	T	1843–2010
				P	1847–2010
České Budějovice	48°57'07''	14°28'17''	394	T	1882–2010
				P	1876–2010
Dačice	49°04'59''	15°26'04''	486	P	1864–2010
				T	1828–2010
Havlíčkův Brod	49°36'43''	15°34'47''	455	T	1828–2010
				P	1829–2010
Klatovy	49°23'26''	13°18'10''	425	P	1875–2010
				T, P	1876–2010
Olomouc	49°34'33''	17°17'04''	210	T, P	1876–2010
				T	1819–2010
Opava	49°55'11''	17°52'34''	270	T	1819–2010
				P	1857–2010
Praha-Klementinum	50°05'27''	14°25'09''	191	T	1775–2010
				P	1804–2010
Přerov	49°25'26''	17°24'23''	203	T, P	1874–2010
				P	1865–2010
Šumperk	49°58'27''	16°58'06''	328	P	1865–2010
				T	1875–2010
Tábor	49°26'10''	14°39'37''	459	T	1875–2010
				P	1873–2010
Valtice	48°44'28''	16°45'05''	210	P	1876–2010

dá sekulární řada statisticky upravena na svoji celou délku tak, aby měla vlastnosti regionální řady pro naše území. Hodnota mediánu z deseti takto upravených teplotních řad byla pak brána jako finální průměrná teplota vzduchu pro české země. Porovnáním jednotlivých korigovaných řad můžeme mimo jiné vyhodnotit statistickou nejistotu stanovení výsledné řady. Stejný postup pro srážky bral medián z hodnot 14 použitých srážkových řad. Výsledné průměrné řady jsou zčásti ovlivněny počtem použitých stanic, protože všechny stanice byly k dispozici až od roku 1883 pro teplotu vzduchu a od roku 1876 pro srážky. Pouze dvě stanice (Praha-Klementinum a Brno) byly k dispozici před rokem 1819 pro teplotu vzduchu a před rokem 1829 pro srážky.

Pro novější období od roku 1961 prezentujeme v této publikaci analýzy vycházející jednak z Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., eds., 2007), kde se po-

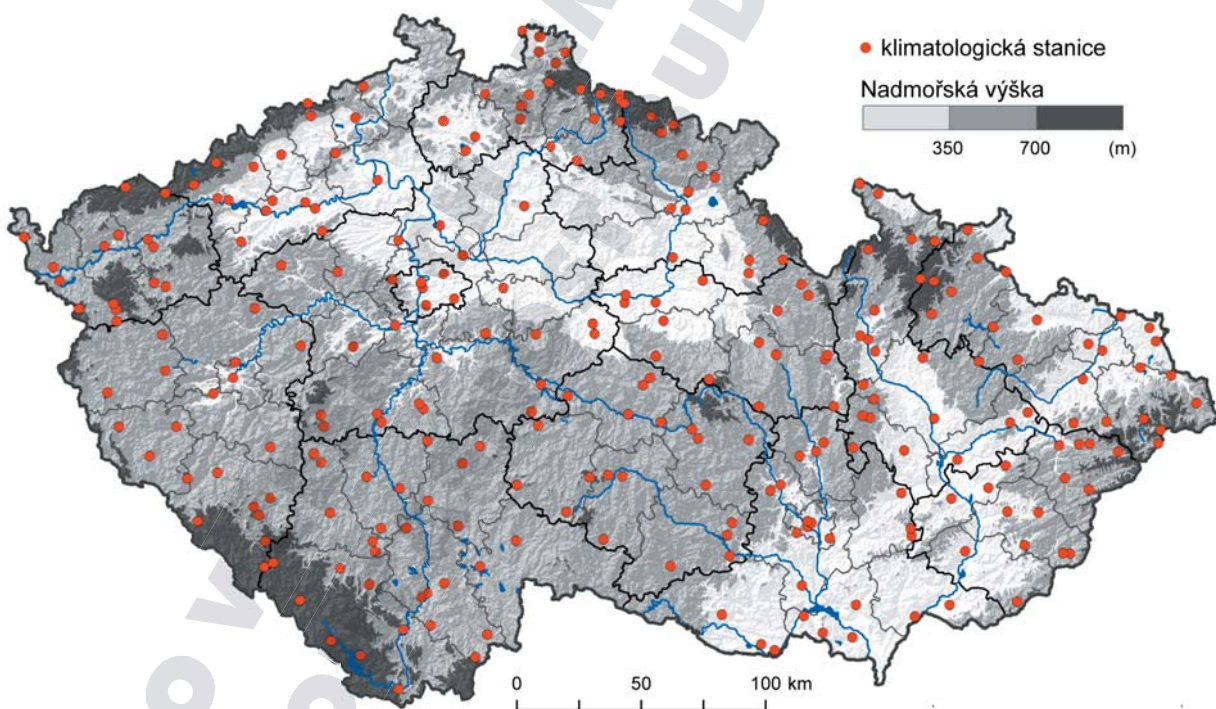
užívala data z období 1961–2000, a jednak doplněné údaje pro léta 1961–2014. Obrázek 12 ukazuje polohu 233 klimatologických stanic, které byly využity pro Atlas podnebí (jedna stanice připadá na 335 km<sup>2</sup>) a zahrnovaly průměrné měsíční teploty vzduchu a úhrny srážek (seznam těchto stanic viz například Trnka et al., 2009a). Výběr těchto stanic byl proveden z celkového počtu 782 dostupných meteorologických stanic na základě parametrů kvality a úplnosti pozorování. Údaje byly následně homogenizovány a byla provedena kontrola konzistence způsobem popsáným v pracích Tolasze (2002) a Tolasze et al., eds. (2007). Vybrané stanice se nacházejí ve výšce mezi 157 a 1490 m nad mořem a průměrná nadmořská výška všech stanic činí 435 m, což je téměř shodné s průměrnou hodnotou 430 m uváděnou pro Českou republiku (Český statistický úřad, 2005).





**Obr. 11.** Sekulární meteorologické stanice s homogenními teplotními a srážkovými řadami v České republice použité v této studii (Brázdil et al., 2012a)

**Figure 11.** Secular meteorological stations with homogeneous temperature and precipitation series in the Czech Republic used in this study (Brázdil et al., 2012a)



**Obr. 12.** Poloha 233 klimatologických stanic v České republice použitých ke konstrukci některých prezentovaných map. Území republiky je členěno podle nadmořské výšky do tří tříd, které přibližně vyjadřují také typy převládajícího využití ploch: pod 350 m – většinou intenzivní zemědělství; 351–700 m – méně intenzivní zemědělství (obvykle méně příznivé oblasti) a lesy; nad 700 m – s omezenou zemědělskou produkcí a většinou zalesněné (Trnka et al., 2009a)

**Figure 12.** Location of the 233 climatological stations in the Czech Republic used in the creation some of the maps presented herein. The three classes of elevation above sea level are designed to approximate to the different classes of dominant land-use in the region: below 350 m – mostly intensive agriculture; 351–700 m – less intensive agriculture (usually less favourable areas) and forests; above 700 m – limited agricultural production, largely forested (Trnka et al., 2009a)

Pro vyjádření co nejpřesnějšího odhadu půdní vlhkosti se v posledních letech upřednostňuje Penman-Monteithova metoda (Allen et al., 1998), jejíž výpočet v denním kroku vyžaduje informace o denní minimální a maximální teplotě vzduchu, sumě globálního záření, srážkových úhrnech, průměrné rychlosti větru a tlaku vodní páry. Zvláštní pozornost musí být věnována globálnímu záření (tj. krátkovlnnému záření o vlnové délce 300–3000 nm), které je klíčovým vstupním parametrem pro výpočet evapotranspirace. Hodnota globálního záření vycházela jak z přímých měření pyranometry pro 11 stanic (od roku 1983), tak z určení trvání slunečního svitu na více než 120 stanicích disponujících Campbell-Stokesovými heliografy, které měřily po celé období od roku 1961. Na základě dosavadních studií (například Trnka et al., 2005) byla hodnota globálního záření vypočtena Ångström-PreScottovou metodou (PreScott, 1940). Odpovídající řady byly homogenizovány a byla provedena kontrola jejich konzistence s pomocí programů AnClim a ProClim (Štěpánek et al., 2009; Brázdil et al., 2012a). Pro interpolace do základního gridu 500 x 500 m byla využita metoda lokální vážené regrese (kriging) se zohledněním nadmořské výšky (viz Šercl, Lett, 2002) se zahrnutím stanic v okruhu do 40 km v případě teploty vzduchu, globálního záření, rychlosti větru a tlaku vodní páry a v okruhu do 20 km v případě denních úhrnů srážek. Interpolace vycházela z tzv. technických řad, kterými rozumíme kompletní řady charakteristik klimatologických prvků po kontrole kvality, homogenizaci a po doplnění chybějících údajů (Štěpánek et al., 2011b).

### 3.1.1 Indexy sucha založené na meteorologických měřeních

Ze široké škály nejrůznějších indexů používaných k charakterizování sucha v domácí a zahraniční literatuře (viz také tabulka 1) jsou dále podrobněji popsány indexy sucha opírající se o meteorologické veličiny a použité v této monografii.

#### 3.1.1.1 Standardizovaný srážkový index

Hodnocení meteorologického sucha se opírá o analýzu množství srážek, k čemuž byla vyvinuta řada na nich založených indexů (například McKee et al., 1993; Byun, Wilhite, 1999). Z nich je nejčastěji používán standardizovaný srážkový index SPI (Standardised Precipitation Index), který umožňuje hodnotit sucho jen s použitím měsíčních nebo týdenních srážkových úhrnů. Index je definován jako normovaná hodnota úhrnu srážek za dané období, tedy SPI

má normální rozdělení  $N(0,1)$  (s nulovým průměrem a jednotkovou směrodatnou odchylkou). SPI lze určit pomocí vztahu

$$SPI = F^{-1}[G(\text{PREC})], \quad (1)$$

kde  $G$  je kumulativní distribuční funkce srážkových úhrnů (distribuční funkce je obvykle aproximována gama rozdělením) a  $F^{-1}$  je inverzí funkce normálního rozdělení  $N(0,1)$ . Distribuční funkce  $G$  vychází z dlouhodobé řady pozorování na dané stanici. Standardizovaný srážkový úhrn je přímo úměrný srážkovému deficitu a jeho hodnotu lze snadno vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu, případně v podobě bezrozměrného indexu, tj. SPI (podrobněji viz McKee et al., 1993). SPI pak nejčastěji (s pravděpodobností 95 %) nabývá hodnot v rozmezí  $\pm 1,96$ , přičemž záporné hodnoty indexu charakterizují období podprůměrných srážek.

Výchozím krokem při výpočtu SPI je nalezení funkce popisující rozložení měsíčních (týdenních, několikaměsíčních) srážkových úhrnů, přičemž se obvykle předpokládá, že je jí teoretické gama rozdělení (viz například McKee et al., 1993; Sönmez et al., 2005). Podle Lloyda-Hughese a Saundese (2002) je toto rozdělení vhodné pro studium sucha ve většině oblastí Evropy. Po odvození parametrů gama rozdělení je následně vypočtena kumulovaná pravděpodobnost srážkového úhrnu v daném měsíci a transformována na hodnotu odpovídající normálnímu rozdělení. Takto zjištěná veličina je pak hodnotou SPI pro daný měsíc.

SPI umožňuje uživatelům hodnotit výskyt krátkodobého (trvání jeden měsíc — SPI-1), střednědobého (od tří do 12 měsíců — SPI-3, SPI-12) a dlouhodobého meteorologického sucha (více než 12 měsíců). Protože SPI nevyjadřuje změny ve výparu nebo v teplotě vzduchu, je jen dobrým indikátorem nedostatku srážek (klíčový prekursor sucha), nikoliv však změn jiných komponent vláhové bilance. Z tohoto důvodu se používají další komplexnější indexy.

#### 3.1.1.2 Palmerův index intenzity sucha a Z-index

Palmerův index intenzity sucha PDSI (Palmer Drought Severity Index; Palmer, 1965) představuje jiný přístup k hodnocení sucha a je celosvětově široce aplikován ke kvantifikaci sucha (například Szinell et al., 1998; Lloyd-Hughes, Saunders, 2002; Ntale, Gan, 2003; Dai et al., 2004; van der Schrier et al., 2006, 2007; Dai, 2011a). Jeho výpočet vychází z vodní bilance studovaného území, která zahrnuje úhrn



srážek za sledované období (typicky jeden měsíc), aktuální obsah vody v půdě a výdejevou evapotranspirační složku (potenciální evapotranspirace) vypočtenou pomocí Thornthwaitovy metody (Thornthwaite, 1948). Palmer (1965) vyšel z předpokladu, že půdní profil je možné redukovat na dvě vrstvy — svrchní ornici a spodní vrstvu kořenovou. Dokud není ornici vrstva plně nasycena vodou, nedochází k perkolaci do vrstvy spodní. Povrchový odtok je do výpočtu indexu zahrnut až v okamžiku, kdy jsou obě půdní vrstvy nasyceny na hodnotu maximální retenční kapacity a zároveň je pokryt výdej vody evapotranspirací v příslušném měsíci. Protože PDSI reprezentuje kumulativní odchylky v přebytku nebo nedostatku vláhy na povrchu s ohledem na průměrné poměry dané lokality (Palmer, 1965), může být vhodným indikátorem epizod dlouhodobého sucha.

Na základě klimatologické analýzy zkoumané lokality či území zavedl Palmer (1965) pojem „klimatologického optima pro dané podmínky“, který umožňuje odvodit bezrozměrnou hodnotu indexu a porovnávat ji s údaji z jiných stanic či období. Stanovení indexu začíná odvozením složek vodní bilance a v konečné fázi je rozdíl mezi skutečnými srážkami a hodnotou klimatologického optima převeden na bezrozměrné číslo (Palmer Moisture Anomaly Index), označované jako Z-index. Jde tedy o odchylku srážek od klimatologického optima v konkrétním měsíci bez ohledu na stav vodní bilance v předcházejícím období. Z-index tak může být použit k charakterizování sucha na měsíční bázi, neboť reaguje relativně rychle na změny v půdní vlhkosti (Karl, 1986). Tato skutečnost způsobuje, že je vhodným indikátorem výskytu krátkodobého sucha.

Originální měsíční PDSI založený na empirických konstantách, předpokládaných půdních vlastnostech a klimatologických charakteristikách odvodil Palmer (1965) na základě údajů devíti stanic v amerických státech Kansas a Iowa. Nověji Wells et al. (2004) modifikovali původní Palmerův model tak, že předchozí empirické konstanty jsou odvozeny pro každé studované místo automaticky ze vstupních dat, tedy jde o samostatně kalibrovanou (self-calibrated — sc) verzi Z-indexu a PDSI. Hodnoty scPDSI na dané lokalitě pak kolísají mezi  $-4,0$  a  $4,0$ , přičemž sucho je reprezentováno zápornými hodnotami indexu a průměrná hodnota scPDSI je nulová.

### 3.1.1.3 Standardizovaný srážkový evapotranspirační index

Standardizovaný srážkový evapotranspirační index SPEI (Standardised Precipitation Evapotranspiration

Index) byl zaveden v práci Vicente-Serrana et al. (2010) s cílem zdokonalit koncept SPI. SPEI používá měsíční diference mezi srážkami a potenciální evapotranspirací (PET) v jednoduché klimatické vodní bilanci (Thornthwaite, 1948), tedy jde o tutéž metodu aplikovanou ve výpočtech PDSI a Z-indexu pro různé časové škály. Hodnota PET může být počítána buď pomocí fyzikálně-založené metody Penman–Monteitha (PMM) nebo modely založenými na empirických vztazích, kde PET se počítá s menšími požadavky na dostupné údaje. I když PMM představuje preferovaný přístup, potřebuje taková data jako například sluneční záření, rychlost větru nebo vlhkost vzduchu, která nejsou dostupná pro některá ze studovaných míst ve 20. století a kompletně chybí před dvacátými léty tohoto století. Mavromatis (2007) ukázal, že použití jednoduchých nebo komplexnějších metod výpočtu PET dává podobné výsledky při výpočtech indexů sucha (jako je PDSI). Na druhé straně, pochyby existují o použití PDSI pro projekce klimatu (Hoerling et al., 2012). Bez ohledu na možnost využít PMM při výpočtu SPEI, vychází tato monografie z originálního postupu ze studie Vicente-Serrana et al. (2010), založeného na metodě Thornthwaite (1948), která vyžaduje pouze průměrné měsíční teploty vzduchu. Počítaná diference mezi srážkami a PET pro daný měsíc je pak jednoduchou mírou odpovídajícího přebytku nebo deficitu vody. Získané diference mohou být agregovány pro různé časové škály od jednoho do několika měsíců, podobně jako u SPI (viz kap. 3.1.1.1). Průměrná hodnota SPEI je rovna nule a směrodatná odchylka jedné. SPEI jako normovaná veličina může být porovnávána s jinými hodnotami SPEI pro různá místa a období. Hodnota  $SPEI = 0$  indikuje veličinu odpovídající 50 % kumulativní pravděpodobnosti srážek a diference PET podle teoretického log-logistického rozdělení.

### 3.1.1.4 Souhrnný indikátor sucha

Ve studiích Brázdila et al. (2007a) či Tolazse et al., eds. (2007) bylo několik indexů sucha integrováno do jednoho ukazatele označeného jako souhrnný indikátor sucha (SIS), který vyjadřoval procentuální podíl měsíců náležejících do suché epizody v období 1961–2000. To umožnilo nejen porovnávat výsledky jednotlivých indexů, ale zároveň agregovat získané informace do jediného komplexního indikátoru. Indikátor v sobě kombinuje rovněž dva různé přístupy k hodnocení meteorologického sucha (tj. bilanční model a normovaný srážkový deficit). Jde tak o poměrně robustní nástroj pro hodnocení klimatologie sucha na zvoleném území, jehož prezentace je

zároveň jednodušší než současné hodnocení sucha pomocí několika indexů. V této monografii prezentujeme některé z podkladů vypočtených na základě SPI-1, SPI-12, Z-indexu a PDSI. Do výpočtu tak byly zahrnuty jak indikátory dlouhodobých epizod sucha (SPI-12 a PDSI), tak indikátory epizod s délkou trvání alespoň jeden měsíc.

### 3.1.2 Modelování půdní vlhkosti a výskytu sucha

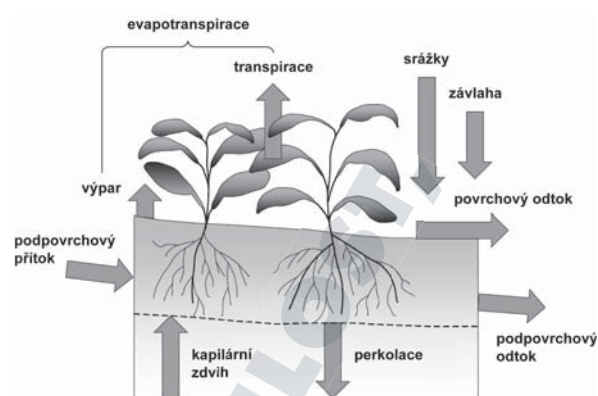
Informace o obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostliny může být získána pomocí řady různých metod a principů. Ať se již jedná o gravimetrickou metodu (porovnání hmotnosti půdy po odběru vzorku a po jeho následném vysušení), měření sacího tlaku půdy tenzometrem či některou z tzv. nepřímých metod (například měření dielektrických vlastností půdního prostředí), jde o postupy, které jsou vzhledem k jejich pracnosti, nákladnosti a náročnosti na vybavení vázány pouze na lokální podmínky v rámci sledovaných stanovišť. Pomocí zmíněných metod jsou sice získávány velmi cenné údaje, avšak díky výše uvedeným okolnostem nelze jimi prakticky provádět kontinuální měření v hustých sítích, které by byly dostatečně reprezentativní pro celé regiony, státy či kontinenty v rozlišení jednotek kilometrů až stovek metrů.

V případech, kdy je třeba získat informaci o pravděpodobném obsahu půdní vláhy z míst, která nejsou vybavena měřicí technikou (od úrovně lokalit až po rozsáhlé regiony), mají svůj nezastupitelný význam matematické modely půdní vlhkosti. Tyto nástroje vycházejí z definice a kvantifikace jednotlivých složek vodní bilance půdního profilu, případně jeho jednotlivých vrstev (obr. 13). Například Allen et al. (1998) definují vodní bilanci půdy pomocí vztahu:

$$\Delta SW = P + I \pm RO + CR - DP \pm SF - ET. \quad (2)$$

Podle něho je změna obsahu půdní vláhy za sledované období  $\Delta SW$  určena jako výslednice úhrnu srážek  $P$ , množství vody dodané prostřednictvím závlah  $I$ , bilancí povrchového přítoku a odtoku  $RO$ , úhrnu dodané vody prostřednictvím kapilárního zdvihu  $CR$ , ztrátou vody perkolací do hlubších vrstev  $DP$ , bilancí podpovrchového přítoku a odtoku  $SF$  a evapotranspirací  $ET$ . Zmíněné veličiny mohou být uvedeny v milimetrech vodního sloupce (jeden milimetr vodního sloupce odpovídá objemu jednoho litru vody na metr čtvereční).

Aktuální půdní vlhkost  $SW_i$  pak odpovídá hodnotě půdní vlhkosti předešlého okamžiku  $SW_{i-1}$ ,



Obr. 13. Vodní bilance půdní vody (upraveno podle Allen et al., 1998)

Figure 13. Soil water balance (adapted from Allen et al., 1998)

kteřá je upravena o změnu půdní vlhkosti za daný časový úsek  $\Delta SW$ . Nezbytným vstupem pro tyto bilanční výpočty je známý úhrn srážek za konkrétní časový úsek (údaj naměřený srážkoměrem nebo interpolovaný pro danou lokalitu na základě dat z okolních srážkoměrných stanic). Kromě srážek může hrát významnou úlohu na konkrétních lokalitách i aplikace závlah. Obě tyto příjmové složky vodní bilance půdy mohou být redukovány povrchovým odtokem, který může být odhadnut na základě znalosti topografie modelované lokality, vegetačního pokryvu, obsahu vody v půdě a úhrnu či intenzity srážky. Určitá část srážkové a závlahové vody může být zachycena intercepčí na nadzemní části porostu a nedopadne na povrch půdy. Tato voda se pak dostává zpět do atmosféry díky výparu, aniž by předtím byla v půdě či využita rostlinou. Takovéto množství vody bývá v rámci vodní bilance započítáno jako součást evapotranspirace. S kapilárním zdvihem jako příjmovou složkou vodní bilance se můžeme zpravidla setkat na lokalitách s vyšší hladinou podzemní vody a při větším zastoupení jemnozrných částic. V případě půd s vyšším obsahem jílových a prachových částic, středním obsahem vlhkosti a hladinou vody 2 m pod povrchem může úhrn kapilárního zdvihu do vrstvy ornice dosahovat hodnot až 2 mm za den. Naopak ke ztrátě vody perkolací dochází v případech, kdy je retenční kapacita půdy zcela zaplněna a v důsledku dalšího výskytu srážek se tato voda přesouvá do hlubších vrstev nebo laterálně odtéká v podobě podpovrchového odtoku. Zde je však nutné dodat, že modely půdní vlhkosti často laterální podpovrchový přítok a odtok zanedbávají. Poslední velmi významnou složkou vodní bilance půdy je ztráta vody v důsledku výparu (eva-

porace) a transpirace, tedy výparu vody, která fyziologicky prošla rostlinami. V praxi se často tyto dvě složky vyhodnocují souhrnně v podobě evapotranspirace  $ET$ . Úhrny  $ET$  za různě dlouhá časová období lze měřit například pomocí lyzimetrů (tj. nádob naplněných půdním substrátem s vegetací na povrchu nebo bez ní, které jsou konstruovány k přesnému stanovení složek vodní bilance) či nepřímo prostřednictvím mikrometeorologických metod, jako je například metoda Bowenova poměru (poměr mezi tokem turbulentního a latentního tepla, spotřebovaného k přeměně vody na páru) a energetické bilance, metody eddy kovariance (přímého měření toku vodních par) či pomocí scintilometrů (optické zařízení pro určení složek energetické bilance rozsáhlejších povrchů). Hodnoty  $ET$  lze ale odvozovat i s pomocí dostupných modelů.

Pro další teoretické i praktické využití byla definována tzv. referenční evapotranspirace  $ET_0$ , která by probíhala za daných meteorologických podmínek, pokud by vegetační pokryv představoval hypotetický travní porost. Tento tzv. referenční travní porost je uměle udržován na konstantní výšce 12 cm, zajišťující určitou míru ventilace spolu s konstantní listovou plochou, a je charakterizován hodnotou albeda 0,23. Není limitován půdní vláhou či živinami a není ani vystaven žádným jiným stresovým faktorům, které by limitovaly jeho potenciální fyziologickou aktivitu definovanou mírou stomatární vodivosti (Allen et al., 1998). Denní úhrny  $ET_0$  lze odvodit například na základě vzorce Penman-Monteitha, který je v současné době jedním z nejpoužívanějších:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34u_2)}, \quad (3)$$

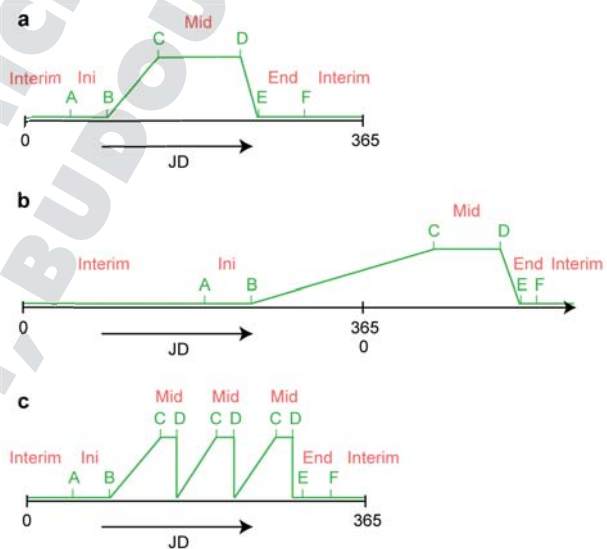
kde  $ET_0$  je denní úhrn referenční evapotranspirace referenčního travního porostu ( $\text{mm.den}^{-1}$ ),  $\Delta$  je sklon tečny křivky vodních par pro danou teplotu ( $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $Rn$  je denní suma krátkovlnné a dlouhovlnné radiační bilance daného povrchu ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$ ),  $G$  je denní suma toku energie do půdy ( $\text{MJ.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$ ),  $\gamma$  je psychrometrická konstanta ( $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $t$  je průměrná denní teplota vzduchu ( $^\circ\text{C}$ ),  $u_2$  je průměrná rychlost větru ve dvou metrech nad zemí ( $\text{m.s}^{-1}$ ),  $e_s$  je tlak nasycených vodních par ( $\text{kPa}$ ) a  $e_a$  je aktuální tlak vodních par ( $\text{kPa}$ ). Hodnota  $ET_0$  je přímo úměrná množství dostupné energie ( $Rn - G$ ), kde dominantní složkou během růstové sezony představuje sluneční energie, dále denní teplotě vzduchu, rychlosti větru a v neposlední řadě i velikosti systost-

ního doplnku ( $e_s - e_a$ ), který vyjadřuje míru nasycení vzduchu vodními parami.

Evapotranspiraci konkrétního vegetačního povrchu (případně výpar z povrchu holé půdy) při zohlednění dostupnosti půdní vláhy nazýváme aktuální evapotranspirací  $ETa$  a můžeme ji vyjádřit například podle vztahu:

$$ETa = ET_0 Kc Ks, \quad (4)$$

kde  $Kc$  je koeficient popisující vlastnosti aktuálního povrchu vzhledem k referenčnímu travnímu porostu a  $Ks$  je koeficient vyjadřující dostupnost půdní vody pro evapotranspiraci. Parametr  $Kc$  se v průběhu vegetační sezony mění zejména na základě stavu listové plochy. Obrázek 14 uvádí příklad jeho vývoje pro jarní plodinu, ozimou plodinu a pravidelně sečenou travu. Jednotlivé typy vegetačního krytu (případně holá půda) se pak liší délkou charakteris-



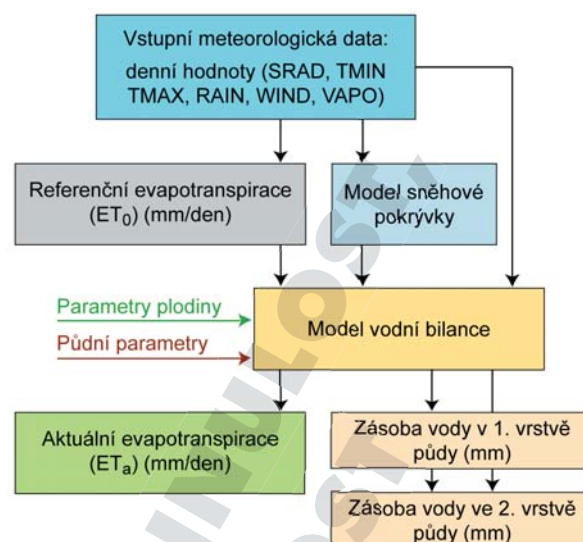
**Obr. 14.** Ukázka vývoje parametru  $Kc$  (zeleně) pro jarní plodinu (a), ozimou plodinu (b) a travní porost sečený třikrát v průběhu vegetace (c). Ve vodorovném směru je vyjádřena časová osa (JD – pořadí dnů v roce podle Juliánského datování). Hodnoty  $Kc$  jsou definovány pro období před založením porostu (Interim), od založení porostu do vzejití (Ini), zapojeného porostu do zralosti (Mid) a od sklizně po zpracování půdy (End). Jednotlivá období jsou definována pomocí zlomových bodů A–F, jejichž načasování je řízeno na základě zadaných sum denních průměrných teplot vzduchu

**Figure 14.** Development of the  $Kc$  parameter for the spring crop (a), winter crop (b) and fodder crop with three mowings per year (c). The duration (JD – number of days per Julian calendar year) is shown in the horizontal plane.  $Kc$  is defined for the period before sowing (Interim), from sowing to emergence (Ini), for the period of effective full cover (Mid) and from harvest to tillage (End). The duration of the phases is defined by the break-points A–F, based on temperature sums



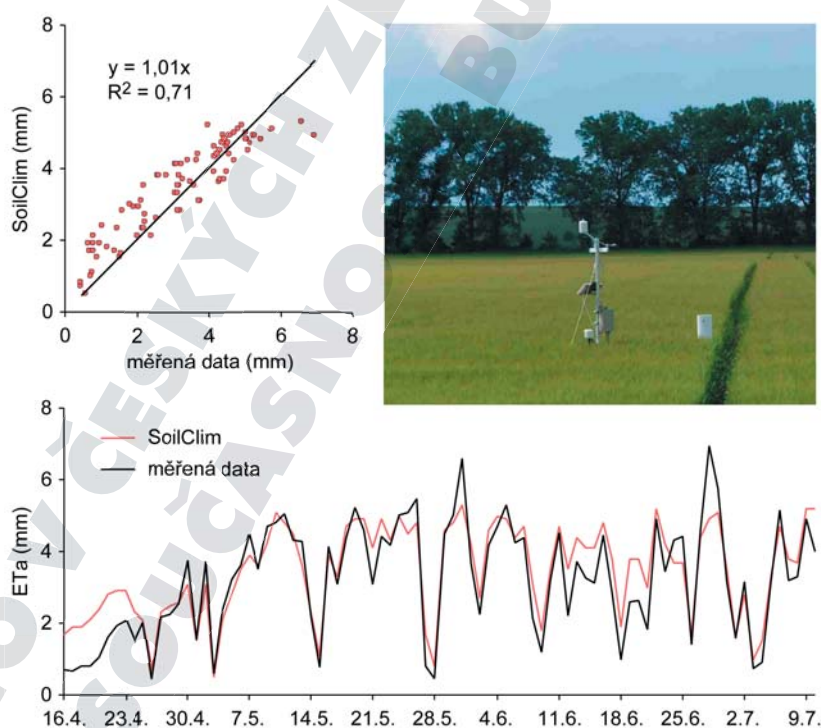
tických období i samotnými hodnotami  $K_c$ . Například u kukuřice v období C–D bývají použity hodnoty parametru  $K_c$  okolo 1,2, pro pšenici a ječmen ve stejném období 1,15 a pro jehličnany 1,0 (u nepadavých jehličnanů toto platí pro celý rok). Druhý parametr  $K_s$  nabývá hodnot od jedné (v půdě je voda v dostatečném množství, stav se neprojevuje redukcí evapotranspirace) do nuly (v půdní vrstvě není pro rostliny žádná dostupná voda). Pokud půdní vlhkost klesne pod specifickou hranici, začne se parametr  $K_s$  postupně zmenšovat. Tento pokles redukuje hodnoty  $ET_a$  a v určitém případě postupného vyčerpání půdní vláhy dochází až k dosažení tzv. bodu trvalého vadnutí (v tento moment již rostliny nejsou schopny překonat sací tlak půdy), kdy  $K_s$  je roven nule a  $ET_a$  je zastavena.

Výše uvedené mechanismy využívá například model SoilClim, který byl za účelem odhadu půdní vlhkosti v denním kroku vyvinut na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie na Mendelově univerzitě v Brně (Hlavinka et al., 2011). Tento nástroj je složen z několika skupin algoritmů, které jsou uspořádány do samostatných modulů (obr. 15). Mezi specifika tohoto modelu patří například zohlednění předpokládaného výskytu sněhové pokrývky,



**Obr. 15.** Schéma modelu SoilClim  
**Figure 15.** The SoilClim model

kdy voda vstupuje do půdy až v případě jejího tání (Trnka et al., 2010), nebo rozdělení půdního profilu na dvě vrstvy, jejichž hloubku může uživatel podle potřeby modifikovat. Jako vstupní proměnné využívá model denní meteorologické údaje (suma slunečního záření — SRAD, maximální a minimální



**Obr. 16.** Porovnání denních hodnot aktuální evapotranspirace  $ET_a$  ječmene jarního, naměřených pomocí metody Bowenova poměru a energetické bilance, a hodnot  $ET_a$  vypočtených modelem SoilClim (období 16. dubna–10. července 2011). Fotografie dokumentuje měřicí systém na lokalitě Polkovic

**Figure 16.** Measured versus SoilClim-estimated daily values of actual evapotranspiration  $ET_a$  of spring barley at the Polkovic station (from 16 April 2011 to 10 July 2011): Bowen ratio and energy balance (BREB) measurements employed for  $ET_a$  observation

teplota vzduchu — TMAX, TMIN, relativní vlhkost vzduchu nebo tlak vodní páry — VAPO, rychlost větru — WIND a úhrn srážek — RAIN). Dále je nutné specifikovat dynamiku vývoje vegetačního krytu. K tomuto účelu se využívá definovaných sum průměrných denních teplot vzduchu pro dosažení zlomových bodů vývoje E–F (viz obr. 14) a vlastnosti vegetačního krytu jsou doplněny o úroveň parametru  $K_c$  pro klíčová období. Kromě toho je nutné ještě definovat půdní vlastnosti, tedy hloubku modelovaných vrstev (například první vrstva 0–40 cm a druhá vrstva 40–100 cm) a jejich retenční schopnost (v mm vodního sloupce). V rámci výpočtu je pak třeba zadat počáteční podmínky pro první den modelovaného období. Mezi základní výstupy modelu patří odhadovaný obsah půdní vody v jednotlivých vrstvách, ale také úhrn aktuální evapotranspirace pro daný den.

Nastavení parametrů vegetačního krytu se opírá o údaje dostupné z literatury nebo je možné zohlednit specifika lokálních podmínek a vegetačního krytu, například na základě relevantních naměřených dat ( $ET_a$ , půdní vlhkost, nástup vývojových fází). Před vlastní aplikací modelu je však nutná jeho validace (ověření s využitím dostatečně velkého a nezávislého vzorku dat) a v případě nepřesných výsledků provedení jeho přenastavení (rekalibrace). Ukázka výsledků validace pro porost ječmene jarního s využitím údajů o aktuální evapotranspiraci je zachycena na obrázku 16. Následující obrázek 17 je příkladem validace s využitím detailního kontinuálního měření půdní vlhkosti v průběhu několika let.

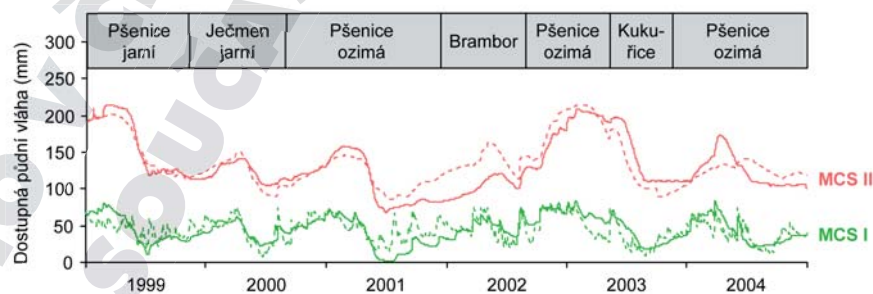
V případě dosažení uspokojivých výsledků v průběhu validace modelu je možné tento nástroj následně aplikovat například pro odhad  $ET_a$  či půdní vlhkosti v oblastech či obdobích, pro která není nebo nebyla dostupná specifická měřicí technika, ale pou-

ze základní vstupní meteorologické údaje (viz výše). Tímto způsobem lze odhadovat složky vodní bilance (v případě modelu SoilClim v denním kroku). Obrázek 18 zachycuje modelem SoilClim odhadovaný obsah půdní vlhkosti dosažitelné rostlinám pro konkrétní den. Tato informace je díky dostupnosti vstupních údajů pro model (včetně meteorologických) v rozlišení 500 x 500 m k dispozici pro celé území České republiky (Trnka et al., 2015a).

### 3.2 PŘÍSTROJOVÁ VODOMĚRNÁ POZOROVÁNÍ

Podobně jako v případě meteorologických měření, i nejstarší vodoměrná pozorování pocházejí z Prahy. Podle Novotného (1963) byla první vodočetná stanice na řece Vltavě v Praze zřízena městskou správou v roce 1825 v profilu Staroměstského jezu.<sup>21</sup> Stanice byla umístěna na pravém břehu u Staroměstských mlýnů. Na zaberaněné dřevěné pilotě byla nasazena kamenná podkladní deska v úrovni koruny jezu, což byl nulový bod vodočtu. Od něho se odečítaly dělenou tyčí výšky vodní hladiny. Není známo, kdy byl na nábrežní zdi upevněn dřevěný laťový vodočet. Vodní stavy se zaznamenávaly jednou až třikrát denně, přičemž pozorování vykonával personál městského hospodářského úřadu a potom zaměstnanci městské vodárenské kanceláře. Protože z těchto měření nebylo možné jednoznačně vyjadřovat prů-

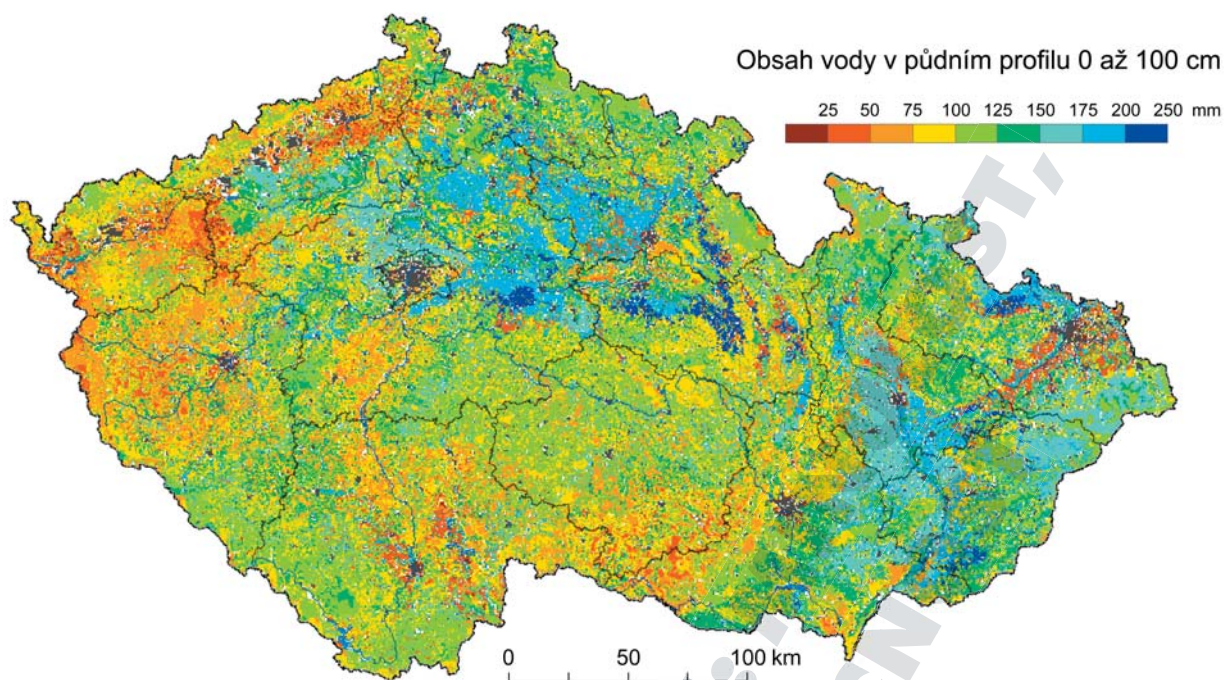
<sup>21</sup> Z poznámek ke klementinským pozorováním z let 1775–1839 vyplývá, že současně s meteorologickými údaji byly zaznamenávány i kulminační stavy vltavských povodní a v některých případech byl popsán i jejich průběh. První takovýto zápis se vztahuje k povodni ze dne 31. ledna 1775 (*Poznámky z Klementina*). V předmluvě k pozorováním z roku 1781 se ředitel observatoře Antonín Strnad již zmiňuje o měření vodního stavu (Strnad, 1783).



**Obr. 17.** Porovnání měřené vlhkosti půdy (souvislá čára) ve dvou vrstvách (MCS I: 0–50 cm, MCS II: 50–150 cm) a výstupů modelu SoilClim (čárkovaně) na lysimetrické stanici Gross-Enzersdorf v Rakousku. Zachycena je situace pro osevňovací postup na půdním profilu s černozemí v letech 1999–2004

**Figure 17.** Measured (continuous line) versus estimated (by SoilClim – dashed line) soil moisture content within two layers (MCS I: 0–50 cm, MCS II: 50–150 cm) at the lysimetric station Gross-Enzersdorf (Austria). The situation for crop rotations on the soil profile with Chernozem in the 1999–2004 period





**Obr. 18.** Odhad obsahu půdní vlhkosti dostupné pro rostliny stanovený modelem SoilClim pro den 18. května 2014 v rozlišení 500 x 500 m

**Figure 18.** Estimate of soil-moisture content available to plants calculated by means of the SoilClim model for 18 May 2014 (resolution 500 x 500 m)

tok (odběr vody pro pohon mlýnů, vorové propusti), byly záznamy této stanice průtokově vyhodnoceny pouze pro období 1825–1867. Z tohoto důvodu zřídila státní poříční správa v roce 1867 náhradní vodočet v Karlíně na pravém břehu Vltavy v profilu nevzduté vody. Pozorovalo se zde až do roku 1927, i když po výstavbě plavebního stupně v Troji roku 1902 se vodočet dostal do vzduté vody zdrže trojského mostu, takže ukazoval přirozené vodní stavy jen po sklopení jezu. Vodočet byl zrušen poté, co se začalo zasypávat koryto Vltavy a řeka byla převedena do nového koryta na Manínách (Novotný, 1963).

Jakmile bylo známo rozhodnutí o splavnění Vltavy pod Prahou, a tím o znehodnocení měření vodočtu v Karlíně, postarala se státní poříční správa v roce 1898 o zřízení vodočetné stanice v Modřanech. Nižší vodní stavy se zpočátku odečítaly na horním vodočtu a vyšší na dolním vodočtu, vzdálenými od sebe 40–50 m. Od 25. července 1928 se začalo měřit limnigrafem postaveným v profilu horního vodočtu (Novotný, 1963). Po výstavbě jezu v Modřanech však bylo měření zrušeno a nahrazeno od roku 1986 novou limnigrafickou stanicí umístěnou níže po toku v Chuchli. Pro zachování kontinuity vyhodnocené průtokové řady v Modřanech od roku 1901 byly na ČHMÚ průtoky ze stanice Chuchle přepo-

čítávány do profilu stanice Modřany (Kakos, Kulásová, 1990).

Druhá nejdelší souvislá pozorovací řada vodních stavů se týká řeky Labe v Děčíně. Podle Novotného (1963) zde začala pravidelná denní pozorování od 1. ledna 1851. První vodočet („Quaimauerpegel“) byl osazen na pravém břehu Labe na nábřežní zdi pod někdejší řetězovým mostem. Na tomto vodočtu se pozorovalo do roku 1877, kdy byla stanice zrušena. V roce 1875 však upravila státní poříční správa pražského místodržitelství druhý vodočet („Kettenbrückenpegel“) na levobřežním návodním pilíři přímo v profilu někdejšího řetězového mostu, kde se pozorování provádělo v následujícím období. Na tomto vodočtu byla od 1. listopadu 1939 snížena vodočetná stupnice o 2 m, aby byla zrušena čtení záporných vodních stavů pod nulou vodočtu, a byly na něho přepočteny všechny pozorované vodní stavy. Někdy kolem roku 1875 byl v Děčíně zřízen železniční správou bývalé rakouské Severozápadní dráhy třetí vodočet v profilu železničního mostu spojovací trati Děčín — Podmokly, jehož čtení se prakticky nelišila od předchozího vodočtu.

Řeka Vltava od Českých Budějovic po Mělník a Labe od Mělníka po státní hranici patřily mezi tzv. říšské řeky, na nichž začala systematická vodoměrná



pozorování v roce 1851 na vodočetných stanicích v Mělníku, Litoměřicích,<sup>22</sup> Ústí nad Labem a v již zmíněném Děčíně. Od roku 1859 bylo započato s měřeními na Vltavě v Českých Budějovicích a později ve Štěchovicích, a na malém Labi v Pardubicích. Měření byla prováděna téměř výhradně zřízenci stavebního odboru c. k. místodržitelství. Po založení Hydrografické komise pro Království české v roce 1875 převzala péči o pozorování vodních stavů a měření průtoků její hydrometrická sekce pod vedením profesora pražské německé techniky Andrease Rudolfa Harlachera. O výsledcích měření vodních stavů byly počínaje rokem 1875 do roku 1894 vydávány tiskem ročenky (Výsledky vodoměrných pozorování v Čechách). Výsledkem snah hydrometrické sekce byla skutečnost, že když byla usnesením zemského sněmu ze dne 13. ledna 1888 Hydrografická komise rozpuštěna, fungovalo na říšských řekách již 15 vodočetných stanic a 32 stanic na dalších tocích (Výsledek, 1890).

Po zřízení ústřední hydrografické služby rakouského mocnářství ve Vídni byla také v českých zemích ustavena hydrografická oddělení při zemských vládách a pomocné orgány pro pozorování srážek a vodních stavů. Ústřední vídeňská kancelář začala počínaje rokem 1895 (s výsledky za rok 1893) zveřejňovat jednotnou ročenku o všech řekách mocnářství (Jahrbuch des K. k. hydrographischen Central-Bureau). Po vzniku samostatného Československa přešla gesce nad vodoměrnými pozorováními pod nově zřízené instituce, které prošly řadou změn až po současný ČHMÚ (Brázdil et al., 2005a).

Novotný (1963) zveřejnil částečné zpracování výsledků vodoměrných měření na Vltavě v Praze pro období 1825–1954 a na Labi v Děčíně pro léta 1851–1954. Z pohledu studia hydrologického sucha jsou cenné tabulky udávající chronologický přehled minimálních průtoků pod  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro Vltavu v Praze v období 1851–1954 (minima v letech 1851–1867 byla odhadnuta podle Děčína) a pod  $115 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pro Labe v Děčíně v období 1851–1950.

Pokud jde o Moravu, byl podle Munzara a Ondráčka (1999) první vodočet v povodí řeky Moravy zřízen na Vsetínské Bečvě v obci Ústí s pozorováním

<sup>22</sup> Stanice v Litoměřicích byla patrně nejstarší vodoměrnou stanicí na Labi. První kvantitativní údaj o vodním stavu se objevuje u povodně ze dne 28. června 1824 (Katzerowsky, 1895). Vodočet byl původně umístěn na kamenném oblouku litoměřického mostu přes Labe patrně někdy v letech 1820–1823, kdy byl litoměřický most, protržený povodní v březnu roku 1814, restaurován (Kotýza et al., 1995). Dochovaná souvislá řada měření vodních stavů v Litoměřicích je ale jen z let 1851–1969.

od roku 1877. O rok později byl vybudován další vodočet na této řece v Novém Hrozenkově a na Bečvě v Přerově. Na vlastní řece Moravě měl být první vodočet instalován v Uherském Hradišti až v roce 1879. V případě řeky Moravy je však tato informace v rozporu s konstatováním rytíře Webera von Ebenhofs (1894), který v projektu na regulaci řeky Moravy konstatuje, že již od roku 1878 se pozorovalo v Hanušovicích, Rudě nad Moravou, Olomouci, Kojetíně, Kroměříži, Kvasicích, Napajedlech, Uherském Hradišti, Uherském Brodu, Veselí nad Moravou, Rohatci a Hodoníně.

V dalších letech zmiňuje Kubát (1999, 2004) následující počty vodoměrných stanic v českých zemích: 1890 — 52 stanic, 1900 — 135 stanic, 1940 — 336 stanic, 1950 — 255 stanic, 1970 — 383 stanic, 1995 — 455 stanic, 2003 — 496 stanic.

Pro hodnocení hydrologického sucha v této publikaci (kap. 4.1.4) byly dále v návaznosti na práce Tremla (2010, 2011, 2012) použity časové řady denních průtoků a nedostatkových objemů vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{330}$  odvozené z korigovaných údajů poskytnutých ČHMÚ z jeho databáze pro následující vodoměrné stanice: Děčín–Labe (období 1888–2010), Brandýs nad Labem–Labe (1911–2005), Železný Brod–Jizera (1912–2009), Bechyně–Lužnice (1911–2009), Bohumín–Odra (1920–2010) a Brno–Svratka (1923–2009; obr. 19). Uvedené řady byly získány v rámci výzkumného záměru Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i., v Praze s názvem „Výzkum a ochrana hydrosféry — výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochranu, včetně legislativních nástrojů“ (číslo záměru MZP0002071101), konkrétně v dílčím projektu „Stanovení vhodných indikátorů pro identifikaci výskytu, předpověď a vyhodnocení intenzity období sucha pro podmínky České republiky“. Další použité soubory hydrologických údajů pro analýzu hydrologického sucha jsou podrobněji posány v kap. 4.1.4.1.

### 3.2.1 Indexy hydrologického sucha

Sucho je přirozenou součástí hydrologického cyklu. Začíná v důsledku záporné srážkové anomálie a je charakterizováno podprůměrným množstvím vody a její špatnou dostupností v různých částech hydrologického cyklu (Ogalló, Gbeckor-Kove, 1989). Podle Gibbse (1975) se jedná o stav, kdy množství vody, které je k dispozici, nepostačuje pokrýt nároky na její využití. Yevjevich (1967) definuje hydrologické sucho jako období, kdy je obsah vody v tocích,



**Obr. 19.** Pohled na řeku Svratku s vodoměrnou stanicí Brno-Poříčí (vzadu vlevo), kam se od června 1986 přesunula pozorování ze stanice Brno-Pisárky (Brázdil et al., 2010b)

**Figure 19.** View of the River Svratka with the Brno-Poříčí hydrological station (rear left). The station location was moved from Brno-Pisárky in June 1986 (Brázdil et al., 2010b)

nádržích, jezerech, v půdě či podzemních zvodních pod průměrem. Takové období je obvykle spíše důsledkem poklesu doplňování povrchové a podzemní vody vlivem déletrvajících nedostatku srážek (včetně pevných) než jejich přímého deficitu. Stejně tak Rathore (2004) uvádí, že hydrologické sucho je důsledkem dlouhotrvajícího meteorologického sucha a projevuje se poklesem hladiny vody v nádržích, jezerech a vodních tocích, stejně jako hladiny podzemní vody. Tallaksen a van Lanen (eds., 2004) definují hydrologické sucho jako přetrvávající a plošně rozsáhlý výskyt podprůměrné dostupnosti vody. Podobně Nalbantis a Tsakiris (2009) jím rozumí významný pokles dostupnosti vody ve všech jejích formách v pozemské fázi hydrologického cyklu. Novický et al. (2008) uvádějí pro vymezení hydrologického sucha příklady z literatury zohledňující následující parametry takového období:

- průměrný průtok je menší než příslušný dlouholetý průměrný měsíční průtok v daném měsíci (Vorel, 1937a),
- vyskytnou se alespoň tři měsíce, ve kterých je měsíční průtok menší nebo roven 60 % dlouhodobého průtoku daného měsíce (Johanovský et al., 1985),
- vyskytne se nejnižší průměrný denní průtok v daném roce, tj. každý rok se objevuje jedno sucho (Gumbel, 1963),
- alespoň v pěti po sobě jdoucích dnech<sup>23</sup> se vyskytne průtok  $Q_{355}$ , tj. s pravděpodobností pře-

<sup>23</sup> Hladný (2009) uvádí místo pěti pouze tři po sobě následující dny s  $Q_{355}$ .

kročení 97,19 % (Řičicová et al., 2003). Hodnota  $Q_{355}$  je všeobecně považována za hranici odběru vody bez technických obtíží, resp. za hranici tak zvaného ekologického průtoku.

Indexy hydrologického sucha založené na vodoměrných pozorováních lze rozdělit podle míry komplexity charakterizace jevu do dvou skupin na:

a) prosté indexy

Nejčastěji reprezentují vztah mezi pozorovanými hodnotami sledované veličiny a jejím dlouhodobým normálem. Odlišnosti mezi jednotlivými indexy této kategorie spočívají především ve způsobu, jakým je tato odchylka stanovována, v jakém časovém kroku je index vyhodnocován a jak dlouhé období charakterizuje. Při monitoringu sucha jsou často používány pro svoji jednoduchost a srozumitelnost.

b) komplexní indexy

Kombinují více pozorovaných či odvozených veličin a v narůstající úrovni složitosti komplexních ukazatelů je zřejmá snaha po celistvém postižení srážkovo-odtokového procesu. S rostoucím počtem zastoupených proměnných se tato skupina indexů svým charakterem v principu blíží bilančnímu řešení, při němž se porovnávají jednotlivé složky hydrologického cyklu. Komplexní hydrologicky orientované indexy jsou vyvíjeny s důrazem na postižení celého procesu vodní bilance v povodí pro účely řízení vodních zdrojů se zvláštním zřetelem na procesy přispívající k odtoku, jako je akumulace a tání sněhové pokrývky a distribuce půdní vlhkosti.

### 3.2.1.1 Prosté indexy založené na pozorování odtoku

#### 3.2.1.1.1 Stanovení sucha podle Světové meteorologické organizace

Metoda Světové meteorologické organizace (WMO, 1974) definuje nízký průtok jako průtok ve vodním toku během období dlouhotrvajícího suchého počasí. Tato definice není přesná, neboť k nízkým průtokům může docházet i v jiných obdobích roku. Mnoho autorů hovoří o období nízkých průtoků trvajícím déle než rok jako o ročním suchu. Uvedená metoda klasifikuje nedostatek vody jako výrazný (průměrný roční průtok je menší než normál o alespoň jednu směrodatnou odchylku), nepřetržitý (průměrný roční průtok je menší než normál alespoň čtyři roky za sebou) a rozsáhlý (výrazný nebo nepřetržitý nedostatek vody postihuje celý uvažovaný region).

### 3.2.1.1.2 Metoda prahové hodnoty (nedostatkových objemů)

Období hydrologického sucha bývá nejčastěji definováno pomocí konceptu prahové hladiny (threshold level concept), který spočívá v určení prahové (threshold) hodnoty průtoku, pod níž odtok probíhá v režimu sucha. Poklesne-li průtok pod zvolenou limitní hodnotu, začíná suché období, které končí při zvětšení průtoku nad prahovou úroveň nebo při doplnění nedostatkového objemu během nadlimitních průtoků. Tento přístup poprvé použil při výzkumu sucha Yevjevich (1967), když aplikoval teorii běhů (theory of run) na časové řady odtoku. Mezi charakteristiky takto definovaného sucha patří jeho velikost (nedostatkový objem), délka trvání a intenzita. Nedostatkové objemy v různých povodích není možné v absolutních hodnotách vzájemně porovnávat. Proto se provádí jejich standardizace, kdy se objem dělí příslušným limitním průtokem. Podle způsobu, jakým je uvažován časový krok, vycházejí nedostatkové objemy buď bezrozměrné, nebo v jednotkách času. Standardizovaný nedostatkový objem  $NDVI_t$  je tedy možné určit podle vztahu:

$$NDVI_t = \begin{cases} NDVI_{t-1} + \left( \frac{Q_{lim} - Q_t}{Q_{lim}} \right) \Delta t, & \text{jestliže } Q_t < Q_{lim} \\ 0 & \end{cases} \quad (5)$$

kde  $Q_{lim}$  je zvolený prahový průtok,  $Q_t$  je průtok v časovém kroku  $t$  ( $Q_t < Q_{lim}$ ) a  $\Delta t$  je časový interval.

Uvedený postup byl použit například pro území České republiky Vlnasem et al. (2010). Eliminace drobných a vzájemně řetězených epizod sucha se provádí buď vyhlazením denních řad, nebo s použitím kritéria, které stanoví způsob spojování drobných epizod do jedné delší (Tallaksen et al., 1997). Pomocí frekvenční analýzy lze z parametrů takto definovaného sucha získat například dobu opakování sucha určitého trvání nebo velikosti nedostatkového

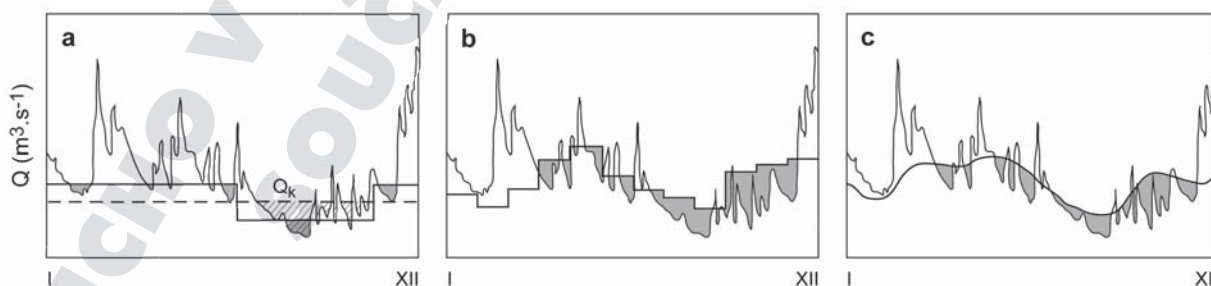
objemu. Jiné studie modelují časové řady parametrů sérií (epizod) jako stochastický proces (Sen, 1980).

Důležitým aspektem uvedené metody je stanovení vhodného prahového průtoku, který může být v podstatě konstantní nebo proměnlivý během roku (obr. 20). Je-li účelem definice sucha pokles průtoku pod nějakou hodnotu průtoku, například ekologicky podmíněnou, pak je vhodná pevná hodnota prahového limitu. Definujeme-li sucho jako odchylku od normálu, je vhodnější proměnlivý limit, kdy však může suchá epizoda připadnout i na období zvýšené vodnosti. Pro takto detekovanou epizodu je pak výstižnější použít pojem nedostatek odtoku (streamflow deficiency) než sucho. Jako účelné se jeví také rozlišovat hydrologické sucho z hlediska podmínek jeho vzniku na letní, podmíněné nedostatkem srážek, a na zimní, kde významnou roli hrají nízké teploty vzduchu a s nimi spojené zadržování vody ve formě sněhu a ledu.

Hodnota prahového průtoku může být stanovena jako určitý průtok, který je například potřebný k plnění nádrže, k zajištění ekologických funkcí toku nebo k udržení stavu hladiny potřebné z hlediska plavby. Nejčastěji se odvozuje pomocí čáry překročení průtoků (Vogel, Fennessey, 1994).

### 3.2.1.1.3 Index regionálního nedostatku odtoku

Stahl (2001) zavedla index regionálního nedostatku odtoku (Regional Streamflow Deficiency Index — RSDI) určený k detekci sucha regionálního rozsahu z časových řad odtoku. Jedná se o variantu „threshold level“ konceptu, při níž je pro stanovení velikosti sucha v regionu určující podíl povodí postižených nedostatkem odtoku. Indexy nedostatku vody DI v řadách odtoku jednotlivých vodoměrných stanic jsou vzájemně porovnávány v rámci regionu. Pouze v případě, že významný počet stanic vykazuje podobný průběh sucha, je takový případ označen jako regionální sucho. Při stanovení indexu se nej-



**Obr. 20.** Různé způsoby stanovení prahové hodnoty průtoku: a) konstantní sezonní ( $Q_k$  konstantní roční), b) proměnlivý měsíční (upraveno podle Stahl, 2001)

**Figure 20.** Various methods of determining discharge threshold: a) constant seasonal threshold ( $Q_k$  constant annual threshold), b) variable monthly threshold, c) variable daily threshold (adapted from Stahl, 2001)



dříve pomocí čáry překročení vybere prahová hodnota odpovídající  $Q_{90}$  pro jednotlivé dny analyzovaného období (nejčastěji kalendářní rok, ale může jít i o jiná období jako například při analýze letního a zimního sucha). Čára překročení se stanoví pomocí klouzavého okna  $d$  dní před a po uvažovaném dni ( $j - d, j + d$ ). Průtok pod  $Q_{90}$  definuje nedostatkový index DI podle vztahu:

$$D(t) = \begin{cases} 1 & \text{jestliže } Q(t) \leq Q_{90} \\ 0 & \text{jestliže } Q(t) > Q_{90} \end{cases} \quad (6)$$

Uvažujeme-li nyní region s  $n$  vodoměrnými stanicemi, je RSDI prostorový průměr indexu DI, interpretovaný jako podíl povodí postižených nedostatkem vody:

$$RSDI_c(t) = \frac{1}{n} \sum_{G=1}^n D_G(t), \quad (7)$$

kde  $C$  je shluk stanic v regionu a  $G$  je příslušná vodoměrná stanice. Region ve smyslu Stahlové (2001) odpovídá celým státům. Pomocí regresní závislosti indexu na povětrnostní situaci lze podle této autority předpovídat sucho na tocích v regionálním měřítku. Metoda, aplikovaná na území celé Evropy (Stahl, 2001) či Francie (Prudhomme, Sauquet, 2007), se ukázala jako velmi vhodná ke studiu trvání a trendů v řadách historických epizod sucha, a to i se zřetelem na možnosti identifikace závažných případů letního sucha, které jsou předmětem diskusí o vlivu klimatické změny (Hisdal et al., 2001).

Indexy nedostatku vody DI v řadách odtoku jednotlivých vodoměrných stanic jsou vzájemně porovnávány v rámci regionu. Pouze v případě, že významný počet stanic vykazuje podobný průběh sucha, je takový případ označen jako regionální sucho.

### 3.2.1.1.4 Odtokový index sucha

Odtokový index sucha (Streamflow Drought Index — SDI) definuje sucho v měsíčním kroku z hodnot odtoku  $Q_{i,j}$ , kde  $i$  značí hydrologický rok a  $j$  příslušný měsíc (Nalbantis, Tsakiris, 2009). Kumulativní objem odtoku  $V_{i,k}$  pro  $i$ -tý hydrologický rok a  $k$ -té referenční období je dán vztahem:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}, \quad (8)$$

kde  $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, 12$  a  $k = 1, 2, 3, 4$ .

Index SDI je pak dán vztahem:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{\sigma_k}, \quad (9)$$

kde  $\bar{V}_k$  je průměr a  $\sigma_k$  směrodatná odchylka kumulativního objemu pro  $k$ -té referenční období. Podle hodnot SDI se pak stanovují čtyři třídy pravděpodobnosti výskytu sucha:

- mírné ( $-1 \leq SDI < 0$ , pravděpodobnost výskytu 34,1 %)
- střední ( $-1,5 \leq SDI < -1$ , pravděpodobnost výskytu 9,2 %)
- závažné ( $-2 \leq SDI < -1,5$ , pravděpodobnost výskytu 4,4 %)
- extrémní ( $SDI < -2$ , pravděpodobnost výskytu 2,3 %).

### 3.2.1.1.5 Standardizovaný index odtoku

Postup stanovení standardizovaného indexu odtoku (Standardized Runoff Index — SRI) je v podstatě shodný s postupem stanovení SPI v případě srážek (Shukla, Wood, 2008). Pro proložení řady průtoků se používá rozdělení gama, obecné extrémní nebo tříparametrické log-normální rozdělení. Kumulativní pravděpodobnosti jsou poté standardizovány převedením na  $Z$ -rozdělení. Stav sucha se stanoví podle kvantilového rozpětí hodnot indexu, kdy mírné sucho je dáno 5.–30. percentilem a hodnotou  $Z$  v rozmezí  $-0,5244$  až  $-1,6448$  (pravděpodobnost výskytu 25 %) a sucho menším než 5. percentilem a  $Z < -1,6448$  (pravděpodobnost výskytu 5 %).

### 3.2.1.2 Prosté indexy založené na sledování zásob podzemní vody

#### 3.2.1.2.1 Standardizovaný index úrovně hladiny

Standardizovaný index úrovně hladiny (Standardized Water Level Index — SWI) byl vyvinut za účelem kvantifikace deficitu doplňování zásob podzemní vody a je dán vztahem:

$$SWI = (W_{ij} - W_{im})/\sigma, \quad (10)$$

kde  $W_{ij}$  je úroveň podzemní vody v  $i$ -tém vrtu a  $j$ -tém pozorování,  $W_{im}$  je dlouhodobý sezonní průměr a  $\sigma$  je směrodatná odchylka. Podle SWI se sucho klasifikuje jako mírné ( $SWI = 0-1$ ), střední ( $1-1,5$ ), závažné ( $1,5-2$ ) a extrémní ( $> 2$ ).

#### 3.2.1.2.2 Index zdrojů podzemní vody

Index zdrojů podzemní vody (Groundwater Resource Index — GRI) byl vyvinut za účelem kvantifikace poklesu zásob podzemní vody. Je výstupem jednoduchého distribuovaného modelu vodní bilance, který zohledňuje litologii povodí (Mendicino et al., 2008). Index vykazuje vysokou autokorelaci

především v letních měsících a je vhodný pro účely predikce sucha. Stanoví se ze vztahu:

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\sigma_{D,m}}, \quad (11)$$

kde  $D$  je míra zadržení podzemní vody v roce  $y$  a v měsíci  $m$ ,  $\mu$  je střední hodnota a  $\sigma$  směrodatná odchylka zadržení podzemní vody v měsíci  $m$  pro definovaný počet let.

### 3.2.1.3 Komplexní indexy

Většina komplexních indexů sucha v sobě zahrnuje odhad vlhkosti půdy na základě bilanční rovnice a její porovnání s dlouhodobou normální hodnotou vlhkosti pro zvolené časové období nebo s prahovou hodnotou stanovenou empiricky. Mezi tyto indexy patří například Palmerův index hydrologického sucha (Palmer Hydrological Drought Index — PHDI), index vlhkosti rostlin (Crop Moisture Index CMI), agregovaný index sucha (Aggregate Drought Index — ADI) nebo index odezvy vegetačního sucha (Vegetation Drought Response Index — VegDRI). Další indexy, jako index dodávek povrchové vody (Surface Water Supply Index SWSI) a index náhrad sucha (Reclamation Drought Index RDI), zahrnují i hodnocení dalších složek bilance (zásoba vody ve sněhové pokrývce a v nádržích).

#### 3.2.1.3.1 Index dodávek povrchové vody

Index dodávek povrchové vody (Surface Water Supply Index — SWSI; Shafer, Dezman, 1982) započítává oproti již zmiňovanému PHDI také akumulaci vodních zásob ve sněhové pokrývce. Dokonce je přímo zaměřen na oblasti, kde hlavním zdrojem vody v povodí je tání sněhové pokrývky. Jedná se patrně o nejnámější hydrologický indikátor sucha. Indikátor v měsíčním časovém kroku kombinuje celkový odtok, množství sněhových i dešťových srážek a zásobu vody v nádržích. Každá komponenta v povodí má svoji váhu podle toho, jakou měrou přispívá k zásobám vody v povodí. Stanoví se ze vztahu:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{stream} + dP_{resv} - 50}{12}, \quad (12)$$

kde  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  jsou váhy pro sněhové (*snow*) a dešťové (*prec*) srážky, odtok (*stream*) a zásobu vody v nádržích (*resv*) ( $a + b + c + d = 1$ ), a  $P$  je pravděpodobnost (%) nedosažení jednotlivých bilančních složek.

Index rozlišuje zimní a letní režim. V zimním se uplatňuje sněhová zásoba, srážky a zásoba vody v nádržích, zatímco v létě je sněhová zásoba nahrazena celkovým odtokem. Rozsah stavů sucha po-

dle SWSI je stejný jako u PDSI, tedy  $-4$  až  $4$ . Výhodou indikátoru SWSI je dobré porovnání zásob vody v povodí; nevýhodou je špatná porovnatelnost různých povodí a také nutnost recalibrace výpočtu při změně prvků vstupujících do výpočtu.

#### 3.2.1.3.2 Index náhrad sucha

Weghorst (1996) navrhl index náhrad sucha (Reclamation Drought Index — RDI) pro provozní účely detekce sucha a především za účelem poskytování náhrad pro subjekty postižené suchem, které přesáhlo určitou úroveň. Index započítává teplotu vzduchu na straně poptávky a srážkový úhrn, zásobu vody v nádržích, celkový odtok a zásobu vody ve sněhové pokrývce na straně dodávky, stejně jako dobu trvání epizody sucha. Index je zaměřen na spíše konzervativní identifikaci počátku a konce sucha s vyloučením krátkodobých epizod. Výsledkem je, že RDI, ačkoli také počítán v měsíčním kroku, reaguje ještě pomaleji než Palmerův index hydrologického sucha PHDI.

## 3.3 DOKUMENTÁRNÍ ÚDAJE

### 3.3.1 Informace o suchu z dokumentárních pramenů

Dokumentární prameny představují základní zdroj informací pro historickou klimatologii, která se na jejich základě zabývá rekonstrukcí klimatu a hydrometeorologických extrémů, jejich dopady na člověka a společnost, a v neposlední řadě i percepce klimatu (Pfister, 2001; Brázdil et al., 2005b, 2010a; Glaser, 2008; Mauelshagen, 2010). Jde o přímé nebo nepřímé údaje o počasí a příbuzných jevech, které byly pořízeny člověkem jako jeden z výsledků jeho duchovních a materiálních aktivit. Z hlediska způsobu jejich získávání se jedná buď o individuální, nebo o institucionální záznamy. Individuální záznamy byly pořizovány z různých důvodů jednotlivci, takže jsou omezeny zkušenostmi a obdobím jejich života a jsou zatíženy jistou mírou subjektivity. Institucionální záznamy jsou vázány na dobu existence dané instituce a provozování určité finančně-ekonomické aktivity, ovlivněné počasím nebo ho nějakým způsobem reflektujícím, a mají zpravidla charakter proxy dat. Z hlediska kvality dokumentárních pramenů je důležité jejich členění na primární a sekundární. Primární prameny zahrnují události, jejichž byl daný autor přímým svědkem během svého života. Naproti tomu sekundární prameny uvádějí skutečnosti bez přímé účasti zapisovatele nebo přebírané z jiných zdrojů, takže mohou být v některých

směrech nepřesné či zkreslené (ke kritice dokumentárních pramenů viz například Pfister, 2001; Brázdil et al., 2005a, 2010a).

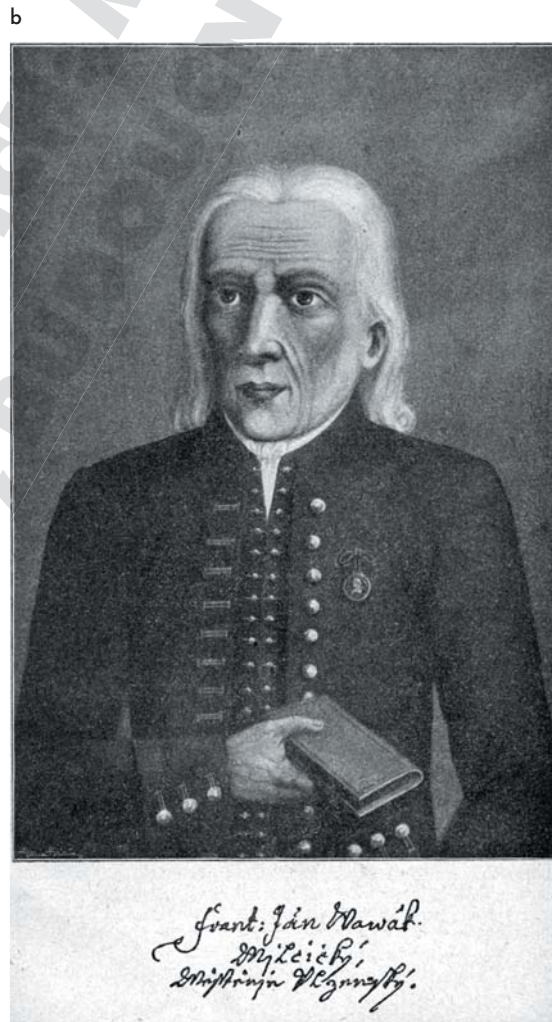
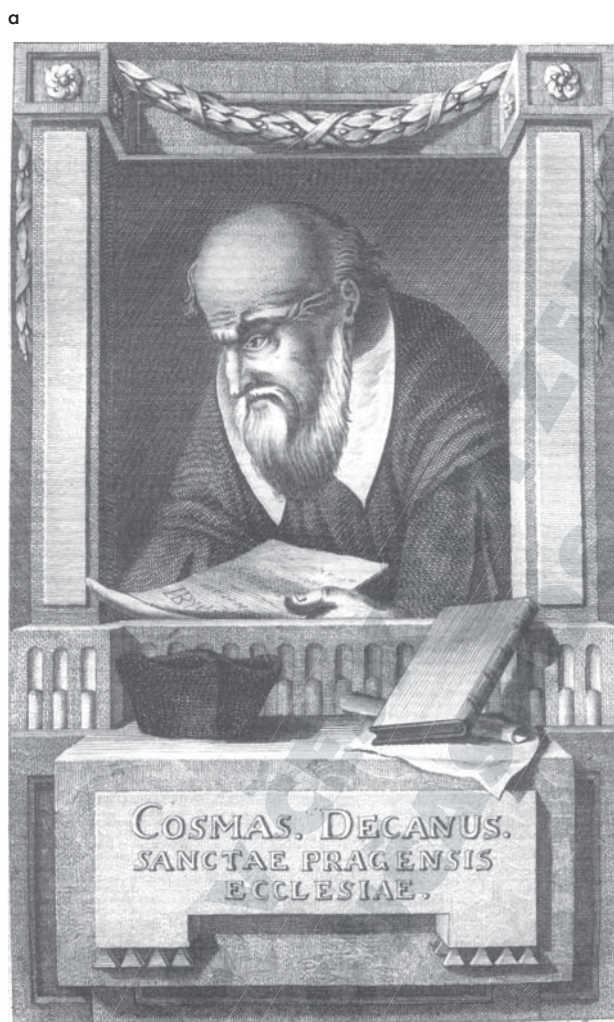
Pro studium sucha v českých zemích lze využít následující typy dokumentárních pramenů (srovnej například Brázdil, Kotyza, 2001, 2008; Brázdil et al., 2005b, 2010a):

#### a) narativní prameny

Zahrnují zprávy o počasí a jevech a událostech na něm závislých, obsažené v ojedinelých záznamech, análech, pamětech, kronikách, denících, historických kalendářích, úředních pamětních knihách apod. Zpravidla jsou věnovány popisu extrémního průběhu počasí, hydrometeorologických extrémů

(včetně sucha) a jejich dopadů na člověka. Nejstarší věrohodná zpráva týkající se sucha v českých zemích pochází z pera neznámého autora dnes ztracených starých pražských análů, zachovaných jen v mladších pramenech. Podle nich v zimě 1090/91 nebyl ani žádný déšť, ani žádné sněžení: „*Et in hieme neque nix neque pluvia fuit.*“<sup>24</sup> (Kosmas, s. 147; *Let. hradištsko-opatovické*, s. 391; *Mnich sázavský*, s. 251; *Třč. Beneš Minorita*, s. 342). Další věrohodná zpráva o suchu od pražského kanovníka Kosmy (obr. 21a) je datována k roku 1121, kdy Čechy trpěly velkým suchem od března do května a zaseté plodiny uschly: „*Anno dominice incarnationis MCXXI.*

<sup>24</sup> V českém překladu: „A v zimě nebylo ani sněhu, ani deště.“



**Obr. 21.** a) „Kronika Čechů“ od pražského kanovníka Kosmy (kolem 1045–1125) obsahuje nejstarší věrohodné zprávy o počasí a příbuzných jevech (včetně sucha) v českých zemích (Abbildungen, 1773); b) František Jan Vavák (1741–1816), sedlák a rychtář v Milčicích, zanechal ve svých pamětech řadu popisů sucha a jeho dopadů ve středních Čechách (Skopec, 1907)

**Figure 21.** (a) Kosmas (c. 1045–1125), Dean of the Prague Chapter, author of *Chronica Boemorum* [“The Chronicle of the Czechs”], which contains the earliest credible reports of the weather and related phenomena (including drought) in the Czech Lands (Abbildungen, 1773); (b) The memoirs of peasant and reeve František Jan Vavák (1741–1816) of Milčice, contain a large number of descriptions of drought and its impacts in central Bohemia (Skopec, 1907)



*Nimis attenuate sunt segetes propter nimiam siccitatem, que fuit per tres continuos menses, Marcium scilicet et Aprilem atque Maium.*<sup>25</sup> (Kosmas, s. 220). Další příklady narativních pramenů s mnoha povětrnostními záznamy, včetně sucha, zahrnují lounskou kroniku Pavla Mikšovice pokrývající události z období 1490–1631 (Mikšovic), Bartoškovu kroniku z Uherského Brodu popisující období 1453–1594 (Bartošková kron.; Zemek, ed., 2004) nebo paměti milčického sedláka a rychtáře Františka Jana Vaváka (obr. 21b) se záznamy z let 1770–1816 (Vavák; Skopec, 1907, 1908, 1910, 1912, 1915, 1916, 1918, 1924, 1936, 1938; Jonášová, 2009).

### b) denní záznamy počasí

Jde o víceméně pravidelná denní vizuální pozorování počasí a příbuzných jevů, zaznamenávaná svými autory do efemerid, kalendářů, diáří či osobních deníků. Takovéto záznamy pocházejí například z premonstrátských diáří kláštera Hradisko a převorství na Svatém Kopečku u Olomouce, dochovaných celkem pro 52 let z období 1693–1783 (Brázdil et al., 2011b). Sucho je v nich uváděno pro 17 let, přičemž tyto záznamy se týkají zejména kritického období pro pěstování zemědělských plodin od dubna do září. Například podle zprávy k 19. září 1750 sucho bránilo podzimnímu setí a dne 23. září bylo organizováno modlení za déšť (*Diarium Hradisko I, II–29, fol. 73v, 74v*). Mezi dalšími denními záznamy počasí lze uvést například zápisy Jana Františka Bruntálského z Vrbyna z let 1655–1656 (Brázdil et al., 2008b), pozorování kněze Karla Bernarda Heina v Hodonicích z období 1780–1789 (Brázdil et al., 2003b), záznamy P. Tadeáše Štíky z Počapel z let 1788–1789 (Brázdil et al., 2002b) nebo pražského měšťana Jana Nádherného z Borutína pro roky 1805–1806 (Brázdil et al., 2007b).

### c) osobní a úřední korespondence

Zvláštním případem korespondence jsou zprávy správců panství o událostech na nich, zasílané jejich majitelům. Jiným typem jsou úřední listiny a reakce na ně. Například Petr Uher, úředník v Uherském Brodu, psal dne 3. listopadu 1626 vysvětlující list vojevůdci Albrechtu Václavu Eusebiovi z Valdštejna na jeho žádost o přípravu chleba pro armádu. Zmiňoval se o nízkých stavech vody a o těžkostech vodních mlýnů z důvodu trvajících sucha, což představovalo problém z hlediska získání a semletí

potřebného obilí (Hrubý, 1937). V osobní korespondenci jsou sdělení osobního charakteru nezřídka doplněna zprávami o počasí, hydrometeorologických jevech a jejich dopadech. Jako příklad osobní korespondence z novější doby lze uvést dopis Josefa Volka jeho ženě Rozálii, datovaný dne 10. června 1863 v Luhačovicích (Dobeš, 1945): „... *poněvadž Pán Bůh letos pořád suché počasí dává, jak budete žať, nechávejte obilí dobře rozložené na pokládkách proto, aby se práce ušporovala, jen semenné ponechte v mandloch.*“

### d) kramářské a trhové písně

Jde o vyjádření katastrofických událostí v umělecké a lidové tvorbě, popisující zejména povodně a jejich ničivé následky, ale i jiné zaznamenaní hodné případy. Tak v roce 1679 byla v Praze podruhé vydána měšťanem Nového Města Pražského Václavem Šťastným Františkem Rambekem píseň „Klíč od deště aneb Nová píseň v čas sucha“ (obr. 22a). Byla iniciována velkým suchem roku 1678, kdy déšť přišel poprvé až na den sv. Václava [28. září], jak uvádějí její první sloky (Rambek, s. 38):

*„Léta Páně tisícího  
a přitom těž šestistého  
sedmdesáte osmého*

*na den svatého Václava,  
budiž Bohu čest a sláva,  
jest nám dána z nebe vláha.*

*Na přímlovu Matky Boží  
ráda se ouroda množí,  
dešťičkové dobře slouží.*

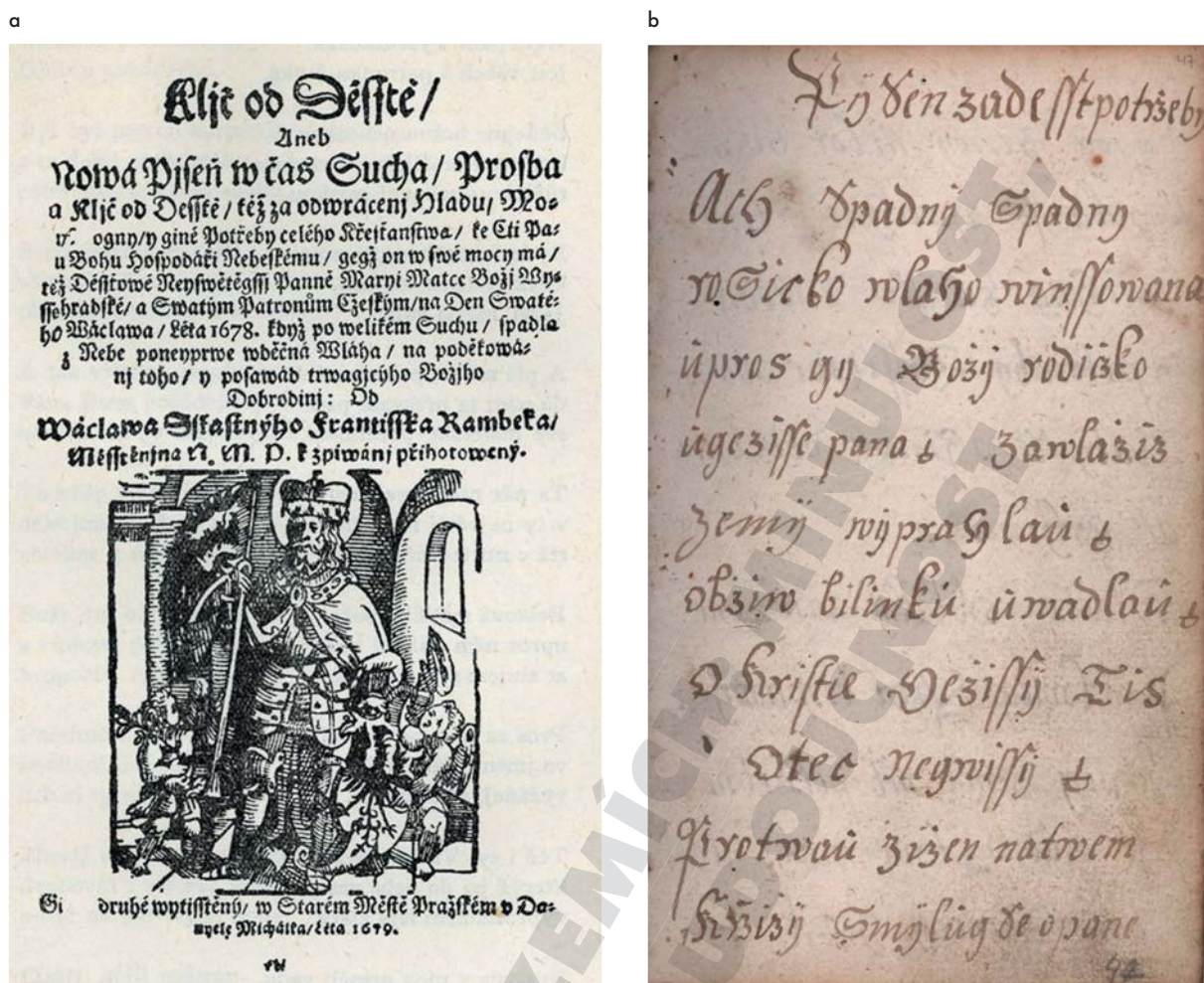
*Neboť z nebeské výsosti  
spadl dešťiček v tichosti  
beze vši lidské starosti.“*

Pro vyprošení deště se píseň obrací také k Panně Marii Matce Boží Vyšehradské a svatým patronům českým, tedy kromě sv. Václava i ke sv. Vojtěchovi (ibidem). Jiným příkladem, tentokrát se vztahem k suchu roku 1790, je „Píseň za déšť potřebný“ (obr. 22b), zveřejněná v edici záznamů soukeníka, právo-várečníka a zámožného měšťana v Pelhřimově, Antonína Štěpána (*Štěpán, s. 142–145*).

### e) žurnalistika

Popis extrémních hydrometeorologických jevů a jejich dopadů byl předmětem občas publikovaných le-

<sup>25</sup> V českém překladu: Léta od vtělení Páně 1121. Osení se špatně urodilo pro veliká sucha, jež trvala celé tři měsíce: březen, duben a květen.



**Obr. 22.** a) Titulní strana druhého vydání písně „Klíč od deště aneb Nová píseň v čas sucha“, publikované roku 1679 v Praze (Rambek; Novotný, ed., 1940); b) úvodní strana písně „Píseň za dešť potřebný“ z rukopisných záznamů pelhřimovského měšťana Antonína Štěpána (Štěpán)

**Figure 22.** (a) Title page of *Klíč od deště aneb Nová píseň v čas sucha* [“Key to the Rain, or a New Song for a Time of Drought”], second edition, published in Prague, 1679 (Rambek; Novotný, ed., 1940); (b) Introductory page of *Píseň za dešť potřebný* [“Song in Need of Rain”], from the manuscript records of Antonín Štěpán, citizen of Pelhřimov (Štěpán)

tákových novin a později pravidelně vydávaných novin. Například zpráva z *Moravských novin* (1885, č. 138, nestr.) ze dne 17. června 1885 z Pozořic a okolí se zmiňuje o suchu a jeho dopadech na úrodu zemědělských plodin: „Počasí suché dostoupilo již té výše, že takřka vše počíná usychati. Ještě tak žito, pšenice, oves a skoré ječmeny se drží při síle, ač zrnko velmi pomalu se vyvinuje. Pozdní ječmeny, nebude-li alespoň do neděle této pršet, budou pryč, jelikož již dočista žlutnou a osychají. Docela pozdní se ani nevymetávají. Luskoviny velmi chudě odkvétají a též k usychání se chystají. Zemáky, cukrovka stojí dobře. Vína bude méně než roku loňského, asi o třetinu. Ovoce jeví se velmi krásně; nyní počíná již ale opadávati, nejvíce trpí ořechy. Jeteliny byly řídky; jsou už z většího dílu posečeny a sveženy. Louky uspokojily. — Vše volá, vše prosí nebesa o zavlažení vyprahlé země Bůh dej!“

#### f) záznamy finančně-ekonomického charakteru

Jde o údaje ekonomického rázu související s počasím. Patří sem informace o začátku vinobraní, kvalitě vína, velikosti úrody, cenách zemědělských plodin, výdajích na opravu objektů poškozených hydrometeorologickými extrémy aj. Velmi bohatým pramenem je úřední dokumentace spojená se žádostmi o snížení či prominutí daní po škodách způsobených jednotlivým hospodářům různými hydrometeorologickými extrémy (například krupobití, přívalové deště, povodně, vichřice). Odpovídající dokumenty z různých fází administrativně poměrně složitěho postupu jsou dochovány na úrovni obcí, krajských úřadů a státní správy a týkají se 17.–20. století. Například z daňových záznamů deseti velkostatků na jihovýchodní Moravě lze interpretovat sucho v letech 1719, 1834, 1856, 1863, 1869, 1889,



1892 a 1894 (Brázdil et al., 2012b). V dalších případech se s prosbou o poskytnutí podpory v případě škod způsobených suchem obracely na nadřízené orgány státní správy přímo obce či jednotlivci. Tak dne 28. srpna 1904 zaslalo představenstvo obce Valašská Polanka c. k. okresnímu hejtmanství ve Valašském Meziříčí následující žádost o státní a zemskou podporu (*Požáry a záplavy*, fol. 280rv): „... tuto poníženou prosbu osměluje se podporovati nasledujícíma důvody: Tím letošním všeobecným suchem [1904] jest i naše chudobné rolnictvo velmi poškozeno, nebo obilí velkým suchem doschlo o 14 dní spíše než jiná leta, zrna jsou malá a sláma na zdejších kopcích zůstala krátká, otavy na vyschlých loukách a druhé jetele žádné, zemáky místy již podeschlé, nenarostené počínají hnití, zelí skoro žádné. Že otavy a druhé jetele nejsou žádné, musí se dobytek krmiti již nyní suchou pící, které jest velmi málo, a proto, pro nedostatek píce musí se mnoho dobytka, co hlavní zdroj hospodářství v zdejší hornaté krajině, za každou cenu odprodati, čímž bude obecenstvo nyní i na více let poškozeno a do velké bídy uvrženo. Jak hrozné až žalostné jsou to vyhlídky pro rolnictvo a pro obyvatelstvo vůbec, když na výživu obilí málo, zemáky a zelí, co hlavní výživa obecenstva, snad žádné, pak tepro příštím jarem když nebude obilí k setí a zemáků k sázení — a dobytek zničen! nabude bída vysokého a povážlivého stupně. ... tudíž představenstvo obce v zájmu toho zuboženého obecenstva, nejpokorněji prosí: Slavné c. k. okresní hejtmanství! račiž k umírnění této velké bídy, vydatnou státní a zemskou podporu pro zdejší občany nejmilostivěji vymoci.“ Dalším příkladem z novější doby může být žádost podaná Zemskému úřadu v Brně dne 20. prosince 1942 Josefem Kučerou z Dambořic a charakterizovaná na „Vyšetřovacím listě k žádosti za nouzovou podporu pro nezemědělce“ následovně (*Podpory, nefol.*): „Im Frühjahr 1942 — angeblich durch grosse Trockenheit — wurde in der Ertragnis der 118 Ar bebauten Feldkultur bedeutsam erniedrigt und dadurch entstand ihm ein Schaden von 3000K. Die wirkliche höhe d. Schaden lässt sich aber heute nicht mehr durch Gendarmerieerhebungen genau sicherstellen (přílišným suchem a bramborů a řepy).“<sup>26</sup>

#### g) církevní prameny

Jedná se o vyhlásování prosebných procesí, modlení či pústu s cílem vyprosit u Boha zlepšení daných

<sup>26</sup> V českém překladu: Na jaře 1942 — údajně kvůli velkému suchu — byl výnos ze 118 arů osázených polními plodinami významně snížen a tím mu vznikla škoda 3 000 K[orun]. Skutečná výše této škody se však už dnes nedá pomocí četnického šetření přesně zjistit ...

povětrnostních podmínek. Ačkoliv v českých zemích nedosáhly tyto aktivity takové šíře jako v silně katolických zemích typu Itálie či Španělska (např. Piervitali, Colacino, 2001; Barriendos, 2005; Domínguez-Castro et al., 2008), přesto lze najít řadu zpráv svědčících o těchto církevních aktivitách. Tak například dne 15. července 1503 byl vyhlášen púst a modlení za déšť pro obyvatele Prahy (*SLČ*, č. 706, s. 224). Kněz Daniel Philomates starší ve svém kázání v Domaželicích v roce 1616 konstatoval, že takové sucho a nedostatek vody jako je toho roku nebylo po více než 100 let (*Philomates*).<sup>27</sup> Dne 18. června 1782 organizoval brněnský biskup Matyáš František hrabě Chorinský prosebné procesí za déšť a od 23. června byla z téhož důvodu ve všech kostelech držena sedmihodinová modlitba (*Hausperský*, s. 272–273; Brázdil, Valášek, 2003). V Lechovicích proběhlo prosebné procesí k vyprošení deště již 5. června (*Hein*, p. 15; Brázdil et al., 2003b).

#### h) tištěné prameny

Informace o suchu jsou obsaženy také v některých tištěných pramenech. Patří k nim *Theatrum Europaeum*, dílo Matthäuse Meriana týkající se historie německy mluvících zemí a publikované ve 21 svazcích mezi lety 1633 a 1738. Například v jeho desátém svazku se k roku 1666 uvádí, že horkým létem v Rakousku, Čechách a Maďarsku uschly louky, vysychaly vodní toky, lidé museli jezdit 6–7 mil [asi 45–53 km]<sup>28</sup> pro vodu a docházelo k požárům ve vsích i v lesích. Informace o dopadech sucha lze nalézt také v dalších tištěných pramenech reprezentovaných hospodářskými zprávami. Tak například pravidelné roční přehledy týkající se zemědělské produkce a lesního hospodářství v Čechách byly publikovány spolu s výsledky meteorologických a fenologických pozorování ve spisech c. k. Vlastenecko-hospodářské společnosti pro roky 1822–1845.<sup>29</sup> Od roku 1822 do roku 1827 byly přehledy zaměřeny především na zemědělství a jako jejich autor byl uváděn hospodářský rada M. Seidl (*Resultate*, 1828; *Neue Schriften*, 1830). K významnému rozšíření zpráv došlo od roku 1828,<sup>30</sup> kdy se

<sup>27</sup> Uvedené konstatování je v rozporu s extrémním suchem doloženým dokumentárními prameny v českých zemích pro roky 1540 a 1590 (viz kap. 4.2.3). K Philomatovým a dalším publikovaným kázáním týkajícím se sucha viz kap. 2.1.

<sup>28</sup> Přepočteno podle vídeňské míle: 1 vídeňská míle = 7,586 km (Hofmann, 1984, s. 75).

<sup>29</sup> Ke zhodnocení meteorologických a fenologických pozorování c. k. Vlastenecko-hospodářské společnosti v Čechách blíže viz Brázdil et al. (2011a) a Bělinová, Brázdil (2012).

<sup>30</sup> V tomto roce je jako autor přehledu uveden naposledy hospodářský rada M. Seidl, přičemž v následujících letech autor u hospodářských přehledů již chybí.



výrazně zvýšil počet dopisovatelů a vedle části týkající se zemědělství se začala objevovat také část věnovaná lesnímu hospodářství. V této podobě se zprávy ve spisech společnosti objevovaly až do roku 1845 (Neue Schriften, 1830–1847). Příkladem může být výtah z přehledu k roku 1835 (Neue Schriften, 1837, s. 196): „*Das Jahr 1835 zeichnet sich wie das vorhergehende durch seine ungewöhnlich lang angehaltene Trockene und hohe Temperatur in den Gegenden des flachen Landes aus, wodurch in vielen Gegenden eine geringe Getreid- und besonderes Futterernte erfolgte, während es im Mittelgebirge an der nöthigen Feuchte nicht fehlte, und daher dort eine reichliche Ernte von den meisten landwirtschaftlichen Erzeugnissen erfolgte. Vorzüglich groß war der Mangel an Regen, und die dadurch verursachte Mißernte, in der nächsten Umgebung der Hauptstadt, und theilweise im Budweiser, Pilsner, Berauner und Saazer Kreise. ...*“<sup>31</sup>

### i) chronogramy

Chronogram představuje záznam připomínající nějakou významnou událost (například povodeň). Vybraná písmena v něm jsou pak interpretována jako římské číslice (velká nebo zvýrazněná písmena) a indikují rok dané události. Příkladem chronogramu týkajícího se velkého sucha roku 1746 je latinský zápis v záznamech člena augustiniánského řádu v Brně, Hieronyma Haury (*Haura*, III, s. 320):

Personat heV! tuIstIs VoX: SVCCIs aret  
aDeMptIs / Noster ager sItIVnt fontes, herbaeqVe,  
feraeqVe.

V českém překladu zápis zní: „*Rozléhá se, ó běda ti, takový hlas: Sucho vysušuje, vyjídá naše pole, prameny žízní i rostliny a zvíř.*“ Letopočet 1746 je pak dán prostým součtem zvýrazněných římských číslic, tedy V + I + I + V + X + V + C + C + I + D + M + I + I + I + V + V + V.<sup>32</sup>

### j) epigrafické záznamy

Jedná se o značky či celé zprávy vytesané nebo nakreslené na skály, kameny či různé stavby nebo i ryté do dřeva, ukazující zpravidla úroveň extrémně vyso-

ké či nízké vody nebo připomínající určitou událost (například zabití bleskem nebo přívalovou povodeň). Hydrologické sucho bývá připomínáno tzv. hladovými kameny. Jeden z nich se nachází při levém břehu řeky Labe v Děčíně-Podmoklech a neznámí autoři na něm vytesali značky nízkých labských vod s vyznačením odpovídajících roků (obr. 23). Nápis na kameni varuje před následky sucha: *Wenn du mich siehst, dann weine.* [Když mě uvidíš, zaplačeš.] Jde o vyjádření skutečnosti, že po suchu následovala obvykle špatná úroda, nedostatek potravin, jejich vysoké ceny a období hladu pro chudší vrstvy obyvatelstva. Následující suché epizody z let před rokem 1900 jsou připomínány na tomto kameni: 1417, 1616, 1707, 1746, 1790, 1800, 1811, 1830, 1842, 1868, 1892, a 1893. Obdobný hladový kámen existoval na Labi také v nedalekém Dolním Žlebu (Anonym, 1911; Špecinger, 1983; Pažourek, 1995). Ve Švýcarsku zmiňují Pfister et al. (2006) značky nízkých vod na řece Rýnu na kameni zvaném „Laufenstein“.

### k) ikonografie

Jde o vyobrazení či fotografickou dokumentaci ve vztahu k počasí nebo hydrometeorologickým extrémům (například znázornění povodní). Z hlediska interpretace dopadů extrémních hydrometeorologických jevů jsou významná i realistická vyobrazení krajiny, z nichž lze získat představu o tehdejšímu využívání krajiny, o okolí měst, o vodních tocích atd.

### l) jiné prameny

Kuriózním případem zmínky o suchu může být historika týkající se faráře Prokopa Diviše, autora uzemněného bleskosvodu. Dne 15. června 1754 vztyčil svůj „povětrnostní (meteorologický) stroj“ na faře v Příměticích. Na podzim roku 1759 byl ale navštíven vesničany, podněcovanými Divišovými odpůrci, se žádostí, aby odstranil zmíněný přístroj, který považovali za příčinu suchého léta toho roku. Když se nedočkali od Diviše pozitivní reakce, dne 19. března 1760 poškodili řetězy, které držely přístroj. Ten byl shozen dolů následující noci při bouřce. V létě roku 1760, kdy bouřky nadělaly velké škody na polích a vinicích, požádali vesničané Diviše o opětovné vztyčení jeho „povětrnostního stroje“. Této jejich žádosti však již nevyhověl (Peřinka, 1904).

Svůj význam neztrácejí písemné a grafické dokumenty ani v relativně novější době systematických meteorologických pozorování, kdy mohou významným způsobem doplňovat informace získané ze sítě meteorologických stanic (zejména při výzkumu

<sup>31</sup> V českém překladu: Rok 1835 se stejně jako předchozí vyznačoval neobvykle dlouhou trvajícím suchem a vysokou teplotou v nížinách, z čehož na mnoha místech nastala slabá úroda obilí a obzvláště krmiv, zatímco ve středohorách nezbytná vlhkost nechyběla, a proto tam následovala bohatá sklizeň většiny hospodářských produktů. Obzvláště velký byl nedostatek deště a tím způsobená neúroda v blízkém okolí hlavního města [Prahy] a částečně v budějovickém, plzeňském a zateckém kraji.

<sup>32</sup> Ve vyjádření arabskými číslicemi: 5 + 1 + 1 + 5 + 10 + 5 + 100 + 100 + 1 + 500 + 1000 + 1 + 1 + 1 + 5 + 5 + 5 = 1746.



**Obr. 23.** „Hladový kámen“ při levém břehu řeky Labe v Děčíně-Podmoklech, obnažený při suchu v roce 1904 (archiv O. Kotyzy)  
**Figure 23.** The “Hunger Stone” on the left bank of the River Elbe at Děčín-Podmokly, uncovered during the drought of 1904 (O. Kotyza archive)

hydrometeorologických extrémů). Příkladem mohou být denní záznamy počasí v denících valašského písmáka Josefa Lukotky ze Vsetína z let 1903–1923 (Lukotka; Brázdil et al., 2014b). Například v roce 1904 lokalizoval sucho na období od května do července, přičemž celý rok označil jako suchý a srovnával ho se suchými roky 1811 a 1842. Další sucha zmínil na podzim roku 1906, v červenci–srpnu 1911, v květnu 1915 (srovnává je s rokem 1863), a mezi 16. květnem a 1. říjnem 1917. V roce 1921 uvádí sucho poprvé ke dni 18. července a naposledy 11. října, přičemž v zápise k 10. srpnu je porovnává s rokem 1867. Informace k suchu roku 1921 lze doplnit zápisy z kroniky města Vsetína (*Kron. Vsetína*, s. 433), podle níž nepršelo od dubna do poloviny srpna, uschla tráva na lukách a předčasně i bramborová nať, ovoce opadalo suchem, podél železniční trati často hořela tráva, ale i obilí na polích, objevovaly se i lesní požáry, vyschly menší potoky, městský vodovod měl kritický nedostatek vody a na kopce a paseky museli lidé donášet vodu z údolí pro svou potřebu i pro dobytek.

Při interpretaci záznamů o suchu z dokumentárních pramenů je třeba řešit jisté metodologické problémy. Zatímco některé prameny zmiňují sucho při-

mo, u jiných jde pouze o jeho nepřímé indikátory. To se týká případu popisu následků sucha, z nichž si lze učinit také představu o jeho intenzitě. Mezi takovéto indikátory sucha patří informace o špatné úrodě různých plodin (hlavně obilí, zeleniny a ovoce), nedostatku vody, nízké hladině vody v tocích nebo zastavení proudění („stojící“ voda), vysychání vodních toků a pramenů, možnosti překonat větší vodní toky pěšky nebo povozem, stojících vodních mlýnech, drahotě mouky a chleba, období bez deště, znemožnění podzimní setby, prosebných procesí, modlení nebo půstu za déšť atd.

Některé zprávy zmiňují přímo období bez deště, indikující meteorologické sucho. Tak například Pavel Mikšovic uvedl ve své lounské kronice k roku 1540, že horké a suché počasí panovalo od 26. května do 13. října a bylo přerušeno jen deštěm dne 8. srpna (Mikšovic, s. 16–17). Mnoho zpráv specifikuje trvání sucha na úrovni měsíců nebo sezon. Tak koželužský mistr Michel Stüeler z Krupky konstatoval suché léto a podzim roku 1630, kdy vyschly všechny potoky a prameny. Sucho tohoto roku považoval za větší než to, které se vyskytlo v roce 1590 (Brázdil et al., 2004b). Jiné prameny citují ale sucho bez bližší specifikace jen pro daný rok. Příkladem takovéto zprávy



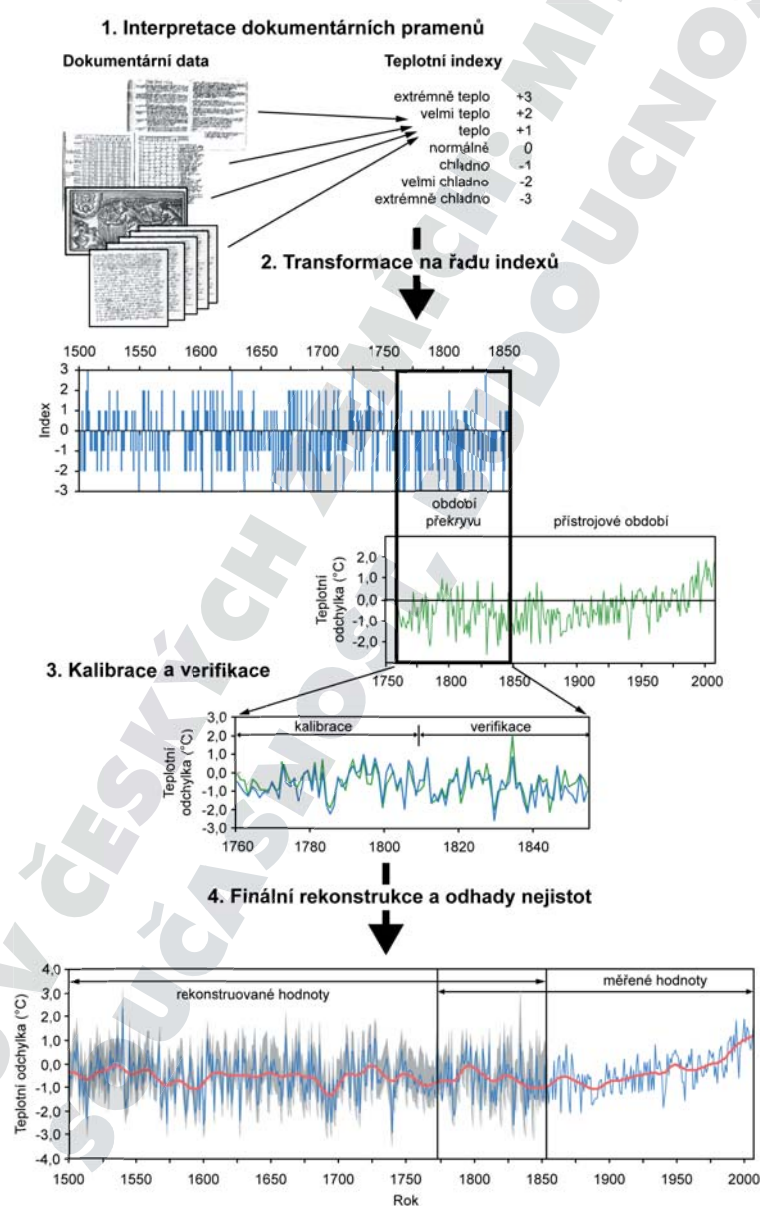
může být opět Stüelerova shrnující informace k roku 1635: „Suchý rok, málo obilí a ovoce, dobré víno.“ (Brázdil et al., 2004b).

### 3.3.2 Metody rekonstrukce teplot vzduchu a srážek z dokumentárních údajů

Dokumentární údaje zmíněné v předchozí části jsou základem pro rekonstrukci klimatu, pro kterou se sestavují buď řady teplotních a srážkových indexů nebo řady tzv. (bio)fyzikálních parametrů, opírající se o různá proxy data (Brázdil et al., 2010a). Kvantitativní rekonstrukce teplotních a srážkových po-

měrů provedená na základě dokumentárních údajů a dat z instrumentálního období je v základních rysech obdobou standardních metodologických postupů, které jsou využívány u jiných typů přírodních proxy-dat v paleoklimatologii (Brázdil, Dobrovolný, 2010). Proces lze rozdělit do několika etap (obr. 24), které jsou blíže popsány níže:

- interpretace a kompilace řad z instrumentálního a předinstrumentálního období,
- testování množství vysvětlené variability mezi oběma typy řad,
- kalibrace údajů z předinstrumentálního období na měřená data,



**Obr. 24.** Schéma kvantitativní rekonstrukce teploty vzduchu (srážek) podle řady teplotních (srážkových) indexů sestavených z dokumentárních údajů (upraveno podle Brázdila a Dobrovolného, 2010)

**Figure 24.** Quantitative reconstruction of air temperature (precipitation) in relation to temperature (precipitation) index series compiled from documentary data (adapted from Brázdil, Dobrovolný, 2010)



- d) verifikace sestaveného vztahu,
- e) vlastní rekonstrukce,
- f) odhad nejistot.

V přehledu dokumentárních pramenů v kap. 3.3.1 bylo uvedeno jejich členění na nepřímé (proxy) a přímé údaje. Pokud jde o první skupinu dat, jedná se ve většině případů o údaje, které mají svým charakterem blízko k fenologickým pozorováním a které obsahují například informace o počátku, průběhu či ukončení různých polních prací (začátek žní významných zemědělských plodin, začátek vinobraní apod.). Tyto údaje mají kvantitativní charakter, resp. existují alespoň na ordinální škále. Často se jedná o data institucionálního charakteru, která se vyznačují větší kontinuitou záznamů v čase (například v porovnání s narativními zdroji) a v některých případech může být k dispozici i několik časových řad z různých pramenů. Z hlediska kvantitativní rekonstrukce je podstatné, že obdobně jako u proxy údajů z přírodních archivů (například údaje o šířce letokruhů — viz kap. 3.4) je tento druh dokumentárních informací sezonně omezen a prameny nejčastěji vypovídají o průběhu počasí a podnebí jarních měsíců, resp. časného léta. Příkladem analýz založených na nepřímých údajích je rekonstrukce teploty vzduchu března–června v českých zemích, využívající data počátku žní ozimé pšenice z let 1501–2008 (Možný et al., 2012).

Druhou skupinu pramenů představují údaje přímé, které přímo (většinou formou psaného textu) popisují průběh počasí, resp. jevy s průběhem počasí přímo související. Vedle popisné povahy jsou dále charakterizovány kvalitativním charakterem zpráv, značnou časovou a prostorovou proměnlivostí v jejich počtu, ale i v jejich charakteru. Mohou mít podobu krátkých i jednoslovných vyjádření vyskytujících se v některých denních záznamech o počasí, ale i velmi podrobné deskripce dějů, která je častá zvláště v případě výskytu neobvyklého průběhu počasí a hydrometeorologických extrémů. Velkou předností přímých údajů je skutečnost, že nejsou sezonně omezené. Tedy popisují průběh počasí ve všech sezonách roku, i když četnost zpráv se v průběhu roku mění a vyjadřuje také přímý vliv průběhu počasí na život obyvatel či na jejich ekonomické aktivity (obr. 25). Tak například v českých zemích se dokumentární údaje o teplotních poměrech nejčastěji vztahují k zimnímu období (Dobrovolný et al., 2010). Naopak v případě srážkových poměrů je nejvíce zpráv vázáno na období letní (Dobrovolný et al., 2015), což souvisí mimo jiné s potřebou srážek pro

zdárný vývoj vegetace, resp. s rizikem výskytu sucha. Jistou nevýhodou přímých zpráv je nutnost jejich interpretace, která je nezbytným předpokladem pro následnou kvantitativní rekonstrukci.

Hlavním krokem interpretace přímých zpráv je převod popisných kvalitativních údajů do ordinální škály do podoby teplotních či srážkových indexů (Brázdil et al., 2005b). Indexy jsou nejčastěji konstruovány na úrovni jednotlivých měsíců, resp. sezon, a charakterizují jejich teplotní či srážkovou extremitu. Jsou tedy vyjádřením relativní odchylky daného průběhu počasí od „normálu“. Například jednoduché měsíční indexy jsou vytvářeny v třístupňové škále od  $-1$  do  $+1$ , kde pro teplotu vzduchu značí  $-1$  chladný,  $0$  normální a  $+1$  teplý měsíc (analogicky pro srážky odpovídá  $-1$  suchému,  $0$  normálnímu a  $+1$  vlhkému měsíci). V případě dostatečného počtu podrobných zpráv lze sestavovat řady indexů v sedmistupňové škále, ve které mají jednotlivé indexy teplotní, resp. srážkové extremity měsíce následující význam:  $-3$  extrémně chladný/extrémně suchý,  $-2$  velmi chladný/velmi suchý,  $-1$  chladný/suchý,  $0$  normální,  $+1$  teplý/vlhký,  $+2$  velmi teplý/velmi vlhký,  $+3$  extrémně teplý/extrémně vlhký měsíc. Řady sezonních, resp. ročních indexů vzniknou prostým součtem indexů příslušných měsíců. Teoreticky tedy mohou nabývat hodnot v rozsahu od  $-9$  do  $+9$  (sezonní řady indexů), resp. od  $-36$  do  $+36$  (roční řady indexů). Z důvodu značné prostorové proměnlivosti v počtu dostupných dokumentárních údajů se řady indexů sestavují pro větší územní celky, jako jsou například české země (Brázdil et al., 2013b), Německo (Glaser, 2008) či Švýcarsko (Pfister, 1999). Je zřejmé, že transformace popisných zpráv do podoby řad indexů je vždy zatížena jistou mírou subjektivity autora interpretace. Míra subjektivity může být jistým způsobem snížena několika nezávislými interpretacemi, a je-li to možné, také křížovou kontrolou sestavených řad indexů s řadami z okolních zemí.

Slovní popis teplotních, resp. srážkových poměrů často nevyjadřuje přímo tyto poměry, ale ve většině případů referuje o odchylkách od toho, co autor zprávy ze své zkušenosti považoval za „normální“ či „průměrné“. Z toho například vyplývá, že stejnými výrazy hodnocené teplotní či srážkové poměry mohou mít jiný význam v různých částech roku. Při jejich interpretaci je ale třeba mít na paměti skutečnost, že řada údajů se týká pouze relativního popisu změn v průběhu počasí (například „oteplilo se, mráz značně povolil“). Vlastní interpretace je dále založena na znalosti teplotních, resp. srážkových poměrů dané oblasti z období přístrojových





**Obr. 25.** Rok života na venkově (de Crescenti, 1583). Mnoho významných dokumentárních údajů vztahujících se k počasí a příbuzným jevům pochází z venkova, kde každodenní život, lidské činnosti a produkce potravin byly silně ovlivňovány průběhem počasí a jeho extrémů, včetně sucha

**Figure 25.** A year of life in the countryside (de Crescenti, 1583). Much important documentary data related to the weather and associated phenomena has its origin in the country, where daily life, human activity and the basic production of food were all powerfully influenced by the course of weather and its extremes, including drought



měření a na principu aktuálnosti. Na základě tohoto principu předpokládáme, že vztahy mezi meteorologickými prvky, případně jejich klimatologickými charakteristikami, které známe ze současného instrumentálního období, byly stejné i v minulosti. Tak například existuje poměrně těsný vztah mezi měsíčním počtem dnů se srážkami a úhrnem srážek. Známe-li pak z denních záznamů počasí počty srážkových dnů, lze uvedeného vztahu využít k relativně přesnému odhadu srážkové extremity daného měsíce a ke konstrukci výsledného indexu.

Doposud excerptované dokumentární údaje dovolují sestavit řady teplotních či srážkových indexů pro území českých zemí na úrovni jednotlivých měsíců pro období 1501–1854. Interpretaci dokumentárních údajů z českých zemí před rokem 1500 provedli Brázdil a Kotyza (1995); pokrytí meteorologickými údaji v tomto období je ale relativně malé. Ani po roce 1500 však nejsou české řady indexů kompletní. Vyšší četnost chybějících údajů je typická pro první polovinu 16. století, v případě srážkových indexů potom také pro 17. století a první dvě dekady 18. století. V případě teplotních indexů jsou nejuplněnější řady zimních měsíců (86–90 %), zatímco pro květen a říjen nedosahuje pokrytí ani 70 %. Řady srážkových indexů letních měsíců (červen–srpen) jsou úplně z 70–80 %, ale v ostatních měsících jen z 50–60 %. Aby bylo možné sestavit kompletní rekonstruované řady, byly chybějící údaje doplněny. Rekonstrukce teploty vzduchu byla sestavena pro území střední Evropy a řady teplotních indexů z českých zemí byly kombinovány s podobnými řadami z Německa a Švýcarska (bližší viz Dobrovolný et al., 2010). Chybějící srážkové indexy z českých zemí byly metodou regresní analýzy doplněny na základě existujících obdobných řad z Německa a Švýcarska. Konkrétní postup doplnění je prezentován v práci Dobrovolného et al. (2015).

Teplota vzduchu byla kalibrována na průměrnou teplotní řadu sestavenou z celkem 11 dlouhých řad měření z meteorologických stanic z Německa, Rakouska a Švýcarska, doplněných řadou Prahy-Klementina. Teplotní řady byly převzaty z databáze HISTALP (Auer et al., 2007) a byly korigovány s ohledem na všechny známé zdroje nehomogenit (Böhm et al., 2010). Výsledná řada průměrných měsíčních teplot vzduchu pokrývá období 1760–2007, takže období překryvu s řadou teplotních indexů, odvozenou z dokumentárních pramenů, zahrnuje roky 1760–1854.

Ke kalibraci srážkových úhrnů byla využita průměrná srážková řada České republiky (Brázdil et al.,

2012a). Ta byla kompilována z homogenních srážkových řad 14 meteorologických stanic (viz kap. 3.1). Výsledná řada zahrnuje období 1804–2010 a s řadou srážkových indexů stanovenou z dokumentárních údajů se překrývá v letech 1804–1854.

Reprezentativnost obou průměrných řad z přístrojového období pro vystižení variability teploty vzduchu v oblasti střední Evropy, resp. srážek v českých zemích, byla testována metodami prostorové korelace (Dobrovolný et al., 2010, 2015). Průměrné řady byly korelovány s prostorovými databázemi HadCRUT3 pro teplotu vzduchu (Brohan et al., 2006) a CRU TS3 pro srážky (Harris et al., 2013). V obou případech byl na úrovni průměrných sezonních teplot (úhrnů srážek) prokázán statisticky významný vztah mezi oběma průměrnými řadami a polem teplot (srážek) v oblasti střední Evropy.

K vlastní kalibraci řad teplotních a srážkových indexů na řady přístrojových měření byly využity údaje z celého období překryvu, nicméně pro verifikaci a prokázání časové stability kalibračního vztahu bylo společné období rozděleno na subperiody 1771–1816 a 1817–1854 pro teplotu, resp. 1804–1829 a 1830–1854 pro srážky. Kalibrační vztah byl sestaven metodou lineární regrese vždy pro jednu ze subperiod a byl verifikován pro druhou subperiodu. Úspěšnost vlastní kalibrace i následné verifikace byla hodnocena pomocí několika statistických charakteristik, využívaných pro tyto účely například v dendroklimatologii. V případě kalibrace se jednalo o koeficient determinace  $r^2$ , který kvantifikuje množství variability závisle proměnné vysvětlené změnou nezávisle proměnné. S pomocí Durbin-Watsonova testu  $DW$  se zjišťovalo, zda existuje statisticky významná autokorelace v reziduálních hodnotách získaných z regresní závislosti mezi řadami indexů a měřených teplot, resp. srážek. Jako verifikační statistika byl použit opět koeficient determinace a dále statistiky označované jako redukce chyby (Reduction of Error  $RE$ ) a koeficient účinnosti (Coefficient of Efficiency  $CE$ ).

Redukce chyby  $RE$  se vypočítá podle vztahu:

$$RE = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_c)^2}, \quad (13)$$

kde  $x_i$  a  $\hat{x}_i$  jsou měřené, resp. rekonstruované hodnoty z verifikačního období a  $\bar{x}_c$  je průměr měřených hodnot kalibračního období.

Koeficient účinnosti  $CE$  je obdobou výše uvedené statistiky  $RE$ , avšak porovnává rekonstruova-



né hodnoty vůči průměru hodnot verifikační subperiody  $\bar{x}_v$ :

$$CE = 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_v)^2}. \quad (14)$$

Obě míry mohou nabývat teoreticky hodnot od jedné do minus nekonečna a jejich interpretace je poměrně jednoduchá. Pokud jsou tyto hodnoty kladné, tak sestavený kalibrační vztah vysvětluje více variability než v případě, kdy bychom na místo rekonstruovaných hodnot použili pouze aritmetický průměr hodnot z kalibračního (*RE*), resp. verifikačního (*CE*) období (Cook et al., 1994; Rutherford et al., 2005).

Podrobné výsledky kalibrace a verifikace shrnují práce Dobrovolného et al. (2010, 2015). Souhrnně lze konstatovat, že dokumentární údaje nejlépe vystihují variabilitu teploty vzduchu zimních a jarních měsíců (vysvětlená variabilita činí 83 %, resp. 80 %). Naopak v případě srážek bylo nejlepších výsledků dosaženo pro roční úhrny a pro úhrny podzimních měsíců (36 %). Tedy teplotní rekonstrukce je významně přesnější v porovnání se srážkami, u kterých se navíc jeví jako problematická časová stabilita získaných výsledků. Ta se projevuje významnými rozdíly v množství vysvětlené variability pro jednotlivé subperiody období překryvu.

Jednou z vlastností metody lineární regrese, která byla použita k finální kalibraci a k odhadu rekonstruovaných teplot (srážek) na základě indexů stanovených z dokumentárních pramenů, je skutečnost, že rekonstruované hodnoty se vyznačují nižší variabilitou v porovnání s hodnotami nezávisle proměnné, tedy hodnotami řad z období přístrojových měření. Protože lze předpokládat, že variabilita obou řad by měla být stejná, byla výsledná rekonstrukce upravena tak, aby měla stejný průměr a stejnou variabilitu jako měřené údaje celkového kalibračního období (Osborn et al., 1997).

Stejně jako v případě rekonstrukcí založených na využití proxy údajů z přírodních archivů lze i rekonstrukce sestavené na základě indexových řad z dokumentárních údajů doplnit odhady možných nejistot. Odhady spolehlivosti však v tomto případě komplikuje fakt, že některé zdroje nejistot v řadách indexů lze jen těžce kvantifikovat (například kvalitu dokumentárních údajů). Jestliže například kvalita dat využívaných v dendroklimatologii přímo souvisí s počtem vzorků dřev v jednotlivých ro-

cích a je kvantifikovatelná statistikou označovanou jako společný signál souboru všech vzorků analyzované chronologie v populaci (Expressed Population Signal — *EPS*; Wigley et al., 1984), počet dokumentárních údajů a jejich přínos pro kvalitu rekonstrukce spolu přímo nesouvisí. Odhady nejistot teplotní i srážkové rekonstrukce byly proto zkonstruovány na základě hodnoty směrodatné chyby odhadu (Standard Error — *SE*), která je standardním výsledkem metody lineární regrese. Hodnota *2SE* potom definuje šířku 95 % pásu spolehlivosti. Takový odhad je však zjednodušením celé problematiky kvantifikace nejistot, protože je založen pouze na údajích z překryvového období, ze kterého je sestaven finální kalibrační vztah. V případě teplotní rekonstrukce bylo proto (jako další zdroj nejistot z období před začátkem přístrojových měření) uvažováno množství společné variability použitých tří indexových řad (tedy českých zemí, Německa a Švýcarska), vyjádřené hodnotou průměrného korelačního koeficientu mezi těmito řadami (*RBAR*). Míra společné korelace byla počítána klouzavým způsobem pro období délky 45 roků. Hodnota *RBAR* nižší než v kalibračním období značí menší míru spolehlivosti indexů v daném období, a proto byl pás spolehlivosti pro toto období rozšířen (bližší viz Dobrovolný et al., 2010).

### 3.4 DENDROCHRONOLOGICKÉ ÚDAJE

Dendrochronologii v užším slova smyslu je možné chápat jako metodu datování dřeva, založenou na měření šířek letokruhů (Kaennel, Schweingruber, 1995). Nejčastěji se tato metoda využívá pro datování dřevěných archeologických nálezů a dřevěných prvků historických staveb, především krovů, nebo pro určení stáří dřevěných uměleckých předmětů (Rybníček et al., 2010a). V širším slova smyslu dendrochronologie studuje informace uložené v letokruzích a pokouší se vysvětlit jejich příčiny (Kaennel, Schweingruber, 1995). Příkladem může být rekonstrukce klimatologických charakteristik v minulosti (například Brázdil et al., 1997, 2002a; Büntgen et al., 2006, 2010a, 2011a, 2013; Treml et al., 2014).

Nejčastěji využívaným parametrem pro dendrochronologické analýzy je šířka letokruhů. Letokruhem se rozumí tloušťkový přírůst dřeva za vegetační období příslušného roku vznikající dělivou činností buněk kambia (Kaennel, Schweingruber, 1995). Šířka letokruhu je závislá na řadě vnějších, ale také vnitřních, faktorů jako jsou teplota vzduchu, zásoba vody v půdě, množství srážek, znečištění ovzdu-

ší, napadení stromu živočišnými nebo rostlinnými škůdci, ale rovněž i genetické dispozice daného jedince (Schweingruber, 1996).

Vzorky pro dendrochronologickou analýzu jsou odebírány nejčastěji pomocí Presslerova přírůstového nebozezu nebo ve formě příčného výřezu pomocí motorové pily. Měření šířek letokruhů je prováděno pomocí speciálního měřicího stolu, který je spojen s počítačem. Měřicí stůl je vybaven posuvným šroubovým mechanismem a impulsmetrem, který zaznamenává interval posunu desky stolu a tím i šířku letokruhu. Poslední částí měřicí aparatury je stereolupa s nitkovým křížem umístěná na stativu (obr. 26). Měření šířky letokruhů je prováděno s přesností na 0,01 mm zpravidla na příčném řezu, kde je nejlépe zřetelná hranice letokruhů (Rybníček et al., 2010b).

Ze získaných letokruhových křivek jsou pak se-



**Obr. 26.** Vybavení dendrochronologické laboratoře  
**Figure 26.** Equipment in a dendrochronology laboratory

stavovány tzv. standardní chronologie, které vznikají postupným překrýváním letokruhových sekvencí od současnosti směrem do minulosti (obr. 27; Kaennel, Schweingruber, 1995). Jedná se tedy o průměrnou letokruhovou řadu sestavenou z velkého množství (v řádu stovek) letokruhových řad recentních porostů, historických dřevěných stavebních konstrukcí, dřevěných archeologických nálezů a subfossilních kmenů (Vinař et al., 2005). Míra podobnosti mezi letokruhovými křivkami je posuzována pomocí korelačního koeficientu (Baillie, Pilcher 1973; Hollstein, 1980), koeficientu souběžnosti (Eckstein, Bauch, 1969) a také optické shody letokruhových křivek. Nejdelší standardní chronologie na světě byla vytvořena z dubových vzorků pro jižní Německo a pokrývá období od roku 8480 př. n. l. do současnosti (Spurk et al., 1998). V České repub-

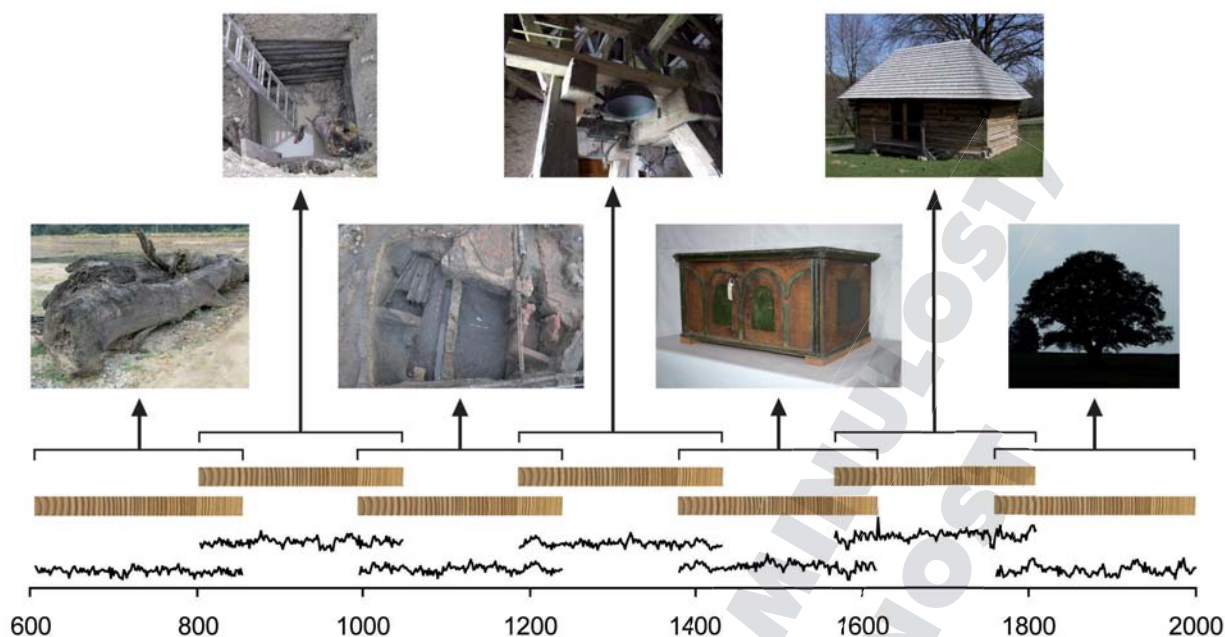
lice je nejdelší standardní dubová chronologie, sestavená pro období od roku 4682 př. n. l. až do současnosti (Kolář et al., 2012).

Kratší lokální standardní chronologie z recentních stromů slouží ke zkoumání vztahu mezi šířkou letokruhu a klimatickými parametry (například teplotou vzduchu, množstvím srážek, zásobou vody v půdě) v nedávné minulosti (např. Rybníček et al., 2010a, 2012c; Treml et al., 2012). Dlouhé standardní chronologie pak mohou být využity k rekonstrukci klimatických podmínek v určité oblasti až do období počátku holocénu.

Využití letokruhových chronologií pro klimatické rekonstrukce je zpravidla možné pouze v případech, kdy se stanoviště nachází na hranici ekologické valence dané dřeviny (Fritts, 1976). Pouze v těchto případech je klimatický signál obsažený v letokruhových sériích dostatečně silný pro spolehlivou klimatickou rekonstrukci. Využívány jsou zpravidla řady pocházející z živých stromů, případně subfossilního dřeva, nacházejícího se přímo na těchto lokalitách (Helama et al., 2002; Nicolussi et al., 2009). V některých případech lze využít také chronologie obsahující materiál ze stavebních konstrukcí (Büntgen et al., 2006, 2011b). Pro získání kvalitní rekonstrukce je nutné nejdříve z jednotlivých chronologií odstranit tzv. růstový trend, vyjadřující klimatem neovlivněnou změnu přírůstu (Esper et al., 2003). Na základě vztahu mezi standardní chronologií a klimatickými parametry jsou pomocí korelační a regresní analýzy vybrány proměnné nejlépe vysvětlující variabilitu přírůstu (Cook, Kairiukstis, 1990). Vybrané proměnné jsou následně kalibrovány s dendrochronologickými daty a získaná funkce je použita pro rekonstrukci.

Pro dendroekologické analýzy můžeme využít téměř všechny jehličnaté a listnaté dřeviny mírného pásma. Z praktického hlediska jsou nevhodnějšími dřevinami pro letokruhové analýzy dřeva listnatá s kruhovitě pórovitou stavbou dřeva (například dub, jasan, jilm) a dřeva jehličnatá, kde jsou zřetelné hranice mezi jednotlivými letokruhy. Dřeviny s roztroušeně pórovitou stavbou dřeva (například lípa, javor, buk) jsou dendrochronologicky obtížně analyzovatelné (Rybníček et al., 2010b).

V České republice byly dendroekologické studie prováděny zejména na smrkových horských porostech, například v Krkonoších (Kroupová, 2002; Treml et al., 2012), v Jizerských horách (Kroupová, 2002), v Krušných horách (Kroupová, 2002), na Šumavě (Čejková, Kolář, 2009), na Dražanské vrchovině (Rybníček et al., 2012a), na Českomoravské



**Obr. 27.** Princip tvorby standardních letokruhových chronologií  
**Figure 27.** How a standard tree-ring chronology is created in practice

vrchovině (Rybníček et al., 2012b, 2012c), v Beskydech (Rybníček et al., 2010a), v Jeseníkách (Tremel et al., 2012) a v Orlických horách (Rybníček et al., 2009), a výjimečně také na dubových (Čejková, Poláková, 2012; Rybníček et al., 2015b) nebo borových (Mácová, 2008) porostech.

### 3.5 MONITOROVÁNÍ SUCHA METODAMI DÁLKOVÉ DETEKCE

#### 3.5.1 Princip metody dálkové detekce

Jednou z efektivních možností monitorování výskytu sucha je metoda dálkové detekce. Obecný princip metody spočívá v zaznamenávání intenzity elektromagnetického záření v různých intervalech spektra. Může se jednat o pasivní zaznamenávání odraženého krátkovlnného slunečního záření či o zaznamenávání intenzity dlouhovlnného záření, které jednotlivé objekty či povrchy samy emitují. Vedle toho existují také metody aktivní, které využívají umělého zdroje energie v podobě krátkého intenzivního paprsku, například mikrovlnného záření, a množství odraženého záření (tzv. echo) je potom nositelem informace o zemském povrchu. Příkladem těchto metod jsou radarové systémy.

Obrazový záznam má nejčastěji podobu multispektrálních družicových snímků složených z jednotlivých obrazových prvků (pixelů). Každý obrazový prvek nese informaci o množství záření odraženého či emitovaného z určité plochy na zem-

ském povrchu. Výsledné množství tohoto záření je z podstatné části formováno řadou biofyzikálních parametrů zemského povrchu. Jedná se například o barvu, texturu, chemické složení či obsah vody. Řada těchto parametrů má těsnou vazbu na radiační i vodní bilanci povrchů, na množství a zdravotní kondici vegetačního krytu či půdní vlhkost. Například postupné usychání vegetačního krytu má za následek výrazný pokles odrazivosti na snímcích pořízených v blízké infračervené části spektra. Obdobně nižší obsah půdní vlhkosti se na termálních snímcích projeví zvýšenou radiační teplotou. Protože řada uvedených parametrů přímo souvisí s procesy, které podmiňují výskyt sucha, lze metodou dálkového průzkumu nepřímo monitorovat především výskyt zemědělského sucha.

#### 3.5.2 Metody dálkové detekce využívané pro studium sucha

V současné době existuje mnoho metod dálkového průzkumu používaných k analýze sucha, které lze dělit podle různých hledisek. Podle využívaného intervalu vlnových délek elektromagnetického záření se jedná o metody analýzy snímků z tzv. optické části spektra, zahrnující viditelné a blízké infračervené záření. Přehled metod k detekci sucha podávají například Gutman (1990), Kogan (1997), Vogt et al. (2000) nebo Bayarjargal et al. (2006). U snímků pořízených v optické části spektra jsou studovanými indikátory sucha v podmínkách střední Evropy pře-



devším množství a vitalita vegetačního krytu. Snímky v termální části spektra umožňují mapovat povrchovou teplotu vegetačního krytu či teplotu svrchní vrstvy půdy, které významně korelují s vodním obsahem, a tedy i s výskytem sucha (Tang, Li, 2014). Charakteristiky vlhkosti vegetace či půdy je možné monitorovat také v oblasti mikrovlnného záření s využitím aktivních metod jako je radar (Wang, Qu, 2009) či pasivních metod pomocí tzv. mikrovlnných radiometrů (Hirschi et al., 2014).

Všechny metody, monitorující výskyt sucha, jeho intenzitu či časovou a prostorovou variabilitu nepřímo pomocí vybraných indikátorů a podle principu, lze dělit do dvou velkých skupin (Vogt et al., 2000):

- a) metody založené na modelech transferu záření  
Modely transferu záření (radiative transfer models) jsou modely stochastickými, které počítají i s náhodnou složkou na rozdíl od modelů deterministických. Spočívají v sestavení transformačních rovnic, které simulují naměřený signál na základě odhadnutých hodnot biofyzikálních parametrů zemského povrchu. Pokud je model úspěšně validován, tedy pokud dokáže relativně spolehlivě predikovat hodnoty naměřené družicí na základě známých parametrů studovaného povrchu, lze ho využít v tzv. inverzní (obrácené) úloze. Ta vypočte hodnoty biofyzikálních parametrů (například půdní vlhkost) z hodnot získaných družicovým snímáním (Vogt et al., 2000; Liang, 2007). Uvedenými postupy lze odhadovat hodnoty prvků radiační bilance, jako je například množství absorbovaného fotosynteticky aktivního záření (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation — fAPAR). Hodnoty fAPAR těsně korelují s primární produktivitou vegetace, a protože ta je citlivým indikátorem vegetačního stresu, mapování fAPAR má velký potenciál také pro studium sucha (Rossi, Niemeyer, 2010).

- b) empirické modely založené na sestavování spektrálních indexů  
Podstatou těchto deterministických metod je sestavení empiricky odvozených vztahů mezi hodnotou indexu a určitým biofyzikálním parametrem bez toho, že by se uvažovalo působení náhodné složky na výpočet parametru. Nejčastěji využívanými spektrálními indexy jsou tzv. vegetační indexy, které zvýrazňují vegetační složku na snímcích. Tyto indexy významně korelují s množstvím vegetace (hmotností biomasy), s jejím zdravotním stavem či vitalitou. Protože výskyt sucha uvedené vlastnosti vegetace

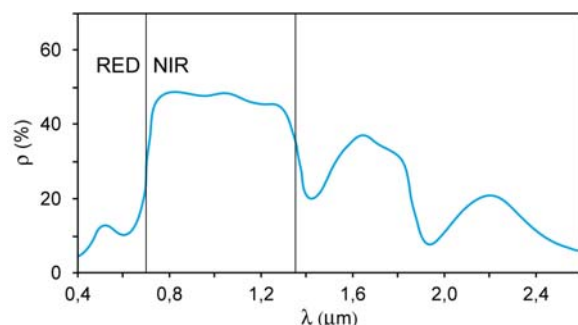
přímo ovlivňuje, jsou vegetační indexy využitelné k jeho monitorování.

Nejčastěji používaným vegetačním indexem je tzv. normalizovaný diferenční vegetační index (Normalized Difference Vegetation Index — NDVI). Na příkladu NDVI lze vysvětlit podstatu fungování většiny spektrálních indexů. Na obrázku 28 je znázorněna typická průměrná odrazivost vegetace. Jejím charakteristickým rysem je nízká odrazivost v intervalu vlnových délek červené části viditelného záření (RED), která je způsobena pohlcováním tohoto záření chlorofylem. Naopak v části intervalu blízkého infračerveného záření (NIR) je množství odraženého záření od povrchů pokrytých vegetací výrazně vyšší. Tato oblast se označuje jako oblast buněčné struktury a její zvýšenou odrazivost formuje především uspořádání buněk těchto částí rostlin, které záření odrážejí (především listů). Rozdíl, případně podíl odrazivosti v obou zmíněných částech spektra je tím vyšší, čím více vegetace se na dané ploše ve snímku nachází.

Normalizovaný diferenční vegetační index NDVI se vypočte podle následujícího vztahu:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (15)$$

Výsledkem jednoduché kombinace dvou pásem multispektrálního obrazu je hodnota indexu v ordinální škále, která umožňuje seřadit jednotlivé obrazové prvky či větší objekty podle množství vegetace na snímku. Hodnoty kolísají v rozmezí od -1 do 1 a nejvyšší jsou v těch částech snímku, kde je vegetace nejvíce. Úbytek zelené hmoty v důsledku usychání vegetace se primárně projeví snížením odrazivosti



**Obr. 28.** Typická spektrální odrazivost vegetace ve viditelné (RED) a blízké infračervené (NIR) části elektromagnetického spektra;  $\lambda$  značí vlnovou délku a  $\rho$  relativní množství odraženého záření

**Figure 28.** Typical spectral reflectance of vegetation in the visible (RED) and near-infrared (NIR) part of the electromagnetic spectrum;  $\lambda$  is wavelength and  $\rho$  is the relative reflected radiance

v blízké infračervené části spektra, a tedy i nižšími hodnotami NDVI.

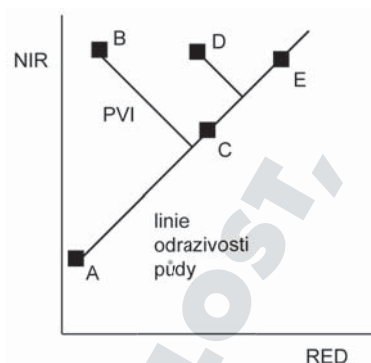
NDVI je typickým příkladem tzv. poměrových vegetačních indexů. Cílem modifikací výpočtu NDVI a sestavování řady dalších vegetačních indexů je potlačit některé negativní stránky jednoduchého konceptu NDVI, jako jsou například vlivy atmosféry (ARVI — Atmospherically Resistant Vegetation Index, tj. vegetační index rezistentní k vlivům atmosféry) či vlivy odrazivosti půdního substrátu (SAVI — Soil Adjusted Vegetation Index, tj. vegetační index opravený o vliv odrazivosti půdního substrátu) (Jensen, 2005). Jiné indexy využívají k výpočtu více snímků nebo aplikují různé korekční faktory, které potlačují vliv atmosféry či zemského povrchu pod vegetací. Tak zvaný „vylepšený“ či „zvýrazněný“ vegetační index (Enhanced Vegetation Index — EVI) se vypočte následujícím způsobem:

$$EVI = G \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\sigma_{NIR} + C_1 \rho_{red} - C_2 \rho_{blue} + L}. \quad (16)$$

V uvedeném vztahu značí *blue* snímek z modré části viditelného záření,  $C_1$  a  $C_2$  jsou koeficienty popisující intenzitu aerosolového rozptylu ( $C_1 = 6$ ,  $C_2 = 7,5$ ),  $L$  je úprava, která určuje nelineární přenos NIR a *red* záření skrz vegetaci (nejčastěji  $L = 1$ ) a  $G$  je tzv. „gain“ faktor ( $G = 2,5$ ). Z dalších zástupců uvedené skupiny indexů využitelných k detekci sucha lze jmenovat například index vegetačních podmínek (Vegetation Condition Index — VCI; Kogan, 1990, 1995) nebo standardizovaný vegetační index (Standardized Vegetation Index — SVI; Peters et al., 2002), jako indikátor odchylek od NDVI. Řada výše uvedených indexů je však funkčně zaměnitelná.

Vedle poměrových indexů lze konstruovat také tzv. ortogonální vegetační indexy. Tyto indexy jsou vypočteny jako lineární kombinace původních pásem multispektrálního obrazu a princip jejich fungování je patrný z obrázku 29. Obrazové prvky, představující půdu bez vegetace (v obrázku 29 body označené A, C, E), vytvářejí v korelačním poli sestaveném ze snímků pořízených v červené a blízké infračervené části spektra zřetelnou linii označovanou jako „linie půd“ (soil line). Pixely, na kterých je v různém množství zastoupena vegetace (v obrázku 29 body B či D), se zobrazují nad touto linií, a to tím dále, čím více vegetace obsahují. Tedy kolmá vzdálenost každého obrazového prvku od linie půd je nositelem informace o množství a vitalitě vegetace na ploše tohoto obrazového prvku.

Na výše uvedeném principu je možné vypočítat



**Obr. 29.** Princip výpočtu tzv. ortogonálních spektrálních indexů (vysvětlivky viz text)

**Figure 29.** Derivation of orthogonal spectral indices (see text for explanation)

například tzv. kolmý vegetační index PVI (Perpendicular Vegetation Index):

$$PVI = \sqrt{(RED_p - RED_v)^2 + (NIR_p - NIR_v)^2}. \quad (17)$$

V uvedeném vztahu představuje  $RED_p$  ( $NIR_p$ ) odrazivost půdy v červené viditelné (blízké infračervené) části spektra a  $RED_v$  ( $NIR_v$ ) odrazivost vegetace v červené viditelné (blízké infračervené) části spektra. Na principu PVI je založen výpočet modifikovaného kolmého indexu sucha (Modified Perpendicular Drought Index — MPDI) (Ghulam et al., 2007).

Dalším příkladem této skupiny indexů, které lze využít k monitorování výskytu sucha, ale též například půdní vlhkosti, je transformace označovaná jako „Tasseled Cap“ (Campbell, Wynne, 2011). Je založena na principu metody analýzy hlavních komponent, kdy nově vypočtené snímky (spektrální indexy) jsou lineární kombinací snímků původních. Přitom koeficienty transformačních rovnic jsou určeny tak, aby každý z nově vypočtených snímků (indexů) zvýrazňoval informaci korelující s určitými vlastnostmi půdy a vegetace. V závislosti na použitých snímcích jsou výsledkem této transformace nejčastěji tři spektrální indexy, které lze interpretovat následovně:

- index jasu („brightness index“) orientovaný ve směru maximálního rozptylu hodnot odrazivosti půdy,
- index množství zeleně („greenness index“), který je kolmý k předchozímu indexu a je orientován ve směru největšího kontrastu mezi viditelnou a blízkou infračervenou částí spektra; je tedy ukazatelem množství zelené hmoty (vegetačním indexem),
- index vlhkosti („wetness index“), který koreluje

s vlhkostí půdy a vegetace.

Na obrázku 30 jsou jednotlivé indexy transformace „Tasseled Cap“ prezentovány pro oblast severozápadně od Brna. Světlými odstíny jsou znázorněny plochy s vysokou hodnotou daného indexu a naopak.

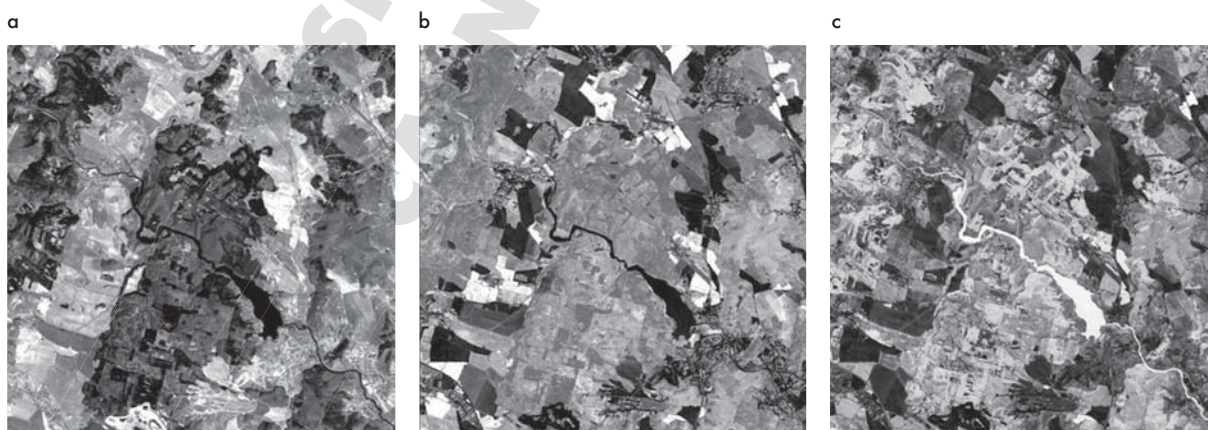
Z obrazových dat vícepásmových sensorů, jako je MODIS na palubě družic Terra, resp. Aqua, byl sestaven indikátor sucha s označením normalizovaný vícepásmový index sucha (Normalized Multi-Band Drought Index — NMDI), navržený Wangem a Qu (2007), který využívá pásma MODIS citlivá na obsah vody. Jedná se v podstatě o zdokonalení normalizovaného indexu vodního rozdílu (Normalized Difference Water Index — NDWI), který kombinoval dvě pásma z blízké a střední infračervené části spektra (Gao, 1996).

K monitorování vybraných charakteristik sucha jsou využívány také indexy sestavené z termálních snímků. Principy jejich výpočtu jsou obdobné jako výše. Termální snímky poskytují primárně informaci o povrchových teplotách a jejich změny pak souvisejí se zdravotní kondicí vegetačního krytu či s půdní vlhkostí, takže mohou sloužit jako nepřímé indikátory výskytu sucha. Kogan (1995) využil termálních snímků pro monitoring sucha pomocí indexu teplotních podmínek (Temperature Condition Index — TCI). Na základě kombinace snímků z optické a termální části elektromagnetického spektra byl sestaven vegetačně teplotní index (Vegetation Temperature Index — VTI) a vegetačně zdravotní index (Vegetation Health Index — VHI; Kogan, 1997, 2000). Podrobný přehled spektrálních indexů sestavených z termálních snímků využitelných pro moni-

toring sucha uvádějí Vogt et al. (2000) nebo Tang a Li (2014). Chauhan (2003), Petropoulos et al. (2009) či Dalezios et al. (2012) shrnují metody, které k monitorování půdní vlhkosti a výskytu zemědělského sucha kombinují jak povrchové teploty, tak i vegetační indexy. Vztah mezi půdní vlhkostí, povrchovou teplotou a hodnotami NDVI ukazuje obrázek 31, ze kterého je patrné, že v příznakovém prostoru definovaném hodnotami povrchové teploty a vegetačního indexu je možné identifikovat plochy (obrazové prvky) vystavené suchu. Na základě těchto poznatků vyvinuli Moran et al. (1994) tzv. vegetační index/teplotní trapezoid (Vegetation Index/Temperature Trapezoid — VITT) jako rozšíření indexu vodního stresu rostlin (Crop Water Stress Index — CWSI), původně navrženého Jacksonem et al. (1981), který ale primárně nevyužíval dat dálkového průzkumu.

Některé další indikátory sucha vycházejí ze vztahů mezi NDVI a povrchovou teplotou (Land Surface Temperature — LST). Jedná se například o index teplotních podmínek vegetace (Vegetation Temperature Condition Index — VTCI; Wan et al., 2004), který využívá poměr odchylek LST s určitou hodnotou NDVI na dostatečně rozsáhlé ploše či o teplotně-vegetační index suchosti (Temperature Vegetation Dryness Index — TVDI; Sandholt et al., 2002), který je založen na empiricky sestaveném vztahu mezi LST a NDVI. Jak je patrné z konceptu těchto indexů uvedeného na obrázku 31, kritickým bodem je určení hranic mezi suchou a vlhkou, resp. teplou a chladnou oblastí, protože empiricky sestavené vztahy mezi LST a NDVI mohou mít omezenou regionální platnost.

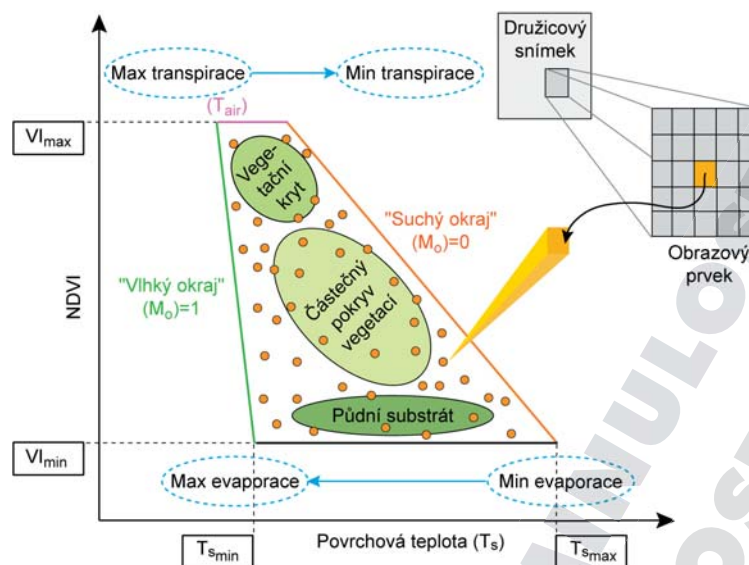
Zcela odlišný způsob monitoringu sucha me-



**Obr. 30.** Spektrální indexy transformace „Tasseled Cap“ mapující odrazivost půdy (a), vegetace (b) a vody (c) na území severozápadně od Brna; indexy byly sestaveny z obrazových dat pořízených radiometrem ETM+ umístěným na družici Landsat 7

**Figure 30.** Spectral indices derived from Tasseled Cap transformation representing indices of brightness (a), greenness (b), and wetness (c) for the north-western area of Brno; indices calculated from Landsat 7 ETM+





**Obr. 31.** Vztah mezi půdní vlhkostí, povrchovou teplotou a hodnotami NDVI (upraveno podle Petropoulose et al., 2009)  
**Figure 31.** Relationship between soil moisture, temperature, and NDVI (adapted from Petropoulos et al., 2009)

točami dálkového průzkumu představili Liu et al. (2008), kteří navrhli index dálkového průzkumu rizika sucha (Remote Sensing Drought Risk Index — RDRI). Indikátor je založený na lineární kombinaci tří produktů týkajících se oblačnosti. Ty popisují souvislou délku období s jasnou oblohou (tedy bez srážek), poměr mezi oblačnými a bezoblačnými dny a délku nejdelšího období se souvisle zataženou oblohou. Metoda byla použita na datech čínské meteorologické družice FY-2c a podle autorů výsledky předčily ty, které poskytuje index vegetačních podmínek (Vegetation Condition Index — VCI), získaný z dat MODIS, v podílu správně detekovaných suchých epizod v Číně v letech 2005 a 2006.

Metody využívající k analýze sucha pouze spektrální indexy mají ale řadu omezení. Protože se v mnoha případech jedná o empiricky sestavené vztahy, indexy mají regionálně omezenou platnost a také nedostatečně řeší nejistoty spojené například s vlivy atmosféry či topografie (Liang, 2004). Jedním ze způsobů, jak tato omezení překonat, jsou tzv. komplexní indikátory sucha (comprehensive drought indicators). Příkladem může být index vegetační odezvy na sucho (Vegetation Drought Response Index — VegDRI) (Brown et al., 2008). VegDRI je „hybridním“ indexem integrujícím družicová data v podobě vegetačních indexů, meteorologické údaje a vybrané biofyzikální parametry monitorovaného území. Přehled metod odhadu biofyzikálních parametrů (často souvisejících s výskytem sucha), založených na obrazových datech z optické části spektra,

podává Liang (2007).

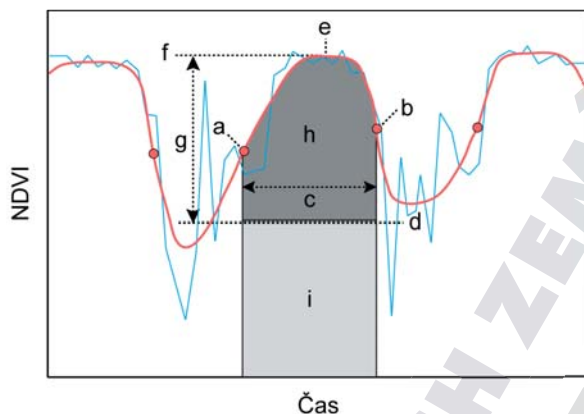
Pro monitorování sucha, případně pro jeho krátkodobé předpovědi, mají význam především metody a systémy založené na analýze snímků poskytovaných s vysokou frekvencí snímání daného místa, pomocí kterých lze detailně popsat vývoj studovaných indikátorů sucha v průběhu vegetační sezony (viz kap. 3.5.3). Vedle toho lze časových řad vegetačních indexů využít k sestavování vybraných fenologických charakteristik. Ty potom mohou sloužit k analýze trendů a ke studiu „dlouhodobého“ sucha (Jönsson, Eklundh, 2002).

V mírných zeměpisných šířkách střední Evropy mají hodnoty NDVI v průběhu roku tvar jednoduché vlny s minimem v zimních měsících a maximem ve vrcholu vegetační sezony v době maximálního rozvoje vegetace. Pro jednotlivé hodnoty NDVI je typická značná variabilita, která z větší části souvisí s charakteristikami vegetace, zčásti však také představuje šum, který je nutné potlačit vhodným nízkofrekvenčním filtrem. Shlazené časové řady indexů lze využít k definování vybraných fenologických charakteristik, jak je patrné z obrázku 32.

K monitorování sucha metodami dálkového průzkumu se v posledních letech intenzivně využívá také snímků pořízených v oblasti mikrovlnného záření. Nositelem informace o výskytu sucha jsou v tomto případě především charakteristiky půdní vlhkosti. Velkou výhodou mikrovlnného záření v porovnání s optickou částí spektra je nezávislost na podmínkách počasí. Naopak nevýhodou, přede-

vším u metod pasivních, je malé prostorové rozlišení. Podstatou statistických přístupů aplikovaných na snímky pořízené pasivní metodou tzv. mikrovlnným radiometrem je regresní analýza mezi naměřenou radiační teplotou a vlhkostí svrchní vrstvy půdy (Wang, Qu, 2009). Stejně jako v případě vegetačních indexů se jedná o jednoduché postupy, avšak s regionálně omezenou platností. Druhou skupinu potom tvoří metody využívající modely radiačního transferu. Aktivní metody snímání v oblasti mikrovln využívají princip radaru a z množství odraženého mikrovlnného signálu lze odhadovat půdní vlhkost (Campbell, Wynne, 2011). Mapování půdní vlhkosti umožňují také tzv. skaterometry (rozptyloměry), jejichž rozlišení je však malé (25–50 km) a výstupy jsou využitelné především v globálním měřítku (Bartalis et al., 2008).

### 3.5.3 Družicové systémy a parametry dat



**Obr. 32.** Princip výpočtu fenologických charakteristik na základě shlazených hodnot časové řady NDVI; původní řada je modře, shlazená červeně; a, b, c – začátek, konec a délka vegetační sezony, d – bazová hodnota, e – čas výskytu poloviny vegetační sezony, f – maximální hodnota, g – amplituda, h, i – plocha charakterizující množství vegetace v průběhu vegetační sezony (převzato z <http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>)

**Figure 32.** Some seasonality parameters generated from NDVI time series: a – beginning of vegetation season, b – end of season, c – length of season, d – base value, e – time of middle of season, f – maximum value, g – amplitude, h – small integrated value, i – large integrated value (adapted from <http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>)

### využívané ke studiu sucha

Oproti jiným metodám je výhodou metody dálkového průzkumu skutečnost, že informace v podobě družicových snímků jsou získávány z rozsáhlých ploch a opakovaně v závislosti na parametrech dráhy družice, která snímky vytváří. Měření lze považo-

vat za relativně homogenní, i když často je zapotřebí provádět jejich korekce na vlivy atmosféry, topografie atd. Prostorové rozlišení družicových snímků se pohybuje ve velmi širokém rozpětí od několika metrů po desítky kilometrů. I když výpočet jednoduchých vegetačních indexů umožňují i snímky z družic s velmi vysokým prostorovým rozlišením, například družice IKONOS s rozlišením 4 m, frekvence snímání takovýchto systémů je relativně malá a využitelnost pro monitorování sucha je omezená.

Nejčastěji využívanými systémy jsou družice s polární drahou letu, které poskytují alespoň jeden snímek denně a jejichž prostorové rozlišení se pohybuje kolem 1 km. Ze snímků jsou poté vypočteny hodnoty NDVI a jsou poskytovány uživatelům jako tzv. standardní produkty, a to ve většině případů zdarma. Časové rozlišení těchto standardních produktů však není jako u původních snímků jeden den, ale horší (například osm dní). Protože se k výpočtu NDVI využívá snímků z optické části spektra, je nutné eliminovat vliv oblačnosti, která v těchto krátkých vlnových délkách záření pohlcuje a znemožňuje výpočet vegetačního indexu. Odfiltrování vlivů oblačnosti je založeno na sestavování snímků, které jsou v každém obrazovém prvku tvořeny maximální hodnotou indexu ze snímků pořízených v posledních 8, resp. 16 dnech. Tyto produkty se označují jako kompozitní hodnoty (MVC – Maximum Value Composite). Metoda předpokládá, že během 8, resp. 16 dní se alespoň jedenkrát na ploše každého pixelu nevyskytuje oblačnost a pixel tak obsahuje hodnotu vegetačního indexu.

Nejdelší řadu NDVI vypočtenou ze snímků radiometru AVHRR nabízejí od roku 1981 družice NOAA. Prostorové rozlišení snímků je 1 100 m, ale sestavované mapy NDVI mají rozlišení 8 km. Významným zdrojem údajů pro výpočet řad NDVI, ale i jiných standardních produktů využitelných k monitorování sucha, jsou snímky z radiometru MODIS umístěného na družicích Terra, resp. Aqua. Tyto je možné využívat od roku 1999 a prostorové rozlišení snímků se pohybuje v rozmezí 250–1000 m. Od roku 1998 jsou k dispozici řady NDVI sestavené ze snímků skeneru VEGETATION na družicích SPOT. Od roku 2000 existují také řady NDVI pořízené družicemi METOP, které provozuje EUMETSAT a které mají od téhož roku stejné parametry snímků i výsledných produktů jako družice NOAA. Skenery AVHRR i MODIS pořizují snímky také v několika intervalech termálního záření, které lze rovněž využít k sestavování spektrálních indexů (Vogt et al., 2000).

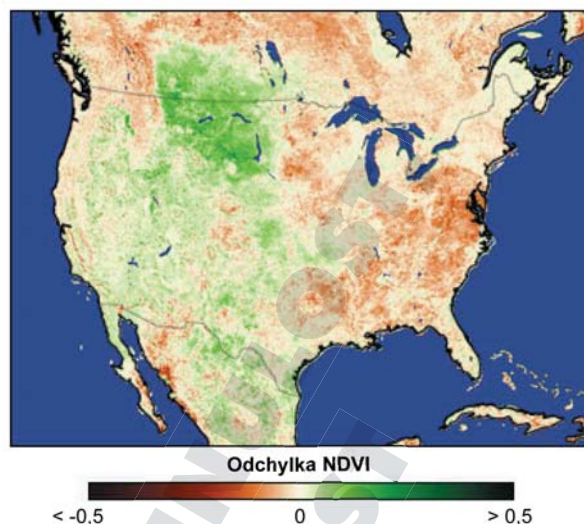
Organizace Joint Research Centre při Evrop-



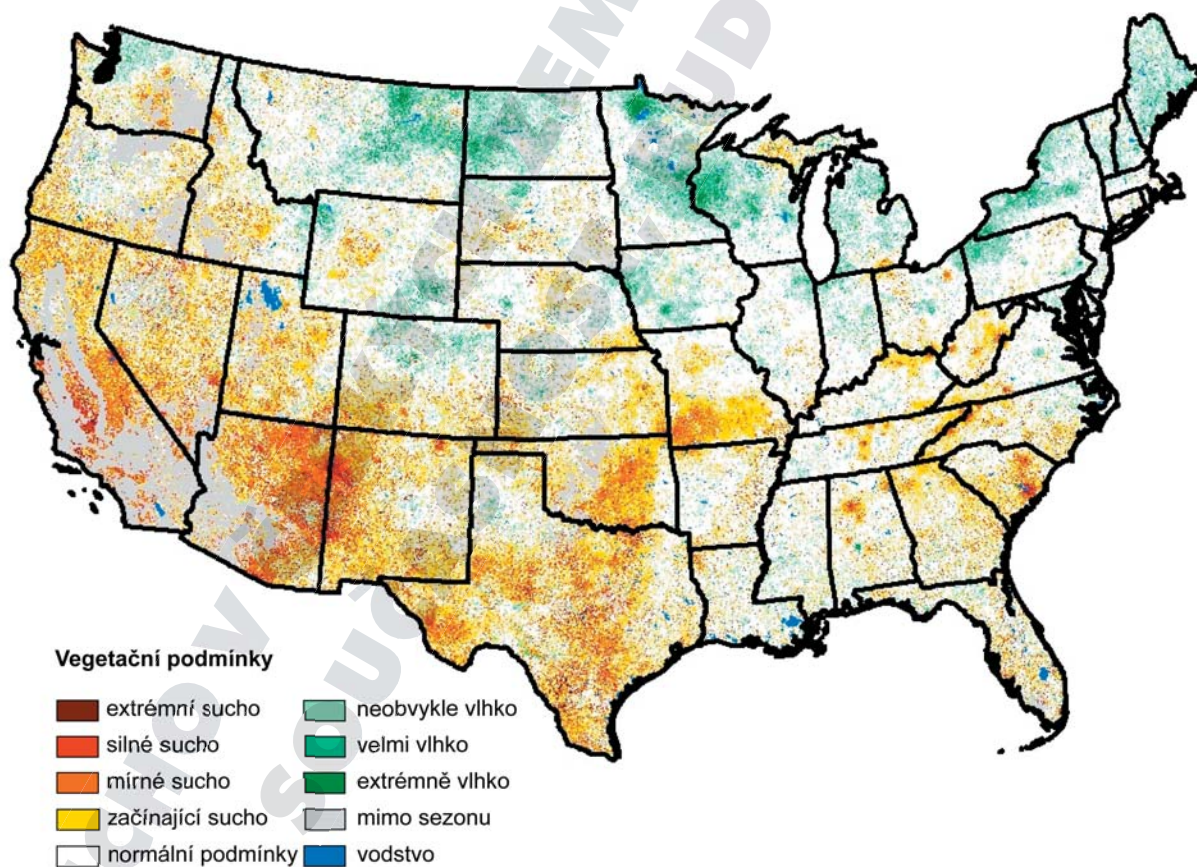
ské komisi poskytuje v rámci projektu European Drought Observatory (EDO) celkem 12 standardních produktů využitelných k monitorování a predikci výskytu sucha a půdní vlhkosti. Jejich seznam a základní parametry jsou shrnuty na stránkách EDO (<http://edo.jrc.ec.europa.eu>). Další informace o dostupných družicových snímcích či standardních produktech využitelných ke studiu sucha metodami dálkového průzkumu je možné nalézt na stránkách Evropské kosmické agentury (ESA — <https://earth.esa.int/web/guest/data-access>). Například ze snímků MERIS jsou vytvářeny mapy fAPAR s rozlišením 2–8 km s frekvencí 10 dnů.

### 3.5.4 Příklady využití družicových systémů ke studiu sucha

V případě průměrování NDVI z určitého území a části sezony během několika let můžeme zjistit „normální“ stav vegetace. Následně se nabízí možnost hodnotit stav vegetace v dané sezoně vzhledem k normálu. Pokud je tento přístup aplikován v oblastech, kde významným limitujícím faktorem pro stav vegetace je voda, pak stanovení odchylky NDVI da-



**Obr. 33.** Odchylka NDVI za srpen roku 1993 vzhledem k průměru za předchozích 20 let pro území Severní Ameriky (upraveno podle [http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php))  
**Figure 33.** NDVI anomaly in North America for August 1993, using mean NDVI for the same month over the past 20 years (adapted from [http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php))



**Obr. 34.** Výstup nástroje VegDRI (index vegetační odezvy na suchu) pro území USA dne 8. září 2014 (upraveno podle <http://vegdi.unl.edu/>)

**Figure 34.** VegDRI (Vegetation Drought Response Index) for the US territory on 8 September 2014 (adapted from <http://vegdi.unl.edu/>)

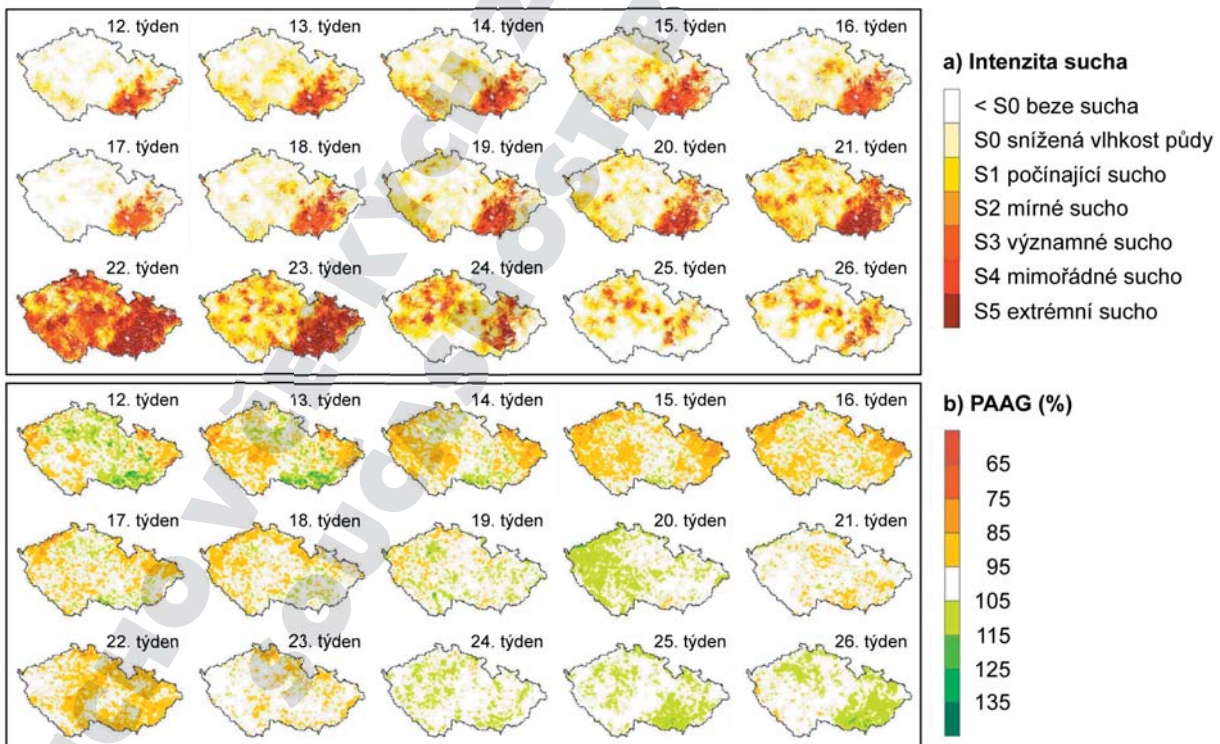


né sezony nebo její části může posloužit jako dobrý indikátor výskytu sucha, včetně sucha zemědělského, jsou-li v rámci studované oblasti významněji zastoupeny polní plodiny. Příklad využití tohoto přístupu je patrný z obrázku 33, který ukazuje odchylku NDVI v průběhu měsíce srpna roku 1993 vzhledem k posledním 20 letům na území Severní Ameriky. V uvedeném roce byly ve státech Severní a Jižní Dakota, Alberta a Saskatchewan zaznamenány vysoké srážkové úhrny (vedoucí až k povodním v oblasti řeky Missouri), které doprovázel bujný stav vegetace. Naproti tomu na východě USA se ve stejném období promítly velmi nízké srážkové úhrny do negativního stavu vegetace.

Ukázka výstupu „hybridního“ indexu VegDRI integrujícího vegetační indexy odvozené z družicových dat, meteorologických údajů a vybraných biofyzikálních parametrů monitorovaného území je na obrázku 34. Jedná se o výstupní mapu VegDRI pro území USA pro den 8. září 2014.

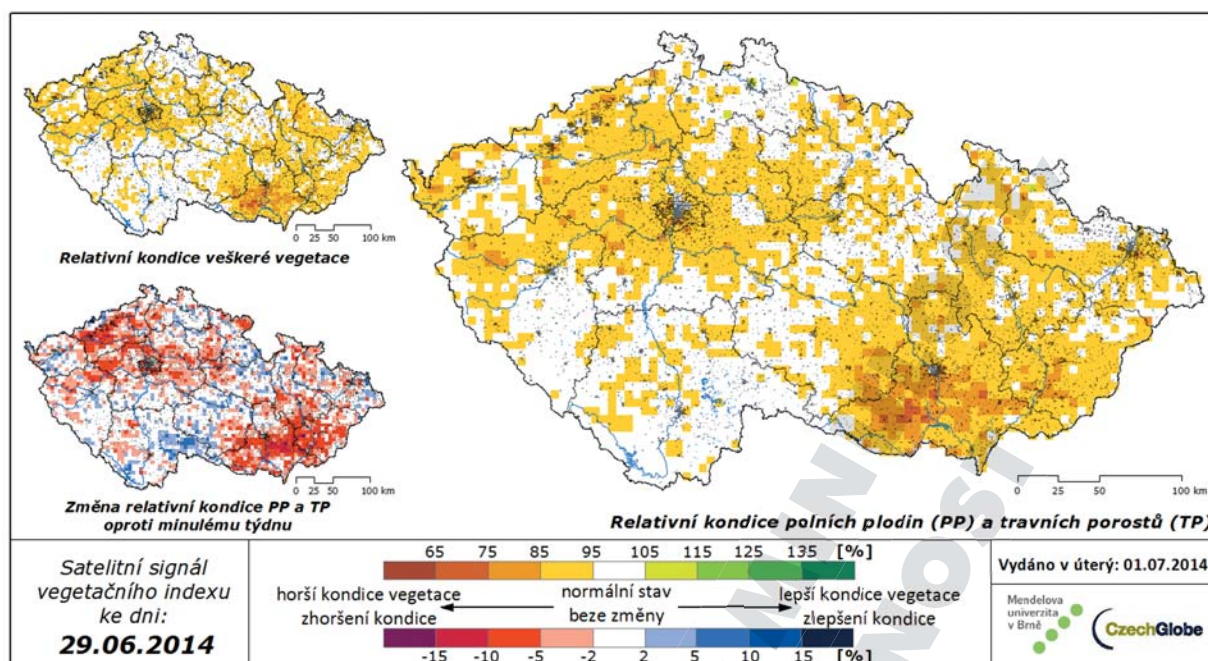
V současné době je v České republice pro hodnocení odchylek ve stavu vegetace, které mohou být zapříčiněny výskytem sucha, využíván index NDVI (Semerádová et al., 2014). Jako tzv. „Dopady na vegetaci“ jsou v rámci webového rozhraní <http://www.intersucho.cz> prezentovány pro každý týden relativní odchylky NDVI. Jedná se o mapy Relativní kondice polních plodin a travních porostů, Relativní kondice veškeré vegetace a Změny relativní kondice polních plodin a travních porostů oproti minulému týdnu. Pro zpracování těchto výstupů jsou využita data NDVI v rozlišení 250 m, dostupná zpravidla pro každý den od roku 2000 (zdroj MODIS nesený družicí Terra). Pro potlačení vlivu oblačnosti je využívána sada kroků naprogramovaných do samostatného softwaru, který je schopen rozpoznat a vyřadit pravděpodobně chybné hodnoty. Následně jsou data pro jednotlivé typy využití ploch integrována na území 5 x 5 km a do týdenního kroku. Ve výstupech jsou pak zvlášť hodnoceny odchylky (pro daný čtverec 5 x 5 km v rámci aktuálního týdne vzhledem k průměrným hodnotám od roku 2000) pro území s polními plodinami a travními porosty a zvlášť při uvážení veškeré vegetace. Odchylky týdenních hodnot NDVI jsou pak uváděny jako tzv. relativní kondice vegetace nebo-li procento průměrné aktuální zelenosti PAAG (Percent of average actual greenness). Na obrázku 35 je uveden příklad vývoje PAAG mezi 12. a 26. týdnem roku 2012 v porovnání s intenzitou sucha za stejné období. Příklad zachycující relativní

intersucho.cz prezentovány pro každý týden relativní odchylky NDVI. Jedná se o mapy Relativní kondice polních plodin a travních porostů, Relativní kondice veškeré vegetace a Změny relativní kondice polních plodin a travních porostů oproti minulému týdnu. Pro zpracování těchto výstupů jsou využita data NDVI v rozlišení 250 m, dostupná zpravidla pro každý den od roku 2000 (zdroj MODIS nesený družicí Terra). Pro potlačení vlivu oblačnosti je využívána sada kroků naprogramovaných do samostatného softwaru, který je schopen rozpoznat a vyřadit pravděpodobně chybné hodnoty. Následně jsou data pro jednotlivé typy využití ploch integrována na území 5 x 5 km a do týdenního kroku. Ve výstupech jsou pak zvlášť hodnoceny odchylky (pro daný čtverec 5 x 5 km v rámci aktuálního týdne vzhledem k průměrným hodnotám od roku 2000) pro území s polními plodinami a travními porosty a zvlášť při uvážení veškeré vegetace. Odchylky týdenních hodnot NDVI jsou pak uváděny jako tzv. relativní kondice vegetace nebo-li procento průměrné aktuální zelenosti PAAG (Percent of average actual greenness). Na obrázku 35 je uveden příklad vývoje PAAG mezi 12. a 26. týdnem roku 2012 v porovnání s intenzitou sucha za stejné období. Příklad zachycující relativní



**Obr. 35.** (a) Vizualizace intenzity sucha mezi 12. a 26. týdnem roku 2012 a (b) porovnání s odchylkou NDVI za veškerou vegetaci jako procento průměrné aktuální zelenosti (PAAG)

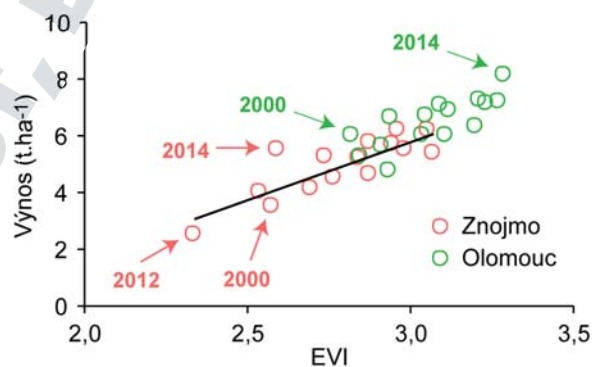
**Figure 35.** (a) Visualization of drought intensity for the period between the 12th and the 26th week of the year 2012 and (b) comparison with NDVI anomaly for all vegetation expressed as percentage of average actual greenness (PAAG)



**Obr. 36.** Mapy Relativní kondice polních a travních porostů, Relativní kondice veškeré vegetace a Změny relativní kondice polních plodin a travních porostů oproti minulému týdnu. Pro konstrukci map bylo využito hodnot NDVI ke dni 29. června 2014, kdy značná část území České republiky byla postižena epizodou sucha (<http://www.intersucho.cz>) **Figure 36.** Maps of percentage of average actual greenness of field crops and grasslands, of percentage of average actual greenness of all vegetation, and of change in percentage of average actual greenness of field crops and grasslands, contrasted with the previous week. The maps are based on NDVI, and show the situation as of 29 June 2014 (<http://www.intersucho.cz>), when drought extended over a considerable part of the territory of the Czech Republic

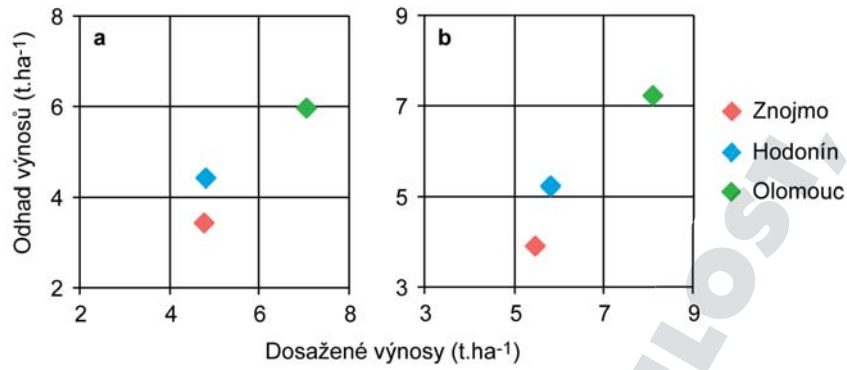
kondici vegetace a její změnu oproti minulému týdnu pro 29. červen 2014, kdy bylo téměř celé území České republiky postiženo epizodou sucha, je uveden na obrázku 36.

Družicově snímaný stav vegetace může posloužit i k odhadu výnosů významných plodin. Obrázek 37 zachycuje vztah mezi kumulovanými hodnotami „vylepšeného“ vegetačního indexu EVI (za období 22. dubna–11. července) a dosaženými výnosy pšenice ozimé v okresech Znojmo a Olomouc v letech 2000–2014. Na tomto principu pak lze hodnotit, do jaké míry se průběh podmínek v klíčových obdobích (včetně výskytu sucha) projeví na stavu vegetace a tvorbě výnosů. Ukázky výsledků predikce výnosů pšenice ozimé a ječmene jarního pro rok 2014 jsou uvedeny v obrázku 38. Tato predikce byla provedena na základě dat EVI dostupných k 11. červenci 2014 (tedy ve většině případů ještě před sklizní), kdy byly využity jednoduché lineární modely zachycující vazbu mezi EVI a výnosy (kalibrované na základě dat z let 2000–2013) pro jednotlivé okresy.



**Obr. 37.** Vztah mezi kumulovanou hodnotou EVI (použity 16-denní kompozitní hodnoty) za období 22. dubna–11. července a dosaženými výnosy pšenice ozimé v okresech Znojmo a Olomouc v letech 2000–2014

**Figure 37.** Relationship between integrated EVI (as 16-day composites) from 22 April to 11 July and observed yields of winter wheat in the districts of Znojmo and Olomouc, 2000–2014



**Obr. 38.** Odhad výnosů ječmene jarního (a) a pšenice ozimé (b) v okresech Znojmo, Hodonín a Olomouc v roce 2014. Odhad byl proveden na základě kumulovaných hodnot EVI v dané sezoně ke dni 11. července 2014

**Figure 38.** Estimates of spring barley (a) and winter wheat (b) yield for the Znojmo, Hodonín and Olomouc districts for the year 2014. The prediction is based on accumulated values of EVI through the vegetation season up to 11 July 2014

SUCHO V ČESKÝCH ZEMÍCH: MINULOST, SOUČASNOST, BUDOUCNOST



# 4. ČASOPROSTOROVÁ VARIABILITA SUCHA V ČESKÝCH ZEMÍCH

Střední Evropa není obecně považována za region, kde by sucho mělo či mohlo mít zásadní dopady na fungování ekosystémů a lidskou společnost. To platí zvláště při hodnocení regionálního klimatu v celoevropském kontextu, například v porovnání se státy v oblasti Středozemního moře (Metzger et al., 2005). Nicméně i ve střední Evropě dochází tak jako v jiných oblastech k výskytu suchých epizod, které mohou mít zásadní dopady zejména na zemědělství, lesnictví či vodní hospodářství a zprostředkovaně i na další sektory národních ekonomik. Česká republika těží z relativně rovnoměrného rozložení srážek, což ale při absenci velkých vodních toků, jezer i vysokých pohoří znamená, že se zde negativně projevují již relativně malé odchylky v množství a ročním rozložení srážek. Následující text v kap. 4.1 začíná hodnocením časoprostorové variability sucha v období 1961–2012 (resp. 1981–2010), které je pokryto nejhustší sítí meteorologických stanic. Tato analýza se opírá jak o často používané indexy sucha, tak i o výpočty modelem půdní vlhkosti SoilClim. Zabývá se také studiem variability sucha v celém období přístrojových pozorování a analýzou hydrologického sucha podle vodoměrných pozorování. Podrobně se zřetelem na meteorologické podmínky, synoptické příčiny a dopady jsou hodnoceny roky s vybranými extrémními suchými epizodami. V další části kapitoly jsou využity dokumentární údaje, které v kombinaci s informacemi z období přístrojových pozorování umožnily sestavit pětisetletou chronologii sucha v českých zemích rozšířenou o popis vybraných extrémních roků z 16.–18. století (kap. 4.2). Tyto studie jsou doplněny analýzou dlouhodobé chronologie dubu se zřetelem na identifikaci suchých období (kap. 4.3). Na základě dokumentárních pramenů a přístrojových pozorování je pak prezentována pětisetletá chronologie sucha (kap. 4.4). Získané poznatky o variabilitě sucha v českých zemích jsou následně hodnoceny v širším středoevropském kontextu (kap. 4.5).

## 4.1 SUCHO V OBDOBÍ PŘÍSTROJOVÝCH POZOROVÁNÍ

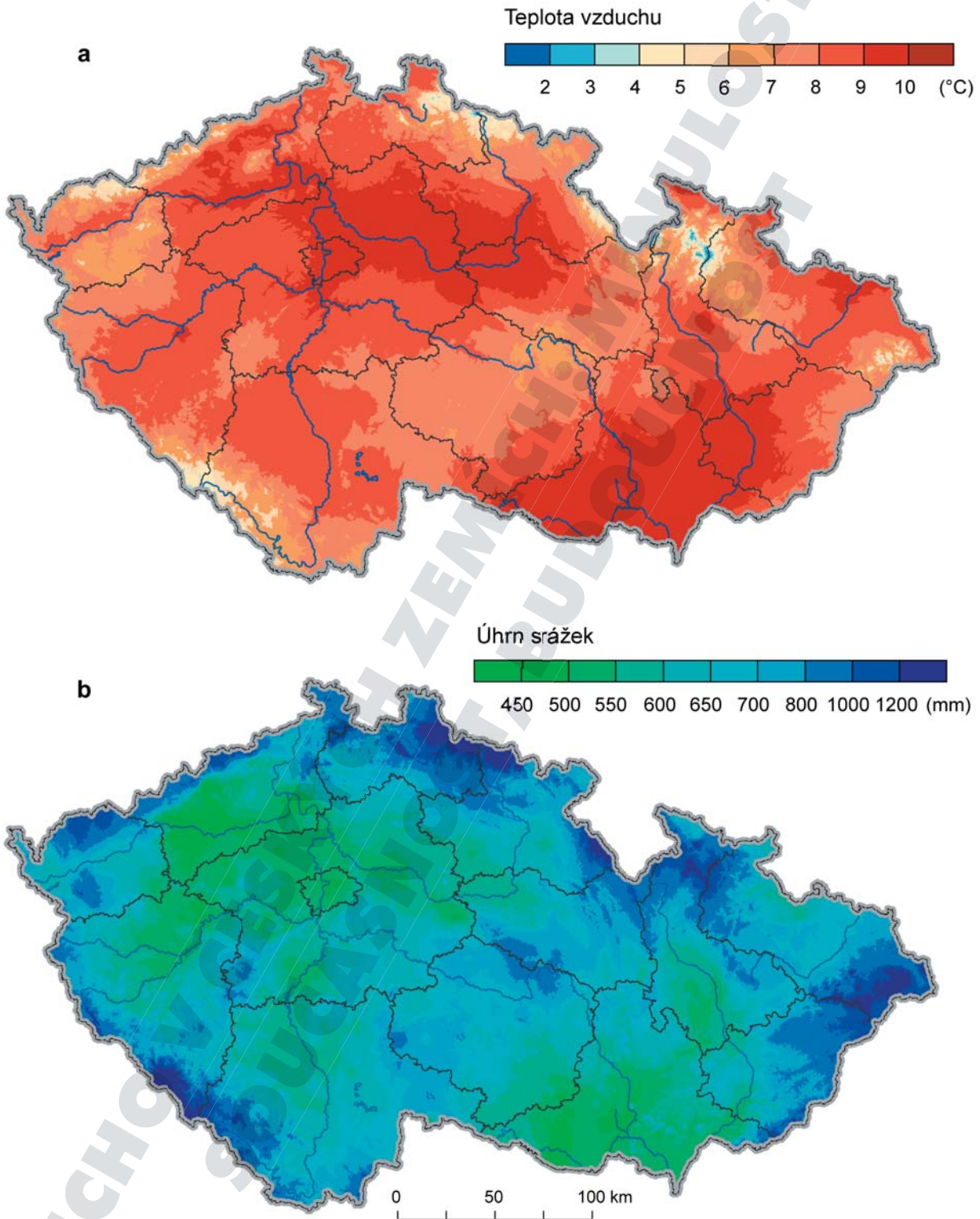
### 4.1.1 Teplota vzduchu, srážky a sucho v období 1981–2010

Obrázek 39 ukazuje rozložení průměrných ročních teplot vzduchu a úhrnů srážek v České republice v období 1981–2010, sestavené na základě údajů klimatologických a srážkoměrných stanic, poskytnutých ČHMÚ. Závislost změny teploty vzduchu na nadmořské výšce se projevuje nejvyššími průměrnými ročními teplotami v nejnižších polohách a nejnižšími ročními teplotami v horských oblastech (obr. 39a). V nejteplejších částech Polabí a středních Čech, stejně jako v oblasti jižní a jihovýchodní Moravy, překračují roční teploty 9 °C, zatímco v nejvyšších polohách Krkonoš, Jeseníků a Šumavy klesají pod 2 °C. Závislost na nadmořské výšce, kombinovanou s návětrnou a závětrnou polohou jednotlivých míst, lze najít také v případě rozložení průměrných ročních úhrnů srážek (obr. 39b). K nejdeštivějším místům patří horské oblasti, zejména Jizerské hory, Krkonoše, Šumava, Orlické hory, Jeseníky a Moravskoslezské Beskydy, kde roční úhrny přesahují 1200 mm. Nejteplejší oblasti republiky jsou zároveň i nejsuššími, protože úhrny zde klesají pod 500 mm. K sušším regionům se řadí také oblast Poohří s pásem území táhnoucím se na Plzeňsko, dále Povolaví a také část středního a horního Pomoraví. Oblasti s nejvyššími teplotami a nejnižšími srážkami, tedy nejrizikovější s ohledem na možný výskyt suchých epizod, představují zároveň zemědělsky nejvýznamnější regiony České republiky.

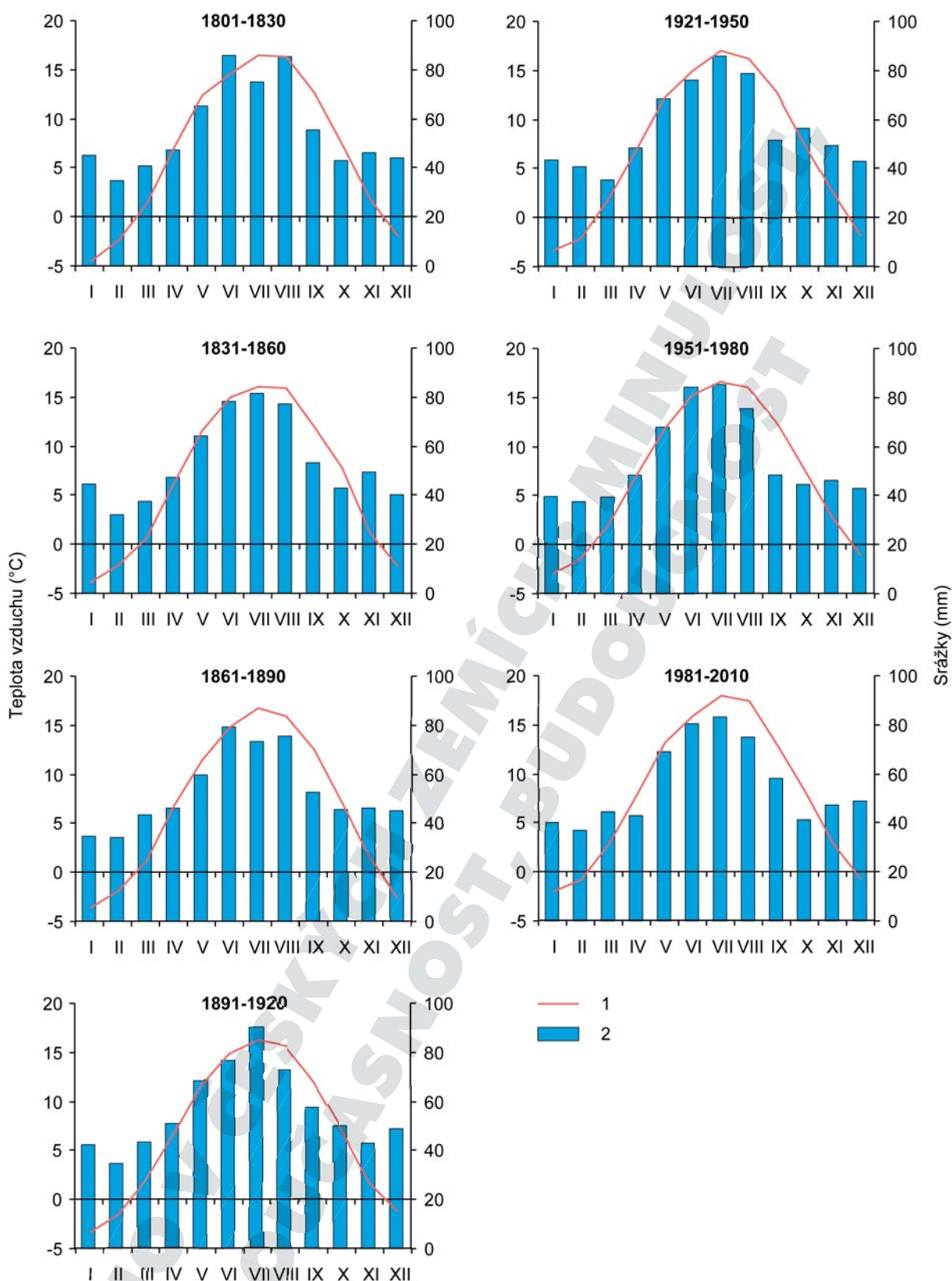
Roční chod průměrné teploty vzduchu se vyznačuje jednoduchou vlnou s maximem v červenci a s minimem v lednu, jak je dokumentováno pro vybraná třicetiletí v teplotní řadě českých zemí (obr. 40). Červencovému maximu se blížily v období 1801–1830 teploty srpna (nižší jen o 0,1 °C), přičemž v následujícím třicetiletí činila diference mezi oběma měsíci 0,2 °C. Větší variabilitu lze zaznamenat v případě ročního chodu srážek. Maxima v něm připadají převážně na červenec, ale mohou být přesunuta i na červen (období 1801–1830, kdy červen s 86 mm byl následován srpnem s 85 mm, a 1861–1890).

Pozoruhodný je také výskyt podružných maxim v ročním chodu v podzimních měsících (říjen 1921–1950, listopad ve všech třicetiletích mezi roky 1804 a 1890 a dále v letech 1951–1980) a v prosinci (1891–

1920, 1981–2010). Při poklesu srážek v červenci se projevilo druhotné maximum také v srpnu (1804–1830, 1861–1890) a v letech 1981–2010 dokonce i v březnu. Minima se objevují výhradně v únoru



**Obr. 39.** Průměrná roční teplota vzduchu (a) a průměrný roční úhrn srážek (b) na území České republiky v období 1981–2010  
**Figure 39.** Mean annual air temperatures (a) and mean annual precipitation totals (b) for the territory of the Czech Republic in the 1981–2010 period



**Obř. 40.** Roční chod průměrné teploty vzduchu (1) a množství srážek (2) v českých zemích ve vybraných třicetiletých období 1801–2010 (pro srážky je první období 1804–1830)

**Figure 40.** Annual variations in mean air temperature (1) and precipitation total (2) in the Czech Lands during selected 30-year periods between 1801 and 2010 (1804–1830 is the first period for precipitation)

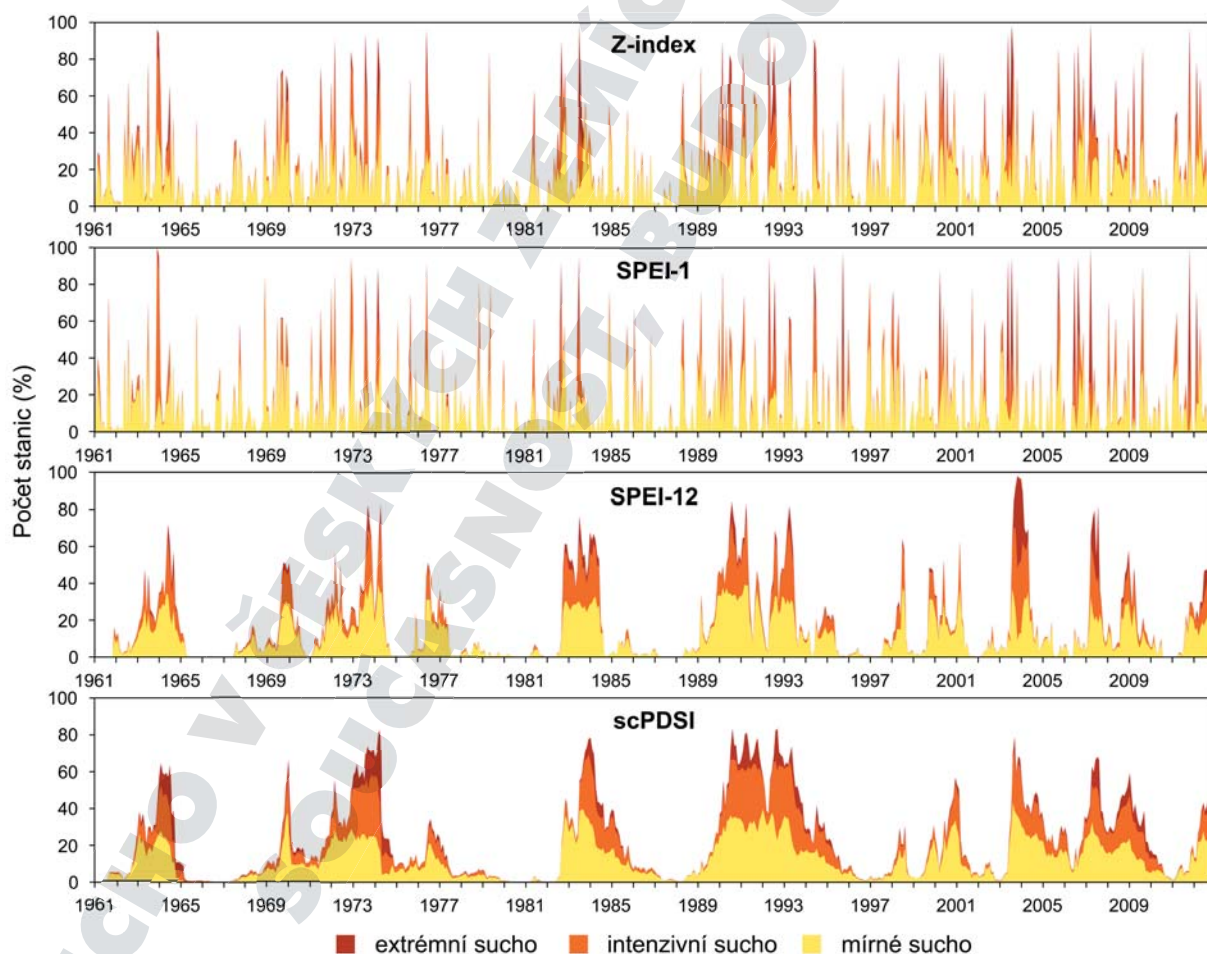


s výjimkou období 1921–1950, kdy nejnižší měsíční úhrn srážek připadl na březen. V letech 1861–1890 byly srážky v únoru nižší jen o 1 mm než v lednu. V případě jednotlivých stanic může být ale roční chod srážek dosti odlišný i mezi jednotlivými částmi republiky, jak bylo dokumentováno na příkladu období 1961–2000 zpracovaného v Atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., eds., 2007).

#### 4.1.2 Časoprostorová analýza sucha v období 1961–2012

Prvním krokem při hodnocení výskytu sucha na území České republiky v období 1961–2012 byla kvantifikace počtu stanic v suché epizodě. Pro tyto účely byly vyhodnoceny indexy sucha pro 268 klimatologických a 787 srážkoměrných stanic, přičemž hodnoty teplot vzduchu nezbytné pro výpočet indexů sucha byly pro srážkoměrné stanice interpolovány na základě údajů klimatologických stanic. Pro hodnocení krátkodobých epizod sucha (s dobou

trvání jednoho měsíce) byl použit Palmerův Z-index a SPEI-1. Jak vyplývá z obr. 41, je výskyt suchých epizod na studovaném území běžný a až na několik málo období (například březen–duben 2006 či srpen–září 2010) probíhaly krátkodobé epizody sucha alespoň na jedné ze 787 hodnocených stanic (obr. 41). Celkově se vyskytlo osm epizod, ve kterých oba zvolené indexy vykazovaly mírné až extrémní suchu na více než 90 % stanic: prosinec 1963, únor 1964, červen 1976, červenec 1983, květen 1992, červen 1994, červen a srpen 2003, duben 2007 a listopad 2011. Mezi nejextrémnější období z pohledu počtu postižených stanic patřil duben 2007 a listopad 2011 s více než 99 % stanic zasažených suchou epizodou. Pro hodnocení déletrvajících suchých období byly použity SPEI-12 a PDSI. Z obr. 41 vyplývá, že maximální procentuální podíl stanic postižených suchem je nižší než v případě krátkodobého sucha. Současně je patrná vyšší perzistence epizod sucha v případě PDSI (oproti SPEI-12), což je dáno



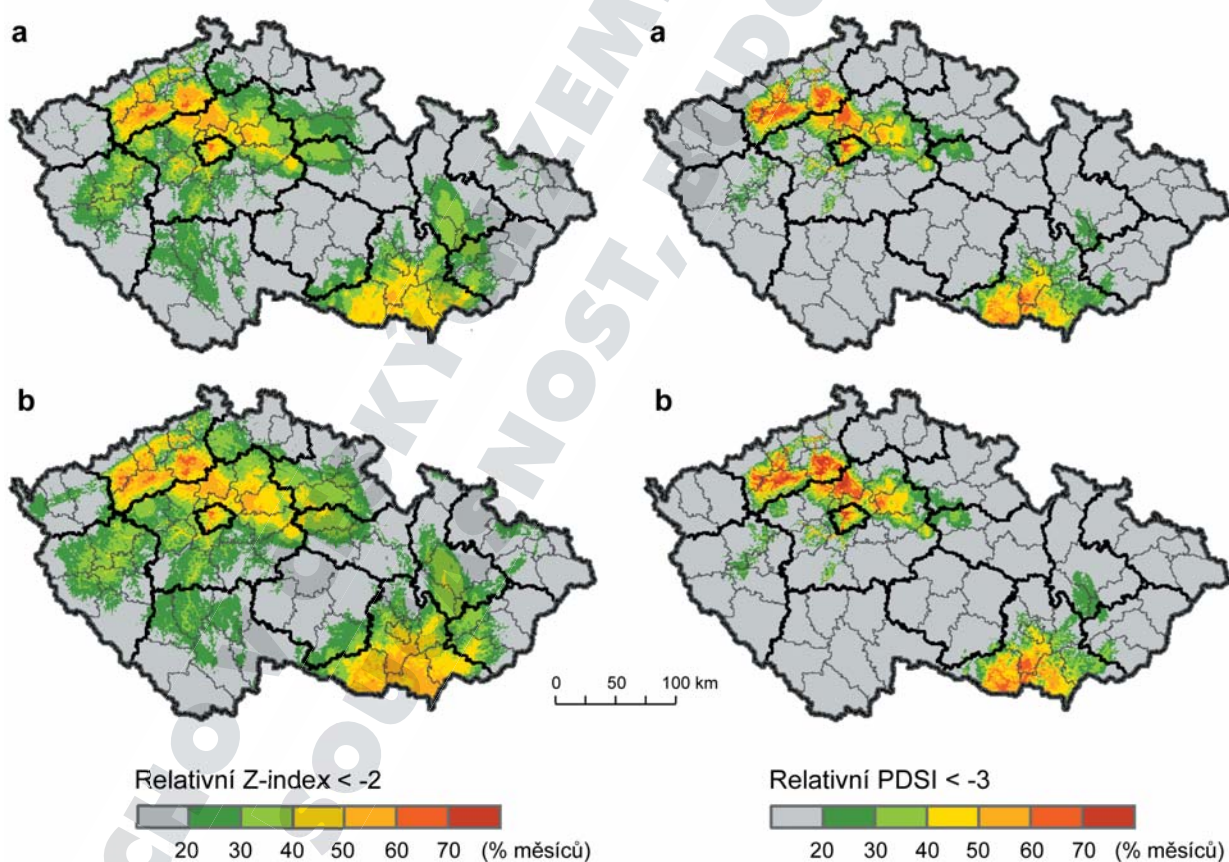
**Obr. 41.** Procentuální podíl počtu stanic v České republice (z celkem 787 stanic), postižených epizodou meteorologického sucha, stanoveného na základě Z-indexu, SPEI-1, SPEI-12 a scPDSI; období 1961–2012

**Figure 41.** Percentage of stations in the Czech Republic (of 787 stations) affected by drought episode (moderate – yellow; intensive – orange; extreme – dark red) based on Z-index, SPEI-1, SPEI-12 and scPDSI in the 1961–2012 period

z větší části zahrnutím půdního profilu do výpočtu PDSI. Z tohoto důvodu počet ohrožených stanic narůstá u PDSI v porovnání s SPEI-12 pomaleji a také pomaleji klesá. Zároveň platí, že kulminace krátkodobých epizod obvykle nekorresponduje s kulminací epizod dlouhodobých. Například podle SPEI-12 bylo nejvíce stanic postiženo dlouhodobým suchem ke konci roku 2003, ale z pohledu SPEI-1 již epizoda sucha v tomto období skončila a počet stanic zasažených suchem byl nízký. Jde ale o logický důsledek metody výpočtu založené na anomálii vodní bilance (u PDSI i SPEI), kdy hodnota indexu v daném měsíci závisí podstatně více na měsících předcházejících. Obdobné výsledky byly získány i při vyhodnocování Z-indexu a PDSI a korespondují s poznatky z literatury (například McKee et al., 1993; Heim, 2002). Z pohledu výskytu dlouhodobých epizod sucha vyniká svojí délkou a plošným rozsahem sucho v první polovině osmdesátých let a dále pak v první polovině devadesátých let minulého století. Nejvýraznější zastoupení stanic postižených extrémním suchem bylo všemi indexy (s výjimkou PDSI) za-

znamenáno v roce 2003, což vyniká zvláště v případě SPEI-12. Nicméně i v případě PDSI jde o epizodu mimořádnou, byť procento suchem zasažených stanic bylo nižší. Souviselo to s relativně vysokým nasycením půdního profilu na počátku epizody, které SPEI nebere v úvahu. Nicméně po vyčerpání zásoby půdní vláhy došlo k dramatickému zvýšení počtu stanic postižených suchem i podle PDSI, přičemž se jednalo o nejrychlejší expanzi takového území za celé studované období (obr 41).

Z několika možných způsobů prezentace výstupů indexů sucha v mapové podobě (například počtem suchých epizod či dobou trvání) bylo upřednostněno vyjádření procentuálním podílem měsíců postižených suchem, ke kterému byla využita tzv. relativní modifikace indexů sucha (Dubrovský et al., 2009). Rozdíl oproti metodice výpočtu indexů prezentované v kap. 3.1.1 spočívá v odvození tzv. klimatologické reference ze souboru všech stanic (nikoliv pro každou ze stanic zvlášť). Jak plyne z obr. 42, jsou suchými epizodami nejvíce postihovány okresy na jižní Moravě (zejména Znojmo, Břeclav, Hodonín



**Obr. 42.** Procentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody (intenzivní sucho a horší) v České republice podle relativního Z-indexu a PDSI pro celý rok (a) a letní půlrok (duben–září) (b) v letech 1961–2012

**Figure 42.** Percentage of months affected by drought episode (intense drought and worse) in the Czech Republic in terms of relative Z-index and PDSI for the whole year (a) and summer half-year (April–September) (b) in the 1961–2012 period

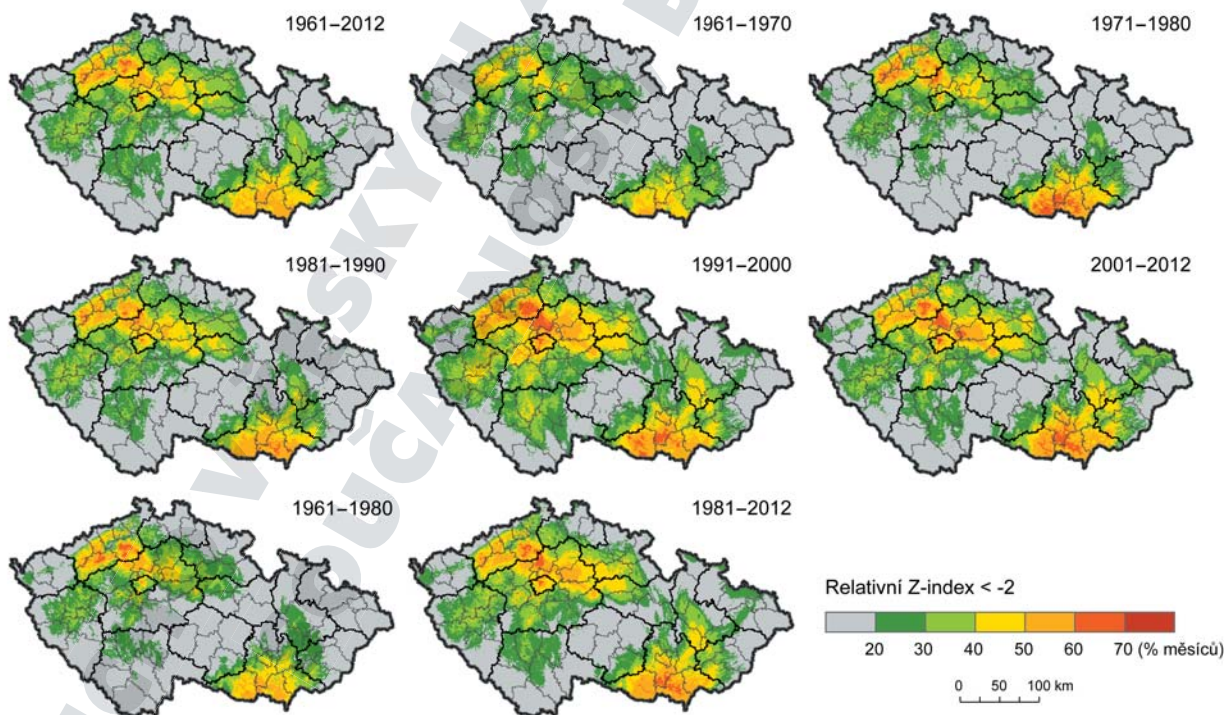


a Brno-venkov) a dále pak ve středních a severozápadních Čechách (zejména Mělník, Kladno, Nymburk, Litoměřice a Louny). Suché periody se zde vyznačují nejen vysokou četností krátkodobých epizod (více než 80 během 52 let), ale v porovnání se zbytkem území i podstatně větší intenzitou, perzistencí a poměrně dlouhým trváním. Naopak v oblasti pohraničních pohoří a na Českomoravské vrchovině jsou suché epizody zaznamenávány jen sporadicky, i když jejich výskyt nelze zcela vyloučit ani v těchto polohách. Jedná se ovšem jen o epizody krátké a nepřilíš intenzivní, při nichž relativní Z-index jen zřídka klesne pod hodnotu  $-1,25$ . Mezi nížinné oblasti s relativně malou pravděpodobností výskytu suchých epizod patří Ostravsko a okolí Moravské brány, stejně jako jižní a západní Čechy. Neplatí to ale pro významné produkční oblasti Hané a východních Čech, které nebyly dosud považovány za území ohrožovaná suchem, ale kde se situace v průběhu posledních 50 let poměrně zásadně změnila. Z obr. 43 je zřejmý výskyt krátkodobých intenzivních epizod sucha. Zatímco v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století se krátkodobé intenzivní epizody sucha na Hané a na východě Čech vyskytovaly maximálně v 20–30 % vegetačních sezon, a to zejména v jejich druhé polovině v červenci–září, které je

z pohledu produkce většiny plodin méně významné, v letech 2001–2012 se již intenzivní epizody objevovaly v 30–50 % sezon s výrazným nárůstem patrným zejména v květnu a v červnu.

Přes jisté zpomalení dynamiky nárůstu suchem ohrožených území v České republice v období 2001–2012 pokračoval trend rozšiřování suchem ohrožených oblastí. Porovnání období 1991–2000 s roky 2001–2012 z pohledu výskytu všech epizod sucha (obr. 45–46) pouze s epizodami vyšší intenzity (obr. 43–44) ukazuje, že v devadesátých letech minulého století byla vyšší frekvence intenzivnějších epizod sucha, zatímco po roce 2000 se vyskytovalo více suchých epizod menší intenzity. Rozdíl v charakteru suchých epizod mezi oběma obdobími je patrný také z obrázku 41.

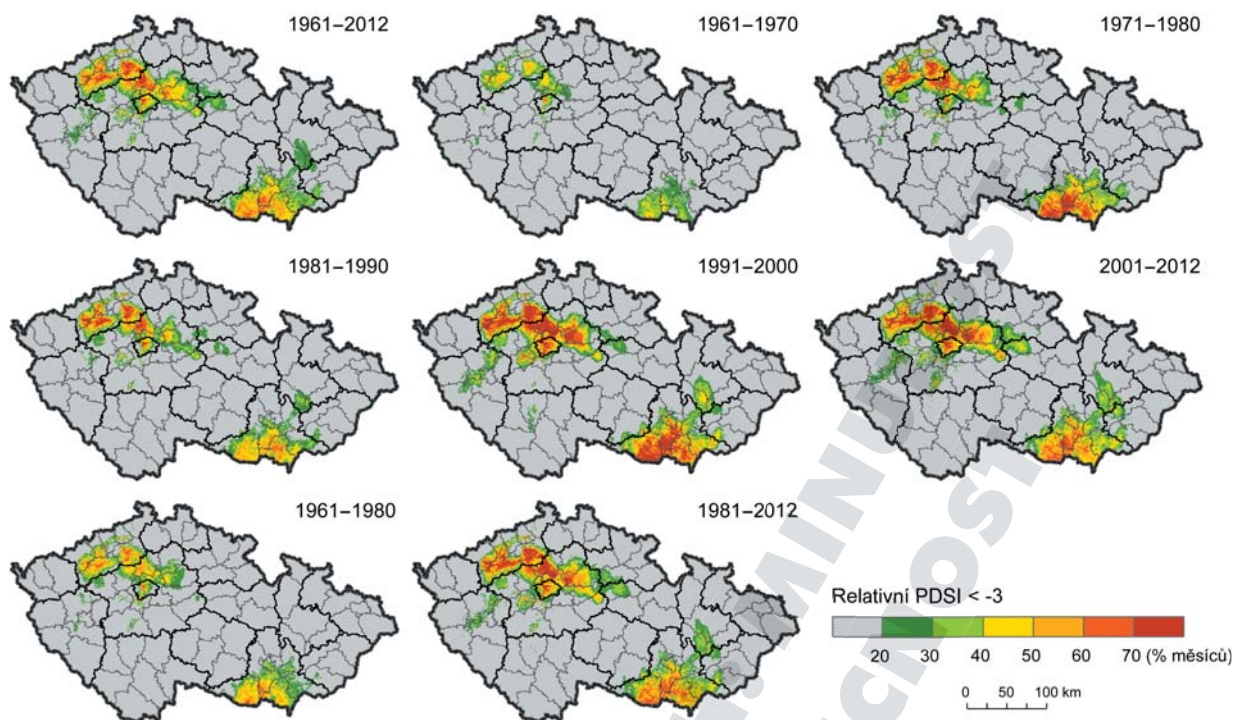
Použití SPEI-1 přineslo obdobné výsledky jako v případě Z-indexu co do počtu suchých epizod (obr. 41) i průměrné délky jejich trvání. Výhodou Z-indexu je zohlednění variability půdních podmínek a výpočet vodní bilance, což umožňuje lépe rozlišovat riziko výskytu suchých období mezi jednotlivými regiony. Při zahrnutí všech epizod sucha do analýzy (tedy Z-index  $< -1,25$ ; obr. 45), je zřejmé, že celková expozice nejvíce postižených oblastí roste, a to velmi zřetelně jak v Čechách, tak na Moravě,



**Obr. 43.** Percentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody v České republice podle relativního Z-indexu (intenzivní sucho a horší, tj.  $rZ\text{-index} < -2$ ) pro duben–září v různých obdobích let 1961–2012

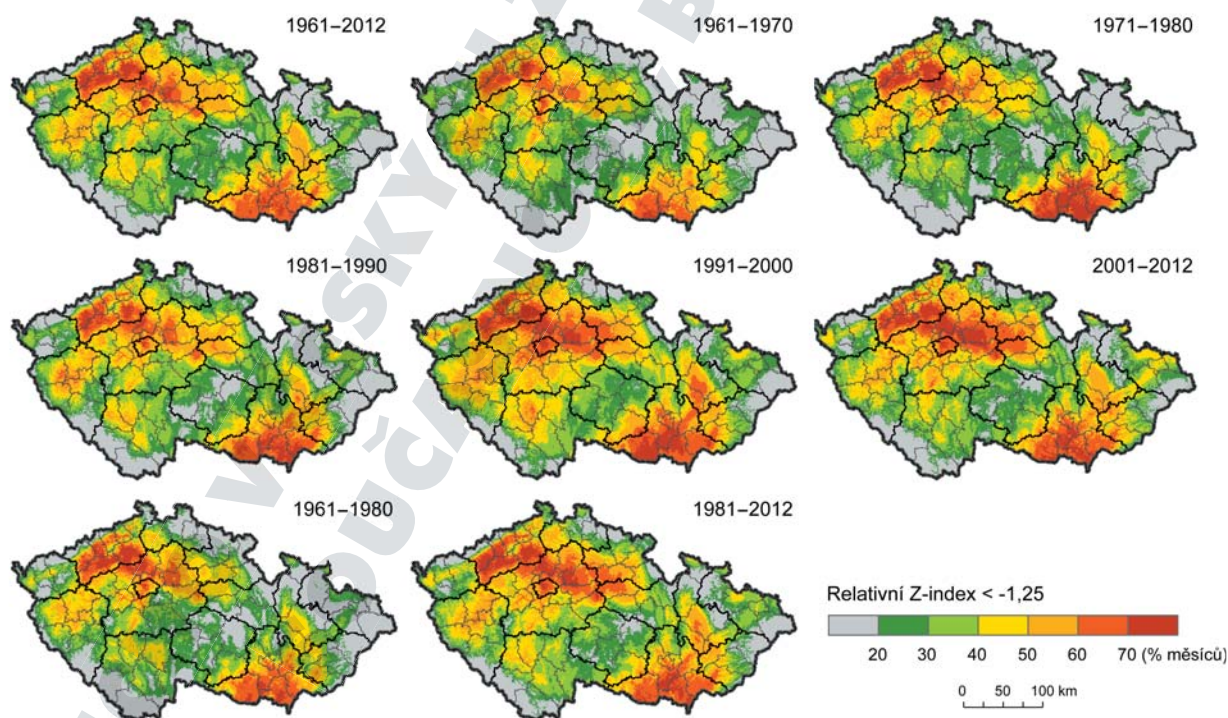
**Figure 43.** Percentage of months affected by drought episode in the Czech Lands in terms of relative Z-index (intense drought and worse, i.e.  $rZ\text{-index} < -2$ ) in April–September in the 1961–2012 period





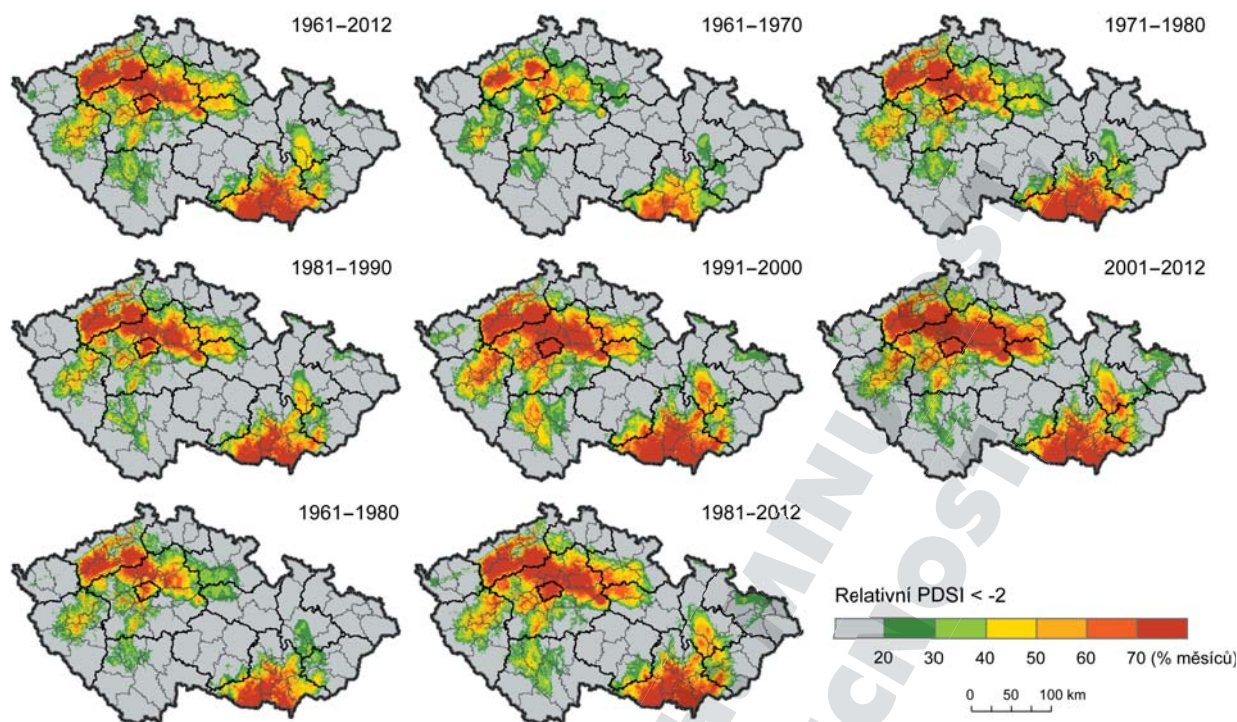
**Obr. 44.** Percentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody v České republice podle relativního PDSI (intenzivní sucho a horší, tj.  $rPDSI < -3$ ) pro duben–září v různých obdobích let 1961–2012

**Figure 44.** Percentage of months affected by drought episode in the Czech Republic in terms of relative PDSI (intense drought and worse, i.e.  $rPDSI < -3$ ) in April–September in the 1961–2012 period



**Obr. 45.** Percentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody v České republice podle relativního Z-indexu (mírné sucho a horší, tj.  $rZ\text{-index} < -1,25$ ) pro duben–září v různých obdobích let 1961–2012

**Figure 45.** Percentage of months affected by drought episode in the Czech Republic in terms of relative Z-index (moderate drought and worse, i.e.  $rZ\text{-index} < -1.25$ ) in April–September in the 1961–2012 period



**Obr. 46.** Percentuální podíl měsíců s výskytem suché epizody v České republice podle relativního PDSI (mírné sucho a horší, tj. rPDSI < -2) pro duben–září v různých obdobích let 1961–2012

**Figure 46.** Percentage of months affected by drought episode in the Czech Republic in terms of relative PDSI (moderate drought and worse, i.e. rPDSI < -2) in April–September in the 1961–2012 period

a v posledních letech i v nížinných částech Slezska. Zatímco v Čechách expanduje území postižené suchem východním směrem z původní jádrové oblasti ve stínu Krušných hor, rozšiřuje se jihomoravské „jádro“ směrem na sever.

Při použití indexů sucha založených na deficitu vodní bilance a půdní vlhkosti za delší období (SPEI-12, PDSI) vyniká perzistence sucha v případě PDSI (obr. 41). Stojí za povšimnutí, že na jižní Moravě patří mezi oblasti nejvíce ohrožené výskytem sucha nivní půdy v povodí Dyje a Moravy, kde je počet suchých epizod i délka jejich trvání nejvyšší. To je dáno relativně nízkými srážkami a vysokou potenciální evapotranspirací v celé oblasti, což vede k nedostatečné akumulaci vláhy v půdním profilu. Při lokální interpretaci výsledků Palmerových indexů, zejména u nivních půd, je však třeba mít na paměti, že použité metody nezohledňují vliv podzemní vody, který může být v řadě případů významný a zcela zásadně měnit vodní režim jednotlivých stanovišť.

Rozbor prostorové variability indexů sucha na Moravě a ve Slezsku v období 1961–2012 byl doplněn také analýzou jejich lineárních trendů pro všechny zpracovávané stanice. Ke stanovení hodnot SPEI, Z-indexu a PDSI bylo využito původních metod jejich výpočtu (podobně jako pro obr. 41) tak,

aby je bylo možné porovnávat s výsledky zahraničních autorů. SPEI, PDSI a Z-index byly doplněny SPI (McKee et al., 1993), který byl aplikován například v pracích Tolasze et al., eds. (2007) či Trnky et al. (2009a). Vzhledem k existující autokorelaci řad indexů sucha byly trendy posuzovány nezávisle po jednotlivých měsících a následně byl stanoven počet měsíců se statisticky významným pozitivním nebo negativním trendem, hodnoceným pomocí t-testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Záporná hodnota směrnice trendu svědčí o poklesu hodnot indexu sucha, tedy indikuje tendenci k intenzivnějším či delším epizodám sucha ke konci období 1961–2012. Výsledky analýzy jednotlivých měsíců byly integrovány a prezentovány v podobě map, přičemž stanice byly rozděleny do skupin na základě počtu měsíců se statisticky významným trendem v daném měsíci. V případě, že na dané stanici nebyl prokázán statisticky významný trend, byl hodnocen alespoň počet měsíců s kladnou či zápornou tendencí podle směrnice trendové přímky.

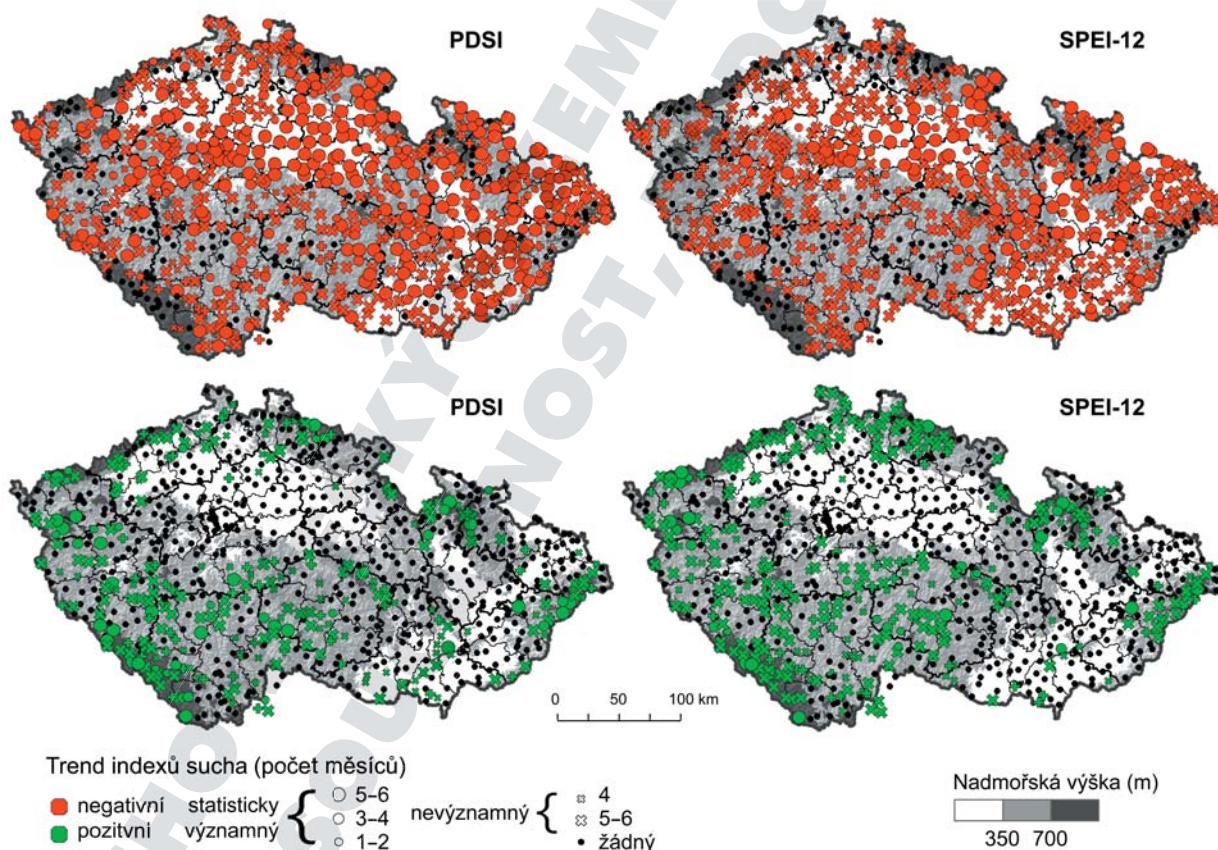
Analýza řad SPI pro různá časová období neprokázala podstatné změny v období 1961–2012. Pro naprostou většinu stanic nebyl zjištěn statisticky významný trend, který by ukazoval na vzestupnou nebo poklesovou tendenci SPI, což je v souladu



s výsledky analýzy v období 1961–2000 (Trnka et al., 2009a). Naproti tomu indexy, které vedle srážkových úhrnů berou v úvahu i průměrnou měsíční teplotu vzduchu, resp. potenciální evapotranspiraci (Z-index, PDSI, SPEI-1, SPEI-12), vykazaly statisticky významný trend na poměrně značném počtu stanic. Jak v případě krátkodobých epizod sucha (Z-index, SPEI-1), tak i v případě epizod dlouhodobých (PDSI, SPEI-12), je zřejmý statisticky významný pokles hodnot indexů, zejména v posledních 20 letech studovaného období. Od dubna do září zvláště dominuje poklesová tendence PDSI (obr. 47).

Na 339 stanicích (tj. 43,1 % ze 787 analyzovaných stanic) byl prokázán alespoň v jednom měsíci letního půlroku trend k nižším hodnotám PDSI (tedy k většímu suchu), zatímco pouze na 53 stanicích (6,7 %) se jednalo o trend k vyšším hodnotám indexu nejméně v jednom měsíci. Celkem 481 stanic (61,1 %) zaznamenalo v šesti měsících poklesový trend oproti 254 stanicím (32,2 %) s převládající opačnou tendencí. Statisticky významný pokles

hodnot PDSI nejméně ve třech měsících byl prokázán na 278 stanicích (35,3 %) oproti 37 (4,7 %) s opačným trendem, přičemž v případě všech měsíců letního půlroku se jednalo o 163 (20,7 %), resp. 19 (2,4 %) stanic. V případě SPEI-12 jsou výsledky méně průkazné. Tak 167 stanic (21,2 %) vykazovalo trend k nižším hodnotám tohoto indexu (tedy k většímu suchu) alespoň v jednom měsíci s opačnou tendencí pro 34 stanic (4,3 %). Podle SPEI-12 dokonce 596 stanic (75,7 %) nevykazuje žádnou statisticky významnou změnu během celého sledovaného období, i když 2/3 stanic z tohoto počtu zaznamenaly ve všech šesti měsících statisticky nevýznamný pokles. Pokles hodnot SPEI-12 nejméně ve třech měsících byl zjištěn pro 117 stanic (14,9 %) oproti 24 stanicím (3,0 %) s opačným trendem; u 74 stanic (9,4 %) se jednalo o negativní trend ve všech měsících letního půlroku oproti 10 stanicím (1,3 %) s pozitivním trendem. Počet stanic s trendem naznačujícím častější či intenzivnější epizody sucha vůči stanicím s opačným trendem je tak u Z-indexu,



**Obr. 47.** Počet měsíců letního půlroku (duben–září) s negativním, resp. pozitivním trendem PDSI a SPEI-12 pro 787 stanic v České republice v období 1961–2012 (hodnocení trendů bylo provedeno odděleně pro jednotlivé měsíce v roce)

**Figure 47.** Number of months within the summer half-year (April–September) with positive and/or negative trends of PDSI and SPEI-12 for 787 stations in the Czech Republic in the 1961–2012 period (evaluation of trends established individually for each month of the year)



SPEI-1, SPEI-12 a PDSI přibližně pěti- až sedminásobný.

I když v zimním půlroce (říjen–březen) nejsou trendy vzhledem k letnímu půlroku tak výrazné, jednoznačně převládají i v tomto případě stanice se statisticky významným poklesem hodnot PDSI (257 stanic oproti 86 s opačným trendem, tj. 32,6 %, resp. 10,9 %), přičemž 111 stanic (14,1 %) vykazuje statisticky významný pokles hodnot indexu ve všech měsících (obr. 48). Statisticky významný pokles hodnot SPEI-12 byl zjištěn pro 173 stanic (21,9 %) a opačný trend alespoň v jednom měsíci pro 31 stanic (3,9 %). Ve všech šesti měsících zimního půlroku byl zaznamenán statisticky významný pokles pro 83 stanic (10,5 %), zatímco opačný trend vykazovalo 14 lokalit (1,8 %).

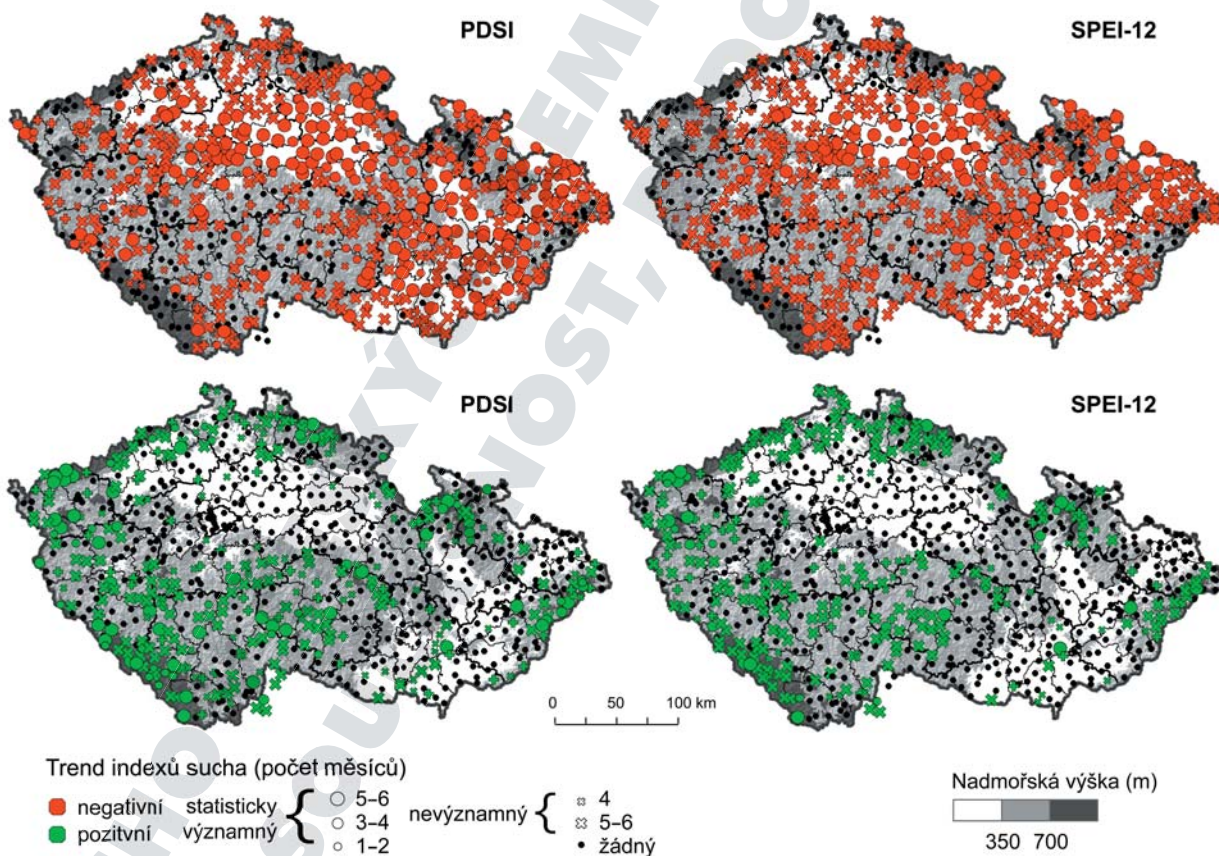
Obrázky 47 a 48 rovněž ukazují na poměrně výraznou konzistenci a prostorovou homogenitu trendů s praktickou absencí pozitivních trendů na stanicích s nadmořskou výškou pod 350 m. Vysoká

frekvence výskytu trendů k většímu suchu ve středních a východních Čechách a také v Jihomoravském, Olomouckém a Moravskoslezském kraji velmi dobře koresponduje s mapami relativních indexů sucha, prezentovaných na obrázcích 43–46.

Ačkoliv lineární trendy potvrdily nárůst výskytu krátkodobých epizod sucha, resp. jejich intenzity (SPEI-1, Z-index), jsou trendy PDSI a SPEI-12 výraznější s ohledem na kumulativní efekt anomálií vodní bilance (SPEI) či půdní vlhkosti (PDSI). S výjimkou SPI jsou negativní trendy všech indexů lépe patrné v letním půlroce.

#### 4.1.2.1 Časoprostorová analýza půdní vlhkosti v období 1961–2012

V případě hodnocení epizod sucha na základě indexů sucha je patrný trend k častějším či intenzivnějším epizodám sucha. Nicméně s ohledem na způsob výpočtu indexů je velmi obtížné tento trend verifikovat pomocí měřených údajů, neboť při jejich výpočtu



**Obr. 48.** Počet měsíců zimního půlroku (říjen–březen) s negativním, resp. pozitivním trendem PDSI a SPEI-12 pro 787 stanic v České republice v období 1961–2012 (hodnocení trendů bylo provedeno odděleně pro jednotlivé měsíce v roce)

**Figure 48.** Number of months within the winter half-year (October–March) with positive and/or negative trends of PDSI and SPEI-12 for 787 stations in the Czech Republic in the 1961–2012 period (evaluation of trends established individually for each month of the year)

nejsou plně zohledněny podmínky lokality (zejména půdní typ, geomorfologie terénu a také dynamika vegetačního krytu). Proto byla v této kapitole jako indikátor výskytu sucha použita půdní vlhkost, vypočtená na základě postupu prezentovaného v kap. 3.1.2, který odpovídající faktory v co největší možné míře zahrnuje.

Z analýzy půdní vlhkosti vyplývá, že oblast střední Evropy, včetně České republiky, zaznamenala poměrně významné suché epizody v letech 2000, 2003, 2007–2009 a 2011–2012. I když z hlediska zájmu o ně byly tyto případy zastíněny důsledky horkého léta 2003 v západní Evropě (například Ciais et al., 2005) a mimořádným suchem v Rusku v roce 2010 (například Trenberth, Fasullo, 2012), je ekonomický výsledek řady významných hospodářských činností v České republice ohrožován výskytem období sucha, byť krátkodobého (viz například Brázdil et al., 2009b; Kolář et al., 2014). Trnka et al. (2009a) ukázali, že anomálie půdní vlhkosti ve střední Evropě jsou spojeny s výskytem určitých typů synoptických situací, a že existuje výrazný trend nárůstu podmínek podporujících vznik sucha, zejména v období dubna–června, tedy v první polovině vegetační sezony. Právě dlouhodobé trendy zvýšené četnosti synoptických situací příznivých pro sucho přispěly podstatně ke změně doby trvání a intenzity suchých epizod mezi lety 1961 a 2006. Některé studie navíc naznačují, že předpokládané zvýšení teploty vzduchu ve střední Evropě bude doprovázeno změnou sezonního rozdělení a pravděpodobně i velikosti ročních úhrnů srážek (Dubrovský et al., 2009), jak je dále ukázáno v kap. 7.2. Je proto možné, že častější výskyt sucha bude neutralizovat očekávané pozitivní účinky delšího vegetačního období a snížení produktivity ekosystémů (Schaumberger et al., 2006; Trnka et al., 2011a). Dřívější vyčerpání zásob vody v půdě doprovázené výrazným poklesem půdní vlhkosti na začátku sezony může také vést ke změnám v energetické bilanci území ve smyslu zvýšení podílu turbulentního toku tepla na úkor latentního tepla, a tím přispět ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu horkých vln (Seneviratne et al., 2006).

Analýza změn půdní vlhkosti v posledních pěti dekadách prezentovaná v této kapitole se opírá o denní minimální a maximální teploty vzduchu, sumy globálního záření, srážkové úhrny, průměrné rychlosti větru a průměrné relativní vlhkosti vzduchu interpolované do gridové sítě 500 x 500 m (blíže viz kap. 3.1.2). Takto získaná data pak sloužila k odhadu a následné analýze obsahu dostupné půdní vláhy v kořenové zóně (od povrchu až do hloubky

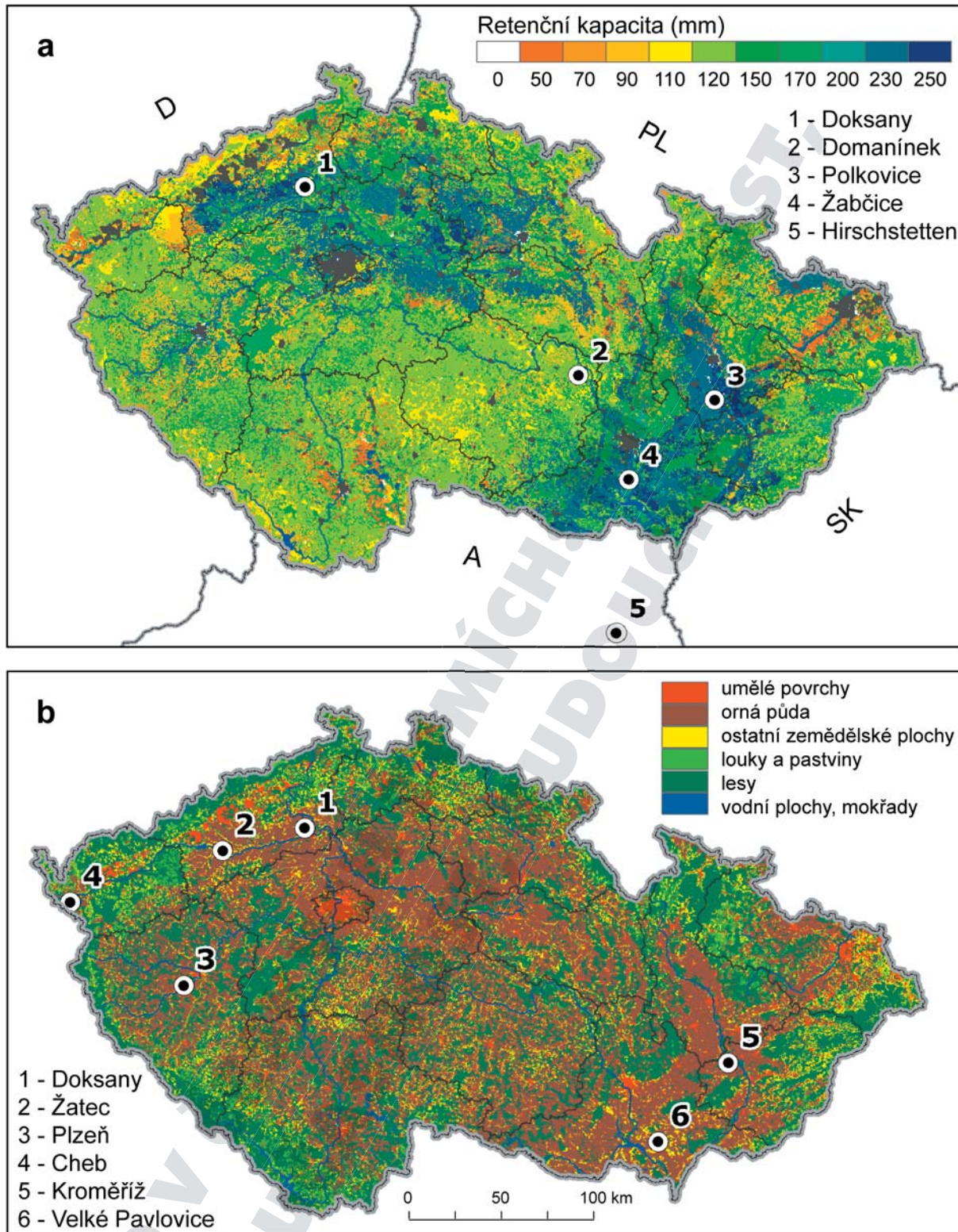
1,3 m) s použitím modelu SoilClim (viz kap. 3.1.2). Každému bodu gridové sítě byla přiřazena nejen odpovídající hodnota retenční schopnosti půdy (obr. 49a), ale také druh vegetačního krytu (obr. 49b), odpovídající stadiu fenologického vývoje, a stupeň rozvoje kořenů, stejně jako další parametry stanoviště, mezi které patří sklonitost, expozice a případně i zastínění horizontu.

Pro vyhodnocení vhodnosti modelu SoilClim pro časoprostorovou analýzu sucha v oblasti České republiky bylo nutné konfrontovat schopnost modelu reprodukovat klíčové parametry vodní bilance s naměřenými údaji na vybraných stanicích a experimentálních lokalitách (obr. 49). V první řadě byly využity denní hodnoty aktuální evapotranspirace *ET<sub>a</sub>* stanovené na základě metody eddy kovariance a Bowenova poměru. Hodnoty modelované referenční evapotranspirace byly konfrontovány s měřením denní referenční evapotranspirace pomocí přístrojů ET-Gage na lokalitách Domanínek a Žabčice. Vedle toho byly denní a měsíční hodnoty půdní vlhkosti vypočítané modelem SoilClim porovnány s měřením na reprezentativních stanovištích v České republice a v Rakousku v různých klimatických a půdních podmínkách. Výpočty půdní vlhkosti provedené modelem SoilClim pro první (duben–červen) a druhou (červenec–září) část vegetační sezony byly navíc porovnány s měřením vlhkosti půdy na šesti dalších stanicích v období 2000–2012 (obr. 50). Tyto analýzy prokázaly, že model SoilClim je schopen velmi dobře reprodukovat denní chod aktuální evapotranspirace a vysvětlit 74–80 % variability se střední kvadratickou chybou (RMSE) mezi 0,49–0,58 mm.

Modelové výpočty dobře aproximují také chod půdní vlhkosti v dlouhodobých experimentech v různých půdních podmínkách (63–74 % vysvětlené variability u polních experimentů a 72–85 % v případě experimentů pod trvalým travním porostem). U dlouhodobých pozorování půdní vlhkosti na šesti stanicích (obr. 49b) dokázal model pro první a druhou polovinu vegetační sezony (obr. 50) vysvětlit 53–59 % variability. Současně ale dobře reprodukoval i změny v dlouhodobé dynamice vlhkosti půdy v orniční vrstvě v obou částech vegetačního období. Nepřesnosti v odhadu modelu jsou dány mimo jiné tím, že měření zahrnuje profil 5–50 cm, zatímco model pracuje s hloubkou 0–40 cm.

K ověření souladu trendů vodní bilance z hodnot stanovených modelem SoilClim byly použity měřené údaje výparu z volné vodní hladiny, které byly pro šest vybraných meteorologických stanic k dispozici





**Obr. 49.** a) Maximální retenční kapacita půdy jednotlivých gridů na území České republiky vyjádřená jako množství zadržované vody v mm v profilu 0–1,3 m. Čísla označují stanice, na kterých byl model SoilClim validován s pomocí denních měření aktuální či referenční evapotranspirace nebo hodnot půdní vlhkosti; b) hlavní třídy využití ploch používané modelem SoilClim. Čísly je označeno šest lokalit, pro které byly porovnány sezónní chody půdní vlhkosti s odhady modelu SoilClim v období 2000–2012

**Figure 49.** (a) Maximum soil water-holding capacity in individual grids covering the territory of the Czech Republic (in mm from 0 to 1.3 m or to maximum rooting depth). The numbered points show the five sites in the region at which the model was evaluated using either ETa and ET<sub>r</sub> estimates and/or soil moisture observations; (b) main land cover classes used in the SoilClim simulations, with points indicating the positions of the six sites at which the modelled seasonal soil moisture content (2000–2012) was compared with observations

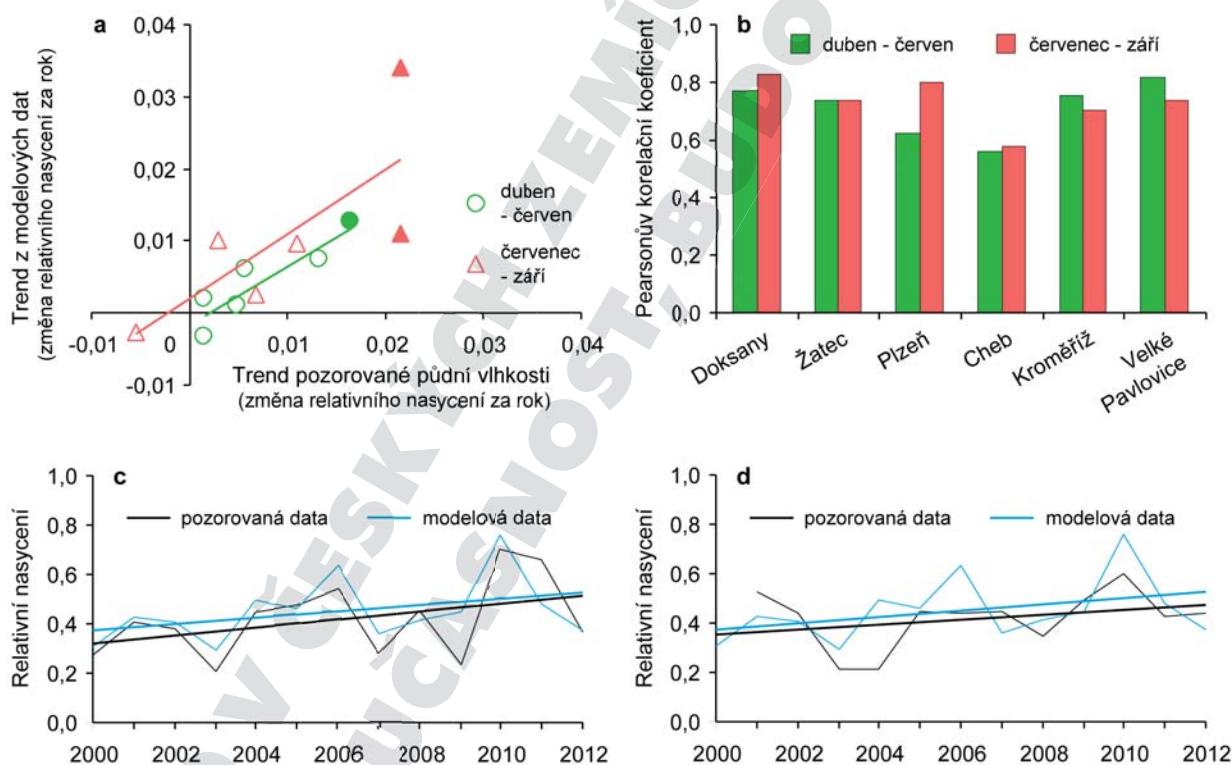


od roku 1968. Měření byla prováděna pomocí výparoměru GGI 3000, který byl po roce 2000 postupně nahrazen výparoměrem EWM. Obrázek 51 dokládá, že referenční evapotranspirace  $ET_r$  stanovená modelem se poměrně dobře shoduje s měřeními pro časové úseky dubna–června a července–září. Hodnoty výparu z volné hladiny jsou ale nižší než vypočtené hodnoty  $ET_r$  (obr. 51a–b), což je dáno výrazně větší plochou pro výpar v případě vegetace (index listové plochy je v tomto období vždy větší než 1), s níž pracuje použitý model. Relativně nižší míra shody mezi výparem a  $ET_r$  je dána rovněž faktem, že listová plocha, která spoluurčuje velikost  $ET_r$ , závisí na průběhu vegetace a fenologické fázi. Přesto ale existuje poměrně dobrá shoda mezi výparem a  $ET_r$ . Trendy  $ET_r$  a výparu z volné hladiny (obr. 51d) jsou statisticky významné na stanicích Doksany, Kostelní Myslová a Cheb v období duben–červen (obr. 51c) a jsou si velikostně podobné. Ve všech ostatních případech se charakter trendů shoduje, i když ne vždy jde

o trendy statisticky významné (hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ ).

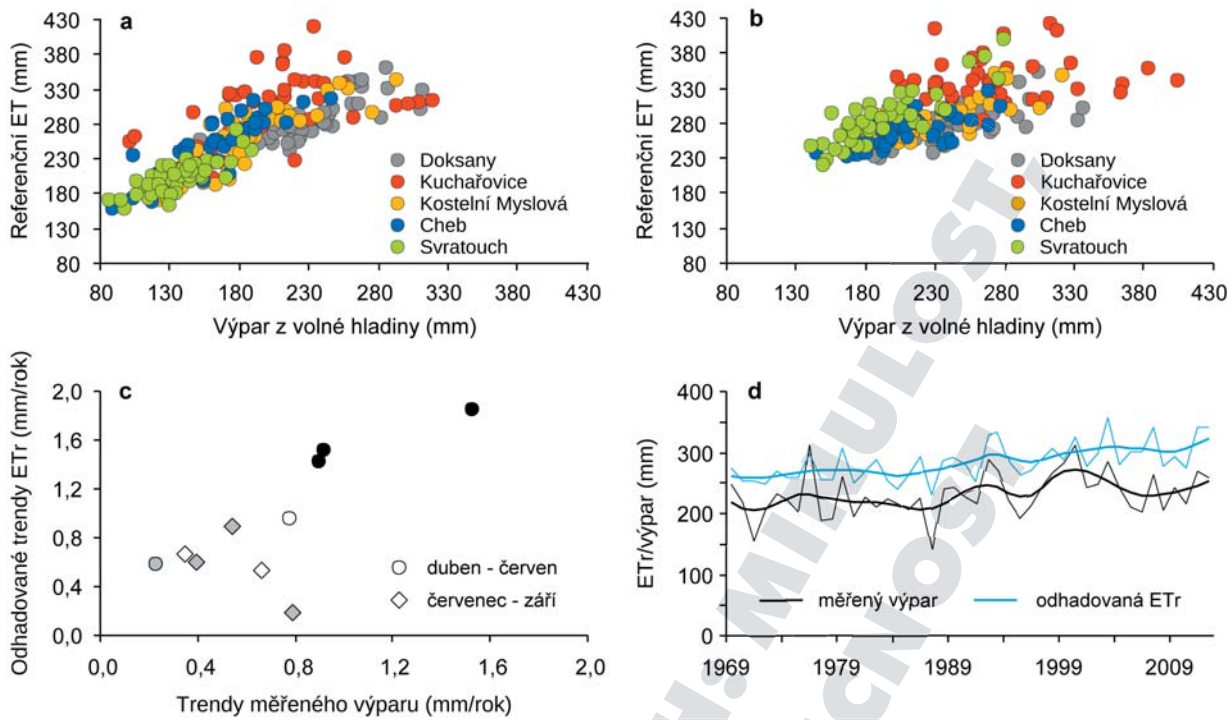
Předchozí zmíněné analýzy byly dále doplněny porovnáním dlouhodobých pozorování vlhkosti půdy na agrometeorologické observatoři ČHMÚ v Doksanech a simulací modelem SoilClim pro tuto stanici. Pozorování vlhkosti půdy byla zahájena již v roce 1931 v Roudnici nad Labem a v roce 1947 byla měření přesunuta do Doksan. Provádí se standardní gravimetrickou metodou každých deset dní, přičemž odběr vzorků je realizován ve třech opakováních na ploše 50 x 50 m. Odebrané vzorky jsou ale reprezentativní jen pro povrchovou vrstvu 0–20 cm, což neodpovídá hloubce první vrstvy v modelu, která činí 0–40 cm.

Výpočty modelu SoilClim vysvětlují 55 % variability půdní vlhkosti v průběhu vegetační sezony v období 1961–2012, přičemž v její druhé polovině vzrostla tato hodnota až na 67 %. Z obrázku 52 plyne, že SoilClim nadhodnocuje trend poklesu



**Obr. 50.** a) Trendy měřené a odhadované půdní vlhkosti v povrchové vrstvě (5–50 cm pro měřené hodnoty a 0–40 cm pro hodnoty podle modelu SoilClim) na šesti meteorologických stanicích (obr. 49b) v letech 2000–2012 pro duben–červen a červenec–září; b) korelace mezi pozorovanou a modelem SoilClim odhadnutou hodnotou půdní vlhkosti pro obě části vegetační sezony; c) příklad chodu průměrné měřené a modelované půdní vlhkosti dubna–června na stanici Velké Pavlovice; d) viz bod (c), ale červenec–srpen

**Figure 50.** (a) Trends in measured and modelled soil moisture content in the topsoil (5–50 cm for those measured and 0–40 cm for those modelled by SoilClim) at six meteorological stations (Fig. 49b) in the 2000–2012 period during April–June (AMJ) and July–September (JAS); (b) correlation coefficients of observed and modelled soil moisture values for AMJ and JAS; (c) example of the measured (black) and modelled (blue) mean soil moisture content during AMJ at the Velké Pavlovice station; (d) the same as (c) but JAS



**Obr. 51.** Porovnání měsíčních hodnot výparu z volné vodní hladiny, měřených výparoměrem v letech 1968–2012, a modelem vypočtené referenční evapotranspirace ETr na pěti stanicích v České republice pro duben–červen (a) a červenec–září (b); (c) porovnání odpovídajících trendů: černé symboly – statisticky významné trendy v měřených i modelových údajích, šedé symboly – statisticky významný trend buď jen u měřených, nebo jen u modelových dat, bílé symboly – trendy statisticky nevýznamné; (d) kolísání měřeného výparu z vodní hladiny a odhadu referenční evapotranspirace na stanici Doksany za duben–červen, shlazeno desetiletým Gaussovým filtrem

**Figure 51.** Comparison of monthly pan evaporation, measured by evaporimeter in 1968–2012, and modelled reference evapotranspiration ETr for five stations in the Czech Republic for (a) April–June (AMJ) and (b) July–September (JAS); (c) comparison of corresponding linear trends: black symbols – statistically significant trends in both measured and estimated values; grey symbols – significant trends in only the measured or the estimated values; white symbols – statistically non-significant trends; (d) fluctuations in the measured pan evaporation and modelled reference evapotranspiration smoothed by 10-year Gaussian filter at the Doksany station for AMJ

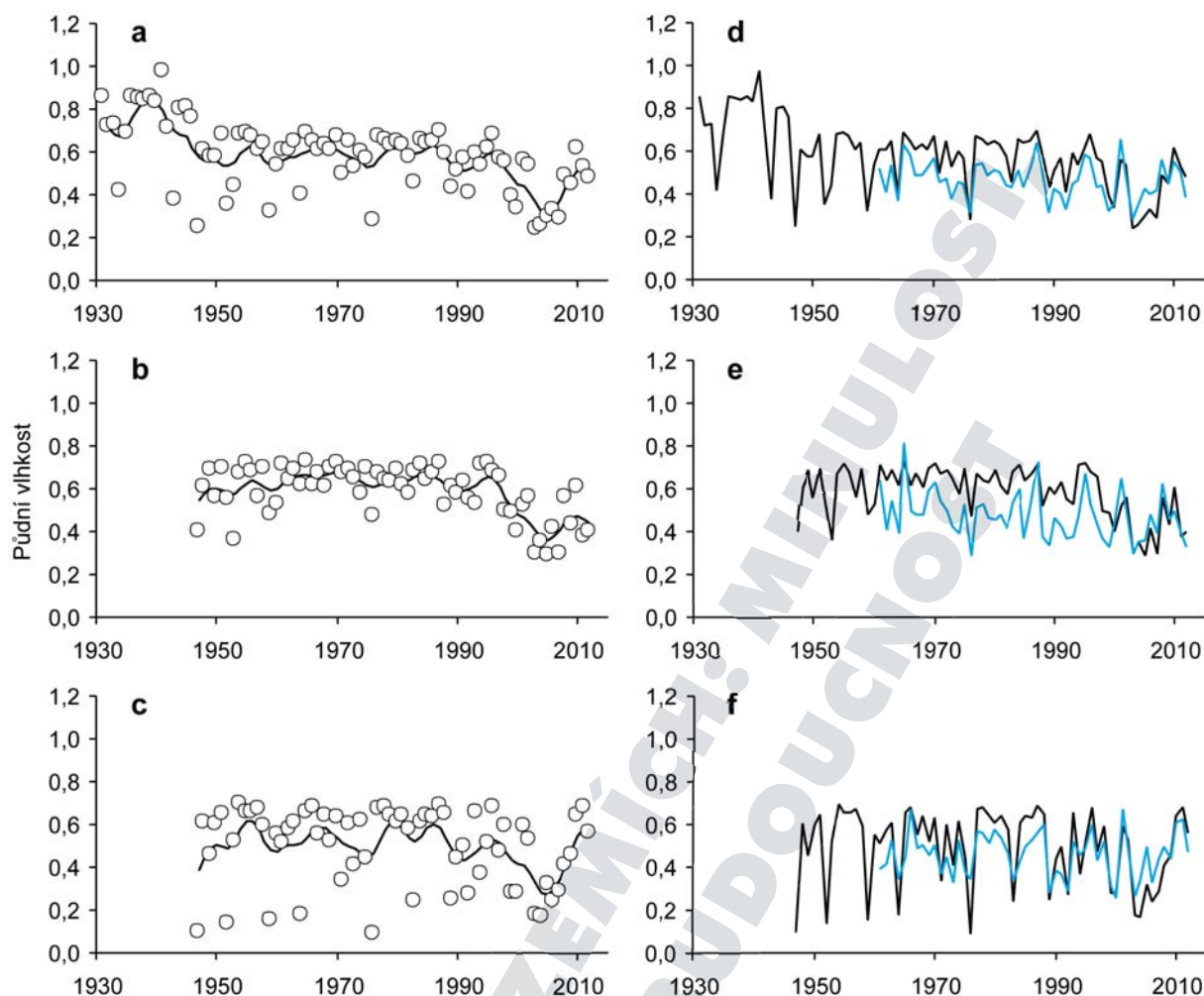
půdní vlhkosti od dubna do června a podhodnocuje je od července do září, nicméně trend z vypočítaných hodnot pro první polovinu vegetační sezony byl ve shodě s pozorováním statisticky významný, zatímco pro druhou polovinu byl statisticky nevýznamný. Vzhledem k tomu, že pro model SoilClim byly použity údaje o charakteru půdy odvozené z mapových podkladů a měření reprezentuje přibližně jen polovinu profilu, pro který je vlhkost odhadována modelem, lze získané výsledky považovat za uspokojivé.

#### 4.1.2.2 Trendy půdní vlhkosti v období 1961–2012

Časoprostorová analýza půdní vlhkosti prezentovaná v této kapitole zohledňuje jak retenční schopnost půd, tak odlišnosti ve vegetačním krytu i jeho dynamiku. Retenční schopnost půd je určena schopností vrstvy půdy v rozsahu 0–1,3 m zadržovat vláhu a je vyjádřena v mm vodního sloupce zadržené vody na 1 m<sup>2</sup> plochy. Hodnota tohoto parametru

byla odhadnuta za použití kombinace digitalizovaných map půdních typů (měřítko 1 : 500 000) vytvořených Českou geologickou službou (Tomášek, 2000), podrobných údajů o fyzikálních parametrech půdy z 1073 výběrových půdních sond, provedených v rámci Komplexního průzkumu půd, hodnot retenční schopnosti odvozených z digitálních map poskytnutých Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (<http://www.vumop.cz/>) a Harmonizované evropské půdní databáze (Panagos et al., 2011). Analýza rovněž zohledňovala, zda dané území je alespoň po část vegetační sezony pod vlivem vysoké hladiny podzemní vody, což ovlivňuje půdní vlhkost. Klasifikace vycházela z údajů o výskytu procesu oglejení v daném gridu, blízkosti vodního toku, vodní plochy, rašeliniště či bažiny při stejné či velmi blízké nadmořské výšce. Takto klasifikováno bylo přibližně 9,5 % území České republiky.

Vegetačnímu krytu, který byl v analýze rovněž zohledněn, dominují kategorie orné půdy (46,2 %



**Obr. 52.** Měřené hodnoty půdní vlhkosti (a–c) s vypočítanými podle modelu SoilClim (d–f), vyjádřené jako sezonní anomálie obsahu vody v půdě dostupné pro rostliny, kde 0 značí bod vadnutí a 1 polní kapacitu na agrometeorologické stanici Doksany. Panely a–c vyjadřují kolísání půdní vlhkosti pro a) duben–září v letech 1931–2012, b) duben–červen a c) červenec–září v období 1947–2012 (shlazené desetiletým Gaussovým filtrem). Panely d–f ukazují kolísání měřené (černě) a modelované (modře) půdní vlhkosti pro d) duben–září, e) duben–červen a f) červenec–září. Měřené údaje vycházejí z pravidelných desetidenních gravimetrických odběrů z hloubky 0–20 cm, zatímco modelová data jsou počítána pro hloubku 0–40 cm

**Figure 52.** Seasonal anomalies of soil water content, measured (a–c) and calculated with the SoilClim model (d–f), expressed as the relative amount of water available for plants (AWR) where 0 corresponds to no water for them and 1 to field capacity: measurements from the Doksany agrometeorological station. Plates a–c show fluctuations in mean soil moisture for (a) April–September in 1931–2012, (b) April–June and (c) July–September in 1947–2012 (smoothed by 10-year Gaussian filter). Plates d–f show fluctuations in measured (black) and modelled (blue) soil moisture content for (d) April–September, (e) April–June, and (f) July–September. The measurements are based on regular 10-day sampling at soil depths of 0–20 cm, while the modelled data are calculated for a soil depth of 0–40 cm

plochy) a jehličnatého lesa (20,3 %). Další zahrnuté kategorie jsou představovány trvalými travními porosty (7,6 %), smíšenými lesy (6,0 %), listnatými lesy (3,1 %) a ostatní zemědělskou půdou (8,7 %). Pro zastavěné plochy (7,0 %) a vodní plochy (1,1 %) nebyla analýza prováděna.

Analýza trendů půdní vlhkosti jako ukazatele nedostatku půdní vláhy, a tedy existence stresu suchem, je ztížena mimo jiné tím, že orná půda, která je dominantní kategorií české krajiny, je charakteris-

tická stále se měnící kombinací pěstovaných plodin. Z tohoto důvodu se pro každý grid orné půdy uvažovala možnost pěstování jarní a zimní obilniny (z pohledu fenologie a dynamiky spotřeby vody odpovídající jarnímu ječmeni a ozimé pšenici) a kukuřice na siláž, a to v poměru 4 : 5 : 1. K výpočtu obsahu půdní vláhy pak byl použit vážený průměr v tomto poměru, který vychází z přibližného zastoupení pěstební plochy každé skupiny plodin mezi lety 1961 a 2012. Je třeba dodat, že jde o poměr přibližný,

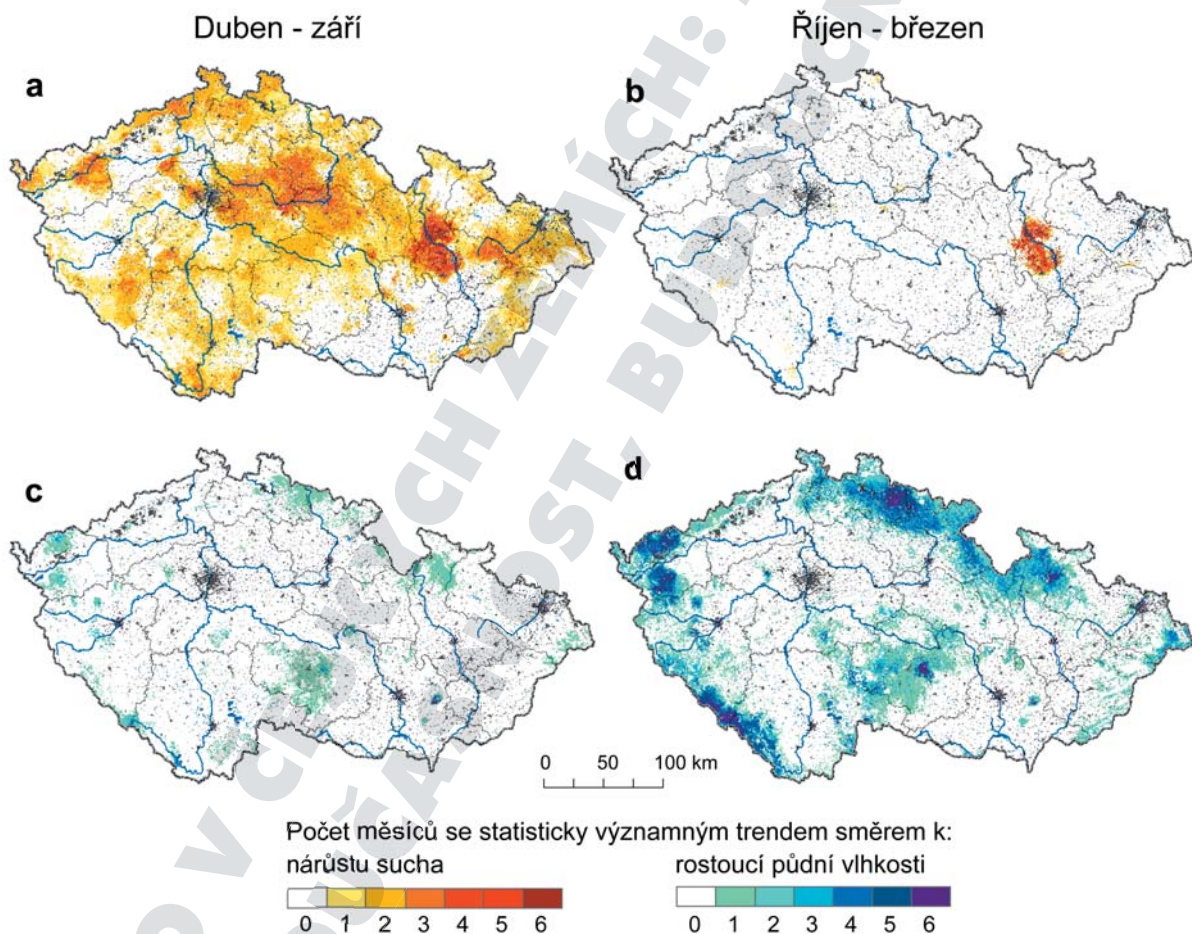


který nezahrnuje například přítomnost víceletých píceňin či okopanin.

Jak plyne z obrázku 53, většina území České republiky vykazuje tendenci k poklesu obsahu půdní vláhy v období od dubna do září, zatímco od října do března se projevuje tendence nárůstu obsahu vody v půdě, a to zejména ve vyšších nadmořských výškách.

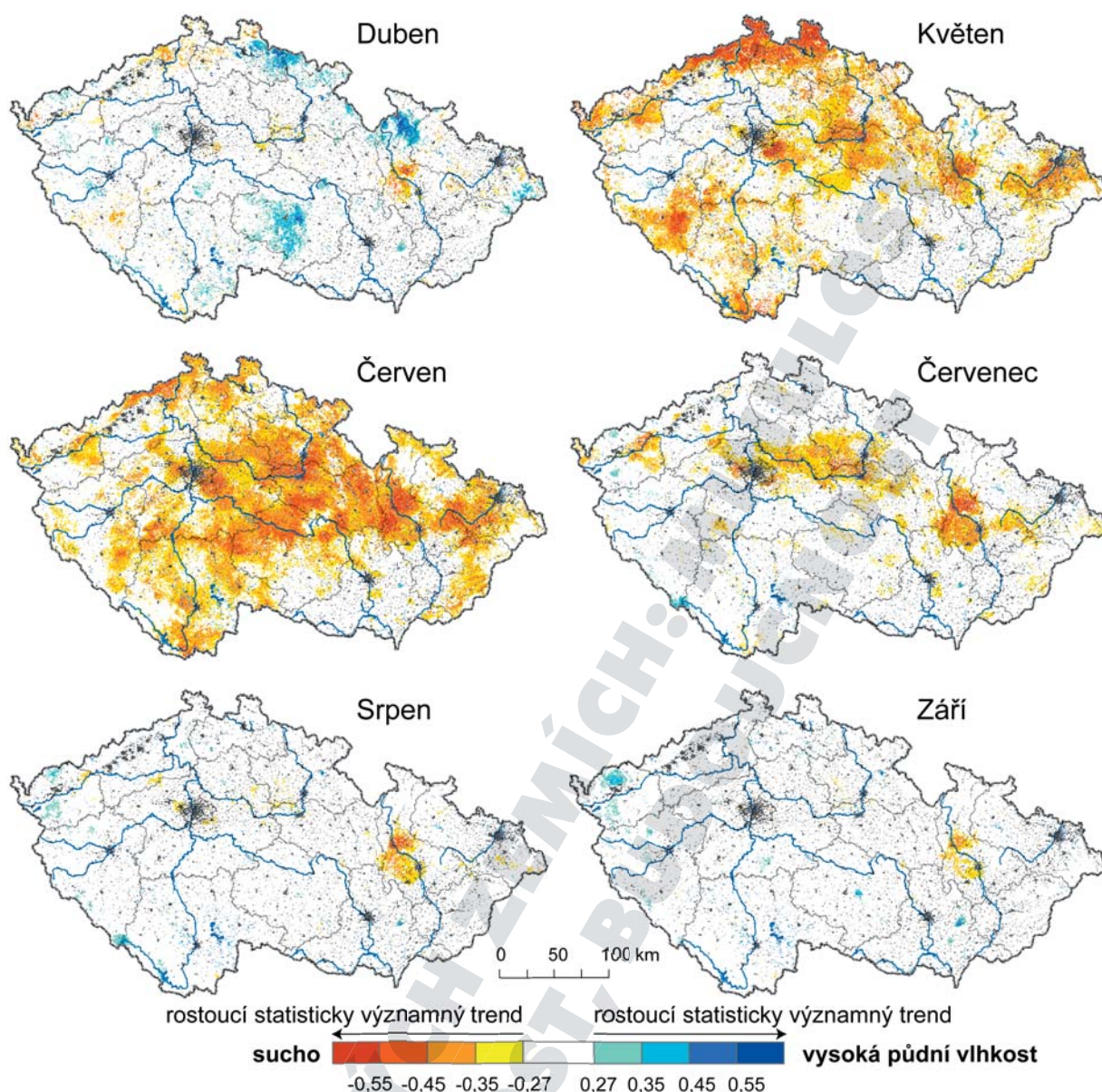
Nejvýraznější poklesový trend zásob půdní vláhy lze najít v neproduktivnějších zemědělských oblastech. Malý region na východě republiky v Olomouckém kraji, který ukazuje výrazný lokální trend poklesu půdní vláhy, a to i v zimním půlroce (obr. 53b), byl negativně ovlivněn většinou z posledních period sucha (včetně poslední výrazné epizody z let 2011–2012), což zvýšilo statistickou významnost trendů

v této oblasti. Prostorové rozložení trendů prezentované v obrázcích 53–54 koresponduje poměrně dobře i s trendy indexů sucha ukázanými na obrázcích 47 a 48. Ačkoliv trendy poklesu půdní vlhkosti jsou patrnější v podorniční části kořenové vrstvy (0,4–1,3 m), prostorové rozložení odpovídá trendům dokumentovaným v obrázku 53. Analýza trendů půdní vlhkosti pro jednotlivé měsíce vegetační sezony ukazuje výrazné odchylky především v květnu a v červnu v porovnání se zbytkem období (obr. 54). Tak poklesové trendy jsou nejvýraznější v květnu na 44,1 % plochy republiky, kdy významný trend ke snížení obsahu vody je patrný v obou vrstvách půdy. V červnu je takto ovlivněno 36,4 % území. V ostatních měsících vegetační sezony jsou analogické trendy omezeny na relativně malé oblasti.



**Obr. 53.** Počet měsíců se statisticky významným trendem k nižší (a, b), resp. vyšší (c, d) zásobě dostupné půdní vláhy v letech 1961–2012. Vysvětlivky k legendě: 0–6 odpovídá počtu měsíců od dubna do září, resp. od října do března se statisticky významným trendem k nižší (žluto-červená škála), resp. vyšší (modro-zelená škála) zásobě dostupné půdní vláhy. Počet měsíců se statisticky významným trendem byl stanoven pro každý grid na základě hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu ( $\alpha = 0,05$ )

**Figure 53.** Number of months with statistically significant trends toward drier (a, b) and wetter (c, d) conditions in terms of available soil water content expressed as relative saturation of soil profile in the 1961–2012 period. In the key: 0–6 marks the number of months during April–September (a, c) and October–March (b, d) with statistically significant trends towards drier (yellow-red) and wetter (blue-green) conditions. The number of months with statistically significant trends was determined for every grid by means of Spearman correlation coefficient ( $\alpha = 0.05$ )



**Obr. 54.** Statisticky významné trendy nižšího a vyššího nasycení půdního profilu v období 1961–2012 vyjádřené hodnotou Spearmanova korelačního koeficientu pro jednotlivé měsíce vegetačního období (duben–září). Žluto-červeně je vyjádřen pokles a modro-zeleně růst obsahu dostupné půdní vláhly. Bílé oblasti jsou bez statisticky významného trendu

**Figure 54.** Statistically significant trends toward drier and wetter soil conditions in the 1961–2012 period expressed by means of Spearman correlation coefficient for each month of the growing season (April–September). Yellow-red expresses decrease and blue-green shows increase in the available soil water content. White areas indicate statistically insignificant trends

Zvláštní význam mají zaznamenané trendy v obsahu dostupné půdní vláhly v květnu, protože právě tento měsíc hraje významnou roli jak při určování výnosu klíčových zemědělských plodin, tak i přírůstu dřeva. Červen je v tomto ohledu druhým nejdůležitějším měsícem. Analýza trendů zvláště pro orníční a podorníční vrstvu ukazuje zajímavou sezonní změnu trendů, které odpovídají jednak zpoždění při zasakování vody do hlubších vrstev, jednak proměnlivému odběru půdní vláhly způsobenému se-

zonními změnami v rozložení kořenů. V zásadě platí, že v hlubší vrstvě jsou trendy zpožděny přibližně o jeden měsíc, přičemž nejvýraznější úbytek půdní vláhly pozorujeme pod trvalými travními porosty. Obrázek 55a shrnuje výsledky vyjádřené v obrázcích 53 a 54 a ukazuje statisticky významný ( $\alpha = 0,05$ ) pokles průměrné zásoby vody v orníční vrstvě v první polovině vegetační sezony asi o 10 % v období 1961–2012. Je tedy zřejmé, že oproti šedesátým letům minulého století obsahuje půdní profil jako celek



podstatně méně vody v období od dubna do června, přičemž zjištěný trend je velmi robustní a projevuje se na velké části území. Naproti tomu žádný statisticky významný trend není patrný ve druhé polovině vegetačního období (červenec–září) (obr. 55b). Období od dubna do června vykazuje výraznou tendenci k vyšší meziroční variabilitě, a to zvláště v případě povrchové vrstvy; to je patrné zejména ve východní části České republiky. I když se studované trendy liší pro jednotlivé části roku, jsou koherentní právě pro období dubna–června. Obrázky 55c a 55d dokumentují, že se zvyšuje podíl území postiženého výrazným nedostatkem půdní vláhy, přičemž tento nárůst je statisticky významný jak pro povrchovou ( $\alpha = 0,01$ ), tak pro podpovrchovou ( $\alpha = 0,05$ ) vrstvu půdy. Zatímco v šedesátých letech bylo suchem v dané sezoně ovlivněno v průměru 6,3–7,2 % našeho území, v první dekádě 21. století se velikost takového území zvýšila v průměru na 12,3–12,6 %. Z provedených analýz vyplývá, že příliš neroste frekvence výskytu suchých epizod, ale tyto epizody mají tendenci být delší a ovlivňovat větší plochu.

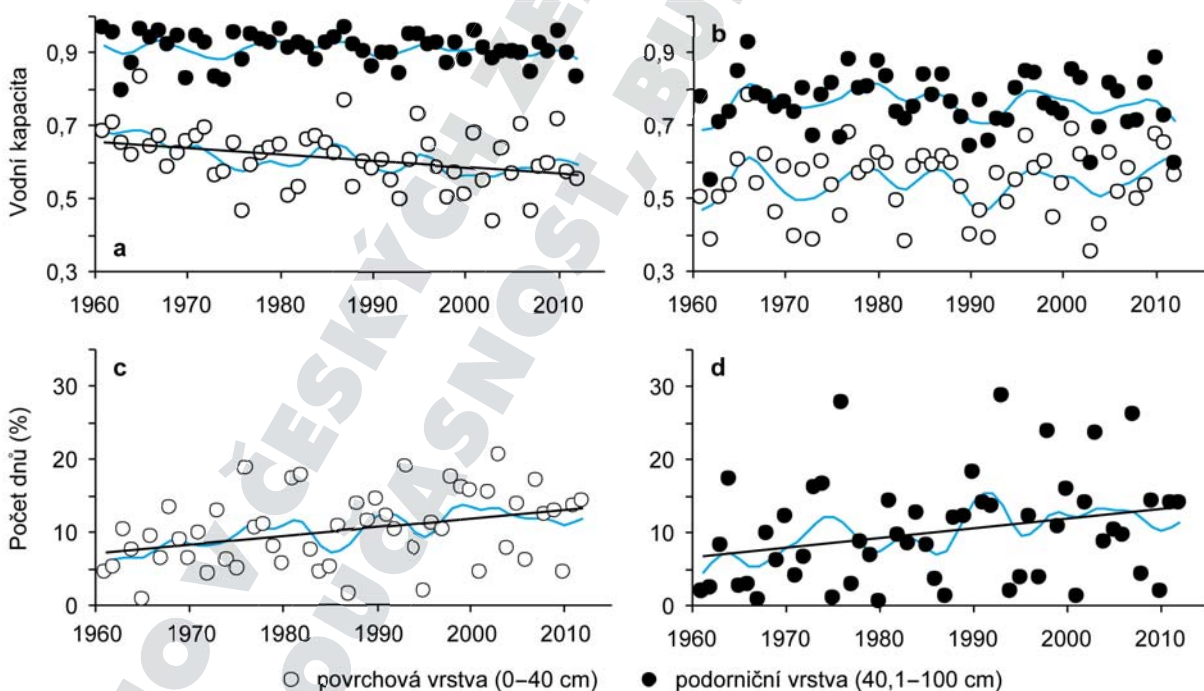
Jednou z možností, jak názorně ilustrovat posun v obsahu dostupné vláhy, je vyhodnocení výsky-

tu suchých (vlhkých) anomálií prezentovaných prostřednictvím standardizovaných hodnot (z-skóre). Z-skóre dané hodnoty půdní vlhkosti  $x_i$  lze stanovit jako:

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s}, \quad (18)$$

kde  $\bar{x}$  je průměr všech hodnot vlhkosti půdy v daném období (například duben–červen) v daném gridu během sledovaného období (například 1961–1980) a  $s$  je směrodatná odchylka tohoto souboru.

Anomálie byly určeny vzhledem k letům 1961–1980, které v naší databázi nejvíce odpovídaly období 1951–1980, jež je považováno za třicetiletí relativně stabilní globální teploty vzduchu před nástupem výrazného oteplování v osmdesátých a devadesátých letech minulého století (Hansen et al., 2012). Protože letní měsíce v letech 1961–1980 byly ve střední Evropě chladnější a vlhčí (Auer et al., 2007), bylo použito současně i referenční období 1961–1990. Podobě jako v práci Hansena et al. (1988) byla plocha pod distribuční funkcí rozdělena na třetiny, takže jim byla přiřazena stejná pravděpodobnost výskytu (tj. 33,3 % v referenčním období). Sezony v intervalu



**Obr. 55.** a–b) Průměrné relativní nasycení půdy na území České republiky v období od dubna do června, resp. od července do září, vypočtené jako průměrná hodnota pro celé území v letech 1961–2012 (0 – bod vadnutí, 1 – polní kapacita); c–d) podíl dnů, v nichž vlhkost půdy byla nižší než hodnota 10. percentilu (v porovnání s obdobím 1961–2010) v dubnu–červnu pro povrchovou vrstvu 0–0,4 m (c) a podorniční vrstvu 0,4–1,3 m (d)

**Figure 55.** (a–b) Mean relative soil saturation from April to June and from July to September, calculated as a mean value from all grids covering the Czech Republic between 1961 and 2012 (0 – wilting point, 1 – field capacity); (c–d) proportion of days in which soil moisture was below the 10th percentile (compared to 1961–2010), calculated as a mean April–June value from all grids for (c) topsoil (0–0.4 m) and (d) subsoil (0.4–1.3 m) layers



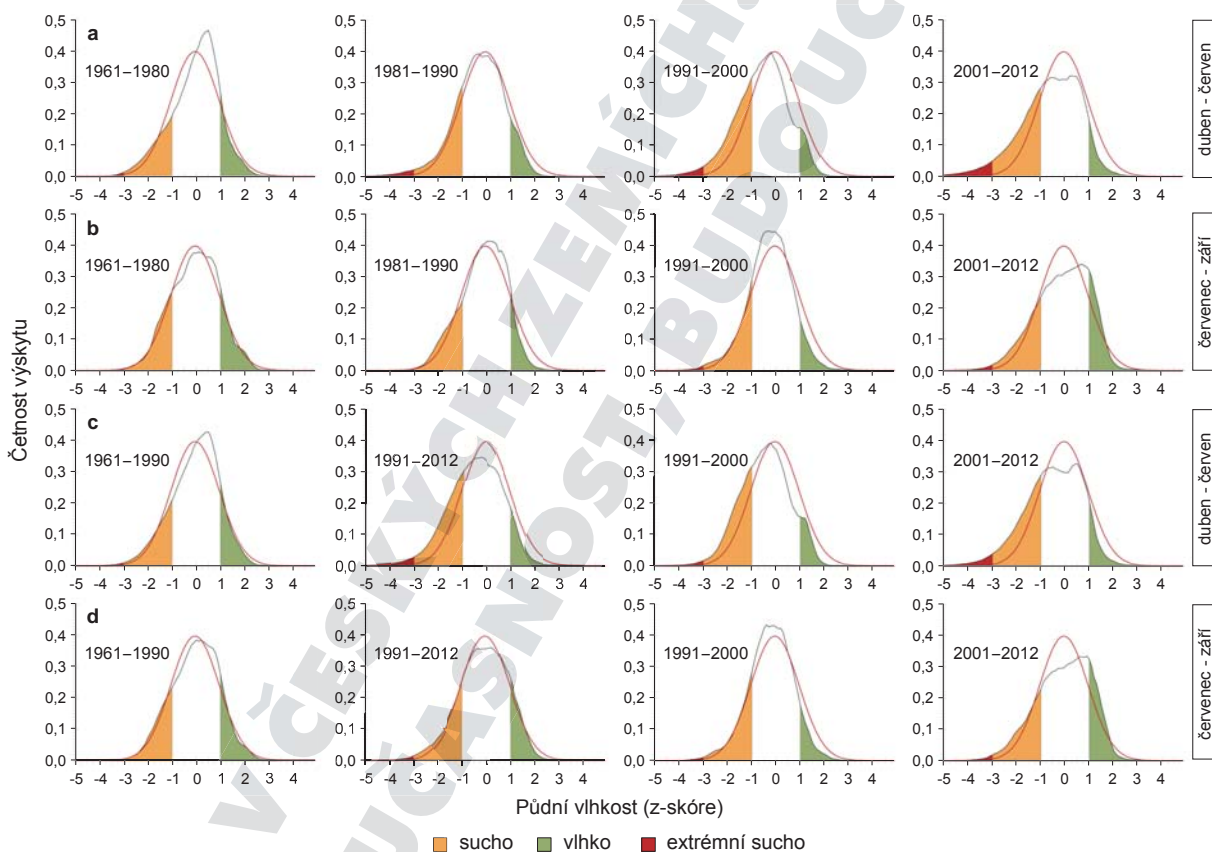
$\pm 0,43s$  pak byly považovány za normální a hodnoty nižší než  $-0,43s$  za „suché“.

Obrázek 56 ukazuje rostoucí frekvenci suchých anomálií vyjádřených pomocí z-skóre. Výsledky jsou si podobné v obou referenčních obdobích a jasně patrný je rozdíl mezi stavem půdní vlhkosti od dubna do června v obdobích 1961–1990 a 1991–2012. Výskyt anomálií omezených hodnotou  $-3s$  či dokonce  $-5s$ , které se v referenčním období prakticky nevyskytují, se stává poměrně běžným v letech 2001–2012, a je v souladu s analýzami prezentovanými v obrázcích 53–55. Výskyt vlhkých sezon je značně snížen v období od dubna do června. Méně výrazné jsou změny v období od července do září (obr. 56b, d), ale i zde je dobře patrná tendence k vyšší četnosti výrazně negativních anomálií půdní vlhkosti ( $< -3s$ ). Současně ale platí, že výskyt ne-

obvykle vysokých obsahů půdní vlhkosti ( $> 1s$ ) zůstává stejný nebo dokonce mírně roste. Nárůst závažných suchých anomálií během posledních 22 let přesvědčivě dokládá obrázek 56. Zatímco v období 1961–1980 představovaly výrazné suché anomálie ( $< -3s$ ) asi 0,3 % všech hodnot, v letech 2001–2012 to bylo již 4 %. Jedná se tedy o třináctinásobný vzestup, přičemž ve druhé polovině vegetačního období (červenec–září) bylo toto zvýšení „pouze“ čtyřnásobné.

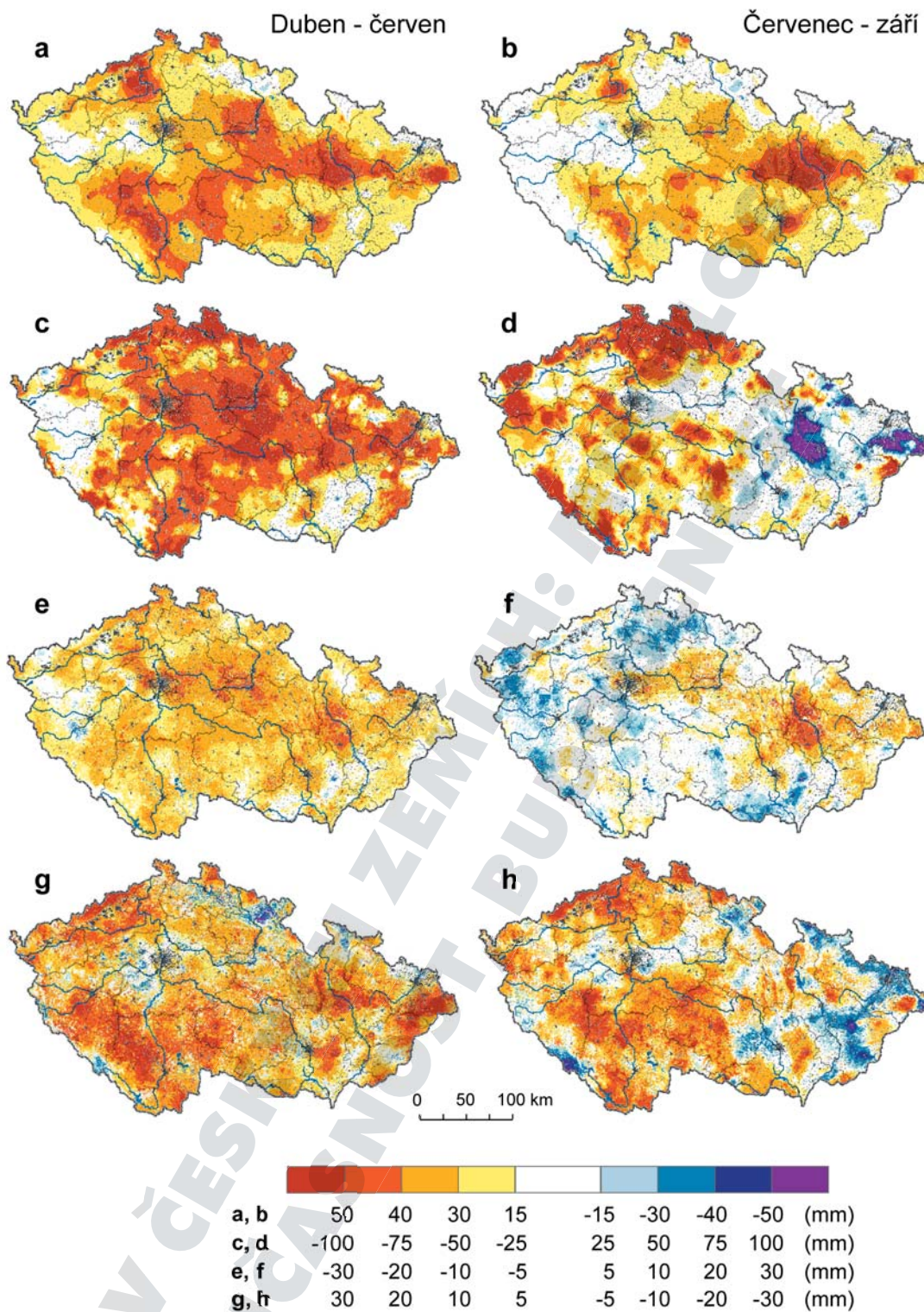
#### 4.1.2.3 Příčiny změn půdní vlhkosti a možné důsledky

Obrázek 57 dokládá tendenci k nárůstu hodnot referenční evapotranspirace  $ETr$  za vegetační období na většině území České republiky v období 1961–2012.  $ETr$  rostla zejména v dubnu, květnu a srpnu. Na robustnost trendů ukazují fakt, že neexistují



**Obr. 56.** Frekvence výskytu půdní vlhkosti, vypočtená jako z-skóre půdní vlhkosti dostupné pro rostliny na celém území České republiky v referenčních obdobích 1961–1980 (a, b) a 1961–1990 (c, d). Plocha integrovaná pod každou z křivek odpovídá jedné. Anomálie obsahu půdní vlhkosti z daného referenčního období jsou vyjádřeny jako relativní množství dostupné vody rostlinám profilu, kde 0 vyjadřuje bod vadnutí a 1 dosažení polní kapacity. Červenou křivkou je znázorněno odpovídající normované normální rozdělení

**Figure 56.** Frequency of occurrence of soil moisture calculated as z-scores of plant-available soil water over the entire territory of the Czech Republic in two reference periods: 1961–1980 (a, b) and 1961–1990 (c, d). The area under each curve represents unity. Anomalies of soil water content from the given reference period are expressed as the relative amount of water available to plants (AWR) within the profile, where 0 express no water available for them and 1 corresponds to field capacity for the entire soil horizon. Standardized normal distribution appears as a red line. The rows a and c correspond to April–June, b and d to July–September



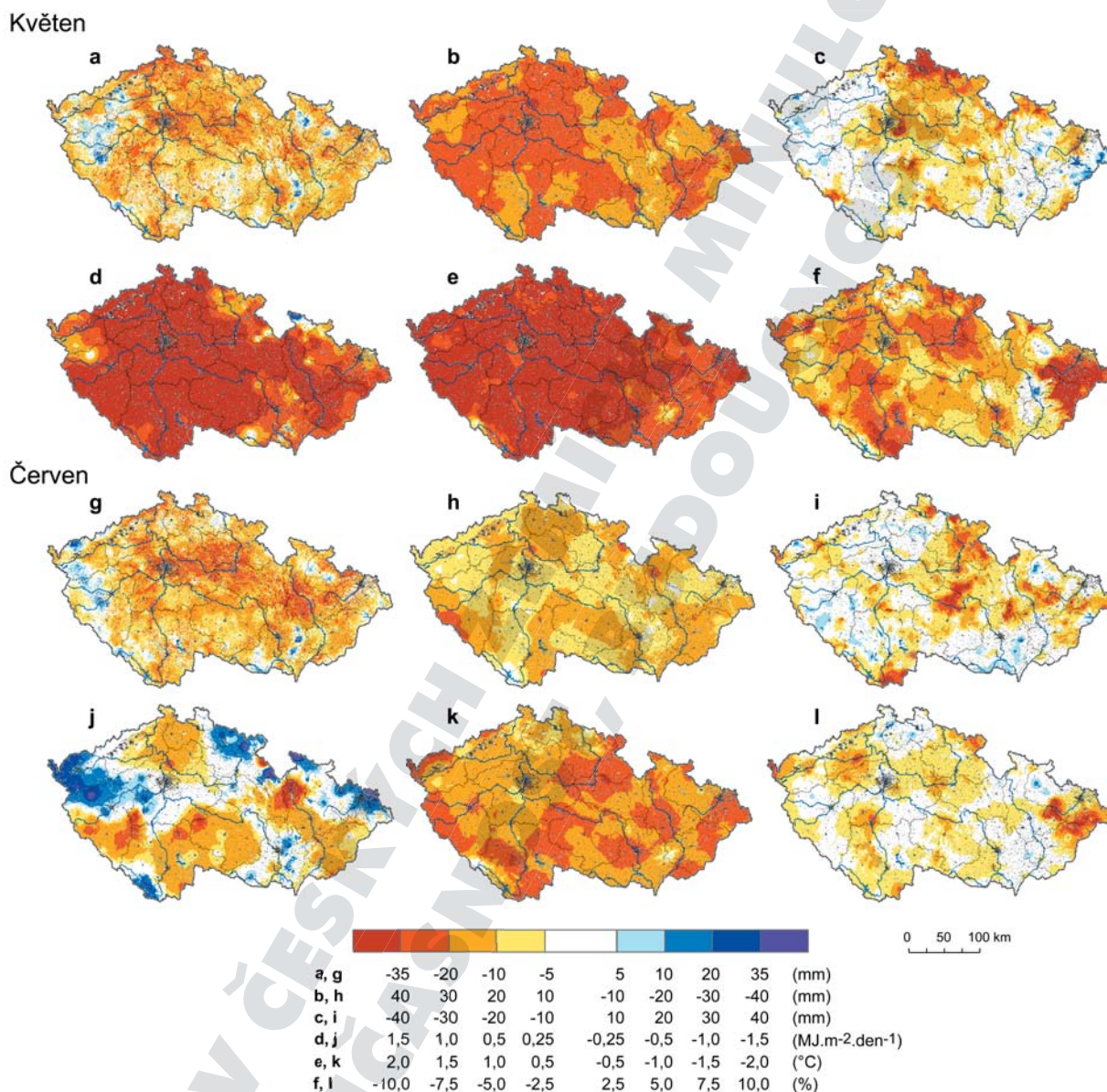
**Obr. 57.** Statisticky významné trendy klíčových parametrů vodní bilance v České republice pro duben–červen (a, c, e, g) a červenec–září (b, d, f, h) v období 1961–2012: (a, b) referenční evapotranspirace ETr; (c, d) rozdíl mezi úhrnem srážek a ETr; (e, f) obsah vody v půdním profilu 0–1,3 m; (g, h) aktuální evapotranspirace ETa. Statisticky významné trendy, které indikují pokles půdní vlhkosti, jsou zobrazeny ve žluto-červené škále, a růst půdní vlhkosti v modro-zelené škále. Statistická významnost trendů byla stanovena pro každý grid na základě hodnoty Spearmanova korelačního koeficientu ( $\alpha = 0,05$ ). Gridy bez statisticky významného trendu jsou bílé

**Figure 57.** Statistically significant trends in key parameters of water balance in the Czech Republic for April–June (a, c, e, g) and July–September (b, d, f, h) in the 1961–2012 period: (a, b) reference evapotranspiration ETr; (c, d) differences between precipitation and ETr; (e, f) soil water content in the 0–1.3-m soil profile; (g, h) actual evapotranspiration ETa. Trends conducive to drought are shown in yellow-red and wetter conditions in blue-green. Grids in white represent statistically non-significant trends. The trend significance was determined for every grid by means of Spearman correlation coefficient ( $\alpha = 0.05$ )



výrazné rozdíly mezi jednotlivými typy vegetačního krytu. V první polovině vegetačního období (duben–červen) činil nárůst  $ET_r$  v letech 1961–2012 i více než 50 mm. Z analýzy difference mezi úhrny srážek a  $ET_r$ , které představují dvě klíčové komponenty vodní bilance krajiny, vyplývá prohlubující se srážkový deficit v první polovině vegetačního období; v některých ob-

lastech vzrostl od šedesátých let až o 100 mm. Trendy pro druhou polovinu vegetačního období jsou podstatně méně výrazné. Z porovnání trendů  $ET_r$  a měřeného výparu z volné hladiny (obr. 51) vyplývá, že jsou si velmi podobné a shodují se jak velikostí, tak znaménkem. To podporuje poznatky o změně charakteru vodní bilance prezentované v této kapitole.



**Obr. 58.** Statisticky významné trendy půdní vlhkosti a změny klimatických charakteristik v České republice ovlivňujících půdní vlhkost v měsících květen (a–f) a červen (g–l) v letech 1961–2012: (a, g) obsah dostupné vody v půdě; (b, h) referenční evapotranspirace; (c, i) množství srážek; (d, j) globální záření; (e, k) teplota vzduchu; (f, l) relativní vlhkost vzduchu. Statisticky významné trendy indikující pokles půdní vlhkosti jsou znázorněny žluto-červeně a trendy indikující nárůst půdní vlhkosti modro-zeleně. Statistická významnost trendů byla stanovena pomocí Spearmanova korelačního koeficientu ( $\alpha = 0,05$ ). Gridy bez statisticky významného trendu jsou bílé

**Figure 58.** Statistically significant trends in soil moisture and changes in climatic factors driving soil moisture in the Czech Lands for May (a–f) and June (g–l) in the 1961–2012 period: (a, g) soil water content; (b, h) reference evapotranspiration; (c, i) precipitation total; (d, j) global radiation; (e, k) air temperature; (f, l) relative air humidity. Statistically significant trends conducive to decrease in soil moisture are shown in yellow-red and to increase in blue-green. The significance of trends was determined for every grid by means of Spearman correlation coefficient ( $\alpha = 0.05$ ). Grids in white represent statistically non-significant trends

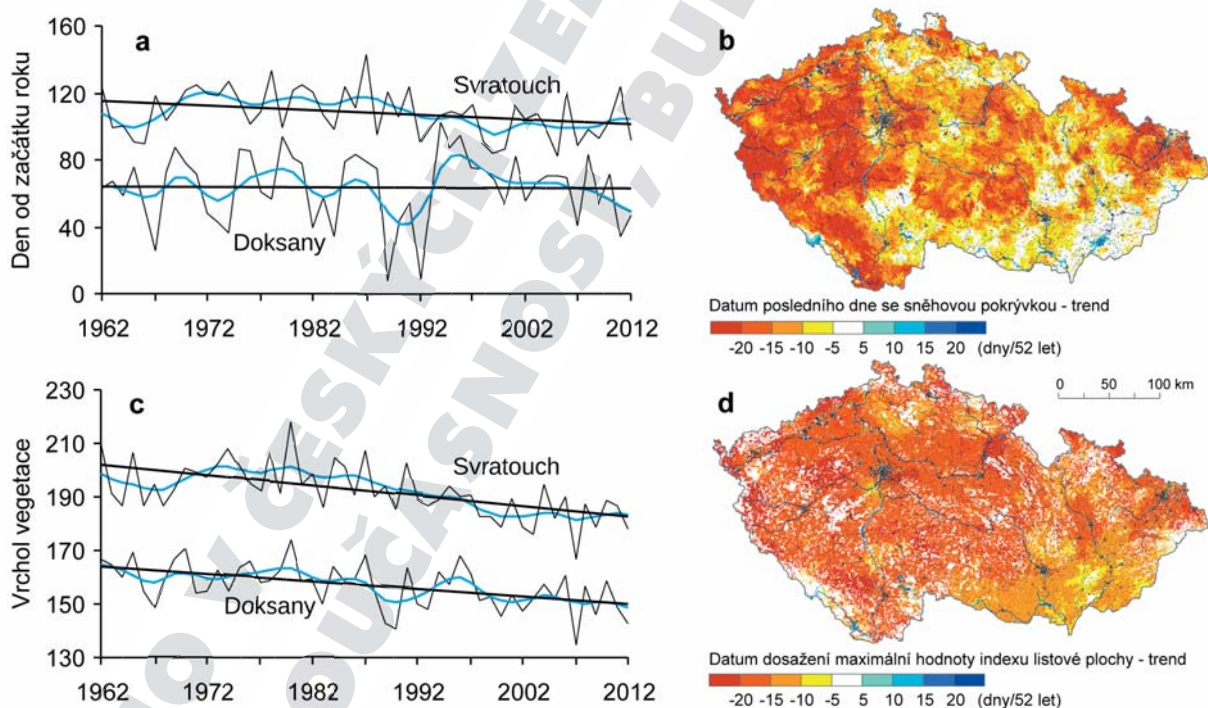


Přehled změn klíčových parametrů, které vedly ke zvýšení  $ETr$ , dokládá obrázek 58. Prvním výrazným faktorem byl rostoucí trend úhrnů globálního záření v dubnu, květnu a srpnu. Současně 3/4 území republiky vykazovaly statisticky významné trendy nárůstu teploty vzduchu ve všech měsících od dubna do srpna, přičemž prakticky neexistovaly stanice s opačným trendem. Zvýšení teploty mělo za následek i pokles relativní vlhkosti vzduchu na více než 4/5 území v dubnu a květnu. Pokles relativní vlhkosti v dalších měsících nebyl tak výrazný, ale podobně jako u teploty neexistují stanice s opačnými trendy. Rovněž v případě rychlosti větru byla patrná tendence k jejich poklesu. Je třeba zdůraznit, že trendy uvedených charakteristik, vedoucích ke zvýšení  $ETr$ , byly výraznější v oblastech, kde dominuje orná půda (oproti územím s trvalými travními porosty a lesy).

Nárůst  $ETr$  je jedním z prekurzorů poklesu obsahu dostupné půdní vláhly (obr. 58). V květnu a červnu činil pokles zásoby dostupné vody v půdě za posledních 50 let asi 30 mm (v některých případech i 40–50 mm), což je často i více než 20 % obvyklé zásoby vody v půdě v kořenové vrstvě. Velmi důležité

jsou také změny v charakteru a délce trvání sněhové pokrývky, která je v podmínkách střední Evropy významným faktorem doplňování zásob půdní vláhly při jarním tání. Rostoucí podíl zimních srážek v kapalné podobě zejména na východě České republiky, ale i ve vyšších nadmořských výškách, vedl k menší mocnosti sněhové pokrývky a k jejímu dřívějšímu konci (obr. 59), což přispívá k nižšímu obsahu půdní vláhly na počátku dubna.

S časnějším začátkem vegetační sezony souvisejí posuny vývojových fází vegetačního krytu. Z pohledu vodní bilance se jako velmi důležitý jeví posun v kulminaci listové plochy (a tedy i aktivního povrchu pro evapotranspiraci) v důsledku dřívějšího nástupu (a rychlejšího průběhu) klíčových fenologických fází. Tento trend je společný jak nížinám (například stanice Doksany), tak i vrchovinám (například stanice Svatouch), a je patrný prakticky na celém území republiky (obr. 59). Změny v nástupu fenofází významně ovlivňují vlhkost půdy prostřednictvím změn v indexu listové plochy a také hloubce kořenění. Zatímco počátek vegetačního období je během března–dubna uspíšen pouze o něko-



**Obr. 59.** Kolísání data posledního dne se sněhovou pokrývkou (a) a data dosažení maximální hodnoty indexu listové plochy (c) s lineárními trendy pro stanice Doksany a Svatouch (zhlazeno desetiletým Gaussovým filtrem). Panely (b) a (d) vyjadřují gridy se statisticky významnými trendy obou zmíněných parametrů a jejich velikostí v období 1962–2012 na území České republiky. Gridy bez statisticky významného trendu jsou bílé

**Figure 59.** Fluctuations in the last day of snow cover (a) and the day upon which the maximum leaf area index is reached (c) smoothed by a 10-year Gaussian filter with linear trends at the Doksany and Svatouch stations. Panels (b) and (d) show grids with statistically significant trends and their magnitude for both characteristics for the territory of the Czech Republic in the 1962–2012 period. Grids in white represent lack of any significant trend

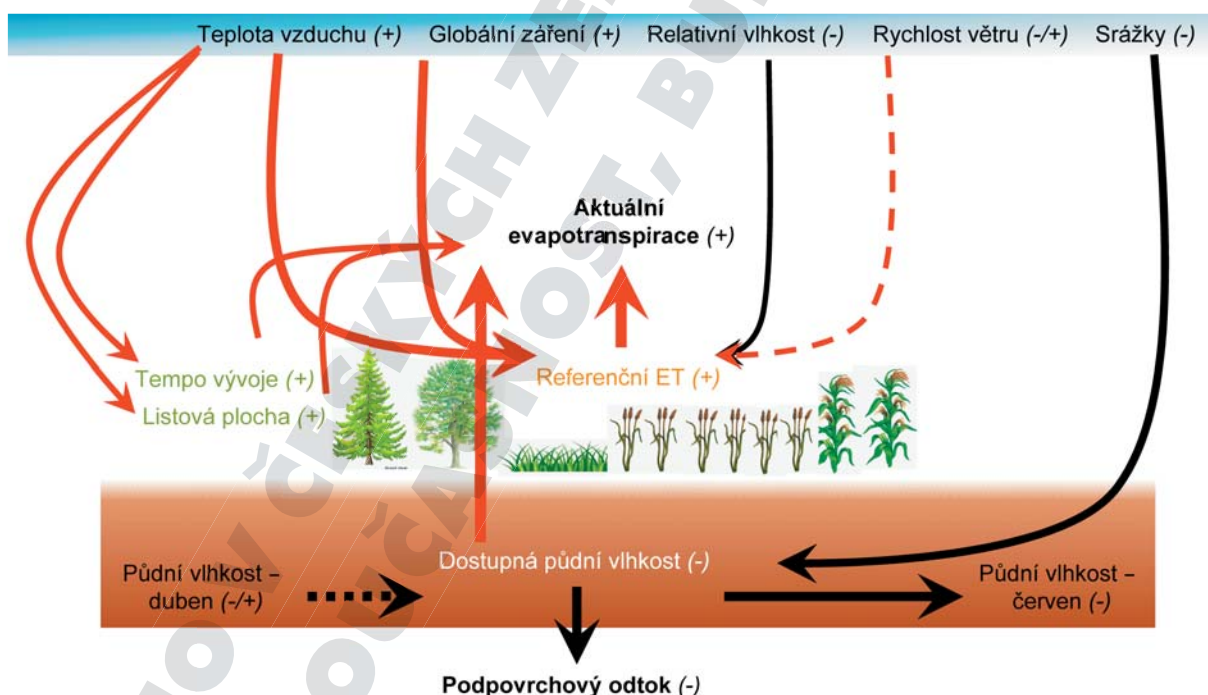
lik málo dnů, vrchol vegetačního období, definovaný jako datum dosažení maximálního indexu listové plochy, nastává v průměru o 12 dnů dříve než v minulosti (obr. 59). V hlavních produkčních oblastech České republiky je tak v současnosti dosahováno maximálních hodnot referenční a také aktuální evapotranspirace již na konci května, zatímco v šedesátých letech minulého století se toto maximum objevovalo až začátkem druhé červnové dekády.

Obrázek 60 znázorňuje souhrnně příčiny snižování zásoby vody v půdě v květnu, tedy v klíčovém období vegetační sezony. Jedná se nejen o přímý vliv změn teploty vzduchu, globálního záření a relativní vlhkosti vzduchu, které zvyšují referenční evapotranspiraci, ale také o vliv zvýšené teploty na dynamiku vývoje listové plochy a na rychlost fenologického vývoje. Na počátku vegetační sezony, kdy rostliny mohou využívat zásob půdní vláhy ze zimního období, existuje těsný vztah mezi referenční a aktuální evapotranspirací. S tím, jak jsou zásoby vody postupně vyčerpávány, stávají se hodnoty aktuální evapotranspirace čím dál tím více závislé na půdní vlhkosti, a tedy na množství srážek v daném období. Proto se výraznější trendy v nárůstu aktuální evapotranspi-

race objevují v oblastech relativně bohatších na srážky a na půdách s vysokou retenční schopností. Naproti tomu regiony s nižšími srážkovými úhrny vykazují relativně malé trendy změn klíčových parametrů vodní bilance.

#### 4.1.3 Dlouhodobé kolísání a trendy indexů sucha

Pro analýzu dlouhodobého kolísání sucha v českých zemích byly dále zvoleny řady šesti indexů sucha stanovené z měsíčních homogenizovaných teplotních a srážkových řad pro české země a 10 meteorologických stanic z práce Brázdila et al. (2012a). Pro vyjádření základních klimatologických trendů těchto charakteristik byly zvoleny indexy vypočtené pro české země pro období 1805–2012, jejichž průběh ve studovaném období ukazuje obr. 61. Řady indexů jsou vždy prezentovány pro rok a roční období (zima: prosinec–leden, jaro: březen–květen, léto: červen–srpen, podzim: září–listopad) a jsou shlazeny Gaussovým filtrem pro 10 let. Všechny řady ročních a sezonních indexů sucha dokumentují značnou meziroční a dekadovou variabilitu sucha v českých zemích. Zatímco u charakteristik krátkodobého sucha



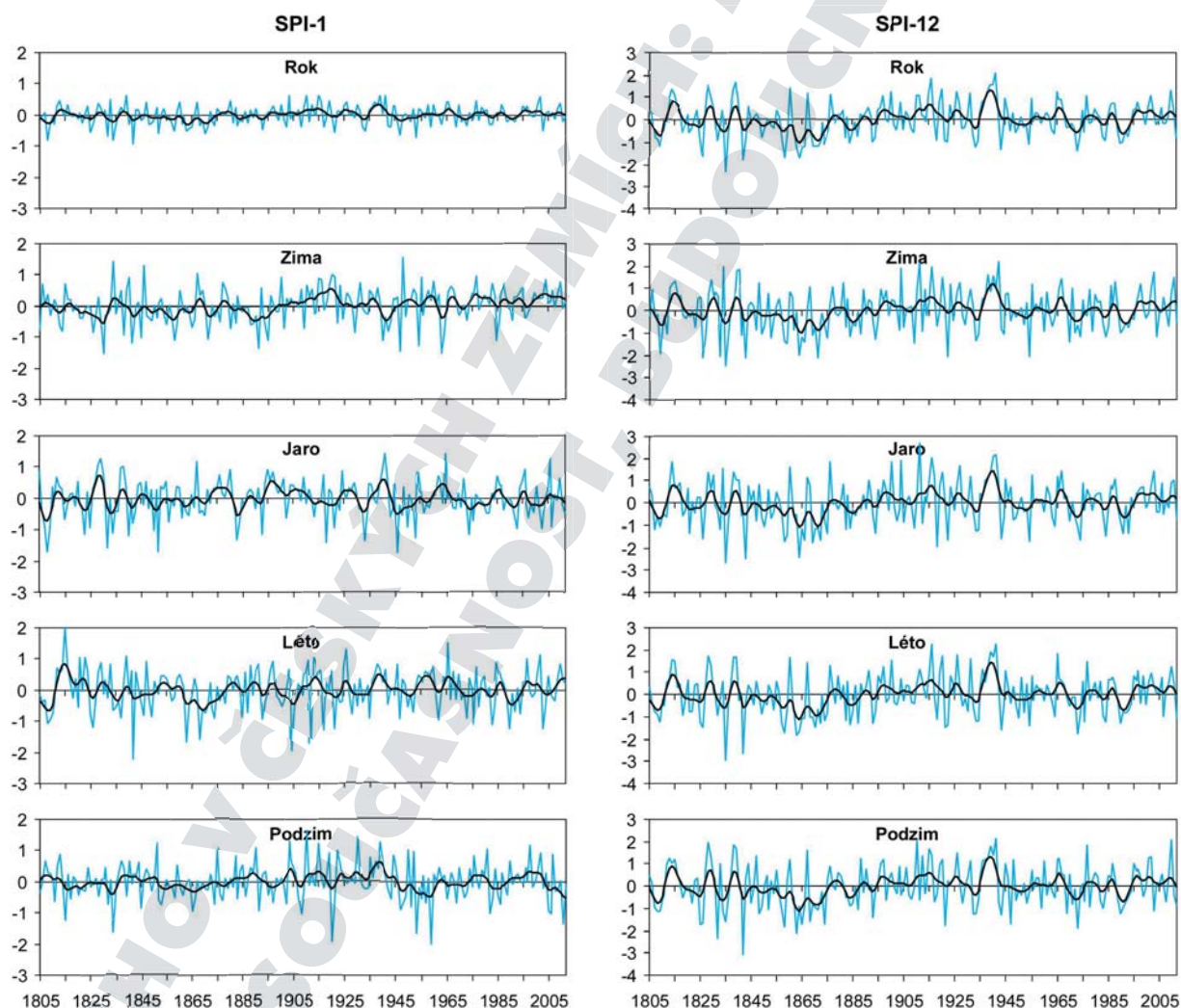
**Obr. 60.** Schéma klíčových faktorů klimatu a vegetace přispívajících ke změně obsahu dostupné půdní vláhy v České republice v měsíci květnu na základě údajů za období 1961–2012. Červeně jsou znázorněny pozitivní a černě negativní trendy těchto faktorů, přičemž tloušťka linií vyjadřuje jejich relativní důležitost. Plná čára značí statisticky významný lineární trend na více než 2/3 území České republiky, přerušovaná čára trend statisticky nevýznamný ( $\alpha = 0,05$ )

**Figure 60.** Key climatic and crop parameter drivers of soil water-content change in May in the Czech Republic in the 1961–2012 period. Red indicates increasing trends and black decreasing trends; the width of the line represents relative importance. The full line indicates statistically significant trends in the given factor over more than two-thirds of the region and the broken line shows statistically non-significant trends ( $\alpha = 0.05$ )

reprezentovaného SPI-1, SPEI-1 a Z-indexem jsou dobře patrné rozdíly v kolísání mezi ročními a sezonními indexy (větší podobnost vykazuje pouze jaro s létem), u charakteristik dlouhodobého sucha jako je SPI-12, SPEI-12 a PDSI jsou si kolísání velmi podobná, což plyne ze způsobu jejich výpočtu, kdy se do dané sezony promítají víceméně i hodnoty indexů z předchozích tří sezon.

Řady ročních a sezonních hodnot šesti indexů sucha českých zemí byly dále použity k výpočtu lineárních trendů ve studovaném období 1805–2012, přičemž významnost lineárních trendů byla hodnocena t-testem pro hladinu významnosti  $\alpha = 0,05$  (tab. 3). Pouze na srážkách založené indexy SPI-1 a SPI-12 vykazují vesměs rostoucí trend, tedy tendenci

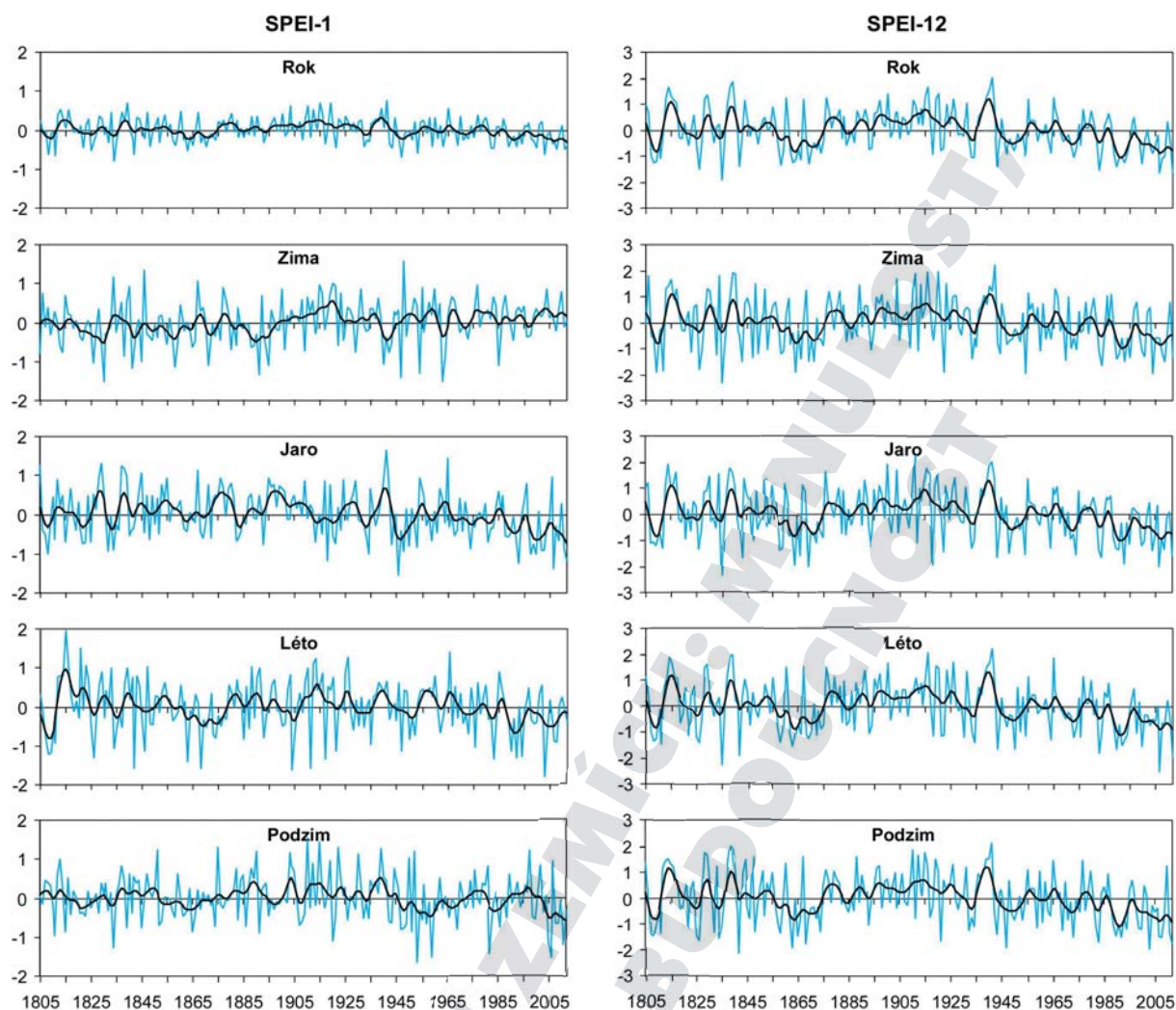
ke zvýšené vlhkosti klimatu, která je v případě SPI-1 pro zimu dokonce statisticky významná, podobně jako pro SPEI-1. Výrazný trend ke zvýšené suchosti jara vykazují naopak čtyři zbylé indexy zahrnující i vliv teploty vzduchu. Na statisticky významný sestupný trend ukazují také řady SPEI-12 a PDSI pro rok a léto a SPEI-12 pro podzim. V ostatních případech (s výjimkou zimy u Z-indexu) jsou hodnoty směrnice lineárního trendu také záporné, ale nikoliv statisticky významné. Tyto skutečnosti tak dokládají vliv rostoucí teploty vzduchu, a tedy i rostoucí potenciální evapotranspirace, na vznik extrémního sucha, jak již bylo dříve ukázáno například v pracích Trnky et al. (2011a) nebo Brázdila et al. (2012a, 2013a).



**Obr. 61.** Kolísání vybraných ročních a sezonních indexů sucha v českých zemích v období 1805–2012. Řady jsou shlazeny desetiletým Gaussovým filtrem: SPI-1 a SPI-12

**Figure 61.** Fluctuations in selected annual and seasonal drought indices calculated for the Czech Lands in the 1805–2012 period; series smoothed by 10-year Gaussian filter: SPI-1 and SPI-12





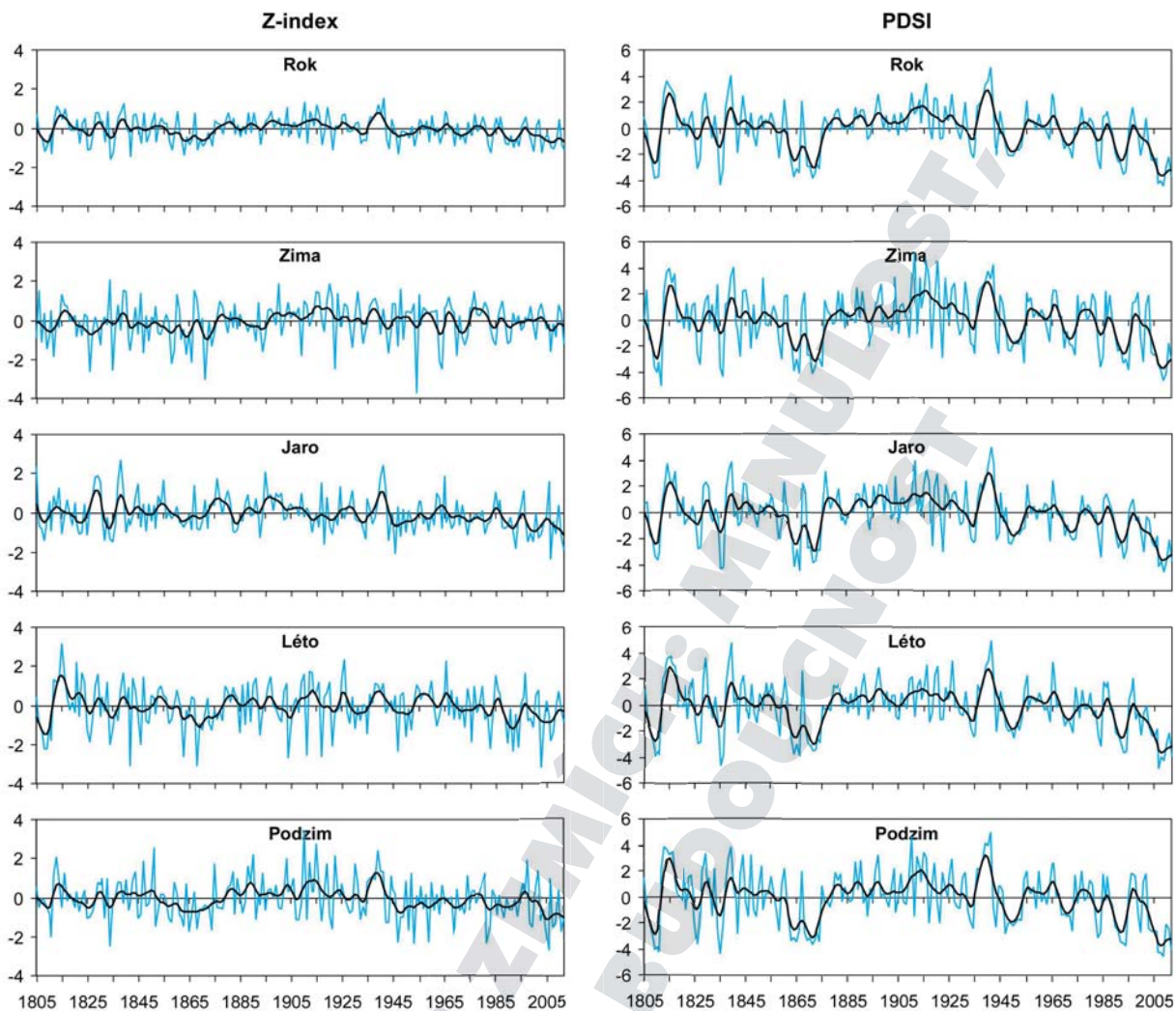
**Obr. 61** – pokračování: SPEI-1 a SPEI-12  
**Figure 61** – continued: SPEI-1 and SPEI-12

**Tab. 3.** Stoleté lineární trendy ročních a sezonních indexů sucha pro české země v období 1805–2012. Statisticky významné hodnoty trendů na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  jsou vyjádřeny tučně

**Table 3.** One-hundred year linear trends in annual and seasonal drought indices in the Czech Lands in the 1805–2012 period. Statistically significant values of trends at the level  $\alpha = 0.05$  are shown in bold

Index	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzím
SPI-1	0,07	<b>0,19</b>	0,01	0,05	0,01
SPI-12	0,15	0,14	0,15	0,16	0,15
SPEI-1	-0,06	<b>0,17</b>	<b>-0,20</b>	-0,11	-0,09
SPEI-12	<b>-0,23</b>	-0,21	<b>-0,23</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,24</b>
Z-index	-0,12	0,13	<b>-0,28</b>	-0,12	-0,18
PDSI	<b>-0,47</b>	-0,36	<b>-0,54</b>	<b>-0,49</b>	-0,47

Protože indexy sucha vypočtené pro území českých zemí v zásadě zastírají oblastní rozdíly, které mohou být od místa k místu diametrálně odlišné (viz například sucho od srpna 2011 do května 2012 — Zahradníček et al., 2014), byly tyto indexy konfrontovány s řadami indexů sucha stanovenými pro deset meteorologických stanic pro nejdéší společné období 1877–2012. Přehled o vypočtených lineárních trendech a jejich významnosti podává obr. 62. Žádná z použitých stanic nevykázala statisticky významný trend pro SPI-12. V případě SPI-1 byl zjištěn statisticky významný vzestupný trend v zimě pro Havlíčkův Brod, Olomouc a Bystřici pod Hostýnem (s výjimkou Olomouce také pro SPEI-1), zatímco významný sestupný trend byl zaznamenán



**Obr. 61** – pokračování: Z-index a PDSI  
**Figure 61** – continued: Z-index and PDSI

pouze pro Prahu-Klementinum na jaře a Havlíčkův Brod na podzim. U zbylých indexů je nejmarkantnější statisticky významný pokles ročních a sezonních hodnot SPEI-12 a PDSI na všech deseti stanicích. Poněkud větší variabilitu statisticky významných lineárních trendů prokázaly dva zbylé indexy krátkodobého sucha SPEI-1 a Z-index. Statisticky nevýznamné trendy SPEI-1 v zimě a v létě se týkaly českých stanic (Čáslav, České Budějovice, Praha-Klementinum, Tábor) a Přerova, v zimě a na podzim Olomouce, v zimě Brna a Opavy, v roce, na jaře a na podzim Bystřice pod Hostýnem. V případě Z-indexu byly statisticky nevýznamné lineární trendy pro zimu a léto v Táboře, Havlíčkově Brodu a v Olomouci, pro zimu a jaro v Bystřici pod Hostýnem, pro zimu v Brně, pro léto v Čáslavi, Českých Budějovicích a v Přerově.

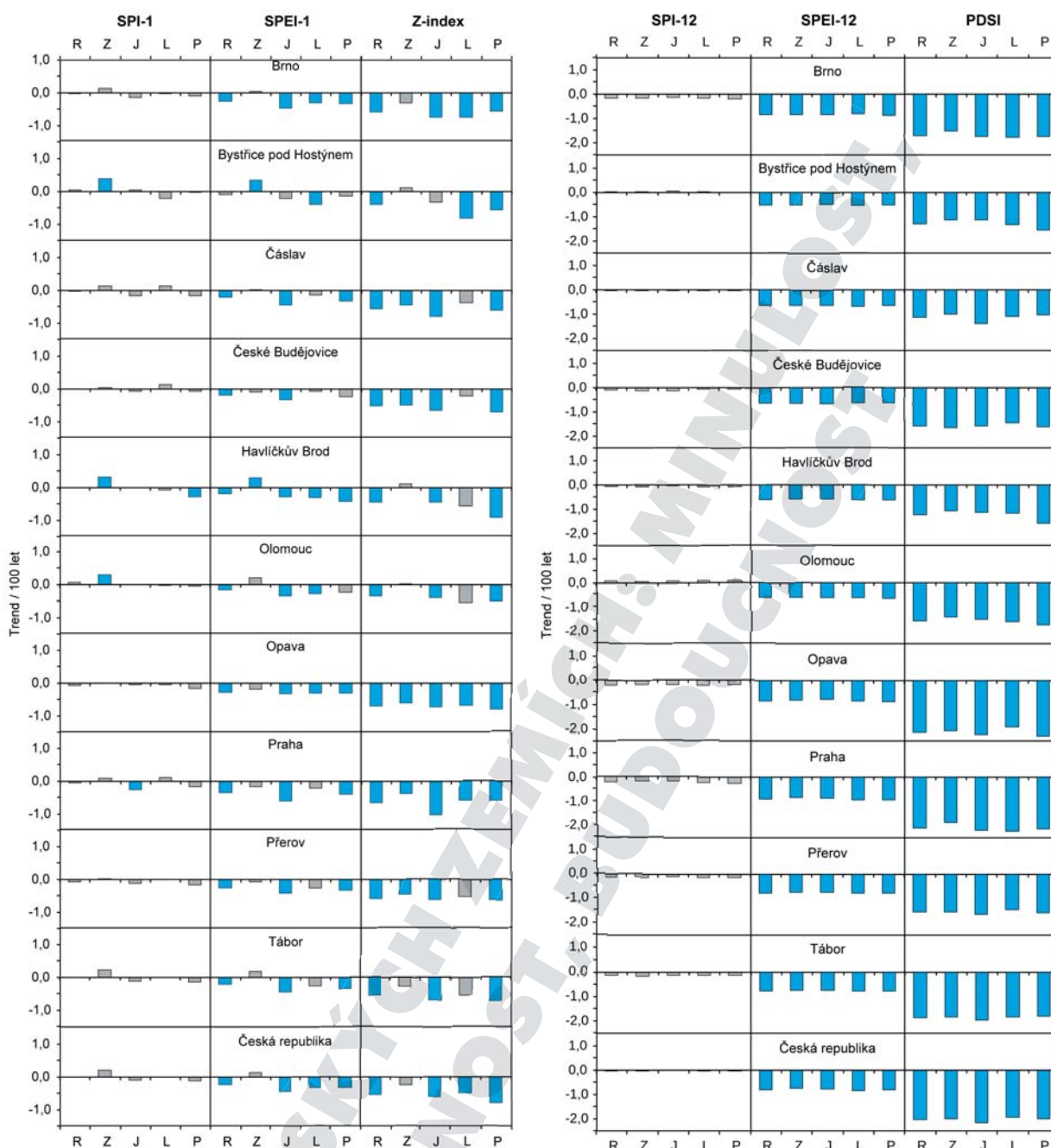
#### 4.1.4 Časoprostorová analýza hydrologického sucha

Časoprostorová analýza hydrologického sucha v českých zemích se opírá jednak o řady měsíčních a jednak o řady denních průtoků vybraných vodoměrných stanic. Je doplněna případovou studií hydrologického sucha na horní Otavě a horní Lužnici.

##### 4.1.4.1 Kolísání hydrologického sucha podle řad měsíčních průtoků

###### 4.1.4.1.1 Řeka Labe v Děčíně v období 1887–2010

Jak plyne z kap. 3.2, je řada průměrných měsíčních průtoků řeky Labe v Děčíně začínající v roce 1851 druhou nejdelší po měření v Praze na Vltavě. Spolehlivost údajů na počátku řady je ale menší, neboť převod na průtoky od roku 1851 proběhl podle konsumpční křivky konstruované v pozdějším



**Obr. 62.** Stoleté lineární trendy šesti indexů sucha (SPI-1, SPEI-1, Z-index, SPI-12, SPEI-12, PDSI) pro deset sekulárních meteorologických stanic a řadu českých zemí v období 1877–2012: R – rok, Z – zima, J – jaro, L – léto, P – podzim. Statisticky významné trendy na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  jsou vyjádřeny modrými sloupky

**Figure 62.** Hundred-year linear trends of six drought indices (SPI-1, SPEI-1, Z-index, SPI-12, SPEI-12, PDSI) for ten secular meteorological stations and series of the Czech Lands in the 1887–2012 period: R – year, Z – winter, J – spring, L – summer, P – autumn. Statistically significant trends at the significance level of  $\alpha = 0.05$  are shown in blue columns

období a navíc se zde kolem roku 1860 prováděly práce na prohlubování koryta, kdy vyčíslené průtoky mohly být nižší než odpovídalo skutečnosti. S tím by mohl zčásti souviset i výskyt řady roků s velmi malými průtoky v letech 1858–1875. Proti tomu však hovoří skutečnost, že se nepochybně jednalo o velmi suché období, zejména v šedesátých letech 19. sto-

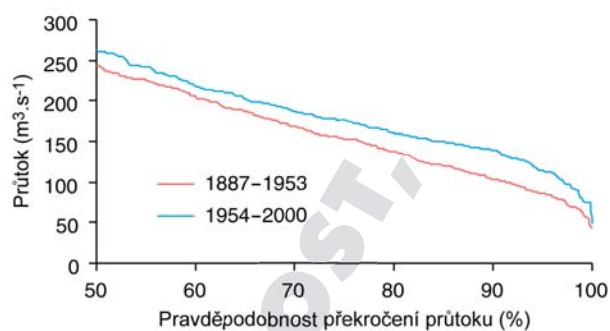
letí, jak dokládají například dále analyzované, velmi suché roky 1863 a 1867 nebo závěry studie Brázdila et al. (2013a). Po roce 1880 ale třicetileté klouzavé průměry labských průtoků kolísají kolem střední hodnoty, bez známek soustavného dlouhodobého poklesu nebo vzestupu, a v podstatné míře ve zřejmé návaznosti na kolísání srážkových úhrnů. Z hlediska



průměrných ročních průtoků se tedy dosavadní vývoj průtoků řeky Labe v Děčíně po roce 1880 jeví jako stacionární.

Podstatné změny však lze prokázat v rozdělení průměrných denních průtoků, zejména v oblasti malých průtoků. Počátek souvislé řady průměrných denních průtoků se datuje k roku 1887. Zatímco do roku 1955 se období s průtoky pod hranicí  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  objevovalo velmi často, po tomto roce došlo jen jednou k významnějšímu poklesu průtoků pod  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a to v letech 1963–1964 s minimem  $62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dne 15. srpna 1963. Poté již průtok nikdy nepoklesl pod hodnotu  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , zatímco minima v období 1887–1954 byla podstatně níže: 1909 —  $34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 1911 —  $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 1934 —  $37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 1921 —  $38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 1947 a 1954 —  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 1908 —  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z hlediska minimálních průtoků se tedy v děčínské řadě projevuje skoková změna, kdy zvětšení malých průtoků lze jednoznačně přiřadit působení Vltavské kaskády a dalších umělých zásahů do odtokového režimu v povodí Labe. Navyšování malých průtoků řeky Vltavy z nádrží Vltavské kaskády začalo po roce 1954, kdy byla poprvé naplněna nádrž Slapy. Ta kontroluje povodí s průměrným průtokem  $84,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . V následujícím období se na zvýšení malých průtoků Vltavy v Praze tak, aby nepoklesly pod hodnotu  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , mohly podílet i další velké nádrže na Vltavě (Lipno od roku 1960, Orlík od roku 1963). Po roce 1965 navyšuje malé průtoky na Labi také nádrž Nechanice na Ohři (průměrný průtok  $30,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; na stanici Louny v období 1965–2000 poklesly průtoky pod  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  jen v 2 % případech) a další nádrže v povodí Labe (Broža et al., 2005). Zanedbatelný není ani souhrnný vliv vodárenských soustav. Ty zajišťují požadované vyrovnané odběry i v období hydrologického sucha, přičemž většina použité vody se pak vrací do toků v podobě vypouštěných odpadních vod. Vliv Vltavské kaskády na frekvenci výskytu nízkých průtoků a období hydrologického sucha je patrný i z obrázku 63, z něhož plyne, že v oblasti minimálních průtoků činí nadlepšení asi  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , přičemž s nárůstem průtoků se toto nadlepšení zmenšuje. Na základě toho lze konstatovat, že po více než 50 let jsou průtoky řeky Labe v Děčíně v obdobích hydrologického sucha podstatně větší, než by odpovídalo přirozeným poměrům.

Pro analýzu dlouhodobého kolísání hydrologického sucha na stanici Děčín byla použita řada průměrných měsíčních průtoků v období 1876–2009. Pomocí modelu hydrologické bilance pak byly vypočteny řady základních veličin, z nichž se pro analýzu příčin vzniku hydrologického sucha ukázaly jako

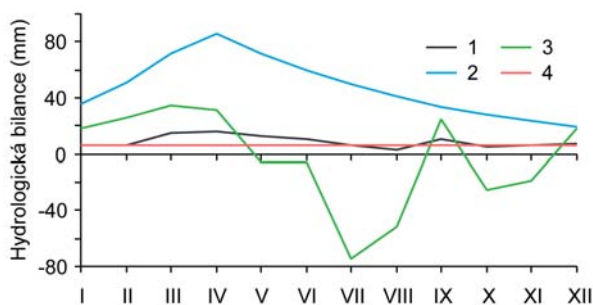


**Obr. 63.** Čáry překročení průměrných denních průtoků řeky Labe v Děčíně v obdobích 1887–1953 a 1954–2000 (ukázána je jen oblast podprůměrných průtoků) (podle Viziny et al., 2013)

**Figure 63.** Exceedance curve for mean daily discharges for the River Elbe at Děčín in the 1887–1953 and 1954–2000 periods (only below-mean discharges are shown) (after Vizina et al., 2013)

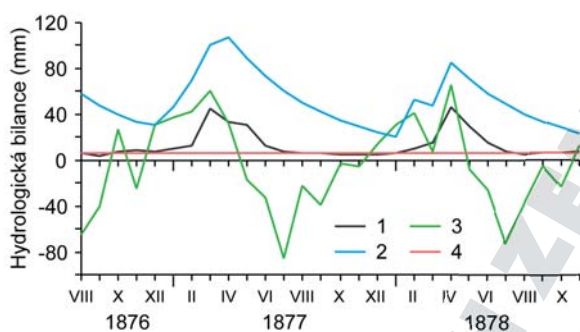
nejdůležitější pozorovaná řada srážek, modelovaná řada velikosti zásob podzemní vody a potenciální evapotranspirace, vypočtená na základě teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Z pozorované řady průměrných měsíčních průtoků pak byla sestrojena čára překročení a byl vypočten průtok s pravděpodobností překročení 90 % o hodnotě  $114,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , který odpovídá měsíční odtokové výšce 5,9 mm. Za období hydrologického sucha pak byly dále považovány časové úseky s průtokem menším než uvedená hodnota. Takto bylo vyčleněno celkem 69 období hydrologického sucha, z nichž se 56 vyskytlo před rokem 1955 a jen 13 v následujících letech. To potvrzuje zřetelný vliv nadlepšení minimálních průtoků Vltavskou kaskádou a dalšími zásahy do odtokového režimu. Průměrná délka hydrologického sucha činí dva měsíce a kolísá od jednoho do šesti měsíců. Typický začátek hydrologického sucha je v měsíci září, ale může začínat i v jiných měsících. I když některé případy hydrologického sucha se vyskytly osamoceně v jediném roce (například v roce 1918 — obr. 64), existuje i několik víceletých období s několika případy sucha, které se promítaly do dlouhodobého poklesu zásob podzemní vody, počítané jako složky modelu hydrologické bilance BILAN (například od srpna 1876 do listopadu 1878 — obr. 65).

Z analýzy hodnot hydrologické bilance plyne, že hydrologické sucho koresponduje v naprosté většině případů se situací, kdy je vyšší potenciální evapotranspirace než průměrný srážkový úhrn na povodí. Je-li rozdíl mezi srážkami a potenciální evapotranspirací menší než nula, odpovídá to poklesu odtoku. Pokud je období poklesu delší nebo následuje několik takovýchto období krátce po sobě, je odtok doto-



**Obr. 64.** Příklad „osamoceného“ výskytu hydrologického sucha z roku 1918 na řece Labe v Děčíně: 1 – měřený průtok, 2 – zásoba podzemní vody, 3 – rozdíl srážek a potenciální evapotranspirace (záporné hodnoty odpovídají suchu), 4 – prahový průtok  $Q_{90}$  (podle Viziny et al., 2013)

**Figure 64.** An example of a “single” case of hydrological drought in 1918 on the River Elbe at Děčín: 1 – observed discharge, 2 – underground water supply, 3 – difference between precipitation and potential evapotranspiration (negative values indicate drought), 4 – threshold discharge  $Q_{90}$  (after Vizina et al., 2013)



**Obr. 65.** Příklad víceletého období s několika případy hydrologického sucha na řece Labe v Děčíně s dlouhodobým poklesem zásob podzemní vody v období srpen 1876–listopad 1878: 1 – měřený průtok, 2 – zásoba podzemní vody, 3 – rozdíl srážek a potenciální evapotranspirace (záporné hodnoty odpovídají suchu), 4 – prahový průtok  $Q_{90}$  (podle Viziny et al., 2013)

**Figure 65.** A multi-year period with several instances of hydrological drought on the River Elbe at Děčín, with long-term decline in groundwater levels in the August 1876–November 1878 period: 1 – observed discharge, 2 – underground water supply, 3 – difference between precipitation and potential evapotranspiration (negative values indicate drought), 4 – threshold discharge  $Q_{90}$  (after Vizina et al., 2013)

ván výhradně podzemní vodou a dochází k významnému poklesu zásob podzemní vody. Odhad vývoje průtoků řeky Labe v Děčíně v příštích desetiletích tak podstatně závisí na vývoji budoucích klimatických podmínek, zejména množství srážek. V kritických obdobích hydrologického sucha však mohou být malé průtoky i nadále podstatně navyšovány především účinkem Vltavské kaskády.

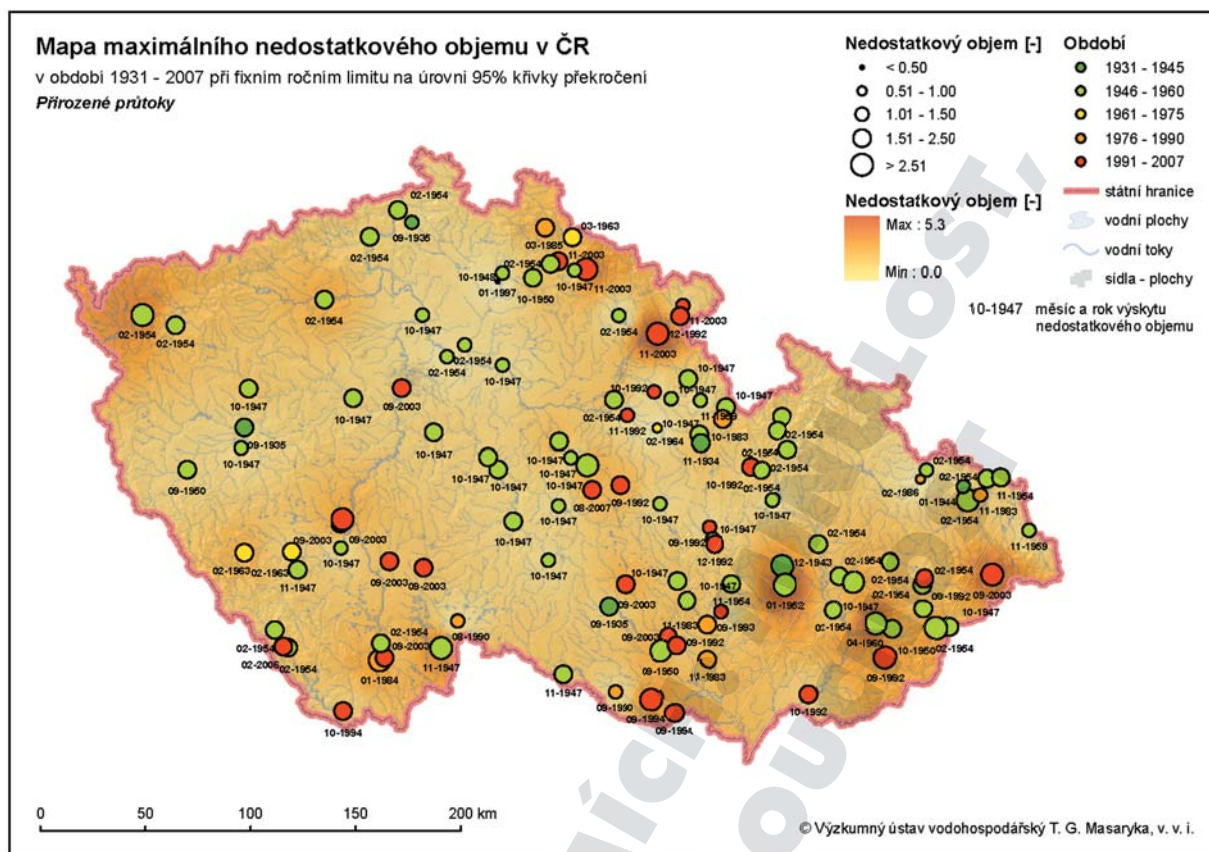
#### 4.1.4.1.2 Řeky v českých zemích v období 1931–2007

K hodnocení hydrologického sucha na vodoměrných stanicích řek České republiky v období 1931–2007 byly použity řady průměrných měsíčních průtoků z databáze ČHMÚ. S ohledem na výrazné sucho roku 1947 byly analyzovány pouze stanice uvedené do provozu před tímto rokem. Chybějící průtoky u některých neúplných řad byly doplněny buď údaji z blízké stanice (pokud plochy povodí nebyly příliš odlišné), pomocí multiplikativního koeficientu (v případě větší odlišnosti plochy povodí) nebo pomocí lineárních regresních rovnic (bylo-li stanovení koeficientů možné díky několikaletému společnému pozorování stanic). Protože mezi poskytnutými řadami průtoků byly i řady ovlivněné lidskou činností (například s průtoky nadlepšovanými v období sucha nádržemi), musely být všechny řady po roce 1979, kdy je vedena evidence ovlivnění, očištěny od vlivu odběrů, vypouštění a manipulací na nádržích, takže finálně byly základem pro zpracování řady tzv. přirozených (neovlivněných) průtoků pro 118 vodoměrných stanic (Vlnas et al., 2010).

Pro hodnocení hydrologického sucha na uvedených stanicích byla zvolena metoda prahové hodnoty (viz kap. 3.2.1.1.2). Jako prahová hodnota byl použit fixní roční průtok  $Q_{95}$  (průtok s 95% pravděpodobností zabezpečení; v termínech M-denních vod odpovídá přibližně  $Q_{355}$ ). Prahové hodnoty byly počítány z období 1961–2005, kdy měřily všechny analyzované stanice. Základem pro hodnocení hydrologického sucha pak byl výpočet nedostatkových objemů vody<sup>33</sup> (viz kap. 3.2.1.1.2).

Maximální nedostatkové objemy vody a jejich trvání na území České republiky v období 1931–2007 ukazují obrázky 66 a 67. Průměrný nedostatkový objem a jeho trvání ze všech stanic je uvedeno na obrázku 68. Časoprostorový vývoj sucha v síti vodoměrných stanic podle kategorií dosažených nedostatkových objemů pak vyjadřuje obrázek 69. Maximální nedostatkové objemy i jejich trvání se vyskytly především v následujících letech (v pořadí odpovídajícím přibližně jejich velikosti): 1947 a 1953–1954, 1992 a 2003, 1950. K nim lze dále již v chronologickém pořadí doplnit další sucha v letech 1933, 1934, 1951, 1952, 1963, 1983, 1990, 2004, 2007 a v rocích jim blízkých. Zřetelná je tendence k opakování suchých epizod ve zhruba desetiletých cyklech s vrcholem přibližně ve třetím roce každého desetiletí, ovšem jejich intenzita silně kolísá.

<sup>33</sup> V celé této kapitole 4.1.4.1.2 jsou uváděny standardizované nedostatkové objemy.



**Obr. 66.** Geografické rozložení maximálních nedostatkových objemů vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{95}$  pro přirozené měsíční průtoky 118 vodoměrných stanic na území České republiky v období 1931–2007 (podle Vlnase et al., 2010)  
**Figure 66.** Geographical distribution of maximum deficiency volumes with respect to threshold  $Q_{95}$  for natural monthly discharges at 118 hydrological stations situated in the current territory of the Czech Republic in the 1931–2007 period (after Vlnas et al., 2010)

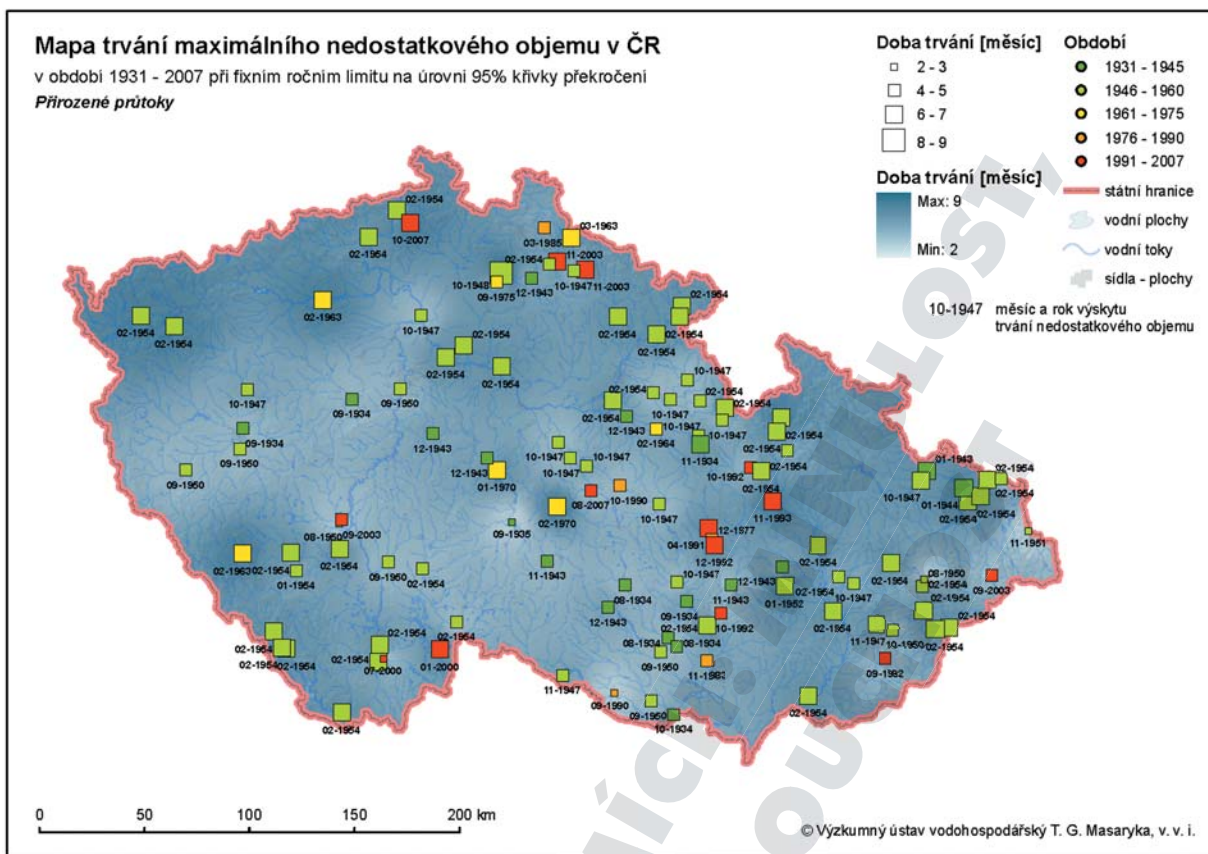
Největší hydrologická sucha pod prahovým průtokem  $Q_{95}$  se vyskytují do hodnoty nedostatkových objemů kolem hodnoty 3 s maximálním trváním do sedmi měsíců; vyšší hodnoty lze považovat za důsledek nepřesnosti dat. Maximální standardizované nedostatkové objemy i jejich trvání při variabilním měsíčním prahovém průtoku na úrovni  $Q_{95m}$  se vyskytují ve stejných letech jako při fixním limitu  $Q_{95}$ . Dochází ale ke změně velikosti jednotlivých epizod, zvyrazňují se sucha v letech 1963 a 1973, a naopak se zmírňují sucha roků 1992 a 2003. To je dáno výskytem sucha v průběhu roku. Při variabilním prahovém průtoku dochází ke zmenšení nedostatkových objemů z hlediska ročního chodu odtoku v málovodných obdobích (sucha v měsících červenec–říjen) a naopak k jejich zvětšení ve vodnějších obdobích (zejména sucha začínající nebo vrcholící na jaře).

Extrémní hydrologická sucha jako v letech 1947 a 1953/1954 nebyla v minulosti výjimkou. To dokládá analýza řady měsíčních průtoků řeky Labe v Dě-

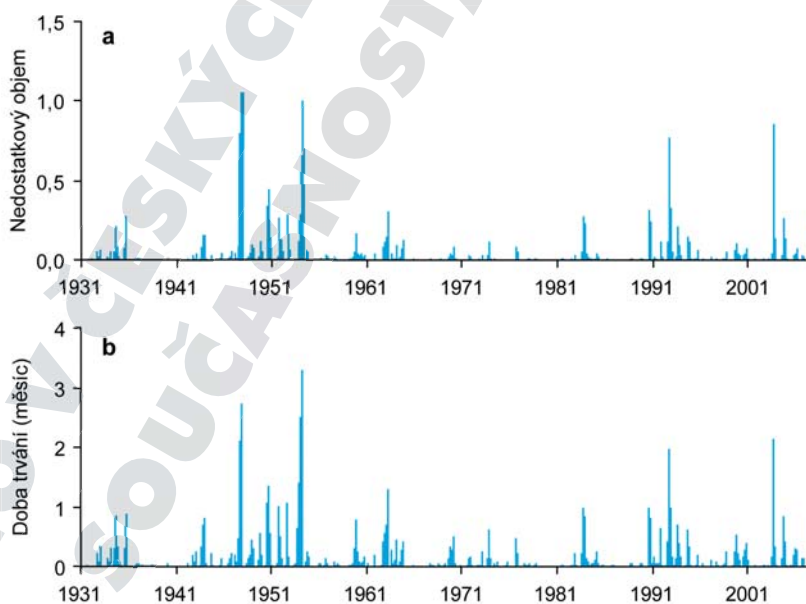
číně, rozdělené na dvě období 1851–1960 a 1961–2008 s ohledem na skutečnost, že po roce 1960 byla kompletně dokončena Vltavská kaskáda,<sup>34</sup> která má zásadní vliv na režim odtoku zadržováním velkých průtoků a nadlepšováním minim. V těchto dvou obdobích byly prahové hodnoty průtoků a příslušné nedostatkové objemy řešeny samostatně. Velkým suchům v letech 1947 a 1953–1954 předcházely porovnatelné suché epizody v letech 1874, 1904 a 1911, trvající postupně tři, pět a tři měsíce a vrcholící v říjnu–prosinci, nebo sucho s trváním čtyř měsíců, kulminující v březnu roku 1865. Sucha s nedostatkovými objemy velikosti 3,0–3,2 se tedy v minulosti vyskytovala v průběhu několika desetiletí (obr. 70).

<sup>34</sup> Vodní díla na řece Vltavě byla uvedena do provozu v následujících letech: Vrané — 1936, Štěchovice — 1945, Slapy — 1957, Lipno — 1960, Orlická a Kamýk — 1963 (Broža et al., 2005).

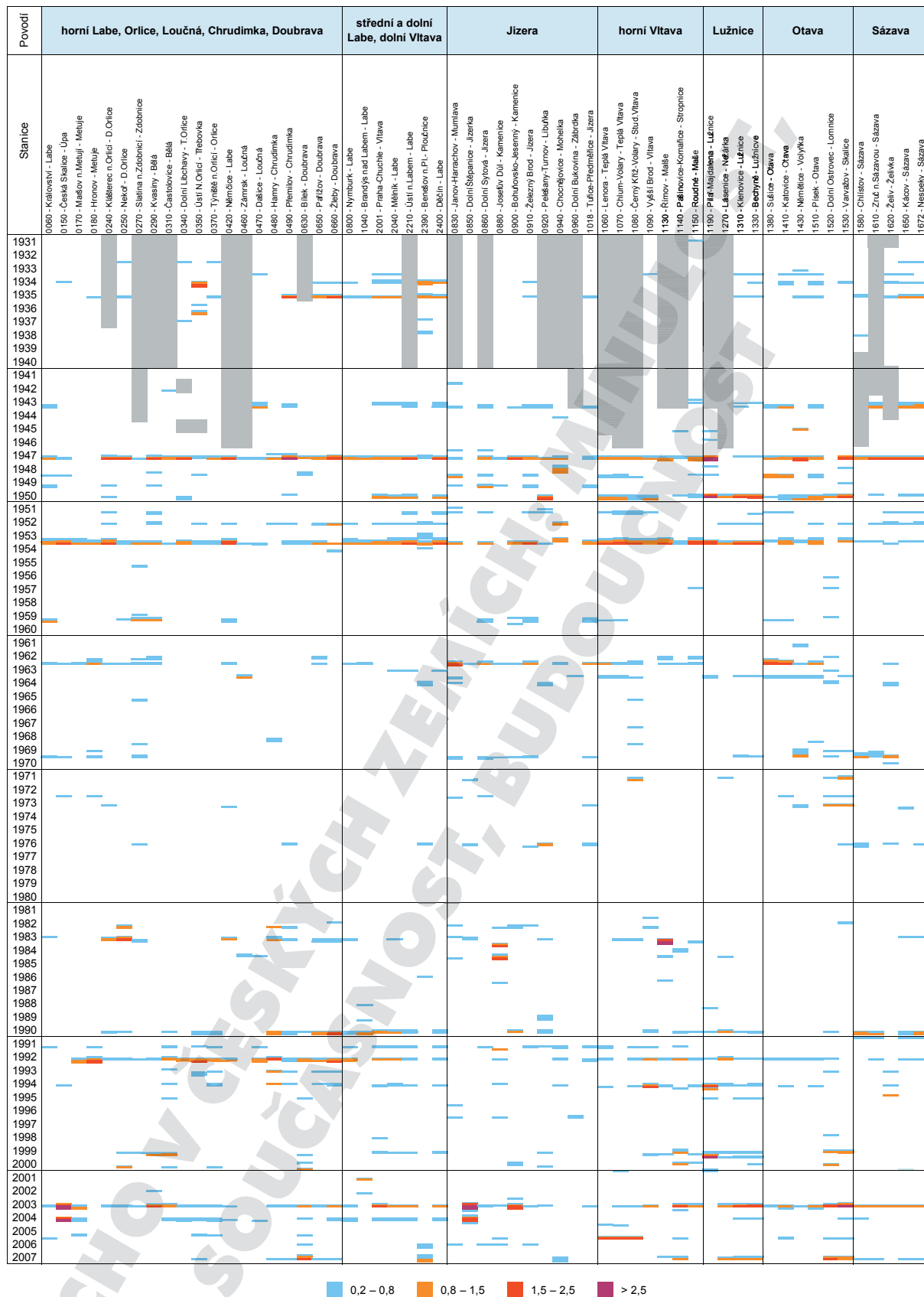




**Obr. 67.** Geografické rozložení trvání maximálních nedostatkových objemů vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{95}$  pro přirozené měsíční průtoky 118 vodoměrných stanic na území České republiky v období 1931–2007 (podle Vlnase et al., 2010)  
**Figure 67.** Geographical distribution of duration of maximum deficiency volume with respect to threshold  $Q_{95}$  for natural monthly discharges at 118 hydrological stations situated in the current territory of the Czech Republic in the 1931–2007 period (after Vlnas et al., 2010)

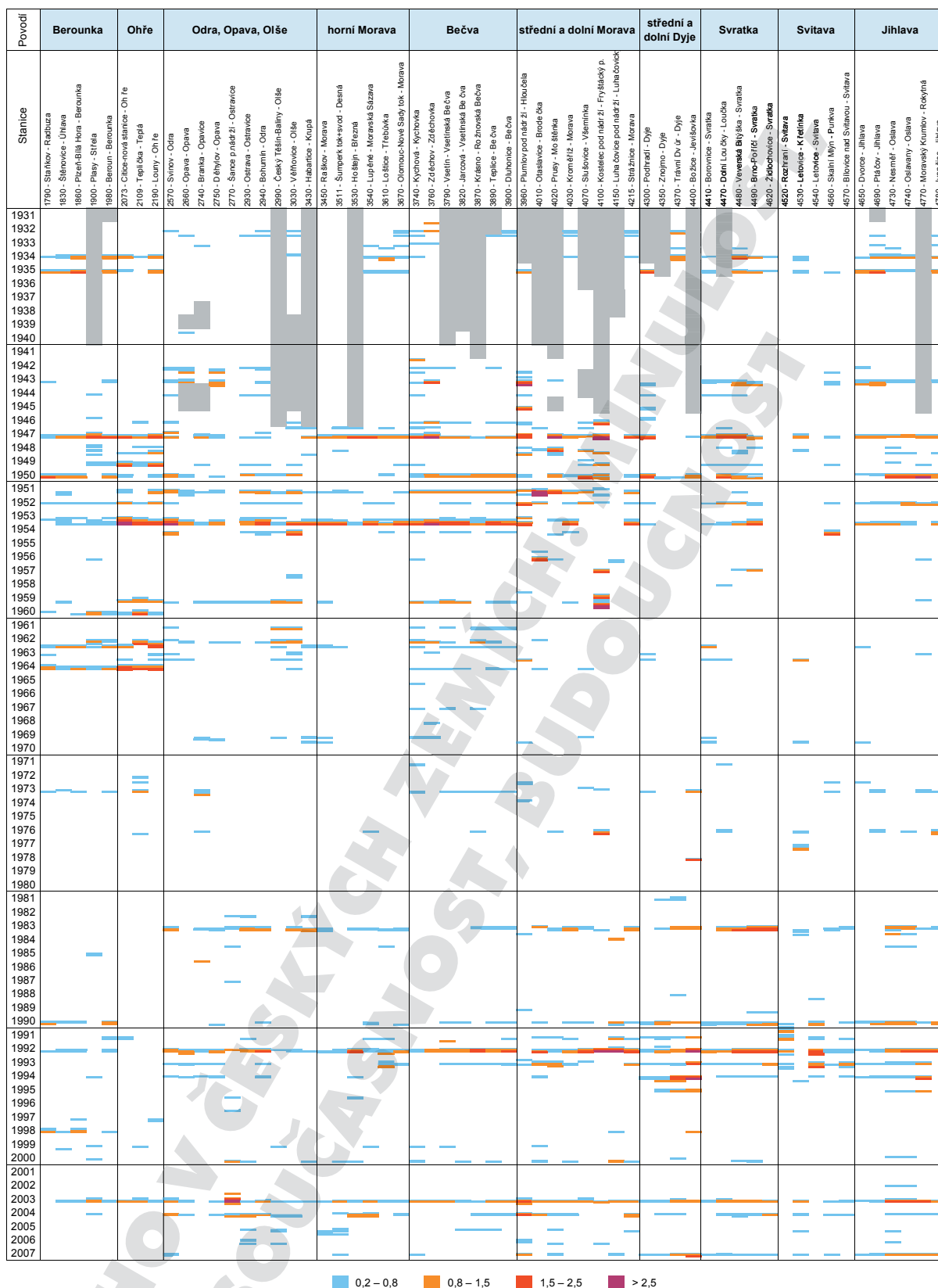


**Obr. 68.** Kolísání průměrného nedostatkového objemu vzhledem k  $Q_{95}$  (a) a jeho trvání (b) pro 118 vodoměrných stanic na území České republiky v období 1931–2007 (podle Vlnase et al., 2010)  
**Figure 68.** Fluctuations in (a) mean deficiency volume with respect to  $Q_{95}$  and (b) its duration (months) for 118 hydrological stations situated in the territory of the current Czech Republic in the 1931–2007 period (after Vlnas et al., 2010)



**Obr. 69.** Časoprostorová variabilita hydrologického sucha na 118 vodoměrných stanicích v České republice v období 1931–2007 podle kategorií dosažených nedostatkových objemů vzhledem ke  $Q_{95}$  (podle Vlnase et al., 2010). Šedé sloupce představují období bez pozorování

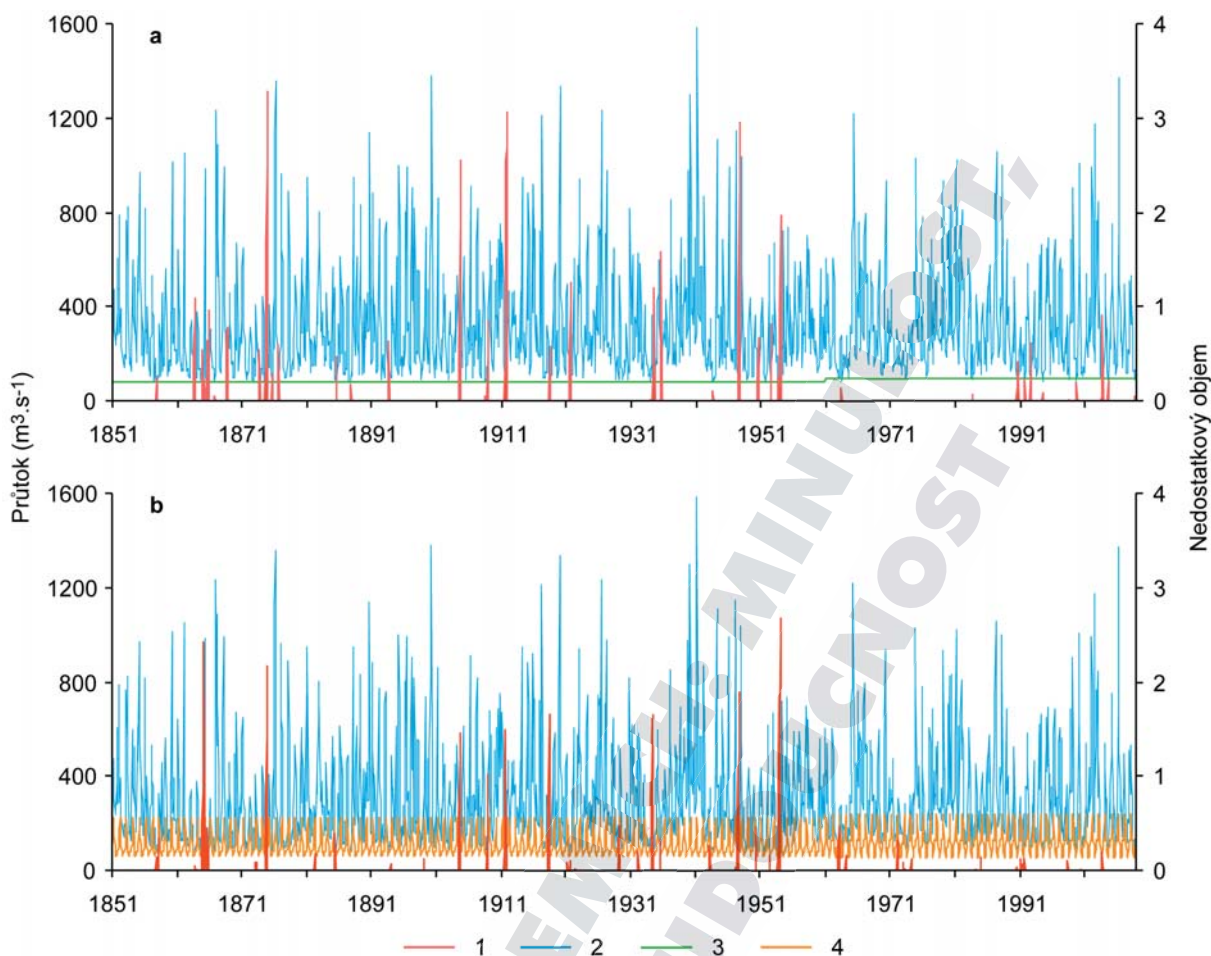
**Figure 69.** Spatio-temporal variability of hydrological drought at 118 hydrological stations situated in the territory of the current Czech Republic during the 1931–2007 period, in terms of categories of deficiency volume with respect to  $Q_{95}$  (after Vlnase et al., 2010). Grey columns indicate periods without observation



0.2 – 0.8    0.8 – 1.5    1.5 – 2.5    > 2.5

Obr. 69 – pokračování  
Figure 69 – continued





**Obr. 70.** Nedostatkové objemy (1) v řadě přirozených průtoků (2) řeky Labe v Děčíně v období 1851–2008 (a) s fixním ročním prahem  $Q_{95}$  (3) a (b) s variabilním měsíčním prahem  $Q_{95m}$  (4) (podle Vlnase et al., 2010)

**Figure 70.** Deficiency volumes (1) in series of natural discharges (2) on the River Elbe at Děčín in the 1851–2008 period: (a) at fixed annual threshold  $Q_{95}$  (3) and (b) variable monthly threshold  $Q_{95m}$  (4) (after Vlnas et al., 2010)

Nedostatkové objemy obecně málo korelují s fyzickogeografickými charakteristikami povodí. Zvyšují se s rostoucí nepropustností půdy i povrchu (například městská zástavba) a se zvyšujícím se číslem CN křivky.<sup>35</sup> Naopak s rostoucí nadmořskou výškou se objemy spíše zmenšují. Povodí s podložím tvořeným jílovci vykazují signifikantně vyšší hodnoty nedostatkových objemů oproti povodím s jinou litologickou stavbou.

Pro posouzení existence lineárního trendu v pokud možno přirozeném říčním režimu bylo z celkového souboru 118 vodoměrných stanic využito 67 stanic, které nejsou výrazně antropogenně ovlivněné a mají všechna měření v letech 1947–2007 (Vlnas et al., 2010). Trendy nedostatkových objemů

a jejich trvání byly testovány Mann-Kendallovým testem (Khaliq et al., 2008). V uvedeném období se vyskytly pouze trendy klesající (tj. snižování nedostatkových objemů, a tedy zmenšování hydrologického sucha) nebo statisticky nevýznamné. Celkem 44 % stanic vykázalo statisticky významný poklesový trend na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  a dalších 17 % stanic na hladině  $\alpha = 0,10$ . Ostatní vodoměrné stanice jsou bez statisticky významného trendu. Stanice s klesajícím trendem jsou soustředěny v povodí Otavy, středního a dolního Labe, Jizery, střední a dolní Moravy a Bečvy. Také v trendech jednotlivých měsíců převažuje klesající tendence, která je zvláště výrazná v chladné části roku. V létě převažují nevýrazné a staticky nevýznamné trendy.

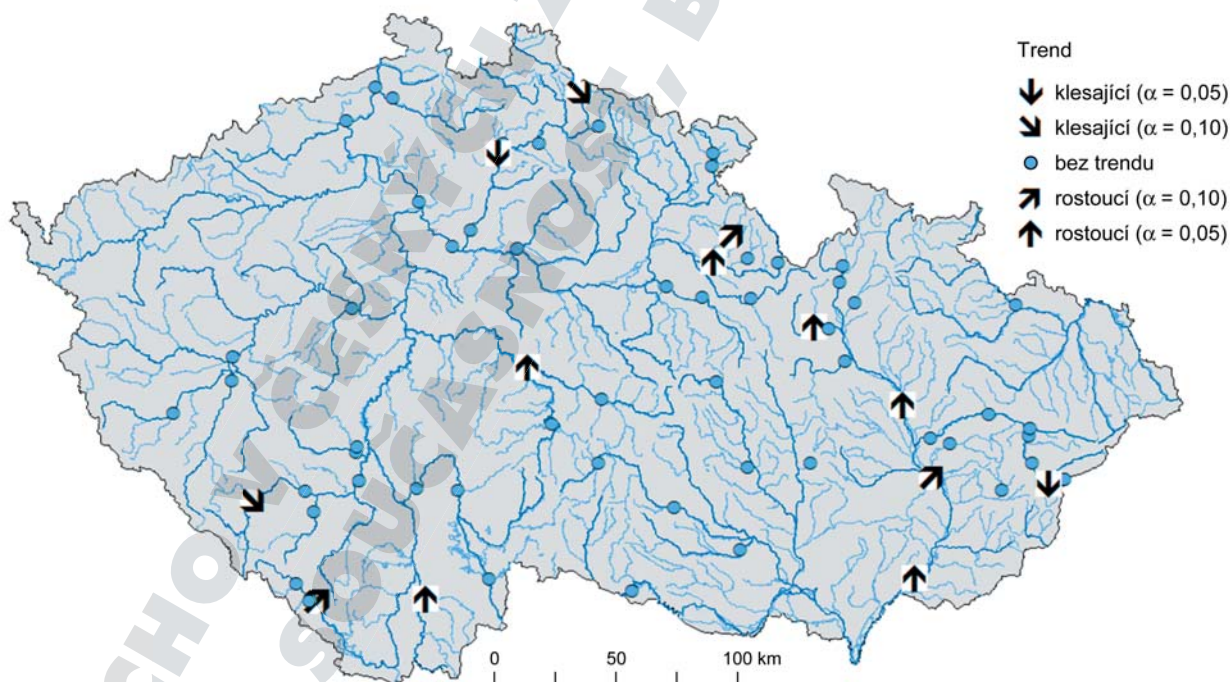
Výsledky jsou do značné míry dány výběrem studovaného období. Konec čtyřicátých a začátek padesátých let 20. století byl ve znamení velkého hydrologického sucha. Pokud jde o trendy počítané až

<sup>35</sup> CN křivka reprezentuje půdní poměry povodí, využití území a předchozí vláhové podmínky. Číslo CN je přímo úměrné velikosti povrchového odtoku.

pro období začínající rokem 1961, nedochází u 80 % stanic k žádnému signifikantnímu posunu (obr. 71). Statisticky významně se snižují nedostatkové objemy (a dochází tedy ke zmírňování projevu sucha) pouze u 4 % stanic. Naopak přibývá stanic s rostoucími nedostatkovými objemy, kterých je 15 %. U trendů jednotlivých měsíců počet stanic s rostoucími lineárními trendy převyšuje počet stanic s poklesovými trendy od dubna do listopadu a naopak. Od roku 1961 tedy dochází u malé části stanic k pozvolnému slabému prohlubování hydrologického sucha v teplejší části roku a naopak k jeho pozvolnému slabému zmírňování v chladnější části roku. U většiny z 67 analyzovaných vodoměrných stanic nebyly zaznamenány žádné signifikantní změny odtoku z hlediska výskytu hydrologického sucha. Tyto tendence nejsou v protikladu s trendy, které očekáváme v podmínkách budoucí změny klimatu (kap. 7.6), tedy zmenšování odtoku v létě v reakci na zvyšování teploty vzduchu a následně zvýšenou evapotranspiraci, a jeho zvětšování během očekávaných teplejších zim, kdy bude větší část srážek vypadávat v podobě deště a hned odtékat.

Existence trendů byla zjišťována také u dalších typů bilančních veličin z výkazů Hydrologické bilance, kterou podle zákona č. 254/2001 Sb. o vo-

dách každoročně zpracovává ČHMÚ (2015a). Jedná se o měsíční srážkové úhrny, zásobu vody ve sněhu, teplotu a relativní vlhkost vzduchu, potenciální a aktuální evapotranspiraci, měřené a přirozené průtoky pro 74 bilančních povodí. Vzhledem k návaznosti na přirozené průtoky, jejichž evidence je vedena od roku 1979, zahrnují všechny uvedené veličiny období 1980–2013. Další skupinu dat reprezentují řady pozorovaných průtoků a základního odtoku pro 161 vodoměrných stanic v denním časovém kroku v období 1971–2011. Pro odstranění vlivu extrémně nízkých hodnot při zpracování minim byly řady před měsíční a roční agregací shlazeny pomocí sedmidenních klouzavých průměrů. Poslední skupinu údajů představují údaje o sledování podzemních vod. Jedná se o vydatnosti pramenů a stavy hladin podzemní vody v mělkých vrtech hlásné sítě ČHMÚ (2015b) převážně z let 1971–2011, a to většinou v týdenním a v případě vrtů v posledních letech i v denním kroku. Existence trendu byla zjišťována pro řady průměrných a minimálních hodnot, přičemž trend studovaných veličin byl vyjádřen jako změna směrodatné odchylky. I když se jedná o relativně krátké řady, jejich předností je, že zahrnují údaje popisující celý hydrologický cyklus. Jejich statistická významnost byla testována na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ ,



**Obr. 71.** Lineární trendy maximálních ročních nedostatkových objemů vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{9,5m}$  v řadách přirozených průtoků 67 stanic na území České republiky v období 1961–2007 (podle Vlnase et al., 2010)

**Figure 71.** Linear trends in maximum annual deficiency volumes with respect to threshold discharge  $Q_{9,5m}$  in series of natural discharges at 67 stations situated in the territory of the current Czech Republic in the 1961–2007 period (after Vlnase et al., 2010)

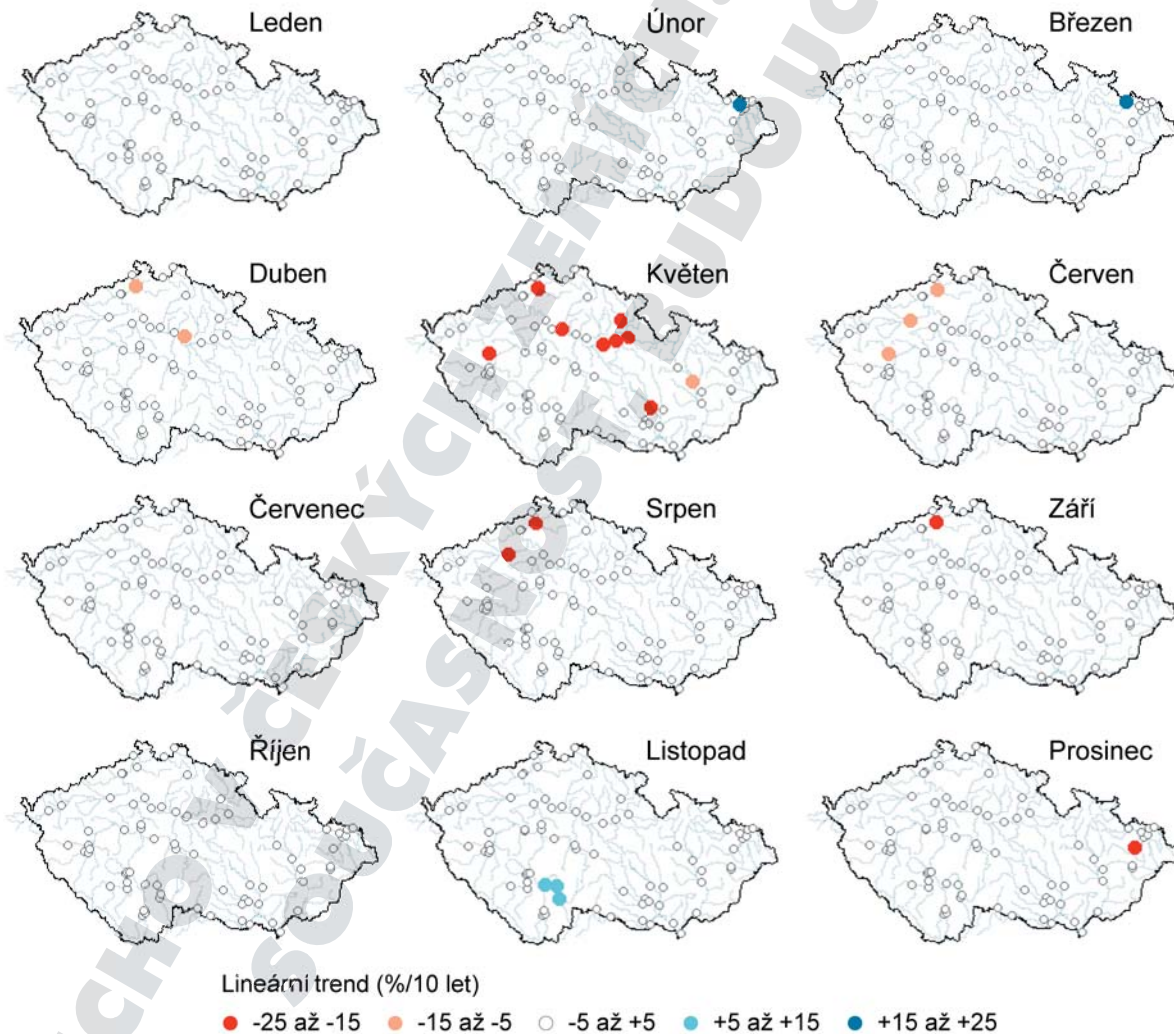


přičemž do hodnocení byly zahrnuty pouze statisticky významné trendy, vyjádřené průměrnou změnou dané veličiny v přepočtu na 10 let.

V ročních řadách hodnocených bilančních veličin byl v mnoha povodích zjištěn především nárůst teplot až o 0,5 °C, v jihozápadních Čechách místy nárůst srážek až o 10 %, podobně jako nárůst evapotranspirace, především v Čechách. Mění se také roční chod bilančních veličin. Byl zaznamenán pokles srážek v dubnu na severu Čech asi o 15 % a jejich nárůst zejména na západě Čech v červnu asi o 10 %, pokles zásob vody ve sněhu na severovýchodní Moravě v prosinci (20 %), růst teplot vzduchu v dubnu, červnu a v listopadu v celé České republice, v červenci a srpnu především na Moravě (kolem 0,5 °C), růst relativní vlhkosti vzduchu v zimě a pokles v dubnu (2 %). V souvislosti s tím roste také potenciální

evapotranspirace v dubnu, červnu, červenci a listopadu. U průtoků se plošná tendence ke změně příliš neprojevuje, snad kromě poklesu v květnu, a to především v severovýchodních Čechách (obr. 72).

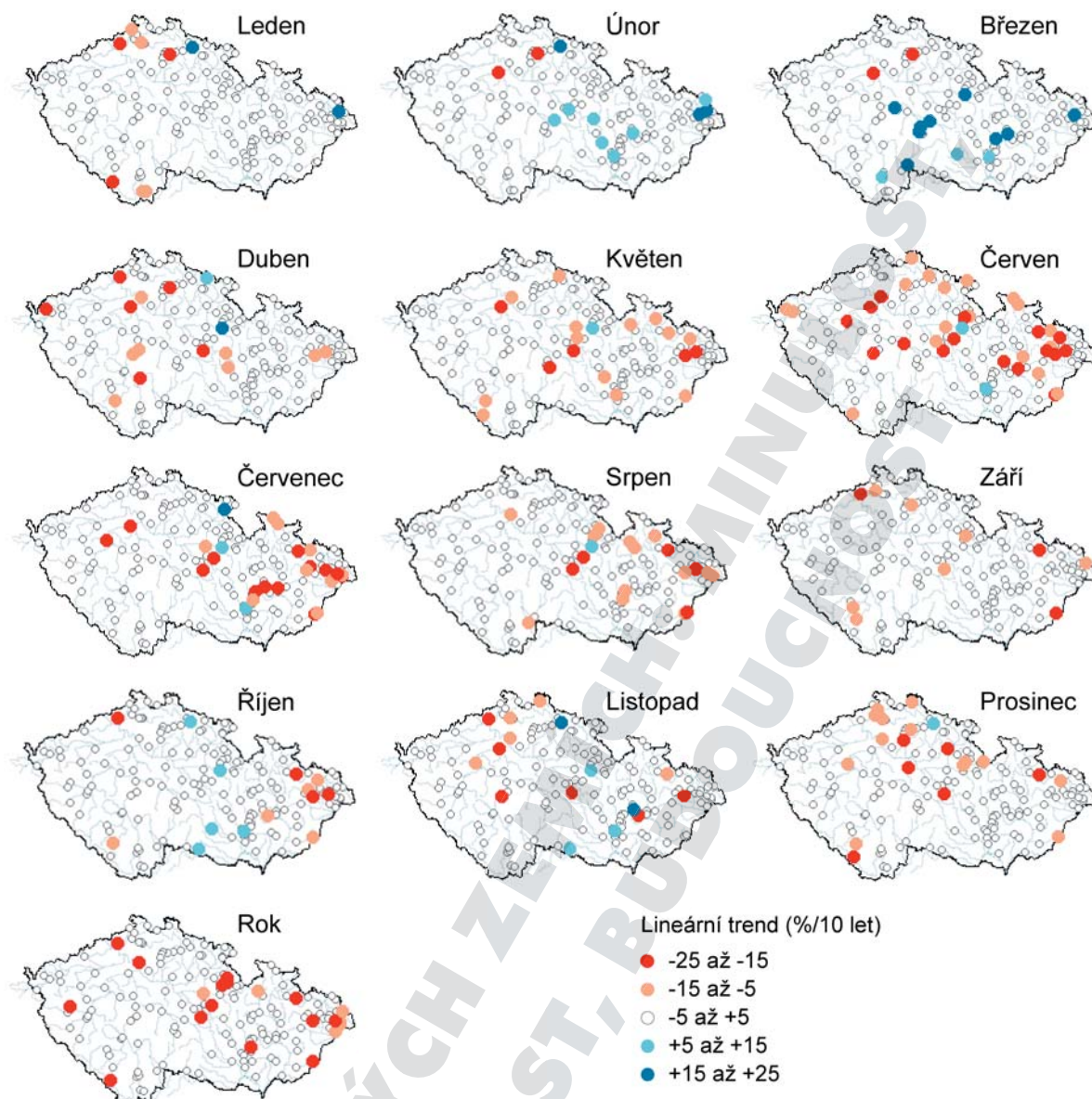
V ročních agregacích denních průtoků byl u mnoha ze 161 vodoměrných stanic, převážně v severovýchodní části České republiky, zjištěn pokles minim až o 20 % (obr. 73). Poklesy se projevují v podstatě od dubna do prosince, zatímco v únoru a březnu lze pozorovat i nárůst minim (Morava). U základního odtoku byl zjištěn převážně pokles minim v průběhu celého roku (až 20 %), ale vyskytují se i nárůsty, které jsou však kompenzovány poklesy v jiných částech roku. Průměrné roční hodnoty denních průtoků se nemění, i když u základního odtoku lze lokálně nalézt tendenci k poklesu. Průměrné měsíční hodnoty denních průtoků klesají lokálně



**Obr. 72.** Lineární trendy (%/10 let) řad průměrných měsíčních přirozených průtoků v 74 bilančních povodích v České republice v období 1980–2013 (podle Vlnase, 2015)

**Figure 72.** Linear trends (%/10 years) in series of mean monthly natural discharges from 74 balance catchments in the territory of the current Czech Republic during the 1980–2013 period (after Vlnas, 2015)





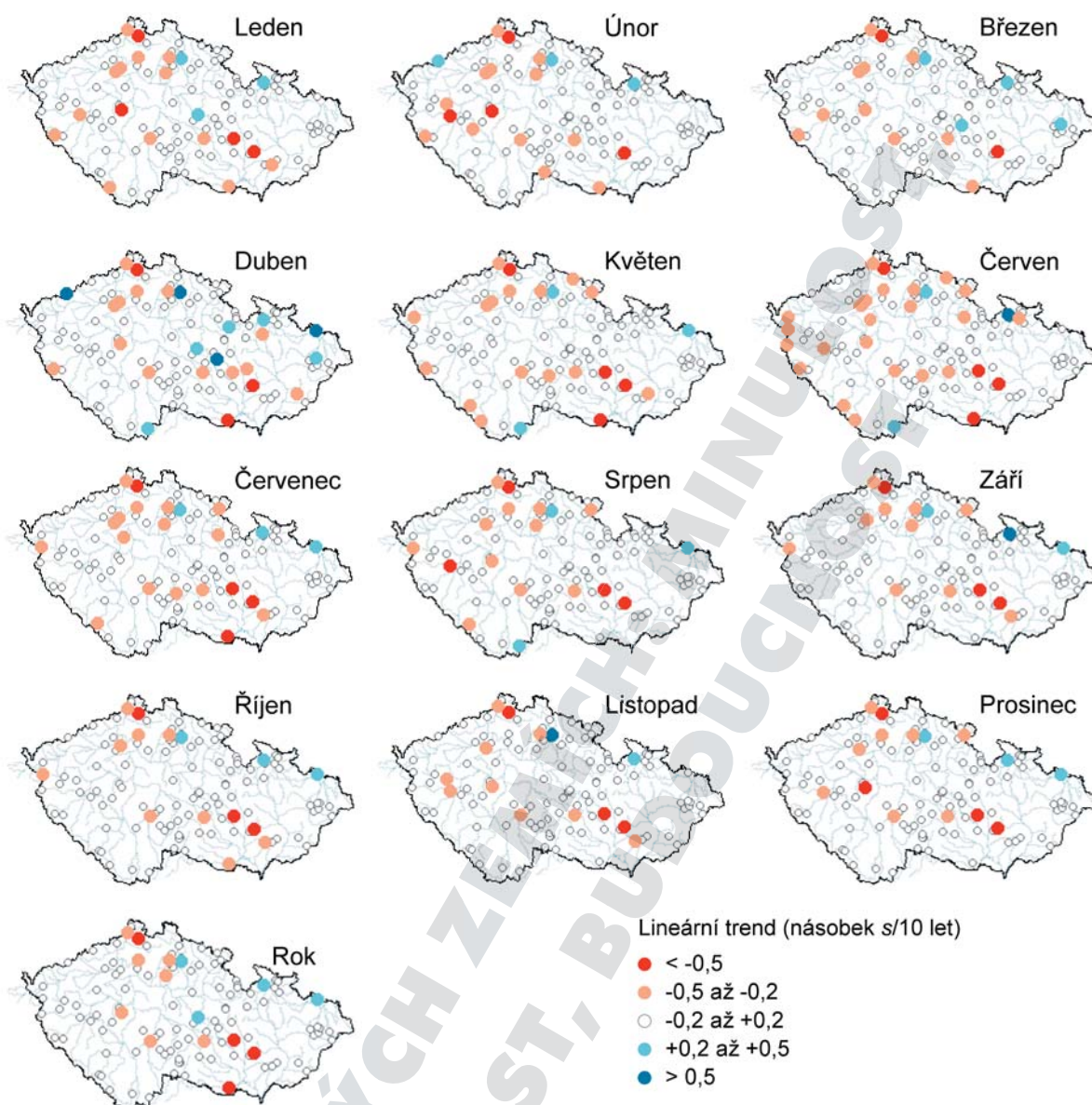
**Obr. 73.** Lineární trendy (%/10 let) v řadách měsíčních a ročních agregací sedmidenních klouzavých minim měřených denních průtoků pro 161 vodoměrných stanic na území České republiky v období 1971–2011 (podle Vlnase, 2015)

**Figure 73.** Linear trends (%/10 years) in mean monthly and mean annual series of 7-day running minimum discharges for 161 hydrological stations situated in the territory of the current Czech Republic in the 1971–2011 period (after Vlnas, 2015)

od dubna do června a dále v prosinci. Naopak v březnu dochází k jejich růstu (až o 20 %). U základního odtoku je zřetelnější tendence k poklesu v mnoha měsících u části stanic (až o 15 %), přičemž méně často se vyskytují i mírnější vzestupy v některých měsících, které jsou však opět kompenzovány poklesy v jiných částech roku.

Podobně často byl zjištěn pokles ročních vydatností pramenů a hladin podzemní vody u řady objektů převážně o velikosti do 0,5-násobku směrodatné odchylky  $s$ , a to jak v průměrných hodnotách,

tak i v minimech (obr. 74 a 75). Lokálně u části objektů došlo k nárůstu vydatností i hladin (až o 0,5 $s$ ). Během všech měsíců roku byl u vydatností celé řady pramenů zjištěn pokles (převážně do 0,5 $s$ ), místy ale i nárůst, a to především v březnu a dubnu. U minimálních vydatností pramenů zřetelně převažují poklesy nad nárůsty. Trend hladin podzemní vody v mělkých vrtech je podobný trendu vydatností pramenů, ale poklesů je méně a vzestupů hladin více, především v jarním období. Nicméně i v tomto případě celkově převažují poklesy.



**Obr. 74.** Lineární trendy (násobek směrodatné odchylky  $s/10$  let) minimálních měsíčních a ročních minim vydatností 119 pramenů na území České republiky v období 1971–2011 (podle Vlnase, 2015)

**Figure 74.** Linear trends (multiples of standard deviation  $s/10$  years) recorded as monthly and annual minima for 119 springs situated in the territory of the current Czech Republic in the 1971–2011 period (after Vlnas, 2015)

#### 4.1.4.2 Kolísání hydrologického sucha podle řad denních průtoků

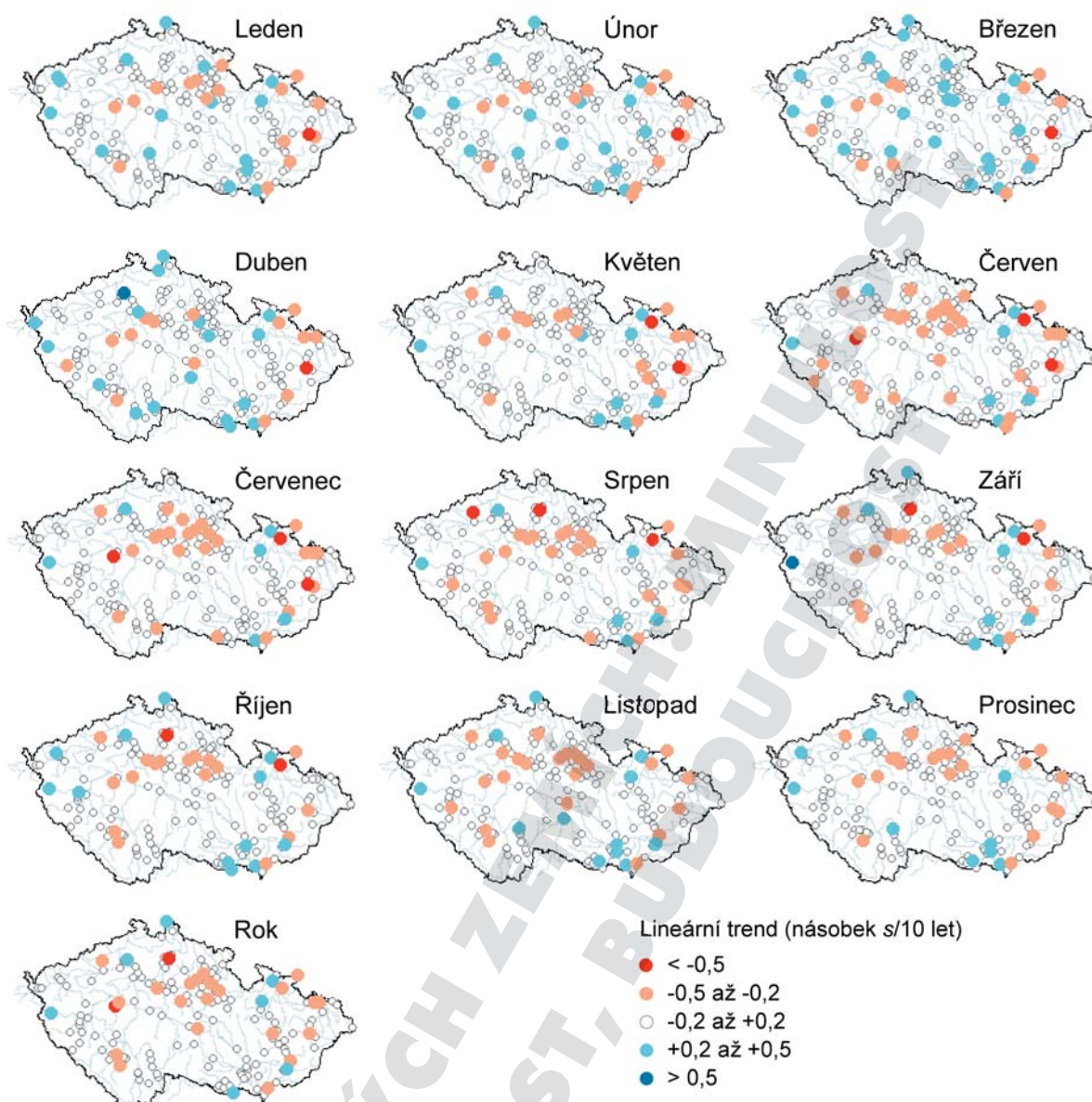
Analýza kolísání hydrologického sucha v této kapitole se opírá o řady denních průtoků vodoměrných stanic Děčín — Labe (období 1888–2010), Brandýs nad Labem — Labe (1911–2005), Železný Brod — Jizera (1912–2009), Bechyně — Lužnice (1911–2009), Olomouc — Morava (1921–2009), Bohumín — Odra (1920–2010) a Brno — Svratka (1923–2009). Pro všechny profily je uvedeno tabelární hodnocení hydrologického sucha (tab. 4–6). Grafické porovnání jednotlivých období sucha je prezentováno pro stanice Děčín (obr. 76) a Olomouc (obr. 77–78).

Pro jednotlivé stanice byla dále stanovena období souvislého sucha, jejichž všechny dny vykazují průtoky nižší nebo rovné  $Q_{330}$  a období hlavního sucha, která zahrnují i dny, v nichž průtok na krátkou dobu a nepatrně překročil zvolenou hranici prahové hodnoty  $Q_{330}$ . Hlavní období sucha tak může integrovat i několik samostatných období souvislého sucha.

Jako další charakteristika hydrologického sucha je použit nedostatkový objem (viz kap. 3.2.1.1.2). Nedostatkový objem  $NO$  v  $m^3$  je zde počítán ze vztahu:

$$NO = \sum_{i=1}^t (LQ - Q_i) \cdot 24 \cdot 3600, \quad (19)$$





**Obr. 75.** Lineární trendy (násobek směrodatné odchylky  $s/10$  let) měsíčních a ročních minim stavů hladin podzemní vody ve 185 mělkých vrtech na území České republiky v období 1971–2011 (podle Vlnase, 2015)

**Figure 75.** Linear trends (multiples of standard deviation  $s/10$  years) in monthly and annual minima of underground water levels for 185 shallow monitoring wells situated in the current territory of the Czech Republic in the 1971–2011 period (after Vlnas, 2015)

kde  $LQ$  je velikost prahového průtoku  $Q_{330}$  v  $m^3 \cdot s^{-1}$ ,  $Q_i$  je průtok v  $m^3 \cdot s^{-1}$   $i$ -tého dne období s průtokem nižším než  $Q_{330}$  a  $t$  je počet dnů s průtokem nižším než  $Q_{330}$ . Vedle toho se ještě počítala hodnota standardizovaného objemu  $NO_{st}$  v % podle vzorce:

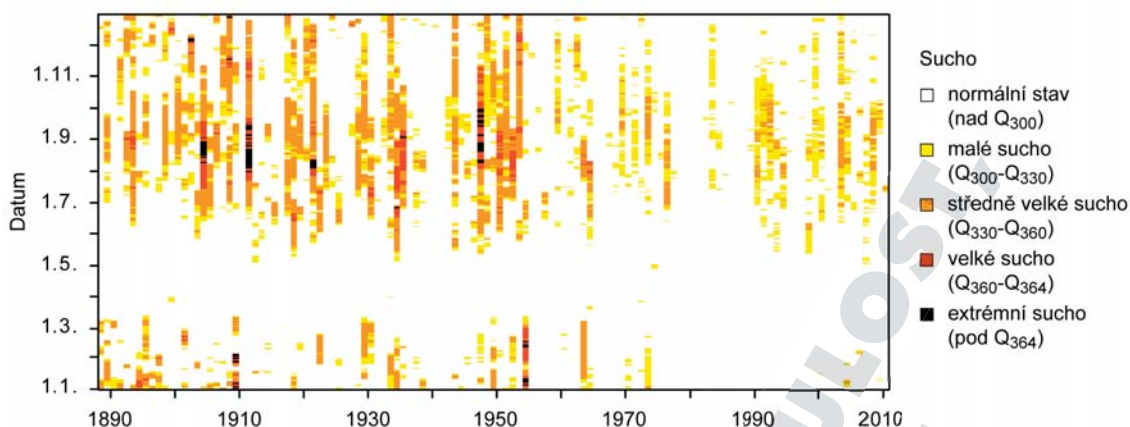
$$NO_{st} = \frac{NO}{LQ \cdot t \cdot 24 \cdot 3600} \cdot 100. \quad (20)$$

K vyjádření intenzity hydrologického sucha je ještě brán násobek množství chybějící vody oproti průměrnému ročnímu nedostatku vody vztaženému

k prahovému průtoku  $Q_{330}$ . Jeho hodnota se získá z poměru velikosti nedostatkového objemu za všechny dny v roce s průtokem menším než  $Q_{330}$  a hodnoty průměrného nedostatkového objemu za 35 dnů v roce vzhledem k  $Q_{330}$ .

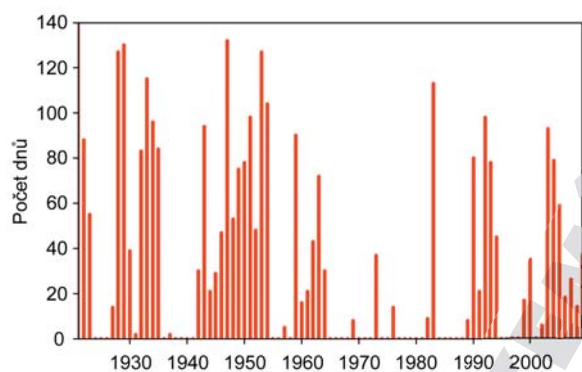
Z obrázků 76–78 a tabulek 4–6 plyne konkrétní porovnání extremity jednotlivých let hydrologického sucha v českých zemích podle jejich délky, objemu chybějící vody i jejich výjimečnosti. Nejvýznamnější hydrologická sucha po roce 1888 panovala v letech 1904, 1911, 1921, 1947 a 1953 (léta 1947–1953 byla obecně velmi suchá). Při celoplošném porovnání





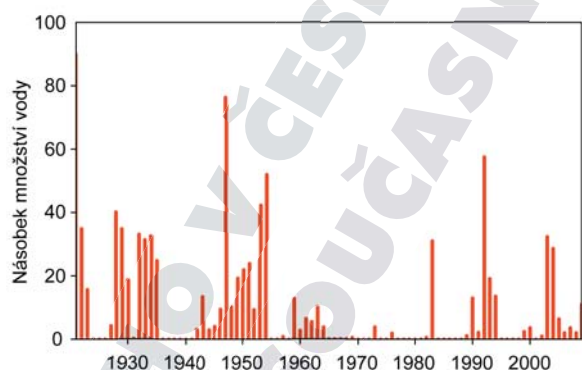
**Obr. 76.** Chronologie hydrologického sucha na řece Labi v Děčíně v období 1888–2010, vymezeného se zřetelem na různé prahové hodnoty denních průtoků

**Figure 76.** Chronology of hydrological drought on the River Elbe at the Děčín station in the 1888–2010 period, arranged with respect to various thresholds of daily discharge



**Obr. 77.** Počet dnů s denním průtokem nižším než  $Q_{330}$  v jednotlivých letech období 1921–2009 na vodoměrné stanici Olomouc na řece Moravě

**Figure 77.** Number of days with daily discharge lower than  $Q_{330}$  in the individual years of the 1921–2009 period at the Olomouc hydrological station on the River Morava



**Obr. 78.** Násobky množství chybějící vody oproti běžnému roku vůči prahovému průtoku  $Q_{330}$  na vodoměrné stanici Olomouc na řece Moravě v období 1921–2009

**Figure 78.** Multiples of deficiency in water volume compared to a normal year with respect to threshold discharge  $Q_{330}$  at the Olomouc station on the River Morava in the 1921–2009 period

délky hlavního období sucha a množství chybějící vody se pak jako nejextrémnější jeví sucho z roku 1947, přičemž ostatní sucha byla menší (k vybraným případům hydrologického sucha od roku 1904 viz také kap. 4.1.5.9–4.1.5.19). Protože od padesátých let 20. století postupně docházelo k výstavbě přehradních nádrží (Broža et al., 2005), díky nimž je možné průtoky větších vodních toků nadlepšovat, je i extremita novodobých suchých epizod na větších tocích podstatně menší než v první polovině 20. století. Významnější hydrologická sucha po roce 1953 tak byla zaznamenána jen v letech 1983, 1992 a v roce 2003. V období 1965–1989 se kromě let 1973 a 1983 žádná velká hydrologická sucha nevyskytla.

Hydrologické sucho má typický roční chod (obr. 79), kdy největší sucho připadá zpravidla na měsíc září (období s nedostatkem srážek a stále ještě vysokým výparem a malou zásobou podzemních vod). V jarních měsících se naopak hydrologické sucho nevyskytuje, což je dáno zvýšeným průtokem v důsledku tání sněhu a možností nadlepšení průtoků pomocí zásob podzemních vod. V jednotlivých dílčích povodích však toto pravidlo díky antropogenním zásahům nemusí platit; jde například o přerušení podzimního hydrologického sucha v důsledku vypouštění rybníků (obr. 79) nebo o prohloubení suchých period v důsledku čerpání vody pro závlahy (podrobněji viz Treml, 2010). Většina epizod velkého hydrologického sucha nastává v létě a na podzim. Zvláštním případem jsou sucha, kdy přecházejí z podzimních v zimní. Od roku 1900 do současnosti byly s významným nedostatkem vody zaznamenány pouze tři takové případy, a to v letech 1908–1909, 1953–1954 a 2013–2014 (podrobněji viz Treml, 2014).

**Tab. 4.** Deset souvislých nejsušších období podle jejich délky a podle množství chybějící vody vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{330}$  na vybraných vodoměrných stanicích v českých zemích (standardizovaný nedostatkový objem udává, jaké množství vody v % chybělo vzhledem k prahovému průtoku  $Q_{330}$ : 0 – žádný objem, 100 – všechna voda)

**Table 4.** Ten of the driest continuous spells in terms of duration and volume of deficiency with respect to threshold discharge  $Q_{330}$  at selected hydrological stations in the Czech Lands (standardized deficiency volume is the amount of water lacking with respect to threshold discharge  $Q_{330}$ , expressed as a percentage: 0 – no volume, 100 – all water)

Sucho podle délky trvání			Sucho podle množství chybějící vody			
Pořadí	Trvání	Délka (dny)	Pořadí	Trvání	Nedostatkový objem (m <sup>3</sup> )	Standardizovaný nedostatkový objem (%)
Děčín – Labe (1888–2010)						
1	18.6.–14.10.1904	119	1	18.7.–11.11.1947	516 473 280	48
2	18.7.–11.11.1947	117	2	18.6.–14.10.1904	455 500 800	41
3	28.6.–6.10.1911	101	3	28.6.–6.10.1911	421 977 600	45
4	10.7.–4.10.1935	87	4	10.7.–4.10.1935	320 544 000	40
6	19.8.–30.10.1921	73	5	19.8.–30.10.1921	224 899 200	33
5	6.8.–17.10.1893	73	6	20.7.–22.9.1950	221 624 640	37
7	13.10.–18.12.1953	67	7	6.8.–17.10.1893	217 814 400	32
8	20.7.–22.9.1950	65	8	20.7.–3.9.1952	194 365 440	46
9	17.8.–16.10.1900	61	9	25.1.–4.3.1954	171 573 120	48
10	14.8.–11.10.1953	59	10	13.10.–18.12.1953	163 045 440	26
Brandýs nad Labem – Labe (1911–2005)						
1	7.7.–29.10.1921	115	1	7.7.–29.10.1921	137 566 080	45
2	29.7.–10.11.1947	105	2	29.7.–10.11.1947	112 207 680	40
3	8.7.–3.10.1911	88	3	8.7.–3.10.1911	74 718 720	32
4	22.12.1962–7.3.1963	76	4	22.12.1962–7.3.1963	56 928 960	28
5	13.8.–21.10.1973	70	5	12.7.–9.9.1935	49 489 920	31
6	12.7.–9.9.1935	60	6	24.1.–5.3.1954	47 606 400	44
7	25.11.1953–21.1.1954	58	7	26.8.–19.10.1992	44 392 320	30
8	26.8.–19.10.1992	55	8	25.11.1953–21.1.1954	41 990 400	27
9	8.10.–23.11.1911	47	9	9.6.–19.7.1930	39 320 640	36
10	28.8.–12.10.1929	46	10	8.10.–23.11.1911	36 322 560	29
Železný Brod – Jizera (1912–2009)						
1	27.7.–6.11.1947	103	1	27.7.–6.11.1947	17 069 184	39
2	28.12.1969–17.3.1970	80	2	2.8.–12.10.1929	11 772 864	39
3	2.8.–12.10.1929	72	3	22.1.–8.3.1954	10 090 656	52
4	28.12.1962–9.3.1963	72	4	28.12.1962–9.3.1963	9 544 608	32
5	22.8.–23.10.1959	63	5	28.12.1969–17.3.1970	9 395 136	28
6	12.9.–12.11.1949	62	6	26.11.1953–20.1.1954	8 050 752	34
7	26.11.1953–20.1.1954	56	7	12.9.–12.11.1949	6 924 096	27
8	28.9.–13.11.1943	47	8	22.8.–23.10.1959	6 055 776	23
9	22.1.–8.3.1954	46	9	17.9.–28.10.1921	5 146 848	29
10	21.12.1972–1.2.1973	43	10	28.9.–13.11.1943	5 063 904	26

Tab. 4 – pokračování

Table 4 – continued

Bechyně – Lužnice (1911–2009)						
1	27.5.–17.9.1950	114	1	27.5.–17.9.1950	27 266 112	53
2	19.6.–3.10.2003	107	2	19.6.–3.10.2003	22 871 808	48
3	9.11.1953–21.1.1954	74	3	17.7.–20.9.1990	15 655 680	53
4	6.7.–13.9.1935	70	4	9.11.1953–21.1.1954	14 720 832	44
5	17.7.–20.9.1990	66	5	19.7.–9.9.1952	12 708 576	53
6	30.11.1969–1.2.1970	64	6	26.6.–20.8.1930	11 206 080	45
7	1.7.–1.9.1911	63	8	23.1.–11.3.1954	11 120 544	52
8	22.7.–22.9.1992	63	7	22.7.–22.9.1992	11 183 616	40
9	21.7.–21.9.1994	63	9	1.7.–1.9.1911	11 016 000	39
10	23.7.–23.9.1999	63	10	8.5.–30.6.1918	10 696 320	44
Bohumín – Odra (1920–2010)						
1	21.7.–2.11.1921	105	1	11.8.–22.11.1951	37 323 936	42
2	11.8.–22.11.1951	104	2	25.11.1953–28.2.1954	33 962 112	41
3	25.11.1953–28.2.1954	96	3	21.7.–2.11.1921	32 434 560	36
4	6.9.–23.11.1953	79	4	11.10.–27.12.1920	26 439 264	39
5	11.10.–27.12.1920	78	5	6.9.–23.11.1953	26 263 872	38
6	7.9.–8.11.1959	63	6	10.9.–10.11.1948	20 295 360	38
7	10.9.–10.11.1948	62	7	3.6.–23.7.1950	18 140 544	41
8	22.8.–13.10.1932	53	8	25.1.–25.2.1922	18 048 960	65
9	3.6.–23.7.1950	51	9	12.6.–26.7.1930	17 349 120	45
10	30.8.–18.10.1961	50	10	7.9.–8.11.1959	14 701 824	27
Olomouc – Morava (1921–2009)						
1	23.9.1953–4.3.1954	163	1	23.9.1953–4.3.1954	34 886 592	35
2	24.7.–11.11.1947	111	2	18.7.–30.10.1921	33 229 440	52
3	18.7.–30.10.1921	105	3	24.7.–11.11.1947	31 280 256	47
4	22.7.–22.10.1992	93	4	22.7.–22.10.1992	24 548 832	44
5	28.7.–3.10.2003	68	5	28.7.–3.10.2003	13 105 152	32
6	1.9.–3.11.1950	64	6	19.8.–19.10.1932	12 951 360	35
7	19.8.–19.10.1932	62	7	12.7.–31.8.1928	9 028 800	29
8	13.9.–7.11.1949	56	8	1.9.–3.11.1950	8 967 456	23
9	8.9.–30.10.1933	53	9	15.6.–19.7.1930	7 810 560	37
10	12.7.–31.8.1928	51	10	8.6.–13.7.1922	7 214 400	33
Brno – Svatka (1923–2009)						
1	29.8.1983–31.1.1984	156	1	29.8.1983–31.1.1984	7 045 920	26
2	16.9.1953–24.1.1954	131	2	16.9.1953–24.1.1954	6 632 064	29
3	1.8.–13.11.1947	105	3	1.8.–13.11.1947	5 575 392	31
4	25.8.–29.11.1943	97	4	29.5.–1.8.1957	5 103 648	45
5	20.8.–2.11.1950	75	5	20.8.–2.11.1950	4 949 856	38
6	29.9.–10.12.1992	73	6	29.9.–10.12.1992	4 421 952	35
7	29.5.–1.8.1957	65	7	3.7.–28.8.1934	4 345 920	44
8	3.7.–28.8.1934	57	8	25.8.–29.11.1943	3 914 784	23
9	21.6.–15.8.1948	56	9	8.6.–26.7.1930	3 905 280	46
10	26.1.–18.3.1954	52	10	26.1.–18.3.1954	3 767 040	42



**Tab. 5.** Deset nejsušších roků podle délky trvání období sucha vymezeného vůči prahovému průtoku  $Q_{330}$  na vybraných hydrologických stanicích v českých zemích v období 1911–2010 (Bohumín od roku 1920, Olomouc od 1921, Brno od 1923)

**Table 5.** The ten driest years according to duration of drought, expressed in terms of threshold discharge  $Q_{330}$  at selected hydrological stations in the Czech Lands in the 1911–2010 period (Bohumín from 1920, Olomouc from 1921, Brno from 1923)

Poř.	Děčín – Labe		Brandýs nad Labem – Labe		Železný Brod – Jizera		Bechyně – Lužnice		Bohumín – Odra		Olomouc – Morava		Brno – Svatka	
	Rok	Dny	Rok	Dny	Rok	Dny	Rok	Dny	Rok	Dny	Rok	Dny	Rok	Dny
1	1911	176	1921	164	1947	173	2003	134	1954	163	1921	149	1934	160
2	1934	166	1911	158	1929	140	1911	128	1943	152	1947	132	1947	140
3	1947	161	1934	149	1959	138	1947	128	1953	137	1929	130	1950	139
4	1921	149	1953	133	1943	135	1918	128	1947	136	1953	127	1953	134
5	1953	145	1947	131	1949	134	1999	123	1921	127	1928	127	1983	134
6	1943	145	1943	131	1983	125	1950	121	1951	114	1933	115	1929	133
7	1918	130	1973	113	1934	120	1934	107	1983	112	1983	113	1943	133
8	1950	116	2003	110	1921	105	1994	107	1992	112	1954	104	1948	132
9	1929	115	1959	110	1953	105	2000	103	1959	105	1951	98	1954	121
10	1933	114	1963	107	1976	96	1943	102	1929	93	1992	98	1928	106

**Tab. 6.** Deset nejsušších roků vyjádřených násobkem (n) chybějícího množství vody oproti průměrnému ročnímu nedostatku vody vztahenému k prahovému průtoku  $Q_{330}$  na vybraných hydrologických stanicích v českých zemích v období 1911–2010 (Bohumín od roku 1920, Olomouc od 1921, Brno od 1923)

**Table 6.** The ten driest years expressed as multiples (n) of deficient water volume with respect to the mean annual deficient water expressed in terms of threshold discharge  $Q_{330}$  at selected hydrological stations in the Czech Lands in the 1911–2010 period (Bohumín from 1920, Olomouc from 1921, Brno from 1923)

Poř.	Děčín – Labe		Brandýs nad Labem – Labe		Železný Brod – Jizera		Bechyně – Lužnice		Bohumín – Odra		Olomouc – Morava		Brno – Svatka	
	Rok	n	Rok	n	Rok	n	Rok	n	Rok	n	Rok	n	Rok	n
1	1911	93	1921	97	1947	86	1950	67	1954	61	1921	90	1934	55
2	1947	83	1911	73	1929	67	2003	60	1953	58	1947	76	1950	55
3	1934	71	1947	72	1954	57	1918	45	1921	54	1992	57	1957	47
4	1921	68	1934	55	1943	52	1911	44	1951	53	1954	52	1935	46
5	1935	51	1963	42	1921	49	1990	40	1947	47	1953	42	1928	46
6	1953	50	1954	40	1949	47	1954	40	1943	46	1928	40	1953	46
7	1950	50	1953	40	1959	47	1999	39	1928	39	1922	35	1947	45
8	1943	40	1935	39	1934	41	2007	38	1920	37	1929	35	1954	43
9	1954	39	1992	38	1983	38	1947	37	1922	36	1932	33	1930	43
10	1952	34	1943	32	1963	38	1994	37	1950	35	1934	33	1948	42

#### 4.1.4.3 Analýza hydrologického sucha na horní Otavě a horní Lužnici

Povodí horní Otavy a horní Lužnice jsou od roku 2013 detailně zkoumána v rámci projektu Grantové agentury České republiky „Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům“. Kromě dat poskytovaných ČHMÚ je v obou povodích prováděn od roku 2006 monitoring režimu odtoku pomocí sítě automatických hydrologických

stanic Katedry fyzické geografie a geokologie Přírodovědecké fakulty UK v Praze.

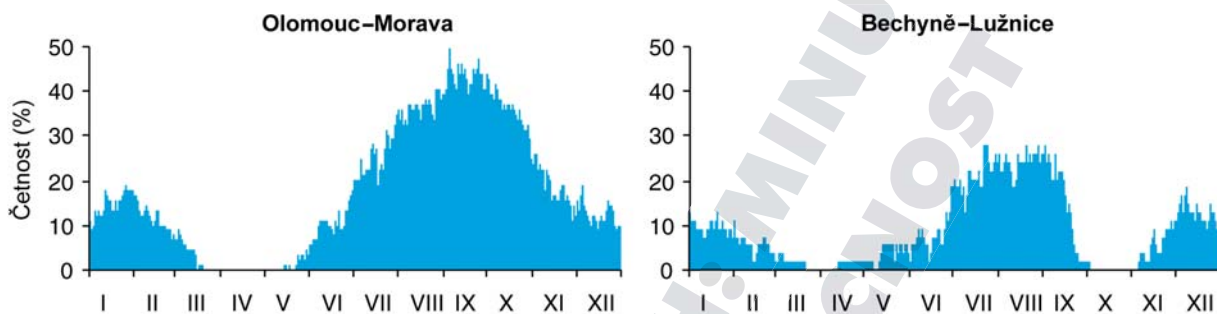
##### 4.1.4.3.1 Horní Otava

Povodí horní Otavy patří k srážkově bohatým oblastem České republiky, čemuž odpovídají i vysoké hodnoty charakteristik odtoku jako jsou průměrný specifický odtok, odtoková výška či odtokový součinitel (dále prezentované poznatky vycházejí

především z práce Šachové, 2013). Povodí bylo analyzováno pro jeho tři dílčí části po vodoměrné stanici Modrava (plocha povodí 90,17 km<sup>2</sup>), Rejštejn (333,97 km<sup>2</sup>) a Sušice (533,67 km<sup>2</sup>) (obr. 80a) na základě řad průměrných denních průtoků poskytnutých ČHMÚ. Průměrné roční srážkové úhrny v dané oblasti postupně klesají po toku od horské pramenné oblasti povodí Vydry (1177 mm) směrem do podhorské oblasti (Rejštejn 1121 mm, Sušice 970 mm

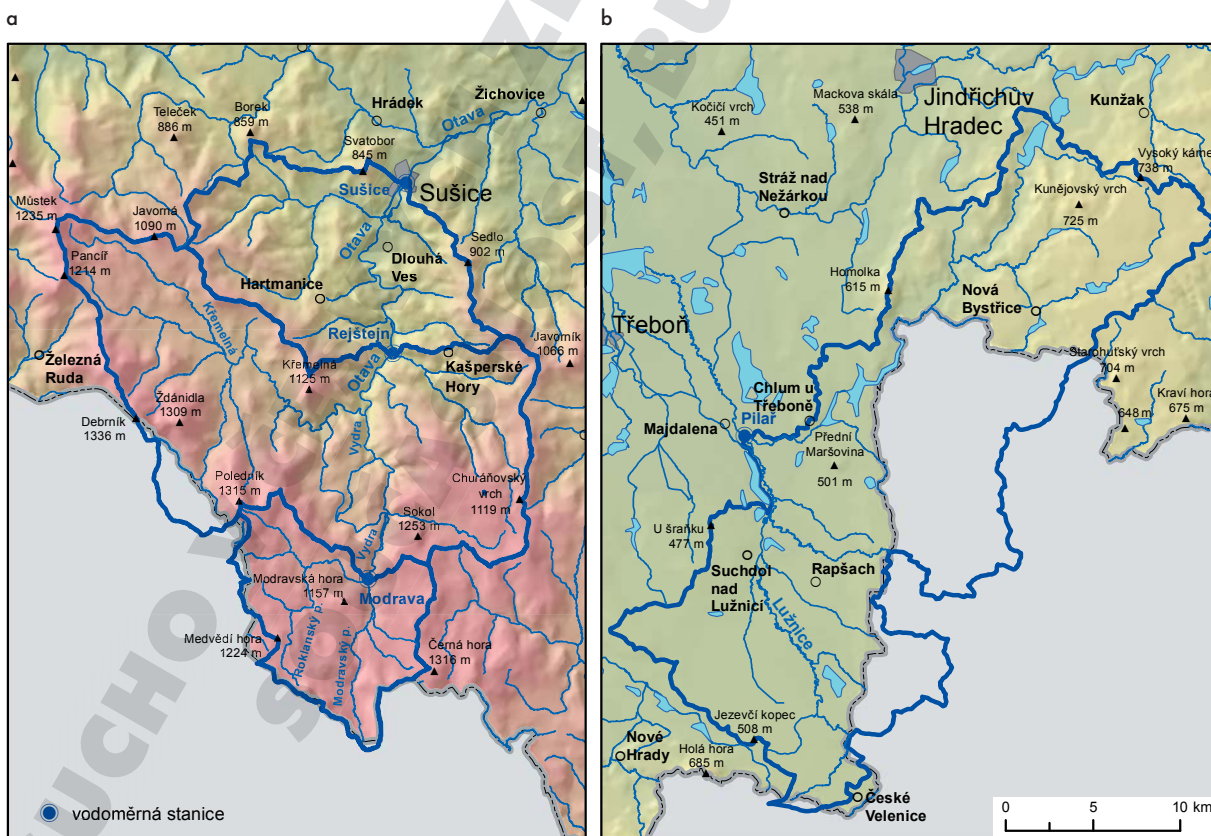
— období 1962–2001). Od roku 1961 vykazují roční srážky mírně rostoucí trend.

Průměrný roční průtok narůstá od 3,4 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> v Modravě přes 8,2 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> v Rejštejně na 10,6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> v Sušici (období 1931–2011). Největší specifický odtok však má horní část povodí po profil Modrava. Pokud jde o rozkolísanost měsíčních průtoků, tak jejich hodnoty na stanici Modrava jsou relativně vyrovnané po celý rok, zatímco profily situované níže



**Obr. 79.** Typický roční chod četnosti výskytu hydrologického sucha na vodoměrných stanicích Olomouc – Morava (stanice s příliš neovlivněným průtokem) a Bechyně – Lužnice (stanice s průtokem ovlivněným vypouštěním rybníků na podzim)

**Figure 79.** Typical annual variation of the occurrence of hydrological drought at the Olomouc – Morava station (relatively free of influences on discharge) and the Bechyně – Lužnice station (discharges influenced by the release of considerable volumes of water from fish-cultivation ponds in autumn)



**Obr. 80.** Schematická mapa povodí horní Otavy (a) a povodí horní Lužnice (b)

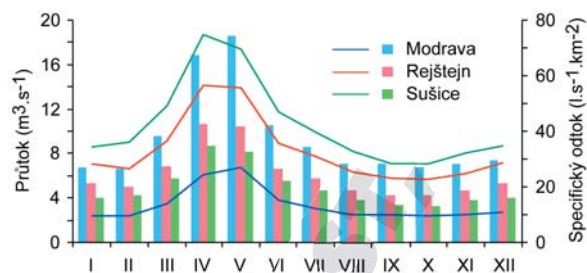
**Figure 80.** Schematic map of the upper Otava river catchment (a) and of the upper Lužnice river catchment (b)

vykazují poměrně velký pokles průtoků od dubna do října (obr. 81). Podle nadmořské výšky vodoměrných stanic se liší také nástup vysokých jarních průtoků (přibližně o měsíc).

Odtok z povodí horní Otavy lze považovat za poměrně stabilní, jak dokládají vysoké hodnoty indexu základního odtoku<sup>36</sup> (Modrava 0,638, Rejštejn 0,675, Sušice 0,677), přičemž stabilita odtoku mírně roste s klesající nadmořskou výškou. Povodí tedy vykazuje velký podíl základního odtoku a je schopno více odolávat nedostatku srážek díky vyšším zásobám podzemní vody.

Specifický vliv na odtok mají ve zdrojové oblasti horní Otavy rašeliniště. Existují v podstatě dvě teorie o jejich vlivu na odtok. Starší tzv. „houbová“ teorie tvrdí, že rašeliniště zadržují vodu při srážkách a v suchých obdobích ji upouštějí, tedy nadlepšují průtoky. Funkce rašeliniště je podle ní jednoznačně pozitivní. Druhý názor převládá na základě pozdějších výzkumů, neboť se ukázalo, že toky z rašelinných oblastí mají velmi rozkolísané průtoky, zvláště v povodích s vysokým podílem rašelinišť (Janský, Kocum, 2008). Pokud jsou povodí nasycena předchozími srážkami, pak už jako „houba“ nepůsobí a naopak fungují jako urychlovač odtoku. V období sucha pak odtok z rašelinišť zcela ustává. Na základě tvrzení, že odvodněná rašeliniště mají příznivou hydrologickou funkci, byly provedeny meliorace rašelinišť. V současné době probíhá diskuze, zda ponechat rašeliniště jejich přirozenému vývoji nebo zvyšovat retenční kapacitu horských vrchovišť hrazením původních melioračních kanálů (Čurda et al., 2011). Rašeliniště mají výrazný vliv i na jakost vody. Zatímco všeobecně v suchých obdobích kvalita vody klesá vlivem nedostatečného ředění znečišťujících látek, snížením proudění a tudíž poklesem okysličení vody a vzrůstem teploty vody, v pramenitých oblastech se zlepšuje, neboť při suchu odtok z rašelinišť ustává.

Bilanci odtoku v povodí Vydry a Křemelné ovlivňují také lesy, představující dominantní pokryv území. Uplatňují se vysokou intercepcí, zejména u jehličnatých porostů a při nízkých intenzitách deště a nižších srážkových úhrnech. S tím souvisí i vysoká aktuální evapotranspirace z lesních porostů. Výparnost lesů v povodí Vydry dosahující 216 mm za rok je ale jedna z nejnižších výparností z lesů srovnatelných poloh (Švihla, 2001). Pozitivním prv-



**Obr. 81.** Průměrné měsíční průtoky (čáry) a průměrné měsíční specifické odtoky (sloupky) pro vodoměrné stanice Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) a Sušice (1931–2011) (podle Šachové, 2013)

**Figure 81.** Mean monthly discharges (lines) and mean monthly specific runoffs (columns) for stations at Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) and Sušice (1931–2011) (after Šachová, 2013)

kem v odtokové bilanci je vysoká infiltrační schopnost nadložního humusu. To vše přispívá k vysoké retenční schopnosti těchto povodí. Podle Pavláška (2010), který jako ukazatel retence zvolil rozdíl mezi výškou srážky v předchozích pěti dnech a výškou odtoku při vybrané extrémní srážkoodtokové události, činí míra retence až 100 mm oproti běžným 60–90 mm v zalesněných povodích.

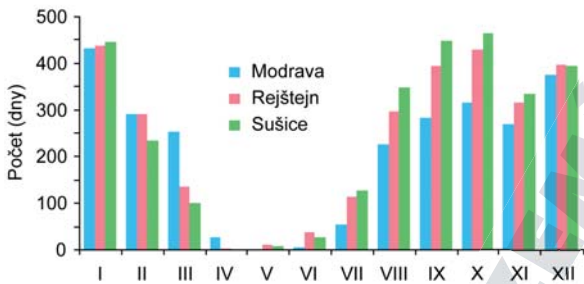
Pro hodnocení hydrologického sucha v povodí horní Otavy byla zvolena metoda prahové hodnoty (viz kap. 3.2.1.1.2), která je nejčastěji využívána pro určování doby trvání sucha, stanovení jeho počátku a konce. Dále byl využit algoritmus následných vrcholů (Sequent Peak Algorithm – SPA), který na rozdíl od předchozí metody zohledňuje kumulující se deficit vody a má za cíl eliminovat krátkodobé překročení hranice požadovaného minimálního průtoky. Spojuje různá období sucha, pokud zásoby vody nebyly dostatečně obnoveny (Tallaksen, van Lanen, eds., 2004). Do algoritmu vstupuje průměrný denní průtok  $Q_i$  a prahový minimální průtok  $Q_x$ . Výslednou veličinou je ztrátový průtok  $S_i$  zohledňující akumulovaný nedostatečný průtok v předchozích dnech. Pokud je  $Q_i \geq Q_x$ , je vyhodnocen jako nulový. Hodnoty  $S_i$  se načítají, pokud je hodnota  $S_{i-1}$  a požadovaného prahového minimálního průtoky  $Q_x < Q_i$ . Řada hodnot s veličinou  $S_i > 0$  je postupným úbytkem a znovu doplněním objemu požadovaného průtoky  $Q_x$ . Ztrátový průtok v době maximálního úbytku je charakterizován objemem deficitního průtoky  $v_i$  a dobou trvání  $d_i$ . Doba trvání je počítána od počátku nedostatečného průtoky  $t_0$  po dobu největšího nedostatku  $t_{max}$ . Trvání sucha je tedy charakterizováno výrazem  $t_{max} - t_0 + 1$ .

<sup>36</sup> Index základního odtoku vyjádřený poměrem mezi celkovým a základním odtokem je mírou stability odtoku. Ukazuje, jak povodí reaguje na srážky či na jejich nedostatek a jak je odtok srážkové vody distribuován v čase.



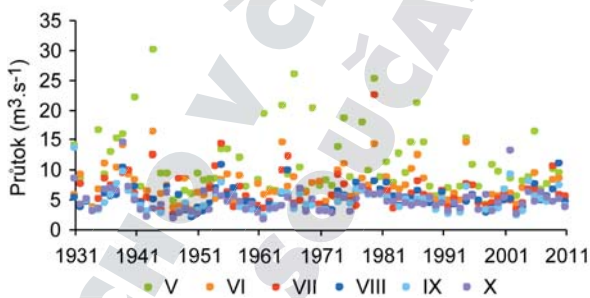
Obrázek 82 ukazuje roční chod nízkých průtoků vyjádřených pro jednotlivé měsíce pro celou dobu pozorování počtem dnů s průtokem pod fixní prahovou hodnotou  $Q_{90}$ . Nedostatkové průtoky se na stanici Modrava přitom nejčastěji vyskytují v zimě, zatímco na níže ležící stanici Sušice to jsou letní měsíce. To odpovídá charakteru horského povodí, kde v zimních měsících je voda zadržena ve sněhové pokrývce, přičemž ve vyšších polohách trvá tento stav déle. Protože ale více vody je třeba ve vegetačním období, jeví se jako lepší použití měsíčních prahových průtoků.

Minimální měsíční průtoky ve studovaném období byly zkoumány pomocí minim pětidenních klouzavých průměrů pro stanici Sušice (obr. 83). Z porovnání dvou třicetiletých období 1950–1980 a 1981–2010 vyplynulo, že průměr minim poklesl v měsících kvě-



**Obr. 82.** Roční chod nízkých průtoků v povodí horní Otavy na vodoměrných stanicích Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) a Sušice (1931–2011), vyjádřený počtem dnů pod fixní prahovou hodnotou  $Q_{90}$  v jednotlivých měsících (podle Šachové, 2013)

**Figure 82.** Annual variation in low discharges for the upper Otava river catchment at the Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) and Sušice (1931–2011) stations, expressed as number of days with discharge below  $Q_{90}$  threshold in individual months (after Šachová, 2013)

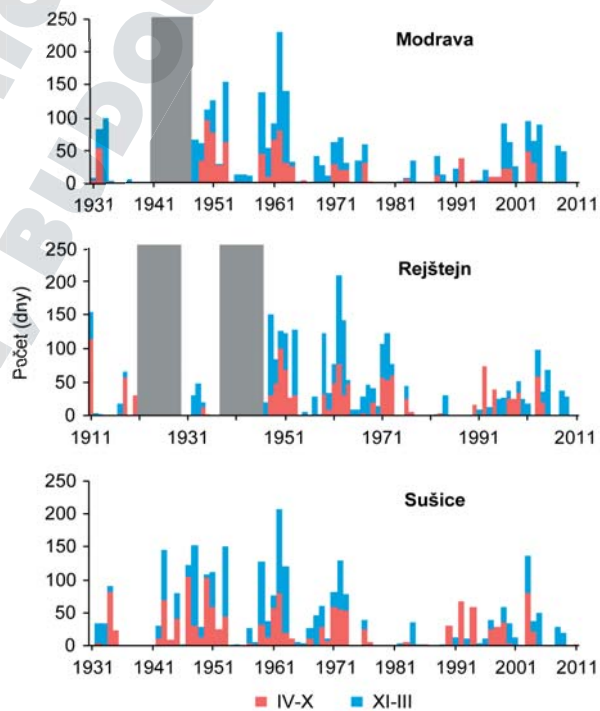


**Obr. 83.** Kolísání měsíčních minimálních průtoků podle pětidenních klouzavých průměrů na vodoměrné stanici Sušice v období 1931–2011 (podle Šachové, 2013)

**Figure 83.** Fluctuations in monthly minimum discharges derived from five-day running means at the Sušice station in the 1931–2011 period (after Šachová, 2013)

ten–červenec (v případě května až o  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), zatímco v srpnu–říjnu minima mírně vzrostla.

Kolísání počtu dnů s nedostatkovým průtokem pod fixní prahovou hodnotou  $Q_{90}$  pro tři vodoměrné stanice v povodí horní Otavy je znázorněno na obrázku 84. Plyne z něho sdružování roků s deficitem vody pro suchá období 1948–1953, 1959–1964 a 1968–1976. Od konce sedmdesátých let do roku 1999 následovalo poměrně vyrovnané období, kdy k poklesům průtoků pod  $Q_{90}$  docházelo jen výjimečně. Poté ale frekvence dnů s nedostatkovým průtokem opět roste, i když jejich počet již nedosáhl hodnot z padesátých a šedesátých let. Větší nárůst byl zaznamenán pro stanici Sušice, což může souviset se zvyšováním teplot vzduchu a poklesem srážek dubna–června. Chod deficitních průtoků odpovídá průměrným ročním srážkovým úhrnům, které nevykazují takové poklesy jako v suchých obdobích čtyřicátých a šedesátých let minulého století.



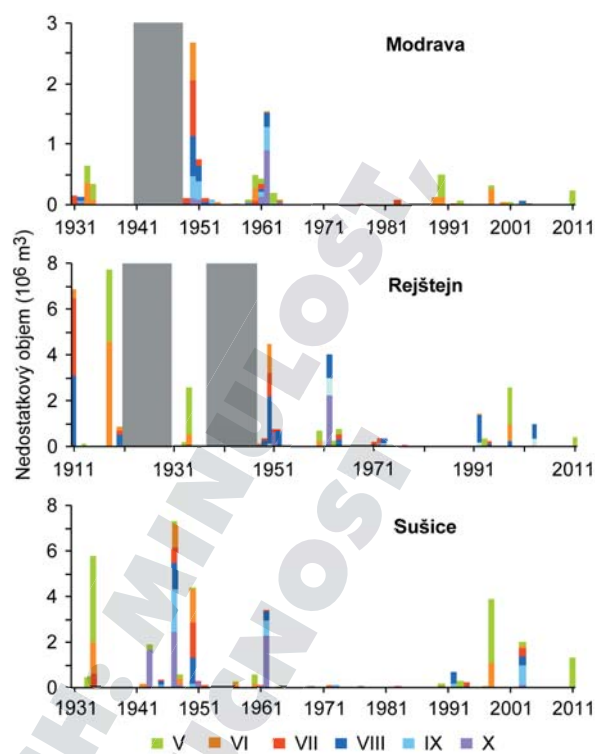
**Obr. 84.** Kolísání počtu dnů s nedostatkovým průtokem pod  $Q_{90}$  v měsících listopad–březen a duben–říjen pro vodoměrné stanice Modrava (1931–1940, 1948–2011), Rejštejn (1911–1920, 1930–1937, 1947–2011) a Sušice (1931–2011). Šedé sloupce představují období bez pozorování (podle Šachové, 2013)

**Figure 84.** Fluctuations in the number of days with deficit discharges below  $Q_{90}$  during the November–March and April–October periods for the hydrological stations at Modrava (1931–1940, 1948–2011), Rejštejn (1911–1920, 1930–1937, 1947–2011) and Sušice (1931–2011). Grey columns indicate periods without observations (after Šachová, 2013)

Největší sucha, studovaná pomocí algoritmu následných vrcholů (SPA), jsou na příkladu vodoměrné stanice Sušice uvedena v tabulce 7. Délka sucha je uvažována vždy až do znovu naplnění chybějících zásob vody pro prahovou hodnotu  $Q_{90}$ . Z tohoto pohledu bylo největší sucho v roce 1962 s maximem dne 8. března 1963, kdy kumulovaný deficit vody na profilu Sušice trval 211 dní (delší byl i na stanici Modrava). K největším suchým epizodám s kumulovaným deficitem přes 100 dní se řadí sucha ve čtyřicátých letech minulého století (roky 1944, 1947 a 1949). Na stanici Modrava se vyskytla sucha dlouhá přes 100 dní ještě v roce 1954 a 1959. V posledních 30 letech k takto dlouhým epizodám sucha již nedocházelo a sucho s maximální kumulovanou délkou 62 dnů bylo zjištěno v roce 2003 pro Rejštejn.

Nedostatkové objemy pro tři vodoměrné stanice v povodí horní Otavy byly hodnoceny také se zřetelem na variabilní měsíční prahové průtoky  $Q_{95}$ , přičemž v úvahu byla brána jen minimálně třídení období. Jak lze očekávat, období nedostatkových objemů kopírují výše uvedená deficitní období. Obrázek 85 ukazuje kolísání nedostatkových objemů v měsících květen–říjen. Nedostatkové objemy nedosahují v posledních letech již takových hodnot jako ve čtyřicátých a šedesátých letech minulého století a ukazuje se, že s klesající nadmořskou výškou profilu je tento rozdíl menší. Nedostatkové objemy se projevují v dřívější části roku (květen–červen), což potvrzuje i pokles srážek v tomto období. Největší deficit vypočtený pro stanici Sušice z roku 1947 o hodnotě 7,24 milionů  $m^3$  vody výrazně překračuje nejvyšší deficity zjištěné v posledních letech (1998 — 3,65 milionů  $m^3$ , 2003 — 1,94 milionů  $m^3$ ).

Intenzita hydrologického sucha může být popsána také podílem nedostatkového objemu a doby jeho



**Obr. 85.** Kolísání nedostatkových objemů se zřetelem na měsíční prahové průtoky  $Q_{95}$  v měsících květen–říjen na vodoměrných stanicích Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) a Sušice (1931–2011). Šedé sloupce představují období bez pozorování (podle Šachová, 2013)

**Figure 85.** Fluctuations in deficiency volumes with respect to monthly thresholds  $Q_{95}$  from May to October for the hydrological stations at Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) and Sušice (1931–2011). Grey columns indicate periods without observations (after Šachová, 2013)

trvání (obr. 86). Pro výpočet byly brány nejméně třídení periody sucha se zřetelem na fixní roční prahový průtok  $Q_{90}$ . Dobře patrný je pokles intenzity sucha na stanici Modrava od sedmdesátých let

**Tab. 7.** Deset největších suchých epizod (datum maxima, trvání epizody,  $S_t$  – deficitní kumulovaný průtok) stanovených metodou SPA se zřetelem na  $Q_{90}$  na vodoměrné stanici Sušice v období 1931–2010. Byly vybrány deficitní události s průtokem  $> 5 m^3 \cdot s^{-1}$  s dobou trvání v dubnu–říjnu (podle Šachová, 2013)

**Table 7.** Ten of the largest drought episodes recorded by the Sušice hydrological station in the 1931–2010 period calculated by SPA with respect to  $Q_{90}$ . Deficit events with  $Q > 5 m^3 \cdot s^{-1}$  and occurrence in April–October selected (after Šachová, 2013)

Pořadí	Datum maxima	Trvání (dny)	$S_t (m^3 \cdot s^{-1})$	Pořadí	Datum maxima	Trvání (dny)	$S_t (m^3 \cdot s^{-1})$
1	8.3.1963	211	263,3	6	19.9.1950	91	58,5
2	15.3.1954	188	80,2	7	25.12.1959	88	75,0
3	13.3.1949	171	176,2	8	21.11.1951	75	38,5
4	10.1.1944	147	86,9	9	4.10.2003	62	62,9
5	9.11.1947	110	155,7	10	29.9.1992	60	41,5

minulého století, který je méně zřetelný také na dalších dvou níže ležících vodoměrných stanicích. Pokud v posledním desetiletí klesl průtok pod prahovou hodnotu  $Q_{90}$ , průměrný denní deficitní objem činil 11 154 m<sup>3</sup> vody pro Modravu, 33 361 m<sup>3</sup> pro Rejštejn a 47 743 m<sup>3</sup> pro Sušici.

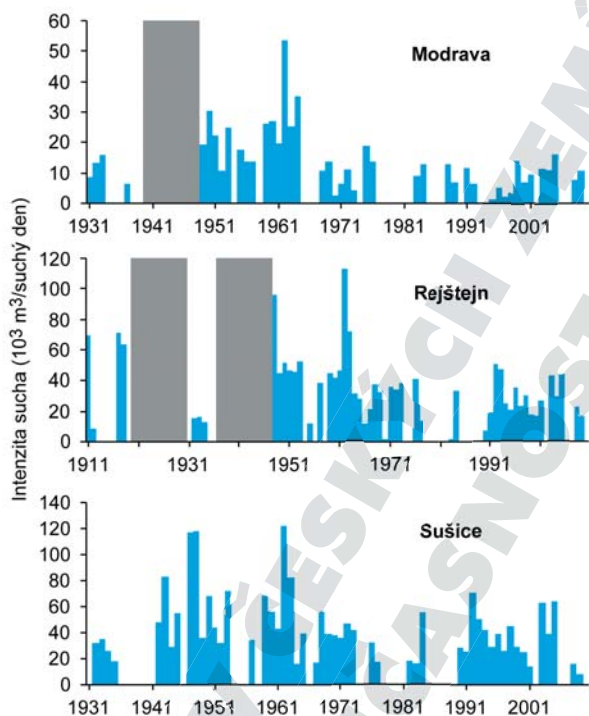
Z výše uvedených výsledků vyplývá, že po jistém přechodném období dochází v současné době opět k výskytu nedostatkových objemů, které však nedosahují takových hodnot jako během nejhorších suchých epizod kolem roků 1949 a 1962. Z měsíčních charakteristik je patrný větší podíl nedostatkových objemů v květnu a červnu, což potvrzuje i poklesový trend minimálních průtoků a srážek v těchto měsících. Tyto poznatky odpovídají závěrům studie Vlnase et al. (2010). Podle ní byl pro stanici Sušice zjištěn statisticky významný poklesový trend ( $\alpha = 0,05$ ) v ročních standardizovaných nedostatkových objemech vzhledem k prahovým měsíčním

hodnotám  $Q_{95}$  v období 1947–2007, zatímco období 1961–2007 bylo bez trendu.

#### 4.1.4.3.2 Horní Lužnice

Povodí horní Lužnice (obr. 80b) představuje mimořádně zachovalý a v České republice výjimečný fluvialní systém, a to především díky údolní nivě, která se rozprostírá v jeho střední části.<sup>37</sup> V této oblasti dochází k vysoké retenci vody, kvůli níž jsou přírodní zachovalé nivy schopny mírnit i dopady extrémního sucha, a to především kvůli vysoké hladině podzemní vody, která dotuje koryta toků v období nízkých vodních stavů. Hydrologické sucho v povodí horní Lužnice je hodnoceno pomocí metody prahových hodnot (viz kap. 3.2.1.1.2), kdy pro profil Pilař byl na ČHMÚ definován stav sucha při poklesu průměrného denního průtoku pod 0,25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, odpovídající  $Q_{355}$ . Ve studovaném období 1. ledna 1965–31. října 2014 se vyskytlo celkem 201 dnů sucha v devíti hydrologických rocích.<sup>38</sup> Nejvíce suchých dní bylo zaznamenáno v letech 2000 (59) a 2003 (56). S výraznějším odstupem se objevují roky 2007 (24), 1990 a 1994 (po 21 dnech), přičemž v dalších letech 1976, 1983, 1989 a 2004 se jednalo vždy jen o tři až sedm suchých dnů (Fialová, 2015).

Delší suchá období se tedy na horní Lužnici vyskytla převážně od roku 2000, kdy doprovázejí zvýšenou četnost i extremitu povodní. Tak srpnovou povodeň roku 2002 předcházelo významné sucho v roce 2000, kdy všechny suché dny následovaly bezprostředně po sobě, takže představují vůbec nejdelší periodu sucha ve studovaném období. Roky 1999 a 2000 byly navíc hodnoceny jako velmi suché i z hlediska průměrných ročních průtoků. Po zmíněné extrémní povodni následoval rok 2003 s druhým největším počtem suchých dnů, z nichž se jich nejvíce vyskytlo během srpna (25 %). Nejnižších denních průměrných průtoků sice bylo dosaženo až v listopadu, ale samotný výskyt suchých dnů během listopadu je nízký. Třetí nejsušší rok 2007 následoval po roce 2006, mimořádně hojném na povodně. K výrazné transformaci povodně v září roku 2007 pak přispěl fakt, že povodeň následovala bezprostředně po velmi suchém červenci a srpnu, v nichž bylo zaznamenáno 24 suchých dnů. V průběhu suchého léta byla většina



**Obr. 86.** Kolísání intenzity sucha vyjádřeného podílem nedostatkového objemu a doby jeho trvání na vodoměrných stanicích Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) a Sušice (1931–2011). Šedé sloupce představují období bez pozorování (podle Šachové, 2013)

**Figure 86.** Fluctuations in drought intensity expressed as quotient of deficiency volume and its duration for the hydrological stations at Modrava (1931–1940, 1949–2011), Rejštejn (1911–1920, 1931–1937, 1948–2011) and Sušice (1931–2011). Grey columns indicate periods without observation (after Šachová, 2013)

<sup>37</sup> Výzkum hydrologického režimu horní Lužnice byl prováděn v rámci projektu „Retence vody v říčních nivách a možnosti jejího zvýšení“ (QH82078), podpořeného Národní agenturou zemědělského výzkumu Ministerstva zemědělství České republiky.

<sup>38</sup> Hydrologický rok je definován jako období od 1. listopadu předcházejícího roku do 31. října daného roku.

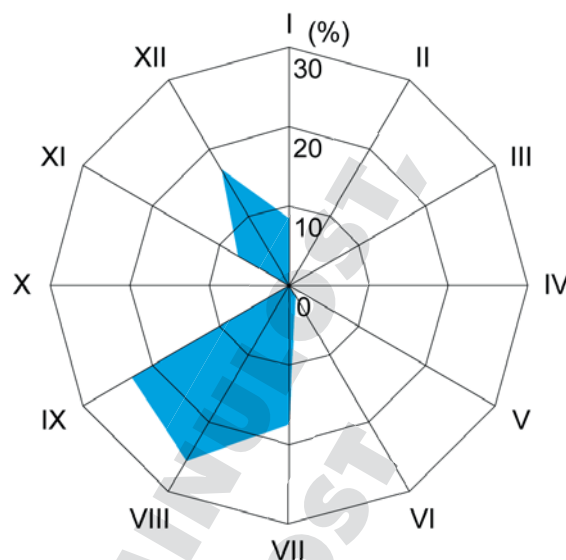


retenčních prostor v nivě prázdná ve své maximální kapacitě. Na Lužnici došlo během čtyř dnů k velmi rychlému přechodu ze sucha do kulminace povodně. Tyto skutečnosti vybízejí k otázce fungování dlouhodobější či ryze dlouhodobé hydrologické bilance a rovnováhy na tocích, a jistě by bylo přínosné analyzovat vztah povodně — sucho i na dalších tocích s použitím delších hydrologických řad (Pithart et al., eds., 2012).

Z hlediska sezonního výskytu hydrologického sucha (obr. 87) převažuje jeho výskyt v měsících červenec–září s maximem v srpnu. Nižší četnosti výskytu připadají na listopad–leden s dílčím maximem v prosinci, zatímco v říjnu nebylo hydrologické sucho zaznamenáno vůbec. Toto rozdělení je v souladu s podzimním vypouštěním rybníků (viz také obr. 79).

#### 4.1.5 Vybrané extrémní suché epizody

Následující přehled uvádí popis několika nejvýznamnějších suchých epizod v českých zemích v období přístrojových pozorování. Kritériem pro jejich výběr byly nejnižší hodnoty SPEI-1 a Z-indexu vypočtené z měsíčních homogenizovaných průměrných teplotních a srážkových řad pro české země a 10 meteorologických stanic z práce Brázdila et al. (2012a), přičemž se přihlíželo také k tomu, aby vybrané případy charakterizovaly i extrémní sucho v různých částech roku, tj. pro různou kombinaci měsíců. Meteorologické podmínky jsou jednotně demonstrovány na příkladu ročního chodu průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek českých zemí (vyjádřených v podobě odchylek od průměru referenčního období 1961–1990 ve °C, resp. v %), doplněné ročním chodem z nich vypočtených tří indikátorů krátkodobého sucha: SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu. Pro indexy sucha je uvedeno hodnocení jejich extremity pořadím v rámci období 1805–2012. Synoptická situace odpovídající suché epizody je hodnocena na základě měsíčních map průměrného přízemního tlakového pole podle databáze HadSLP2r od roku 1850 (Allan, Ansell, 2006) a podle rekonstrukce Küttela et al. (2010) před rokem 1850. Při jejich interpretaci je třeba mít stále na paměti, že tato tlaková pole jsou výsledkem průměrování synoptických situací, které mohly být charakteristické dosti rozdílným rozložením tlakového pole. Další doplňující informací o daném suchu jsou zprávy z dokumentárních pramenů, včetně popisu jejich zaznamenaných dopadů, se zvláštním zřetelem na projevy zemědělského a hyd-



**Obr. 87.** Roční rozdělení percentuálních podílů dnů s hydrologickým suchem na vodoměrné stanici Pilař na horní Lužnici v období 1. ledna 1965–31. října 2010 (podle Svoboda, 2011)

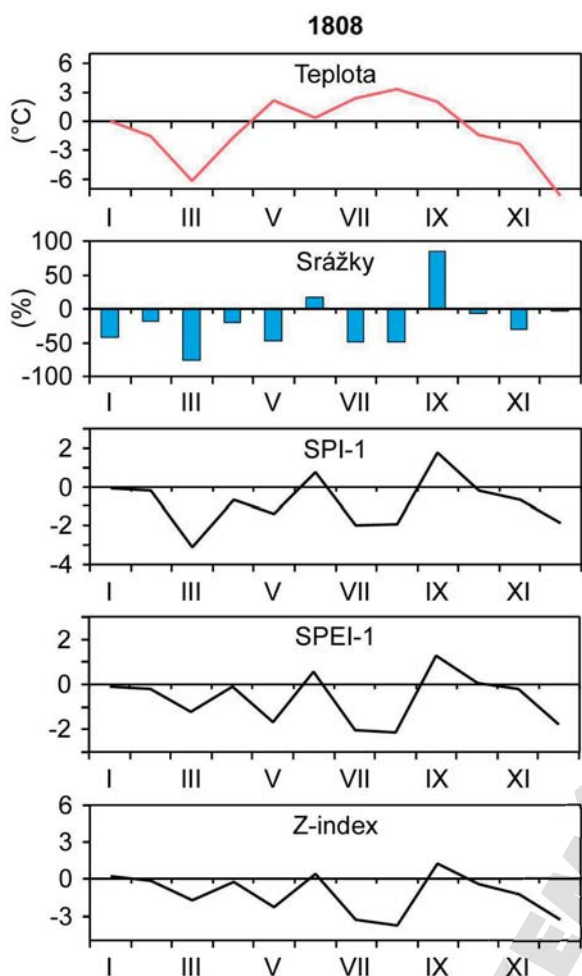
**Figure 87.** Annual distribution of percentage numbers of days with hydrological drought at the Pilař station on the upper Lužnice river in the 1 January 1965–31 October 2010 period (after Svoboda, 2011)

rologického sucha. Od 20. století je analýza jednotlivých epizod sucha doplněna i samostatným rozbohem hydrologického sucha podle vodoměrných pozorování.

##### 4.1.5.1 Rok 1808

**Meteorologické podmínky:** Sucho v jarních měsících roku 1808 bylo charakterizováno především výrazně podprůměrnými srážkami v březnu a květnu (obr. 88). Podprůměrné teploty vzduchu v březnu a dubnu způsobily menší intenzitu sucha podle SPEI-1 a Z-indexu, přičemž SPI-1 indikoval výrazný pokles zejména v březnu. Po slabě nadprůměrných srážkách v červnu byly další dva měsíce červenec a srpen opět velmi suché a teplotně nadnormální, což se promítlo v nízkých hodnotách SPEI-1 a Z-indexu. Uvedené skutečnosti se projeví v pořadí extremity suchých období v rámci průměrné řady indexů sucha českých zemí v období 1805–2012 následovně: březen–květen: SPI-1 — 3. místo, SPEI-1 — 11. místo, Z-index — 12. místo; červenec–srpen: SPI-1 — 3. místo, SPEI-1 — 1. místo, Z-index — 2. místo. V případě července–srpna se tak jednalo o jednu z vůbec nejextrémnějších suchých epizod.

**Synoptická situace:** V březnu roku 1808 byla střední Evropa v oblasti hřebene vysokého tlaku vzduchu,



**Obr. 88.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1808. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 88.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1808. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

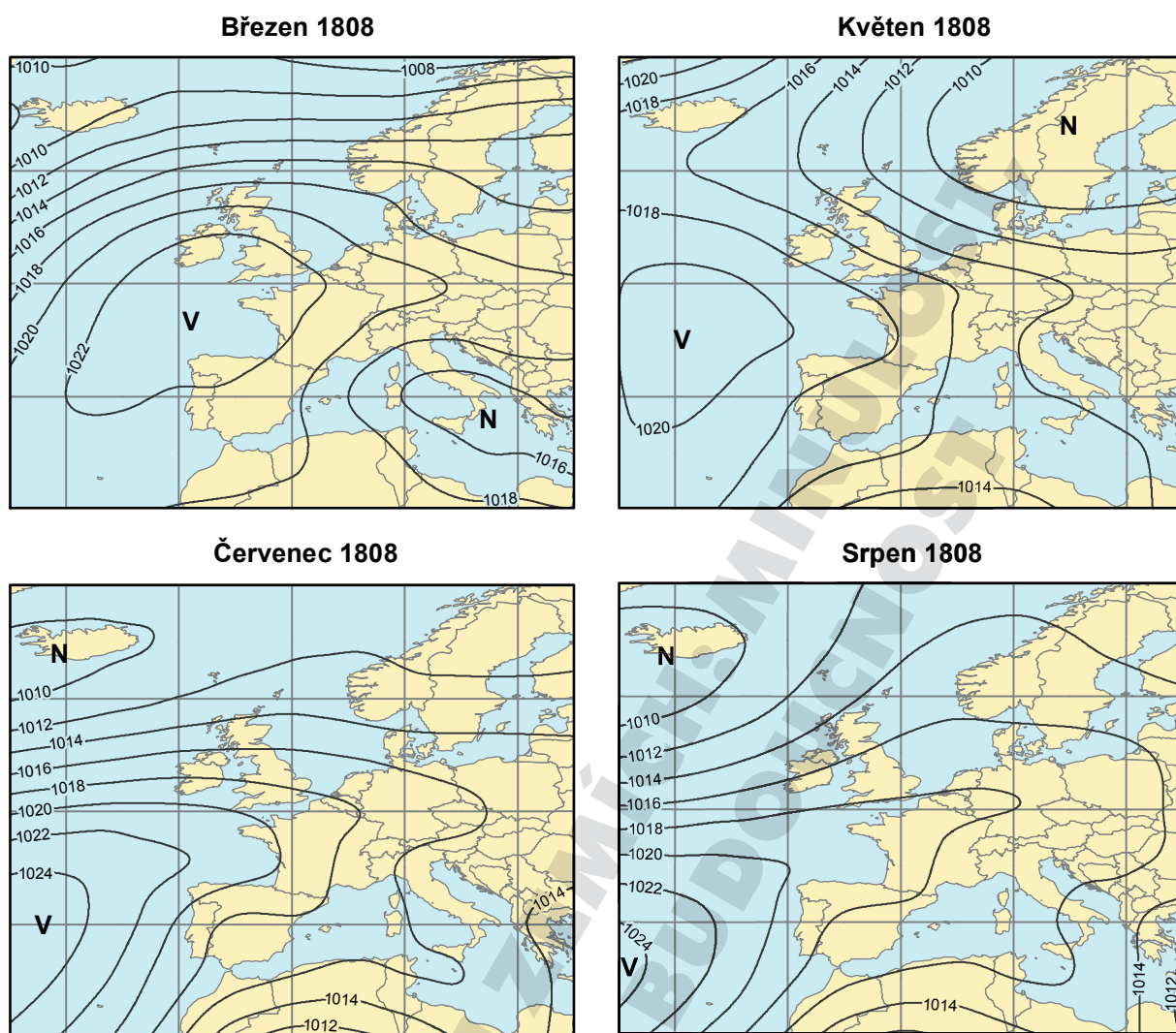
vycházejícího z anticyklony se středem jihozápadně od britských ostrovů (obr. 89). V květnu dominovala v barickém poli tlaková výše na západ od Biskajského zálivu a rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu na severu Evropy. V červenci a v srpnu se pak jednalo o hřeben vysokého tlaku vzduchu, zasahující do Evropy z oblasti Azorské anticyklony.

**Dopady sucha:** Buchlovický farář Šimon Hausner charakterizoval na základě svých systematických denních pozorování počasí rok 1808 jako velmi suchý. Jako suché hodnotil výslovně měsíce duben, červen a červenec (ten jako obzvláště suchý). V případě dešťů v těchto měsících obvykle dodává, že sotva smyly prach. Suché byly ale i další měsíce. Tak

v březnu se zvedal prach při chůzi a jízdě jako v létě a v květnu zaznamenal Hausner pouze šest a v srpnu sedm srážkových dnů. Velmi suchý byl i říjen. Kvůli suchu byly všechny plodiny velmi špatné (Hausner, s. 109, 112–113, 116, 118–119, 123, 127). Podle milčického rychtáře Františka Jana Vaváka se sucho začalo objevovat již v květnu, což působilo nepříznivě na vzrůst obilí a zároveň se zvýšila jeho cena. Dne 6. června přišel hojný déšť, ale od 28. června opět nepršelo jen s malým deštěm 31. července. Při horkém počasí obilí na polích rychle uzrálo a uschlo, že se ze žita nemohla dělat povřísla. Bylo málo zrna a špatná byla úroda prosa, hrachu, zelí, řepy a brambor (Vavák, 1938,<sup>39</sup> s. 100, 101, 103, 108). Dne 7. června šlo v Drahotuších prosebné procesí za déšť ke kříži u Klokočského dvora a ještě týž den přišel „pohodlný“ déšť (Kron. Konorzova, s. 297). V Boskovicích je zmiňováno velké sucho a dražota mouky v souvislosti s problémy s mletím. Dne 25. července se vypravilo prosebné procesí ke sv. Vavřinci do Lhoty;<sup>40</sup> hojný déšť přišel o tři dny později (Kron. Kučerova, fol. 77r). Podle paměti Jiřího Vrbasa z Písečného nepršelo od 24. dubna do 25. července s výjimkou 18. června, takže rostla dražota obilí. Déšť přišel 26. července, ale při sklizni obilí bylo již opět sucho (Vrbas, s. 47). Dne 7. srpna bylo trvající sucho se silným jižním větrem a střechy ze šindele a došků příčinou rozšíření požáru v Jívové, kdy celá obec až na tři domky lehla popelem (Bartoš, Kovářová, 1999). Podle zápisů myslivce Františka Loschana v telčském lesním urbáři bylo léto mimořádně suché, kdy zasazená lesní semena nevzešla, a to co vyrostlo, uschlo. Rovněž na podzim byla půda ještě velmi suchá, takže uschlo také mnoho stromů (Wald-Urbarium, fol. 150r–151v). Dopady sucha roku 1808 lze charakterizovat také na základě přehledu, který František Jindřich Jakub Kreibych, farář v Žitenicích, přiložil ke svým přístrojovým meteorologickým pozorováním (Brázdil et al., 2007c). Rok označil jako dobrý a úrodný na obilí, ovoce a vinné hrozny. Zatímco žito a pšenice byly dobré na zrno i na slámu, u jarních plodin byla situace horší. Platilo to především pro ječmen, oves a luštěniny, což Kreybich přičítal mrazům v dubnu, vlhkému červnu, horkému a suchému červenci. Méně bylo otav a málo zelí (Kreybich I). Kronika rodiny Flesarů v zápise vztaženém k Rudolci konstatuje, že rok byl suchý „a tak úroda vypadá dobře“ (Flesar, s. 416). Zápisy z Bob-

<sup>39</sup> Vavákovy zápisy jsou zde i dále citovány rokem edice, tedy v tomto případě podle Skopce (1938).

<sup>40</sup> Dnes obec Lhota-Rapotina.



**Obr. 89.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce březen, květen, červenec a srpen roku 1808 v českých zemích

**Figure 89.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of March, May, July and August 1808 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

rové citují suché léto a neúrodu lnu, který se vydal jen místy (Svoboda, 1914a). Výborná úroda je zmiňována pro Dřínov (okres Kladno)<sup>41</sup>, ale nebylo skoro žádné ovoce (Novákovi, s. 97). Dobrá úroda je uváděna i pro Rýmařov, kdy se odtud například vozily brambory do Olomouce (Langer, s. 41). Naproti tomu velké sucho je citováno pro Moravičany, kde obilí bylo málo vzrostlé a bylo drahé (Ambrož, 1931). V Třebeticích (okres Kroměříž) se konstatuje neúroda konopí, takže příze byla velmi drahá (Kronrod. Fuksovy, s. 64). Naproti tomu zpráva z Brna ze dne 24. října hovoří jen o drahotě (Forgatsch, s. 265).

<sup>41</sup> Pro identifikaci více obcí se stejným názvem na území České republiky je uvedena specifikace polohy přiřazením k bývalým okresům.

Bez bližších detailů je citováno sucho pro Pozořice (Ličman, 1921).

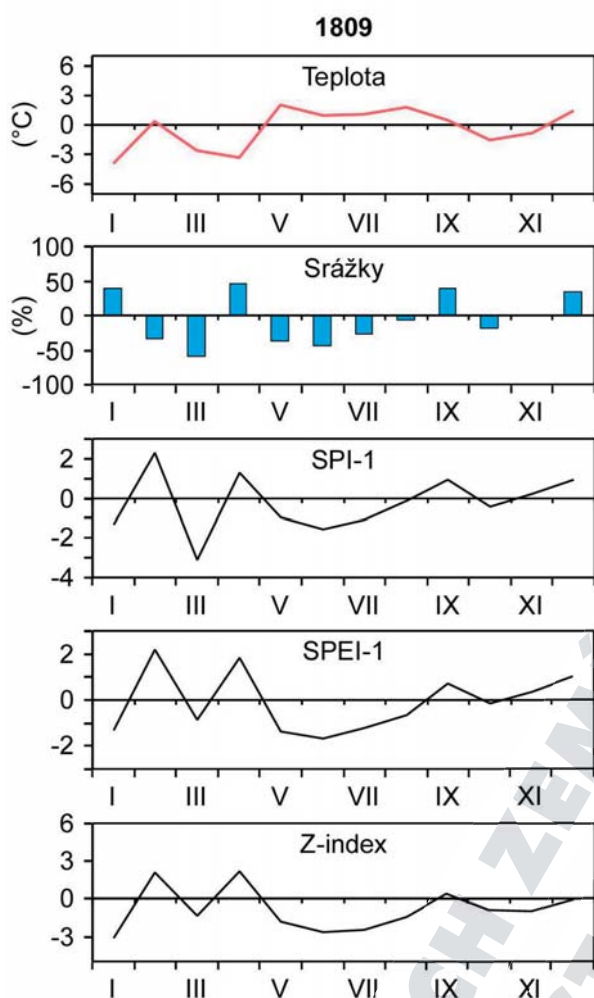
#### 4.1.5.2 Rok 1809

**Meteorologické podmínky:** Po podprůměrných srážkách v únoru a březnu<sup>42</sup> (viz velmi nízká hodnota SPI-1 v březnu) nastoupilo sucho v květnu a trvalo do konce léta (úhrn srpna se ale již blížil průměru referenčního období 1961–1990), přičemž jeho účinky byly zesíleny nadnormálními teplotami během těchto čtyř měsíců (obr. 90). Průměrné hodnoty indexů

<sup>42</sup> Protichůdný chod indexů sucha vzhledem ke srážkám v lednu a únoru souvisí s tím, že všechny použité indexy berou při výpočtu v úvahu sněh. Tedy srážky se v indexech projeví až tehdy, když sníh roztaje, tedy při průměrných měsíčních teplotách nad nulou.



sucha řadí květen–srpen roku 1809 v rámci řady českých zemí pro období 1805–2012 na 13. místo (SPI-1) a shodně na 10. místo pro SPEI-1 a Z-index.



**Obr. 90.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1809. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

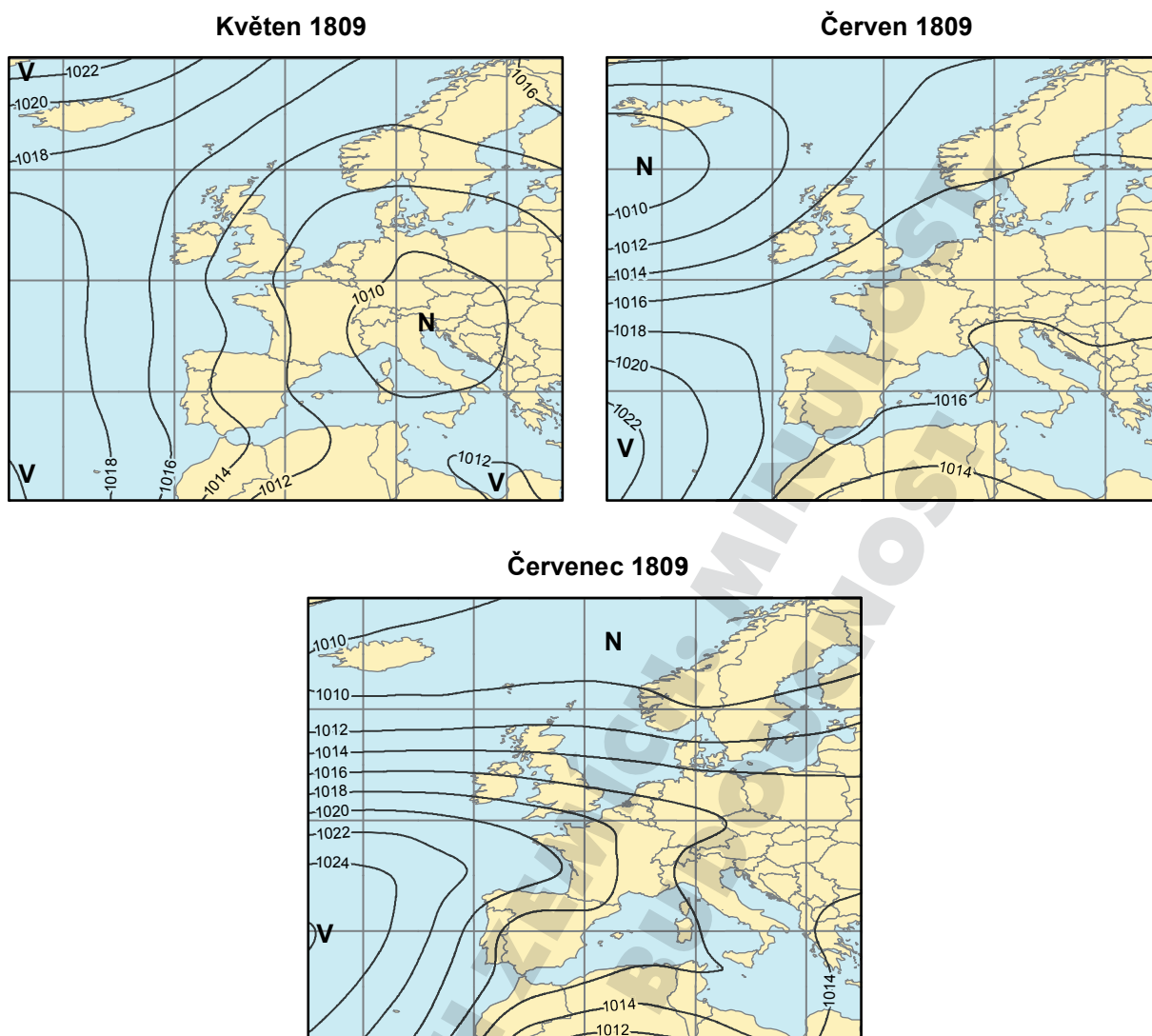
**Figure 90.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1809. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Synoptická situace:** V květnu roku 1809 se české země nacházely při severním okraji centrální tlakové níže sahající do Středozeří (obr. 91). V červnu se široké pásmo vyššího tlaku vzduchu táhlo přes celou Evropu ve směru jihozápad–severovýchod. V červenci dominovalo pásmo nízkého tlaku vzduchu nad severním Atlantikem a severní Evropou, přičemž střední Evropa byla pod vlivem hřebene vysokého tlaku vzduchu, vycházejícího z Azorské tlakové výše.

**Dopady sucha:** Podle žitenických záznamů Františka Jindřicha Jakuba Kreibycha byl rok 1809 úrodný ve vyšších polohách, zatímco v nižších polohách byl středně špatný. Na suchu v květnu doplatily hlavně jařiny (především ječmen), které zůstaly malé a na mnoha místech stěží vymetaly. Déšť v polovině června přišel již pozdě, takže úroda byla stěží průměrná. Kreibych přitom upozorňuje na rozdíly mezi suchou písčitou půdou a těžšími vlhčími půdami, kde byla úroda trochu lepší. Jen průměrná byla také úroda sena, otav, zelí a brambor. Rovněž bylo málo ovoce (*Kreibych II*). Milčický rychtář František Jan Vavák zmiňuje sucho poprvé ke dni 21. května, kdy „již veliké sucho rmoutilo lid i dobytek“. Nepršelo od 29. dubna, takže žlutly ječmeny a usychaly další plodiny a tráva. Deštíky přišly ve dnech 26. a 28. května a poté 16. června, kdy již ječmeny a další jarní plodiny velmi utrpěly suchem. V záznamu z 21. srpna pak Vavák konstatuje, že od 21. května ještě nepršelo a panují velká horka, což je ale v rozporu s jeho předchozími zmínkami o dešti, který uvedl také pro dny 1., 4., 7., 8., 9., 10. července a 11. srpna (*Vavák*, 1938, s. 140, 141, 142, 154, 155). V zápise k roku 1809 připomíná lesník František Loschan v lesním urbáři z Telče, jak moc je země vysušena z předchozího roku 1808. Pro suchu v květnu bylo žito malého vzrůstu a jařiny žlutly, ale spravily se po dešti začátkem června (*Wald-Urbarium*, fol. 151v–152r). Zápisy z Bobrové uvádějí suchý květen, kdy sprchlo až na jeho konci, a suché léto, kdy jen málokdy přišel déšť. Sklizeň ale byla dobrá, i když místy se neurodil len (*Svoboda*, 1914a). Podle zápisu ze Solnice bylo velké sucho, neboť nepršelo po 14 týdnů od roztání sněhu, kdy první déšť přišel až 13. června (*Paměti Solnice*, s. 24). Pramen z Velké Bystřice cituje suché jaro (*Kron. Urbanika a Hořínka*, s. 227).<sup>43</sup> Suché a horké léto je uváděno pro Krumvíř (*Ondrůj*, 1973) a suchý rok pro Klobouky u Brna (*Bukovanský*, 1909). Pro Dřínov se zmiňuje „prostřední“ úroda obilí (*Novákovi*, s. 97). Jako „obstojná“ byla úroda obilí hodnocena Janem Čupíkem z Olešnice (okres Blansko), zatímco sena bylo málo (*Čupík*, s. 19). K 30. červnu je zmiňována velká drahota kvůli suchu v Brně (*Forgatsch*, s. 274). V dalších dobových pramenech je uváděna především velká drahota a vysoké ceny obilnin, ale bez zmínek o suchu.<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Záznam v kronice je přiřazen již k roku 1808, ale podle popisu dalších událostí patří podle editora kroniky až k roku následujícímu (*Roubic*, 1987).

<sup>44</sup> Tragické následky politických a vojenských událostí za třetí a čtvrté francouzské války vyvolaly i na Moravě řadu negativních důsledků. Zejména pobyt francouzských vojsk



**Obr. 91.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen a červenec roku 1809 v českých zemích

**Figure 91.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June and July 1809 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

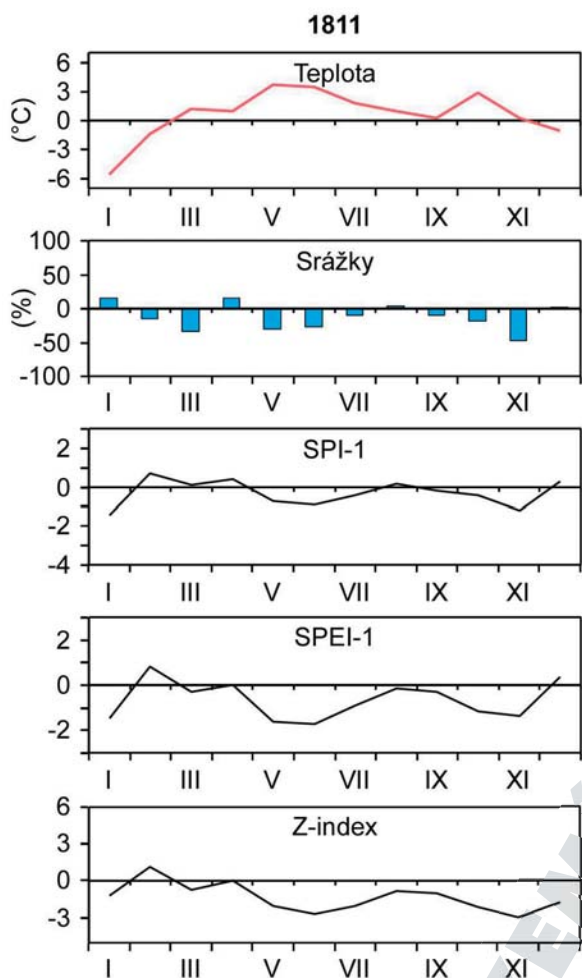
#### 4.1.5.3 Rok 1811

**Meteorologické podmínky:** V roce 1811 byl výraznější pokles srážek zaznamenán v březnu, květnu–červnu a v listopadu, přičemž pod hodnotu průměru období 1961–1900 klesly srážky ještě v dalších čtyřech měsících (obr. 92). Díky nadnormálním tep-

za čtvrté francouzsko-rakouské války (v létě 1809) způsobil celkové materiální vyčerpání obyvatelstva. Zpustošení země, rekvizice, výpalné a další válečné škody přinesly drahotu a hladomor. Válečné události zatížily městské i venkovské rozpočty a výrazně zvýšily celkové zadlužení země (Dřimal, Peša, eds., 1969; Sejbal, 1997). Není proto divu, že Jiří Vrbaš z Písečného konstatuje ve svých pamětech k roku 1809 „že sme ty hrozné metle zasloužili, kterýma nás Pán Bůh trestati ráčí, tj. vojnu, drahotou a na mnoha místech horké nemoci tohoto roku následujou a nejvíce od vojáků prošlí.“ (Vrbaš, s. 49–50).

lotám vzduchu v květnu–červenci byla tato suchá perioda vyjádřena lépe v hodnotách SPEI-1 (4. místo) a Z-indexu (7. místo) než pro SPI-1, pro kterou to bylo až 28. místo. Další výraznější suchá epizoda připadla na říjen–listopad, kdy podle hodnoty Z-indexu bylo období od května do prosince čtvrtým nejsušším v řadě českých zemí v letech 1805–2012, zatímco podle SPEI-1 se jednalo o 12. místo a podle SPI-1 dokonce až o 24. místo.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1811 se střední Evropa nacházela v nevýrazném tlakovém poli, zatímco západně od Evropy nad Atlantikem byl výrazně vyjádřen poledníkový gradient mezi Azorskou výší a Islandskou níží (obr. 93). Ten zůstal zachován také v červnu, kdy se střední Evropa nacházela



**Obř. 92.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1811. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 92.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1811. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

v nevýrazné brázdě nízkého tlaku vzduchu. V listopadu byla studovaná evropsko-atlantská oblast rozdělena na pásmo s nižším tlakem vzduchu v její severní části a s nižším v její jižní části.

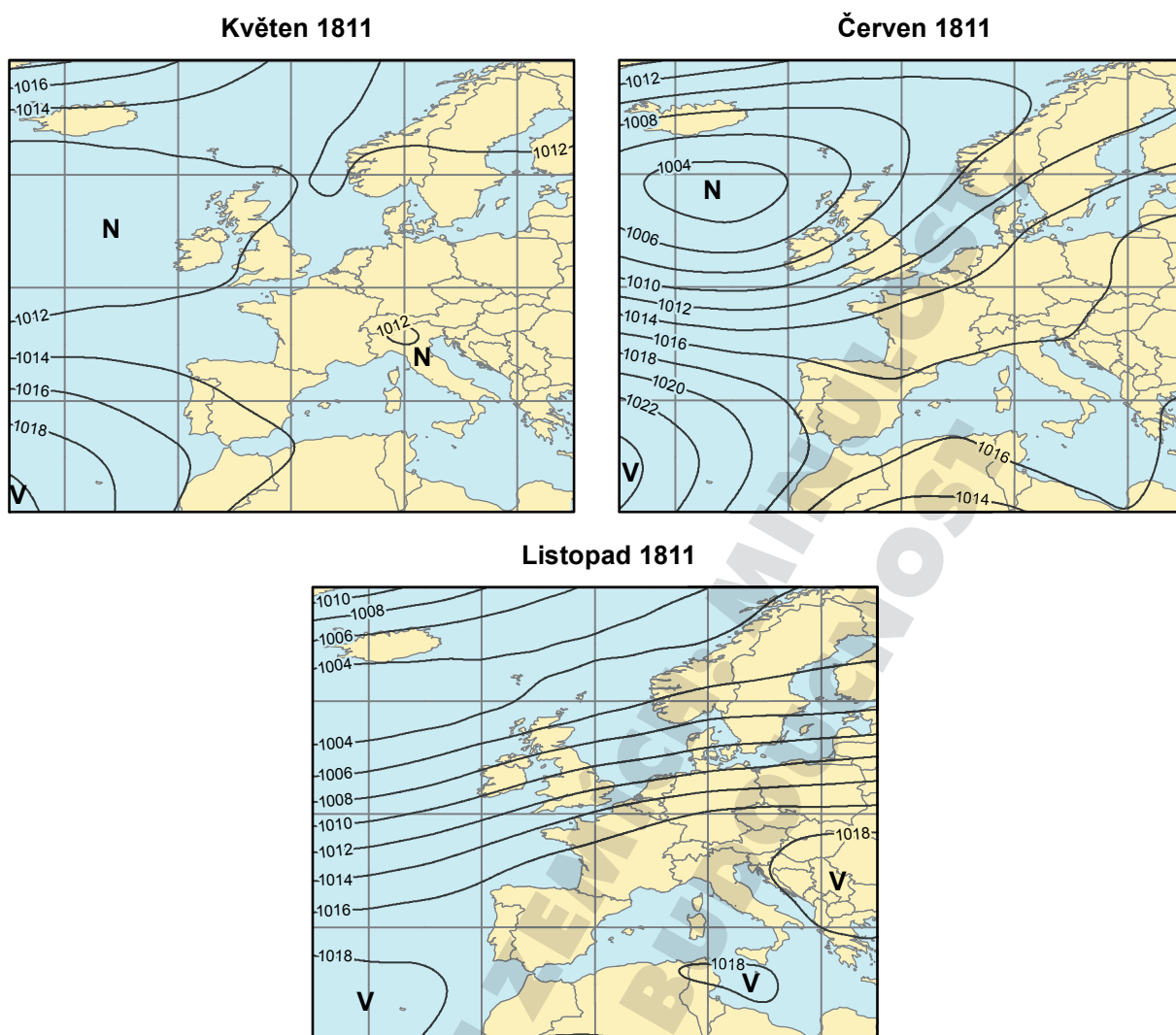
**Dopady sucha:** Rok 1811 hodnotil žitenický farář František Jindřich Jakub Kreibych jako horší než průměrný. Neobyčejné sucho a horko v květnu pokračovalo také v letních měsících. Ozimy, které v březnu a zejména v dubnu dobře vyrostly, sice suchu zčásti odolávaly, ale byly malého vzrůstu. Ječmen mnohde vůbec nevymetal. Mezi Doksany a Velvary, kde ječmen, hrách, čočka a vikev nahrazovaly nedostatek sena, byly „*schon anfangs Juny von der*

*Hitze vebrannt und fast ganz verdorret*“.<sup>45</sup> Pro horko a sucho začaly žně již 1. července, ale úroda obilí byla stěží průměrná (ozimy byly lepší než jařiny). Neurodil se hrách a jiné luštěniny, málo bylo sena a otav. Začátkem srpna sice zapršelo, ale sucho pokračovalo až do konce září. Ovocné stromy byly napadeny housenkami a ovoce opadlo suchem. Málo bylo zelí a řepy, trochu více bylo brambor a střední byla úroda lnu. Méně bylo také vinných hroznů, ale víno bylo výborné kvality (*Kreibych III*). František Jan Vavák konstatuje ve svých zápisech z Milčic, že již 15. května, kdy místy sprchlo, začínalo být veliké sucho. Časně začaly žně (v okolí Prahy již 26. června), kdy si Vavák posteskl, že „*žita jsou krátká i pšenice, ječmeny řídké a vše malého klasu*“, kdy sedláci sklidili polovinu toho, co v předchozím průměrném roce 1810. Poskrovnu bylo také hrachu, vikve, čočky, lnu a konopí. Po bouřkách začátkem června Vavák konstatuje, že nepršelo od 6. července a velké sucho panovalo ještě koncem srpna. K dešti dne 21. září pak dodává, že nepršelo od 4. srpna. Vyschly menší potoky a Labe se dalo přejíždět vozy nebo přecházet pěšky. Nouze o vodu způsobila, že se jezdilo mlít 2–3 míle [asi 15–23 km]<sup>46</sup> daleko a mletí bylo drahé. Přemnožily se housenky, které nadělaly škody na stromech. Nebylo proto divu, že si Vavák posteskl: „*Bože, rač tu suchotu mile zapuditi a nám pro svou dobrotu vláhu uděliti!*“ (Vavák, 2009, s. 82, 83, 84, 93, 96, 97, 99, 102, 120). Farář Šimon Hausner označil na základě svých denních pozorování z Buchlovic rok 1811 jako velmi suchý. V ročním shrnutí cituje dva nejmenší deště v květnu, jeden silný v červnu a jeden ještě silnější v červenci. V srpnu několik lijákových smylo prach, ale v září bylo opět sucho (Hausner, s. 210). Tuto charakteristiku lze doplnit ještě informací o suchém dubnu a velmi suchém červnu, kdy několik dešťů nevyvážilo výjimečná horka. V červenci sprchlo jen v šesti dnech a v srpnu dokonce ve třech. Sucho pokračovalo až do 20. září a poté opět v říjnu a listopadu (až na několik dešťů na jeho konci) (ibidem, s. 194, 198–203, 205, 207). Sucho zapříčinilo velmi špatnou úrodu všech druhů obilí, luštěnin, zelí a brambor. Málo bylo také ovoce, ale urodilo se mnoho výborného vína; vinné hrozny se začaly sbírat již 17. září (ibidem, s. 210–211). Velmi teplý a místy velmi suchý květen cituje kronika z Drahotuší. Neurodily se jařiny a celé léto málo pršelo (*Kron. Konorzova*, s. 304–305). V Opavě ne-

<sup>45</sup> V českém překladu: již začátkem června vypáleny horkem a téměř zcela uschle.

<sup>46</sup> Viz poznámka 28.





**Obř. 93.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen a listopad roku 1811 v českých zemích

**Figure 93.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June and November 1811 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

pršelo od konce dubna do 21. září, takže byl velký nedostatek vody. Lidé se snažili modlitbami a procesími vyprosit si déšť (Kreuzinger, 1862). Tak dne 3. června se konalo prosebné procesí v Boskovicích a pršelo hned druhý den. Již 3. srpna se zde sklízely otavy, zatímco jiné plodiny jako hrách nebo zelí se kvůli suchu teprve poprvé okopávaly (Kron. Kučero-va, fol. 84r). Pro neobyčejné sucho se konalo prosebné procesí za déšť dne 11. června z Počapel do Hrdel (okres Litoměřice). Žně začaly již 26. června, ale bylo málo obilí a žádná píce. Pro nízký stav vody se dalo pohodlně jezdit přes Labe (Kaněra, 1900). Zápisy Františka Loschana v telčském lesním urbáři zmiňují velmi suchý červenec, kdy uschly jařiny a žně začaly již 15. července. Málo vyrostl ječmen a oves. Velké sucho pokračovalo i v srpnu a v září (Wald-Urbarium, fol. 153v–155v). Neúroda obilí pro hroz-

né sucho, kdy obilí „hned po květu uschlo“, uvádí zápis z Dřínova (Novákovi, s. 97). Podle *Knihy cechu tkalcovského* se v okolí Mnichova Hradiště sklízelo obilí již před 4. červencem, ale úroda byla špatná. Od 7. července do 4. srpna pak nepršelo, což při horkém počasí vedlo k zasychání plodin. K odvrácení této hrozby bylo organizováno prosebné procesí (Šimon, 1934–35).<sup>47</sup> Pro Hostín je zmiňováno velké sucho přede žněmi, kdy obilí zaschlo a bylo málo žita, zatímco úroda chmele byla průměrná (Tadroví, s. 28). V Litoměřicích byly ukončeny žně koncem

<sup>47</sup> K prosebnému procesí z Mnichova Hradiště k soše sv. Vojtěcha pisař mimo jiné poznamenal: „... jak se lidé scházet začali, tak se hned mračna chystala a než dvě hodiny minuly, polehoučku začalo pršet a po celou noc pršelo, což se stalo na přímělu sv. Vojtěcha, poněvadž jindy se dost pěkně mračilo a přece jsme žádný déšť nedostali.“ (Šimon, 1934–35).

července a od začátku srpna nepršelo až do 2. října (Schück, s. 275). Velké sucho a neúroda, kdy za celé léto přišel do žní jen jeden déšť, takže málo vzrostlé obilí se muselo trhat, zmiňují zápisky ze Skuhrova nad Bělou (Šronský et Dusílek, s. 114). V Olešnici začaly žně 26. července a do 10. srpna byla většina obilí sklizena. Pro velké sucho uschly všechny jařiny, stejně jako len. Pro nedostatek píce byl laciný dobytek (Čupík, s. 25). Pramen z Velké Bystrice cituje velké sucho, kdy od 24. dubna do 21. září pouze třikrát „tak jako mlha přišlo“. Obilí se neurodilo a byl nedostatek vody, že se přidělovala<sup>48</sup> nebo se musela přímo kupovat. Daleko se jezdilo za mletím obilí a na cestách se zvedala oblaka prachu.<sup>49</sup> Panovala velká bída a drahota (Kron. Urbanika a Hořínka, s. 232–234). Na Vsetínsku nepršelo po celé léto a vyschly potoky. Projevoval se nedostatek vody, která se hledala na míle daleko. Teprve dne 29. září přišlo tak, že vodní mlýny mohly být opět uvedeny do provozu (Václavěk, 1881). Dne 13. září kontroloval Peter Forgatsch úrodu hroznů, kterých bylo málo, ale dobrých. O tři dny později ve svých zápisech z Brna cituje nedostatek vody kvůli vyschlým studnám a potokům (Forgatsch, s. 296). V Novém Městě na Moravě byly časné žně, ale žita bylo velmi málo a ovsu obzvlášť, takže rostla drahota (Novoměstské kroniky II, s. 49). Vincenz Fedrzel uvádí pro Bystré (okres Svítavy) nedostatek píce kvůli suchu, což způsobilo nízké ceny dobytka. Aby dobytek hladu nepošel, dávali mu hospodáři listí ze stromů i chvojí (Fedrzel, s. 93–94). Špatná úroda obilí a ostatních plodin kvůli velkému suchu je citována v prameni z Písečného (okres Žďár nad Sázavou; Vrbas, s. 51). Prostřední úroda a výborné víno je zmíněno v Sobůlkách (Fintajsl, 1914). Velké sucho a neúroda je uváděna pro Beroun (Vávra, 1899), Frýdlant (Ressel, 1900) a pro Rožnov pod Radhoštěm (Zápisky rod. Kantorků, III, s. 208). Velkou drahotu citují prameny pro Řeňče (Mašek, s. 35), Bystřici pod Hostýnem (Jančík, s. 54) a Rýmařov (Berger, 1909). Bez bližších detailů je zmíněno sucho také pro Klobouky u Brna (Bukovanský, 1909) a pro Pozořice (Ličman, 1921). Velké množství housenek uškodilo ovocným stromům (Pražák, s. V/5).

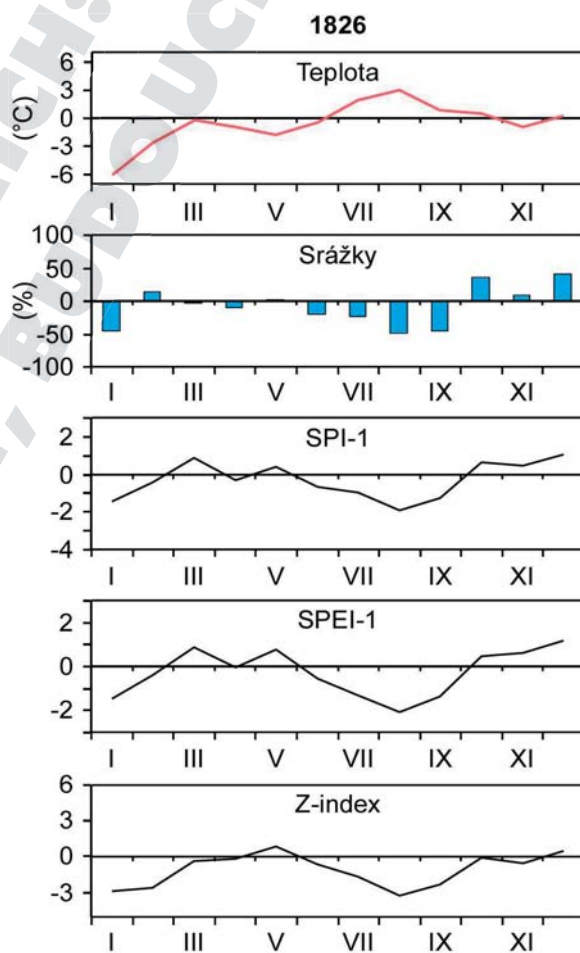
<sup>48</sup> Pramen přímo uvádí, že „taky nesměl si vzít, co by potřeboval vody, jenom tolik, co bylo odměřené od vrchnosti“ (Kron. Urbanika a Hořínka, s. 234).

<sup>49</sup> „Prachu na cestách bylo až po kolena a tak od slunce horké, jak žižlavý uhlí, že nemohl po bosky obstát. Kde kdo oral nebo jel, za každém se kouř válel jak z bečky, to byl plný svět prachu, dobytek se toho prachu nahltal a tak zanezdřavěl, že od toho onemocněl a scípal. V mnoha dědinách nezůstalo ani jediné krávy, všechny vypadaly [pošly].“ (Kron. Urbanika a Hořínka, s. 234).

Ve Varnsdorfu je konstatována neúroda ovoce (Paměti Varnsdorfu, s. 46). Enormní drahota souvisela patrně také se státním úpadkem z 20. února a s patentem z 15. března, kterým byla snížena na pětinu cena bankocetlí, stejně jako cena měděných mincí (Mackerle, 1958).

#### 4.1.5.4 Rok 1826

**Meteorologické podmínky:** V roce 1826 se souvisele období podprůměrných srážek vyskytlo od června do září s nejvýraznějším poklesem v srpnu a v září (obr. 94). Výrazně podprůměrné byly také lednové úhrny. Uvedené suché období, intenzifikované zejména nadprůměrnými teplotami v červenci a srpnu, se výrazně projevilo v hodnotách všech tří indexů sucha. Zatímco pro SPI-1 a SPEI-1 se jednalo shodně o šesté nejsušší období června–září z let 1805–2012, hodnotami Z-indexu zaujalo 11. místo.



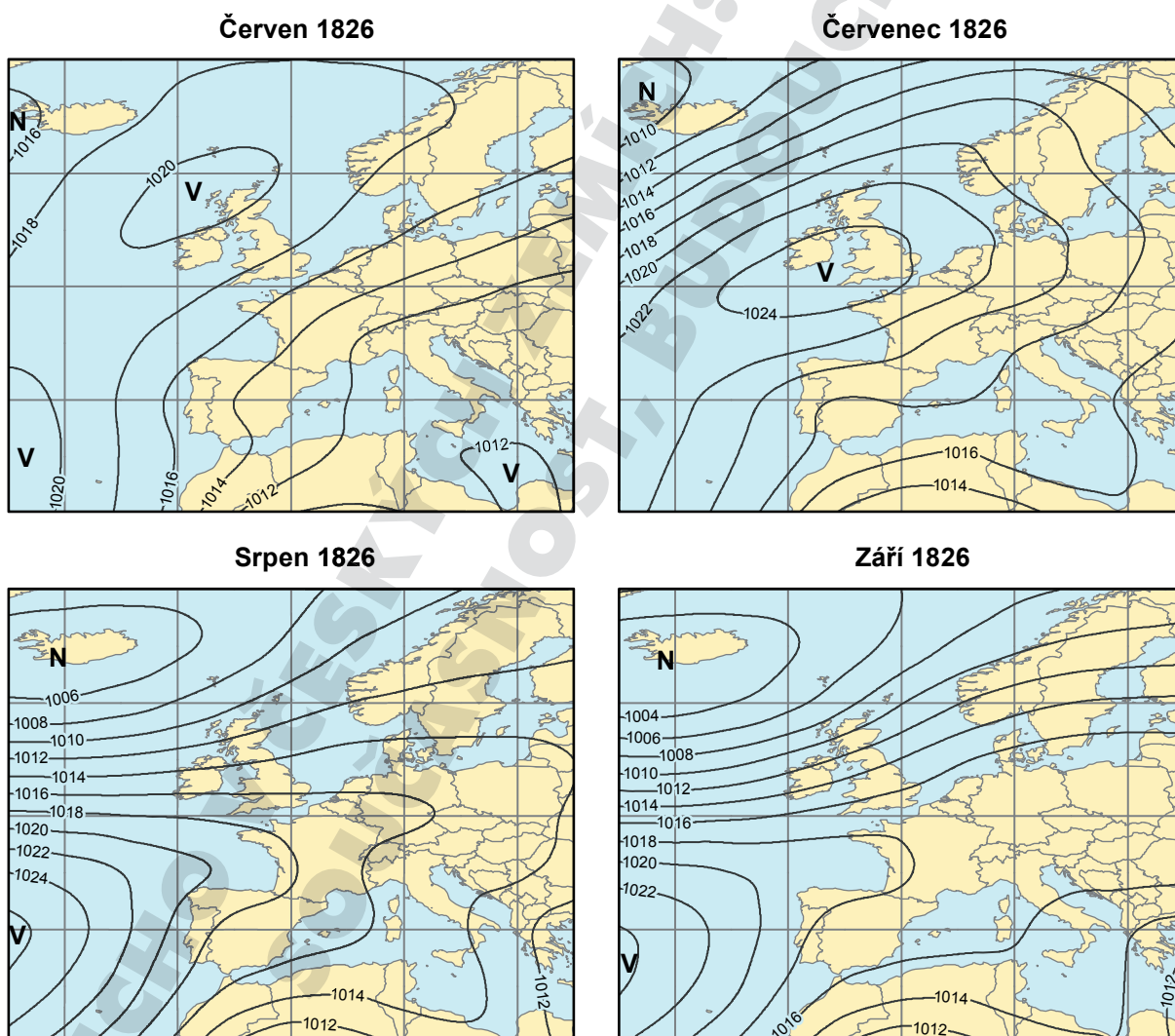
**Obr. 94.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1826. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 94.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1826. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Synoptická situace:** V červnu roku 1826 se střední Evropa nacházela v pásmu mezi anticyklonou se středem severozápadně od britských ostrovů a nízkým tlakem nad Tureckem a Černým mořem ve výrazném severovýchodním proudění (obr. 95). V červenci již byly naše země pod vlivem oblasti vysokého tlaku vzduchu souvisejícího s anticyklonou nad britskými ostrovy. V srpnu a září byla západní a střední Evropa pod vlivem výrazného hřebene vysokého tlaku vzduchu vycházejícího z Azorské tlakové výše.

**Dopady sucha:** Zápisky Jana Lůžka z Hřivic citují velmi suchý rok, kdy bylo málo žita a jarního ječmene, takže hned po žních rostla cena obilí (Lůžek, s. 119). V Bystrém bylo přes velmi teplé a suché léto pěkné obilí, ale nedostatek krmiva (Fedrzel, s. 94). Paměti Josefa Dlaska z Dolánek u Turnova charakte-

rizují rok 1826 jako „více suchý nežli mokry“ s hrozným teplem a dostatkem ozimů (Dlask, s. 36–37). V Hostíně se neurodil pro velké sucho hrách, vikev, oves a brambory (Tadrovi, s. 50). V Písečném byl zvláště špatný len a málo bylo také ostatních plodin (Vrbas, s. 58). Proso bylo toho roku napadeno „červí“, takže jeho neúroda trvala po tři roky (Novotný, s. 169). V Řečích byla kromě ječmene hojná úroda obilí (Mašek, s. 44). Neúroda pro sucho se uvádí pro Dřínov (Šváb, 1914). V Novém Městě na Moravě se po sněhu začátkem května rychle oteplilo, takže za osm dnů se selo; rok byl však velmi suchý, takže bylo málo jarního obilí a ovsy se oproti jiným letům urodila polovina, ale byla hojnost žita na mandele. Málo bylo také lnu (Novoměstské kroniky II, s. 73, 76). Brněnský augustinián Lukáš Kraus konstatuje ve svých análech k 31. srpnu, že



**Obr. 95.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce červen, červenec, srpen a září roku 1826 v českých zemích

**Figure 95.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of June, July, August and September 1826 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands



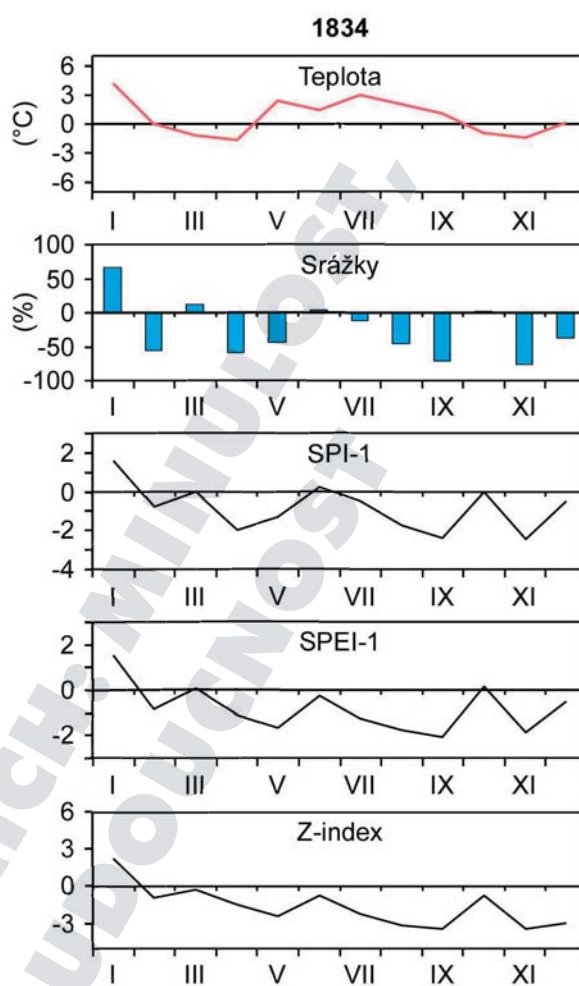
kvůli dlouho chybějícímu dešti a každodenním horkům se nemohly dobře urodit brambory, zelí či kukuřice, a že je ohroženo zahradní ovoce. Podle něj hrozí dražota a dokonce hladomor mezi chudými (Kraus, fol. 16r). V dalším zápise ke dni 24. září hovoří o zcela suché zemi, takže se nedá sít (ibidem, fol. 19r). V Ivančicích bylo mnoho housenek a málo ovoce (Kratochvíl, 1906). *Pamětní kniha Bavor* cituje rok 1826 jako průměrný pro ovoce a víno (Drössler, 1933).

#### 4.1.5.5 Rok 1834

**Meteorologické podmínky:** Rok 1834 byl charakterizován výrazně podprůměrnými srážkami především v únoru, dubnu–květnu, srpnu–září a listopadu–prosinci, přičemž nadprůměrné teploty trvaly od května do září (obr. 96). Pro období od dubna do prosince se jednalo o dosud nejextrémnější sucho za léta 1805–2012 podle všech tří indexů sucha. Suchá epizoda července–září byla nejextrémnější podle SPEI-1, zatímco podle Z-indexu šlo o druhé a podle SPI-1 o třetí největší sucho.

**Synoptická situace:** V dubnu roku 1834 se střední Evropa nacházela ve východní části rozsáhlé anticyklony s jádrem v oblasti Biskajského zálivu (obr. 97). V následujícím měsíci byla situace analogická, ale anticyklona byla posunuta do prostoru nad Irsko a západně od něj. V srpnu se jednalo o rozsáhlý hřeben vysokého tlaku vzduchu táhnoucí se z Azorské anticyklony. V září ležela střední Evropa v nevýrazném hřebeni vysokého tlaku vzduchu rozkládajícím se přes větší část kontinentu. V listopadu dominovala tlaková výše na severozápad od Pyrenejského poloostrova a z ní se táhlo pásmo vyššího tlaku směrem na východ Evropy.

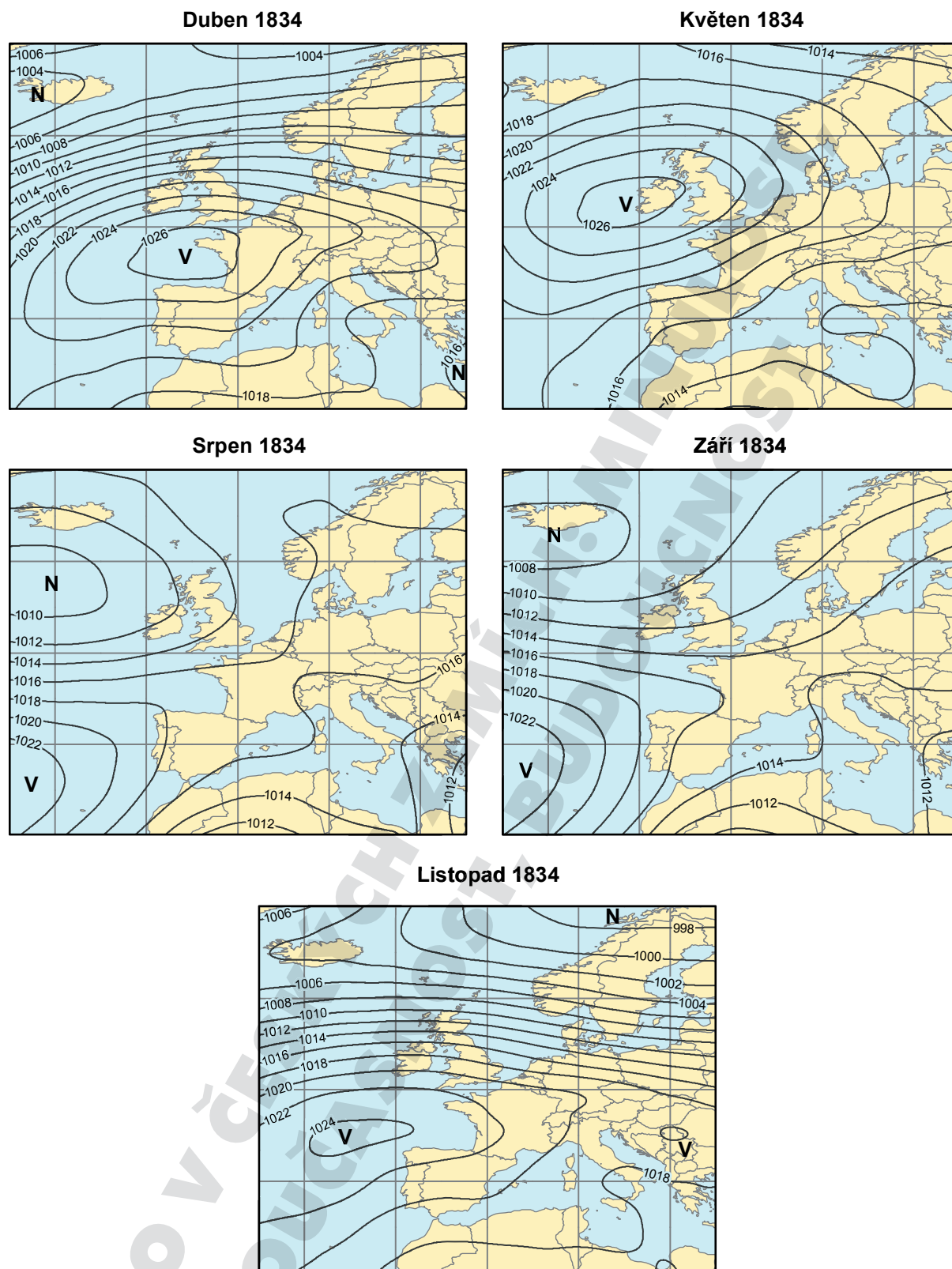
**Dopady sucha:** Shrnující popis sucha roku 1834 v Čechách podává Václav Krolmus: „*Jaro suché i léto, málo vláhy, tudý málo píce, sena i otavy, málo slámy i luskoviny atd. ... Okolo Prahy, Berouna, Slaného atd. jařiny poschly, jen na mokřých polích měli lidé úrodu. Zle bylo v létě o melivo. Potoka takřka vyschly a na řekách Mži, Labi a Vltavě atd. málo vody. Pod jezem každým suchou nohou malé dítě přešlo. Toho roku byla úroda na víně mělnickém jenž tak lahodné bylo jako roku 1811. ... Voda byla prodávána vrchností mlynářům.*“ (Krolmus, 1845). V Řeňčích po časném setí v první dekádě března nepršelo od Velikonoc (tj. 30. března) do 11. června a poté zase až 1. srpna. Hrozné sucho zapříčinilo neúrodu, kdy obilí nevymetalo a muselo se trhat. Sucho trvalo od jara



**Obr. 96.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1834. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 96.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1834. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

přes léto až do podzimu, takže „*se muselo na zimu sít zrovna jako do spáleníště do rumu*“. Pršet začalo až před 16. říjnem (Mašek, s. 53–54). Sucho od jara do podzimu je zmiňováno také pramenem z Vamberka. Pokud mezitím pršelo, bylo to tak, že „*ani zem o tom nevěděla*“. Špatná byla úroda obilí, které dostalo jen jeden hojný déšť. Pro nedostatek vody byly problémy s mletím (*Lidový kronikář*, s. 119–120). Paměti Josefa Dlaska z Dolánek citují suché jaro, kdy dlouho nerostla tráva. Sucho uspíšilo žně, takže do 2. srpna bylo obilí sklizeno. Časté byly požáry a silné bouřky. Pro nízký stav vody na Jizeře, Labi a dalších řekách, pokračující i v roce 1835, stály vodní mlýny (Dlask, s. 50–53). Podle záznamů Václava Křečka z Dobrušky panovalo sucho od jara,



**Obr. 97.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce duben, květen, srpen, září a listopad roku 1834 v českých zemích

**Figure 97.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of April, May, August, September and November 1834 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

ale žně, které proběhly od 9. července do 7. srpna, byly dobré na zrno, ale špatné na slámu. Zmiňována jsou každodenní procesí po rynku k Panně Marii k vyprošení deště, který přišel 10. srpna. Pořádně pršelo teprve dne 16. října. Mnohde uschly otavy a „meze na polích byly, jako by je vypálil“. Pro hrozné sucho se urodilo málo brambor a opadala jablka, zatímco švestek byl dostatek. Vyschly studně a potoky, v nichž dělali lidé jámy, aby se do nich natáhla voda (Křeček, s. 36–37). V Jakubovicích nepršelo skoro čtyři měsíce. Když trochu sprchlo, na zemi to nebylo patrné. Sucho s panujícím horkým počasím bylo příčinou neúrody (Kolísková, s. 172). V Chrástu (okres Plzeň-město) zapříčinilo sucho od jara do žni špatnou úrodu obilí (Chudáček, 1928). V Mašově<sup>50</sup> byla velká letní sucha a horka příčinou neúrody, zejména brambor, zelí a řepy. Pro sucho nebyla žádná pastva pro dobytek (*Pamětní kniha mašovská*, s. 68; Vítek, s. 31). V Litoměřicích panovala v létě a až do 22. září velká horka, která byla spolu se suchem příčinou nedostatku krmiva. Dobře se ale urodilo vína, jakého nebylo od roku 1811. Dne 20. září bylo v Labi tak málo vody, že se mohlo přejít suchou nohou přes střední rameno řeky (Katzerowsky, 1895). Neobyčejně suché a horké léto zmiňuje ve svých zápisech z Fleků u Nýrska *Georg Mayer*. Od poloviny dubna nepršelo nebo byly deště tak slabé, že sotva smočily prach. Průměrná byla úroda obilí a množství sena, ale málo bylo slámy a otav. Pro nedostatek krmiva se lacino prodával dobytek (Blau, 1908). Pro Klášter Hradiště nad Jizerou je uváděno teplé a suché jaro a léto a velký nedostatek píce pro dobytek (Šimon, 1927). Ve Varnsdorfu jsou konstatována horka již od dubna, což se ve spojení se suchem projevilo nedostatkem vody (vyschlé studny) a lesními požáry (*Paměti Varnsdorfu*, s. 146). Také Tille (1905) zmiňuje pro Mimoň velká horka a vyschlé studny. Suchý rok a prostřední úrodu uvádí Jan Lůžek pro Hřivice (Lůžek, s. 121). Podle *Paměti Chlumčan* (s. 18) bylo kvůli suchu málo obilí a píce pro dobytek. V Hlinsku je zmiňováno sucho na podzim jen s poloviční úrodou brambor, zelí a špenátu (*Švandovy paměti*, s. 63, 65). V Novém Městě na Moravě bylo příjemné jarní setí, protože málo pršelo. Celé léto však bylo suché, takže mnohde obilí uschlo. Všeobecně začaly žně dne 25. července, kdy už žito vypadávalo z klasů. Málo srážek způsobilo malou úrodu obilí (i když na zrno bylo pěkné), lnu i brambor. Suchý byl také podzim, takže nevězla zasetá žita a byla stále nouze o vodu až do sněžení před Vánoci (*Novoměstské kro-*

*niky II*, s. 103, 106). V Bystrém bylo přes suché léto obilí na zrno dobré, ale panoval nedostatek píce (Fedrzal, s. 94). V Herálci (okres Žďár nad Sázavou) nepršelo od zasetí po celé léto. Déšť přišel až 10. srpna a pak až po 16. říjnu (Svoboda, 1914b). Pramen z Bystřice nad Perštejnem popsal rok jako velmi suchý a teplý, kvůli čemuž bylo málo obilí, ale pěkného, prodávaného za vysoké ceny. Dobře se urodily vinné hrozny, z nichž bylo velmi dobré víno (*Kron. Bystřice n. P.*, s. 86). V Sebranicích (okres Blansko) začaly žně po 29. červnu, ale pro velké sucho obilí místo uzrání uschlo. Málo bylo brambor a řepy. Zaseté ozimy vzházely na podzim jen málo a řídko, vyschly „studnice při horách“ a „zem [byla] vyschlá a roztrhaná od sucha“ (*Kron. Sebranic*, fol. 136r). Horníček (1925) se zmiňuje o velmi suchém roce 1834 v Tlumačově, kdy od 25. března pořádně nepršelo „co by země na 1/4 střevice namokla, takže byl nedostatek vody.“ Kvůli nedostatku ovsu, sena a otav museli hospodáři rozprodávat dobytek (ibidem). V Třebeticích nepršelo v dubnu a v květnu, jehož koncem přišly mrazy. Pramen dále konstatuje, že „bylo sucho od ledna měsíce, nenamoklo celý leto, jenem tak do žni párkrát pršelo, ale maličko, tak ale na 2 prsty.“ Špatná byla úroda obilí, prostřední konopí a vikve se neurodily vůbec. Málo bylo sena, otavy žádné a hrách a řepa uschly úplně. Na podzim se také za sucha selo (*Kron. rod. Fuksovy*, s. 67–68). V Bavorech byl rok 1834 charakterizován jako suchý a „horký“. Velké sucho způsobilo neúrodu obilí, zeleniny a okopanin. Panoval nedostatek mouky a krmiva, kvůli kterému se prodával nebo zabíjel dobytek (Drössler, 1933). *Matrika fary Moravské Ostravy* uvádí v souvislosti se suchem nutnost výrazného snížení stavů dobytka pro zoufalý nedostatek krmiva (Stibor, 1997). Suché a horké léto je citováno pro Krumvíř (Ondrůj, 1973). *Kronika Vítky Kocourka z Rozstání* (okres Prostějov) zmiňuje velké sucho a požár v době žni (Jančík, 1947). Pro velkou neúrodu roku 1834 si museli hospodáři v Kašavě vypůjčit obilí na příští rok pro setí (Hurt, 1973). Stručné konstatování sucha s případnými důsledky v podobě nedostatku vody nebo špatné úrody lze dále nalézt například pro Hevlín (Vogel, 2000), Chropyni (Ugwitz, 1902), Ivaň (okres Prostějov; Peřinka, 1930), Kobylí (Franc, 2000), Královopolské Vážany (Ličman, 1921), Malín<sup>51</sup> (Ledr, 2002), Rosice (okres Brno-venkov; Kratochvíl, 1904), Popovice (ibidem), Slavkov u Brna (Ličman, 1921), Střítež nad Bečvou (Dobeš, 1945), Uherčice (okres Břeclav; Mlateček, Mlatečková, 2002), Valašské Klobouky

<sup>50</sup> Dnes část obce Turnov.

<sup>51</sup> Dnes část obce Kutná Hora.



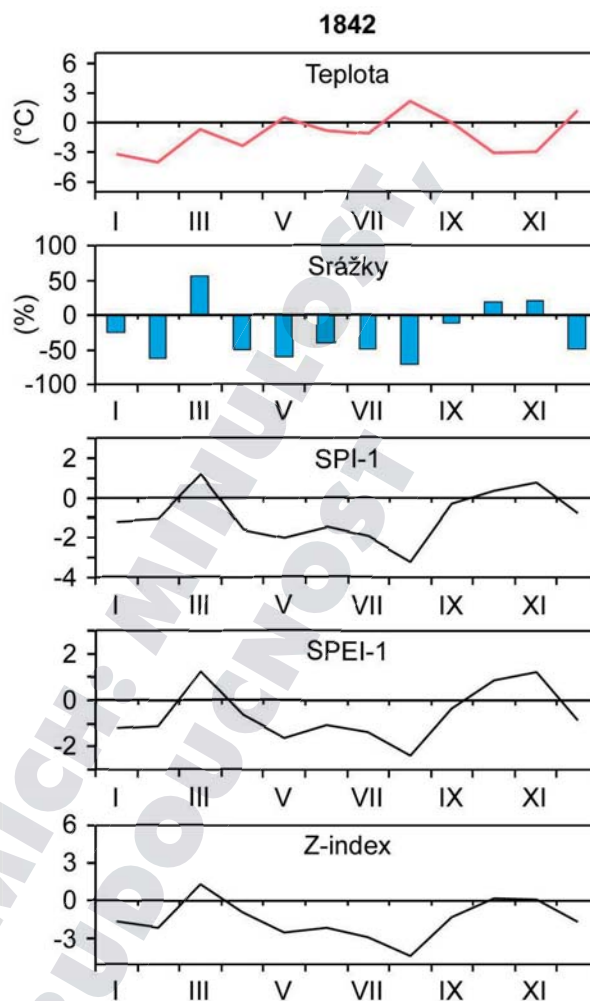
(Peřinka, 1905b), Všemínu (Peřinka, 1907), Vratíkov (Knies, 1904), Vřesovice (okres Prostějov; Opletal, 1933), Vysoké Pole (Peřinka, 1905b), Záhlnice (Kvasnička, 1929) či Zálesí (Zuber et al., 1966).

#### 4.1.5.6 Rok 1842

**Meteorologické podmínky:** Po podprůměrných srážkách ledna a února a nadprůměrných úhrnech v březnu nastoupilo suché období s podnormálními úhrny srážek od dubna do září (obr. 98). Srážkově chudší byl také prosinec. Zvláště výrazný pokles srážek se projevil především v období května–srpna, což je patrné i z průběhu hodnot tří indexů sucha. Kulminace sucha v srpnu byla zesílena i nadprůměrnými teplotami tohoto měsíce, zatímco ostatní měsíce s výjimkou května byly více nebo méně pod průměrem referenčního období. Suchá epizoda dubna–září roku 1842 byla v kontextu řady českých zemí pro období 1805–2012 nejextrémnější podle SPI-1, zatímco v případě Z-indexu se jednalo o třetí a podle SPEI-1 o čtvrté největší suchu.

**Synoptické podmínky:** V dubnu 1842 se střední Evropa nacházela v přechodném pásmu mezi oblastmi nižšího tlaku vzduchu ve vyšších a vyššího tlaku v nižších zeměpisných šířkách (obr. 99). V květnu ležely české země na jihovýchodním okraji mohutné anticyklony se středem v severní části britských ostrovů. V červnu se naše území nacházelo na okraji tlakové výše se středem nad východní Evropou. V červenci se jednalo o vliv hřebene vysokého tlaku vzduchu zasahujícího do střední Evropy z Azorské tlakové výše. Analogická situace panovala také v srpnu.

**Dopady sucha:** Rok 1842 je ze všech analyzovaných extrémních roků reprezentován největším počtem dokumentárních pramenů. Podrobný popis událostí z roku 1842 podává Anton Pejšek ze Zlončic, kde nepršelo od jara do 15. května. Dne 22. května se konalo prosebné procesí za déšť: „*Bůh nebeskej račiž se smilovat, aby brzký deštiček přišel, neboť všechno suchem vadne.*“ Dne 4. června přišel první déšť a namoklo na jeden coul [asi 2,6 cm]<sup>52</sup>. Zelenina ale zaschla, byly špatné ječmeny a pšenice, žádná tráva a skot byl krměn vikví. K datu 16. června uvádí Anton Pejšek velmi chladné počasí; sucho stále pokračovalo, uschlo obilí a vzrostla jeho cena (Pejšek, s. III/35). Dne 14. června vypukl požár, ale ve studnách bylo tak málo vody, že mu lidé museli jen při-

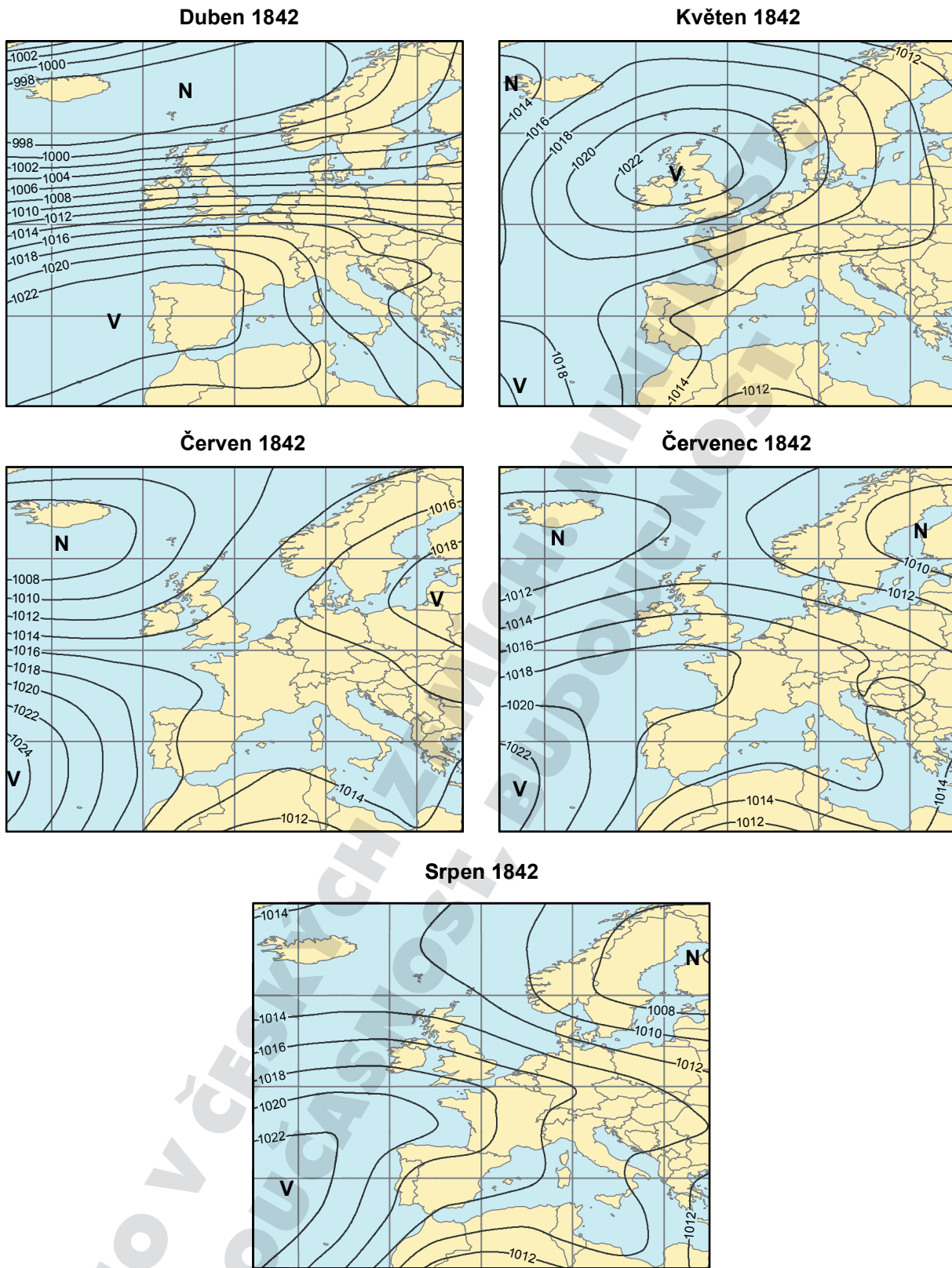


**Obr. 98.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1842. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 98.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1842. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

hlížet bez možnosti hasit. Teprve 2. srpna namoklo na „malou brázdečku“, ale od jara nepršelo víc. Žně byly velmi špatné, nebyla žádná vikev, hrách, čočka či brambory. Poté dne 17. září namoklo na tři čtvrtě brázdy a 2. října na celou brázdu, takže podzimní setí bylo pěkné (ibidem, s. III/37–III/38). Podle zápisů Václava Křečka z Dobrušky vyschla půda a studny, byla nouze o mletí (jezdilo se 5 mil, tj. asi 38 km do mlýna) a málo chleba. Někdy museli sedláci jezdit s fúrou obilí celý týden a nemohli nikde semlet. Na Opočně (okres Rychnov nad Kněžnou) byli lidé nuceni si vodu kupovat. Na horách sice pršelo, ale skoro nic nespadlo okolo Dobrušky (až na dva deště ve dnech 1. a 7. srpna). Pro velké suchu a nedostatek vody se tak nedal ani hasit požár, který vypukl

<sup>52</sup> 1 vídeňský coul (palec) = 2,634 cm (Hofmann, 1984, s. 79).



**Obr. 99.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce duben, květen, červen, červenec a srpen roku 1842 v českých zemích

**Figure 99.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of April, May, June, July and August 1842 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

dne 23. srpna v Králově Lhotě. Suchem popadalo také ovoce (Křeček, s. 45–47). Kronikář hovoří o zlém roce pro chudé lidi, protože se urodilo málo brambor, které „byly jako vlášský vořechy velky a nebyly skoro ani k jídlu a byly jako bohatej hrách“. Nebylo čím živit dobytek, takže došlo k poklesu jeho cen (ibidem, s. 49–50). V Domašicích uvádí Jan Pihert suchý rok, kdy po zasetí v polovině dubna nepršelo po šest týdnů. Koncem května sice místy trochu namoklo, ale mnohde nepršelo celé léto. Žito a pšenice se urodily prostředně, ale špatné byly jařiny (Jan Pihert, s. 36–37). V Bohdašíně (okres Rychnov nad Kněžnou) byly od dubna do prosince jen tři malé deštičky, „že ani na kořen nezamoklo“. Zatímco žito se trochu spravilo, jařiny byly špatné a trhaly se ručně. Vyschly studně a potoky, nemlelo se a nebyla píce ani jetel (Kron. rod. Pitasovy, s. 48). Podle pamětní knihy z Mašova mnohde pořádně nepršelo po celé léto. Bylo málo ovsa a ječmene, stejně jako brambor (nesklidilo se ani to, co se zasázelo), žádné zelí a len. Otava se nesekala, takže se musela nechat vypást (Pamětní kniha mašovská, s. 103). Josef Vorlíček z Hostína u Vojkovic konstatuje, že nepršelo od sejítí sněhu a v létě jen dvakrát na půl brázdy. Časté byly mše a modlení za déšť, občas i procesí, ale zdálo se, „že Bůh uší své zacpal, aby hlasu našeho neslyšel“. Pro sucho byly ječmeny a oves příliš malé a řídké a trhaly se rukama. Neurodilo se zelí, řepa, ani chmel, takže nastala dražota a hlad (Vorlíček, s. IV/28). Pro Křinec se zmiňuje hrozné sucho, kdy nepršelo od jara až po žních, takže se jen zčásti zaseto (Čapek, s. 186). Pramen z Kláštera Hradiště nad Jizerou uvádí, že nepršelo od roztání sněhu do 28. září. Řeka Jizera byla tak mělká, že ji mohly přecházet i menší děti. Tohoto roku byla neúroda ovsa, ječmene, hrachu a vikve, jen skrovně bylo sena a „otava téměř žádná; kde přece vyrostla, uschla ve stoje, takže ji hned za sekáči shrabovali a domů vozili“. Málo bylo brambor a zelené obilí se sekalo na krmení (Šimon, 1927). Zápis z Hřivic popisuje rok 1842 jako suchý, kdy málokdy přšelo, takže bylo málo obilí a brambor, skoro vyschly potoky a byly potíže s mletím obilí (Lůžek, s. 123). Podle zápisů Wenzla Čížka z Panenského Týnce nepršelo celé jaro a léto, takže byla nouze o mletí a ryby v Ohři byly chytány při mělké vodě obuví. V Litoměřicích bylo možné přecházet Labe (Wenzl Čížek, s. 25). V tomto městě je také citován suchý rok, kdy všechny potoky z větší části vyschly, na Labi byla přerušena pro nízký stav vody na několik týdnů doprava a bylo je možné bez nebezpečí přejít; pro odstavené vodní mlýny byl nedostatek mouky (Katzerosky, 1895). Suchý rok

1842 je indikován také značkou na hladovém kameni na téže řece v Děčíně-Podmoklech (viz obr. 148). Pramen z Mladé Boleslavi uvádí celé léto bez deště, kdy pro velké sucho byla velmi malá úroda jařin, zeleniny, luštěnin, brambor a píce pro dobytek, který se musel rozprodávat. Byl nedostatek vody<sup>53</sup> v Labi, Vltavě a v dalších řekách (Luňák, s. 247). V Chlumčanech (okres Louny) nepršelo od jarního setí do zimy, jen v půli května a dvakrát slabě před 28. zářím („dvě vlážičky ... toliko jen jako rosy“). Pro vyschlé potoky byla nouze o mletí po žních, kdy při zadržování vody se dalo mlít jen 3–4 hodiny za den. Řeku Ohře bylo možné kdekoliv přejít (Paměti Chlumčan, s. 20). Výstižný popis nedostatku vody v řekách pochází z Písku: „... a na Písku co paměti lidské nestačí, přes řeku Votavu [Otavu] se za mostem suchou nohou přes tenké pramínky chodilo. To jsem já sám viděl, neb jen maličkými stroužkami voda šla, které se lehounce překročily.“ (Bezděka, s. 144). Na nedostatek vody se omezuje také zpráva Václava Krolmuse (Krolmus, 1845, s. 127–128): „R. 1842. byl vele suchý. Obilí, ovoce a zemčat urodilo se skrovně; ale obilí bylo zrna jadrného, maučnatého a zdravého. Slámy málo a krátké. Na píci, seně a otavě nedostatek byl veliký. Řičky, potoky a prameny površí vyschly. Dvě třetiny mlejnu toho času na suchu stály. Zle bylo o melivo, mlynářikové sami hledali mlejny na větších řekách, kde by pro svůj dům semleli. Mleci museli na 6 i 7 hodin cesty na vzdálené řeky, totiž: na Labe, Jizeru, Vltavu, Ohři a Mži se odebrati. I na velkých řekách přinuceni mlynáři byli vody nadržovati a mleci kolik neděl na melivo čekati; tím více na potokách, jenž slabých pramenů živých měli. V ten čas mlynáři leckdes vody na rybnících velikánských od vrchnosti kupovali, nadržovali, aby několik hodin mleli. Mlynář mlynáři semlál. Lid pro dobytek svůj několik hodin cesty vody vozil.“ V Hlinsku mimo jarní vláhy nepršelo několik měsíců a první hojně deště byly až 10. a 15. září. Zatímco přes panující sucho bylo obilí zdárné, málo se urodilo brambor, zelí a píce, takže dobytek se na podzim prodával lacino. Vyschly potoky a studny, bylo málo vody v řekách a nouze o mletí. Na mnoha místech v Čechách vypukly požáry (Pamětní kniha Hlinska, s. 33).<sup>54</sup> Další české dokumentární prameny citují sucho roku 1842 a jeho dopady například pro Bílinu (Hutter, 1891), Budenice (Komárek, 1911), Cítoliby

<sup>53</sup> Na Mladoboleslavsku se nedostatek vody vysvětloval tím, že „prý proto neprší, že v Plasích poslední pohřbenému nebožtíkovi dali pod hlavu peřinku a pokud prý to peří neshnije, že pršeti nebude“ (Luňák, s. 247).

<sup>54</sup> Nedostatek brambor, zelí a špenátu potvrzuje také další pramen z Hlinska (Švandovy paměti, s. 64).



(*Paměti Cítolib*, s. 51), Děčín (Mauder, 1930), Dolánky (*Dlask*, s. 74), Libochovany (Haudeck, 1907), Miličín (Teplý, 1899), Mimoň (Tille, 1905), Plotiště nad Labem (Pišl, 1938), Počaply (Kaněra, 1900), Staré Ouholice (*Pražák*, s. V/6), Terezín (Gttm., 1925), Třebechovice pod Orebem (*Frynta*, s. 139) nebo Varnsdorf (*Paměti Varnsdorfu*, s. 146).

V Novém Městě na Moravě je zmiňováno velké sucho po celé léto roku 1842. Žně začaly 26. července, kdy úroda byla průměrná až dobrá, ale méně bylo jařin. Suchem utrpěl zejména oves a len (*Novoměstské kroniky II*, s. 134, 135). Pro Kostelec u Jihlavy se uvádí velké sucho po tři měsíce, kdy byly zavedeny hodiny modlení a každodenní procesí za seslání deště (Fiala, Fučík, 2002). Velké sucho zaznamenává zdroj z Herálce („že zřídka studně v Herálci byla, která vodu vydržela“), stejně jako drahotu obilí (Svoboda, 1914b). „Překrutné sucho“ je zmiňováno pramenem z Voděrad (okres Blansko). Pro nedostatek vody se nedalo mlít každodenně ani na řece Svitavě, takže se jezdilo na kunštátské panství do mlýna na Svatku (*Paměti Lukšíka*, fol. 8r). Podle zpráv z Bavor nepršelo po celé léto, vyschly prameny a řeku Dyji bylo možné přejít suchou nohou. Celé léto stál vodní mlýn v Mušově<sup>55</sup> a v několika nočních hodinách se dalo mlít jen v Dolních Věstonicích, což nestačilo. Jezdilo se snad mlít velmi drahé až k Dunaji. Kvůli nedostatku píče bylo mnoho dobytka zabito na maso nebo prodáno. Přes sucho ale nepanoval nedostatek obilí a byl dostatek dobrého vína (Drössler, 1993). Mezi Bzencem a Hodonínem se přes horké a suché léto zdařila na 10 jitrech výsadba lesních sazenic v řadách mezi brambory (v rámci zalesňování oblasti vátých písků), ovšem někde se muselo zalesnění opakovat (Pinkava, 1974). Pamětní kniha Kroměříže cituje velká sucha v dubnu, kdy setba utrpěla nočními mrazy. Zmiňuje zde bouřku s deštěm dne 28. dubna a deště ve dnech 9.–10. května, kdy se trochu vzpamatovala setba (*Denkbuch Kremsier*, fol. 190v–191r). Dále ale konstatuje, že na Moravě nepršelo od konce dubna do července, bylo velmi málo sena a otavy vůbec žádné (ibidem, fol. 197r). Další období bez deště cituje pramen od července do 4. listopadu, kdy výrazně klesly vodní stavy na řadě řek. Rok byl průměrný na obilí, ale panoval naprostý nedostatek píče, kvůli kterému chtěli hospodáři prodat na zimu ovce a krávy, ale při velké nabídce to bylo nemožné, takže k přežití dobytka byly používány při neúrodě brambor různé náhražky krmiva. Jak pamětní kniha dále konstatuje, vše utrpělo kvůli suchu a horkům července–srpna. Časté byly ta-

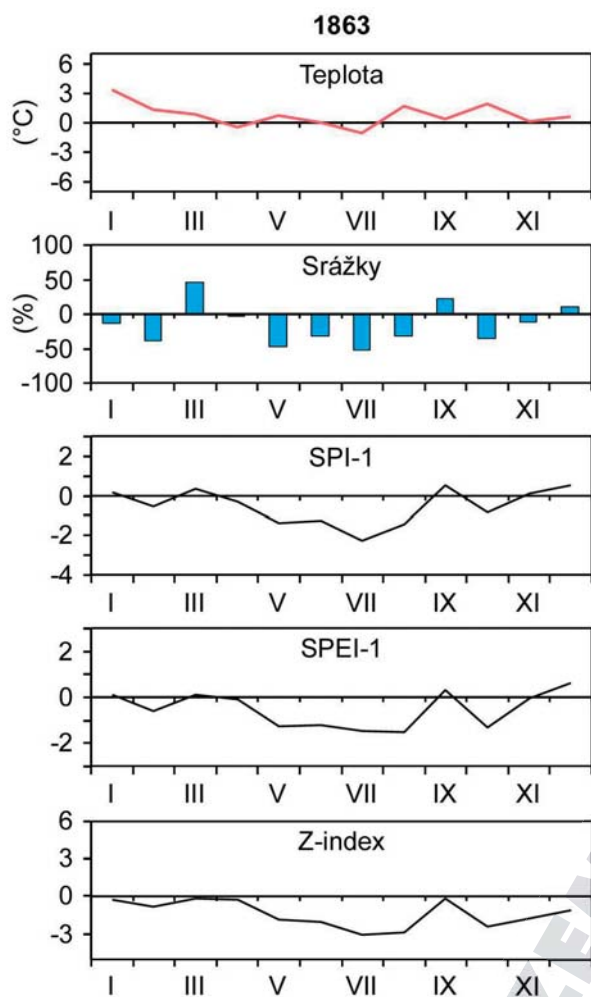
ké požáry (ibidem, fol. 198v–199r). Podle zápisů z Javorníka (okres Hodonín) přišlo sucho od poloviny května a trochu pršelo jen ve žních, takže úroda byla malá (*Paměti Rumíšků*, s. 99). Hrozné sucho se cituje pro Náklo, kde období bez deště trvalo od 1. května do 15. srpna, obilí však bylo pěkné. Pro sucho se nemohlo orat, takže strniště zůstala na polích (Vrbka, 1941). Pro Tlumačov se uvádí velké sucho, kdy vyschly studny a řeky. Nastaly potíže s mletím, takže se muselo jezdit mlít do Vizovic, Lipníka nad Bečvou a jinam (Horníček, 1925). Záznamy ze Stříteže zmiňují velké sucho přes žně, kdy 13 týdnů nenamoklo. Mlýn stál pro nedostatek vody 16 týdnů. Ushla pastva, takže lidé dávali dobytku ohryzávat haluze stromů (Dobeš, 1941, 1945, 1947). Ve Velké Bystřici se hovoří o velmi suchém roce. Suchem spadlo ovoce, bylo málo vikve a brambor, nebyla řepa a zelený hrách, ale kolem Olomouce se urodilo pěkné žito. Jezdilo se až pět mil [asi 38 km] za mletím (*Kron. Urbanika a Hořínka*, s. 226). Z Heřmanovic na Bruntálsku je zpráva, že při velkém suchu roku 1842 dováželi formani z Čech do hospodářských stavení konve vody k napájení koní, neboť studny a vodní toky ve Slezsku byly vesměs zcela vyschlé (*Pamětní kniha Heřmanovic*, nestr.). Další stručné zmínky o suchu toho roku jsou například pro Ivaň (Peřinka, 1930), Konice (Burian, 1939), Rouchovany (Dvorský, 1916) nebo Valtrovice (okres Znojmo; Peřinka, 1905a).

#### 4.1.5.7 Rok 1863

**Meteorologické podmínky:** Sucho roku 1863 bylo vázáno na výrazný pokles srážek od května do srpna, kdy relativní hodnota poklesu v červenci a květnu předčila zbylé dva měsíce (obr. 100). Výrazněji podprůměrné srážky byly také v únoru a říjnu. Zatímco podle SPI-1 kulminovala sucho v červenci, podle dvou zbylých indexů to bylo v červenci–srpnu. Teploty května–července kolísaly kolem průměru referenčního období 1961–1990, zatímco srpen byl teplotně nadprůměrný. Suchá epizoda května–srpna roku 1863 se v kontextu české řady v období 1805–2012 jeví jako třetí (SPI-1), čtvrtá (SPEI-1) nebo pátá (Z-index) nejsušší.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1863 byla západní, střední a východní Evropa pod vlivem oblasti vysokého tlaku vzduchu (obr. 101). V dalších dvou měsících zasahoval do Evropy hřeben vysokého tlaku vzduchu táhnoucí se z oblasti Azorské anticyklony k severovýchodu. Nejsilněji se anticyklonální vliv projevil v červenci. V srpnu byla střední Evropa pod vlivem nevýrazné brázdy nízkého tlaku vzduchu.

<sup>55</sup> Zaniklá obec (po vybudování vodního díla Nové Mlýny).



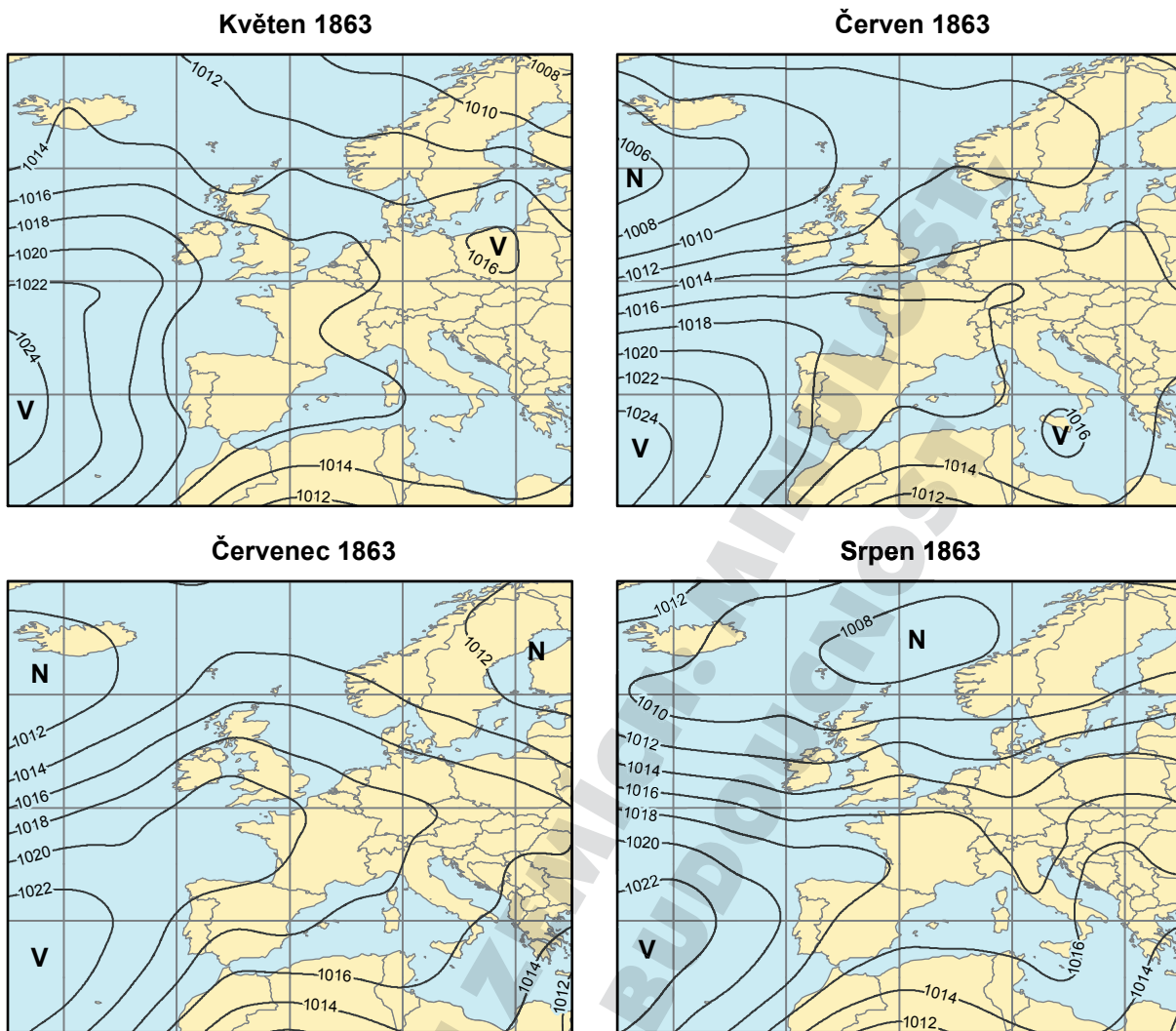
**Obr. 100.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1863. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 100.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1863. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Dopady sucha:** Podle Matěje Piherta z Netluk byl velmi suchý květen („*pršelo jen jako rosa*“) a více namoklo v červnu (ale „*u nás v kraji bylo již pozdě*“). Bylo málo píce, ale obilí se na tak velké suchu urodilo hojně. Suché počasí pokračovalo až do začátku mrazů (Matěj Pihert, s. 82–83). V Litoměřicích byla dne 16. července pro nízký stav vody na Labi zastavena parní doprava do Ústí nad Labem (Katzerosky, 1895). Podle záznamů Jana Piherta z Domašic bylo v kraji velmi sucho a byla nouze o melivo. Dobrá byla úroda ovoce, ale málo píce (Jan Pihert, s. 44). Ve Varnsdorfu panovalo v měsících srpen–říjen takové sucho, že vyschly některé studny (Palme, 1923). V Kunvaldu je uváděn suchý rok s malou úrodou obilí a nouze o mletí obilí na mouku (Zápisy Simona, s. 47). Pro Plotiště nad

Labem je citován velmi suchý rok s nedostatkem vody a krmiva pro dobytek (Pišl, 1938). V Dolanech (okres Kladno) byla úroda roku 1863 hodnocena jako „*ucházející*“ (Kron. Knora, s. 148). Pro Hradiště (okres Rokycany) je uváděn rok „*více suchý*“. Obilí se přece jen urodilo, ale nebyly otavy (Kron. Hradiště, s. 32–33). Podle Františka Sovky z Radvanic (okres Prostějov) bylo náramné sucho, neurodily se brambory a ovoce, byla nouze o vodu i o mletí (Sovka, s. 106). Velké sucho a parno je uváděno pro Havlíčkův Brod, kde nepršelo mnoho týdnů a poprvé až 22. září (Ambrož, Blecha, 1892). V Novém Městě na Moravě bylo brzy na jaře sucho a teplo, přičemž sucho pokračovalo i v létě a způsobilo mnoho těžkostí. Úroda žita a ječmene byla průměrná, ale dobrá na zrno. Málo bylo ovsu, brambor a lnu, který se místy ani netrhal. Problémy nastaly s dobyt看em, neboť sena bylo málo a otavy na sušších místech žádné. Pramen ale zmiňuje četné požáry: „*nikdy neslycháno, skrze velké sucho nepozornosti lidskou a konečně ze zlomyslnosti že třeba cel osady padly.*“ Konkrétně se uvádějí požáry pro 15. srpna v Radňovicích, 27. srpna v Nížkově a 30. srpna v Dolních Borech (Novoměstské kroniky II, s. 205–206). Kronika rodiny Sáňků z Rájce<sup>56</sup> začíná líčení sucha roku 1863 větou: „*Tento rok nás všemohoucí Pán navštívil tuze velkým suchem.*“ Dále zmiňuje neúrodu sena a otav (méně než třetina obvyklého množství), stejně jako skoro žádné jařiny, které uschly. Listí líp, topolů a dalších stromů bylo používáno jako náhražka krmení pro dobytek (Kron. Sáňků, ne-str.). Jiří Vrbaš z Písečného uvádí tuze suchý rok, kdy vyprahly jařiny, bylo málo žita a brambor. Nedostatek píce byl nahrazován listím ze stromů. Sucho trvalo až do podzimu (Vrbaš, s. 61). Ukruťné sucho, že nebyla tráva, voda, brambory a další plodiny, zmiňuje pramen z Tišnova (Paměti P. Svobody, s. 213). Ve Voděradech bylo dlouho nepamatované sucho, kdy nepršelo od 6. května do konce srpna. Pro sucho se nemohla sít řepa a byla nouze o vodu. Začátkem června navíc pomrzla žita a brambory (Paměti Lukšíka, fol. 12r). Kronika obce Sebranice zmiňuje po deštích od poloviny dubna velké sucho od 8. května, kdy vydatněji přšelo až 24. srpna. Pro sucho a velká parna se nedalo sázet zelí, ale dne 4. června pomrzly brambory, takže bylo pak málo brambor a žádná řepa. Výborné bylo žito, ale málo pšenice, ječmen byl pěkný na zrno, ale špatný na slámu, a špatný oves se musel místy jen trhat. Uschl hrách, boby a vikve. Seno bylo poměrně pěkné, ale žádné otavy

<sup>56</sup> Dnes obec Rájec-Jestřebí.



**Obr. 101.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen, červenec a srpen roku 1863 v českých zemích

**Figure 101.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June, July and August 1863 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

(Kron. Sebranic, fol. 143v, 144r). V Rozaříně<sup>57</sup> nepršelo od jara až do druhé poloviny října. Obilí, kukuřice a brambory utrpěly nejen suchem, ale i pozdním mrazem. Panoval také nedostatek vody (Nosek, 1906). V Tlumačově se po mrazech začátkem června, kdy pomrzlo žito a jarní plodiny, zmiňuje velké sucho. Neurodilo se skoro žádné pšeno, konopí, zelí či brambory (*Přípisky*, s. 145). Sekundární pramen doplňuje předchozí informaci tím, že pro sucho a horko v létě byl nedostatek vody ve studnách, takže se jezdilo pro vodu do řeky Moravy, která téměř vyschla. Velmi špatná byla úroda: sklizené brambory se schovaly na setí, jařiny a otavy nebyly vůbec (Horníček, 1925). O suchu před 10. červnem je také zmínka v soukromé korespondenci z Luhačovic

<sup>57</sup> Část obce Moutnice.

(Dobeš, 1945; viz kap. 3.3.1, bod c). Pro Nedakonice se uvádí špatný a tuze suchý rok s mrazy v červnu, kdy byla neúroda obilí, píce a lnu a neurodilo se vůbec pšeno a konopí. Málo co zůstalo ze zelí, které bylo navíc napadeno housenkami (*Paměti Mráčka*, s. 20–21). V Kralicích na Hané nepršelo od začátku května do září, zaschly jařiny a bylo málo brambor a žádná zelenina (musely se dovážet z Čech a Pruska). Vyschly menší potoky, mnohde byla nouze o vodu a mletí, a jen na řece Moravě se mlelo na zástavu (Albrecht et al., 2002). Řeka Rokytná u obce Rokytná vyschla úplně (Haňák, 1913). V Městě Albrechticích s výjimkou dvou kratších a slabších přeháněk nepršelo od poloviny června do konce července při přetrvávajícím pěkném počasí. Žně začaly o dva týdny dříve než obvykle. Již suchý květen bránil růstu trávy a koncem července začaly žloutnout listy bříz.



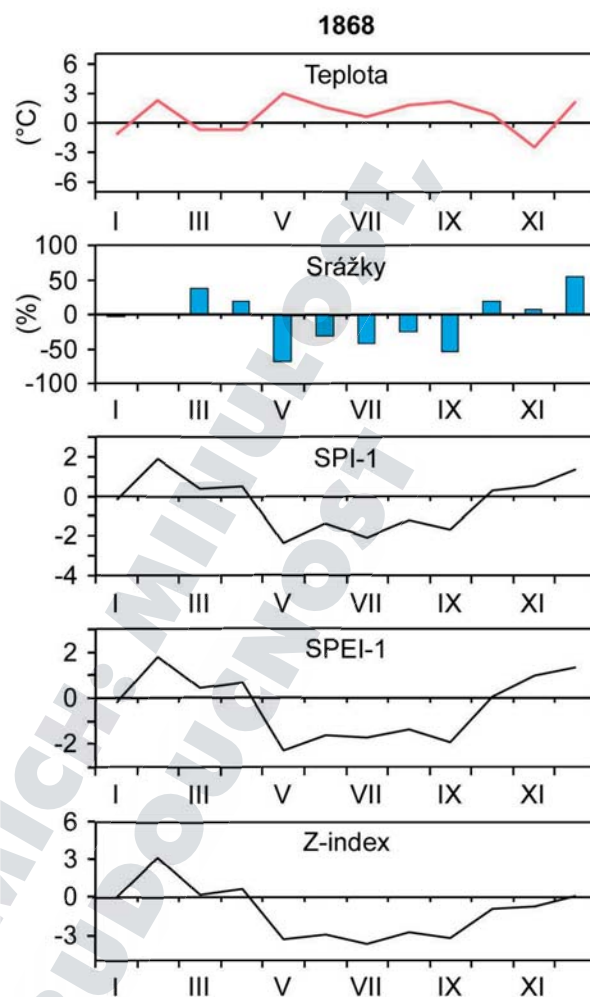
Kvůli převládajícímu suchému počasí následovala velmi slabá úroda sena a otav, takže hospodáři prodávali již koncem roku dobytek kvůli nedostatku krmiva. S výjimkou brambor a ovoce byla jinak úroda poměrně vydatná, takže se neprojevila drahotou polních plodin (Heisig, 1929). Sucho roku 1863 je dále stručně uváděno například pro Tichov (Peřinka, 1905b), Dolní Bojanovice (Noháč, 1926), Dubany (okres Prostějov; Janoušek, 1938), Francovu Lhotu (Peřinka, 1905b), Jabloňov (Kratochvíl, 1907), Jaroslavice<sup>58</sup> (Peřinka, 1907), Krumvíř (Ondrůj, 1973), Měnin (Kratochvíl, 1910), Nenkovice (Pěničák, 1991), Přibice (Kratochvíl, 1910), Šardice (Mika, Hurt, 1986), Šanov (okres Zlín; Peřinka, 1905b), Šternov (okres Brno-venkov; Kratochvíl, 1910), Tikovice<sup>59</sup> (Slavík, 1897), Těšany (Bukovanský, 1909) či Třebětice (*Kron. rod. Fuksovy*, s. 82) a neúroda pro Hoštice (okres Kroměříž; Peřinka, 1910) a Blučinu (Břečka et al., 1994). Kvůli suchu a horku je zmiňován také požár v obci Chotýšany dne 7. srpna (Kočí et al., 2000) a lesní požáry v Českém lese pro 20. červenec a 30. srpen (Berger, 1880/81).

#### 4.1.5.8 Rok 1868

**Meteorologické podmínky:** Sucho roku 1868 bylo zřetelně vyjádřeno v období od května do září, kdy srážkové úhrny byly podprůměrné, s nejvýraznějším poklesem srážek v květnu a v září (obr. 102). Souvisele období nadprůměrných měsíčních teplot vzduchu pokračovalo dokonce až do října, což přispívalo k zesílení projevů sucha. Sucho května–září bylo vůbec nejextrémnějším suchem řady českých zemí z let 1805–2012 podle SPEI-1 a Z-indexu, zatímco podle SPEI-1 se jednalo o druhé největší sucho.

**Synoptická situace:** Sucho v květnu 1868 souviselo s anticyklonou nad střední Evropou (obr. 103). Analogická situace s oblastí vyššího tlaku vzduchu nad větší částí Evropy byla typická také pro další čtyři měsíce od června do září. V červnu–srpnu se táhla osa hřebene vysokého tlaku vzduchu z Azorské anticyklony směrem na severovýchod a stáčela se na střední Evropu. V září byla střední Evropa pod vlivem rozsáhlé anticyklony se středem nad severní částí Černého moře.

**Dopady sucha:** V Domašicích bylo velmi sucho, že celé léto pořádně nenamoklo, což se projevilo v nevelké úrodě většiny plodin, i když úroda chmelu



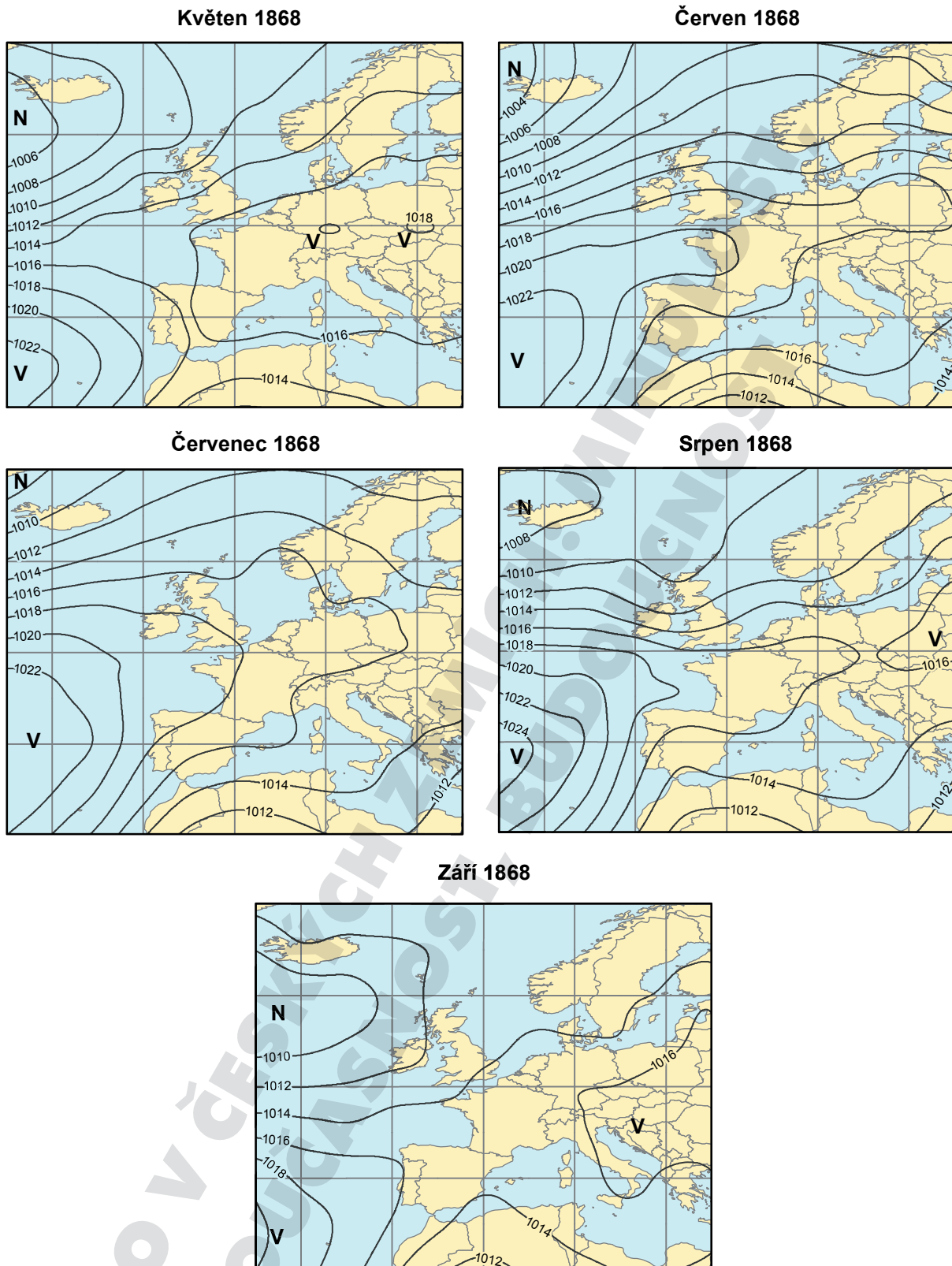
**Obr. 102.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1868. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 102.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1868. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

i ovoce byla hodnocena jako hojná (*Jan Pihert*, s. 45–46). Zpráva z Hradiště pojednává o období bez srážek od poloviny dubna do 22. května, přičemž od 4. června opět nepršelo. Neurodily se otavy a nebyla ani pastva pro dobytek; málo bylo také brambor (*Kron. Hradiště*, s. 35–36). Záznam z Kláštera Hradiště nad Jizerou uvádí k roku 1868 trvale suché počasí, kdy nevymetaly jařiny. Časné žně skončily již koncem června, ale sklizeň byla špatná. Brambory dorostly pouze velikosti vlašských ořechů. Bylo málo sena a otav a píce pro dobytek se nedostávalo vůbec, takže klesla jeho cena (*Šimon*, 1927). Pro velkou neúrodu následkem sucha žádalo 47 hospodářů z Kunvaldu, Kunačic, Bubnova a Zaječín o slevu na dani na rok 1869 (*Zápisy Simona*, s. 47). V Libochovanech

<sup>58</sup> Část města Zlín.

<sup>59</sup> Část obce Ořechov v okrese Brno-venkov.



**Obr. 103.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen, červenec, srpen a září roku 1868 v českých zemích

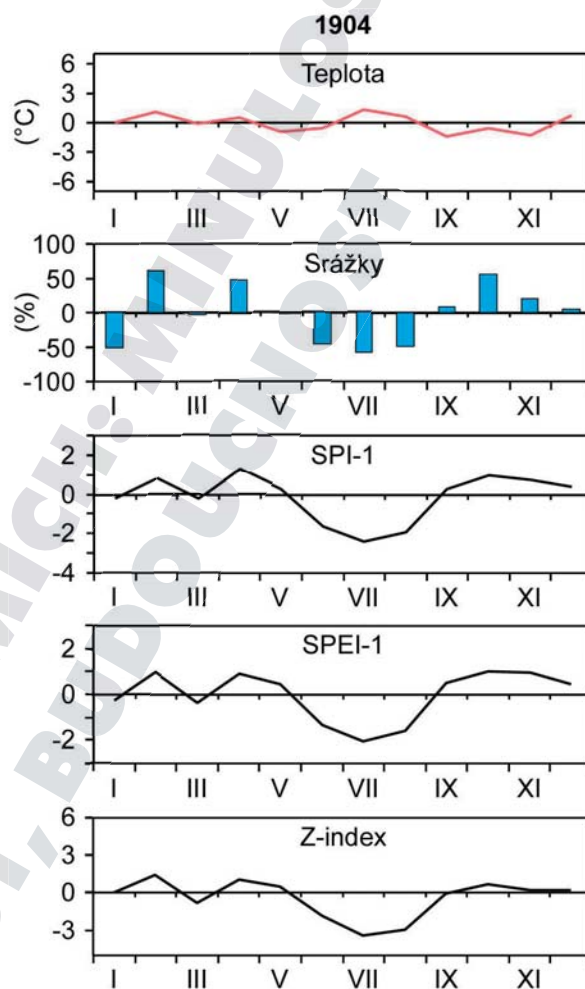
**Figure 103.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June, July, August and September 1868 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

byl rok 1868 hodnocen jako suchý a teplý, kdy se urodilo málo obilí, zeleniny a brambor, ale mnoho hroznů, takže byl dostatek velmi dobrého vína (Haudeck, 1907). Jako neúrodný byl označen rok 1868 v Plotišti nad Labem (Pišl, 1938). V Mladé panova-lo hrozně vedro a sucho, kdy nepršelo od dubna až do 5. září (Vojáček, 1930–31). V Mimoni je uvádě-no horké léto a nedostatek vody (Tille, 1905). V Bys-trém u Poličky měla být úroda dosti dobrá, přestože rok byl označen jako suchý (Fedrzel, s. 95). V Sebra-nicích začaly časné žně dne 6. července a za tři týd-ny bylo vše sklizeno; nepršelo osm týdnů (Kron. Se-branic, fol. 139v). V Třebeticích bylo brzy teplo a pak v létě velké sucho, ale úroda byla pěkná (Kron. rod. Fuksovy, s. 86). V Josefovích (okres Opava) po deš-ti v dubnu následovalo sucho a horko, kdy přes celé léto nenamoklo. Sucho trvalo až do podzimu a pro-jevilo se neúrodou některých plodin (Novák, 1948). Velké letní sucho je zmiňováno v souvislosti s lesním požárem v želnavském revíru v Českém lese (Berger, 1880/1881). Zápis z Plzně vztažený ke dni 13. srpna cituje některé úplně vyschlé části řek (Pamětní kniha Plzně, s. 1063). Nízká hladina vody na Labi je uvádě-na pro Písty (Chloupek, 1996). Také zprávy z Lito-měřic konstatují nízkou hladinu řeky Labe začátkem srpna, kdy je již bylo možné na několika místech přejít, a dále pro den 22. srpna, kdy byla zastave-na doprava po řece. Pro abnormální horka a sucha uschly louky, opadalo ovoce a brambory vůbec ne-narostly. Déšť, který spadl dne 23. září a následující noci, nestačil ani na nutné zavlažení vysušené země (Katzerosky, 1896). Školní kronika z Mladočova<sup>60</sup> zmiňuje velké kroupy pro 27. květen a velké sucho poté (Kron. Mladočova, s. 50).

#### 4.1.5.9 Rok 1904

**Meteorologické podmínky:** Sucho roku 1904 se projevilo zřetelně v letních měsících v důsledku vý-razně podprůměrných srážek a kulminovalo v čer-veci, kdy indexy sucha dosáhly nejnížší hodnoty (obr. 104). Srážky sousedních měsíců května a září se pohybovaly kolem průměru. Zatímco červen byl pod průměrem referenčního období, červenec a ta-ké srpen byly teplotně nadprůměrné. Podle Trem-la (2011) připadlo hlavní sucho na období mezi 5. čer-vecem a 17. srpnem a vyznačovalo se výjimeč-nou kombinací vysokých teplot vzduchu a nedostat-ku srážek. V Čechách například přesáhla průměrná denní teplota vzduchu ve více než polovině dnů hod-notu 20 °C (v Praze-Klementinu to bylo dokonce

v 68 % všech dnů), přičemž jediné významnější sráž-kové období se vyskytlo ve dnech 26.–28. července. Suchá epizoda června–srpna patří v kontextu řady českých zemí v období 1805–2012 k nejextrémněj-ším: podle SPI-1 a SPEI-1 se jednalo o druhé největ-ší sucho, podle Z-indexu o čtvrté.



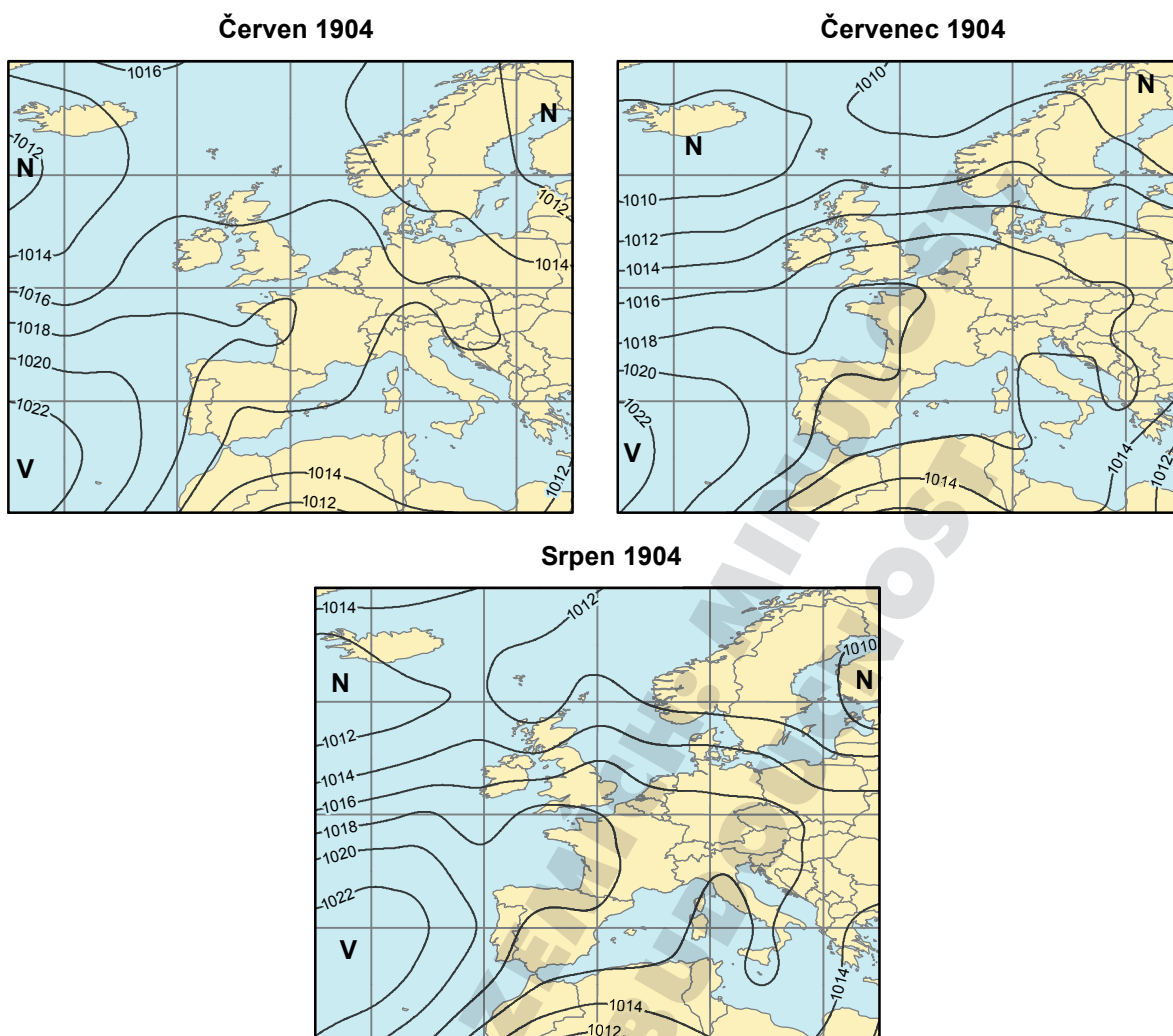
**Obr. 104.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1904. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 104.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1904. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Synoptická situace:** Ve třech letních měsících ro-ku 1904 skýtalo tlakové pole velmi podobný obraz (obr. 105). Z Azorské tlakové výše vycházel do zá-padní a střední Evropy výrazný hřeben vysokého tlaku vzduchu, pod jehož vlivem se nacházely také české země.

<sup>60</sup> Část obce Poříčí u Litomyšle.





**Obr. 105.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce červen, červenec a srpen roku 1904 v českých zemích

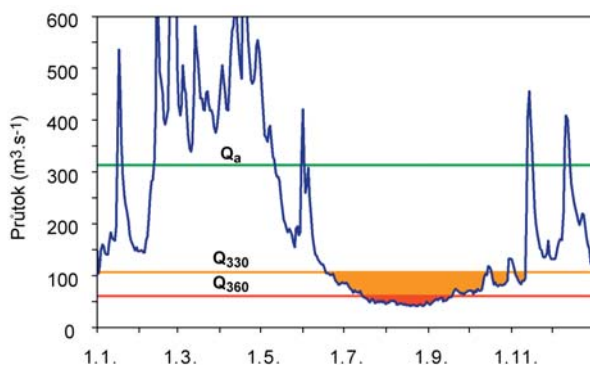
**Figure 105.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of June, July and August 1904 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

**Hydrologické sucho:** Hlavní období hydrologického sucha roku 1904 (s ohledem na prahový průtok  $Q_{330}$ ) na řece Labi v Děčíně trvalo od 18. června do 11. listopadu s přestávkou osmi dnů, tedy dohromady 139 dnů (obr. 106). V Labi chybělo pro dosažení prahového průtoku  $Q_{330}$  téměř 489 milionů  $m^3$  vody (38 % standardizovaného nedostatkového objemu), což odpovídá druhému největšímu suchu. Souvisle se průtoky pod  $Q_{330}$  vyskytovaly od 18. června do 14. října (119 dnů), což je nejdéle za období od roku 1888. Nejnižší průtok  $42 m^3 \cdot s^{-1}$  byl naměřen ve druhé polovině srpna, nedosáhl však nižších hodnot z jiných roků (viz kap. 4.1.4.1.1). Uvedený minimální průtok se ale liší od práce Novotného (1963), kritizované pro jisté nepřesnosti,<sup>61</sup> podle

kteří nejmenší průtok  $39 m^3 \cdot s^{-1}$  z 19.–29. srpna 1904 byl v období 1851–1950 překonán jen v letech 1871, 1908, 1911 a 1934, kdy byl vůbec nejnižší s hodnotou  $35 m^3 \cdot s^{-1}$ .

Obdobně nízké průtoky byly dosahovány i na dalších tocích. Tak na řece Vltavě v Praze byl 27. srpna 1904 zjištěn minimální průtok  $11,5 m^3 \cdot s^{-1}$ , což představuje absolutní minimum v období 1851–1950 (Novotný, 1963). Elleder (2013) hodnotil hydrologické sucho roku 1904 podle velikosti minimálních průtoků na několika tocích v Čechách. Pro 13 hydrologických stanic na devíti řekách uvedl průtoky v době nejnižších vodních stavů kolem 18. srpna a konstatoval jejich podobnost s nejnižšími hodnotami z roku 1947; v roce 1904 panovalo zřejmě větší sucho na jihu Čech.

<sup>61</sup> Ke korekci řady povodňových průtoků na Vltavě v Praze podle údaje Novotného (1963) viz například Kakos (2001).



**Obr. 106.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v roce 1904 s vyznačením průměrného ročního průtoků  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$ .

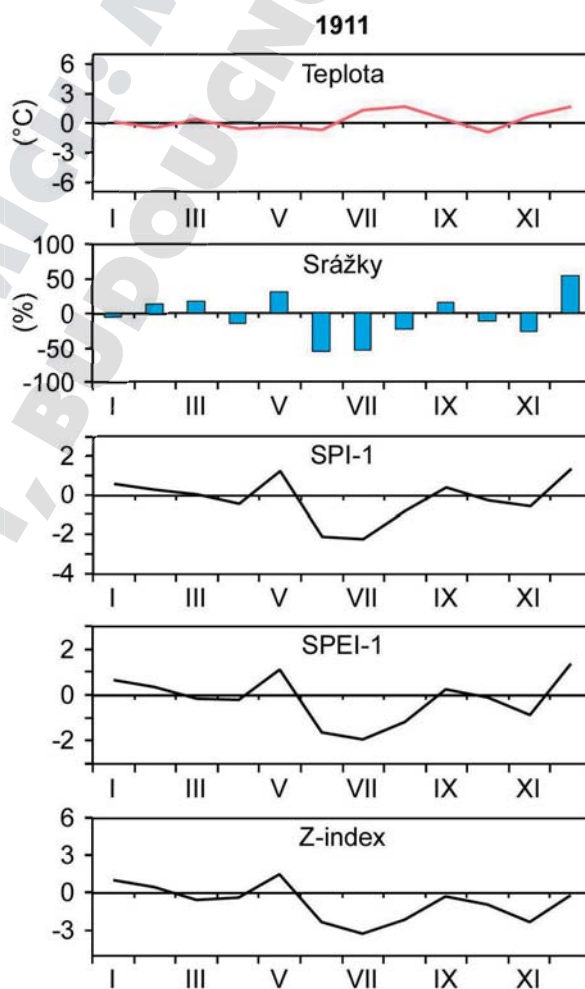
**Figure 106.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1904 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively

**Dopady sucha:** Podle záznamů z Platiště nad Labem bylo roku 1904 parné a suché léto, kdy nespřchlo od 5. května do 27. září s výjimkou ničivého krupobití dne 21. června. Nerostla tráva a jetel, meze byly úplně suché, vysychaly potoky a řeky, takže se nedostávalo vody na mletí. Pro vyprahlou a tvrdou půdu nebylo možné orat pluhem a vznikaly lesní požáry z neopatrnosti nebo od jisker projíždějících parních lokomotiv. Lidé se modlili za déšť u křížů a soch a organizovala se prosebná procesí. Kvůli nedostatku píce se prodával lacino dobytek a nastal citelný nedostatek mléka (Pišl, 1938). Valašský písmák Josef Lukotka se ve svých záznamech ze Vsetína zmiňuje poprvé o suchu dne 30. května, kdy konstatoval potřebu deště a hodně suchou zemi, a v sumárním hodnocení charakterizoval květen jako více suchý a chladný (Lukotka I, fol. 14v). Jako suchý hodnotil i červen, kdy bylo značně méně píce, ale dobré (ibidem, fol. 15v–16r). V červenci utrpěly suchem brambory a píce, takže podle Lukotky nebyl tak suchý rok od suchých let 1842 a 1811 (ibidem, fol. 17r, 23r). Velmi suché léto je uváděno v Tlumačově (Horníček, 1925). V Pouzdřanech způsobilo dlouho nezaznamenané horké a suché léto jen slabou a méně kvalitní úrodu (Polický, 1936). V Jámách (okres Žďár nad Sázavou) vyschly při suchu téměř všechny studny a také rybníky. Musela se dovážet voda pro dobytek (Štarha, 2002). V Chlumku (okres Žďár nad Sázavou) je zmiňována špatná úroda pro dlouhotrvající suchu (Makovský, 1999). Extrémní suchu ale panovalo na celé Moravě. Nastala

velká nouze o vodu, louky uschly a otavy nebyly žádné. Žně byly předčasné, brambory kvůli suchu nenarostly a ovoce opadalo (Klimeš et al., 2001). Pinkava (1988) uvádí podle pramenů z Lichtenštejnské lesotaxační kanceláře škody suchem na Moravskotřebovsku: „v porostech vyhynulo 78 250 sazenic, z toho 2 050 vejmutovek a 400 jehličnatých exotů.“

#### 4.1.5.10 Rok 1911

**Meteorologické podmínky:** Extrémně suché byly roku 1911 měsíce červen a červenec, přičemž podprůměrné srážky měl i srpen (obr. 107). Protože ale nadprůměrné teploty se vyskytly jen v červenci a srpnu, bylo léto toho roku pouze pátým (SPEI-1) a sedmým (Z-index) nejsušším v rámci řady českých



**Obr. 107.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1911. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 107.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1911. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

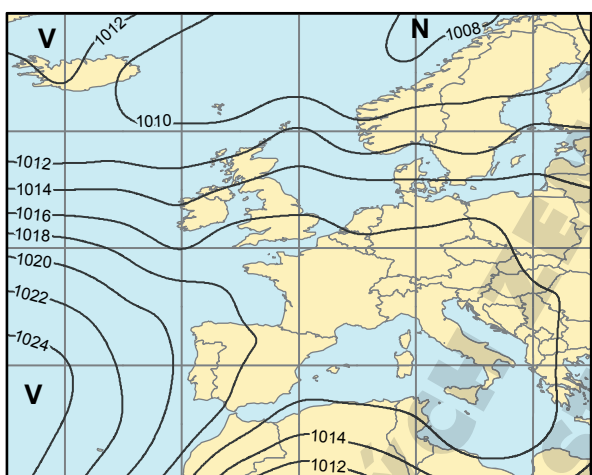
zemí pro období 1805–2012. Podle SPI-1 se ale jednalo o třetí nejsušší léto.

**Synoptická situace:** V červnu roku 1911 byla střední Evropa pod vlivem hřebene vysokého tlaku vzduchu od západu, přičemž v severním Atlantiku a v severní Evropě bylo výraznější pásmo nízkého tlaku (obr. 108). Také v dalších dvou měsících, červenci a srpnu, se jednalo o vliv hřebene vysokého tlaku vzduchu vyvíhajícího z Azorské anticyklony, ale s osou směřující na severní Francii. Vyšší tlak vzduchu převládal v oblasti českých zemí v červenci.

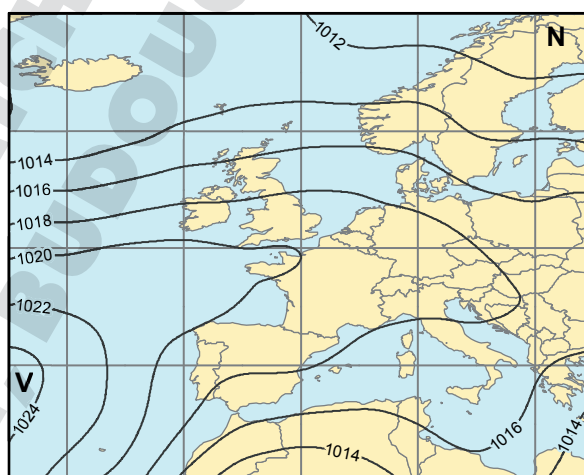
**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho roku 1911 trvalo na řekách v českých zemích od přelomu června–července do Vánoc. Na Labi v Děčíně byla hladina pod prahovým průtokem  $Q_{330}$  s výjimkou pěti dnů ne-

přetržitě od 26. června do 25. prosince (176 dnů), tedy nejdéle za období od roku 1888 (obr. 109). V těchto dnech chybělo přes 628 milionů  $m^3$  vody, což je 93krát více než připadá na průměrný rok. Nejdelší souvislé období s průtokem pod  $Q_{330}$  trvajícím 101 dnů bylo mezi 28. červnem a 6. říjnem; spolu s nedostatkovým objemem vody ve výši 422 milionů  $m^3$  se jedná o třetí nejvýraznější sucho. Hodnota průtoku  $35 m^3 \cdot s^{-1}$  změřená dne 22. srpna představuje druhý nejnižší průtok od roku 1885, který byl jen o  $1 m^3 \cdot s^{-1}$  větší než v lednu 1909. Odlišné údaje uvádí Novotný (1963), podle něhož se nejmenší průtok ze dne 22. srpna 1911 s hodnotou  $38 m^3 \cdot s^{-1}$  v Děčíně zařadil spolu s rokem 1871 těsně před rok 1904 (období 1851–1950). Naproti tomu na Vltavě v Praze byl průtok ze dne 9. srpna s hodnotou  $13 m^3 \cdot s^{-1}$  v tomtéž stoletém období druhým nejnižším po roce 1904 (Novotný, 1963).

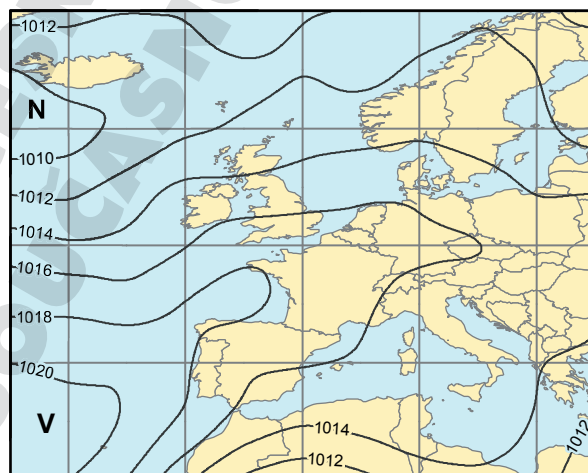
Červen 1911



Červenec 1911



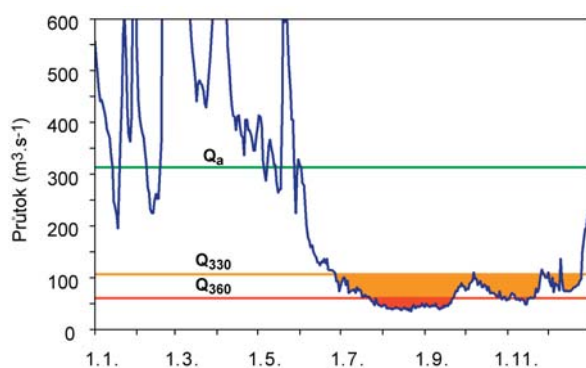
Srpen 1911



**Obr. 108.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce červen, červenec a srpen roku 1911 v českých zemích

**Figure 108.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of June, July and August 1911 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands





**Obr. 109.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v roce 1911 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$

**Figure 109.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1911 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively

Obdobné extrémní sucho jako v Děčíně panovalo také v Brandýse nad Labem, kde za celý rok 1911 klesl průtok Labe pod  $Q_{330}$  během 158 dnů (8. července–23. prosinec; druhé nejextrémnější sucho), kdy se nedostávalo 121 milionů  $m^3$  vody (29 % objemu a 73násobek běžného stavu), což odpovídá druhému nejextrémnějšímu období. Průtoky pod prahovou hodnotou se pak vyskytovaly souvisle po 88 dnů od 8. července do 3. října, kdy nedostatkový objem dosahoval téměř 75 milionů  $m^3$  vody (třetí největší sucho podle obou charakteristik), dále od 8. října do 25. listopadu (47 dnů, nedostatkový objem 36 milionů  $m^3$  vody) a od 1. do 23. prosince (23 dnů, nedostatkový objem téměř 10,6 milionů  $m^3$  vody).

Podle počtu dnů s průtokem pod  $Q_{330}$  byl rok 1911 extrémní i na vodoměrné stanici Bechyně na řece Lužnici, kde se uplatňuje jednak vliv rybníků na nadlepšování průtoků, což se projevuje sníženou frekvencí „menšího sucha“ než na ostatních řekách, a jednak pozdější ovlivnění hydrologického režimu. Celkem 128 dnů s průtokem pod prahovou hodnotou zde indikovalo v roce 1911 druhé největší sucho (nedostatkový objem 44krát větší než obvykle odpovídá čtvrtému místu suchých epizod). Méně výrazně se sucho promítlo do souvislého období s nízkými průtoky (63 dnů od 1. července do 1. září, sedmé místo) při nedostatkovém objemu 11 milionů  $m^3$  vody (deváté místo).

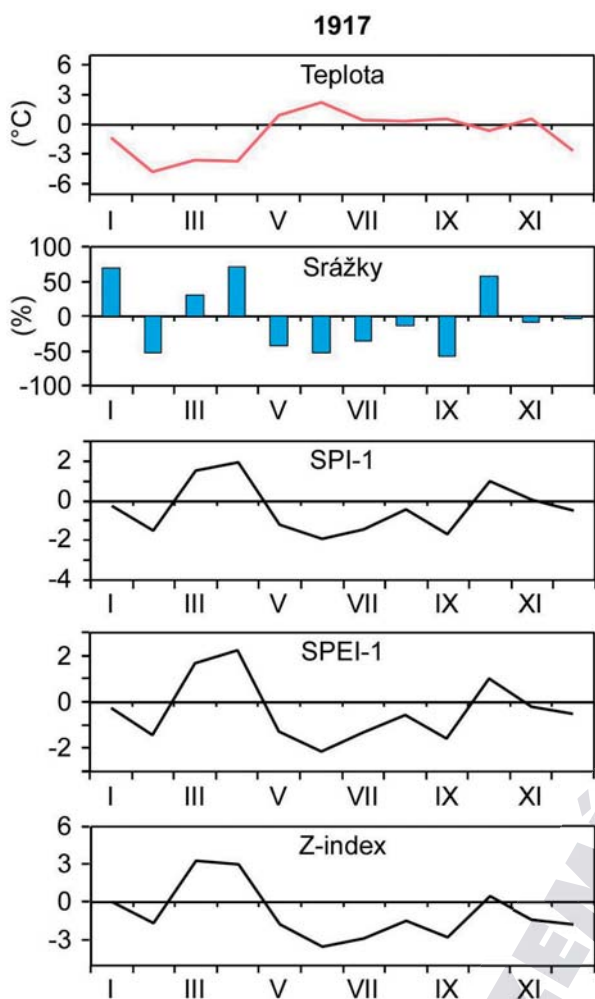
**Dopady sucha:** Záznamy z Plotiště nad Labem uvádějí v roce 1911 sucho od jara do 15. září, kdy poprvé zapršelo. Země byla vyprahlá, prameny suché

a nedostatek vody byl ve studních a řekách. Špatná úroda a nedostatek píce vyvolaly nebývalý růst cen. Ke zmírnění této kritické situace se z Uher dovážela sláma a kukuřice jako náhrada za obilí (Pišl, 1938). Lukotkovy záznamy ze Vsetína citují roku 1911 sucho poprvé ke dni 10. července, kdy se pro sucho na lukách špatně kosilo, avšak trávy bylo dost (Lukotka I, fol. 223v). Déšť o týden později neznechal na trávě stopy a v suché půdě zely čtvrtmetrové trhliny (ibidem, fol. 228r). V dalších zprávách ze srpna Lukotka konstatuje, že pozorované sucho je menší než v Čechách, byť si k 9. srpnu zapsal: „*takhle beze všech srážek suchého roku snad ani nepamatují*“ (ibidem, fol. 227r, 228r). Podle zápisu k 15. srpnu na některých stromech suchem žloutlo a opadávalo listí (ibidem, fol. 228v). Ve Vizovicích vysychaly studny, bylo velmi málo obilí a předčasně opadávalo listí ze stromů. Brambory se vykopávaly až po 1. listopadu, protože teprve po deštích v polovině října nasadily. V té době teprve začaly růst i houby, které se hojně sbíraly v listopadu (Čižmář, 1933). V Pouzdřanech je zmiňováno velmi horké a suché léto, kdy se dobře vydařilo víno (Policky, 1936). Podle školní kroniky vyschly v Javorníku pro velké sucho všechny studny (Beránková, Rychlík, 2000). V Hradčovicích a Lhotce byly krátké žně jen po dva týdny, ale přes sucho byla úroda obilnin dobrá. Neurodily se ale okopání (Burša, Pilka, 1997).

#### 4.1.5.11 Rok 1917

**Meteorologické podmínky:** Období s podprůměrnými úhrny srážek se zřetelem na referenční období 1961–1990 se roku 1917 vyskytlo od května do září s nevýraznějším poklesem srážek v září a v červnu (obr. 110). Měsíce květen a červen byly charakterizovány také nadprůměrnými teplotami vzduchu. Podle všech tří použitých indexů sucha bylo období května–září čtvrtým nejsušším v řadě českých zemí od roku 1805 do roku 2012.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1917 bylo počasí ve střední Evropě ovlivněno výraznou anticyklonou se středem nad východní Evropou (obr. 111). V červnu byla prakticky celá střední Evropa pod vlivem izolované anticyklony. V červenci a září převládal v Evropě výrazný hřeben vysokého tlaku vzduchu táhnoucí se z Azorské tlakové výše. V prvním případě jeho osa směřovala na jih britských ostrovů, ve druhém v užším pásmu přes Biskajský záliv k Černému moři.



**Obr. 110.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1917. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 110.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1917. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

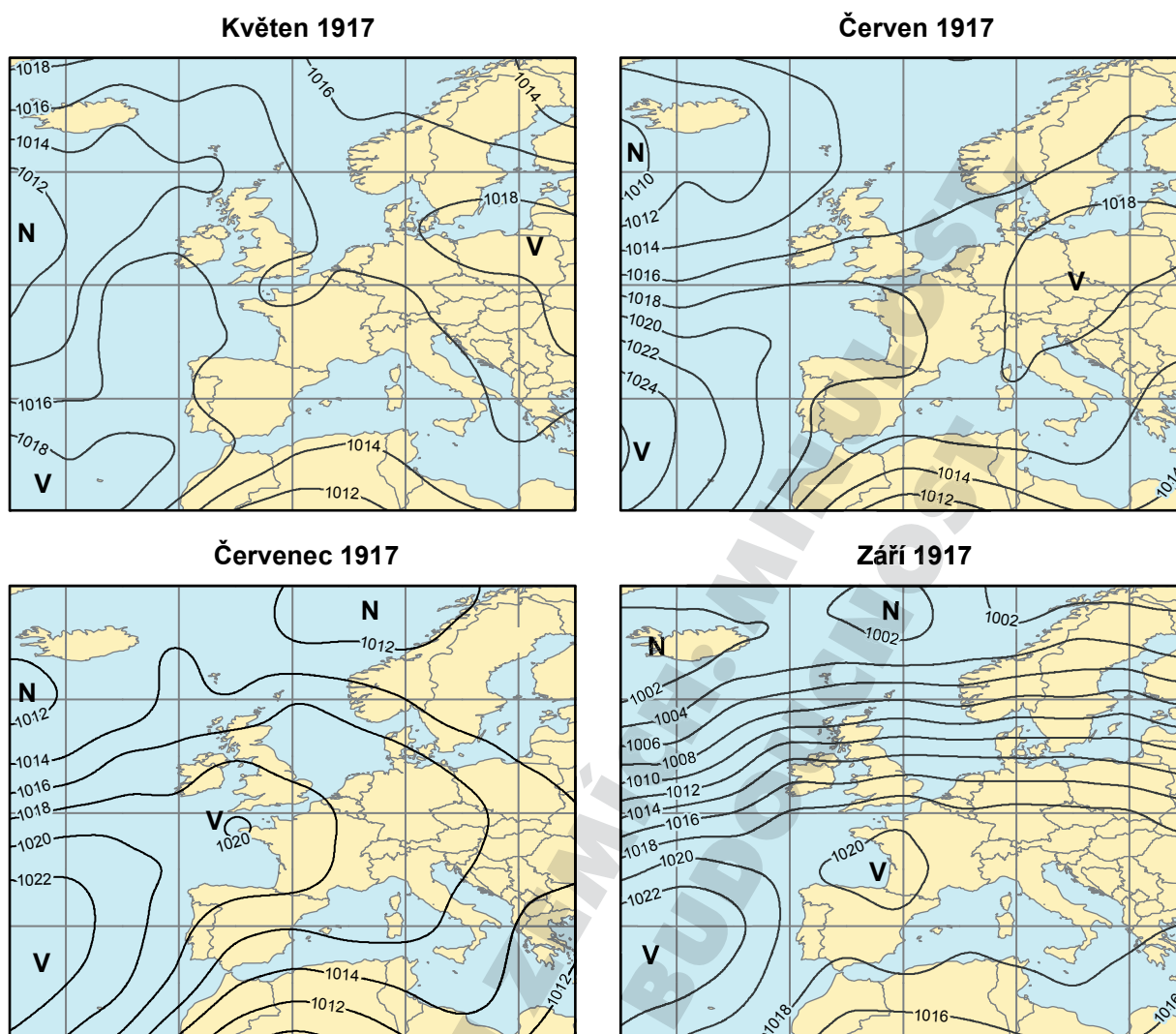
**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho v roce 1917 nepatřilo mezi příliš významné (obr. 112). Malé průtoky pod prahovou hodnotu  $Q_{30}$  byly zaznamenány na více stanicích pouze v období od poloviny července do poloviny srpna a na části stanic pak i v některých dnech od druhé poloviny června do první dekadý října v závislosti na velikosti úhrnů srážek.

**Dopady sucha:** Na Vsetínsku se o suchu zmiňuje písmák Josef Lukotka poprvé v zápise ke dni 16. května, že kvůli suchu trpí jařiny i traviny (Lukotka III, fol. 328v). K 17. červnu konstatuje, že tak špatné obilí na polích ještě nikdy neviděl (obzvláště ječmen, oves a jarní žito) (ibidem, fol. 337v). V dalším

zápise o suchu ze dne 1. srpna, kdy cituje nedostatek vody, uschlé pastviny, málo slámy a problémy s užitím dobytka, si pak posteskl, že „*nynější sucho jak tak zhoubné jako trvajícím válka*“ (ibidem, fol. 350v). Dne 25. září začala sklizeň brambor, kterých se urodilo v různé míře. Suchem a housenkami velmi utrpělo zelí (ibidem, fol. 358v, 359r). Ve Vizovicích nepršelo od 1. května, takže se neurodila zelenina a rané brambory, a bylo také málo jařin. Sucho pokračovalo i v srpnu, kdy vysychaly studny a potoky, a nedostávalo se vody na mletí, takže v případě nejnnutnější potřeby se mlelo obilí i na kávozem mlýnku (Čižmář, 1933). Podle záznamů z Tlumačova nepršelo (nebo jen místy a málo) od začátku května do 3. června, kdy sucho pokračovalo dál. Kvůli suchu nebyla pastva pro dobytek, ale dobré byly žně, byť na celkové množství slabší. Dne 11. srpna byl po dlouhé době první déšť, který ale neměl vliv na pokračující horko a sucho. Málo bylo brambor a řepy a špatné bylo podzimní setí „*do prachu*“ (Horníček, 1925). Pramen z Pouzdřan uvádí kvůli trvajícím suchu a chybějícímu hnojivu špatnou úrodu obilnin a okopanin, kdy se projevil také nedostatek pracovních sil (kvůli mnoha mužům odvedeným na frontu) (Polický, 1936). V Uherčicích je zmiňováno suché a horké léto. Obilí a ostatní plodiny předčasně zaschly, žně byly ubohé, ale byl dostatek velmi dobrého vína (Mlateček, Mlatečková, 2002). Pinkava (1988) cituje na Moravskotřebovsku škody suchem „*nejen na kulturách, ale i souše vzrostlých stromů, a to 71 280 kusů jehličnanů, neboli 11 % (...) a 1 997 listnáčů, čili 15 %.*“

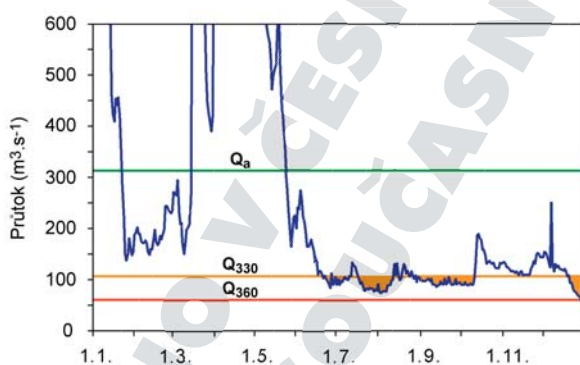
#### 4.1.5.12 Rok 1921

**Meteorologické podmínky:** Po výrazném poklesu indexů sucha v měsíci březnu začalo vlastní suché období roku 1921 od května a pokračovalo prakticky až do konce roku (obr. 113). Výraznější pokles srážek pod hodnotu průměru referenčního období 1961–1990 byl zaznamenán kromě března především v měsících květen–září a v listopadu. Sucho gradovalo v červenci, ale pro SPI-1 a SPEI-1 však již nedosáhlo březnových hodnot. V rámci řady českých zemí v období 1805–2012 patřilo suchu května–prosince roku 1921 následujících pořadí: 3. místo (SPI-1), 6. místo (SPEI-1) a 7. místo (Z-index). Z meteorologického hlediska bylo toto sucho detekováno především na východě republiky, kde bylo podstatně méně srážek než v její západní části (Tremel, 2011). Například při přechodu výrazné studené fronty ve dnech 12. a 13. srpna se v západní polovině Čech pohybovaly srážkové úhrny v rozmezí



**Obr. 111.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantické oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen, červenec a září roku 1917 v českých zemích

**Figure 111.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June, July and September 1917 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands



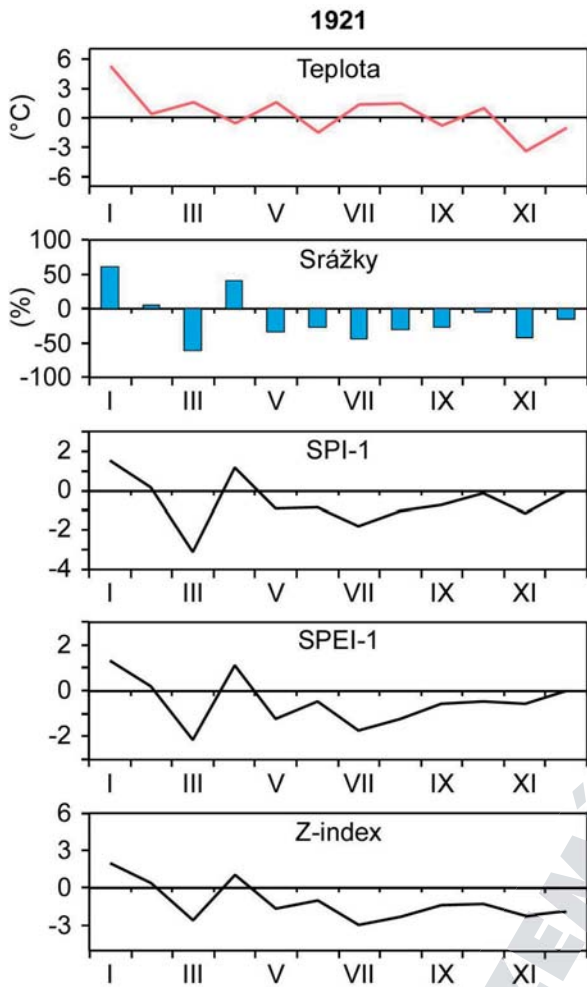
**Obr. 112.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v roce 1917 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_0$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$

**Figure 112.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1917 showing mean annual discharge  $Q_0$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange area indicates deficiency volumes with respect to  $Q_{330}$

od 20 do 50 mm, zatímco na Moravě to bylo pouze do 5 mm. Hlavní období meteorologického sucha připadlo na časový interval od 15. června do 22. října, kdy spadla přibližně jen třetina obvyklých srážek. Prakticky bez srážek bylo období od 6. července do 3. srpna. Dále nepršelo mezi 15. a 25. srpnem, 1. až 10. zářím a na jižní a střední Moravě od 13. září do 22. října. Ostatní bezsrážková období trvala maximálně týden.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1917 se střední Evropa nacházela v oblasti barického sedla (obr. 114). V červnu byla pod vlivem oblasti vyššího tlaku vzduchu s osou hřebene vysokého tlaku směřujícího z Azorské anticyklony na britské ostrovy. Podobná situace ovlivňovala průběh počasí ve střední





**Obr. 113.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1921. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 113.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1921. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

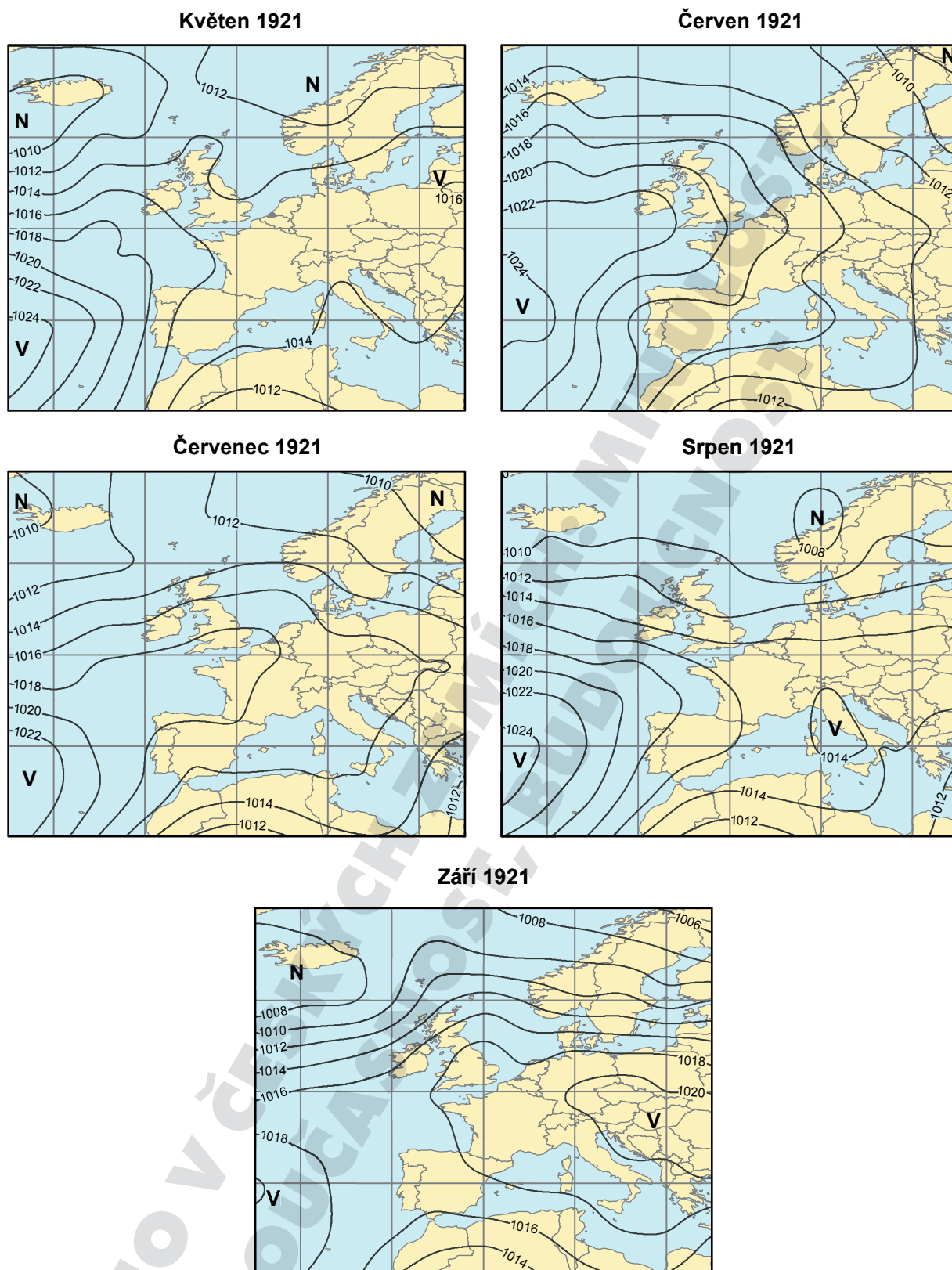
Evropě i v červenci. V srpnu zasahoval do Evropy slabší výběžek vysokého tlaku vzduchu z Azorské výše, oddělující pásmo nižšího tlaku vzduchu nad severním Atlantikem a severní Evropou od nižšího tlaku vzduchu na jihovýchod od Středozeří. V září byla střední Evropa pod vlivem anticyklony se středem nad Balkánem.

**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho roku 1921 začalo na přelomu první a druhé červencové dekády a trvalo do konce října, přičemž nízké průtoky pokračovaly až do druhé dekády prosince. Ze šesti studovaných vodoměrných stanic (tab. 4) chybělo nejvíce vody za celý rok v Brandýse nad Labem a v Olomouci, kde z hlediska nedostatkového ob-

jemu vody i počtu dnů s průtokem nižším než  $Q_{330}$  byl rok 1921 nejextrémnější v celé historii měření. V Brandýse nad Labem byl průtok pod  $Q_{330}$  zaznamenán po 164 dnů s nedostatkovým objemem 163 milionů  $m^3$  vody (37 %), což je 97krát více než v obvyklém roce. Na řece Moravě v Olomouci byl odpovídající průtok dosažen ve 149 dnech a chybělo 38,9 milionů  $m^3$  vody, tedy 90krát více než obvykle. Na Labi v Děčíně byl průtok pod uvedenou hodnotou zaznamenán po 149 dnů s nedostatkovým objemem ve výši 456,5 milionů  $m^3$  vody, což je 68krát více než je roční průměr a zároveň čtvrtá nejvyšší hodnota.

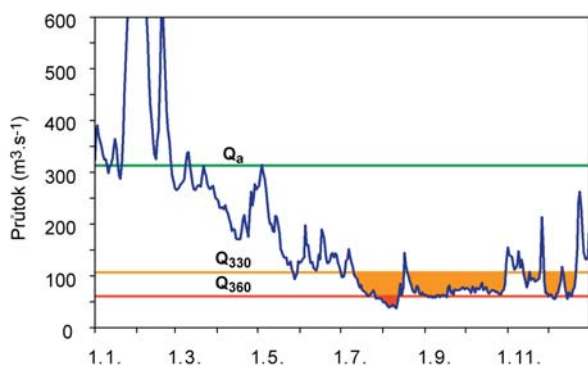
Hydrologické sucho roku 1921 bylo významné také s ohledem na délku souvislého období s průtokem pod  $Q_{330}$ . Extrémní bylo svojí délkou 115 dnů (7. červenec–29. říjen) v Brandýse nad Labem (deficitní objem 137,6 milionů  $m^3$  vody). O druhé největší sucho se jednalo na Odře v Bohumíně s trváním v délce 105 dnů (21. červenec–2. listopad); deficitní objem byl přes 32,4 milionů  $m^3$  vody (třetí nejsušší). Také na Moravě v Olomouci trvalo toto období 105 dnů (třetí nejsušší po letech 1953–1954 a 1947), přičemž nedostatkový objem 33,2 milionů  $m^3$  vody se zařadil na druhé místo. Na Labi v Děčíně se souvislé období sucha vyskytlo pouze v 73 dnech (19. srpen–30. říjen), neboť průtoky 17.–18. srpna překročily hodnotu  $Q_{330}$ . Při započtení těchto dnů by odpovídající období nízkých průtoků začalo stejně jako na většině ostatních toků od 11. července, takže jeho délka by byla 110 dnů, což by ho řadilo na třetí místo (nedostatkový objem by činil téměř 367 milionů  $m^3$  vody, tj. 36 % standardizované hodnoty a čtvrtá nejvyšší hodnota vůbec) (obr. 115).

**Dopady sucha:** Příkladem popisu účinků sucha roku 1921 z dokumentárních pramenů může být kronika města Vsetína, která k němu uvádí (*Kron. Vsetína*, s. 433): „Od dubna do polovice srpna 1921 vůbec nepršelo (4 měsíce), čímž nastalo katastrofální sucho a neúroda. Na Vsetínsku byla tráva na loukách úplně vypálena, hospodáři museli pro nedostatek píce prodávat dobytek. ... Bramborová nať předčasně uschla, velká úroda ovoce na stromech zaschla a opadala. Podél trati denně hořela suchá tráva a místy i lány suchého, nedozrálého obilí, také v lesích vznikaly požáry. Městský vodovod měl kritický nedostatek vody, takže bylo nařízeno největší šetření s vodou. Teprve 13. srpna přišel déšť, který však už na polích mnoho nezachránil.“ Kronika se k suchu vrací ještě jednou zmínkou o nedostatku vody, když konstatuje, že katastrofální sucho poškodilo úrodu, ale ne tak moc, jak se lidé



**Obr. 114.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantické oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen, červenec, srpen a září roku 1921 v českých zemích

**Figure 114.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June, July, August and September 1921 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands



**Obr. 115.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v roce 1921 s vyznačením průměrného ročního průtoků  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$ , resp.  $Q_{360}$ .

**Figure 115.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1921 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively

obávali (ibidem, s. 435): „Ve vesnicích malé potůčky tehdy úplně vyschly, na kopcích a pasekách nebylo vůbec vody a lidé ji tam museli v putnách vynášet daleko z údolí pro sebe i pro dobytek.“ Další pramen ze Vsetína (zápisy Josefa Lukotky) zmiňuje sucho v několika záznamech z července a srpna. Vzdor velkému suchu uvádí pěkné, ale řídké, ozimy (Lukotka IV, fol. 577v), obnažení hladového kamene na Labi (ibidem, fol. 578v), vyprahlou půdu do hloubky jednoho metru, suché louky a pastviny, padající ovoce a slabší jařiny, ale dostatek dobrého obilí na Valašsku (ibidem, fol. 579rv). V zápise z 21. srpna pak cituje nedostatek vody, která se musí pro obyvatele na kopcích donášet. Odvolává se na to, že takové sucho jako tohoto roku bylo v roce 1867 (ibidem, fol. 579v, 580v).<sup>62</sup> Záznamy z Tlumačova uvádějí krásné obilí, ale suché louky, jetel schnoucí na stojato, listí opadávající ze stromů jako na podzim, usychající brambory a řepu. Sucho trvalo do 14. srpna, kdy přišel déšť, a po dlouhé době přišlo zase až 12. září. Sucho trvalo i přes říjen a teprve začátkem listopadu přišly silnější deště (Horníček, 1925). V Pouzdřanech panovalo sucho od poloviny května do poloviny září a málo srážek bylo i v dalším pokračování podzimu. Hladina podzemní vody poklesla o dva metry, takže mnohé studny byly prázdné. Kvůli nedostatku vody nemohly vodní mlýny čas od času mlet. Přesto byla senoseč průměrná a obilniny daly uspokojivou

<sup>62</sup> Jedná se o Lukotkovu chybnou záměnu roku 1867 s velmi suchým rokem 1868 (viz kap. 4.1.5.8).

úrodu. Neurodily se okopaniny, kukuřice a otavy, ale vydařilo se vinobraní (Polický, 1936). Hule (2002) cituje pro Stráž nad Nežárkou velká vedra po celé léto, kdy jen málo přšelo, žně byly předčasné a neurodily se otavy. Další zmínky o suchu a neúrodě jsou uváděny například pro Dolní Kounice (Řiháček, 2002), Džbánice (Šípek, 2003), Hradčovice a Lhotku (Burša, Pilka, 1997), Pavlínov (Hnízdil, 2002) či Stavěšice (Hrdlička, 1999). Na Moravskotřebovsku zmiňuje Pinkava (1988) škody suchem v lesních školkách.

#### 4.1.5.13 Rok 1947

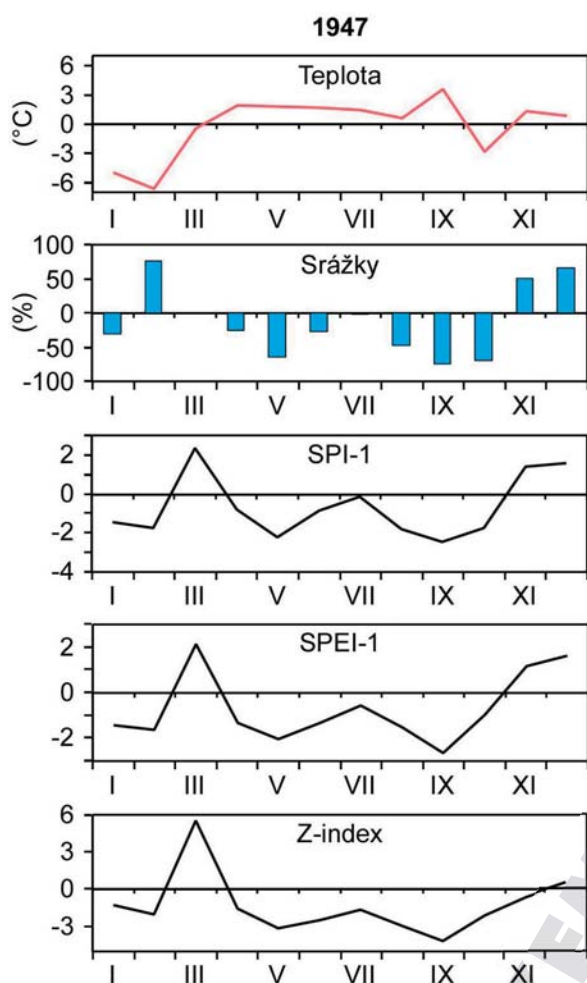
**Meteorologické podmínky:** Po suchu v lednu a únoru (podle hodnot tří indexů)<sup>63</sup> nastoupila další suchá perioda v dubnu a trvala až do října, přičemž do září byla doprovázena nadprůměrnými teplotami vzduchu (obr. 116). Pokles srážek byl nejvýraznější zejména v květnu a v srpnu–říjnu, přičemž v červenci odpovídal úhrn srážek průměru referenčního období 1961–1990. Epizoda sucha dubna–října roku 1947 v kontextu řady českých zemí z let 1805–2012 představuje nejextrémnější sucho podle SPEI-1 a Z-indexu, přičemž podle SPI-1 se jednalo o druhé největší sucho.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1947 byly české země pod vlivem oblasti vyššího tlaku vzduchu táhnoucího se ze severního Atlantiku a Skandinávie před Baltské moře ve směru severozápad–jihovýchod (obr. 117). V červnu, srpnu a září se pak jednalo o hřeben vysokého tlaku vzduchu, vybíhající do střední Evropy z Azorské anticyklony. Zatímco v srpnu se jeho osa táhla směrem na britské ostrovy, v září směřovala na sever Černého moře. V říjnu byla značná část Evropy pod vlivem vyššího tlaku vzduchu, přičemž izolovaná tlaková výše zasahovala ze střední Evropy k Černému moři.

**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho roku 1947 je podle velikosti chybějícího množství vody na většině toků jednoznačně největší, přičemž z hlediska trvání se řadí většinou na první až třetí místo. Hlavní období sucha začalo přibližně od druhé poloviny července a pokračovalo do 11. listopadu. Problémy s nízkými průtoky však byly patrné již od května, což souviselo s nízkými úhrny srážek. V hlavním období sucha přesáhla velikost standardizovaných nedostatkových objemů vzhledem k  $Q_{330}$  na všech

<sup>63</sup> Záporné hodnoty indexů sucha v únoru (přes výrazně nadnormální měsíční úhrn) a kladné v březnu souvisejí se způsobem jejich výpočtu — viz poznámka 42.





**Obr. 116.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1947. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 116.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1947. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

vodoměrných stanicích hodnotu 30 %. Na Labi v Děčíně chyběla dokonce téměř polovina objemu, představovaná 516,5 miliony  $m^3$  vody a hlavní období sucha zde trvalo 117 dnů od 18. července do 11. listopadu (druhé nejdelší období sucha), přičemž během celého roku 1947 bylo zaznamenáno 161 dnů se suchem (třetí nejvyšší počet) (obr. 118). V úhrnu za celý rok chybělo v Děčíně v období sucha 83krát více vody než je obvyklé, takže se jedná o druhý největší extrém od roku 1888.

Obdobně jako v Děčíně patřil rok 1947 mezi nejextrémnější také na dalších vodoměrných stanicích. Tak například na Jizeře v Železném Brodě klesl průtok pod  $Q_{330}$  celkem ve 173 dnech a chybělo 86krát více vody než v průměrném roce. V souvislém ob-

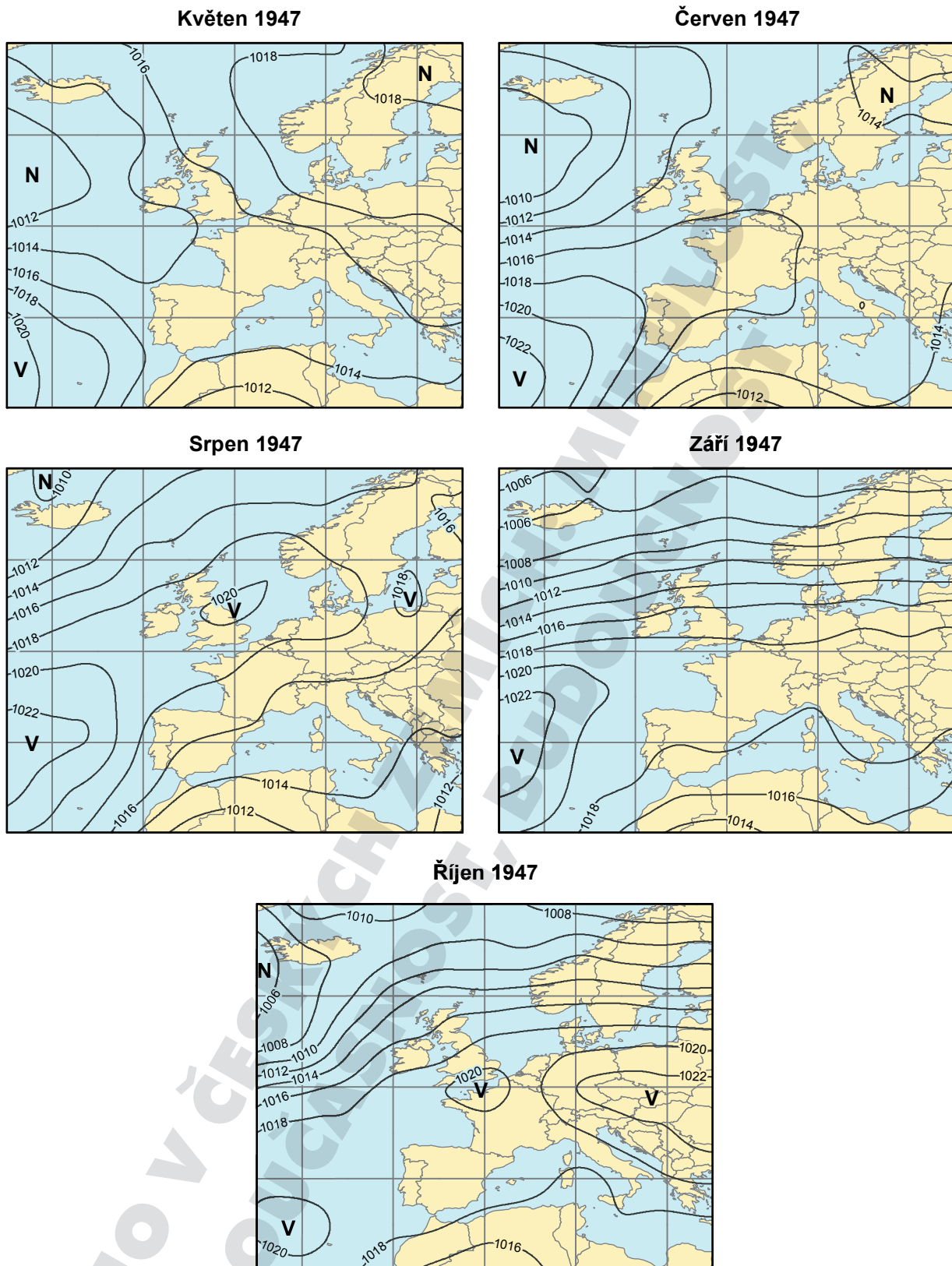
dobí extrémně nízkých průtoků v trvání 103 dnů od 27. července do 6. listopadu chybělo 17 milionů  $m^3$  vody (39 %). Obě hodnoty představují dosud největší suchu na této stanici.

V Brandýse nad Labem chybělo za celý rok 1947 celkem 72krát více vody než je obvyklé (třetí největší suchu), ale 131 dnů s průtoky nižšími než  $Q_{330}$  řadí tuto epizodu až na páté až šesté místo od roku 1911. Hlavní období sucha se vyskytlo od 16. července do 10. listopadu v trvání 117 dnů (kromě 28. července), přičemž chybělo téměř 118 milionů  $m^3$  vody. Tak dlouhé období hydrologického sucha dosud na této stanici zaznamenáno nebylo. Souvislé období s průtoky pod  $Q_{330}$  trvalo 105 dnů od 29. července do 10. listopadu a spolu s nedostatkovým objemem vody ve výši 112 milionů  $m^3$  představuje druhou nejvyšší hodnotu. Dne 23. září 1947 byl v Brandýse nad Labem naměřen dosud nejnižší průtok  $11,4 m^3 \cdot s^{-1}$  za celé období pozorování od roku 1911.

Na řece Moravě v Olomouci chybělo v roce 1947 celkem 76krát více vody než je obvyklé, což odpovídalo druhé nejvyšší hodnotě, podobně jako u dalších použitých charakteristik: 132 dnů s průtoky nižšími než  $Q_{330}$ , 111 dnů se souvislými průtoky pod uvedenou hodnotou (24. červenec–11. listopad) a deficitní objem vody 31 milionů  $m^3$ .

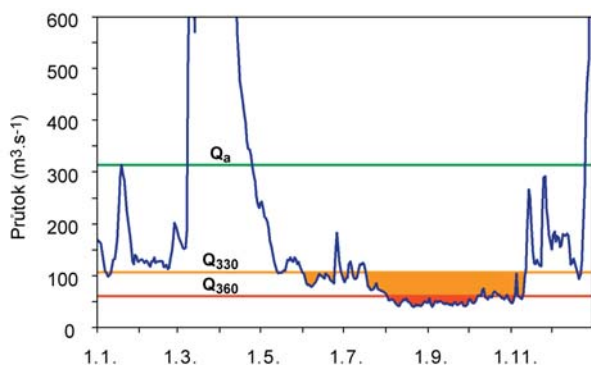
Obr. 119 ukazuje geografické rozložení výskytu hydrologického sucha roku 1947 v měřítku České republiky podle Novického et al. (2010) a Vlnase et al. (2010). Plyne z něho, že toto suchu se projevilo téměř na celém našem území, přičemž jsou velmi dobře patrné regionální vlivy na výsledný dopad hydrologického sucha (například vypouštění rybníční sítě v jižních Čechách). Výjimečnost sucha z roku 1947 spočívá i v tom, že bylo následováno dalšími poměrně suchými roky 1948–1954.

**Dopady sucha:** Sucha roku 1947 a jeho dopadů se týká mimořádně bohatá odborná literatura citovaná v kap. 2.2. Kronikářské záznamy z obce Jalubí vystiženě charakterizují dopady extrémního sucha v průběhu celého roku (*Kron. Jalubí*, I, fol. 37v–38v): „Jaro začalo opožděně ... Nastává suchu. Zpožděné zaseté řepy nevzešly. Vzhází až ku konci května. ... Stále neprší. Hrozí katastrofa. Obilí zůstalo velmi prořídle, hlavně pšenice. Roste hojně plevel. Žně následkem sucha zpožděné. 15. červen. Dosud velké suchu. Stále neprší, jen bezvýznamné srážky. Kosí se potažními žačkami pro malou krátkou slámu ... Sklizeň prvních pícnin velmi malá (30%). Pícnin na zeleno není, po zasetí uschly. Krmí se po většině slámou. ... Zemědělcí odjíždí na severní Moravu, aby tam kosením



**Obr. 117.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen, červen, srpen, září a říjen roku 1947 v českých zemích

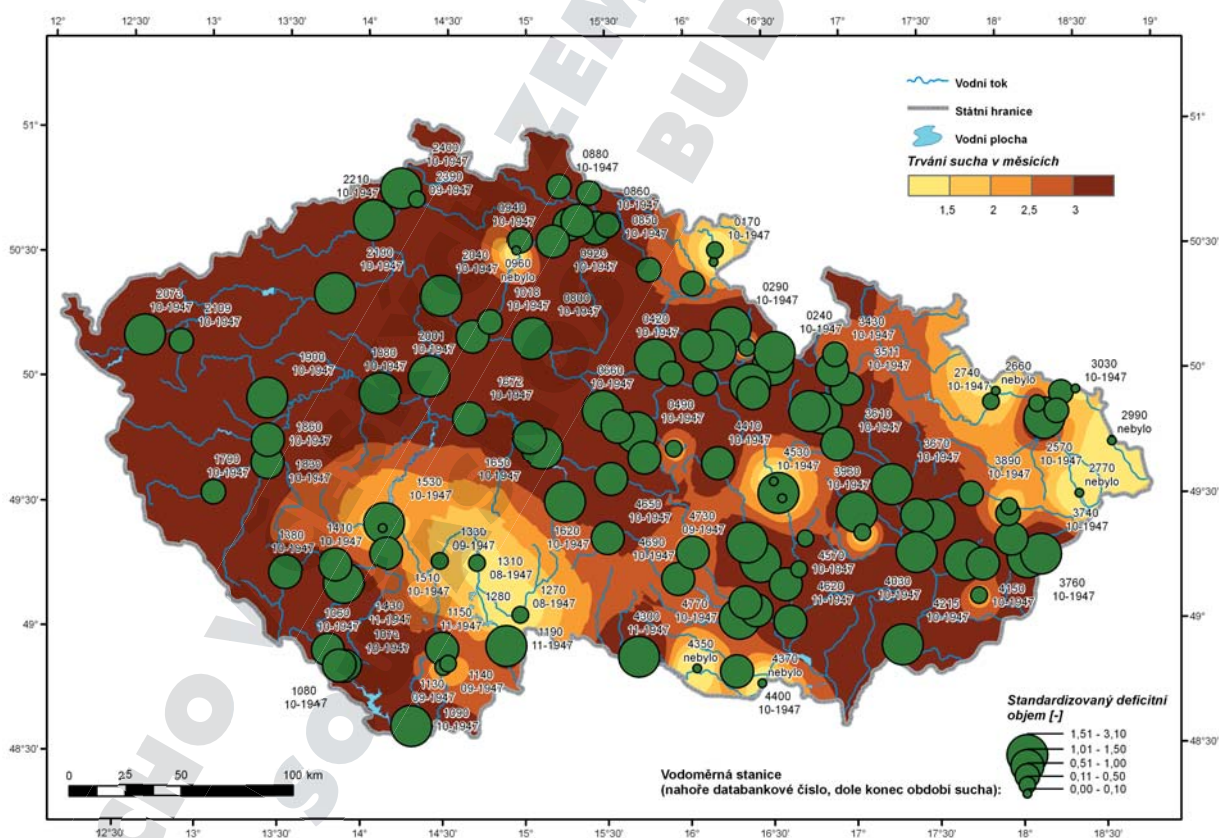
**Figure 117.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May, June, August, September and October 1947 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands



**Obr. 118.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v roce 1947 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$

**Figure 118.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1947 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively

a sušením sena získali krmivo. ... Většina zemědělců pod dobytek nepodestýlá a šetří slámu na krmení. Podmínky strnišť pro sucho nedokončeny. ... V září se dobývají brambory, kterých [bylo] velmi málo a trpěly vadnutím hlíz. Pro katastrofální sucho se dosud ne-seje. Dobývají se řepy. Vyoravače na řepu se lámou pro ztvrdlou půdu. Dobytek to nemůže utáhnout. Dobývá se krumpáči. Výnos řepy pod normální. ... Obava, že se nezaseje. ... Naorává se suchá půda, při orání mračky prachu. ... Hrozny v měsíci září za vysokých teplot a sucha usychaly a byly předčasně sebrány. Ovoce padalo ze stromů a velice hnilo. ... Byl nedostatek osiva, hlavně pšenice ... Následkem nedostatku píce vyprodáván hovězí dobytek, i koně. ... Pro úplný nedostatek slámy hrabe se v lese listí. ... Krmí se také bramborovou sušenou natí.“ Ve Sloupě odnášel vítr suchou ornici z polí. Hektarové výnosy se pohybovaly jen kolem 6 q a kvalita zrna byla velmi špatná (Klimeš et al., 2001). V Dolních Kounicích bylo možné vložit ruku do suchem rozpukané půdy (Řiháček, 2002). V Hevlíně nepršelo od poloviny března, takže obilí a okopaniny zaschly. Vyschly i rybníky a některé



**Obr. 119.** Standardizované nedostatkové objemy se zřetelem na  $Q_{95}$  a trvání hydrologického sucha na území České republiky v roce 1947 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)

**Figure 119.** Standardised deficiency volumes with respect to  $Q_{95}$  and duration of hydrological drought for the territory of the current Czech Republic in 1947 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)



studny. Místním rolníkům byla ke kompenzaci ztrát poskytnuta vládní podpora ve výši 415 tisíc Kč (Vogel, 2000). V Hlíně byla následkem sucha po celé léto a na podzim velká neúroda obilí, krmiv, brambor a řepy. Nedostávalo se ani lesní trávy používané zde jako krmivo pro domácí zvířata. Uchlo také mnoho ovocných a lesních stromů (*Pamětní kniha Hlín*, s. 142). Pro Hluboké Mašůvky se uvádí sucho od jara do podzimu, neúroda, vysychající studny a nedostatek vody (pro dobytek se vozila voda z rybníka), a velké množství chroustů, kteří úplně ožrali duby, takže se lesy práškovoaly z letadla (Adámek, Pechová, 2001). Ve Chvalaticích nepršelo od března až do konce října. Obilí bylo slabé, sláma žádná a pícnin nedostatek. Úroda dosahovala 30–50 % normální sklizně a nedostatek krmiva donutil hospodáře ke snižování stavů dobytka (*Kron. Chvalatic*, s. 10). Pro Milešovice se uvádí, že pro velmi suché počasí obilí z velké části „zahořelo“, nastal nedostatek slámy a zrna, zaschly jetele a byla též malá úroda brambor a krmné řepy. Skot trpěl měknutím kostí, což se projevilo poklesem jeho stavů (*Kron. Milešovic*, s. 129–130). Další publikované kronikářské záznamy se vesměs zmiňují o velkém suchu, špatné úrodě a nedostatku vody jako například pro obce Džbánice (Šípek, 2003), Hostěradice (okres Znojmo; Šípek, 1999), Hradčovice (Burša, Pilka, 1997), Chlumek (Makovský, 1999), Jasenice (Kotík, 2003), Lesná (okres Znojmo; Bína, 1994), Polnička (Pavliček, Řehoř, 2002) či Stavěšice (Hrdlička, 1999).

Katastrofální sucho roku 1947 bylo také předmětem jednání státní správy na různých úrovních, jak lze dokumentovat na příkladu ze zasedání Moravskoslezského zemského národního výboru v Brně ze dne 16. prosince. Ukončením dodávek z programu UNRRA (v létě 1947) i odmítnutím Marshallova plánu československou vládou 10. července 1947 se situace v zásobování státu zemědělskými produkty dostala do značných potíží.<sup>64</sup> Společensko-politickou atmosféru té doby lze doložit úryvky z referátu člena rady zemského národního výboru a předsedy mimořádné zemské vyživovací komise za komunistickou stranu ing. Floriána Glozigy, který přednesl na schůzi pléna zemského národního výboru v Brně dne 16. prosince 1947. V něm informoval o situaci v zásobování obyvatelstva takto (*Schůze pléna ZNR*): „Relativně příznivé počasí v jarních měsících t.r. jakož i celkový vývoj našeho hospodářství ukazoval ve výži-

vě a zásobování velmi dobré perspektivy na zvýšení životní úrovně našeho lidu. Do tohoto předpokladu ... velmi rušivě zasáhla mimořádná such, která způsobila vážné potíže ve výživě a zásobování. ... V této práci setkávali jsme se mimo následky mimořádného sucha s řadou jiných potíží, způsobených zjevy jednak povahy politické, které se během dvou poválečných let v různých zemích a mezi světovými kontinenty projeví [fol. 1r]. ... Mimořádná such a z něho vyplývající neúroda v obilninách jak u nás, tak i v Evropě a v jiných světadílech nás postavilo před nesmlouvavý příkaz, abychom se o obilí nutné k zajištění výživy našeho lidu postarali v první řadě z vlastních zdrojů [fol. 3r]. ... Situace takto vzniklá, lépe řečeno její perspektivy, se odrážely v lavinovitě snaze obyvatelstva po nákupech chlebového obilí, zejména pšenice cestou černého trhu bezprostředně ihned po žních. ... Za těchto okolností pak došlo ke stanovení výše povinných dodávek a to pro zemi Moravskoslezskou v úhrnné výši 18 500 vagónů, z toho 6 938 vagónů pšenice a 11 562 vagónů žita [fol. 4r]“. K 15. prosinci byla povinná dodávka obilí na Moravě plněna na 54 % u pšenice, na 73 % u žita, na 102 % u ječmene a na 45 % u krmného obilí. Dále se příspěvek ing. Glozigy zabýval zajištěním chybějícího obilí: „Pokud jde o dodávky a zajištění chlebového obilí ze zahraničí, tedy mimo menší množství z Kanady, Jugoslávie, Bulharska při dnešní mezinárodní situaci — střízlivě uvažováno — jakýkoliv výkup byl a je nad naše síly. ... Tím více je proto nutné oceniti velkou zásluhu našeho Sovětského spojence o zásadní pomoc našemu plánu výživy, která byla realizována v červenci 1947 československou delegací v čele s předsedou vlády Klementem Gottwaldem v Moskvě, kdy byla dojednána dodávka chlebového obilí a krmiv pro náš stát, který v té době následkem mimořádného sucha musel očekávati neúrodu. Sovětská vláda a osobně její předseda generalissimus Stalin vyšli žádosti čsl. vlády plně vstříc a zaručili dodávku 200 000 tun pšenice a 200 000 tun krmného obilí. ... v létě však ještě nebylo možno určit přesný rozsah neúrody. Následky such projevily se na podzim daleko hůře a tak i přes veškeré slíbené dodávky ze zahraničí hrozily Československu těžké zásobovací potíže. Za této situace se předseda vlády Klement Gottwald obrátil 25. listopadu t.r. na předsedu ministerské rady SSSR gen. Stalina osobním dopisem, ... a požádal ho mimo jiné, zda by nebylo možno zvýšiti dodávku sovětského obilí aspoň o 150 000 tun. Telegrafickou odpovědí ze dne 29. listopadu t.r. sdělil gen. Stalin, že po poradě s příslušnými sovětskými činiteli nabízí se Československu nikoliv 150 000 tun, nýbrž 200 000 tun chlebového obilí nad to, co v létě bylo dohodnuto. ... Sovětský

<sup>64</sup> K hodnocení československé vnitřní i zahraniční politiky v souvislosti s nabídkou Marshallova plánu blíže viz Michálek (2007).

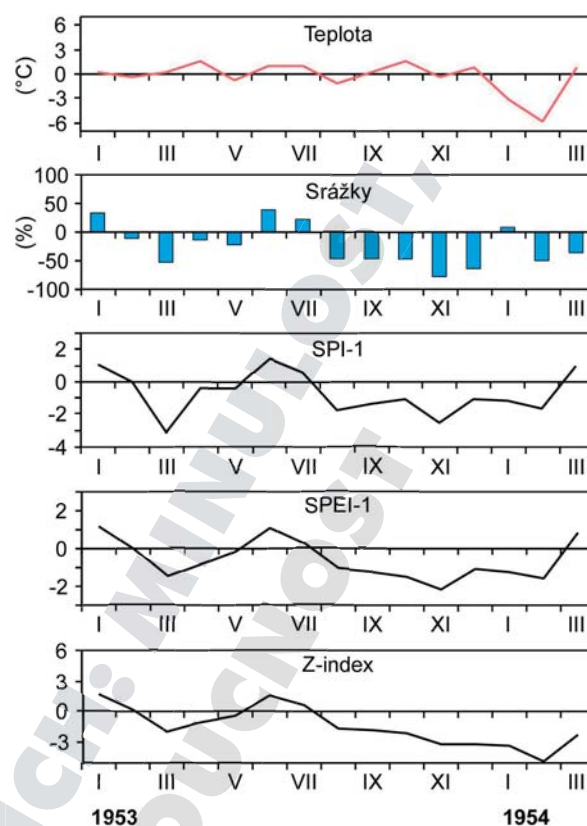
svaz nám tedy dodá z úrody r. 1947 celkem 600 000 tun obilí, z toho 400 000 tun obilí chlebového tj. pšenice a žita a 200 000 tun obilí krmného. Z toho bude dodáno do konce tohoto roku 50 000 tun chlebového a 50 000 tun krmného obilí, zbytek pak postupně do konce dubna 1948 [fol. 5r–6r].“ Kategoricky zamítavá odpověď Moskvy na nabídnutý projekt amerického státního tajemníka Marshalla v rámci programu evropské obnovy (European Recovery Program), který zůstal v Glozigově referátu nezmiňován, a Stalina snaha vytlačit USA z Evropy spolu s neobyčejně chudou úrodou obilí v důsledku sucha přispěly v následujícím období ke značným sociálním a politickým změnám. Byť dopad těchto událostí na další politický vývoj v tehdejší Československu nebyl dosud zcela objektivně vyhodnocen, je jisté, že zmíněná sovětská pomoc ke zmírnění následků sucha roku 1947 byla v následujících letech po převzetí moci komunistickou stranou široce využívána pro propagandistické účely.

#### 4.1.5.14 Rok 1953 (1954)

**Meteorologické podmínky:** Souvislé období průměrných srážkových úhrnů se vyskytlo od srpna do prosince roku 1953, ale nízké úhrny srážek byly zaznamenány také v únoru a v březnu následujícího roku (obr. 120). Relativně nejvýraznější pokles srážek nastal v listopadu a v prosinci. Suchá epizoda od srpna 1953 do února 1954 představuje podle všech tří indexů sucha dosud nejextrémnější případ v řadě českých zemí z let 1805–2012.

**Synoptická situace:** V případě všech suchých měsíců existovala nad střední Evropou výrazná oblast vyššího tlaku vzduchu (obr. 121). V srpnu se jednalo o výrazný hřeben vysokého tlaku vzduchu zasahující sem z Azorské anticyklony, v němž se vytvořila menší izolovaná anticyklona nad částí našeho území. V září se rozsáhlejší anticyklona nacházela nad jihovýchodní Evropou. V ostatních suchých měsících již bylo naše území pod vlivem anticyklon ležících východně (říjen) a jihovýchodně od nás. V listopadu směřovala osa hřebene vysokého tlaku vzduchu, vybíhajícího z rozsáhlé anticyklony nad jihovýchodní Evropou, přes Středozemí na Pyrenejský poloostrov. V prosinci šlo o vliv velmi výrazné anticyklony nacházející se jihovýchodně od střední Evropy a z ní vycházejícího hřebene vysokého tlaku vzduchu, směřujícího na sever Francie.

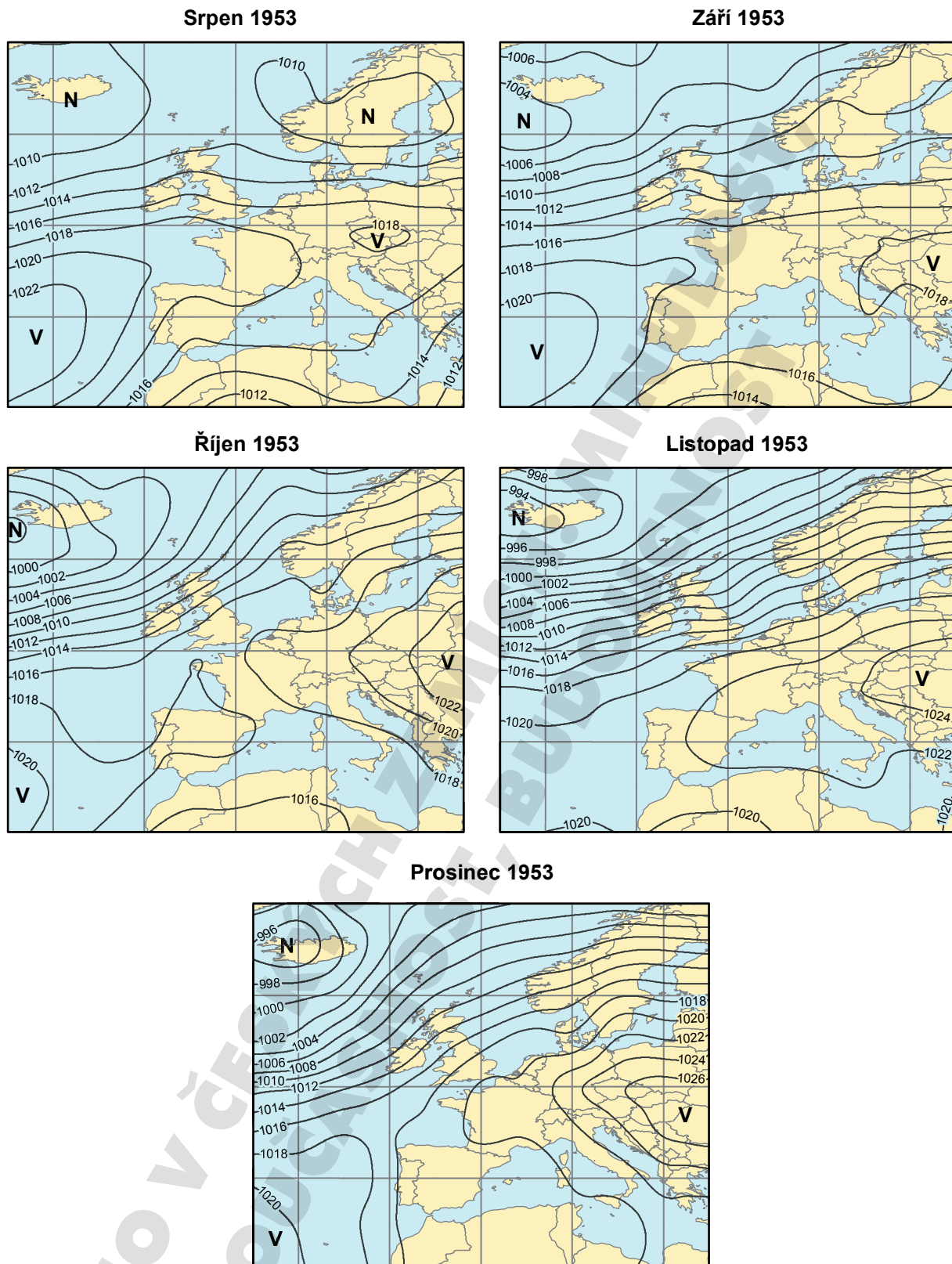
**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho roků 1953 a 1954 navázalo na velmi suché roky 1947–1952.



**Obr. 120.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích pro rok 1953, rozšířený o leden–březen roku 1954. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 120.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1953, extended for January–March 1954. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

Začalo kolem 15. srpna 1953 a skončilo v první polovině března roku 1954 táním sněhu. Na většině profilů trvalo přes 190 dnů. Výjimečnost tohoto sucha je kromě délky trvání i v plynulém přechodu sucha z letního období do zimního. Na většině vodoměrných stanic se nedostávalo do naplnění prahového průtoku  $Q_{330}$  přes 30 % vody. V absolutním vyjádření chybělo nejvíce vody v Děčíně (obr. 122), a to téměř 585 milionů  $m^3$  vody. Na Moravě v Olomouci se dokonce jednalo o největší hydrologické sucho z pohledu nejdelšího souvislého období s průtoky pod  $Q_{330}$  trvajícím 163 dnů od 23. září 1953 do 4. března 1954, a nedostatkového objemu 35 milionů  $m^3$  vody (35 %). Sucho zde bylo extrémní i z hlediska počtu všech dnů v roce s průtokem nižším než  $Q_{330}$  kdy rok 1953 se 127 dny byl čtvrtý až pátý nejsušší a rok 1954 se 104 dny osmý nejsušší. O extrémní hydrologické sucho se jednalo také v případě řeky Odry v Bohumíně. Tak rok 1954 se 163 dny



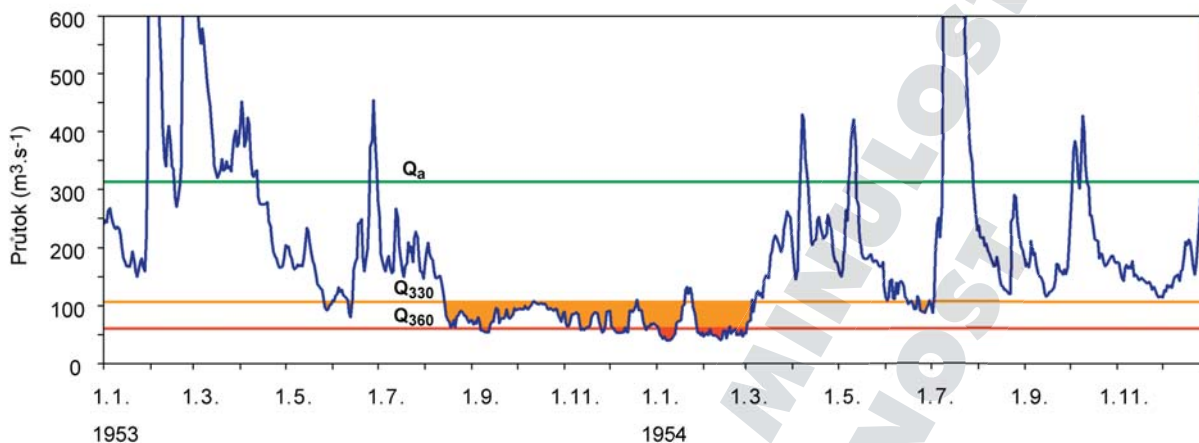
**Obr. 121.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce srpen, září, říjen, listopad a prosinec roku 1953 v českých zemích

**Figure 121.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of August, September, October, November and December 1953 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

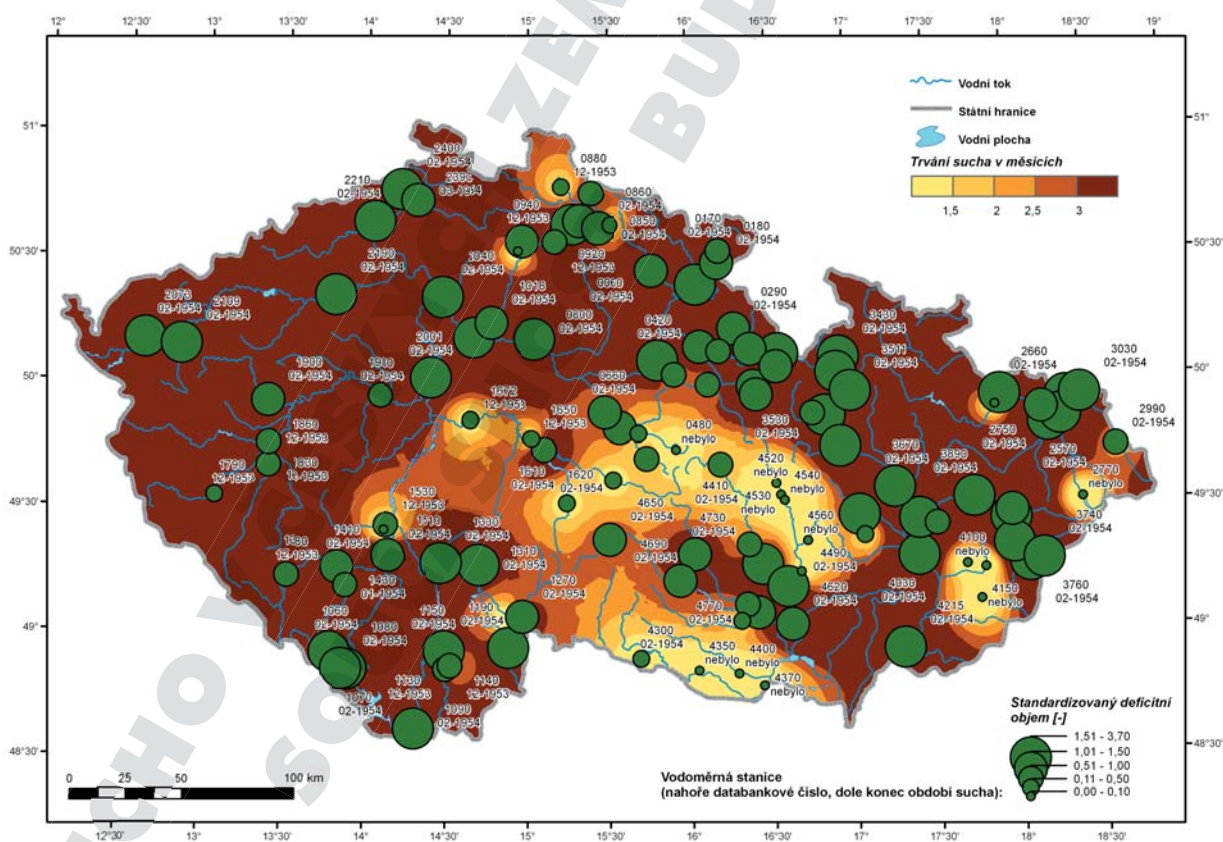


s průtoky pod  $Q_{330}$  zde byl vůbec nejsušší a rok 1953 se 137 dní třetí nejsušší. Roční objem chybějící vody byl oproti obvyklému stavu 61krát (nejvyšší hodnota, rok 1954), resp. 58krát (druhá nejvyšší hodnota,

rok 1953) vyšší. Hlavní období s největším nedostatkem vody trvalo celkem 196 dnů od 15. srpna 1953 do 28. února 1954 (kromě 5. září a 24. listopadu) a chybělo celkem přes 64,7 milionů  $m^3$  vody (38 %;



**Obr. 122.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Děčíně v letech 1953 a 1954 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$   
**Figure 122.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Děčín in 1953 and 1954 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively



**Obr. 123.** Standardizované nedostatkové objemy se zřetelem na  $Q_{95}$  a trvání hydrologického sucha na území České republiky v letech 1953–1954 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)

**Figure 123.** Standardised deficiency volumes with respect to  $Q_{95}$  and duration of hydrological drought over the territory of the current Czech Republic in 1953–1954 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)

obě tyto hodnoty jsou extrémní pro celou řadu měření v Bohumíně od roku 1920.

Nízké průtoky však byly v letech 1953–1954 zjištěny prakticky na všech tocích u nás. Tak například minimální průtok na řece Vltavě v Praze ze dne 11. ledna 1954 o hodnotě  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se zařadil spolu s tímž průtokem z 26. srpna 1947 na třetí až čtvrté místo v pořadí minimálních průtoků od roku 1851 (Novotný, 1963). Charakteristiky hydrologického sucha z let 1953–1954 názorně dokumentuje v měřítku celé republiky obrázek 123.

**Dopady sucha:** Kronika obce Jalubí cituje „nepamětné sucho“ a dodává, že velké sucho a teplo bylo od srpna až do konce roku. Ve studních bylo málo vody, pícniny uschly, obilí nevzklíčilo a „pole vypadalo jako poušť“ (Kron. Jalubí, II, s. 196).

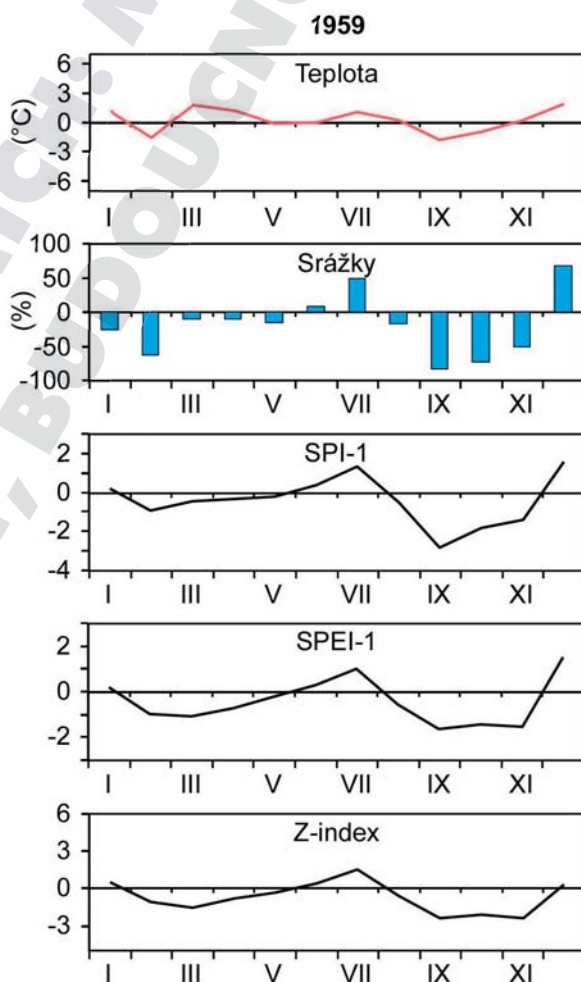
#### 4.1.5.15 Rok 1959

**Meteorologické podmínky:** I když v roce 1959 byly srážky prvních pěti měsíců a srpna pod hodnotou průměru referenčního období 1961–1900 (s největším deficitem v únoru), jejich nejvýraznější relativní pokles se dostavil teprve v podzimních měsících, zejména v září a v říjnu (obr. 124). Přitom teploty v září a také v říjnu byly podprůměrné. Výrazný deficit podzimních srážek se projevil v kontextu řady českých zemí pro období 1805–2012 nejextrémněji suchým podzimem podle SPI-1, zatímco podle SPEI-1 se jednalo o třetí nejsušší podzim a podle Z-indexu o šestý nejsušší.

**Synoptická situace:** Ve všech podzimních měsících byla střední Evropa pod vlivem oblasti vyššího tlaku vzduchu (obr. 125). Jednalo se o výraznou tlakovou výši sahající z oblasti Anglie na jihovýchod střední Evropy (září), resp. o anticyklonu nad jihovýchodní Evropou (říjen). V listopadu byly již české země pod vlivem anticyklony východně od nás, přičemž výrazná tlaková níže zasahovala z Islandu téměř k britským ostrovům.

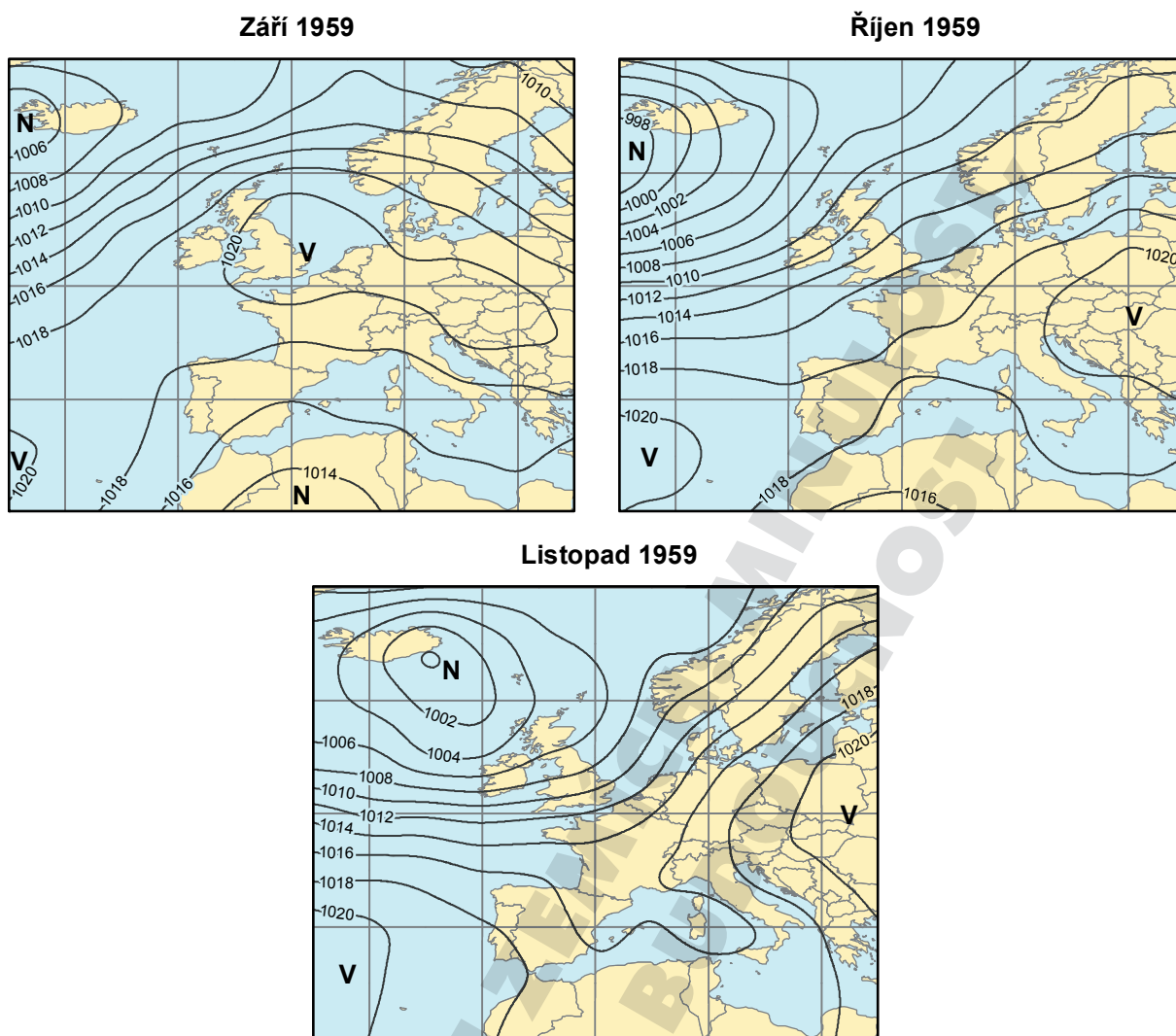
**Hydrologické sucho:** Na rozdíl od předchozích epizod se toto hydrologické sucho nevyskytlo na všech vodních tocích. Bylo to způsobeno postupně napouštěnými přehradami, které měly přispět mimo jiné také k nadlepšování průtoků v období malých vodností. Na vodoměrných stanicích na větších řekách, kde se hydrologické sucho vyskytlo, chybělo k dosažení limitního průtoku  $Q_{330}$  mezi 10–27 % vody, a to nejvíce v Brandýse nad Labem necelých 33 milionů  $\text{m}^3$  (obr. 126). Podle Tremla (2011) problémy s ma-

lymi průtoky začaly být patrné koncem srpna a trvaly téměř do konce prosince. Příčinou byla skutečnost, že na většině našeho území mezi 20. srpnem a 21. říjnem vůbec nepršelo nebo byly srážky zanedbatelné. Podle údajů 12 vcelku rovnoměrně rozložených srážkoměrných stanic napršelo v tomto období nejvíce v Klatovech (6,1 mm během tří srážkových epizod), přičemž největší počet pouhých pěti srážkových dnů vykazala Opava (se srážkovým úhrnem 1,5 mm). Obvyklé průměrné úhrny srážek těchto stanic se mezi 20. srpnem až 21. říjnem pohybují od 79 do 112 mm.



**Obr. 124.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1959. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 124.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1959. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period



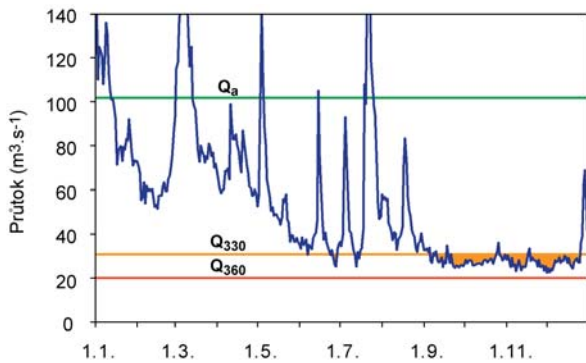
**Obr. 125.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce září, říjen a listopad roku 1959 v českých zemích

**Figure 125.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of September, October and November 1959 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

**Dopady sucha:** Sucha roku 1959 se zčásti dotkla dokumentace Krajského národního výboru v Brně, řešící požadavky státní podpory Jednotným zemědělským družstvům (JZD) při živelních pohromách. Tak v dodatku k těmto požadavkům ze dne 30. října 1959 byla sumarizována celková částka, opírající se o podklady z jednotlivých Okresních národních výborů (ONV), v nichž byly škody suchem zmiňovány spolu s dalšími (*Státní podpora*, fol. 1r). Tak například ve zdůvodnění z ONV Mikulov ze dne 14. října se žádalo „o poskytnutí podpory na živelní pohromy, jarní mrazy, letní deště, podzimní such, aby alespoň v těch JZD, kde je v důsledku toho situace velmi špatná, mohla být zlepšena finanční situace“. K tomu se ještě dodávalo, že „v současné době trvající sucho podstatně zvyšuje náklady na podzimní prá-

ce, při čemž na druhé straně má za následek značné snížení sklizně cukrovky v důsledku vyschnutí“ (ibidem, fol. 53r). V materiálu ONV Moravský Krumlov z 21. října se mimo jiné uvádělo, že škody během vegetace byly způsobeny „po jarních mrazech nastalým suchem, jež poškodilo převážně obiloviny, cukrovku i víceleté pícniny“ a „nadměrným suchem během podzimních prací, které způsobilo a nadále způsobuje zvýšené sklizňové stráty hlavně u cukrovky v důsledku ulamování kořenů i lámání bulev“ (ibidem, fol. 45r–47r). Z ONV Židlochovice se ve zdůvodnění ze dne 22. října konstatovalo, že „škody na okopaninách byly zapříčiněny rovněž příchodem jarních mrazů a podzimním suchem“ (ibidem, fol. 42r). V Hevlíně na podzim vůbec nepršelo po dva měsíce. Při vyorávání brambor se zemědělcům lámaly radlice a pole





**Obr. 126.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Brandýse nad Labem v roce 1959 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$ .  
**Figure 126.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Brandýs nad Labem in 1959 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange areas indicate deficiency volumes with respect to  $Q_{330}$ .

se muselo nejdříve zavlažit. Rovněž tak bylo třeba zavlažit půdu při sklizni řepy (Vogel, 2000). Kronikářský zápis z obce Jalubí konstatuje, že „velké sucho v září, říjnu a listopadu zničilo pícniny, nedalo se set“ (Kron. Jalubí, II, s. 365).

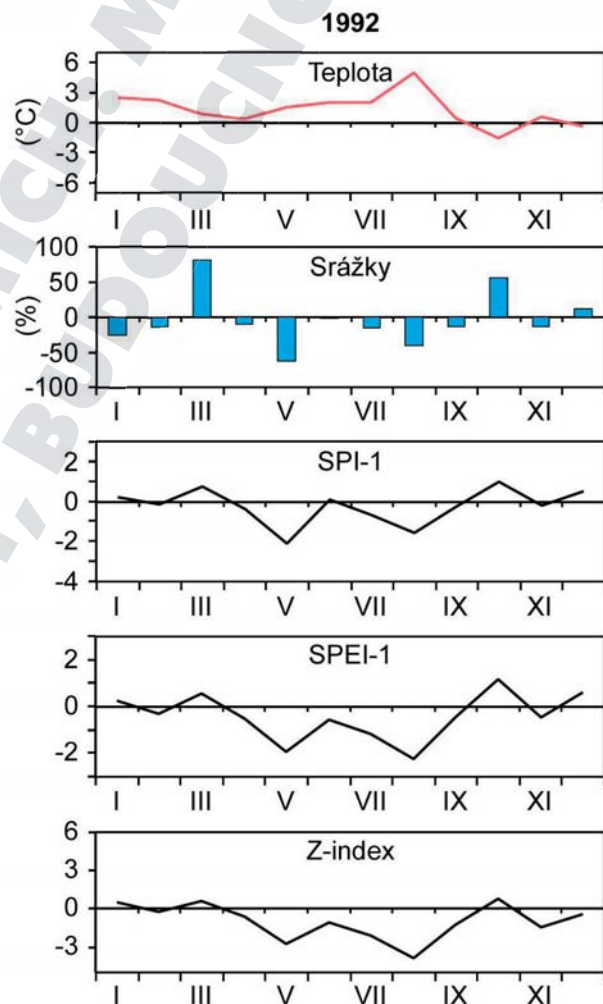
#### 4.1.5.16 Rok 1992

**Meteorologické podmínky:** V roce 1992 se sice výrazný deficit srážek projevil jen v květnu a srpnu, ale vyšší průměrné teploty května–srpna přispěly při srážkových úhrnech blízkých průměru období 1961–1990 k intenzifikaci sucha (obr. 127). Zatímco suché epizodě dubna–září tak odpovídalo v kontextu řady českých zemí v období 1805–2012 až desáté místo podle SPI-1, v případě obou dalších indexů sucha šlo již o šesté největší sucho.

**Synoptická situace:** V květnu roku 1992 byly české země pod vlivem tlakové výše se středem nad severním Polskem a přilehlou částí Baltského moře (obr. 128). V srpnu pak ze západní do východní Evropy zasahoval hřeben vysokého tlaku vzduchu z Azorské anticyklony, oddělující oblast nízkého tlaku vzduchu nad severní částí Atlantského oceánu a severní Evropou (s tlakovou níží se středem jižně od Islandu) a tlakovou níží na jihovýchod od Středozevního moře.

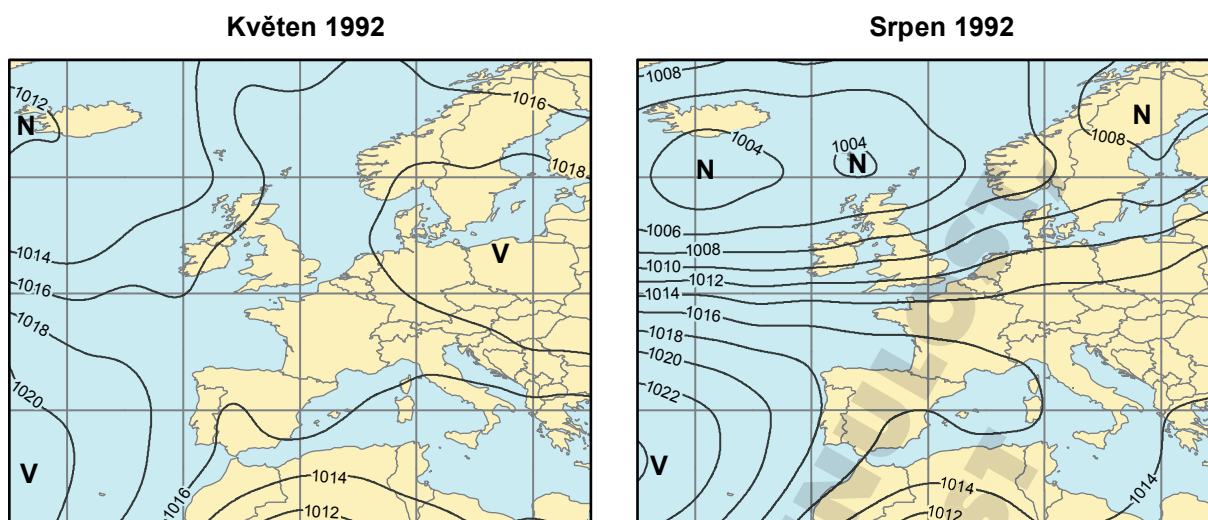
**Hydrologické sucho:** Hlavní období hydrologického sucha roku 1992 začalo kolem 20. července a skončilo kolem 20. října. Svým trváním přesahu-

jícím 90 dnů i extremitou se jedná o nejnvýznamnější sucho po roce 1990 (obr. 129). Například na Moravě v Olomouci chybělo od 22. července do 22. října pro naplnění množství vody po prahový průtok  $Q_{330}$  přes 24 milionů  $m^3$  vody, což představuje 44 % objemu. Jedná se o čtvrté období s největším nedostatkem vody a zároveň o čtvrté nejdelší souvislé trvání nízkých průtoků (93 dnů) od začátku měření v roce 1921. Za celý rok 1992 pak chybělo v Olomouci 57krát více vody než je obvyklé, což odpovídá třetímu největšímu suchu po letech 1921 a 1947. Na ostatních velkých řekách nebyl nedostatek vody v porovnání s historickými měřeními tak extrémní, což souvisí s možností nadlepšování průtoků přehradami.



**Obr. 127.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v českých zemích v roce 1992. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 127.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Lands in 1992. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

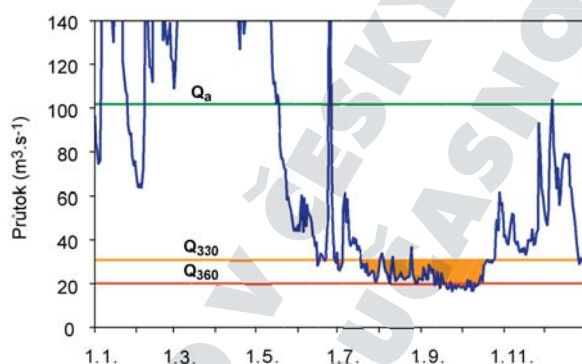


**Obr. 128.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce květen a srpen roku 1992 v českých zemích

**Figure 128.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of May and August 1992 with below-mean precipitation totals in the Czech Lands

**Dopady sucha:** Kronikářský záznam z obce Jalubí se po zmínce o suchu v květnu k němu opět vrací v srpnu: „Poslední srpnové dny vály silné, horké větry, které hrozné sucho ještě umocňovaly. Půda je rozpraskaná, tráva suchá, vyprahlá, všechno zasychá. ... Slabé přeháňky se vyskytovaly do 6. září a do konce měsíce bylo opět sucho.“ (Kron. Jalubí, IV, s. 371). V okolí Spálova (okres Nový Jičín) se sucho projevilo již ve druhé polovině května a tráva byla nízká a řídká. Neobyčejné sucho bylo v létě, kdy od 5. července do konce srpna vydatněji nepršelo. Kvůli suchu ne-

narostly otavy, takže v důsledku nedostatku zeleného krmení bylo nutné začít krmit senem. Muselo se šetřit vodou, která se místy dokonce dovážela (Vlček, 1994). V souvislosti se suchem roku 1992 upozornil Mrkva (1993) na snížení účinnosti obranných mechanismů a bariér, jimiž se stromy brání stresorům. Navíc vysoké teploty od června do srpna se projevíly urychlením vývoje hmyzích škůdců. Autor zmiňuje především lýkožrouta lesklého (*Pityogenes chalcographus* L.), která napadením koruny může přivodit buď uschnutí celého stromu, aniž by byl napaden kmen ostatními škůdci, nebo uschnutí části koruny. Při nevytěžení tohoto dřeva varoval autor před napadením dalšími kůrovci či podkorním nebo dřevo-kazným hmyzem. Protože následky sucha se projevují až v příštím roce, konstatoval, že se nacházíme na počátku jedné z největších kůrovcových kalamit, které kdy postihly české země.<sup>65</sup>



**Obr. 129.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Brandýse nad Labem v roce 1992 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$

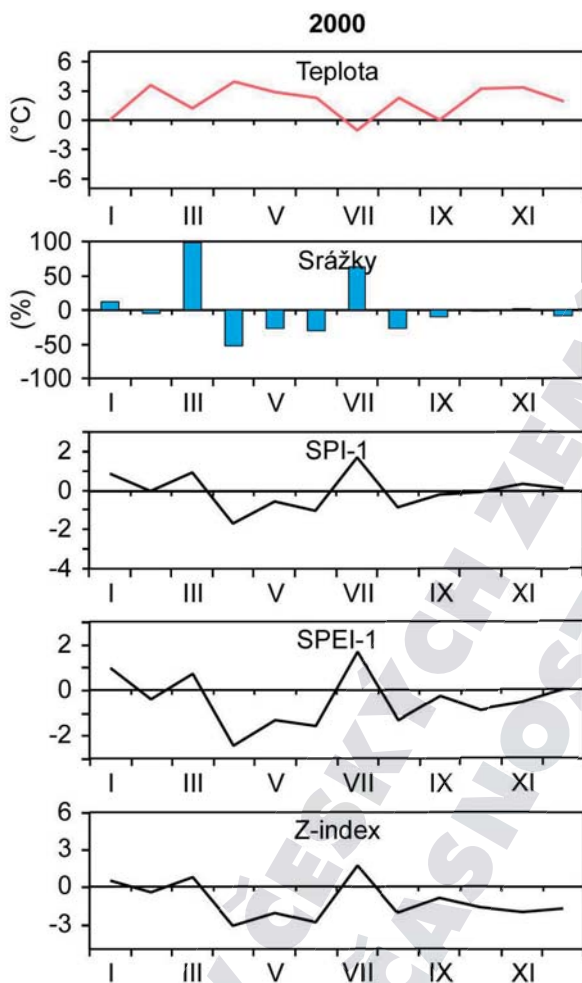
**Figure 129.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Brandýs nad Labem in 1992 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively

#### 4.1.5.17 Rok 2000

**Meteorologické podmínky:** Po výrazně nadprůměrných srážkách v březnu se dostavilo suché období při podprůměrných srážkových úhrnech dalších

<sup>65</sup> Kůrovcová kalamita vypukla následně v plné šíři, což dokládá například prudký nárůst velikosti nahodilé těžby dřeva podmíněné hmyzem (s jednoznačnou převahou kůrovcové těžby) v České republice v letech 1993–1995, která dosahovala 2,2–2,5 milionů  $m^3$  dřeva ročně. Tyto hodnoty byly překonány až v roce 2009 (2,62 milionu  $m^3$  dřeva) po další kůrovcové kalamitě, iniciované nejen suchem, ale hlavně větrnými polomy (viz vichřice Kyrill, Emma a Ivan).

tří měsíců, tedy dubna–června (obr. 130). Sucho bylo přerušeno nadprůměrnými srážkami v červenci, ale v srpnu již byl opět patrný jejich deficit. I když do konce roku se už úhrny pohybovaly kolem průměru, hodnoty SPEI-1 a Z-indexu se držely pod nulou až do listopadu, resp. prosince. S výjimkou července a září převažovaly v České republice také výrazně nadprůměrné teploty od dubna až do konce roku. To bylo příčinou toho, že v kontextu řady českých zemí z let 1805–2012 byla epizoda sucha dubna–června roku 2000 dosud nejextrémnějším přípa-



**Obr. 130.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v České republice v roce 2000. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 130.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Republic in 2000. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

dem podle SPEI-1 a Z-indexu, zatímco podle SPI-1 byla šestá nejsušší.

**Synoptická situace:** V dubnu roku 2000 se v oblasti britských ostrovů nacházela tlaková níže, zasahující svým výběžkem k České republice (obr. 131). V květnu se přes větší část západní a střední Evropy táhl hřeben vysokého tlaku vzduchu mezi oblastí Azorské anticyklony a tlakové výše nad východní Evropou. V červnu a srpnu se naše území dostalo pod vliv hřebene vysokého tlaku vzduchu vycházejícího z Azorské anticyklony.

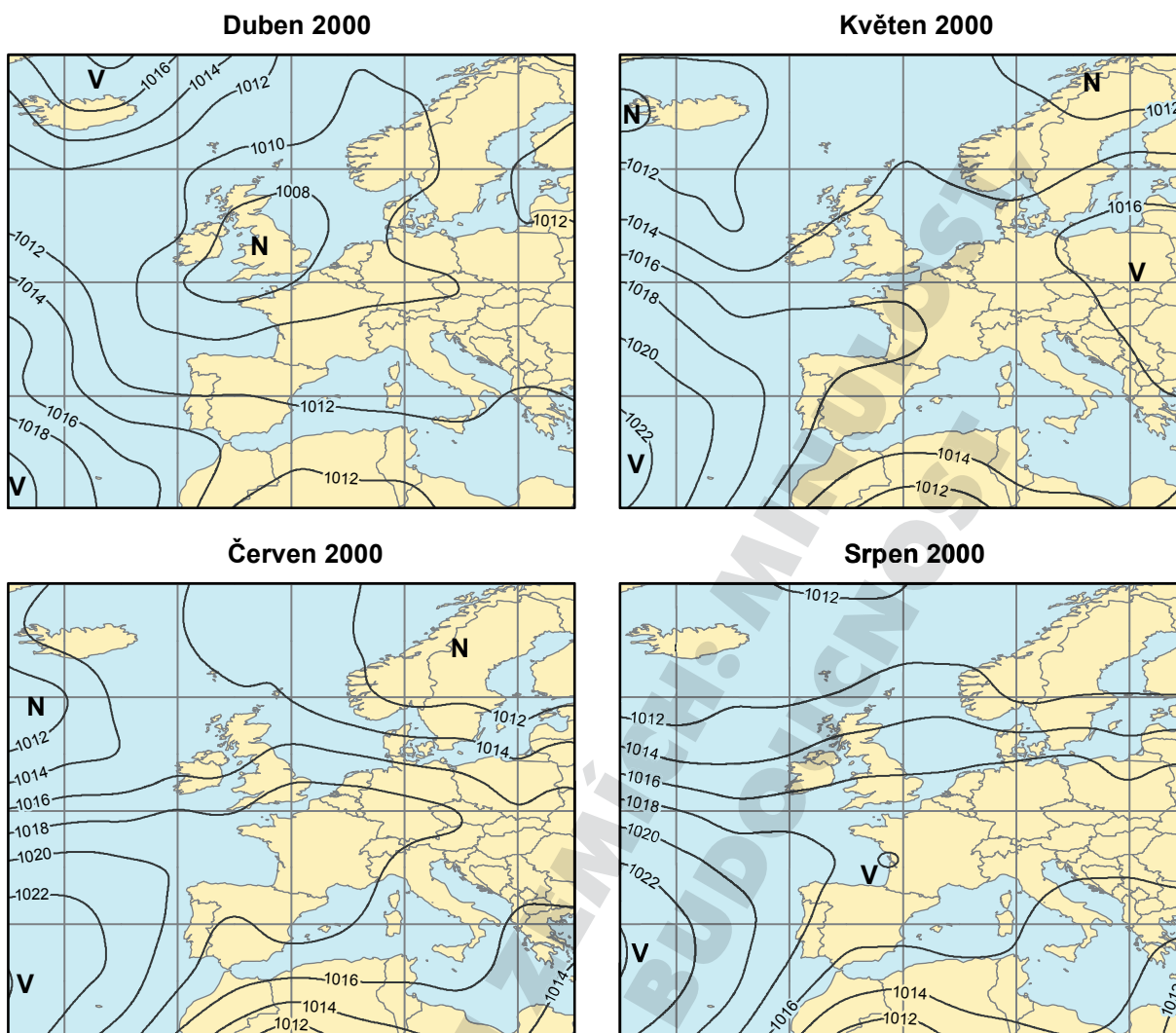
**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho v roce 2000 nebylo na velkých vodních tocích nijak výrazné (obr. 132). Pokud již bylo na nich indikováno, tak pouze pro několik dnů, přičemž hranice limitního průtoku  $Q_{330}$  byla těsně překročena v obdobích s nedostatkem srážek.

**Dopady sucha:** V oblasti Oderských vrchů je zmiňováno velmi teplé a suché počasí po 15. dubnu, které pokračovalo až do června. Krásné počasí bez trvalých dešťů panovalo i v srpnu (Vlček, 2001). Ztráty vzniklé zemědělcům v roce 2000 jim byly kompenzovány vydáním dluhopisů ve výši pěti miliard Kč (Klimeš et al., 2001).

#### 4.1.5.18 Rok 2003

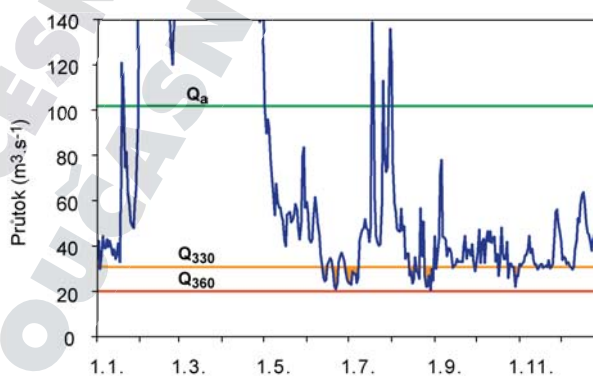
**Meteorologické podmínky:** Perioda sucha od června do září navázala na velmi suché období od února do dubna (obr. 133). Obě období byla přerušena slabě nadprůměrnými srážkami v květnu. Od května do srpna přitom panovalo výrazně teplotně nadprůměrné období. K relativně nejvýraznějšímu poklesu srážek oproti referenčnímu období došlo v únoru a březnu, což podmínilo zřetelné minimum SPI-1 v březnu. Významný byl také pokles srážek v červnu a srpnu, přičemž v červenci odpovídaly srážky průměru. Hodnotíme-li suchou epizodu února–září roku 2003 v kontextu řady českých zemí v období 1805–2012, jednalo se nejextrémnější sucho podle SPEI-1 a Z-indexu, zatímco pro SPI-1 to bylo čtvrté největší sucho. Pokud se bere jen období června–září, jednalo se podle SPEI-1 a Z-indexu o druhé největší sucho, ale podle SPI-1 až o jedenácté. V případě další kombinace měsíců února–dubna šlo o druhé největší sucho podle SPI-1 a o třetí podle SPEI-1, ale až o deváté podle Z-indexu.





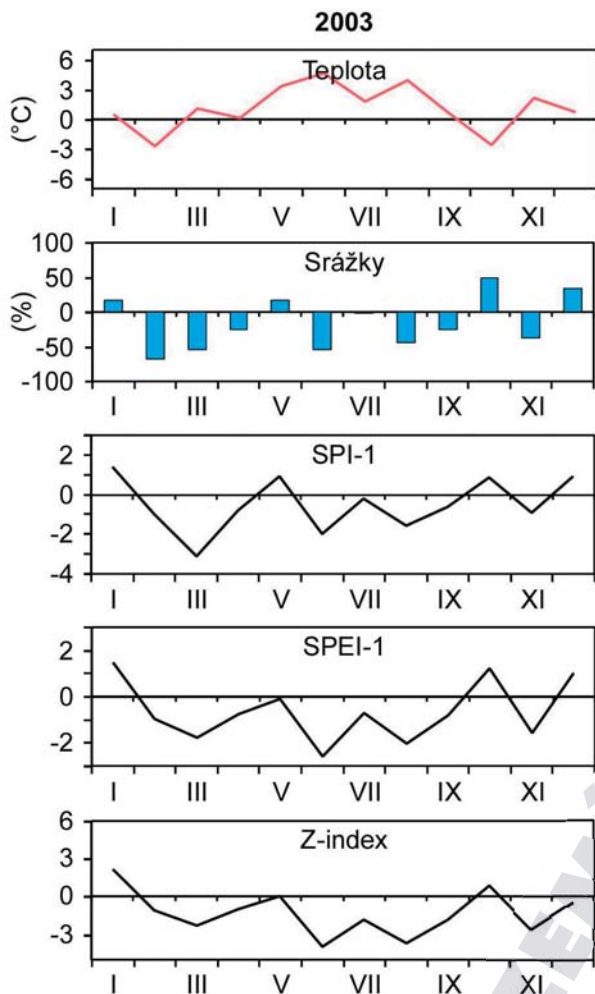
**Obr. 131.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantické oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce duben, květen, červen a srpen roku 2000 v České republice

**Figure 131.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of April, May, June and August 2000 with below-mean precipitation totals in the Czech Republic



**Obr. 132.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Brandýse nad Labem v roce 2000 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$

**Figure 132.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Brandýs nad Labem in 2000 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange area indicates deficiency volume with respect to  $Q_{330}$



**Obr. 133.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v České republice v roce 2003. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

**Figure 133.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Republic in 2003. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Synoptická situace:** V únoru a březnu roku 2003 bylo území České republiky pod vlivem oblasti vysokého tlaku vzduchu zasahující do střední Evropy od východu, v němž se v obou měsících vytvořila izolovaná tlaková výše (obr. 134). V letních měsících červnu a srpnu pak bylo suché počasí ovlivněno hřebenem vysokého tlaku vzduchu zasahujícím do střední Evropy z Azorské anticyklony.

**Hydrologické sucho:** Hydrologické sucho roku 2003 je po suchu z roku 1992 druhé nejvýraznější v novodobé historii. Nízké průtoky trvaly od června do října, přičemž nejvýznamnější období sucha nastoupilo od druhé červencové dekády do 3.–5. října

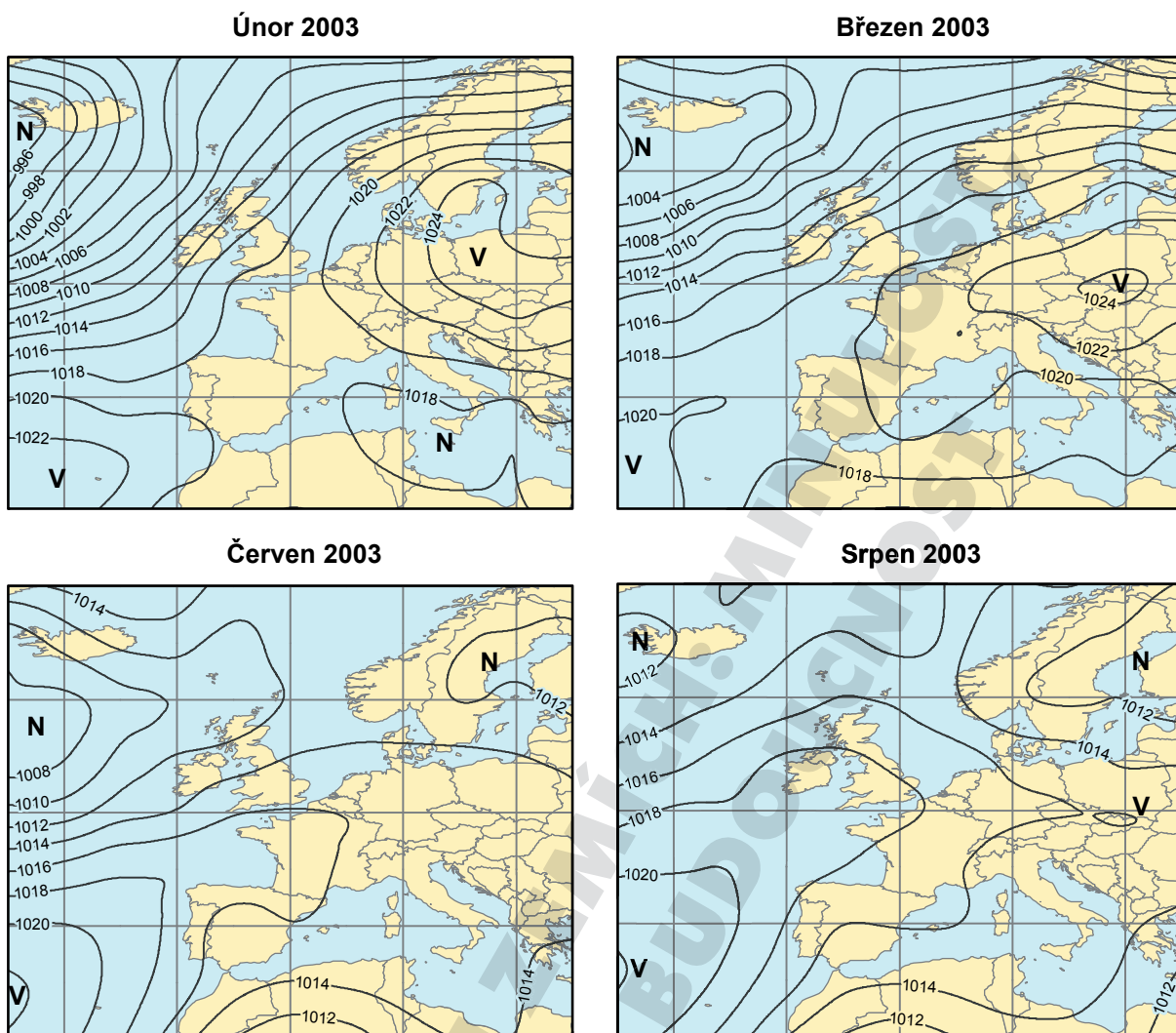
(obr. 135). Z velkých toků se sucho nejvíce projevilo na řece Moravě v Olomouci, kde od 10. července do 3. října během 79 dnů chybělo přes 13,7 milionů  $\text{m}^3$  vody (29% objemu). Souvislé období s průtoky pod  $Q_{330}$  po 68 dnů od 28. července do 3. října zde bylo páté nejdelší, přičemž i z hlediska nedostatkového objemu ve výši 13,1 milionů  $\text{m}^3$  vody se jednalo o páté největší sucho. Za celý rok 2003 chybělo v Olomouci 32krát více vody než obvykle, což odpovídá až jedenácté nejvyšší hodnotě od roku 1921. Na ostatních studovaných profilech již žádné výjimečné extrémny nebyly dosaženy s výjimkou Bechyně na řece Lužnici. Pravděpodobně kvůli antropogenním změnám zde totiž lze od devadesátých let 20. století pozorovat podstatně častější výskyt období s malými průtoky oproti ostatním porovnatelným profilům. Rok 2003 byl v Bechyni se 134 dny s průtoky pod  $Q_{330}$  nejsušší, přičemž chybělo 60krát více vody než obvykle (druhá nejvyšší hodnota po roce 1950). Pod uvedenou prahovou hodnotou byly průtoky nepřetržitě po 107 dnů od 16. června do 3. října, což zde představuje druhé nejdelší období sucha. Zároveň se jednalo i o druhé největší nedostatkový objem vody o velikosti 22,9 milionů  $\text{m}^3$  (48%).

Prostorovým vyhodnocením hydrologického sucha roku 2003 na území České republiky se zabývali Řiřicová et al. (2003, 2004), Novický et al. (2010) a Vlnas et al. (2010). Z obr. 136–137 je patrné, že toto sucho se nejvýrazněji projevilo na vodních tocích v jižních Čechách, ve východních Čechách a na řece Moravě a jejich přítocích.

#### 4.1.5.19 Rok 2007

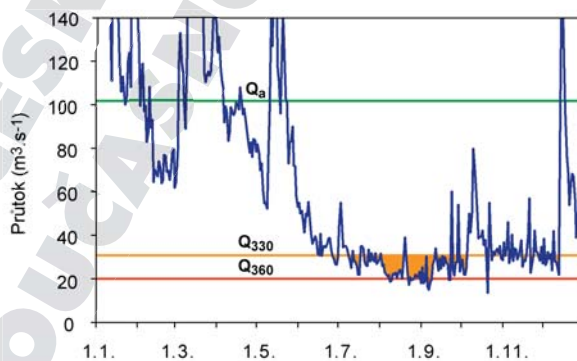
**Meteorologické podmínky:** V roce 2007 je pozoruhodný pouze výrazný deficit srážek v dubnu, zatímco následující měsíce až do srpna byl mírně pod hodnotou průměru 1961–1990 (obr. 138). Toto období bylo ukončeno výrazně nadprůměrnými srážkami září. Nicméně výrazně nadprůměrné teploty vzduchu panující již od ledna do srpna přispěly k tomu, že epizoda sucha od února do srpna roku 2007 byla dosud nejextrémnější podle hodnot Z-indexu a třetí nejextrémnější podle SPEI-1 v kontextu řady českých zemí z let 1805–2012. Naproti tomu podle hodnot SPI-1 zaujala tato epizoda až 26. místo.

**Synoptická situace:** V dubnu 2007 se území České republiky nacházelo v hřebenu vysokého tlaku vzduchu, vybíhající z anticyklony se středem nad Irskem (obr. 139).



**Obr. 134.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrné měsíce únor, březen, červen a srpen roku 2003 v České republice

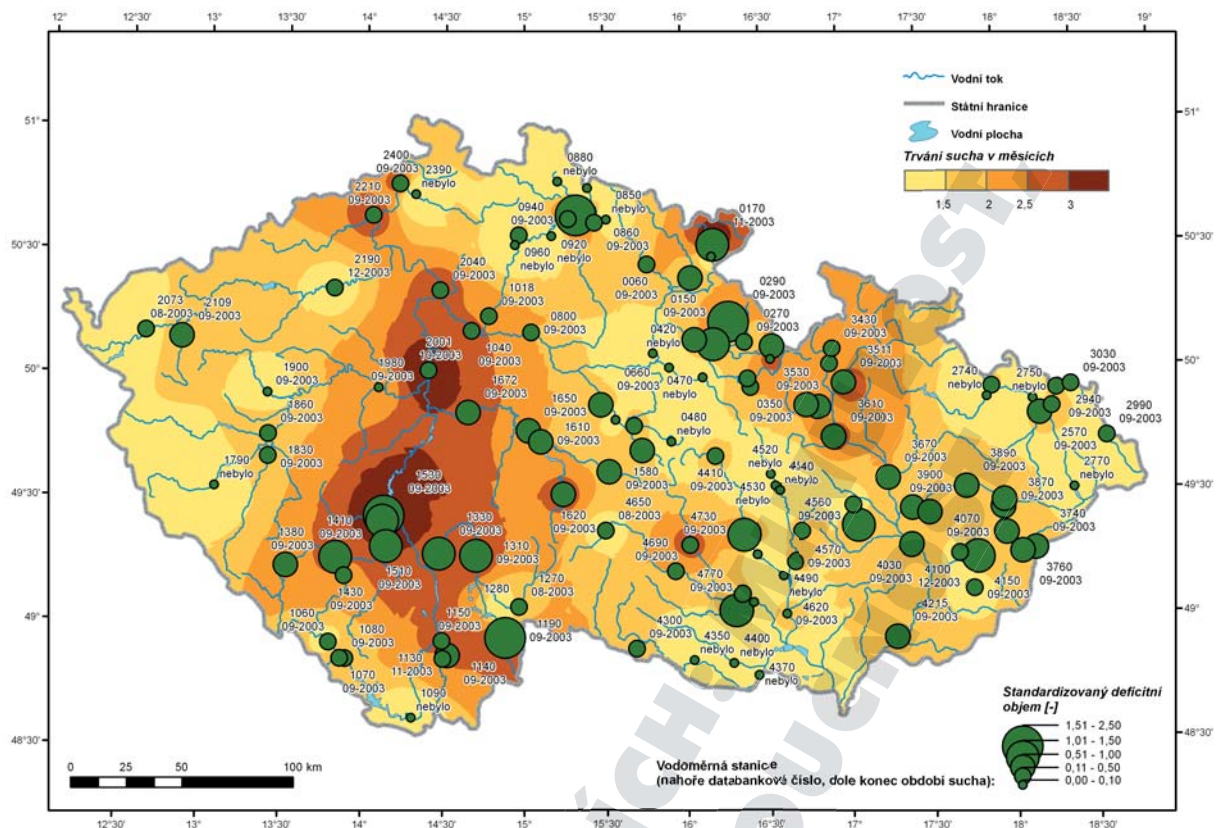
**Figure 134.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for the months of February, March, July and August 2003 with below-mean precipitation totals in the Czech Republic



**Obr. 135.** Roční chod denních průtoků řeky Labe v Brandýse nad Labem v roce 2003 s vyznačením průměrného ročního průtoku  $Q_a$  a prahových průtoků  $Q_{330}$  a  $Q_{360}$ . Oranžová a červená výplň charakterizuje nedostatkový objem vody vzhledem k  $Q_{330}$  resp.  $Q_{360}$

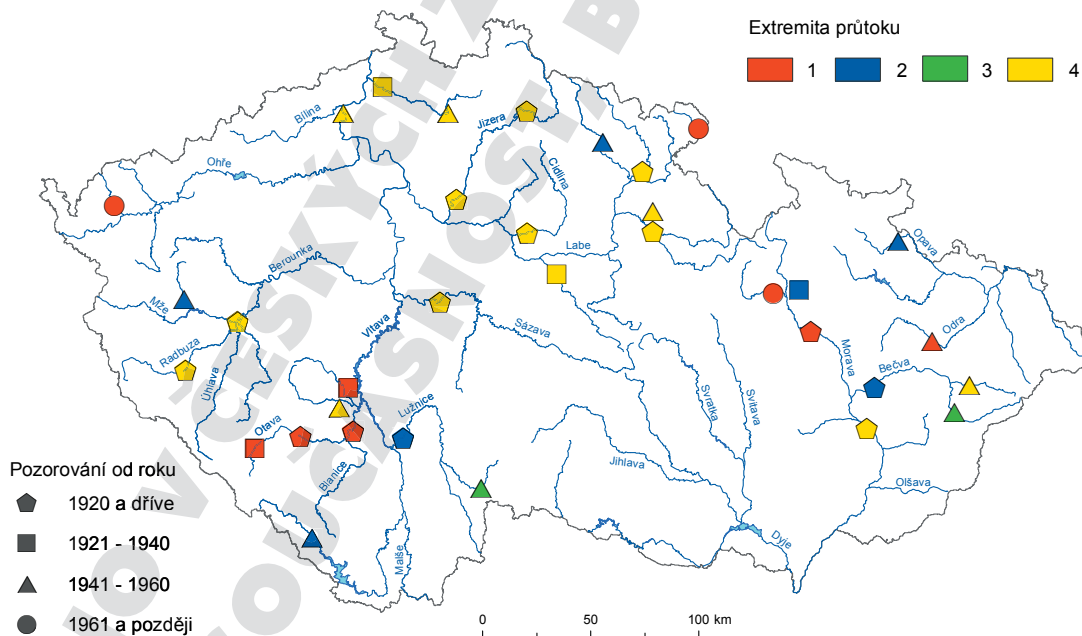
**Figure 135.** Annual variation in daily discharges for the River Elbe at Brandýs nad Labem in 2003 showing mean annual discharge  $Q_a$  and threshold discharges  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$ . Orange and red areas indicate deficiency volumes in terms of  $Q_{330}$  and  $Q_{360}$  respectively





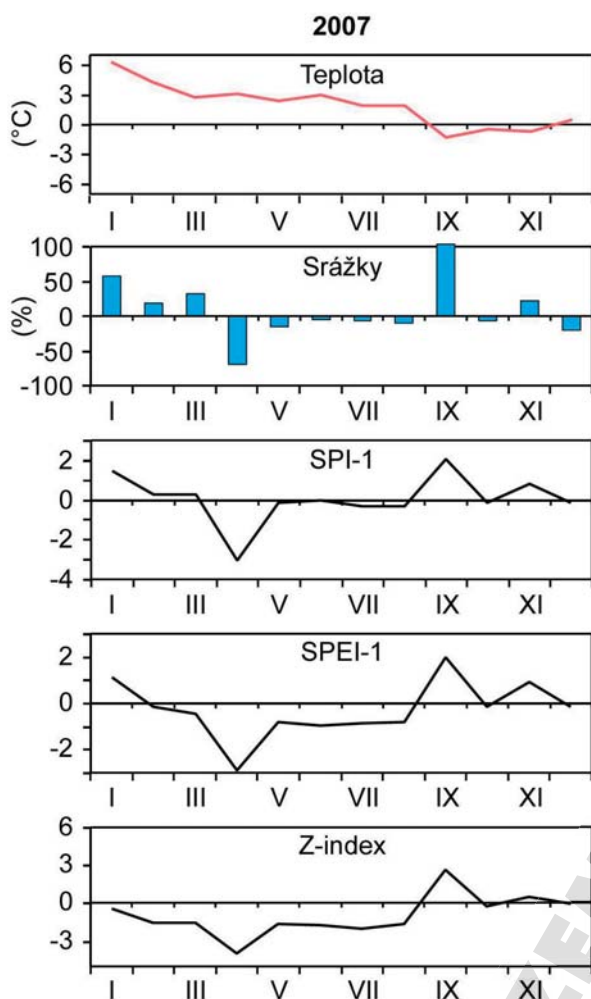
**Obr. 136.** Standardizované nedostatkové objemy se zřetel na  $Q_{95}$  a trvání hydrologického sucha na území České republiky v roce 2003 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)

**Figure 136.** Standardised deficiency volumes with respect to  $Q_{95}$  and duration of hydrological drought over the territory of the Czech Republic in 2003 (Novický et al., 2010; Vlnas et al., 2010)



**Obr. 137.** Nejmenší průtoky na vodních tocích na území České republiky v roce 2003 z hlediska jejich extremity za dobu pozorování: 1 – vůbec nejmenší průtok, 2 – menší průtok zaznamenaný jednou až dvakrát, 3 – menší průtok zaznamenaný třikrát, 4 – menší průtok zaznamenaný více než třikrát (upraveno podle Řiřicové et al., 2003)

**Figure 137.** Lowest discharges on the rivers of the Czech Republic in 2003 in terms of long-term observation: 1 – absolute minimum; 2 – discharge lower than in 2003 recorded once or twice; 3 – discharge lower than in 2003 recorded three times, 4 – discharge lower than in 2003 recorded more than three times (adapted after Řiřicová et al., 2003)



**Obr. 138.** Roční chod teploty vzduchu, srážek, SPI-1, SPEI-1 a Z-indexu v České republice v roce 2007. Teplota vzduchu a srážky jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

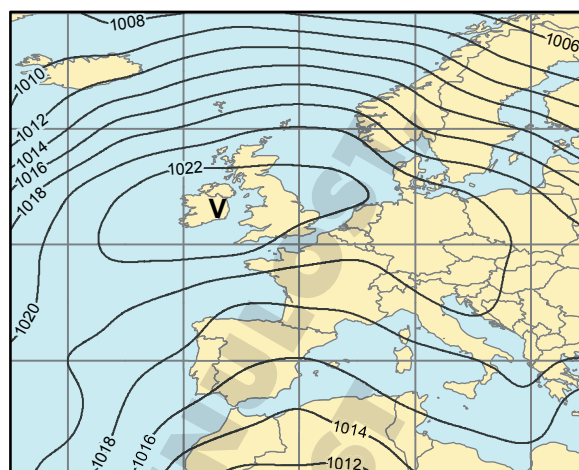
**Figure 138.** Annual variation of air temperature, precipitation, SPI-1, SPEI-1 and Z-index in the Czech Republic in 2007. Temperature and precipitation are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

**Hydrologické sucho:** Na tocích v České republice se toto meteorologické sucho neprojevovalo z důvodu jeho výskytu v jarním období.

## 4.2 SUCHO PODLE DOKUMENTÁRNÍCH PRAMENŮ

K analýze variability sucha v českých zemích před začátkem přístrojových pozorování lze využít buď dokumentární údaje (tato kapitola) nebo dendroklimatologické rekonstrukce (kap. 4.3). Následující text nejdříve uvádí rekonstrukci teploty vzduchu a srážek za posledních více než 500 let (kap. 4.2.1) a další výsledky analýzy sucha podle dokumentárních údajů z českých zemí (kap. 4.2.2). Následně jsou popsány

## Duben 2007



**Obr. 139.** Průměrné přízemní tlakové pole v evropsko-atlantské oblasti pro srážkově podprůměrný měsíc duben roku 2007 v České republice

**Figure 139.** Mean sea-level pressure in the European-Atlantic area for April 2007 with below-mean precipitation total in the Czech Republic

vybrané epizody extrémního sucha založené na dokumentárních pramenech (kap. 4.2.3).

### 4.2.1 Teploty vzduchu a srážky v českých zemích od začátku 16. století

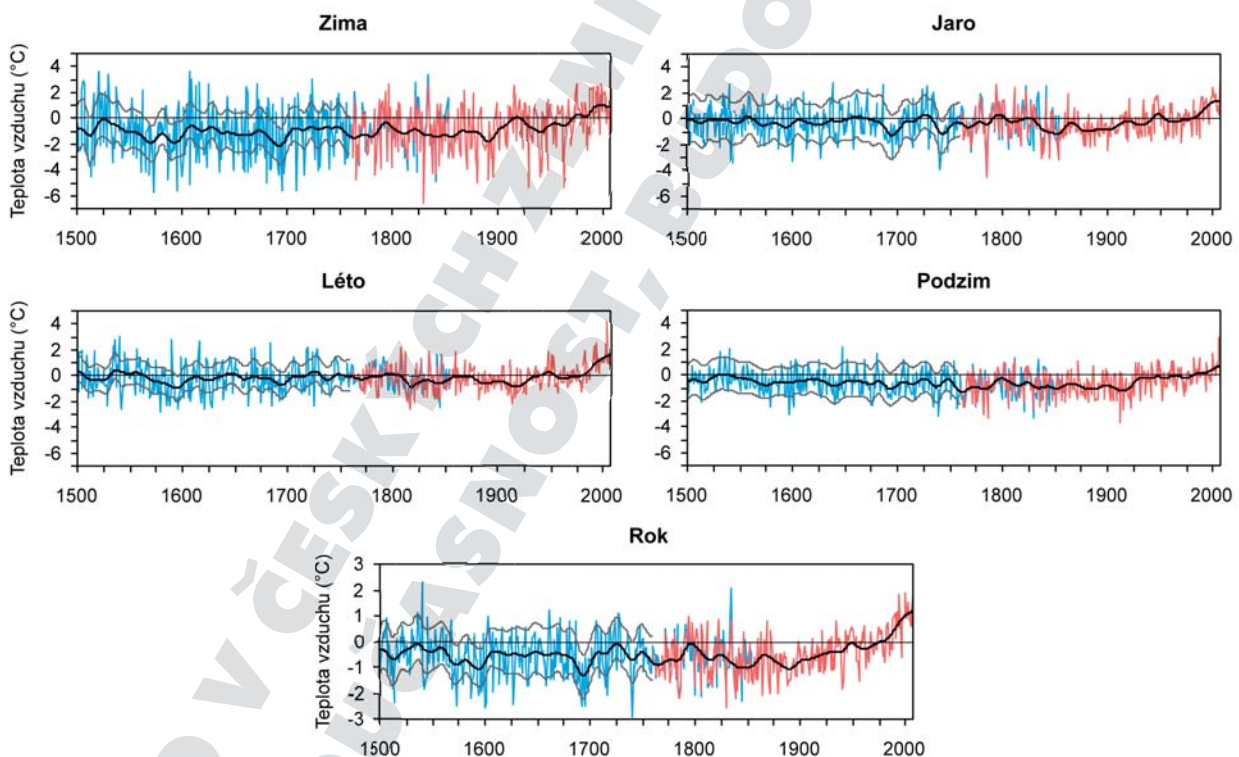
K popisu základních rysů dlouhodobého kolísání teploty vzduchu v českých zemích lze použít teplotní řadu střední Evropy, sestavenou na základě kvantitativní rekonstrukce dokumentárních údajů a přístrojových pozorování pro období 1500–2007 (blíže viz Dobrovolný et al., 2010). Nejchladnější časové úseky za posledních 500 roků připadly na období před začátkem přístrojových pozorování (obr. 140). Tak shlazené roční, zimní a jarní teploty vzduchu indikují výskyt nejnižších teplot kolem roku 1690; podzimní teploty byly nejnižší v šedesátých letech 18. století a letní teploty v poslední dekádě 16. století. V sezonních a ročních teplotních řadách je dobře patrný výrazný vzestupný trend od konce 19. či začátku 20. století, shodující se s pozorovaným globálním oteplováním (Solomon et al., eds., 2007; Stocker et al., eds., 2013). To je nejvíce patrné zejména v létě (15 z 20 posledních hodnot řady přesahuje 2,7násobek směrodatné chyby pro shlazené hodnoty, který vymezuje 99% interval spolehlivosti), poté na jaře (13 roků), v zimě (11 roků) a nejméně na podzim (6 roků). Pokud uvažujeme teplotně nejextrémnější třicetiletí podle rekonstruované teplotní řady střední Evropy, tak nejchladnější období připadla na tři poslední dekády 16. století v případě

zimy a léta, zatímco u jara a roku to byly poslední tři dekády 19. století a u podzimu období na přelomu 19. a 20. století (tab. 8). Naproti tomu nejteplejší třicetiletí souvisejí vesměs s nástupem globálního oteplování od sedmdesátých let 20. století.

Porovnání rekonstruované teplotní řady střední Evropy s dalšími existujícími rekonstrukcemi založenými na proxy-datech z této oblasti ukazuje v letním období na řadu společných rysů (obr. 141). K nim patří především relativně teplejší první polovina 16. století s následným postupným ochlazením patrným zvláště na konci 16. století. Zřetelně chladnější období je ve všech rekonstrukcích patrné také na přelomu 17. a 18. století a časově odpovídá pozdní části tzv. Maunderova minima sluneční aktivity (Eddy, 1976; ke klimatickým trendům a anomáliím v Evropě viz Frenzel et al., eds., 1994).

Pokud jde o dlouhodobé kolísání srážek v českých zemích, opírá se následující analýza o kvantitativní rekonstrukci pro období 1500–2007 (obr. 142) založenou jednak na řadě srážkových indexů

interpretovaných z dokumentárních údajů, jednak na průměrné srážkové řadě českých zemí od roku 1804 (blíže viz Dobrovolný et al., 2015). Sestavené řady sezonních i ročních úhrnů srážek se vyznačují značnou meziroční a dekadovou variabilitou, neobsahují však dlouhodobý trend. Nejspolehlivější výsledky dává předmětná rekonstrukce pro letní srážky, zatímco pro zimní úhrny jsou výsledky méně spolehlivé, což souvisí s množstvím a kvalitou dokumentárních údajů. Maximální (rok 1515) i minimální (rok 1540) úhrny srážek v českých zemích se objevují v rekonstruované části řady. Pokud jde o srážkově nejextrémnější třicetiletí v českých zemích, připadla nejsušší období na 18. století u zimy, jara a léta (víceméně vzájemně se nepřekrývající) (tab. 8). S ohledem na dominující podíl letních srážek se s nejsušším letním třicetiletím prakticky shoduje také nejsušší třicetiletí ročních srážek. Naproti tomu nejsušší třicetiletí podzimu bylo zaznamenáno v první polovině 17. století. Pokud jde o nejvlhčí třicetiletí, připadla pro zimu a léto opět na druhou



**Obr. 140.** Kolísání sezonních a ročních teplot vzduchu rekonstruované řady (červeně – měřené, modře – rekonstruované) střední Evropy v období 1500–2007 (Dobrovolný et al., 2010). Teploty jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990 a jsou shlazené dvacetiletým Gaussovým filtrem. Rekonstrukce je doplněna odhadem nejistot aproximujícím konfidenční interval 95% pro předpřístrojové období (shlazené stejným filtrem)

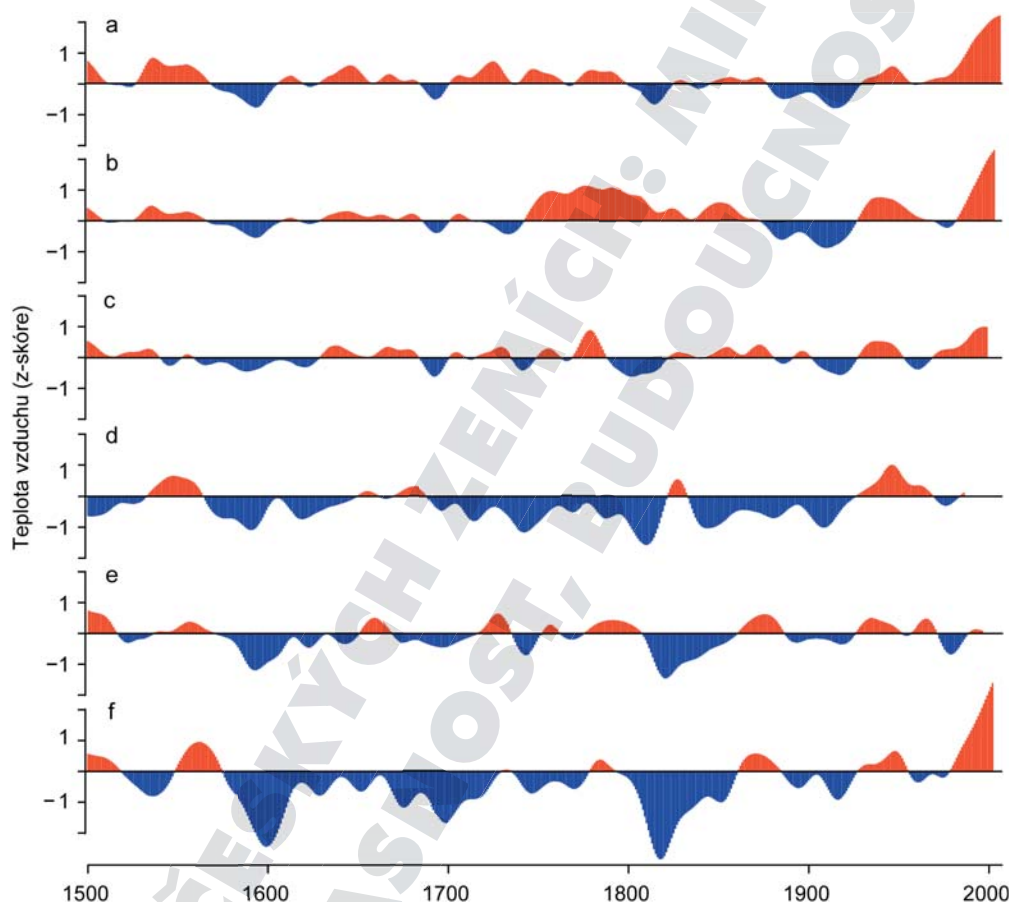
**Figure 140.** Fluctuations in seasonal and annual air temperatures in the reconstructed series (red – measured, blue – reconstructed) for Central Europe in the 1500–2007 period (Dobrovolný et al., 2010). Temperatures are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period and smoothed by 20-year Gaussian filter. For the pre-instrumental period, error bands approximating to 95% confidence intervals are provided (again, smoothed by 20-year Gaussian filter)



**Tab. 8.** Nejchladnější/nejsušší (Min) a nejteplejší/nejdeštivější (Max) třicetiletí v českých zemích podle teplotní řady střední Evropy a podle srážkové řady českých zemí. Období 1501–2007 (převzato z Brázdil et al., 2013b)

**Table 8.** Coldest/driest (Min) and warmest/wettest (Max) 30-year periods in the Czech Lands derived from temperature series for Central Europe and from precipitation series for the Czech Lands, 1501–2007 period (from Brázdil et al., 2013b)

Období	Teplota vzduchu		Srážky	
	Min	Max	Min	Max
Zima	1572–1601	1973–2002	1725–1754	1555–1584
Jaro	1873–1902	1978–2007	1773–1802	1894–1923
Léto	1569–1598	1978–2007	1700–1729	1568–1597
Podzim	1887–1916	1977–2006	1605–1634	1910–1939
Rok	1870–1899	1978–2007	1699–1728	1912–1941



**Obř. 141.** Porovnání kolísání vybraných rekonstrukcí teploty vzduchu letního období v oblasti střední Evropy, sestavených na základě různých proxy-dat za posledních 500 let; teploty byly transformovány do podoby standardizovaných hodnot (z-skóre) a shlazeny dvacetiletým Gaussovým filtrem: a) dokumentární údaje, střední Evropa, červen–srpen 1501–2007 (Dobrovolný et al., 2010); b) multiproxy, střední Evropa, červen–srpen 1501–2004 (Luterbacher et al., 2004); c) dokumentární údaje, Nizozemí, červen–srpen 1501–2000 (Shabalova, van Engelen, 2003); d) multiproxy, západní Evropa, duben–září 1501–1987 (Guiot et al., 2005); e) šířka letokruhů smrku (*Picea abies* (L.) Karst), Bavorský les, červen–červenec 1501–1997 (Wilson, Topham, 2004); f) šířka letokruhů borovice (*Pinus cembra*) a modřínu (*Larix decidua*), střední Evropa, červen–srpen 1501–2003 (Büntgen et al., 2011c)

**Figure 141.** Comparison of fluctuations in selected summer air temperature reconstructions for Central Europe based on various proxies for the past 500 years; temperatures transformed to standardized values (z-scores) and smoothed by 20-year Gaussian filter: (a) documentary data, Central Europe, June–August 1501–2007 (Dobrovolný et al., 2010); (b) multiproxies, Central Europe, June–August 1501–2004 (Luterbacher et al., 2004); (c) documentary data, Low Countries, June–August 1501–2000 (Shabalova, van Engelen, 2003); (d) multiproxies, Western Europe, April–September 1501–1987 (Guiot et al., 2005); (e) Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) ring widths, Bavarian Forest, June–July 1501–1997 (Wilson, Topham, 2004); (f) Arolla pine (*Pinus cembra*) and European larch (*Larix decidua*) ring widths, Central Europe, June–August 1501–2003 (Büntgen et al., 2011c)

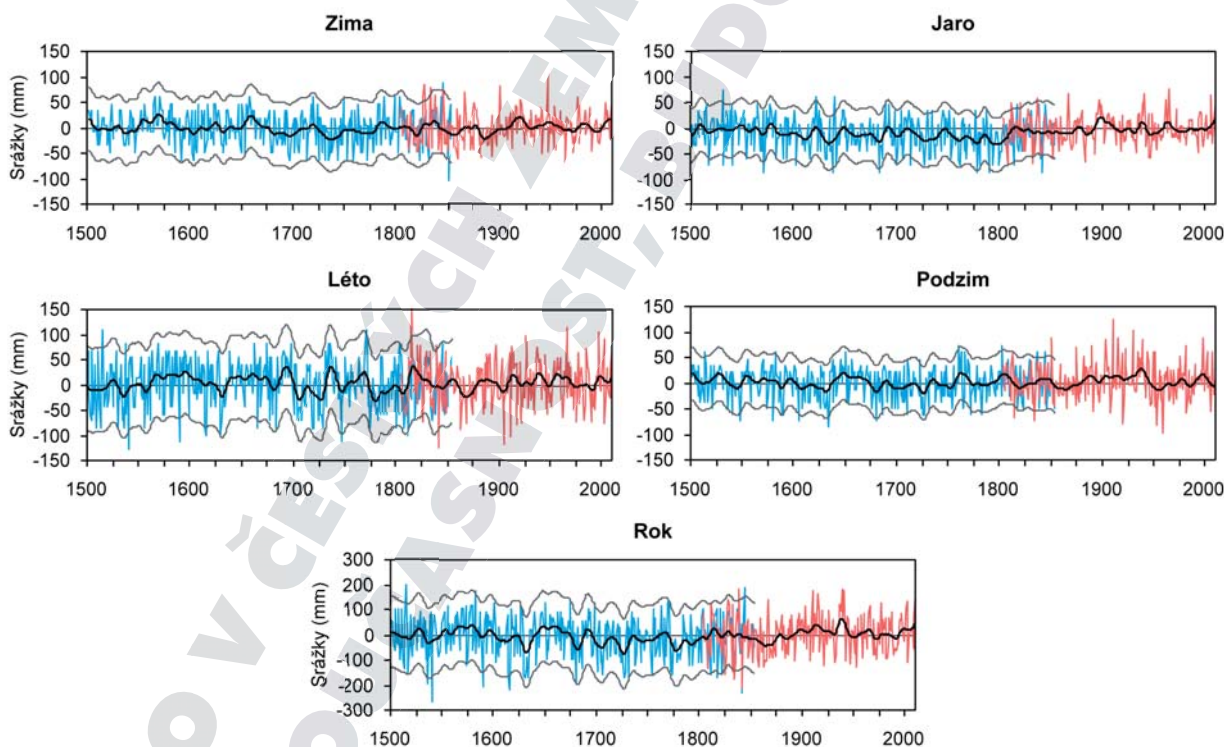
polovinu 16. století. Jarní srážky byly nejvyšší ve třicetiletí začínajícím koncem 19. století a pokračujícím v následujícím století. Podzimní a roční úhrny srážek pak byly nejvyšší přibližně mezi lety 1910 a 1940.

Porovnání rekonstruované řady letních srážek pro české země s obdobnými proxy rekonstrukcemi z okolních částí střední Evropy je velmi problematické především s ohledem na značnou prostorovou variabilitu srážek (obr. 143). Většina rekonstrukcí se shoduje ve výskytu zřetelně vyjádřeného období nízkých úhrnů srážek, a tedy větší pravděpodobnosti výskytu sucha, na konci první poloviny 16. století. Toto období koresponduje s výskytem vyšších teplot vzduchu a může souviset s oslabením zonálního proudění v oblasti střední Evropy a s vyšší četností cirkulace meridionálního charakteru, na což částečně ukazuje rekonstrukce indexu severoatlantské oscilace (NAOI; viz Luterbacher et al., 2002a). Nejvýznamnějším extrémem tohoto období je rok 1540, který patří podle některých prací (Brázdil et al., 2013a; Wetter, Pfister, 2013; Wetter

et al., 2014) k nejteplejším a také nejsušším rokům za posledních 500 let ve střední Evropě (blíže viz kap. 4.2.3).

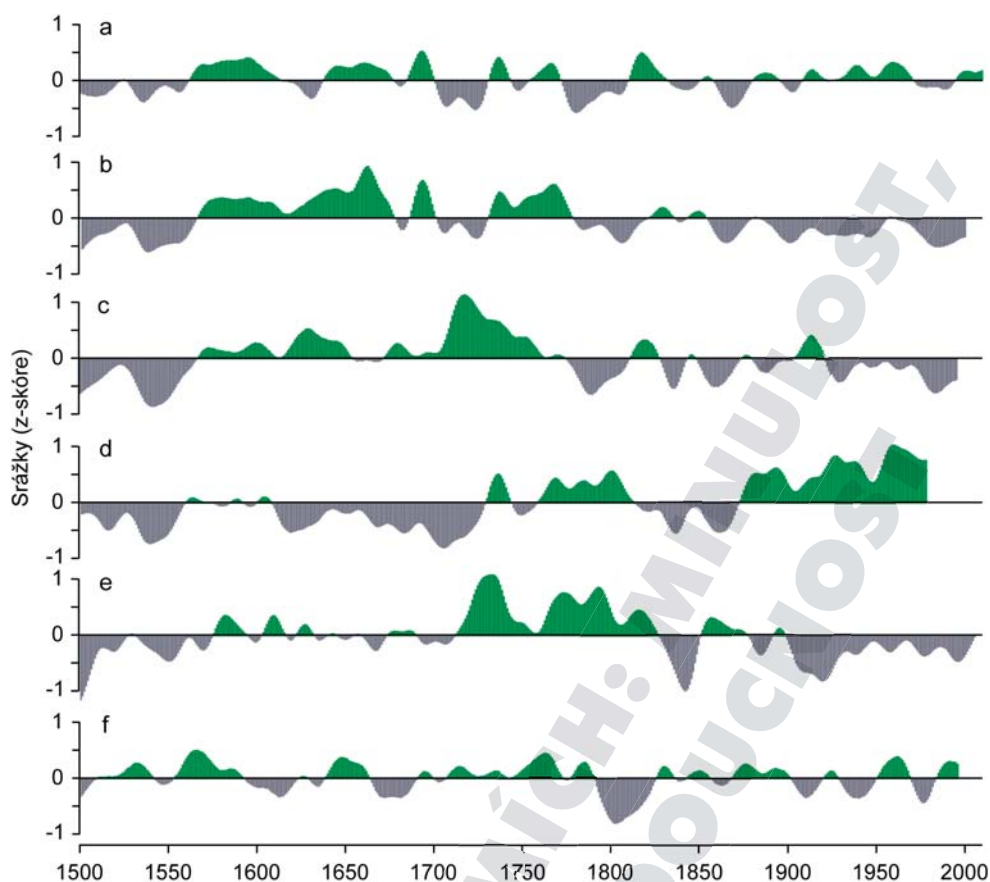
#### 4.2.2 Sucha v českých zemích podle dokumentárních pramenů

Informace o suchých epizodách a suchu v českých zemích podle dokumentárních pramenů před rokem 1500 jsou poměrně chudé a týkají se především Čech, což lze přičítat množství dochovaných dokumentů vztahujících se převážně k Praze jako hlavnímu městu Království českého. Informace z Moravy, východní části království, se objevují také, ale v podstatně menším množství (viz přehled všech dochovaných zpráv o počasí v českých zemích před rokem 1500 v práci Brázdila a Kotyzy, 1995). Vybrané informace o suchu jsou uvedeny v tab. 9. Před rokem 1500 bylo v českých zemích detekováno 36 suchých epizod, jejichž rozložení podle jednotlivých století vyjadřuje dosažitelnost a počet existujících dokumentárních pramenů: jeden případ v 11. století, čtyři ve 12. století, pět ve 13. století, 14 ve 14. století



**Obr. 142.** Kolísání sezonních a ročních srážkových úhrnů rekonstruovaných (červeně – měřené, modře – rekonstruované) pro české země v období 1500–2010 (Dobrovolný et al., 2015). Srážkové úhrny jsou vyjádřeny jako anomálie vzhledem k referenčnímu období 1961–1990. Rekonstrukce je doplněna odhadem nejistot aproximujícím konfidenční interval 95 % pro předpřístrojové období. Rekonstruované hodnoty a odhadnuté chyby jsou shlazeny dvacetiletým Gaussovým filtrem

**Figure 142.** Fluctuations in seasonal and annual precipitation totals (red – measured, blue – reconstructed) for the Czech Lands in the 1500–2010 period (Dobrovolný et al., 2015). Precipitation totals are expressed as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period. For the pre-instrumental period, error bands approximating to 95% confidence intervals are provided. Reconstructed values and estimated errors are smoothed by 20-year Gaussian filter



**Obr. 143.** Porovnání kolísání vybraných rekonstrukcí srážek v oblasti střední Evropy na základě různých proxy-dat za posledních 500 roků; úhrny srážek byly transformovány do podoby standardizovaných hodnot (z-skóre) a shlazeny dvacetiletým Gaussovým filtrem: a) dokumentární údaje, české země, červen–srpen 1501–2010 (Dobrovolný et al., 2015); b) multiproxies, střední Evropa, červen–srpen 1501–2000 (Pauling et al., 2006); c) letokruhy borovice (*Pinus nigra*), okolí Vídně, duben–srpen 1501–1996 (Wimmer, 2001); d) šířka letokruhů smrku (*Picea abies* (L.) Karst), Bavorský les, březen–srpen 1501–1978 (Wilson et al., 2005); e) šířka letokruhů dubu (*Quercus* spp.), střední Evropa, duben–červen 1501–2008 (Büntgen et al., 2011c); f) dokumentární údaje, Nizozemí, duben–září 1501–1996 (van Engelen et al., 2009)

**Figure 143.** Comparison of fluctuation in selected precipitation reconstructions for Central Europe based on various proxies in the past 500 years; precipitation totals have been transformed to standardized values (z-scores) and smoothed by 20-year Gaussian filter: (a) documentary data, Czech Lands, June–August 1501–2010 (Dobrovolný et al., 2015); (b) multiproxies, Central Europe, June–August 1501–2000 (Pauling et al., 2006); (c) black pine (*Pinus nigra*) ring widths, Vienna region, April–August 1501–1996 (Wimmer, 2001); (d) Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) ring widths, Bavarian Forest, March–August 1501–1978 (Wilson et al., 2005); (e) oak (*Quercus* spp.) ring widths, Central Europe, April–June 1501–2008 (Büntgen et al., 2011c); (f) documentary data, Low Countries, April–September 1501–1996 (van Engelen et al., 2009)

a 12 v 15. století. Protože sucho ovlivňovalo především úrodu zemědělských plodin, není překvapující, že s výjimkou zimy 1090/91 se všechny ostatní epizody sucha týkají jara, léta nebo celého vegetačního období (letního půlroku) od dubna do září.

Nárůst počtu dokumentárních pramenů po roce 1500 umožňuje systematickou analýzu sucha v českých zemích po jednotlivých rocích. Základem pro ni se vedle kvalitativní interpretace záznamů staly i řady měsíčních srážkových indexů, zmíněné v kap. 3.3.2, které umožňují vyjádření intenzity

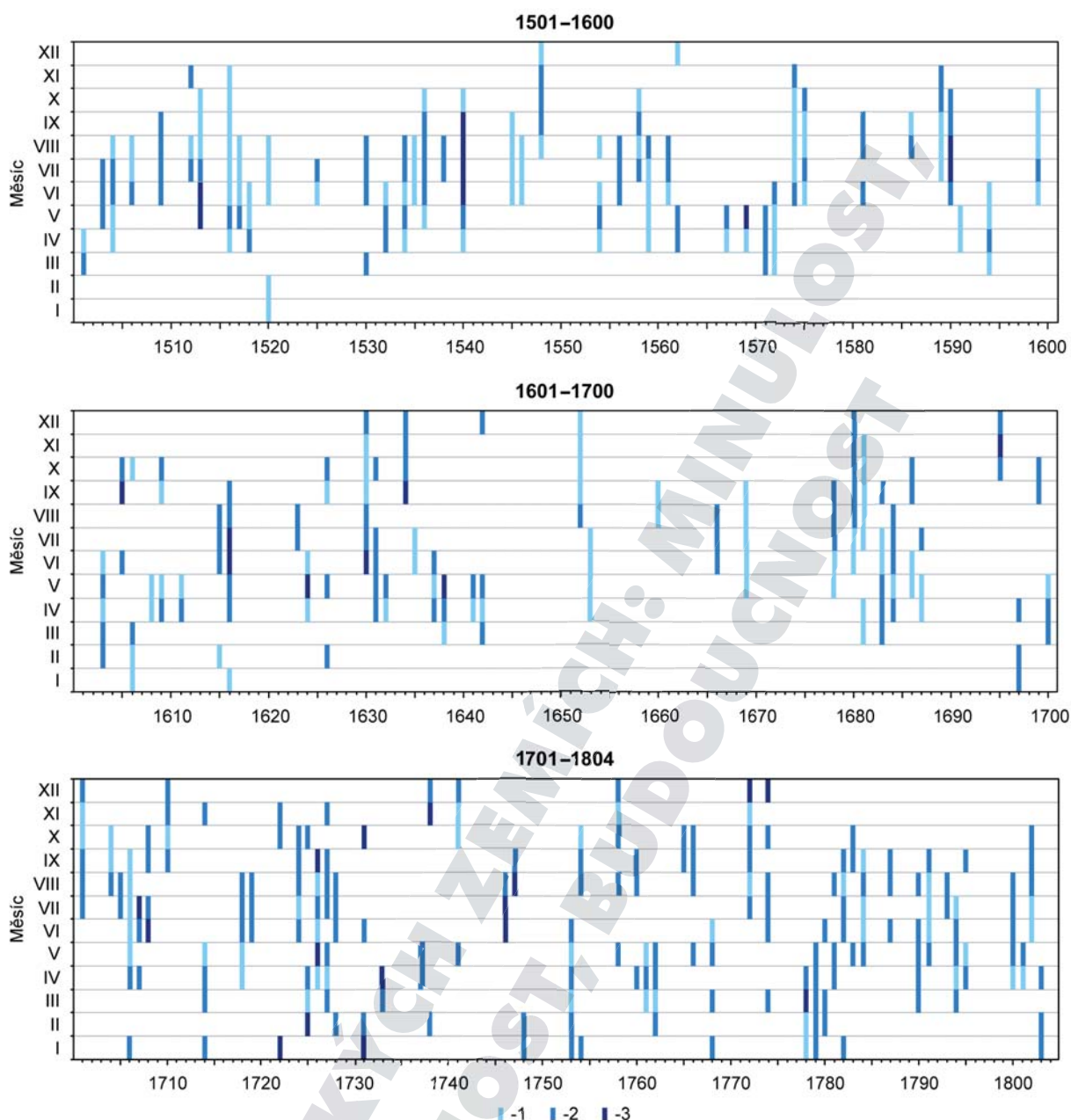
sucha daného měsíce; tedy index rovný  $-1$  platí pro suchý,  $-2$  pro velmi suchý a  $-3$  pro extrémně suchý měsíc. Samotná epizoda sucha pak byla definována tak, že sucho se vyskytlo nejméně ve dvou po sobě následujících měsících. Přehled takto vymezených suchých měsíců a suchých epizod v období 1501–1804 ukazuje obr. 144. Plyne z něho, že dokumentární údaje umožňují rozlišit suché měsíce v průběhu celého roku. Epizody sucha se vyskytly celkem ve 49 rocích 18. století, ve 41 rocích 16. století a konečně v 36 rocích 17. století.



**Tab. 9.** Suché počasí a sucho v českých zemích podle dokumentárních pramenů před rokem 1500 (Brázdil, Kotyza, 1995): Če – Čechy, BP – Benešov nad Ploučnicí, HK – Hradec Králové, Ka – Karlštejn, Kd – Kadaň, Mi – Mimoň, Mo – Morava, Pr – Praha, Tř – Třeboň, Va – Varnsdorf, Zb – Zbraslav

**Table 9.** Dry weather and droughts in the Czech Lands before AD 1500, derived from documentary evidence (Brázdil, Kotyza, 1995): Če – Bohemia; BP – Benešov nad Ploučnicí; HK – Hradec Králové; Ka – Karlštejn; Kd – Kadaň; Mi – Mimoň; Mo – Moravia; Pr – Prague; Tř – Třeboň; Va – Varnsdorf; Zb – Zbraslav

Rok	Měsíc	Místo	Popis
1090/91	zima	Pr, Če, Mo	Bez deště a sněhu.
1121	jaro	Pr, Če	Plodiny uschly.
1128	léto	Pr, Če	Bez bližší specifikace.
1177	léto	Pr, Če	Neúroda.
1194	léto	Pr, Če	Neúroda, vysoké ceny.
1252	jaro	Pr, Če	Deštivo koncem jara. Jařiny zašly.
1260	léto	Pr, Če	Bez bližší specifikace.
1262	jaro-léto	Pr, Če	Ozimy a jařiny zašly, uschlá tráva, neúroda ovoce a vinných hroznů.
1266	léto	Pr, Če	Neúroda obilnin, ovoce a vinných hroznů.
1283	jaro	Pr, Če	Bez bližší specifikace.
1307	jaro-léto	Zb, Če, Mo	Neúroda, hlad.
1312	léto	Zb, Če, Mo	Neúroda, vysoké ceny, hlad.
1315	před 2. srpnem	Zb, Če	Neúroda.
1326	léto	Zb, Če	Totální neúroda jařin.
1328	před 13. srpnem	jižní Mo	Bez bližší specifikace.
1333	léto (po 22. květnu)	Zb, Če	Neúroda jařin, málo vinných hroznů.
1334	léto	Zb, Če	Bez bližší specifikace.
1337	do července	Zb, Če	Neúroda obilnin a vinných hroznů, vysoké ceny.
1348	léto	Pr, Če	Vysušená země, neúroda obilnin.
1352	po 8. květnu	Pr, Če	Neúroda obilnin a jiných plodin.
1368	od dubna	Pr, Če	Neúroda jařin.
1369	(červenec-září?)	Če	Lepší víno v Čechách než v Rakousku kvůli silnému suchu.
1371	před 18. květnem	Pr, Če	Časté požáry.
1393	léto	Pr, střední Če	Možno přejít řeku Vltavu, voda „zelená jako tráva“.
1423	léto	Pr, BP, Če	Bez bližší specifikace.
1425	léto	Pr, Če	Bez bližší specifikace.
1432	2. květen- 27. červenec	Ka, Če	V tomto období jen jednou slabě přšelo.
1441	2. duben- 2. srpen	Ka, Če	Neúroda sena, obilnin a hrachu.
1442	léto	Pr, Če, HK	Neúroda obilnin a sena, silný nedostatek vody.
1461	léto	Mi, Va	Bez bližší specifikace.
1469	květen-září	Kd	Chybně datováno k roku 1468.
1471	léto	Mi, Va	Vyschly řeky.
1473	léto	Pr, HK, Ka, BP, Če	Vyschlé vodní toky, lesní požáry, neúroda obilnin a jiných plodin.
1476	jaro	Tř, jižní Če	Nedostatek vody.
1480	léto	Če	Bez bližší specifikace.
1482	léto	Pr	Páchnoucí zelená voda ve Vltavě.



**Obr. 144.** Suché měsíce/epizody sucha v českých zemích interpretované z dokumentárních pramenů v období 1501–1804 s vyjádřením jejich intenzity pomocí srážkového indexu: -1 suchý měsíc, -2 velmi suchý měsíc, -3 extrémně suchý měsíc (podle Brázdila et al., 2013a)

**Figure 144.** Dry months/droughts in the Czech Lands interpreted from documentary evidence for the 1501–1804 period; their intensity is expressed by precipitation indices: -1 dry month, -2 very dry month, -3 extremely dry month (after Brázdil et al., 2013a)

Pro lepší vizualizaci časové variability sucha byly jejich charakteristiky vyjádřeny po jednotlivých dekadách (obr. 145). Nejvyšší počet roků se suchem, sedm za dekádu, se vyskytl v desetiletí 1701–1710 (obr. 145a). Šest roků s epizodami sucha bylo zaznamenáno v letech 1511–1520, 1531–1540, 1631–1640, 1721–1730 a 1781–1790. Naproti tomu pouze dva roky se suchem byly zjištěny v dekadách 1521–1530, 1641–1650, 1661–1670 a 1671–1680. V 18. století

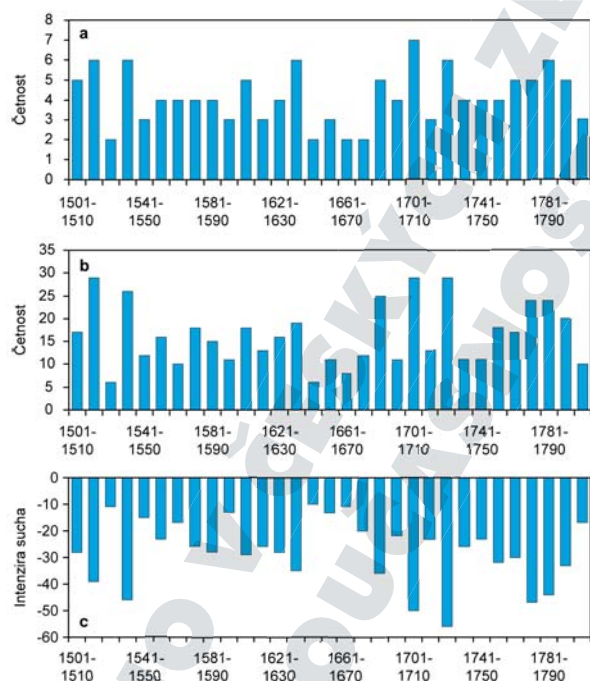
byly zaznamenány nejméně tři suché roky za dekádu mezi lety 1711 a 1720. Nejdelší souvislé období roků s epizodami sucha připadlo na 18. století: sedm roků v letech 1778–1784, pět roků v obdobích 1704–1708 a 1724–1728.

Přestože suché měsíce byly interpretovány i mimo letní půlrok (duben–září), sucha převládala především v tomto půlroce: 16. století — 135 suchých měsíců ze 160 (tj. 84,4 %; maximum červen 18,1 %);

17. století — 99 ze 139 (tj. 71,2%; maximum květen 15,1%); 1701–1804 — 136 z 206 (tj. 66,0%; maximum srpen 13,1%). V zimním půlroce (říjen–březen) byla sucha nefrekventovanější v říjnu (mezi 9,4% v 17. století a 6,9% v 16. století). Dekádové četnosti suchých měsíců ukazuje obr. 145b. Nejvyšší počet suchých měsíců se vyskytl v letech 1511–1520, 1701–1710 a 1721–1730 (29 měsíců v každé dekádě), následovaných desetiletím 1531–1540 (26). Pouze šest suchých měsíců bylo zaznamenáno v desetiletích 1521–1530 a 1641–1650.

Jak plyne z předchozích údajů, celkem 129 roků se suchem, resp. suchými měsíci, bylo identifikováno v českých zemích v období 1501–1804, což dává v průměru jednu epizodu sucha za 2,4 roku. Z celkového počtu 505 suchých měsíců se 372 z nich (73,7%) vyskytlo v letním půlroce od dubna do září (maximum v červnu a v srpnu po 13,5%) a 133 (26,3%) v zimním půlroce od října do března (maximum v říjnu 7,9%).

Intenzita historických suchých epizod je popsána jednak přímo srážkovými indexy v obr. 144 a jednak jejich sumami v odpovídajících rocích dané dekády v obr. 145c (vyšší suma negativních indexů



**Obr. 145.** Dekádové četnosti výskytu epizod sucha v českých zemích v období 1501–1804: a) roky s výskytem sucha, b) suché měsíce v letech s výskytem sucha, c) intenzita sucha (upraveno podle Brázdila et al., 2013a)

**Figure 145.** Decadal frequencies of droughts in the Czech Lands in the 1501–1804 period: (a) years with drought; (b) dry months in years with drought; (c) drought intensity (corrected after Brázdil et al., 2013a)

odpovídá intenzivnějšímu suchu). Tento ukazatel obecně koreluje s dekadovými četnostmi suchých měsíců. Avšak je pozoruhodné, že větší intenzita sucha se objevila v letech 1721–1730 než v desetiletí 1701–1710, v němž počet roků se suchem byl nejvyšší a frekvence počtu suchých měsíců byla stejná jako mezi roky 1721 a 1730. Přes vyšší počet suchých měsíců v dekádě 1511–1520 byla jejich intenzita menší než v letech 1531–1540.

#### 4.2.3 Vybrané extrémní suché epizody

Následující přehled uvádí několik nejvýznamnějších suchých epizod v českých zemích v období před začátkem přístrojových pozorování tak, jak vyplynuly z analýzy dostupných dokumentárních pramenů, přičemž se opírá i o některé již publikované popisy průběhu počasí vybraných let v pracích Brázdila a Kotyzy (2000) a Brázdila et al. (2007a, 2013b).

##### Rok 1534

Podle pramene z Litoměřic bylo jaro roku 1534 celkově suché a letní tepla začala již před polovinou dubna a trvala téměř až do konce května (*Z kněh pamětních starých*, p. 132). Polský analista *Naropinski* (in Walawender, 1932) popisuje již březen jako velmi teplý a suchý měsíc. Zatímco Glaser (2008) zmiňuje jen mírné jaro v Německu, Pfister (1988) interpretuje pro Švýcarsko jako suché měsíce březen a duben. Na Lounsku se sice začal velmi časně žít ječmen již v týdnu před 23. červnem (*RŠ*, fol. 185v), ale senoseč a žně ostatních obilnin proběhly již v obvyklých termínech (Brázdil, Kotyza, 2000). Žně ale skončily brzy v týdnu před 11. srpnem a dříve se sklízely také další plodiny jako hrách, konopí a proso (ibidem). Vlastní léto bylo hodnoceno jako extrémně suché, s nedostatkem krmiva pro dobytek a nízkými vodními stavy na Labi a Vltavě, nicméně s dobrou úrodou obilí (*Bydžovský*, s. 28–29, 258; *Paměti Varnsdorfu*, s. 145; *Z kněh pamětních starých*, s. 132). Po tříměsíčním suchu bylo možné přejít řeku Vltavu (*Štelcar*). Dobrá byla také úroda ovoce, stejně jako vinných hroznů s dobrým vínem (*Leupold*, s. 87; *Z kněh pamětních starých*, s. 132). Zprávy o velmi teplém a suchém létě pocházejí také ze Slezska, kde podobně jako podle českých pramenů měly letní teploty trvat od 15. dubna do 3. září: vyschly potoky, vodní mlýny nemohly mlít a nastal hlad (*Gomolcke et Hist. Besch. d. Theuer. in Walawender*, 1932). Pro velká horka a sucha byly i časté požáry (*Jahrbücher Breslau III*, s. 79). Podobně byl nedostatek obilí a krmiva pro dobytek na Lužici a vodní mlýny zde nepracovaly (*Gomolcke in Walawender*, 1932). Teplé



a suché léto plyne rovněž z interpretace pro Německo (Glaser, 2008) a Švýcarsko (Pfister, 1988).

### Rok 1536

Léto toho roku bylo velmi suché a voda v Labi byla na nízké úrovni. Značné škody na stromech způsobilo přemnožení housenek. Dvakrát kvetly růže (*Let. měšťana NMP*, s. 83; *Z kněh pamětních starých*, s. 132; *Záznam v právním rukopise*, fol. 177r; Katzerowsky, 1883). *Engelhart* (s. 44) hovoří o letním suchu (viz také *Baier*, s. 80) a horku v Chebu, spolu s častými požáry v lesích a obcích. *Bydžovský* (s. 33) zmiňuje suché počasí s vyschlými studnami a potoky a s častými požáry od dubna do Vánoc. Na Lounsku se doba prováděných zemědělských prací významně nelišila od průměru s výjimkou sekání otav, které se přesunulo až na týden před 3. říjnem (*RŠ*, fol. 214r). I když žně ovsu začaly již v týdnu před 8. srpnem (*RŠ*, fol. 211v), ještě 17. října byly vyplaceny mzdy sekáčům (*RŠ*, fol. 214r). Moravský šlechtic Jan z Kunovic zmiňuje ve svých záznamech z jihovýchodní Moravy teplé počasí a velké sucho až do 24. listopadu (*JanzK*, s. 133). Ačkoliv dne 2. května pomrzly vinice na Litoměřicku (*Záznam v právním rukopise*, fol. 178v), bylo dost dobrého vína, zatímco na Moravě byla úroda vinných hroznů špatná (*Z kněh pamětních starých*, s. 132). Mnoho dobrého vína (viz také *Bydžovský*, s. 33), ovoce a ořechů, ale také drahotu obilí po špatné úrodě, zmiňuje chebský kronikář (*Engelhart*, s. 44). Glaser (2008) interpretuje pro Německo mírné a suché jaro, velmi teplé a velmi suché léto (*Fabricius*, s. 188, citu-

je „výjimečně suché léto“ v Míšni), a dále teplý a velmi suchý podzim. Pro Švýcarsko uvádí Pfister (1988) teplé měsíce od května do listopadu a sucho od července do října (červenec–září klasifikuje navíc jako anomálně teplé a suché — Pfister, 1999).

### Rok 1540

Jak plyne z denních záznamů počasí od Jana z Kunovic na jihovýchodní Moravě, sucho roku 1540 začalo již v jarních měsících. Vedle sněžení ze dne 7. března uvádí pro tento měsíc jen slabé sněžení ve třech dalších dnech. Podobně srážkově chudý byl i duben, v němž si Jan z Kunovic zaznamenal slabé sněžení pro den 3. dubna, dešťové přehánky 7. a 18. dubna a nakonec jen slabý déšť v noci z 23. na 24. dubna. Přitom pro 20 dnů v tomto měsíci cituje jasnou oblohu, tedy slunečné počasí. Žádné srážky již nezmiňuje Jan z Kunovic v květnu, takže nepřekvapují jeho přímé zmínky o suchu pro 4., 6.–7., 9. a 15. května. Navíc do 26. května, kdy jeho denní záznamy končí, cituje 22 dnů s jasným počasím (*JanzK*, s. 143–145).

V dalším průběhu roku 1540 hovoří zprávy o horkém a suchém létě, nedostatku vody a lesních požárech (*Beckovský*, II, 2, s. 85; *Bydžovský*, s. 255; *DAzV*, s. 196; *Leupold*, s. 91; *Lupáč* k 7. dubnu; *Mathesius*; *Mikšovic*, s. 16–17; *Paměti Varnsdorfu*, s. 145; *Středovský*, s. 10; Tille, 1905). Na Jihlavsku je suché období s neúrodou zeleniny a řepy uváděno od 6. dubna až do konce roku; žně zde začaly před 9. červencem a obilniny byly posečeny před 11. srpnem (*Kron. Jihlavy*, fol. 37v–38r; *Leupold*,



**Obr. 146.** Mimořádně teplé a suché poměry jara a léta roku 1540 přispěly k časnému začátku a ukončení žni, a to nejen na Lounsku, ale i na jiných místech v českých zemích (de Crescenti, 1583)

**Figure 146.** The extraordinary warm and dry patterns of spring and summer 1540 contributed to an early beginning and end to the harvest, not only in the Louny region but elsewhere in the Czech Lands (de Crescenti, 1583)

s. 91). Velmi suché a teplé počasí s drahotou obilí a zeleniny je uváděno pro totéž období pro Uherský Brod (*Bartoškova kron.*, p. 27). *Mikšovic* (s. 16–17) specifikuje v Lounech horké a suché počasí pro období od 26. května do 13. října přerušené jen deštěm z 8. srpna, přičemž teplé počasí pokračovalo až do konce roku. Podle *Paměti Varnsdorfu* (s. 145) vlny horka trvaly po 19 týdnů. Prameny z Chebu hovoří o suchém roce, v němž setí a polní práce byly možné až na konci roku (*Engelhart*, s. 44), resp. o suchém létě a teplém počasí trvajícím do konce roku (*Baier*, s. 81). Velké sucho v Čechách cituje k roku 1540 také *Žalanský* (5, VI). Velmi časné žně kolem 3. července jsou uváděny pro České Budějovice (*Budv. hist.*, s. 8). Na Lounsku byly dokonce zaznamenány nejčasnější začátky žní za období 1450–1622 (Brázdil, Kotyza, 2000): začátek a konec žní (v týdnech před 22. červnem, resp. 3. srpnem), žně ječmene (totéž jako žně obecně), ovsa (v týdnu před 20. červencem) a hrachu (v týdnu před 13. červencem) (RŠ, fol. 260v–262r) (obr. 146). Různého charakteru jsou další zprávy o úrodě obilnin od špatné (*Bydžovský*, s. 255; *Engelhart*, s. 44; *Paprocký*, I, s. 213) přes průměrnou (*DAzV*, s. 59, 196) až po hojnou, ale s neúrodou ostatních plodin (*Beckovský*, II, 2, s. 85). Rok 1540 byl v Čechách mimořádný na víno, s přebytkem vinných hroznů (ibidem; *DAzV*, s. 59; *Leupold*, s. 91; *Pamětní kniha Litoměřic*, s. 239; *Žalanský*, 5, VI).

Horké a suché počasí však nezůstalo omezeno jen na české země. Velmi horko a sucho bylo v létě a na podzim ve Slezsku, kde prakticky nepršelo po šest měsíců: vyschly mnohé vodní toky a voda v řece Odře byla zelená. Časté byly lesní požáry a dobytek trpěl hladem a žízní (*Jahrbücher Breslau III*, s. 115). Podobně Cyprian Lvovský ze Lvovic zmiňuje nesnesitelná horka, sucho a nedostatek potravin ve Wroclawi (Smolík, 1862). Analogicky ve Velkopolsku<sup>66</sup> bylo léto a podzim velmi suché a nepršelo až do začátku zimy. Řeky měly výjimečně nízké stavy, potoky, rybníky a studny vyschly, a země byla suchá na prach (Rojecki et al., eds., 1965). Velké horko, lesní požáry, neúrodu, drahotu a hlad v Čechách, Slezsku a Lužici zmiňuje *Gomolcke* (*Fortsetz. d. Wasser-Hist.* in Walawender, 1932). *Gastainerische Chronica* (in Rohr, 2007) cituje teplé a suché počasí od konce března do poloviny srpna s velkou neúrodou obilnin a vysušením pramenů a potoků v oblasti Salzburku v Rakousku; lesní požáry jsou uváděny

<sup>66</sup> Velkopolsko, historické území v západním Polsku s centrem v Poznani, je považováno za jádro originálního polského státu. Rozrostlo se spojením knížectví Poznaň, Gniezno a Kalisz.

pro Korutany. *Fabricius* (s. 193) potvrzuje velmi teplé a suché léto v Míšni, kde bylo mnoho vína, ale nedostatek zahradních produktů. Výjimečnou extremitu roku 1540 uvádí také Pfister (1988) pro Švýcarsko, kde interpretuje teplé měsíce od dubna do prosince a suché od února do října. Podobné zprávy o teplém a suchém počasí pocházejí také z Německa (Glaser, 2008). Wetter a Pfister (2013) považují tento rok v Evropě (k jeho popisu viz také Glaser et al., 1999) za výjimečně teplý, navíc porovnatelný s mimořádným létem roku 2003, kdy počet obětí podmíněný horkem dosáhl hodnoty mezi 22 000 až 35 000 (viz například Beniston, 2004; Schär, Jendritzky, 2004; Schönwiese et al., 2004; Trigo et al., 2005; Chase et al., 2006; Fischer et al., 2007). Detailní analýza denních záznamů počasí ze Švýcarska a Polska v kontextu ostatních dokumentárních pramenů z Evropy vedla Wettera et al. (2014) k označení sucha roku 1540 pojmem „megasucho“ (megadrought).

### Rok 1590

Jak plyne z práce Brázdila et al. (2013b), rok 1590 byl v českých zemích typický teplým a suchým létem. Velké sucho je uváděno pro Olomouc kolem 25. července, kdy vodní mlýny nemohly mlít pro nedostatek vody (*Středovský*, s. 40). Horko, sucho a požáry citují *Schober* (s. 37) a *Kratschner* (s. 25–26), suché léto *Plachý* (s. 168) a *Paměti Kadaně* (s. 63), a horké a suché léto, bez dešťů po dlouhou dobu, *Hüttel* (s. 305). Další prameny dokonce specifikují délku období bez deště (3. červen–10. září pro Slaný — *Kněžoveský*, s. 32; 10. červen–5. srpen pro Soběslav — *Smrčka*, fol. 9v; srážky jen dvakrát či třikrát mezi 10. červnem a 21. zářím pro Litoměřice — *Pamětní kniha Litoměřic*, s. 237–239; 17. červen–6. srpen pro Dobrušku — *Dobrušský anonym II*, s. 285) a citují vysychání vodních toků, zahájející vodní mlýny, nízký stav vody na Vltavě, Labi a Ohři, zelenou vodu a neúrodu (ibidem; *Kriesche*, s. 19; *Mikšovic*, s. 81–82; *Pilát*, s. 168). Ve Velvarech nepršelo po mnoho týdnů, což vedlo k vysychání vodních zdrojů, vyloučení vodních mlýnů z provozu po devět týdnů a následnému hladovění (*Pamětní kniha Velvar*, fol. 48r). Pavel Korka popsal léto roku 1590 jako horké a suché. Vyschly potoky a při nedostatku vody mnohde nemohly mlet mlýny. Velká neúroda způsobila drahotu a všeobecný nedostatek, jímž trpěli zejména chudí lidé, z nichž mnozí zemřeli hladem (*Korka*, s. 379–380). *Bydžovský* (s. 216) zaznamenal pro Prahu špatné žně a neúrodu ovoce a trutnovský kronikář neúrodu zeleniny a ovoce (*Hüttel*, s. 304). *Pelargus* (p. 137) zmiňuje neúrodu



obilnin a jiných plodin, zatímco v Dobrušce hovoří kronikář o neúrodě letních plodin, ale i o přebytku ozimů (*Dobrušský anonym II*, s. 285). Neúroda vedla k pozdější velké drahotě (*Baier*, s. 163; *Kněžoveský*, s. 32; *Kron. Podolských*, s. 241; *Mikšovic*, s. 81–82; *Rosacius*, s. 350–351; *Smrčka*, fol. 9v). Například obilí muselo být importováno ze Slezska do Trutnova a okolí (*Hüttel*, s. 305). Z nekompletních lounských záznamů o polních pracích se ukazuje, že časné byly žně ovsa v týdnu před 4. srpnem (*RVŠ III*, fol. 125r), stejně jako ukončení celé sklizně obilnin v následujícím týdnu (*ibidem*). Protože rok byl horký a suchý, bylo málo otav, které byly sekány v týdnu před 29. zářím (*RVŠ III*, fol. 126v). Další prameny, zmiňující zemětřesení ze dne 15. září, hovoří o horku a suchu před tímto datem, kdy vysychaly potoky (*Březan I*, s. 358; *Bydžovský*, s. 216; *Kron. Frenštátu*, s. 14). V Chebu nemohly mlet od léta vodní mlýny, ale nejnižší vodní stav na řece Ohři byly zaznamenán až 20. prosince (*Baier*, s. 161). Na podzim byla půda suchá až na prach (obr. 147), což ztěžovalo setí (*Pamětní kniha Litoměřic*, s. 239). Deště tohoto podzimu byly zmíněny pouze pro dny 28.–29. října (*ibidem*; *Kněžoveský*, s. 33).

Podle *Paměti Varnsdorfu* (s. 145) nepršelo po výjimečných 38 týdňů. Tráva zašla velkým horkem a ztráty byly na rybách a lovné zvěři. *Plachý* (s. 168) hovoří o příšerném horku po celý rok a častých požárech. *Kriesche* (p. 19) uvádí pro Českou Lípou totálně suchý rok, v němž nepršelo ani v létě, ani v zimě, mletí bylo znemožněno a následoval hlad. *Tille* (1905) konstatuje suchý a teplý rok pro Mimoň. *Kněz Izaiáš Camill Vodňanský* z Benešova zmiňuje velmi špatné obilí na polích, protože některé uhynulo a zbytek nemohl růst pro sucho (*Izaiáš*, s. 199). Velké sucho a hlad jsou uváděny bez bližší datace pro Frýdlant (*Ressel*, 1900). Suché a teplé počasí bylo příznivé pro dobrou úrodu výtečného vína (*Matuška*, s. 172; *Mikšovic*, s. 81–82; *Pamětní kniha Litoměřic*, s. 239; *Středovský*, s. 40).

*Lauscher* (1985) cituje pro rakouský Retz velmi horké léto a neúrodu, kompenzovanou výjimečně dobrým vínem, nejlepším za 100 let. Velmi horké a suché léto s neúrodou a lesními požáry panovalo ve Waidhofenu an der Ybbs. Vinné hrozny byly zralé již v září a vydařilo se i vinobraní (*Lindner in Klemm*, 1983). *Preuenhueber* (*ibidem*) uvádí horko a sucho v létě pro Steyr. Ve Slezsku během



**Obr. 147.** Sucho působilo nepříznivě nejen na růst polních plodin, ale i na obdělávání půd, včetně orby a setby. Vyobrazení oráče od Matouše Ornyse z Linperka v třebenickém kancionálu z let 1577–1578 (archiv O. Kotyzy)

**Figure 147.** Drought had a negative influence not only on the growth of field crops, but also on soil cultivation, including ploughing and sowing: a ploughman by Matouš Ornyse z Linperka in the Třebeňice hymn book, 1577–1578 (O. Kotyza archives)



velmi horkého a suchého léta vyschly řeky (takové jako Bobr, Kwisa, Kaczawa, Widawa, Ślęza a Oława) a řeka Odra měla tak málo vody, že ji bylo možné přejít na mnoha místech. Vyschla jezera a lidé museli místy kupovat vodu. Období od 19. dubna do 24. srpna bylo prakticky bez deště a sucho pokračovalo až do podzimu (*Jahrbücher Breslau IV*, s. 156; Ingot, 1968). V Polsku nepršelo po 38 týdnu od jara do podzimu, a v Krkonoších v létě úplně vyschla říčka Kamienna, stejně jako jiné toky (Rojecki et al., eds., 1965). Analýza Glasera (2008) pro Německo souhlasí s průběhem počasí v českých zemích a uvádí velmi teplé a suché léto, pokračující suchým počasím až do podzimu. Pfister (1988) interpretuje ve Švýcarsku teplý červen a poté teplé a suché počasí od července do září.

### Rok 1616

Výjimečné sucho roku 1616 začalo již v dubnu. Ve Varnsdorfu výrazněji nepršelo od 31. března až do 29. září (*Paměti Varnsdorfu*, s. 145), zatímco v Lounech uvádí Pavel Mikšovic bezesrážkové období od 3. dubna do 31. července (*Mikšovic*, s. 385–387). Ve Fulneku bylo velmi sucho od 19. dubna až do Vánoc, kdy při nedostatku vody pro mlýny se jezdilo daleko mlít (*Kron. Fulneku*, s. 21). Mistr Jakub Žabonius ve svých zápiscích z Prahy konstatuje k 14. květnu, že pro velké sucho je špatné osení a málo ovoce na stromech. V souvislosti s požárem v Praze pak k 29. květnu poznamenal, že je velké sucho, kdy po několik týdnů nepršelo (*Žabonius*). Pro 3. červen je zmiňováno sucho pro Kobylí (Hosák, 1928). Podle zprávy z Libouchce nepršelo po čtyři měsíce, neurodily se obilniny a další plodiny, byl nedostatek sena, vyschl Jílovský potok a nemlely mlýny, takže se jezdilo 4–5 mil [asi 30–37 km]<sup>67</sup> na mletí, musela se kupovat voda pro dobytek a nastala drahota (*Kuchmeister*, s. 173). Horké a suché léto s neúrodou obilí a drahotou je uváděno také z Mimoně (Tille, 1905). Kronikářský záznam z Jáchymova cituje velké sucho v létě, lesní požáry, neúrodu obilí, nedostatek krmiva a mření dobytka (*Schober*, s. 224), stejně jako kronikář z České Lípy (*Kriesche*, s. 116–117). Pro Čechy se obecně konstatuje velké sucho, nedostatek vody, stojící mlýny a drahota (*Beckovský*, II, s. 78). Další české prameny citují sucho v roce 1616 pro Písek (*Bezděka*, s. 144), Bílinu (Hutter, 1891) či Frýdlant (Ressel, 1900). Daniel starší Philomates (viz kap. 2.1) označil ve svém tištěném kázání v Domaželicích sucho roku 1616 jako stoleté (tj. že takové se nevyskytlo po dobu

100 let) (*Philomates*). Velmi suché léto s nedostatkem vody panovalo v Jihlavě, kde se kvůli vodě pro mlýny musely odpouštět rybníky (*Leupold*, s. 305; k velmi suchému létu viz také veršovaná jihlavská kronika — *Reimchronik*, s. 43). Stejně tak v okolí Hranic<sup>68</sup> nemohly pro velké sucho mlet vodní mlýny (Hosák et al., 1969). V Drahotuších panovalo velké sucho od 22. května téměř až do Vánoc, což bylo příčinou neúrody (*Kron. Podolských*, s. 253): „*Toho roku veliké sucho bylo, počnouc hned od sv. Ducha [22. května] až blízko vánoc, skrze což velicí nedostatkové jak o mlýny, tak i o potravu vznikly, semence se takměř nic nezrodily.*“ V Rožnově pod Radhoštěm bylo sucho od jara po celý rok. Žně začaly časně již 23. června a všechny polní plodiny byly sklizeny do 24. srpna (*Paběrky z Rožnova*, fol. 52r). Velké horko, vysychající vodní toky a páchnoucí Vltavu v Praze cituje Daniel Basilius z Deutschenperka (Winter, 1899). Výjimečně suchý rok 1616 je dokumentován rovněž zřetelnou značkou na hladovém kameni na Labi v Děčíně-Podmoklech (obr. 148). Pro Dolní Beřkovice je uváděno tak málo vody v Labi, že je přešlo i šestileté dítě (*Kriesche*, s. 120). Suché a teplé počasí urychlilo významně začátek senoseče na Lounsku na týden před 18. červnem (*RVŠ IV*, fol. 282v) a zejména začátek žní, včetně žní ječmene (týden před 25. červnem — *ibidem*), žita (stejný týden, který je nejčasnějším začátkem žní žita za období 1517–1622), pšenice (týden před 9. červencem — *RVŠ IV*, fol. 283v) a ovsu (týden před 23. červencem — *ibidem*, fol. 284r), kdy také skončily žně (opět nejčasnější konec za období 1517–1622). Lounský kronikář Pavel Mikšovic zmiňuje zralé obilí před 24. červnem, které bylo sklízeno před 13. červencem. Úroda ozimů byla průměrná, zatímco jařiny a ostatní polní plodiny uschly. Uschla také tráva a otavy se nesealy vůbec. Před 15. říjnem skončilo vinobraní, které začalo již 8. září (*Mikšovic*, s. 385–388). V obci Raná na Lounsku se začalo s vinobraním před 24. zářím (*RDR II*, fol. 91r) a na Oblíku se vinné hrozny začaly sklízet 26. září (*Mikšovic*, s. 388). *Kriesche* (s. 116) hovoří v tomto roce o dobrém víně, stejně jako *Partlicius* (s. 281), který ale dodává, že ho bylo málo.

Suché a teplé léto potvrzují také interpretace dokumentárních pramenů z dalších míst ve střední Evropě. Tak Pfister (1999) klasifikoval měsíce červen a červenec ve Švýcarsku jako extrémně teplé a extrémně suché. V Německu začala sucha od poloviny dubna a trvala přes celé léto, takže spolu s teplejším počasím způsobila neúrodu obilí a sena, uspíšení vi-

<sup>67</sup> 1 míle česká = 7,468 km (Hofmann, 1984, s. 75).

<sup>68</sup> Jedná se o Hranice v okrese Přerov.



**Obr. 148.** Hladový kámen při levém břehu řeky Labe v Dečíně-Podmoklech obnažený při suchu v roce 1904 se zřetelnou značkou nízkého vodního stavu při suchu v roce 1616 (archiv O. Kotyzy)

**Figure 148.** The “Hunger Stone” on the left bank of the River Elbe at Děčín-Podmokly, uncovered during the drought of 1904, with the low water level of the 1616 drought clearly indicated (O. Kotyza archive)

nobraní a velmi dobré víno. Suchý byl také podzim (Glaser, 2008).

#### Rok 1718

Osm týdnů v roce 1718 bez deště je uváděno pro Českou Skalici (*Zápisník Houserů*, s. 52). Zpráva z Klatov cituje velké sucho, kdy vyschly některé rybníky a uhynul rybí potěr (*Historia collegii*; totéž se uvádí i pro rok 1719). Sucho bylo příčinou nedostatku vody zmiňovaného v Opočně (Čížek, s. 12). Pramen z Velvar označuje rok 1718 jako velmi neúrodný, kdy kvůli velkému suchu nic nerostlo a hospodáři museli všude zaorat ječmen a oves (*Pamětní kniha Velvar*, fol. 174r). Zpráva z Uherského Hradiště konstatuje, že pro velké sucho před 24. červnem vzrostly špatně jařiny a uschla „přísada“, ale očekávala se dobrá úroda vinné révy (*Ann. Hradistienses*, s. 113). V diáriu premonstrátského kláštera na Hradisku je k datu 11. června sice citována půlhodinová bouřka s deštěm ve dne i v noci, je ale doprovázena povzdechem, co je to platné při tak velkém suchu (*Diarium Hradisko I, II-12*, fol. 47r). Suché léto je uváděno v Rýmařově, kde museli lidé jezdit mlít na vzdálenost 5 až 6 mil [~37–45 km] (*Chron. Römerstadt*, s. 63; *Langer*, s. 20). Na Břeclavsku vyschla při teplém a suchém počasí na čas řeka Dyje (Noháč, 1911; Hosák, 1924; Dostál et al., 1968). Velké sucho a snížení příjmů jsou zmiňovány v dopise kardinála Wolfganga Hannibala hraběte Schrattenbacha císaři Karlu VI., datovaném dne 10. září v Olomouci

(Lechner, 1896). Sucho, málo obilí a drahotu cituje farní kronika z Moravského Berouna a doplňuje tuto informaci zprávou o vyschlé řece Bečvě u Přerova a vodních mlýnech stojících pro nedostatek vody na Kroměřížsku (Berger, 1901). Velké a stálé sucho, jaké nikdo nepamatoval, panovalo také v Bzeneci. Špatné byly jařiny a již kolem 10. června začaly žně, ale pro malou úrodu nastala brzy drahota (Cvrček, 1903; Hanák, 1919, 1922). Diarium piaristické koleje ve Staré Vodě<sup>69</sup> uvádí na jaře poprvé dešť dne 14. května; rok byl hodnocen jako velmi suchý, neboť od jara napočítali stěží pět dešťů (*Diarium Stará Voda I*, s. 174, 179). Velké sucho, uschlé obilí, neúrodu, drahotu a nedostatek vody pro mlýny citují další prameny pro moravské obce jako Svitávku (*Pamětní kniha Svitávky*, s. 74), Sobůlky (Fintajsl, 1914), Třebíč (Dvorský, 1906), Zašovou (*Kron. Vranečky*, nestr.) nebo Želechovice (okres Olomouc; Hrubý, 1908).

Ve východním Rakousku panovala v létě roku 1718 nesnesitelná horka a sucha. Kromě časného vinobraní (od poloviny září) a dobrého vína zde byla zaznamenána velká neúroda polních plodin, země byla suchem hluboko rozpraskaná, objevovaly se lesní požáry a vysychaly prameny, studny, řeky, potoky a jezera (Strömmer, 2003). Velmi suché počasí panovalo také na východním Slovensku i v celém tehdejší Maďarsku, kde uschly ozimy i jařiny, což způsobilo velkou drahotu. Horké a suché počasí

<sup>69</sup> Zaniklá obec po zařazení do vojenského prostoru Libavá.

trvalo od druhé poloviny dubna do začátku června a pak zejména od srpna do druhé poloviny září. Velké sucho se zde promítlo na více místech i do pronásledování čarodějnic, které byly obviňovány z vyvolání sucha (Brázdil et al., 2008a). Pfister (1999) uvádí pro Švýcarsko extrémně teplé období od června do září, ale extrémní sucho jen v září s velmi suchým červencem a suchým srpnem.

### Rok 1719

Jak uvádí zpráva z Roudnice nad Labem, kvůli velkému suchu se jařiny neseckly, ale jen se trhaly rukama (*Paměti Brodských*, s. 154). Jan Josef Čížek z Opočna referoval o situaci v roce 1719 jako o horší v porovnání s předchozím rokem [1718] — vodní mlýny nemlely po mnoho týdnů, obilí se vozilo na mletí na vzdálenost dvou mil [asi 15 km]<sup>70</sup>, úroda byla špatná a byl nedostatek píce pro dobytek (*Čížek*, s. 12). *Pamětní kniha Velvar* (fol. 174r) přiřazuje tomuto roku stejnou informaci o neúrodě a velkém suchu jako v roce 1718. Fresar Matěj II., sedlák v Sirákově, charakterizoval v rodinné kronice léto roku 1719 jako pěkné a suché (*Kron. Flesarů*, s. 306). Z Moravského Berouna se kvůli velkým letním horkům a suchu jezdilo mlít až do vzdálenosti šesti mil [~45 km] i více. Obilí se jedlo i jen sešrotované. Neurodilo se žádné obilí ani len, uschly pastviny a zelí bylo na podzim sežráno housenkami (Berger, 1901). Dopis knížete Otty z Olomouce kardinálovi Wolfgangu Hannibalovi hraběti Schrattenbachovi datovaný 16. srpna zmiňuje velké horko, nedostatek vody, uschlou trávu a neúrodu polních plodin (Lechner, 1896). V Uherském Hradišti se konala ve dnech 28.–30. srpna prosebná procesí za déšť kvůli panujícím velkému suchu a nedostatku vody na mletí ve vodních mlýnech (*Ann. Hradistienses*, s. 116). V Bzenci při velkém suchu vyschla obecní „luža“ (Cvrček, 1903; Hanák, 1919, 1922). V Hranicích bylo možné přecházet řeku Bečvu (Indra, 1929–1930). V Praskolesích u Telče způsobilo sucho trvajícím od 4. června neúrodu obilí a lnu (*Bínové z Praskoles*, s. 141). Velké sucho, uschlé obilí a neúroda jsou dále citovány pro Svitávku (*Pamětní kniha Svitávky*, s. 74), velké sucho pro Třebíč (Dvorský, 1906), velké sucho, málo vody a vodní mlýny mimo provoz pro Zašovou (*Kron. Vranečky*, nestr.), velké sucho a drahota pro Želechovice (Hrubý, 1908). Kvůli neúrodě obilí je v září zmiňován zákaz vývozu obilí z Čech, nikoliv ale na Moravu a do Slezska (Hrdý, 1924).

Ve východním Rakousku bylo jako velmi teplé a suché charakterizováno jaro i léto, takže tráva i obilí zašlo a špatné byly i letní polní plodiny, zatímco víno bylo velmi dobré kvality (Strömmer, 2003). Pfister (1999) interpretuje ve Švýcarsku velmi teplé období od května do srpna, ale jako extrémně suchý pouze srpen a jako velmi suchý květen–červen.

### Rok 1726

Po zimě s dlouho ležícím sněhem (do 25. března v Želechovicích), kdy vyhynuly ozimy, byly suchem postiženy jařiny (Hrubý, 1908). Podle záznamů pražského měšťana Františka Václava Felíře uhodila taková velká horka v dubnu a květnu, jaká bývají ve „psích dnech“,<sup>71</sup> přičemž od 9. května nepršelo po pět týdnů, takže všechno vyprahlo a velké škody vznikly na obilí, v zahradách a na vinicích (*Felíř I*, s. 86). Blíže nedatovaný záznam z Litoměřic konstatuje, že kvůli trvajícím suchu bylo drženo prosebné procesí, po němž třetí den pršelo (*Schmidt*, s. 17). Zápis z kláštera Hradisko (obr. 149) k 17. červenci sice konstatuje, že tento den krátce mírně pršelo, ale zároveň vyjadřuje přání, kdyby tak pršelo aspoň pět dnů, neboť je takové sucho, že je popraskaná země a řeka Morava je stěží čtyři stopy (127 cm) hluboká (*Diarium Hradisko I, II-17*, fol. 89r). Účinky sucha byly nepochybně zesíleny dlouhým obdobím velmi teplého až horkého počasí, trvajícím od 8. května do konce září (ibidem, fol. 61v–119v). Suché léto zmiňují také německé záznamy z Olomouce (*Knihy Olomouc*, fol. 1r); sucho přispělo i k tamnímu růstu ceny obilnin (Fischer, 1808). Podle zpráv z Hrabové na Šumpersku nepršelo od rozpuštění sněhu do 10. srpna, což bylo příčinou neúrody (Müller, 1905). Podobně na Vsetínsku začalo sucho v době setí jařin a vyústilo v neúrodu a drahotu (*Památky rozličné*, fol. 14r). Stejně tak ve Frenštátu pod Radhoštěm pro suché jaro vyhynuly jařiny a po neúrodě nastala drahota (Felix, 1908). Záznamy z Čejkovic<sup>72</sup> se zmiňují o horkém a suchém roce, neúrodě obilí a polních plodin a o nedostatku píce. Velmi dobré bylo ale víno, které bylo lepší než v roce 1718 (Hlavinka, 1908).

Teplé a suché léto roku 1726 ve východním Rakousku cituje Strömmer (2003). Pfister (1999) označil květen a červenec jako extrémně teplé a květen jako velmi suchý. V oblasti Spiše na východním Slovensku byly ze způsobení sucha tohoto roku obviněny a potrestány čarodějnice (Brázdil et al., 2008a).

<sup>71</sup> „Pší dny“ jsou místy brány jako období od 6. července do 15. srpna, jinde od 14. července do 15. srpna, někde i do 5. září (Friedrich, 1997).

<sup>72</sup> Obec v okrese Hodonín.

<sup>70</sup> Viz poznámka 28.





**Obr. 149.** Diaria premonstrátského kláštera Hradisko (Olomouc) zmiňují nejen sucho roku 1726, ale uvádějí případy sucha i v dalších 16 letech v období 1693–1783 (Brázdil et al., 2011b)

**Figure 149.** The diaries of Hradisko, a Premonstatensian monastery at Olomouc, report the drought of 1726 and also record droughts in 16 other years during the 1693–1783 period (Brázdil et al., 2011b)

#### Rok 1746

Plzeňský měšťan Jan Lauttner cituje bídu a drahotu v červnu 1746, kdy mnozí lidé přicházející do Plzně si nemohli koupit obilí. Hojný deštěk koncem měsíce přispěl ke zlepšení situace a zažehnání hladomoru (Lauttner, fol. 114v). Velkou drahotu obilí v Čechách zmiňuje také pramen z Chrudimi (*Pamětní kniha rudá*, fol. B 3r). Podle pražských záznamů Františka Václava Felíře od 1. června do konce července přešlo jen dvakrát, kdy dešť sotva smočil prach a panovalo horko a sucho. Dne 9. července bylo organizováno procesí za vyprošení deště. Obilí uschlo a docházelo k častým lesním požárům. Prospěšný deště zmínil Felír až pro 18. srpen, ale poté opět převládalo suché počasí, přerušené až deštěm dne 2. října (Felír II, s. 309–310, 312). V Litoměřicích panovalo v červnu a v červenci dlouho nepamatované sucho. Vyschly potoky a Labe mělo neobvykle nízký stav vody, kdy nedostatek vody pro vodní mlýny vyvolal následně nedostatek mouky a chleba. Špatné byly žně, stejně jako úroda ovoce. Uschlo také mnoho stromů

(Schmidt, s. 18). Na velké sucho roku 1746 a nedostatek vody v Labi ukazuje také značka na hladovém kameni v Děčíně-Podmoklech (obr. 148). Pamětní kniha z Chrudimi hovoří o velkém suchu během celého léta, kdy v Evropě vyschly řeky a studánky a byla velká nouze o obilí k mletí. V Praze vyschla řeka Vltava tou měrou, že bylo možné přejít suchou nohou po straně „Malého ostrova“ na Malou Stranu (Ceregetti, s. 89; *Liber memorabilium*, fol. 69v). Velké sucho, vysychající vodní zdroje, uschlou trávu, špatnou úrodu obilí a následnou drahotu cituje *Pamětní kniha Tržku* (fol. 4v). Zápis z Nového Města na Moravě zmiňuje velké sucho toho roku a jeho dopady (*Gedenkbuch der Familie Chladek*, s. 296): „Ten celý rok tak sucho bylo, že celé léto od jara nepršelo, taky krom žita na jarním obilí žádná auroda nebyla, a o mletí zle bylo, nikde se mlet nemohlo třeba 6 i 7 mil [45 i 52 km]<sup>73</sup> do mlejna vozili, neb vyschly všechny studnice, ani lidé ani dobytek neměli co pít ...“

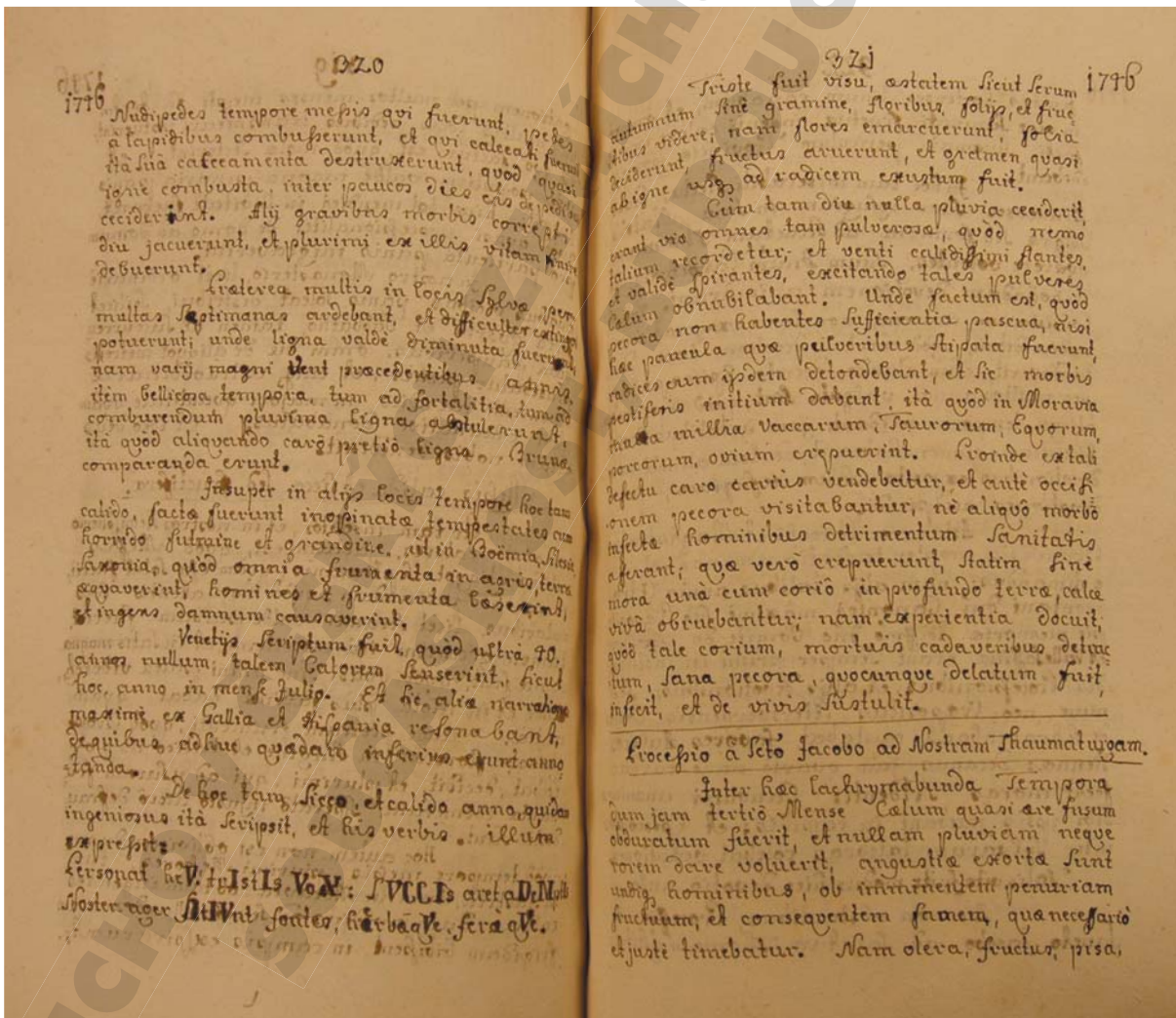
<sup>73</sup> Viz poznámka 28.



Pro Moravičany je uváděno sucho mezi 10. dubnem a 28. zářím, kdy téměř nepršelo. Bylo málo píce, žádný len a nastala dražota (Ambrož, 1905, 1931). Podobně panovalo velké sucho v Rozstání, kde nepršelo od poloviny května do rozstánských hodů (*Kron. Vítka Kocourka* in Jančík, 1947). Ve Vřesovicích je udáváno sucho po čtyři měsíce. Prameny a potoky vyschly a jezdilo se 10–15 mil [asi 76–114 km]<sup>74</sup> za mletím do mlýnů (*Pamětní list kaplana Bedřicha Eckerta* in Opletal, 1933; Janoušek, 1938). Zápisy z piaristické koleje ve Staré Vodě hovoří o suchém létě, kdy vyschly prameny a řeky (*Diarium Stará Voda II*, s. 173). Podobně se k suchu roku 1746 vyjádřil také brněnský augustinián Hieronymus Haura. Hovoří o skoro zkázonosném suchu a velkém horku v červnu a zejména v červenci, kdy lidé umírali

horkem. Málo vzrostlo obilí (bylo lepší v zrně než na slámu) a tráva, opadalo ovoce i s listím, země byla rozpraskaná suchem, cesty byly velmi prašné, vyschly prameny i vodní toky, byla přerušena plavba na větších řekách a nemlely vodní mlýny, což vedlo k nedostatku chleba. Bohatá byla jen úroda vinných hroznů a víno dobré. Smutno bylo podle Haury pohledět, jak léto připomíná pozdní podzim bez trávy, květů, listí a ovoce, neboť květiny zašly, listí opadlo, ovoce zaschlo a tráva byla spálená až ke kořenům jako od ohně. K suchu roku 1746 se vztahuje také jeho chronogram (obr. 150) zmíněný v kap. 3.3.1 v bodě i. Dále konkrétně zmiňuje modlitby za déšť v brněnském kostele sv. Jakuba dne 17. července a prosebné procesí za déšť od sv. Jakuba ke kostelu sv. Tomáše dne 8. srpna (*Haura*, III, s. 318, 321, 325, 421, 448). Podle paměti Jana Michaela Breijnna (Papoušek, 1937) bylo v létě na Moravě, ale i v Čechách

<sup>74</sup> Viz poznámka 28.



**Obr. 150.** Hieronymus Haura, člen řádu augustiniánů v Brně, popisuje ve svých memorabilích podrobně sucho roku 1746, jemuž speciálně věnoval i chronogram (na dvojstraně z jeho rukopisu úplně vlevo dole) (*Haura*)

**Figure 150.** Hieronymus Haura, of the Augustinian order in Brno, gave a detailed description of the drought of 1746 and even devoted a particular chronogram to it (bottom left of this double-page from his manuscript) (*Haura*)

a v Rakousku, velmi sucho a sotva třikrát přšelo. Sucho je zmiňováno také pramenem z Hodonína, kde bylo málo vody pro mlýny, ale urodilo se dobré víno (*Jakob Kleins Chron.*, s. 82–83). V Kašavě na Valašsku je uváděno suché jaro a horké léto (Hurt, 1973). Bez bližší datace je citováno velmi sucho pro Hutisko a Velké Karlovice (Kramoliš, 1907), sucho pro Bedihošť (Janoušek, 1938) a velké sucho s drahotou pro Uhřice na Vyškovsku (Kramoliš, 1900). Sucho roku 1746 je vzpomenuáno také milčickým rychtářem Františkem Janem Vavákem v souvislosti s popisem sucha z roku 1790: „*Ačkoliv v roce 1746 převeliké sucho také bylo, ale přece aspoň sena něco lidé dostali, ...*“ (Vavák, 1912, s. 144).

Pfister (1999) charakterizoval ve Švýcarsku měsíce květen, červenec a srpen jako extrémně teplé a extrémně suché. *Wienerisches Diarium* hovoří o velkém suchu v dubnu a květnu v Rakousku, kdy 21. května vyzval vídeňský arcibiskup k modlení za déšť. V červenci účinky sucha ještě zesílila velká horka, která vyvolala další výzvu arcibiskupa k vyprošení deště. Sucho pokračovalo až do září, kdy úplně vyschlo jedno z ramen Dunaje u Vídně a koncem září byla zastavena říční doprava po Dunaji (Strömmer, 2003).

### Rok 1790

Podle záznamů Antona Lehmana, učitele v Novinách pod Ralskem, nepršelo od 17. března do 21. května, kdy slabý déšť při bouřce ani nesmyl prach. Půda byla na prach, zahrady a louky měly „*Todtenfarbe*“ (smrtící barvy) a dobytek řval na suchých pastvinách hladem. Organizovalo se modlení a procesí za vyprošení deště. Po kratším bouřkovém dešti dne 28. května přišel vydatnější déšť až 11. a 12. června, který však již málo vzrostlým jařinám i ozimům příliš nepomohl. Poté sucho opět pokračovalo až do 9. července. Suchá a horká byla poslední dekáda července a sucho trvalo dále od 3. do 23. srpna (*Lehmann*, s. 125, 127–128). Podle paměti Jana Chlebečka z Chrudimi nepršelo v roce 1790 od začátku dubna, takže velkým suchem vyschly i dost velké řeky a byl nedostatek obilí a dražota (*Chlebeček*, s. 518). V Roudnici nad Labem nepršelo v dubnu a květnu, takže začala dražota obilí. Po dešti dne 8. června cena obilí klesla (*Paměti rod. Jílků*, s. 221–222). Pelhřimovský punčochář a městský hlásný Filip Ignác Dremsa konstatuje, že od jara místy nepršelo a jinde jen jednou, takže uschla tráva, rostly ceny obilí a byl nedostatek chleba. Dále cituje modlení a prosebná procesí za déšť; sprchlo ale až 25. října (*Dremsa*, s. 119). Vrchní myslivec v Telči,

František Loschan, zmiňuje sucho již v dubnu a květnu (v tomto měsíci navíc horka), kvůli němuž a chladnému počasí do konce dubna špatně vzházely obilniny. Déšť začátkem června přispěl ke zlepšení ozimů a dešti od 24. června se spravily i jařiny, takže úroda byla nakonec dobrá. V létě ale panovala dražota mouky z důvodu nedostatku vody pro mletí. Sucho pokračovalo i na podzim (*Wald-Urbarium*, fol. 132rv, 134r). V Čechách je zmiňováno strašné sucho kolem 17. května. O týden později šlo procesí ze tří hlavních pražských kostelů s modlitbami za déšť a poté ještě další. Ještě dne 3. června byli věřící v kostelech vyzýváni, aby se modlili za déšť. Přšelo ale až 22. června (*Locatelli*, s. 7–8). To v Brně se již od 25. dubna konaly veřejné modlitby za déšť, které vyvrcholily prosebným procesím dne 2. května (*Hausperský*, s. 272–273; Brázdil, Valášek, 2003). V Boskovicích bylo po zimě s malým množstvím sněhu a jaru bez dešťů organizováno dne 5. června prosebné procesí za déšť, který se spustil při jeho návratu (*Kron. Kučerova*, fol. 29r). V Milčicích nepršelo podle Františka Jana Vaváka od setí jařin po 18 týdnů a „*hlavně nepršelo od sv. Václava roku minulého [28. září 1789] až 26. června roku tohoto, v jednom 39 neděl, krom že třikrát v zimě dost malý sněh spadl.*“ Obzvláštním suchem koncem května a začátkem června uschla tráva, dobytek bučel hladem, místy hynuly ovce, v zemi se tvořily pukliny, usychalo obilí a rychle rostla jeho cena (Vavák, 1912, s. 127, 143). V Drahotuších měli dne 3. června velké problémy s vodou při hašení požáru, neboť při suchém a teplém počasí vyschly i vodní toky (*Kron. Konorzo-va*, s. 279). Suché jaro panovalo také v Přerově. Když sešel sněh, bylo sucho, nevzházely jařiny a déšť přišel až 26. června (*Špaček*, s. 45). Podobná situace je zmiňována také prameny z Nákla, kde nevzešly jařiny a nebyla žádná pastva pro dobytek (Vrbka, 1941; Pospěch, 1998). Podle paměti Rumíšků z Javorníka bylo sucho od zasetí do 25. června, kdy přišel déšť. Dlouho se táhly žně — žita se žala 25. června, ale ječmeny až po 28. září, úroda však byla špatná, včetně sena. Pro sucho vyschly potoky a byly potíže s mletím (*Paměti Rumíšků*, s. 98–99). Učitel František Tomáš Spillar z Plzeňska po zimě bez sněhu zmiňuje suché jaro a léto, kdy v Čechách (mimo klatovského a prácheňského kraje) a v dalších zemích uschlo z větší části obilí a pastviny, takže se dobytku nedostávalo krmiva, že bučel hladem a žral dokonce staré došky. Obilí se jezdilo mlít několik mil daleko. Nedostatek píce se promítl před začátkem zimy do snižování stavů dobytka a jeho laciného rozprodávání (*Spillar*, fol. 53rv). O uspišení žní suchem, velké



neúrodě obilnin, dalších plodin a ovoce, které opadlo ze stromů, se podrobně rozepisuje ve svých pamětech František Jan Vavák (Vavák, 1912, s. 129–130, 142–144) a stýská si na nedostatek vody: „*Ta se před námi dokonce schovala a jako bychom jí ani hodni nebyli, ani s nebe na nás přšeti, ani v řekách téci a nikde státi nechtěla; ba i z těch pramenitých studnic málo nám své hojnosti přála, místem i v těch dokonce se ztratila a lidem i dobytku své občerstvování utrhla, dle čehož i o mletí obilí veliká nouze byla.*“ (ibidem, s. 144–145). Okolo 15. srpna bělelo již listí na stromech a „*schlo jako v listopadu*“ (ibidem, s. 149). Kolem 28. září sucho znovu zesílilo a jen zřídka vzcházely zaseté ozimy (ibidem, s. 156). Značka sucha z roku 1790 se objevuje také na hladovém kameni na Labi v Děčíně-Podmoklech (viz obr. 148). O suchu a drahotě v roce 1790 se zmiňuje také zpráva z Napajedel (*Paměti Havránkovy* in Prasek, 1882) či Spytihněvi (Lukáš, 1932).

Rakouský deník *Wiener Zeitung* zmiňuje první prosebná procesí a modlení za dešť při trvajícím suchém počasí začátkem května roku 1790. Po bouřce s deštěm 25. června a krátkodobém ochlazení nastoupila opět tepla a sucho, zmiňované týměz deníkem dne 3. července v souvislosti s požáry na různých místech (Strömmer, 2003).

## 4.3 SUCHA PODLE ŠÍŘEK LETOKRUHŮ DUBU

### 4.3.1 Použitá data

Ze všech dostupných proxy údajů využitelných k analýze výskytu sucha či k rekonstrukci srážek na území českých zemí pokrývají nejdelší časový interval dendroklimatologická data reprezentovaná chronologií jedle *Abies alba* Mil. na jižní Moravě (Brázdil et al., 2002a; Büntgen et al., 2011a). Nově byla analyzována tzv. standardní dubová chronologie, sestavená z šířek letokruhů dubu (*Quercus sp.*) za účelem identifikace roků s extrémně nízkými přírůsty letokruhů. Na základě dosavadních poznatků i závěrů některých zahraničních prací (Kern et al., 2009; Büntgen et al., 2010b; Cooper et al., 2012; Wilson et al., 2012) lze předpokládat, že takové roky souvisejí do značné míry s výskytem sucha.

Bylo analyzováno období 761–2010, pro které je současná verze standardní dubové chronologie kontinuální a navíc každý z roků uvedeného období je reprezentován alespoň deseti vzorky dřev. Řada byla sestavena z celkem 3194 recentních, historických a subfossilních vzorků, které byly odebrány na 387 lokalitách na území České republiky (obr. 151). Nej-

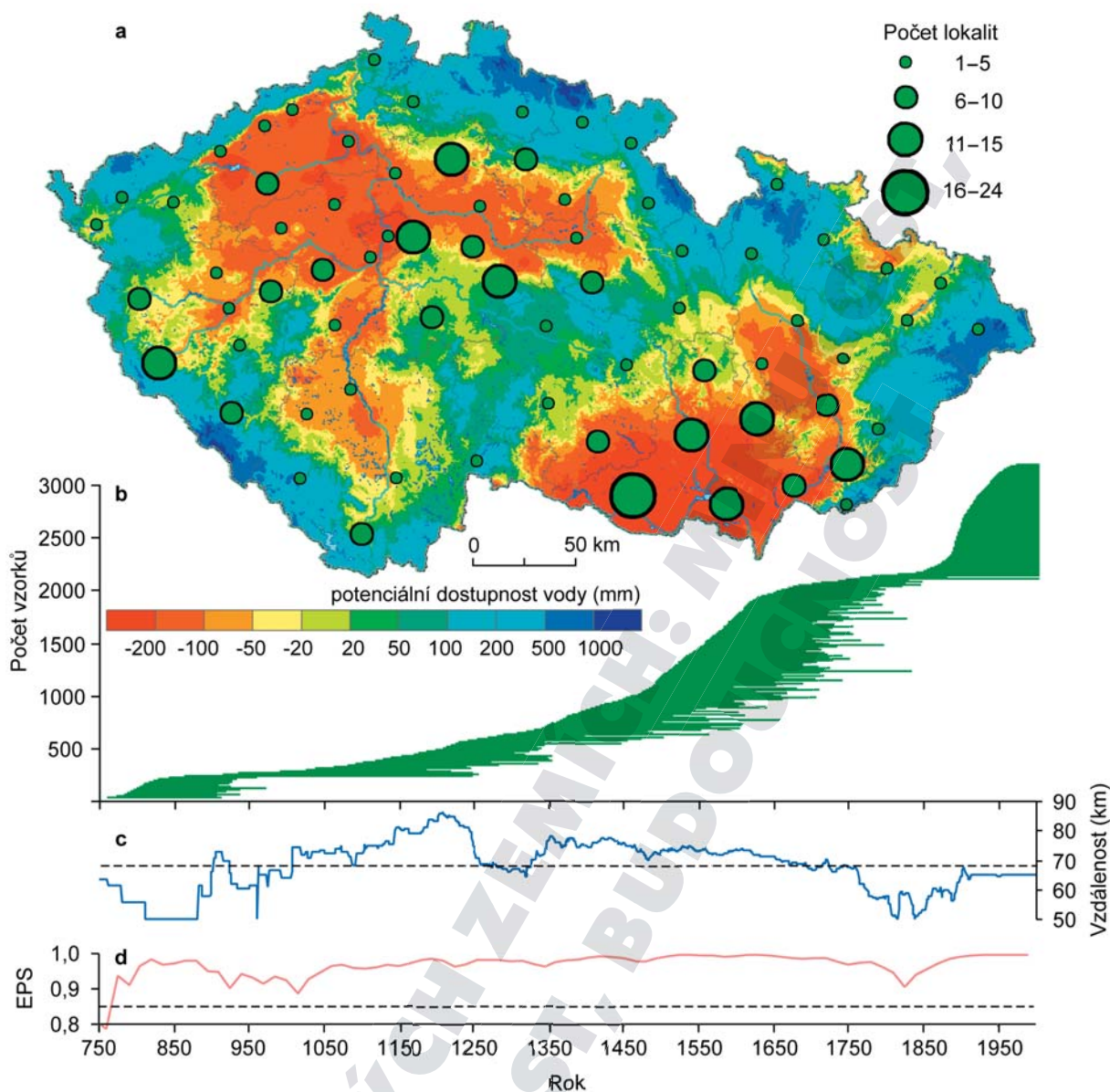
větší počet vzorků pochází z nížinných oblastí jižní Moravy a středních Čech, které v rámci České republiky náleží k oblastem s nejnižšími ročními úhrny srážek v intervalu 450–500 mm a nejvyššími průměrnými ročními teplotami vzduchu v rozmezí 9–10 °C (Tolasz et al., eds., 2007). Jedná se o oblasti, ve kterých srážkové úhrny nedosahují hodnot potenciální evapotranspirace, a lze tedy předpokládat, že především v těchto relativně teplých a suchých oblastech bude sucho jedním z limitujících faktorů letokruhových přírůstů.

Cílem analýzy bylo nejprve nalézt ve standardní dubové chronologii tzv. negativní roky, tedy roky s minimálními přírůsty letokruhů, které mohou souviset s výskytem sucha. Následně byl uvedený předpoklad testován s využitím dostupných údajů o průběhu teplot vzduchu a množství srážek a o rozložení tlaku vzduchu z období přístrojových měření i pro leta před jejich začátkem.

Prostorové rozložení lokalit je relativně stabilní v čase, přičemž průměrná vzdálenost mezi místy odběru vzorků kolísá od 50 km na počátku a konci studovaného období do 80 km na přelomu 12. a 13. století. Nejvyšší počet vzorků (140) připadá na druhou polovinu 16. století, zatímco počátek studovaného období a také polovina 19. století jsou charakterizovány nižším počtem vzorků. Ke zhodnocení kvality sestavené chronologie lze využít statistiku EPS (Expressed Population Signal). Ta vyjadřuje, do jaké míry daná chronologie sestavená z omezeného počtu vzorků a představující výběrový soubor reprezentuje hypotetickou chronologii sestavenou z celé populace, tj. teoretický základní soubor (Wigley et al., 1984). Hodnoty EPS v použité dubové chronologii výrazně převyšují limit (EPS = 0,85) doporučený v citované studii, a to po celé období s výjimkou krátkého úseku na počátku řady.

### 4.3.2 Definování negativních roků

Šířky letokruhů stromů jsou formovány řadou parametrů přírodního prostředí, přičemž pouze některé z nich souvisejí s meteorologickými podmínkami či klimatem (Fritts, 1976). Do výsledné šířky letokruhu v daném roce se promítá mimo jiné stáří stromu, jeho napadení škůdci, lokální podmínky stanoviště atd. Uvedené vlivy představují pro dendroklimatologickou analýzu šumovou složku, kterou je zapotřebí před vlastním zpracováním odstranit, resp. potlačit. Předzpracování hrubých naměřených údajů o šířkách letokruhů se označuje jako jejich standardizace. Její součástí je několik obecně doporučených statistických postupů, které však nemají přesně



**Obr. 151.** Prostorové a časové pokrytí České republiky jednotlivými vzorky dřev tvořících standardní chronologii šířek letokruhů dubu pro české země v období 761–2010: a) mapa potenciální dostupnosti vody vyjadřující rozdíl mezi ročními úhrny srážek a průměrnými ročními hodnotami evapotranspirace v období 1981–2010, doplněná prostorovým rozložením lokalit odběru vzorků dřev; b) časové rozložení 3194 vzorků; c) časové změny v průměrné vzdálenosti mezi místy odběru vzorků; d) změny v hodnotách statistiky EPS vyjadřující kvalitu sestavené chronologie (Wigley et al., 1984; interpretace viz text)

**Figure 151.** Spatial and temporal coverage of the Czech Republic by tree-ring width (TRW) oak standard chronology in the 761–2010 period: (a) map of mean potential water availability in the Czech Republic estimated as the difference between annual precipitation totals and annual reference evapotranspiration in the 1981–2010 period and spatial distribution of sampling sites (circles); (b) temporal distribution of the 3194 individual Czech oak TRW samples; (c) changes in mean distance between sampling sites over time; (d) EPS statistic quantifying how well a chronology based on a finite number of trees represents a hypothetically perfect or true chronology (Wigley et al., 1984)

definovaná pravidla použití či nastavení parametrů. Z uvedeného důvodu bylo předzpracování dubové chronologie provedeno v několika variantách, aby jeho způsob co možná nejméně ovlivňoval výběr a následnou analýzu negativních roků a výskytu suchých epizod.

S ohledem na cíl analyzovat extrémní roky, tedy vysokofrekvenční složku časové řady, byla dubová chronologie předzpracována v následujících krocích. Před vlastní standardizací byla nejprve provedena mocninná transformace původních naměřených hodnot, jejímž cílem je transformovat rozdělení

původních údajů na rozdělení normální (Cook, Peters, 1977). Vlastní standardizace a odstranění trendu, který souvisí s věkem jednotlivých vzorků dřev, spočívala ve výpočtu reziduálních hodnot mezi naměřenými transformovanými daty a daty shlazenými kubickými „splajny“. Shlazení bylo provedeno ve třech variantách s šířkou filtrovacího okna 22, 32 a 42 roků. Tímto způsobem byly šířky letokruhů převedeny na bezrozměrné indexy. Následně byly jednotlivé varianty indexových řad upraveny tak, aby jejich variabilita byla časově stabilní, protože změny ve variabilitě mohou výběr extrémních roků výrazným způsobem ovlivňovat (Frank et al., 2007). Výsledkem výše uvedených transformací bylo celkem 18 různých variant chronologií, které se však vzájemně lišily pouze nevýznamně (obr. 152); vzájemné korelace mezi jednotlivými variantami neklesaly pod hodnotu 0,9.

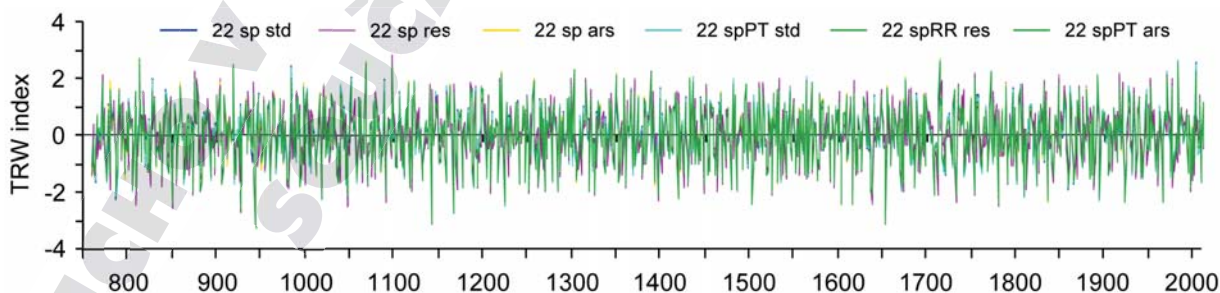
K definování extrémů v environmentálních časových řadách je možné využít dva základní metodologické přístupy: metodu blokových maxim (Block Maxima) a metodu prahování (Peak Over Threshold), která spočívá ve výběru hodnot přesahujících zvolený limit či práh (Coles, 2001). V případě analýzy minimálních extrémů se ve studované řadě pouze změní znaménka hodnot. Protože má dubová chronologie pouze roční rozlišení, je obtížné v takové řadě objektivně definovat bloky hodnot a z nich vybrat maximální hodnotu. To je možné například u řady denních srážkových úhrnů, kdy maximální denní úhrn v každém roce tvoří řadu maxim, která jsou následně analyzována. Výběr extrémních roků v indexových řadách sestavených z dubové chronologie byl proto proveden metodou prahování. Jako extrémní roky s minimálními přírůsty letokruhů, které mohou souviset s výskytem sucha, byly definovány ty, u kterých hodnota indexu byla menší než 1,5 násobek směrodatné odchylky  $s$ . Uvedeným způsobem bylo nalezeno celkem 143 negativních roků (obr. 153), z nichž 55 (tj. 38,5 %) bylo identifikováno

ve všech variantách indexovaných řad. Naopak jen 8 roků (tj. 5,6 %) bylo zjištěno pouze jedinou variantou sestavených chronologií. Časové rozložení negativních roků je relativně stabilní, což však souvisí do jisté míry také se způsobem předzpracování řad, především s úpravou variability. V deseti případech byly jako negativní identifikovány dva po době následující roky (776–777, 882–883, 944–945, 1036–1037, 1188–1189, 1305–1306, 1397–1398, 1732–1733, 1841–1842, 1921–1922) a ve dvou případech se jednalo o kontinuální období tří roků (981–983 a 1636–1638). Tato období by mohla indikovat výskyt dlouhodobějšího trvání sucha v českých zemích. Vyšší četnost výskytu negativních roků připadá na konec 9. století, přelom 12. a 13. století, polovinu 17. století a počátek 19. století. Naopak nižší počet extrémů je typický pro přelom 11. a 12. století, druhou polovinu 14. století, první polovinu 18. století a také konec studovaného období. Jako nejextrémnější (přesahující hodnoty  $3s$ ) se jeví roky 945, 1142 a 1653. Ve 45 rocích byla překročena hodnota indexu  $2s$ .

#### 4.3.3 Verifikace negativních roků na základě přístrojových měření a proxy údajů

##### 4.3.3.1 Období přístrojových pozorování

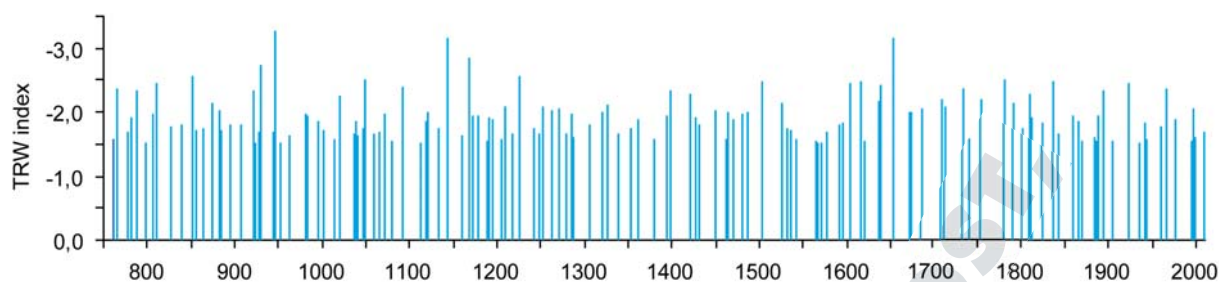
Pro verifikaci výskytu sucha v dubové chronologii v období přístrojových měření v letech 1805–2012 byly vybrány průměrné teplotní a srážkové řady českých zemí (Brázdil et al., 2012a, 2012c), které byly dále použity k výpočtu indexů sucha (Brázdil et al., 2014a). K verifikaci negativních roků z dubové chronologie pak byly zvoleny indexy SPEI-1, Z-index a PDSI. Verifikace spočívala v testování rozdílů mezi hodnotami vybraných klimatologických charakteristik v negativních rocích a v referenčním období 1961–1990. V referenčním období byly podle dubové chronologie zaznamenány pouze dva negativní roky 1964 a 1976.



**Obr. 152.** Příklad šesti vybraných indexových řad sestavených ze standardní chronologie šířek letokruhů (TRW) dubu pro české země v období 761–2010

**Figure 152.** An example of six different index series compiled from the TRW oak standard chronology for the Czech Lands in the 761–2010 period





**Obr. 153.** Výskyt negativních roků identifikovaných ve standardní chronologii šířek letokruhů (TRW) dubu pro české země v období 761–2010

**Figure 153.** Negative years identified in the TRW oak standard chronology for the Czech Lands in the AD 761–2010 period

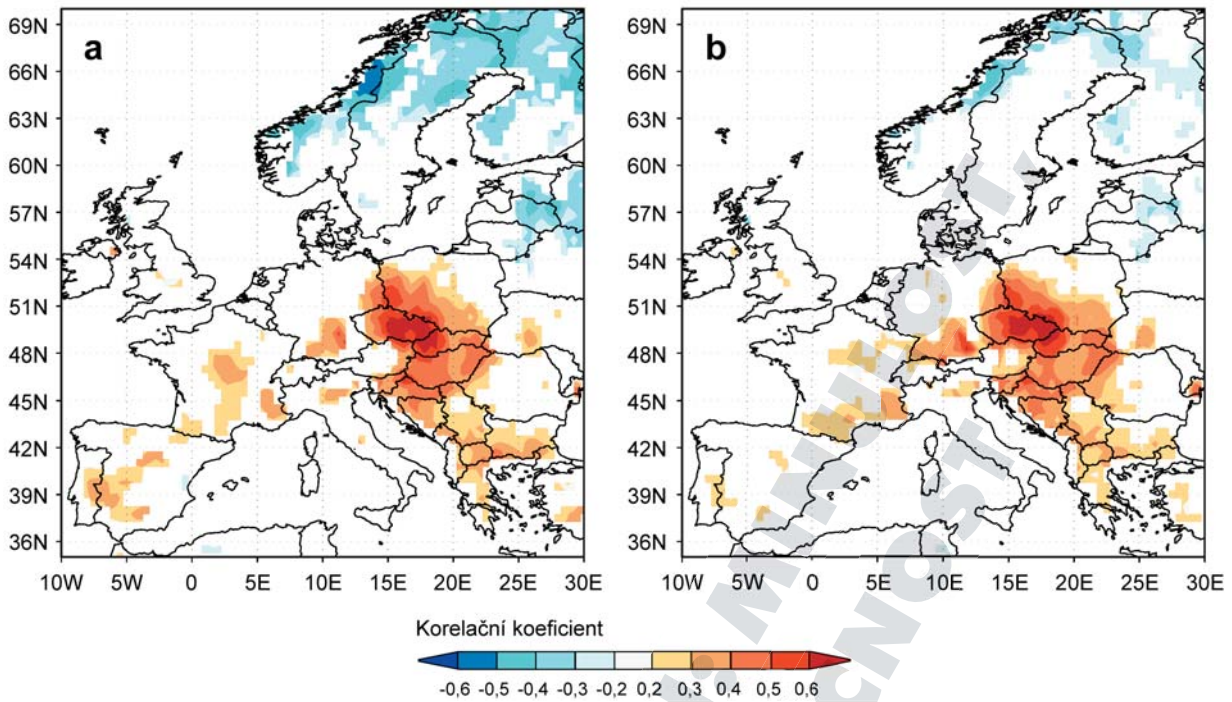
Z obecných předpokladů, stejně jako z dosud publikovaných prací (Büntgen et al., 2010b; Wilson et al., 2012), vyplývá, že dubové chronologie v Evropě vykazují vazbu především na srážkové poměry jarních měsíců, případně též června a července. Protože však srážkové úhrny byly na území českých zemí rekonstruovány pouze na úrovni sezon (Dobrovolný et al., 2015), byla verifikace z důvodů porovnatelnosti výsledků provedena pro jaro (březen–květen) a léto (červen–srpen). Z korelační analýzy mezi jednotlivými variantami české dubové chronologie a úhrny srážek, teplotami vzduchu, resp. indexy sucha, provedené pro nejdelsí společné období 1805–2010, plyne, že nejtěsnější vztah k šířkám letokruhů vykazují srážkové úhrny března–června, resp. března–července (korelační koeficient 0,43). Teploty vzduchu nekorelují s dubovou chronologií statisticky významně v žádném měsíci či sezoně a korelační koeficienty jsou s výjimkou srpna záporné. Nejtěsnější nepřímá vazba šířky letokruhů dubu na teploty připadá na červen (–0,20). Stejně jako srážkové úhrny, tak i indexy sucha vykazují pozitivní korelace s šířkami letokruhů dubu s obdobnou mírou těsnosti. Ta dosahuje nejvyšších hodnot kolem 0,40–0,42, ale tři analyzované indexy mají s ohledem na sezonalitu poněkud odlišné chování. Z-index a SPEI-1 nejvíce korelují s dubovou chronologií v období březen–červenec, resp. duben–červenec, zatímco PDSI vyazuje nejtěsnější vazbu v letních měsících. Uvedený rozdíl může částečně souviset s faktem, že PDSI je ukazatelem lépe vystihujícím variabilitu suchých period delšího trvání v porovnání se zbývajícími dvěma indexy.

Výsledky korelační analýzy ukazují, že verifikace výskytu extrémních roků z dubové chronologie vůči klimatickým podmínkám jara a léta je spíše konzervativním odhadem a případně větší shody by mohlo být dosaženo analýzou odlišných sezon

u jednotlivých charakteristik. Značný problém však představuje časová nestabilita výše uvedených vztahů. Ve všech případech jsou korelační koeficienty výrazně vyšší pro první část analyzovaného společného období v 19. století, přičemž významně klesají ve 20. století. Obdobný problém časové nestability vztahu šířek letokruhů jedle a Z-indexu května až června na jižní Moravě v instrumentálním období byl identifikován také Büntgenem et al. (2011a).

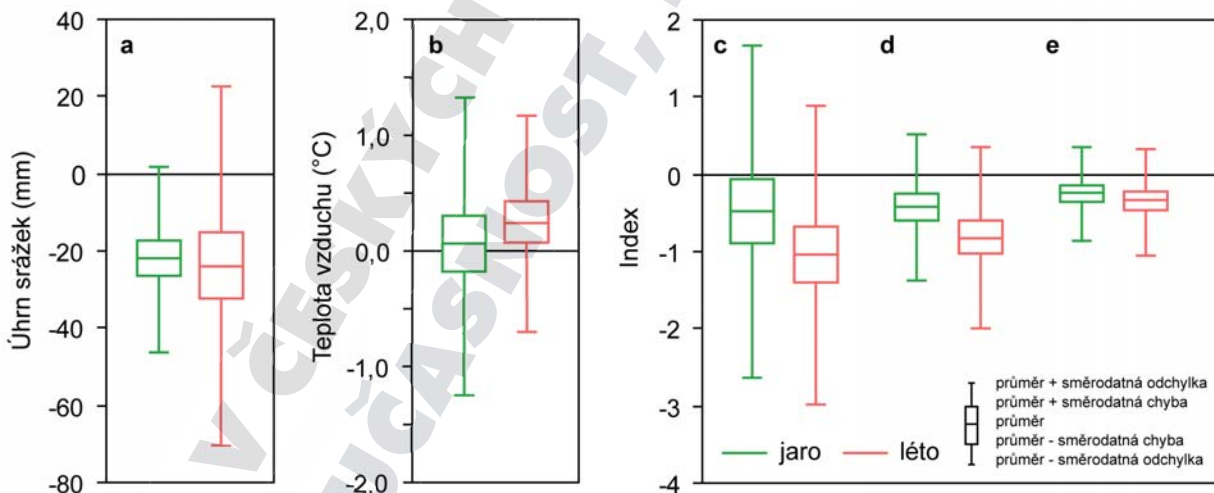
Poněkud omezené k verifikaci výskytu suchých roků na území České republiky je využití přístrojových měření nebo existujících rekonstrukcí založených na proxy datech z okolních zemí či sousedních regionů střední Evropy. Za účelem odhadu prostorové reprezentativnosti českých indexů sucha pro oblast střední Evropy byly sestaveny mapy prostorové autokorelace mezi řadou PDSI pro Českou republiku (Brázdil et al., 2014a) a polem hodnot samostatně kalibrovaného PDSI (scPDSI) pro Evropu (van der Schrier et al., 2006). Jak je patrné z obr. 154, korelační koeficienty vypočtené pro společné období 1901–2010 výrazně klesají se vzdáleností od našeho území a nabývají významných hodnot pouze pro ně a omezené okolní příhraniční oblasti.

V období přístrojových pozorování (1805–2010) bylo zjištěno celkem 26 negativních roků. Ty se v osmi případech shodují s blíže analyzovanými suchými roky v kap. 4.1.5, a sice pro 1808, 1811, 1842, 1868, 1904, 1921, 1959 a 2007. I když je variabilita jarních a letních srážkových úhrnů, teplot vzduchu i hodnot vybraných indexů sucha v těchto rocích značná (obr. 155), analýza potvrzuje, že především srážkové úhrny jara i léta a hodnoty Z-indexu a SPEI-1 pro obě tyto sezony a PDSI pro léto jsou statisticky významně menší ( $\alpha = 0,05$ ) než průměrné hodnoty referenčního období 1961–1990. Teploty vzduchu jsou v negativních rocích mírně nadnormální, a to především v létě.



**Obr. 154.** Prostorová reprezentativnost hodnot PDSI jara (a) a léta (b) území České republiky a polem scPDSI (CRU scPDSI 3.21; van der Schrier et al., 2006) v Evropě vyjádřená korelačními koeficienty pro období 1901–2010; barevně jsou vyznačeny pouze statisticky významné korelační koeficienty ( $\alpha = 0,10$ )

**Figure 154.** Spatial representativeness of Czech MAM (a) and JJA (b) PDSI values and scPDSI field (CRU scPDSI 3.21; van der Schrier et al., 2006) in Europe expressed by correlation coefficients in the 1901–2010 period; only statistically significant correlation coefficients ( $\alpha = 0.10$ ) are shown



**Obr. 155.** Jarní a letní srážkové úhrny (a), teploty vzduchu (b), PDSI (c), Z-indexu (d) a SPEI (e) pro 26 negativních roků indikujících výskyt sucha v dubové chronologii českých zemí v období 1805–2010; hodnoty jsou vyjádřeny krabicovými grafy anomálií od referenčního období 1961–1990

**Figure 155.** Spring (green) and summer (red) precipitation totals (a), air temperatures (b), PDSI (c), Z-index (d), and SPEI (e) for 26 negative years indicating drought occurrence in the oak chronology of the Czech Lands in the 1805–2010 period; values are expressed as box-plots of anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

#### 4.3.3.2 Období před začátkem přístrojových pozorování

V období 761–1500 bylo v dubové chronologii identifikováno celkem 88 roků s extrémně nízkými šířkami letokruhů (tab. 10). K jejich alespoň částečnému ověření je možné využít dokumentární prameny z českých zemí (Brázdil, Kotyza, 1995; Brázdil et al., 2013a) a v omezené míře také z okolních zemí, především z Německa a Švýcarska (Alexandre, 1987;

Pfister, 1999; Glaser, 2008). Limitující je především skutečnost, že výskyt extrémního sucha může být často vázán na relativně omezený region a v dokumentárních pramenech či v přírodních proxy-údajích se nemusí projevit. K verifikaci lze dále využít také seznam extrémních roků sestavených na základě několika chronologií šířky letokruhů jedle z oblasti Francie, Švýcarska, Německa a České republiky (Büntgen et al., 2011b).

**Tab. 10.** Negativní roky indikující výskyt sucha, které byly zjištěny v dubové chronologii českých zemí v období 761–1500, v konfrontaci s výsledky vybraných studií založených na dokumentárních pramenech: A1987 – Alexandre (1987); BK1995 – Brázdil, Kotyza (1995); BK2000 – Brázdil, Kotyza (2000); G2008 – Glaser (2008); B2013 – Brázdil et al. (2013a); N – počet chronologií, ve kterých daný rok vychází jako negativní

**Table 10.** Negative years indicating drought occurrence identified in the oak chronology of the Czech Lands in the 761–1500 period in comparison with the results of other studies based on documentary sources: A1987 – Alexandre (1987); BK1995 – Brázdil, Kotyza (1995); BK2000 – Brázdil, Kotyza (2000); G2008 – Glaser (2008); B2013 – Brázdil et al. (2013a); N – number of chronologies in which the year was identified as negative

Negativní roky bez odezvy v citovaných pracích

Rok	N	Rok	N	Rok	N	Rok	N
761	1	883	12	1013	4	1171	18
764	12	893	14	1019	18	1188	2
776	8	907	14	1036	9	1189	15
777	7	920	17	1037	12	1209	18
780	4	922	1	1039	3	1224	18
788	18	926	2	1046	14	1241	16
797	2	928	18	1048	18	1248	8
806	18	944	13	1058	8	1278	7
810	18	945	18	1064	4	1284	18
826	4	952	2	1070	18	1287	7
839	5	961	7	1078	4	1305	7
850	18	981	16	1111	4	1353	18
855	6	982	17	1117	14	1398	8
864	14	983	2	1132	16	1431	16
874	18	995	15	1142	18	1464	16
882	15	1000	2	1159	6	1479	18

Negativní roky s odezvou v citovaných pracích

Rok	N	Informace v dokumentárních pramenech
1091	18	Suchá zima v Čechách (BK1995).
1121	8	Tři měsíce sucho na jaře v Čechách (BK1995).
1167	18	Horké léto v Německu (G2008).
1177	18	Chudá úroda v Čechách (B2013).
1194	15	Chudá úroda a dražota v Čechách (B2013).
1205	9	Chladné jaro, teplé a suché léto v Německu (G2008).
1217	14	Teplé a suché léto v Německu (G2008).
1252	18	Chladné a suché jaro v Čechách (BK1995).
1262	18	Suché jaro, teplé a suché léto v Čechách (BK1995).



Tab. 10 – pokračování

Table 10 – continued

1270	18	Špatná úroda v Čechách, teplé a suché léto v Německu (G2008).
1306	11	Velké sucho v Čechách v roce 1307 (BK1995). Chladné jaro v Německu (G2008).
1320	9	Horké léto v Čechách (BK1995).
1326	18	Neúroda jařin v Čechách (B2013), suché jaro a léto v Čechách (BK1995).
1337	5	Teplé a suché jaro a léto v Čechách (BK1995).
1361	18	Špatná úroda v důsledku sucha v Čechách, horké a suché léto (Wrocław; BK1995), suché jaro a léto v Rakousku, teplé a suché jaro ve Slezsku, horké a suché léto ve Švýcarsku (A1987), horké léto v Německu (G2008).
1379	3	Teplé léto ve Švýcarsku (A1987) a horké léto v Německu (G2008).
1393	15	Velké sucho v Čechách, suché léto v Rakousku, horké a suché léto ve Francích a Hesensku, dva suché měsíce na jaře ve Švýcarsku (A1987), extrémní sucho v Německu (G2008).
1397	18	Suchý a horký duben, květen a léto v Rakousku, suché jaro a léto ve Francích a Hesensku, horké léto ve Švýcarsku (A1987), časně fenofáze a horké léto v Německu (G2008).
1420	18	Časně fenofáze na jaře (Čechy, Rakousko, Württembersko), suché a horké léto (Bádensko-Württembersko, Řezno) (BK1995), teplé a velmi suché jaro, časně dozrávání plodin v Německu (G2008).
1426	14	Teplé léto v Čechách (BK1995).
1448	18	Chladné jaro v Čechách (BK1995).
1462	3	Horko a sucho v létě 1461 v Čechách a ve Slezsku (BK1995). Deštivo od května do srpna 1462 ve Slezsku (BK2000).
1469	18	Chladné a suché jaro, suché a teplé léto v Čechách (BK1995).
1485	18	Chladné jaro, teplé a suché léto v Čechách (BK1995).

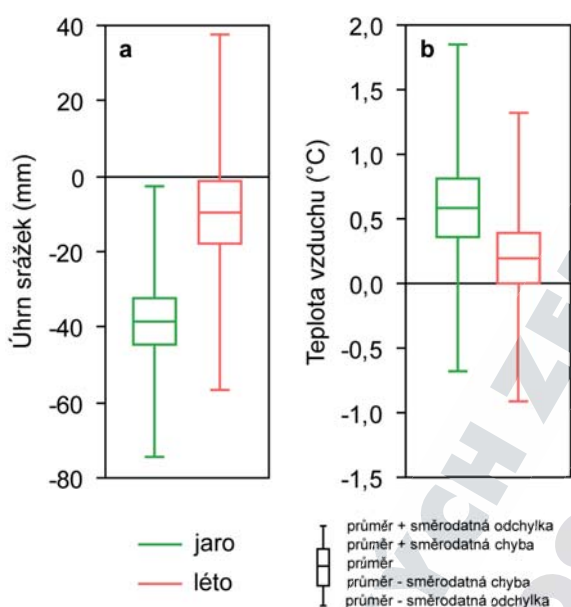
Z celkového počtu 88 negativních roků byla v dokumentárních pramenech nalezena relevantní informace potvrzující výskyt sucha pro 24 roků. Relativně malý počet verifikovaných roků je však z velké části dán dostupností dokumentárních údajů, které jsou především před rokem 1200 velmi sporadické. Nejstarším rokem z české dubové chronologie, který indikuje výskyt sucha a který lze ověřit na základě dokumentárních pramenů je rok 1091. V následujícím období procentuální podíl verifikovaných roků narůstá. Z 12 negativních roků ve 12. a 13. století byly čtyři (33,3 %), resp. pět (41,7%), verifikovány s využitím dokumentárních pramenů; ve 14. století to bylo již osm roků z 11 (72,7%) a v 15. století šest z devíti (66,7 %). Za zmínku stojí skutečnost, že v dostupných pramenech dokumentární povahy je možné nalézt několik případů, kdy se negativní roky v dubové chronologii o jeden rok opožďují za informacemi o suchu z dokumentárních pramenů (například 1241, 1284, 1352, 1462). Vyloučíme-li možnost nesprávné datace v jednom či druhém zdroji proxy dat, potom uvedený posun může naznačovat, že

k formování úzkých letokruhů v některých případech přispívá i průběh počasí přecházejícího roku. Například Fritts (1976) uvádí, že odezva šířky letokruhů na extrémní meteorologické podmínky se může projevit i během několika následujících roků.

V období 1501–1804 bylo nalezeno 30 negativních roků a k verifikaci výskytu sucha v těchto rocích je možné přímo využít dvě existující rekonstrukce pro české země. V první řadě se jedná o rekonstrukci měsíčních úhrnů srážek (Dobrovolný et al., 2015), která byla sestavena na základě srážkových indexů z českých zemí v období 1501–1854, kalibrovaných na průměrnou řadu srážek pro české země z instrumentálního období (Brázdil et al., 2012a, 2012c). Dále bylo k verifikaci využito rekonstruovaných hodnot Z-indexu května–června sestavených na základě šířek letokruhů jedle z jižní Moravy (Büntgen et al., 2011a). Typické teplotní poměry negativních roků lze charakterizovat na základě rekonstrukce teploty vzduchu střední Evropy sestavené z teplotních indexů odvozených z dokumentárních pramenů z českých zemí, Německa a Švýcarska

a homogenizovaných teplotních řad z 11 stanic ze střední Evropy (Dobrovolný et al., 2010).

Z krabicových grafů (obr. 156) je patrné, že negativní roky jsou především na jaře typické výrazně podprůměrnými srážkovými úhrny a nadprůměrnými teplotami vzduchu. Průměrné hodnoty jarních srážek i teplot se statisticky významně liší od hodnot referenčního období, i když jejich celková variabilita je značná. Srážkové úhrny však byly podprůměrné ve všech 30 letech a teploty vzduchu nadprůměrné v 22 rocích (tj. 73,3 %). Méně výrazné odchylky od normálu vykazovaly srážky a teploty vzduchu negativních roků v létě, kdy převažovaly především podprůměrné srážky (60 % roků). Teploty byly nadprůměrné, ale podíl takovýchto roků činil pouze 50 %.



**Obr. 156.** Srážkové úhrny (a) a teploty vzduchu (b) jara a léta pro 30 negativních roků indikujících výskyt sucha v dubové chronologii českých zemích v období 1501–1804; hodnoty jsou vyjádřeny krabicovými grafy anomálií od referenčního období 1961–1990

**Figure 156.** Spring (green) and summer (red) precipitation totals (a) and air temperatures (b) for 30 negative years indicating drought occurrences in oak chronology for the Czech Lands in the 1501–1804 period; values expressed as box-plots of anomalies with respect to the 1961–1990 reference period

Negativní roky identifikované v dubové chronologii českých zemí jsou charakteristické převahou záporných hodnot Z-indexu května a června v řadě rekonstruované z letokruhů jedle pro jižní Moravu (Büntgen et al., 2011a) a průměrná hodnota Z-indexu negativních roků je statisticky významně menší než nula ( $\alpha = 0,05$ ).

Jako nejvýznačnější případy výskytu sucha v českých zemích od 16. století identifikované z dokumentárních pramenů uvádějí Brázdil et al. (2013a) roky 1540, 1590, 1616, 1718 a 1719. Pro Moravu byly tyto případy doplněny ještě o roky 1561, 1585, 1599, 1603, 1623, 1637, 1638, 1681, 1686, 1687, 1726, 1746, 1779, 1790 a 1794 (Brázdil et al., 2007a). Z nich však pouze roky 1590, 1603, 1616, 1637, 1638, 1686, 1779 a 1790 byly jednoznačně identifikovány také v dubové chronologii. I když například rok 1540 je v řadě prací charakterizovaný jako jeden z nejteplejších a nejsušších roků v měřítku střední Evropy (Wetter, Pfister, 2013; Wetter et al., 2014), v dubové chronologii se jako suchý jeví až následující rok 1541. Totéž plyne také z analýzy letokruhů jedle ve střední Evropě v práci Büntgena et al. (2011b).

#### 4.3.4 Charakter tlakového pole negativních roků z dubové chronologie

Typické klimatické poměry negativních roků z dubové chronologie je možné popsat také na základě informací o charakteru atmosférické cirkulace. S využitím indexů cirkulace, jako je například index severoatlantské oscilace NAOI, či na základě polí tlaku vzduchu lze vyjádřit, zda a do jaké míry byl převládající charakter cirkulace v uvedených rocích příznivý pro výskyt sucha a podat tak i jeho synoptické zdůvodnění.

NAO index vyjadřuje intenzitu zonální cirkulace v oblasti Evropy (Hurrell, 1995). Hodnoty indexu byly stanoveny na základě časných přístrojových měření tlaku vzduchu až do roku 1821 (Jones et al., 1997) a umožňují tak popsat charakter cirkulace pro 23 negativních roků z dubové chronologie. Hodnoty indexu se však v těchto rocích statisticky významně neliší od průměru referenčního období (1961–1990). Jedním z důvodů může být skutečnost, že NAO index ve střední Evropě dobře vystihuje především teplotní charakter zimních měsíců (Cahynová, 2005; Brázdil et al., 2009a, 2012a) a jeho případné použití pro verifikaci výskytu suchých roků vázaných především na jaro a léto je omezené.

Detailnější popis charakteru cirkulace v negativních rocích lze získat z polí tlaku vzduchu sestavených z přístrojových měření, která jsou k dispozici od roku 1850 (Allan, Ansell, 2006), či z rekonstrukcí před uvedeným rokem založených na proxy údajích, jako je rekonstrukce měsíčních průměrů přízemního tlakového pole v období 1659–1999 (Luterbacher et al., 2002b). Z měsíčních průměrů byl vytvořen soubor polí přízemního tlaku pro jaro a léto ze všech negativních roků dubové chronologie z výše

uvedeného období, tedy celkem z 37 roků. Z nich potom byla sestavena průměrná pole přízemního tlaku vzduchu v negativních rocích, pole variability přízemního tlaku vzduchu a pole odchylek tlaku vzduchu od referenčního období 1961–1990 (obr. 157).

Průměrné pole přízemního tlaku vzduchu v negativních rocích je charakteristické výrazně vyjádřenou Azorskou tlakovou výší, která především na jaře (obr. 157a) vytváří výrazný hřeben vysokého tlaku zasahující přes střední Evropu až nad Ukrajinu. Pro letní měsíce je typický spíše jen výběžek vysokého tlaku v oblasti západní a střední Evropy (obr. 157b). Relativně hluboká Islandská tlaková níže na jaře vytváří cirkulační podmínky typické pro kladnou fázi NAO se zonálním prouděním, které je však zřetelně posunuto k severu. Proudění v oblasti střední Evropy je formováno Azorskou tlakovou výší přinášející teplý a suchý vzduch od jihu či jihozápadu. Výše popsané typické rozložení tlaku vzduchu v negativních rocích je na jaře i v létě charakteristické relativně malou variabilitou tlaku v jižní Evropě a naopak výrazně větší variabilitou v severní Evropě (obr. 157c–d). Odchyly v hodnotách tlaku vzduchu v negativních rocích oproti normálu 1961–1990 ještě více zvýrazňují (především pro jaro) typické rysy v rozložení tlaku vzduchu negativních roků. Pro značnou část Evropy od pobřeží Severního moře až po Balkánský poloostrov jsou typické kladné tlakové anomálie, navíc statisticky významné ( $\alpha = 0,05$ ). Kladné anomálie jsou charakteristické také pro letní období, byť statisticky nevýznamné. Z provedené analýzy je tedy patrné, že typické rozložení tlakového pole v negativních rocích je především na jaře příznivé pro výskyt sucha v oblasti střední Evropy.

#### 4.4 DLOUHODOBÁ CHRONOLOGIE SUCHA V ČESKÝCH ZEMÍCH

Sestavení dlouhodobé chronologie sucha v českých zemích se opírá jednak o sucha identifikovaná z dokumentárních pramenů, jednak o indexy sucha vypočtené pro období přístrojových pozorování. Do této chronologie nebyly finálně promítnuty roky malých přírůstků letokruhů z dubové chronologie, kde chybí jednak detailnější časové určení sucha v průběhu roku a jednak existuje poměrně komplikovaný vztah těchto extrémních roků k vlastnímu výskytu sucha (viz kap. 4.3.3). Kombinace dokumentárních údajů a přístrojových pozorování naráží na problém odlišného vymezení sucha. Podle dokumentárních pramenů se hodnotí sucho podle indikace období bez deště nebo jeho nejrůznějších dopadů,

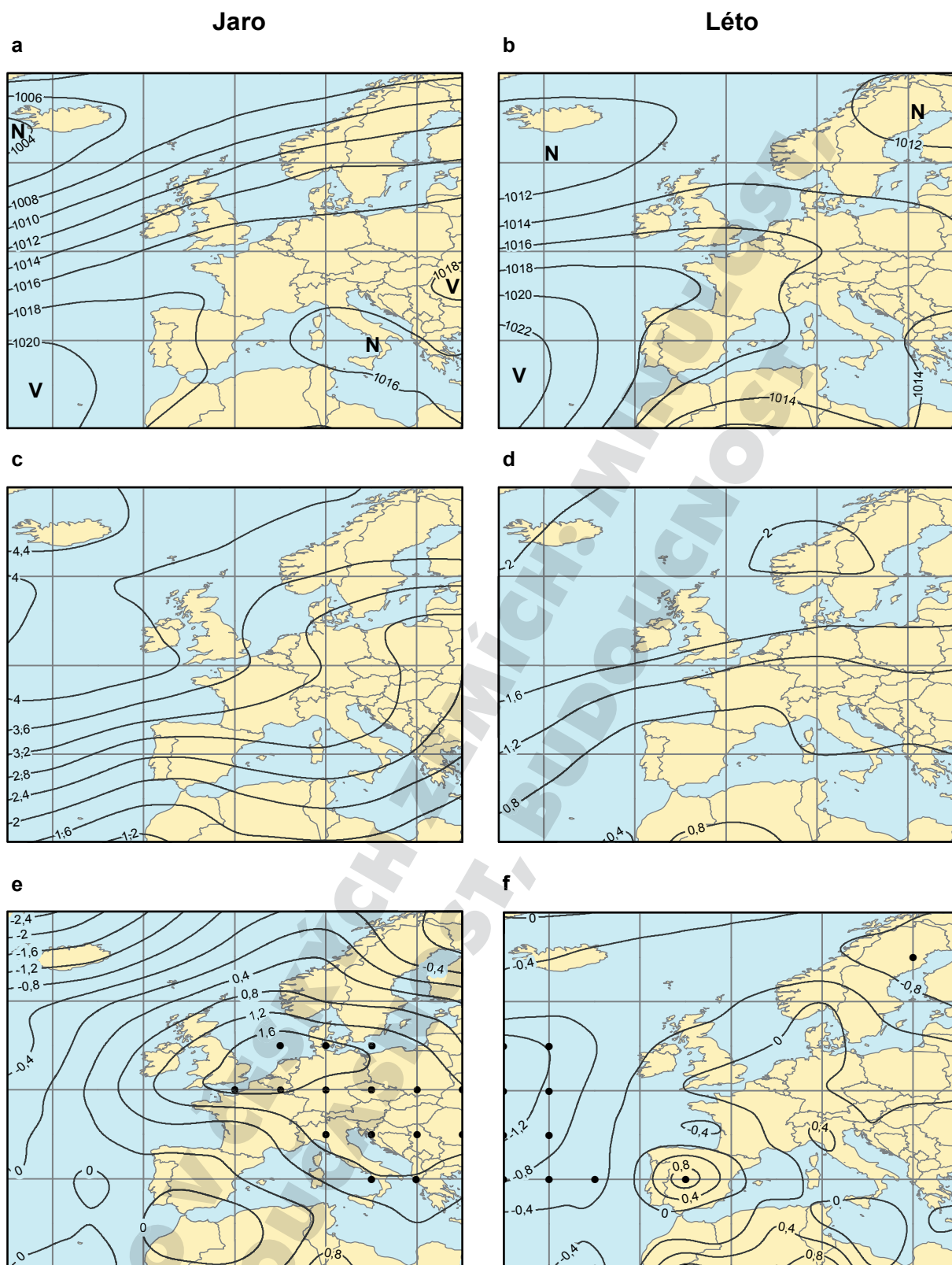
takže jde spíše o sucho krátkodobé až střednědobé. K suchým epizodám pak byly přiřazeny takové případy, kdy se sucho vyskytlo nejméně ve dvou po sobě následujících měsících. Naproti tomu pro indexy sucha vypočítané z přístrojových měření se brala v úvahu jejich N-letost, přičemž se preferovaly indexy krátkodobého sucha jako SPEI-1 nebo Z-index. Pro finální chronologii v období 1805–2012 se pak vybraly případy, kdy oba indexy vykazovaly souhlasně N-letost s  $N \geq 2$  roky.

Obr. 158 ukazuje kompilovanou řadu dekádních četností výskytu sucha v českých zemích v letním půlroce (duben–září) období 1501–2012. Známa sucha před rokem 1500 (viz tab. 9) nebyla do této chronologie zahrnuta s ohledem na jejich vcelku náhodný charakter, kdy vyjadřují spíše dostupnost dokumentárních pramenů než jejich reálnou frekvenci výskytu. Kompilovaná řada skýtá vcelku konsistentní obraz během studovaného období. Porovnatelné četnosti roků s výskytem sucha jsou typické pro 18.–20. století, kdy odpovídající počty za jednotlivá století byly postupně 49, 47 a 47 roků. Jen 36 případů bylo zaznamenáno v 17. století a 41 v 16. století. Bere-me-li v úvahu jednotlivá padesátiletí, pak největší počet roků se suchými epizodami byl registrován v padesátiletí 1951–2000 (26), následovaném roky 1751–1800 (25), 1701–1750 a 1801–1850 (24 každé padesátiletí), 1851–1900 (23) a 1501–1550 (22). Nejnižší četnosti suchých roků byly zjištěny v letech 1651–1700 (16) a 1551–1600 (19). Pokud jde o jednotlivé dekády, pak nejsušší podmínky měly panovat v desetiletí 1801–1810, kdy bylo zaznamenáno dokonce osm roků se suchem (z toho tři případy byly odvozeny z dokumentárních údajů). Sedm roků se suchými epizodami se vyskytlo v letech 1701–1710, 1861–1870, 1941–1950, 1991–2000 a 2001–2010. Naproti tomu pouze dva roky se suchem byly zjištěny v desetiletích 1521–1530, 1641–1650, 1661–1670 a 1671–1680. Čtyři suché roky za dekádu se vyskytly celkem sedmnáctkrát. Nejdelsí sekvence roků s výskytem suchých epizod v každém roce připadly na období 1778–1784, 1988–1994 a 2003–2009.

#### 4.5 STŘEDOEVROPSKÝ KONTEXT KOLÍSÁNÍ SUCHA V ČESKÝCH ZEMÍCH

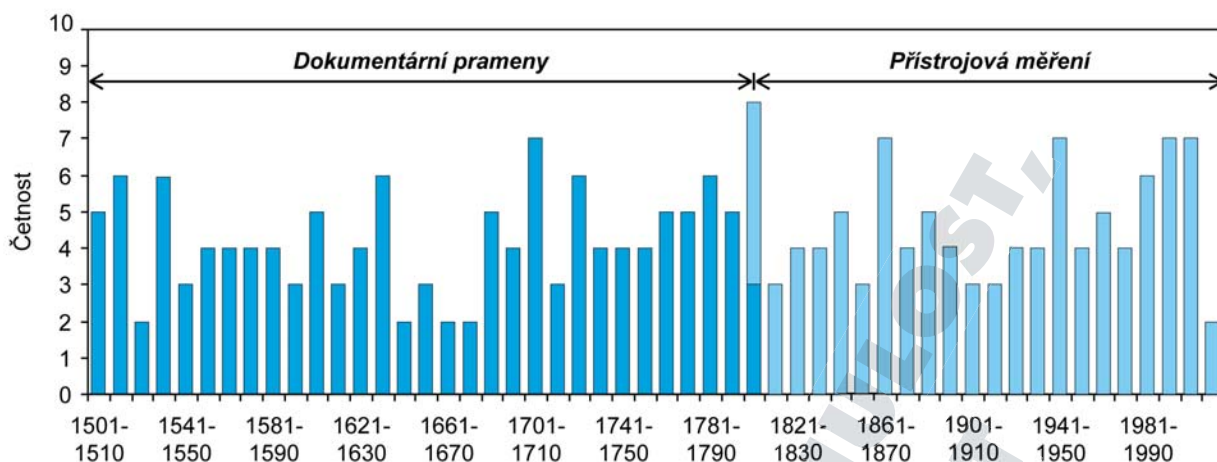
Studium sucha a jeho trendů v Evropě je předmětem řady prací. V této části se budeme věnovat pouze vybraným studiím, jejichž závěry doplňují výsledky pro Českou republiku prezentované v předchozím textu, přičemž důraz bude kladen na studie ze sousedních zemí. Ukazuje se, že zjištěná tendence k častějším





**Obř. 157.** Průměrné pole přízemního tlaku vzduchu v 37 jarních (a) a 37 letních (b) obdobích s extrémně malými přírůsty letokruhů identifikovaných v dubové letokruhové chronologii českých zemí v období 1659–1999; variabilita jarních (c) a letních (d) hodnot pole přízemního tlaku vzduchu vyjádřena směrodatnou odchylkou; odchylky jarních (e) a letních (f) hodnot průměrného pole tlaku vzduchu od referenčního období 1961–1990; body značí gridy, ve kterých jsou odchylky statisticky významné ( $\alpha = 0,05$ )

**Figure 157.** Mean spring (a) and summer (b) SLP fields compiled from 37 negative years defined in the oak TRW chronology for the Czech Lands in the 1659–1999 period; variability of spring (c) and summer (d) SLP fields expressed as standard deviations; spring (e) and summer (f) SLP fields as anomalies with respect to the 1961–1990 reference period; points represent grids with statistically significant anomalies ( $\alpha = 0.05$ )



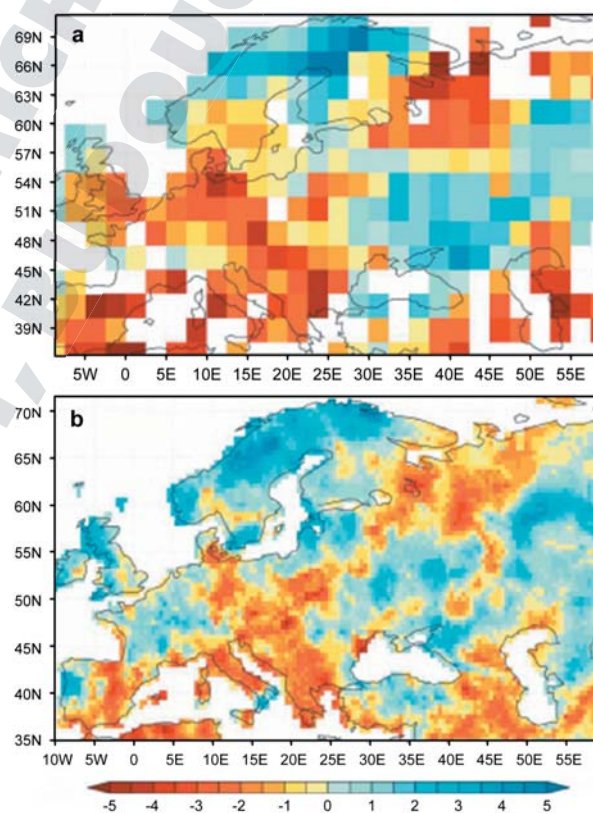
**Obr. 158.** Dekádové četnosti výskytu roků se suchými epizodami pro letní půlrok (duben–září) v českých zemích v období 1501–2012 kompilované z dokumentárních pramenů a indexů sucha vypočítaných z přístrojových pozorování (upraveno podle Brázdila et al., 2013a)

**Figure 158.** Decadal frequencies of years with dry episodes in the summer half-year (April–September) in the Czech Lands during the 1501–2012 period compiled from documentary sources and drought indices calculated from instrumental observations (corrected after Brázdil et al., 2013a)

nebo intenzivnějším epizodám sucha na našem území je v souladu jak s globálními (obr. 159a), tak i s evropskými (obr. 159b) studiemi. V obou obrázcích jsou dobře patrné trendy, resp. tendence k poklesu půdní vláhly v létě v období 1951–2002 ve větší části střední Evropy s výjimkou severu Polska a Německa či východu Maďarska.

Hodnocením meteorologického a hydrologického sucha v Evropě pro 13 regionů v období 1950–2012 s použitím PDSI, SPI a RDI<sup>75</sup> se zabývali Spinoni et al. (2015). Pro reprezentaci meteorologického sucha použili indexy počítané pro tři měsíce a pro popsání hydrologického sucha indexy pro 12 měsíců. Jednotlivé suché epizody charakterizovali pomocí času, doby trvání, intenzity, průměrné plochy jejího výskytu a měsíce s nejvyšší intenzitou sucha. V oblasti střední Evropy připadla nejvyšší frekvence sucha, intenzita a trvání na sedmdesátá léta. Západní region (Německo, Lichtenštejnsko, Rakousko, Švýcarsko) vykázal po třech suchých epizodách v letech 1951–1970 a 1991–2010. Nejdelší suchá epizoda v trvání 25 měsíců, která byla zároveň nejintenzivnější, byla zaznamenána v období 1971–1990. Ve středním regionu (Česká republika, Polsko, Slovensko, Maďarsko, Bulharsko, Rumunsko) byly suché epizody nejčastější (čtyři případy) v letech 1951–1970. Nejdelší a nejintenzivnější perioda sucha zde odpovídala předchozímu regionu, ale byla o jeden měsíc delší.

Analýze dlouhodobého výskytu vlhkých a su-



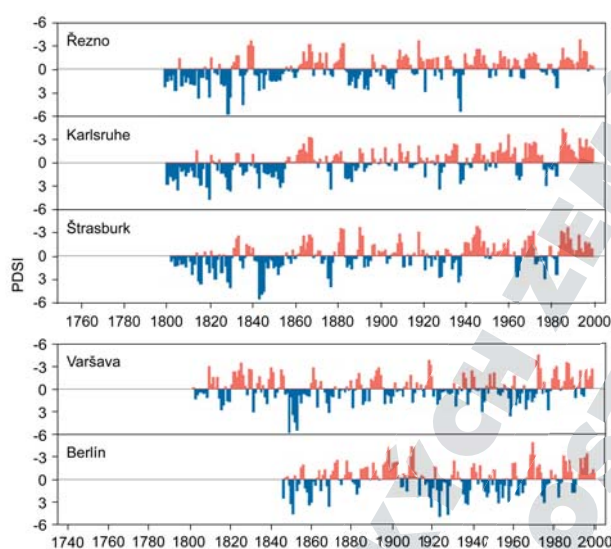
**Obr. 159.** Letní trendy indexů sucha za 50 let v Evropě podle (a) PDSI – Dai et al. (2004) a (b) scPDSI – van der Schrier et al. (2006), vypočtené pro období 1950–2002. Statistická významnost trendů není určena (podle van der Schriera et al., 2006)

**Figure 159.** Summer trends per 50 years in Europe in terms of (a) PDSI – Dai et al. (2004) and (b) scPDSI – van der Schrier et al. (2006), calculated for the 1950–2002 period. Statistical significance of trends not shown (from van der Schriera et al., 2006)

<sup>75</sup> Jde o Reconnaissance Drought Index, tedy o „průzkumný“ index sucha.

chých letních sezon v Evropě v období 1750–2000 charakterizovaných pomocí PDSI pro 22 sekulárních meteorologických stanic se věnovali Briffa et al. (2009). Mezi analyzovanými stanicemi bylo také několik střeoevropských stanic, prezentovaných na obrázku 160. Velmi podobná kolísání letních hodnot PDSI jsou patrná v případě Karlsruhe, Štrasburku a Řezna. Po převaze vlhkých lét v první polovině 19. století a suchých epizod v šedesátých letech tohoto století převažují po roce 1900 především suchá léta s výraznějším nárůstem od čtyřicátých let. Zvláště letní sucha posledních dvou dekád 20. století byla výše uvedenými autory hodnocena jako vysoce signifikantní. Porovnání dvou severně ležících stanic Berlína a Varšavy ukazuje na malou shodu hodnot PDSI mezi nimi. U Varšavy vyniká sušší období od začátku této řady do poloviny čtyřicátých let 19. století.

Hisdal et al. (2001) se zabývali hodnocením hy-



**Obr. 160.** Kolísání letních hodnot PDSI pro vybrané střeoevropské meteorologické stanice. Červené sloupečky označují suchá léta, modré vlhká léta. Hodnoty PDSI  $\geq 4$  charakterizují extrémně vlhká a PDSI  $\leq -4$  extrémně suchá léta. Hodnoty PDSI v rozmezí  $-0,5$  až  $0,5$  popisují normální stav (upraveno podle Briffa et al., 2009)

**Figure 160.** Fluctuations in summer PDSI for selected Central European meteorological stations. The red bars indicate dry summers, the blue bars wet summers. PDSI  $\geq 4$  corresponds to extremely wet summer, PDSI  $\leq -4$  to extremely dry summer. Values between  $-0.5$  and  $0.5$  correspond to normal patterns (adapted after Briffa et al., 2009)

drologického sucha v Evropě s využitím denních průtoků 612 hydrologických stanic (European Water Archive) ve čtyřech různých obdobích: 1962–1990, 1962–1995, 1930–1995 a 1911–1995. V prvním ob-

dobí s největším počtem stanic (zejména z Rakouska, Německa, českých zemí, Velké Británie, Norska a Dánska) nebyly pro většinu z nich zjištěny signifikantní změny v četnosti či intenzitě sucha. Nicméně nárůst hydrologického sucha byl zjištěn například v povodí řeky Moravy, zatímco pokles četností suchých epizod byl evidentní u řek v alpské oblasti Rakouska a v Německu. Autorům výše uvedené práce se nepodařilo prokázat, že by se v Evropě jako celku objevovaly v současnosti nižší průtoky a že by se hydrologické sucho vyskytovalo nyní častěji než ve zbytku sledovaného období.

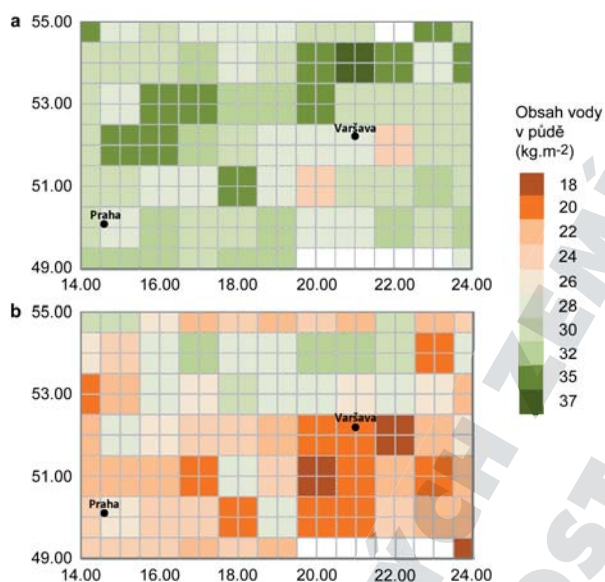
Pro porovnání s výskytem suchých epizod v českých zemích se nabízejí také analogické studie ze sousedních zemí. I když v Polsku nejsou trendy změn intenzity sucha zdaleka tak homogenní jako v případě České republiky (obr. 159), patří i zde sucho mezi jevy působící vážné ekonomické, sociální a environmentální problémy. Nejčastěji se meteorologické i zemědělské sucho vyskytuje ve střední části Polska, charakterizované nejnižšími srážkami v zemi (Łabędzki, 2007), což koresponduje s pozorovanými trendy na obrázku 159. Łabędzki (2007) hodnotil meteorologické sucho pomocí SPI pro 3, 6, 12, 24 a 48 měsíců v období 1867–2005. Nejvýraznější suché epizody byly zaznamenány pro roky 1886–1887 a 1989–1993. Od listopadu 1991 do srpna 1993 bylo sucho hodnoceno jako extrémní. Autor popisuje detailně sucho roku 1992 a zdůrazňuje negativní následky velmi nízkých, podprůměrných či dokonce nulových srážkových úhrnů v měsících duben–srpen: absence druhé a třetí seče trvalých travních porostů, deficit nebo úplná ztráta v produkci zrna a v úrodě brambor, nedostatek krmiva a následně nárůst cen potravin. Podle odhadu snížilo sucho v tomto roce hodnotu úrody celkově o 25 %.

Łabędzki a Kanecka-Geszke (2009) hodnotili na základě 40 meteorologických stanic četnost výskytu sucha během vegetační sezony cukrovky pomocí evapotranspiračního indexu, počítaného pro čtyři různé druhy půd s rozdílným vodním režimem v různých agroklimatických oblastech celého Polska v období 1970–2004. Menší četnost výskytu suchých epizod byla zjištěna na půdách s nejvyšší retenční schopností, přičemž nejvíce se jich vyskytovalo ve středním Polsku a jejich frekvence rostla od západu k východu. Dopady na zemědělskou výrobu se jeví jako nejhorší právě ve středním Polsku (Łabędzki, Kanecka-Geszke, 2009). Szwed et al. (2010) se zabývali vlivem klimatické změny na zemědělství, vodní zdroje a lidskou společnost na celém území Polska, včetně hodnocení průměrného počtu



„suchých dnů“ v zemi. Konstatovali očekávané snížení počtu suchých dnů v severní části Polska a naopak zvýšení na zbytku území. Zawadzki a Kedzior (2014) se ve své práci zaměřili na vyhodnocení obsahu půdní vláh v Polsku a částech sousedících zemí v letech 1979–2011 (obr. 161). Obsah vody sledovali ve čtyřech různých hloubkách 0–10 cm, 10–40 cm, 40–100 cm a 100–200 cm, a zároveň hodnotili situaci v celém profilu 0–200 cm. Výsledky jejich práce potvrdily pokles půdní vody, který byl nejvýraznější v hloubce 0–10 cm v letních měsících. Nicméně i pro zbývající půdní hloubky a pro celý profil 0–200 cm byl trend poklesu půdní vláh stejný (obr. 161) a v zásadě souhlasil se situací vyjádřenou na obrázku 159.

Gurwin (2014) se ve své práci zabýval intenzi-



**Obr. 161.** Porovnání obsahu vody v půdě v hloubce 0–200 cm v oblasti Polska ve dvou extrémních obdobích: a) květen–říjen 1980, b) květen–říjen 2011 (Zawadzki, Kedzior, 2014)

**Figure 161.** Comparison of soil water content at depths of 0–200 cm in a region of Poland in two extreme periods: a) May–October 1980, b) May–October 2011 (Zawadzki, Kedzior, 2014)

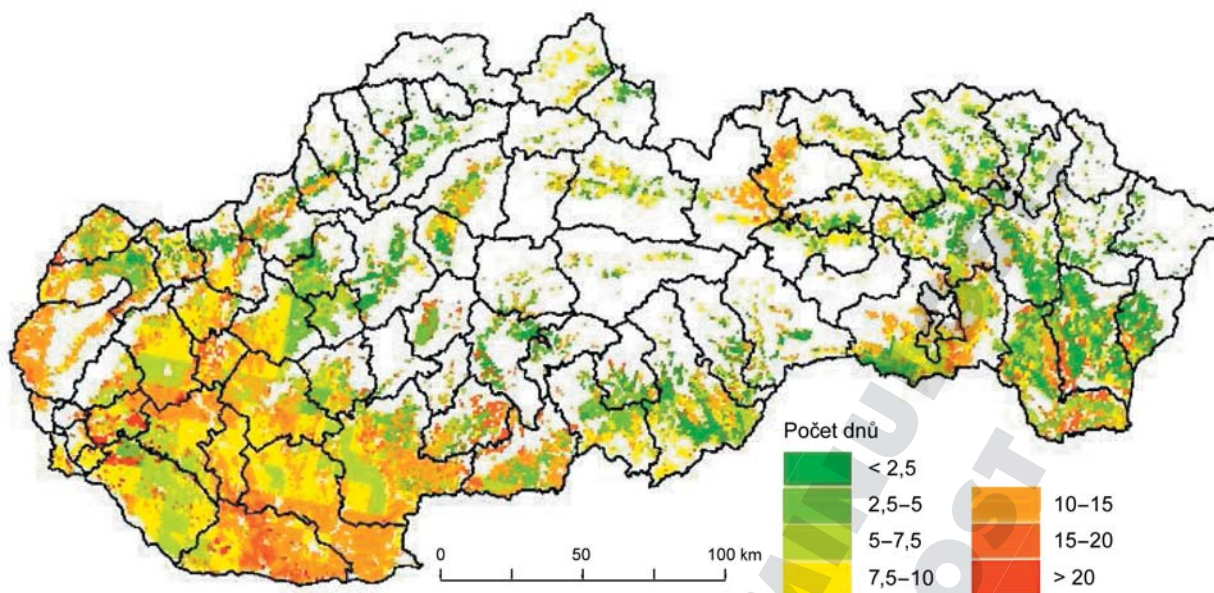
tou a trváním tzv. hydrogeologického sucha v oblasti Dolního Slezska na základě údajů 77 stanic v povodí řeky Odry v období 1975–2010. Jako nejzranitelnější se podle této práce jeví jeho severní a jihovýchodní část, zatímco horské oblasti v jihozápadní části Dolního Slezska jsou suchem ohrožovány podstatně méně. Studie nicméně konstatuje obecný trend k prodlužování suchých period v hlubokých tzv. hydrogeologických kolektorech vody. Tato suchá období, podložená studiem časových řad vydatnosti

pramenů, mají tendenci se vyskytovat nepřerušovaně i během několika ročních období. Jako tři období s nejvýraznějším výskytem „hydrogeologického“ sucha uvádí autor období od podzimu 1982 do jara 1984, od léta 1990 do jara 1994 a od léta 2003 do jara 2007. Jako kratší suché epizody ještě zmiňuje období od podzimu 2000 do jara 2002 a roky 2008–2009. Zjištěné suché epizody poměrně dobře korespondují s výskytem sucha v České republice (viz například obr. 41 nebo kap. 6.3).

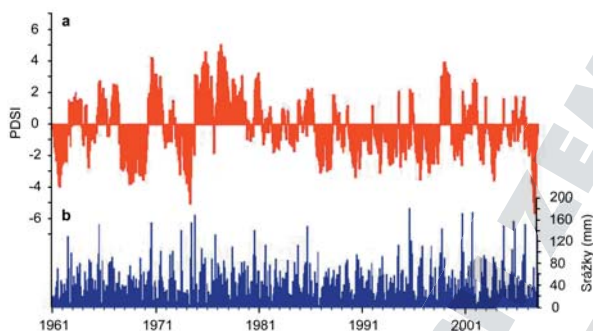
V případě našeho východního souseda Slovenska se analýzy sucha často zaměřují na oblast jižního Slovenska a na kvantifikaci jeho trendů s ohledem na nárůst suchých period v posledních letech. Tak Nováková et al. (2011) prezentovala metodu hodnocení půdních vlhkostních podmínek v zemědělských výrobních oblastech Slovenska na základě počtu suchých dní definovaných jako dny s obsahem půdní vláh  $\leq 50\%$  dostupné půdní vodní kapacity. I když autoři vyhodnocovali počet suchých dnů ve všech měsících, v citované práci uvedli výsledek pouze pro měsíc květen v období 1961–1990 (obr. 162). Ukázalo se, že dekády 1970–1979 a 1990–1999 se vyznačovaly suchými epizodami s poměrně nízkou frekvencí, přičemž v oblasti jihozápadního Slovenska se průměrný počet suchých dnů pohyboval mezi 10 a 15 dny. Další dekády 1980–1989 a 2000–2009 byly vyhodnoceny jako suché s vyšší prostorovou variabilitou průměrného počtu suchých dnů. V první z nich dosahoval počet suchých dnů 15–20 v oblasti Podunajské nížiny, přičemž 20 suchých dnů bylo překročeno pouze lokálně. V desetiletí 2000–2009 se lokality s průměrným počtem 15–20 a více než 20 suchých dnů nacházely zejména v oblasti Záhorské nížiny, v západní části Podunajské nížiny a v jižní části Východoslovenské nížiny.

Tall a Gomboš (2011) analyzovali průběh PDSI v Milhostově na východním Slovensku v období 1961–2007. Z obrázku 163 je zřejmé, že po poměrně vlhké druhé polovině sedmdesátých let minulého století se následující roky vyznačovaly spíše nedostatkem vláh. Absolutního minima bylo dosaženo v posledním analyzovaném roce 2007, kdy hodnoty PDSI odpovídaly extrémnímu suchu.

Výraznou náchylnost oblasti jižního, jihozápadního a jihovýchodního Slovenska k výskytu suchých epizod potvrzují také práce dalších autorů. Tak Šiška a Takáč (2009) analyzovali na základě údajů z 11 meteorologických stanic z let 1961–1990 průměrné denní teploty vzduchu, úhrny srážek a potenciální a aktuální evapotranspiraci, s pomocí nichž vypočítali tzv. klimatický index sucha a agroklimatický in-



**Obr. 162.** Geografické rozložení průměrného počtu suchých dnů v květnu v období 1961–1990 na Slovensku (Nováková et al., 2011)  
**Figure 162.** Geographical distribution of the mean number of dry days in May in the 1961–1990 period in Slovakia (Nováková et al., 2011)



**Obr. 163.** Kolísání měsíčních hodnot PDSI (a) a srážkových úhrnů (b) v Milhostově na východním Slovensku v období 1961–2007 (Tall, Gomboš, 2011)

**Figure 163.** Fluctuations in monthly PDSI (a) and precipitation totals (b) at Milhostov in eastern Slovakia in the 1961–2007 period (Tall, Gomboš, 2011)

dex (tj. deficit evapotranspirace) pro nejúrodnější regiony Slovenska. Autoři uvádějí, že dva velmi suché a teplé regiony (s vodním deficitem přes 250 mm) se nacházejí v Podunajské a Východoslovenské nížině, tedy v hlavních produkčních oblastech Slovenska. V souladu se závěry této práce jsou i výsledky Škvarceniny et al. (2009), kteří analyzovali trendy výskytu suchých a vlhkých period v různých výškových vegetačních pásmech regionu Západních Karpat v období 1951–2007. Citovaná práce uvádí signifikantní nárůst četnosti sucha v oblasti Podunajské nížiny, tj. pro dubový vegetační stupeň. Naopak v horské oblasti a v severní části Západoslovenského kraje byl zaznamenán statisticky významný růst hodnot půd-

ní vlhkosti.

Dlouhodobý kontext kolísání suchých období na Slovensku lze doplnit rekonstrukcí letních hodnot PDSI pro období 1744–2006 podle šířek letokruhů borovice (*Pinus sylvestris*) ze vzorků odebraných v nadmořské výšce kolem 800 m asi 15 km jižně od Popradu (Büntgen et al., 2010a). Zjištěné roky extrémního sucha byly dále konfrontovány s výsledky přístrojových měření a s informacemi o suchých epizodách z dokumentárních pramenů. Na základě těchto dat a rekonstrukce PDSI byly jako nejsušší vyhodnoceny roky 1947, 1948 a 1964 (jen podle PDSI to byly roky 1794, 1850, 1904 a 1947), přičemž jako suché byly identifikovány dekády z let 1780–1810, 1850–1870, 1940–1960 a také konec 20. století.

Výskyt meteorologického sucha v období 1951–2000 v širokém pásmu území severně od České republiky táhnoucím se od Harzu ve středním Německu k polsko-ukrajinské hranici studovali Hänsel et al. (2009). Jako extrémně suché v celé této oblasti uvedli roky 1953, 1959, 1982 a 2003, které doplnili roky 1963/64, 1976 a 1991 v oblasti Německa a roky 1986 a 1993 v oblasti Polska. Četnost period meteorologického sucha vzrostla zvláště v Německu v letním půlroce (duben–září). Naopak zvýšení počtu suchých epizod v zimním půlroce (říjen–březen) bylo pozorováno jen na vybraných stanicích ve východní části studované oblasti. V navazující analýze vycházející z údajů 100 meteorologických stanic v Sasku identifikovali Hänsel a Matschullat (2009) jako nej-



sušší roky 1911, 1942/43, 1982 a 2003. Trendy výskytu suchých extrémů se obecně projevovaly i v trendech srážkových úhrnů většiny měsíců. Sucho a suché periody narůstaly během letního půlroku.

Samaniego et al. (2013) se zaměřili na studium půdní vláhly v Německu s použitím modelu SWIM (eko-hydrologický model půdy a vody z anglického Soil and Water Integrated Model — Huang et al., 2015), pomocí něhož byly získány denní hodnoty půdní vlhkosti pro celé Německo v období 1951–2010. V něm pak vybrali celkem osm nejdelších suchých epizod: 1962–1965, 1971–1974, 1975–1978, 1959–1960, 1953–1954, 1991–1993, 2003–2005 a 1995–1997. Půdy s dostatkem vláhly během celého roku lokalizovali uvedení autoři do oblasti Schwarzwald, Harzu a podhůří Alp v jižním Německu, zatímco suché oblasti s nedostatkem půdní vláhly vymezili pro rozsáhlou severovýchodní část Německa.

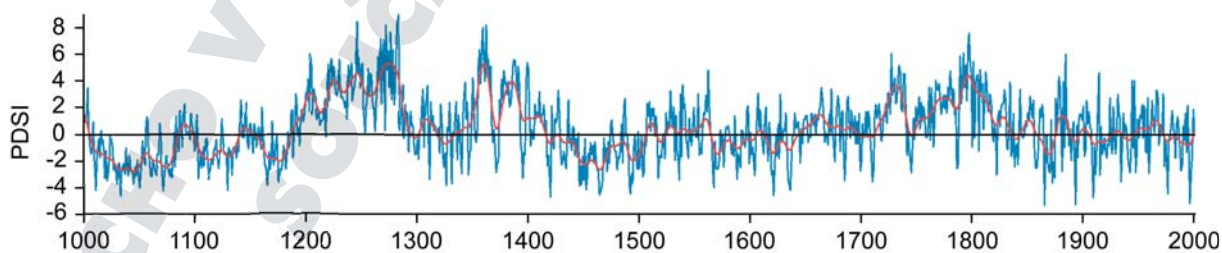
Z hlediska dlouhodobé variability sucha lze pro střední Německo využít rekonstrukci hodnot PDSI pro červen–září na základě dubové letokruhové chronologie z období 996–2005 (Büntgen et al., 2010b). Jako nejsušší (od roku 1900) při porovnání dubové chronologie s měřenými údaji se ukázaly roky 1934, 1959 a 1996. Shlazené rekonstruované hodnoty PDSI pro červen–září (obr. 164) indikují v posledním tisíciletí spíše převažující výskyt vlhčích období v porovnání s referenčním obdobím 1961–1990. Za relativně sušší lze považovat přibližně první dvě století uvedené rekonstrukce a dále pak roky 1430–1720. Celkem 20 nejsušších období připadlo na roky 1010–1165 (s menší spolehlivostí použitých dat) a 1420–1636.

Pokud jde o našeho jižního souseda, Rakousko, z analýzy epizod sucha pro 30 meteorologických stanic (ležících do nadmořské výšky 3000 m) v období 1950–2000 (Auer, Korus, 2005) vyplynulo, že třetina stanic ve východní a severovýchodní části země vykázala rostoucí trend četnosti suchých

epizod, což odpovídá výsledkům z České republiky. Na další třetině stanic byl trend v četnosti výskytu sucha klesající (hlavně v horských oblastech západní části Rakouska) a pro zbytek stanic nebyl zjištěn žádný statisticky významný trend. V další práci se Auer et al. (2008) na základě údajů z projektu HISTALP zabývali vedle teplot vzduchu, srážek a sněhových charakteristik také suchem na území Rakouska v období 1895–2007. Nejčastější výskyt suchých epizod s rostoucím trendem ve druhé polovině 20. století byl zjištěn v jeho jižní a východní části. Naproti tomu v západní části Rakouska dochází ke zkracování délky a ke snížení frekvence výskytu suchých epizod.

Vlastní alpské oblasti s převahou meteorologických stanic na území Rakouska, Švýcarska a severní Itálie, pokrývajících posledních 250 let, se věnovali Matulla et al. (2005). Ve vztahu k českým zemím je důležitý region zahrnující východní a severovýchodní část Rakouska, kde byly zjištěny velmi intenzivní suché zimy v letech 1831–1900 (vůbec nejsušší v dekádě 1881–1890 v celém regionu), velmi suchá dekáda 1861–1870 pro všechna roční období a suchá jara v letech 1941–1950 (pro celou alpskou oblast). Velmi suchou dekádu 1861–1870 dokládá fakt, že v letech 1864–1870 téměř úplně vyschlo Nezdiderské jezero, rozkládající se v rakouské spolkové zemi Burgenland a v západním Maďarsku (Kiss, 2009).

Van der Schrier et al. (2007) hodnotili sucha v alpské oblasti podle hodnot PDSI v období 1800–2003. Pro celou oblast vybrali jako nejsušší období 1850–1870 a 1940–1950, nicméně konstatovali existenci značné heterogenity v celé studované oblasti. V severovýchodním regionu odpovídajícím Rakousku vymezili tři nejsušší léta 1835, 1842 a 1869, a tři nejsušší zimy 1834/35, 1857/58 a 1865/66. Letní hodnoty PDSI nevykazují ve zmíněném regionu žádný statisticky významný trend.



**Obr. 164.** Kolísání rekonstruovaných hodnot PDSI pro červen–září na základě šířek letokruhů dubu ve středním Německu v období 996–2008. Hodnoty jsou shlazené dvacetiletým nízkofrekvenčním filtrem (upraveno podle Büntgena et al., 2010b)

**Figure 164.** Fluctuations in reconstructed June–September PDSI in central Germany based on oak tree-rings in the 996–2008 period: smoothed by 20-year low-pass filter (adapted after Büntgen et al., 2010b)



# 5. SUCHO A JEHO PŘÍČINY

Tato část knihy se zaměřuje na analýzu synoptických příčin sucha, a to jednak se zřetelem na charakter přízemního tlakového pole a jednak na výskyt synoptických typů pro extrémně suché měsíce (kap. 5.1), hodnotí míru vlivu vybraných klimatotvorných a cirkulačních faktorů na kolísání indexů sucha (kap. 5.2) a popisuje změny ve využívání ploch od 19. století se zřetelem na udržení vody v krajině (kap. 5.3).

## 5.1 SYNOPTICKÉ PŘÍČINY VÝSKYTU SUCHA

### 5.1.1 Přízemní tlakové pole ve vztahu k suchu

K vystižení typických cirkulačních poměrů v extrémně suchých měsících byly analyzovány charakteristické rysy pole přízemního tlaku vzduchu v evropsko-atlantské oblasti. Údaje o rozložení tlaku vzduchu byly převzaty z gridové databáze Met Office Hadley Centre HadSLP2. Uvedená databáze má prostorové rozlišení 5 x 5 stupňů a umožňuje analyzovat průměrné měsíční hodnoty tlaku vzduchu od roku 1850 do současnosti (Allan, Ansell, 2006).

Pro analýzu byly nejdříve vybrány extrémně suché měsíce vegetačního období, tedy od dubna do září. K tomu byly použity řady měsíčních hodnot Z-indexu a SPEI-1 pro české země v období 1850–2010, které byly aproximovány normálním rozdělením. Na základě hodnoty druhého decilu byly následně pro každý měsíc vybrány „extrémně suché roky“. Do další analýzy vstupovaly pouze ty roky, které byly extrémně suché podle obou uvažovaných indexů. Ve studovaném období se jejich počet pohyboval od 27 do 31 roků (duben a květen 31, červen a červenec 30, srpen a září 27).

Pro měsíce s výskytem sucha byla analyzována evropsko-atlantská oblast v rozsahu 30–70° severní zeměpisné šířky a 30° západní až 40° východní zeměpisné délky, tedy představovaná celkem 135 gridovými body.<sup>76</sup> Pro každý měsíc byly sestaveny mapy průměrného pole přízemního tlaku vzduchu z referenčního období 1961–1990 a dále mapy

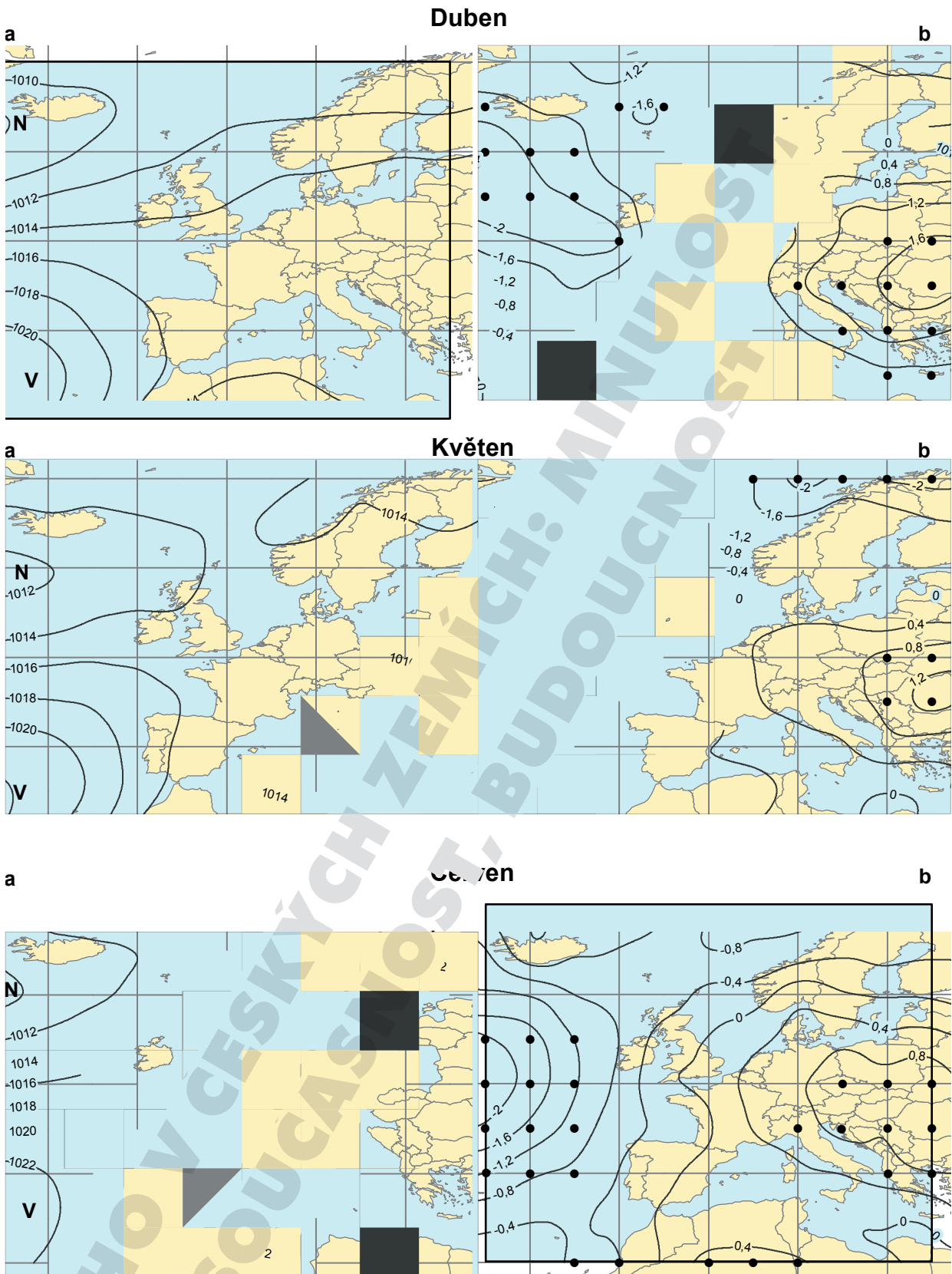
průměrného pole tlaku vzduchu v extrémně suchých měsících (obr. 165a). Charakteristické rysy tlakového pole jsou dále prezentovány také ve formě anomálií v podobě rozdílu průměrného tlaku vzduchu v extrémně suchých měsících a průměrného tlaku vzduchu v referenčním období (obr. 165b). Statistická významnost zjištěných anomálií byla testována pomocí t-testu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Jak je patrné z obr. 165a, průměrná pole přízemního tlaku vzduchu v extrémně suchých měsících vykazují od dubna do září základní společné rysy s výrazně vyvinutou oblastí Azorské tlakové výše a hřebenem vysokého tlaku vzduchu, který zasahuje do regionu střední a částečně i východní Evropy. Tento hřeben je méně patrný v dubnu a v květnu, a naopak velmi výrazný je v září. Nízký tlak vzduchu je charakteristický pro oblast Severního moře, Skandinávie a také pro východní Středomoří. Uvedené rozložení tlaku vzduchu je v teplé části roku ve střední Evropě obecně příznivé pro převládající anticyklonální ráz počasí s nadprůměrnými teplotami vzduchu a podprůměrnými úhrny srážek, tedy podmínkami vhodnými pro výskyt extrémního sucha.

Oproti normálu se všechny extrémně suché měsíce vyznačují významně vyšším tlakem vzduchu v oblasti střední a jihovýchodní Evropy (obr. 165b). Naopak negativní anomálie jsou typické buď pro oblast mezi Islandem a Velkou Británií (duben, červen, červenec) nebo pro severní Evropu (květen, srpen, září).

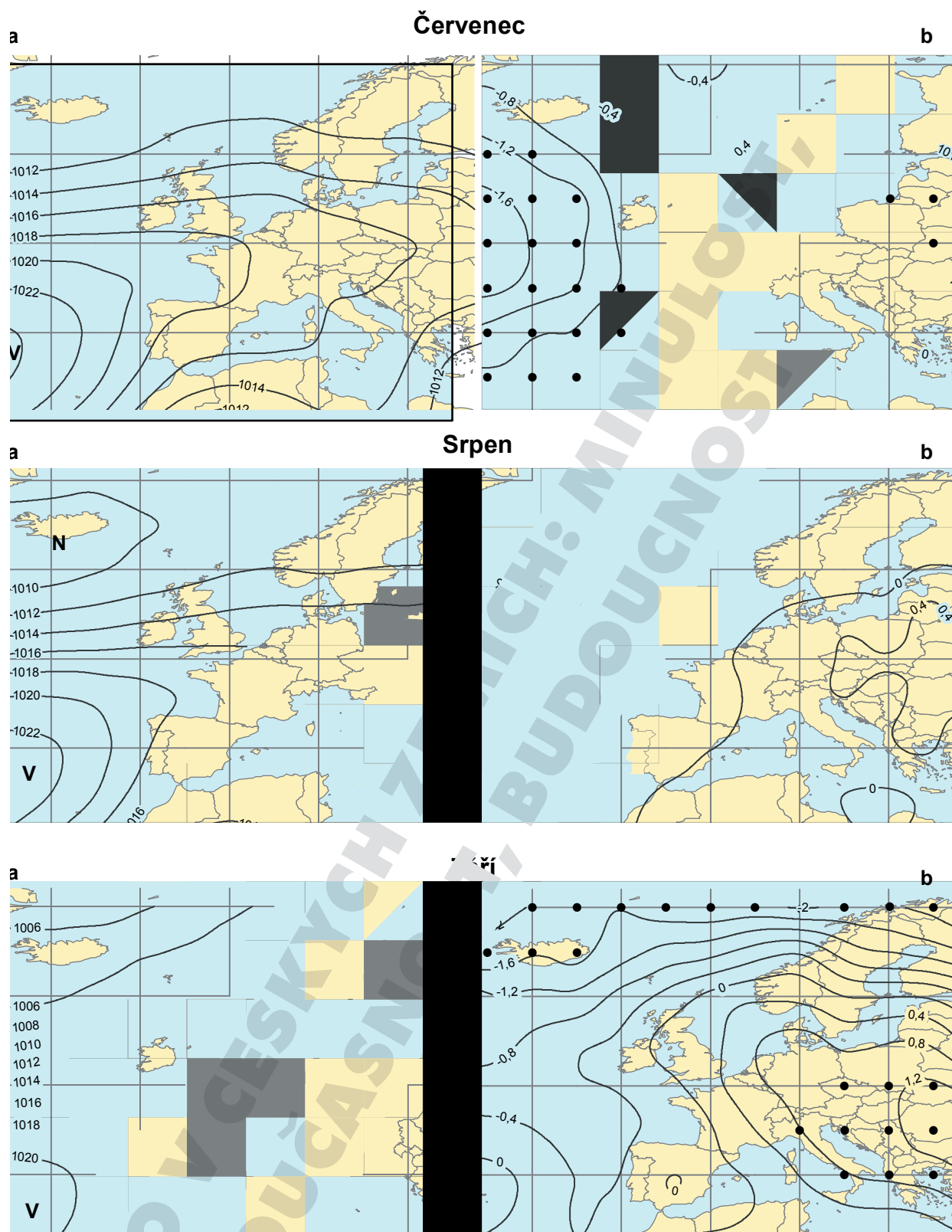
Základní módy variability tlakového pole lze vystihnout také vícerozměrnou statistickou metodou, která je v literatuře označována jako empirická ortogonální funkce (EOF — Empirical Orthogonal Function) a která je obdobou metody hlavních komponent (PCA — Principal Component Analysis) (von Storch, Zwiers, 2001; Wilks, 2006). Oproti klasické metodě hlavních komponent však EOF dovoluje odděleně hodnotit prostorovou variabilitu studované veličiny (v tomto případě přízemního tlaku vzduchu) a její časovou složku, tedy to, jak mnoho je daný mód zastoupen v průběhu času. Z principu použité metody vyplývá, že vypočtené módy

<sup>76</sup> Pro mapové znázornění je použit výřez z této širší oblasti (viz obr. 165–166).



**Obr. 165.** a) Průměrné pole přízemního tlaku vzduchu v evropsko-atlantické oblasti pro extrémně suché měsíce dubna až září v českých zemích v období 1850–2010; b) rozdíly průměrného přízemního tlaku vzduchu pro extrémně suché měsíce dubna až září v českých zemích a průměrného přízemního tlaku vzduchu dubna až září v referenčním období 1961–1990. Body značí gridy se statisticky významným (hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ ) poklesem, resp. vzestupem tlaku vzduchu vzhledem k referenčnímu období

**Figure 165.** a) Mean sea-level pressure (SLP) in the European-Atlantic area for the extremely dry months from April to September in the Czech Lands during the 1850–2010 period; b) mean SLP differences between extremely dry months from April to September in the Czech Lands and those in the 1961–1990 reference period. Black points mark statistically significant (significance level  $\alpha = 0.05$ ) SLP decrease and/or increase with respect to the reference period



**Obr. 165** pokračování  
**Figure 165** — continued



jsou vzájemně nekorelované (ortogonální) lineární kombinace vstupních údajů a nemusejí tedy mít jednoznačnou a fyzikálně zdůvodněnou interpretaci variability, zvláště módy vyšších čísel. Na obr. 166 jsou znázorněny pro každý měsíc od dubna do září první tři hlavní módy prostorové variability, včetně jejich procentuálního podílu na celkové variabilitě pole přízemního tlaku vzduchu.

Jak vyplývá ze stanovení indexů sucha (kap. 3.1.1), výskyt sucha v oblasti střední Evropy může být podmíněn různou kombinací teplotních a srážkových poměrů. Proto také z makrosynoptického hlediska, postihujícího rozložení řídicích tlakových útvarů, mohou být příčiny výskytu sucha na území České republiky značně rozdílné. Hlavní módy (EOF-1) vysvětlují ve většině případů kolem 36–37 % celkové variability tlakového pole v evropsko-atlantské oblasti, přičemž pouze v dubnu a v květnu je tento podíl vyšší (39 %, resp. 44 %). To znamená, že hlavní módy v jednotlivých měsících nejsou výrazně dominantními. O tom dále svědčí také relativně malý rozdíl v množství vysvětlené variability mezi prvním (EOF-1) a druhým (EOF-2) módem. První tři módy vystihují celkově 70–80 % prostorové variability přízemního pole tlaku vzduchu ve všech analyzovaných měsících.

Hodnoty EOF-1 na obr. 166 jsou vyjádřeny v podobě anomálií tlaku vzduchu od referenčního období 1961–1990 a mají ve všech měsících dipólovou strukturu typickou pro pole tlaku vzduchu, kdy pokles tlaku v jedné části oblasti je kompenzován vzestupem v jiné části, a naopak. Zatímco měsíce duben–červen ukazují obecně na zesílení hřebene vysokého tlaku vzduchu vycházejícího z oblasti Azorské anticyklony,<sup>77</sup> je pro zbylé tři měsíce letního půlroku typická kladná odchylka tlaku vzduchu v oblasti Severního moře a naopak záporná odchylka v oblasti Středozemního moře.

### 5.1.2 Synoptické typy ve vztahu k suchu

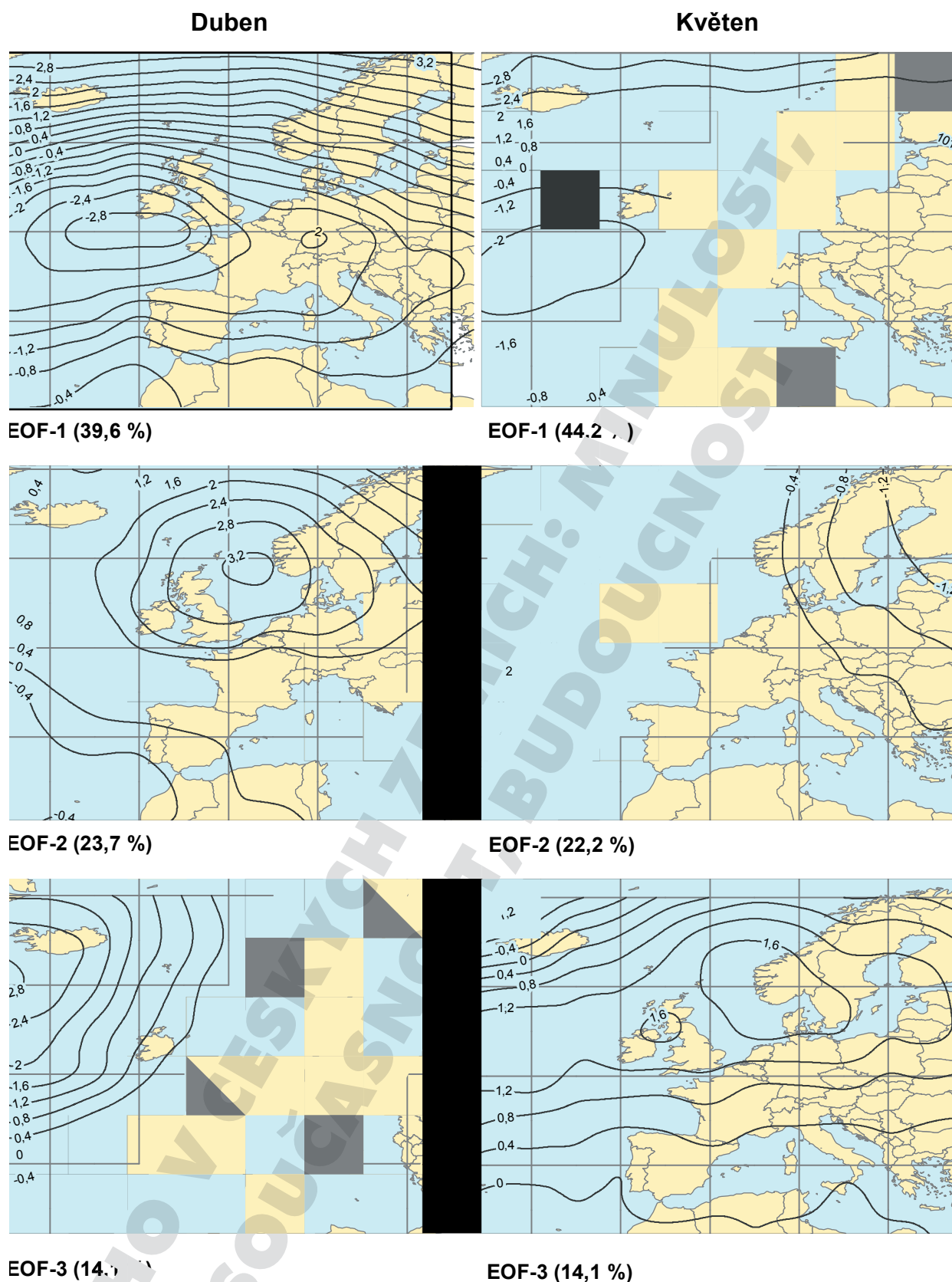
Synoptické příčiny výskytu sucha lze analyzovat také se zřetelem na klasifikaci přízemního tlakového pole podle jednotlivých synoptických typů. Pro současné území České republiky byla takováto typizace pro potřeby krátkodobé a střednědobé předpovědi počasí sestavena Brádkou et al. (1961). Synoptické procesy jsou v ní klasifikovány podle směru a cyklonality, resp. anticyklonality cirkulace během trvání přiro-

zeného synoptického období. Typy synoptických situací byly určeny abstrahováním podstatných rysů tlakových útvarů, frontálních zón a frontálních systémů z většího souboru podobných situací. Katalog obsahující celkem 28 synoptických typů byl prodloužen zpětně do roku 1946 (Katalog, 1967, 1972) a je dále průběžně doplňován do současnosti (<http://www.chmi.cz/>).

Pro další analýzu byly zvoleny tytéž extrémní měsíce vybrané podle hodnot SPEI-1 a Z-indexu jako v kap. 5.1.1, ale s ohledem na délku typizace ČHMÚ bylo možné brát pro zpracování až případy od roku 1946 (duben 18 případů, květen 10, červen 12, červenec a srpen 14, září 15). Výskyt jednotlivých synoptických typů je vyjádřen v podobě odchylek od jejich průměrné relativní četnosti výskytu v období 1961–1990. Kladné odchylky tedy značí relativně vyšší četnosti výskytu odpovídajících synoptických typů v extrémně suchých měsících v porovnání s průměrem uvedeného referenčního období, zatímco záporné odchylky charakterizují nižší četnosti v porovnání s průměrem let 1961–1990 (obr. 167). Jak lze očekávat, srážky jsou častější a vyšší během výskytu cyklonálních synoptických typů, zatímco anticyklonální typy přinášejí sušší počasí (Brádka, 1972; Křivancová, Vavruška, 1997). Před následující analýzou je však třeba připomenout, že uvedená typizace je svojí podstatou pouze jistým přiblížením při hledání příčinných vztahů pro analýzu sucha.

Všechny extrémně suché měsíce vykazují celkově vyšší procentuální výskyt anticyklonálních typů oproti průměrným četnostem jejich výskytu v referenčním období 1961–1990. V měsících letního půlroku je jejich nejvýraznější nárůst o 23,8 % patrný v září a nejmenší o 10,2 % v květnu (srpen 12,7 %, červenec 13,9 %, červen 14,3 %, duben 15,3 %). Epizody extrémního sucha v dubnu souvisejí s poklesem relativních četností srážkově významných typů brázdy nízkého tlaku vzduchu B a centrální cyklony C nad střední Evropou (–6,3 %, resp. –5,9 %) a vyšší frekvencí jihovýchodního SEa a severovýchodního NEa anticyklonálního typu (5,0 %, resp. 3,4 %). Vcelku překvapující je výrazný nárůst jihozápadních cyklonálních typů 1.–3. druhu SWc<sub>1</sub>–SWc<sub>3</sub> o 9,4 %. Také v květnu je patrný pokles relativních četností typů B a C (–4,0 %, resp. –4,4 %), přičemž u anticyklonálních typů byl největší nárůst u východního anticyklonálního typu Ea o 4,7%. Naproti tomu západní anticyklonální situace letního typu Wal vykazovala oproti referenčnímu období menší relativní frekvenci výskytu o 5,4 %. Pro extrémní sucha v červnu byl charakteristický vzestup typu centrální

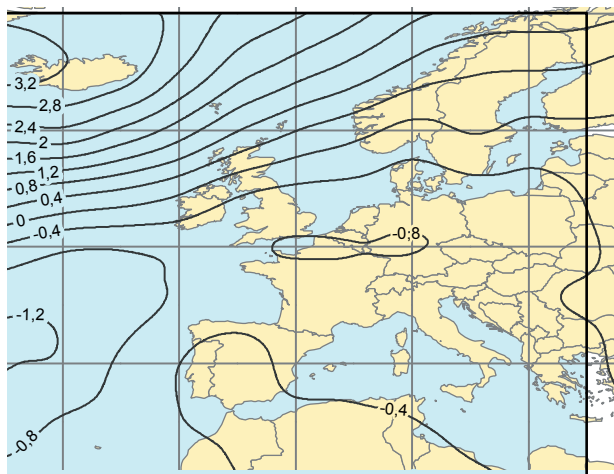
<sup>77</sup> Znaménko v hodnotě izolinií získané výpočtem nehraní z hlediska interpretace žádnou roli. Tedy kladné znaménko může odpovídat poklesu tlaku vzduchu a naopak (von Storch, Zwiers, 1999).



**Obr. 166** První tři hlavní módy historické variability přízemního tlaku vzduchu v evropsko-atlantské oblasti, vyjádřené jako anomálie od referenčního období 1961–1990 (hPa), vypočtené metodou EOF pro extrémně suché měsíce duben–září v období 1850–2010; čísla v závorkách udávají procento z celkové variability přízemního tlaku vzduchu vysvětlené daným módem

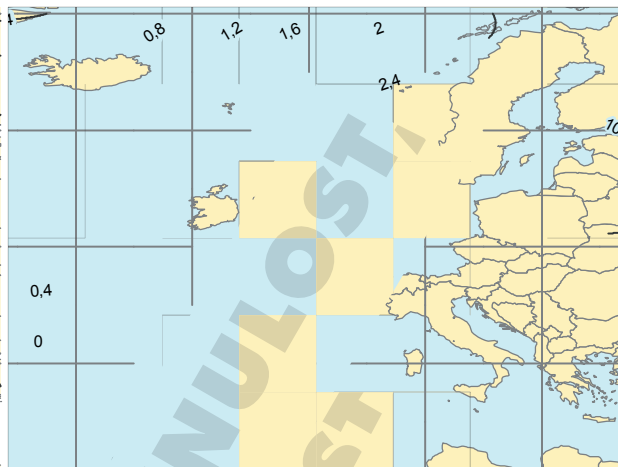
**Fig. 166** Spatial patterns of the three leading modes of SLP variability in the European-Atlantic region expressed as anomalies from the 1961–1990 period (hPa) calculated using Empirical Orthogonal Function (EOF) for extremely dry months April–September in the 1850–2010 period; numbers in brackets refer to percentage of entire variability of SLP explained through individual modes

Červen

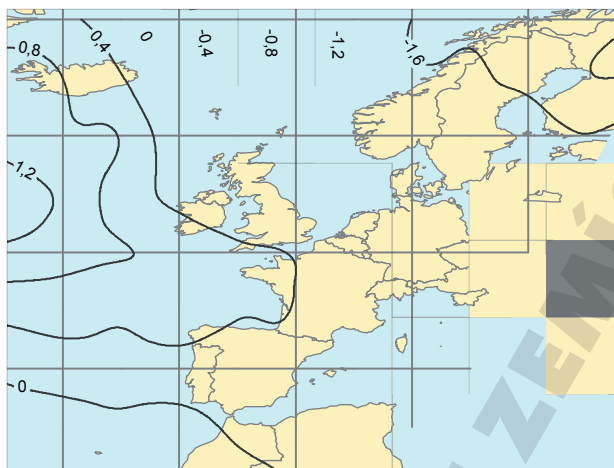


EOF-1 (36,5 %)

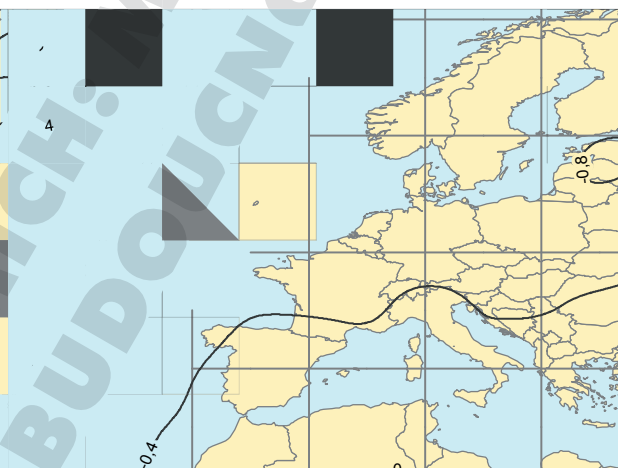
Červenec



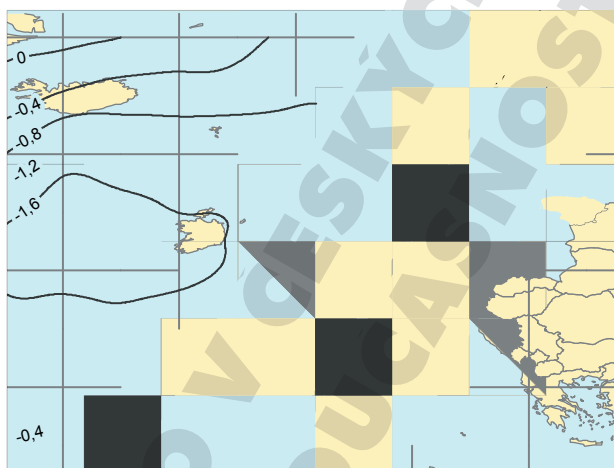
EOF-1 (36,5 %)



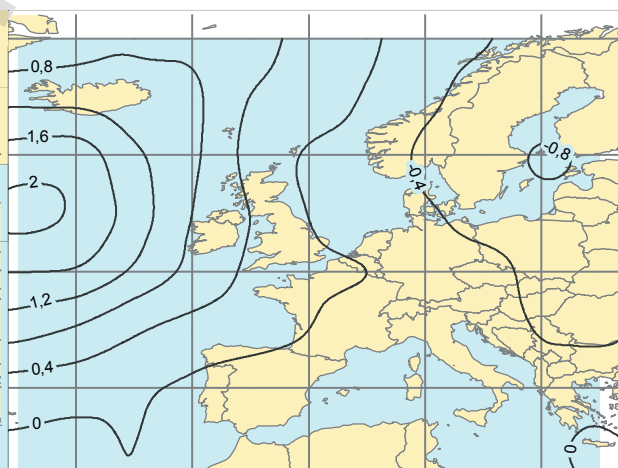
EOF-2 (20,4 %)



EOF-2 (19,4 %)



EOF-3 (15,2 %)

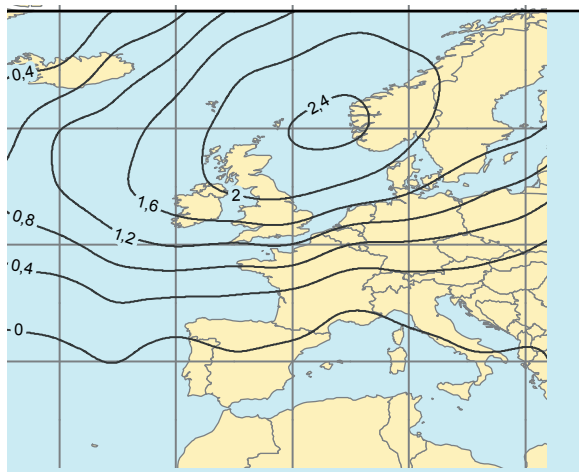


EOF-3 (15,2 %)

Obr. 16 – pokračování  
 Figur 16 – continued

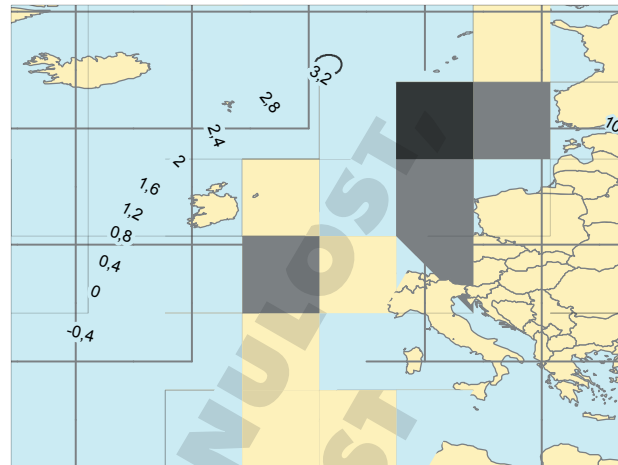


**Srpen**

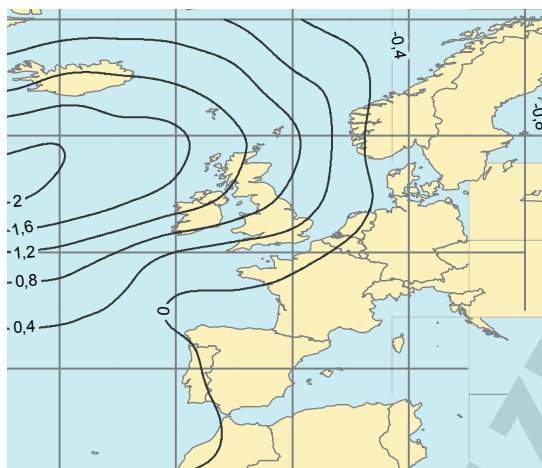


EOF-1 (36,6 %)

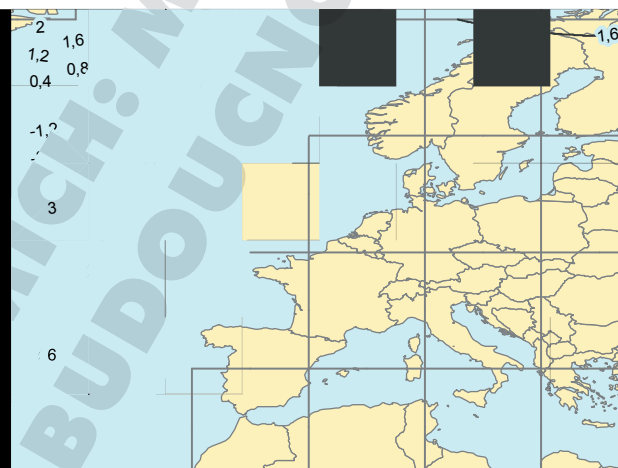
**Září**



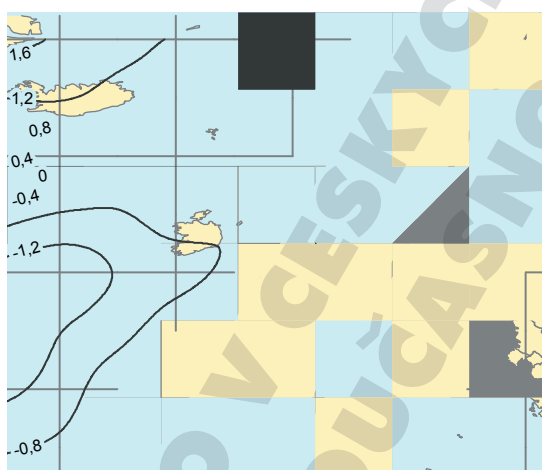
EOF-1 (36,0 %)



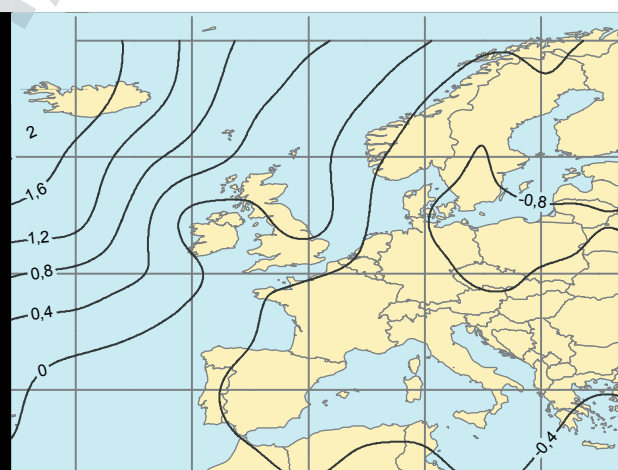
EOF-2 (22,0 %)



EOF-2 (31,5 %)



EOF-3 (16,6 %)



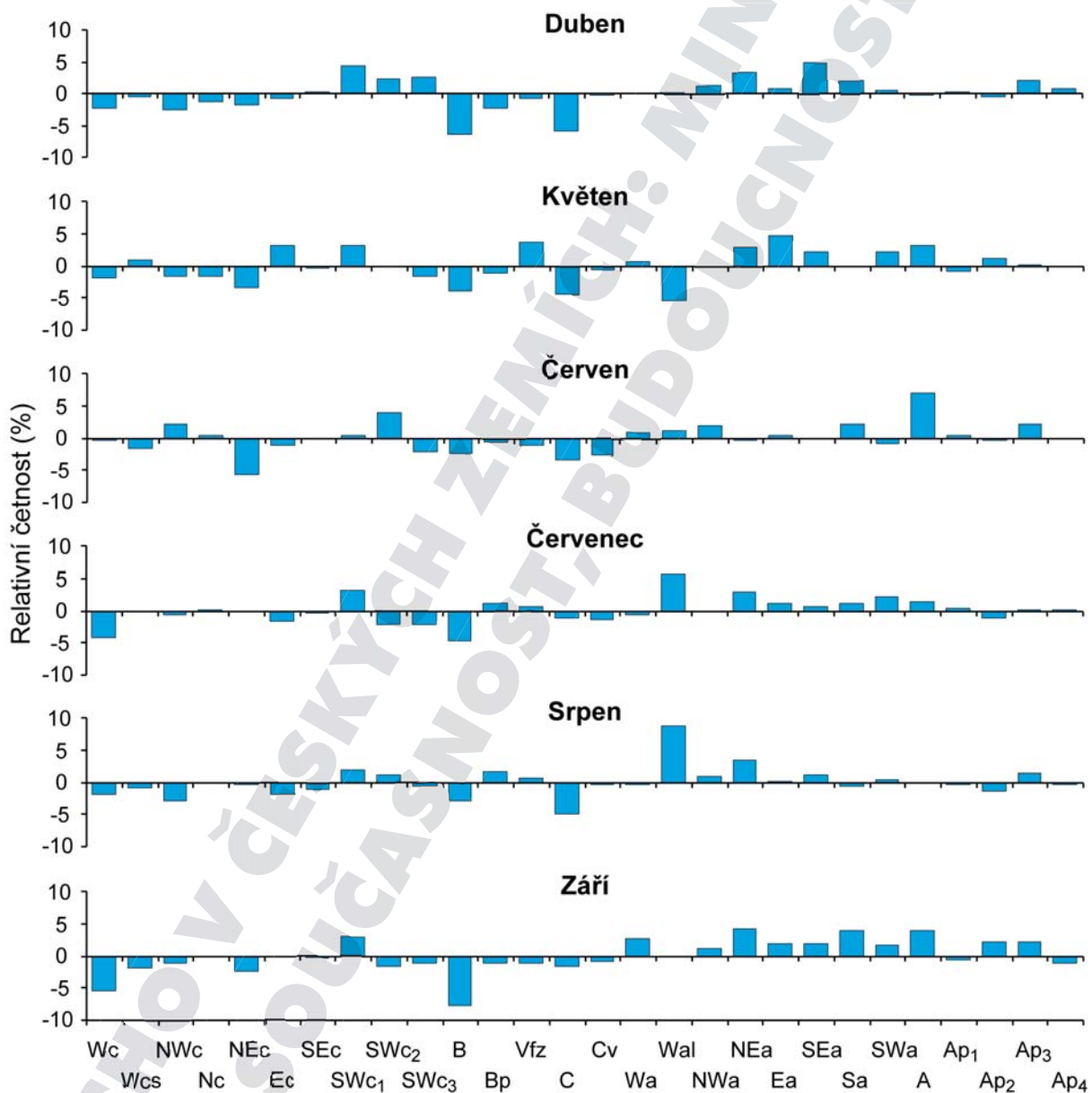
EOF-3 (11,3 %)

Obr. 166 – pokračování  
Figure 166 – continued

ní anticyklony nad střední Evropou A o 7,0% a pokles četnosti výskytu severovýchodního cyklonálního typu NEc o 5,6%. V červenci byl nejvýraznější vzestup relativních četností výskytu zaznamenán pro typ Wal o 5,8%, přičemž nejvíce poklesly frekvence typu B o 4,7% a západního cyklonálního typu Wc o 4,3%. Podobně i extrémně suché podmínky srpna souvisejí s nárůstem četnosti typu Wal o 8,7%, přičemž u cyklonálních typů byl největší pokles u typu C o 4,9%. Epizody sucha v září souvisejí zřejmě s výrazně nižším výskytem typů B a Wc (-7,7%, resp.

-5,6%), zatímco frekvence výskytu typu NEa byly vyšší o 4,2% a jižního anticyklonálního typu Sa a typu A shodně o 3,9%.

Z hlediska prostorového výskytu sucha v České republice hraje významnou roli nejen frekvence výskytu jednotlivých synoptických typů, ale také jejich různé srážkové projevy v západní (Čechy) a východní (Morava a Slezsko) části republiky. Pokud se určitý synoptický typ srážkově vydatnější v Čechách než na Moravě a ve Slezsku vyskytne s menší frekvencí oproti průměru, pak to vyvolá větší deficit



**Obr. 167.** Differenze relativních četností výskytu synoptických typů podle typizace ČHMÚ (<http://www.chmi.cz/>) během extrémně suchých měsíců dubna–září v České republice vzhledem k odpovídajícím měsíčním průměrům referenčního období 1961–1990

**Figure 167.** Differences in relative frequencies of the occurrence of synoptic types according to the CHMI classification (<http://www.chmi.cz/>) during the extremely dry months of April–September in the Czech Republic with respect to the corresponding monthly means of the 1961–1990 reference period

srážek v západní části republiky než v její východní, a naopak. To prokázala analýza extrémního sucha od srpna roku 2011 do května roku 2012, které bylo vcelku dramaticky vyjádřeno ve své intenzitě a v dopadech na zemědělství ve východní části země, zatímco v Čechách se nijak výrazně neprojevovalo (Zahradníček et al., 2014). Kromě očekávané vyšší frekvence výskytu anticyklonálních typů v suchých epizodách byla pozorována také významná role západního cyklonálního typu Wc a brázd nad střední Evropou B. Tak srážkově bohatý typ B dává v denních úhrnech asi o 30 % více srážek na Moravě než v Čechách. Významně nižší frekvence výskytu tohoto synoptického typu na podzim roku 2011 a v zimě 2011/12, stejně jako během celého zpracovávaného suchého období, byla jednou z příčin sušších poměrů na Moravě. Opačnou roli hrál typ Wc, který v denních úhrnech dává asi o 70 % více srážek v Čechách než ve východní části republiky. Vyšší frekvence výskytu tohoto typu v uvedené zimě byla pak příčinou nadprůměrných srážkových úhrnů v Čechách, zatímco na Moravě byly úhrny srážek podprůměrné.

## 5.2 VLIV KLIMATOTVORNÝCH A CIRKULAČNÍCH FAKTORŮ NA VÝSKYT SUCHA

Zatímco v kap. 5.1 byla pozornost věnována především souvislostem mezi epizodami sucha a synoptickou situací v evropsko-atlantské oblasti, potenciální vazby existují i ve vztahu k faktorům ovlivňujícím klima v globálním měřítku. Pomocí regresní analýzy jsou proto v této kapitole zkoumány možné souvislosti mezi různými variantami indexů sucha a časovými řadami reprezentujícími vybrané klimatotvorné faktory. Vyšetřovány jsou jak projevy vlivu přirozených vnějších činitelů, tzv. vnějšího forcingu (úroveň solární a vulkanické aktivity) a lidské činnosti (radiační působení skleníkových plynů a aerosolů), tak přítomnost komponent synchronizovaných s velkoprostorovými vnitřními oscilacemi samotného klimatického systému (severoatlantská oscilace, atlantská multidekádová oscilace, El Niño/Jižní oscilace).

### 5.2.1 Statistická atribuční analýza — metodologie a data

Problematika variability meteorologických a klimatologických veličin je jedním z klíčových témat moderní klimatologie. Mezi nejdůležitější řešené otázky přitom patří téma atribuce, tj. identifikace faktorů

odpovědných za pozorovaný časový vývoj. Důsledkem složitosti zemského klimatu, jeho nelinearity a provázanosti faktorů formujících dynamiku atmosféry a oceánu jde o netriviální a v současné době stále neuzavřený problém. Primárním prostředkem pro související analýzy jsou komplexní numerické simulace (zpravidla označované jako globální klimatické modely), postihující jednotlivé složky klimatického systému i předivo vazeb mezi nimi. Často využívány jsou také techniky statistické analýzy, umožňující flexibilní posouzení vztahů mezi různými klimatologickými veličinami (typicky studovanými ve formě časových řad či časoprostorových polí). Statistický přístup k problematice atribuce je aplikován i v této monografii. Jsou vytvářeny a studovány regresní přenosové funkce mezi řadami popisujícími vybrané klimatotvorné faktory (reprezentujícími nezávislé, vysvětlující proměnné, tzv. prediktory) a indexy sucha (cílové, vysvětlované proměnné, tzv. prediktandy).

V rámci široké škály existujících technik regresní analýzy může přenosová funkce mezi prediktory a prediktandy nabývat nejrůznějších podob, a to od jednoduchých lineárních vztahů až po komplexní nelineární zobrazení, realizovaná například prostřednictvím umělých neuronových sítí. Vzhledem ke složitosti a nelinearitě klimatického systému se může zdát, že nejlepší popis studovaných vztahů bude přirozeně dosažen nasazením co nejkompaktnější reprezentace závislosti mezi vysvětlujícími a cílovými proměnnými. V praxi se nicméně ukazuje, že nelineární funkce s vysokým počtem stupňů volnosti nemusí při popisu statistických závislostí v klimatickém systému automaticky poskytovat významně lepší výsledky než jejich jednodušší lineární protějšky (pro české klimatologické řady viz například Brázdil et al., 2012a, 2014a; Mikšovský et al., 2014). V mnoha případech je kvůli omezenému informačnímu obsahu v analyzovaných signálech a jejich narušené konzistenci (dané mimo jiné přítomností nehomogenit a nestacionarit) možné docílit srovnatelných či lepších výsledků nasazením jednodušších, leč robustnějších, přístupů. Jednou z nejpůvodnějších takovýchto technik je vícenásobná lineární regrese — postup, při kterém jsou hodnoty cílové proměnné  $y$  v čase  $t$  aproximovány lineární kombinací  $M$  prediktorů  $x_i$ :

$$y(t) = a_0 + \sum_{i=1}^M a_i x_i(t) + e(t), \quad (21)$$

kde  $t = 1, \dots, N$ . Faktory  $a_i$  přitom představují regres-



ní koeficienty, tedy váhy příslušející jednotlivým vysvětlujícím proměnným. Člen  $e(t)$  reprezentuje komponentu nevysvětlenou regresním zobrazením a je dále označován jako regresní reziduum;  $N$  odpovídá počtu analyzovaných vzorků, resp. délce analyzovaných řad. Lineární regrese ve výše uvedené podobě představuje primární techniku použitou v naší analýze pro identifikaci komponent spojených s jednotlivými prediktory. Stanovení regresních koeficientů bylo provedeno metodou nejmenších čtverců, tj. nalezením vektoru  $a_p$ , pro který je minimalizována suma kvadrátů  $e(t)$ .

V kap. 3.1.1 bylo představeno několik numerických indexů charakterizujících různé aspekty výskytu suchých či vlhkých epizod. Vybraní zástupci těchto veličin plní v našich zobrazeních roli cílových proměnných. Analýze byly podrobeny jednak indexy výskytu krátkodobého sucha (SPI-1, SPEI-1, Z-index), jednak jejich protějšky charakterizující dlouhodobější sucho (SPI-12, SPEI-12, PDSI). Studovány byly jak řady charakterizující území České republiky jako celek, tak i individuální indexy odvozené z měření na deseti meteorologických stanicích s dlouhými homogenními záznamy teploty vzduchu a srážek (kap. 3.1; viz též Brázdil et al., 2012a). V důsledku značné prostorové proměnlivosti srážek jako hlavního faktoru odpovědného za vlhkostní režim přitom platí, že mezi indexy sucha jednotlivých stanic existují významné rozdíly, a to pro krátká i dlouhá časová měřítka (tab. 11). Zahrnutí deskrip-

torů sucha z různých míst nám umožnilo vyšetřit výskyt případných prostorových závislostí a lépe posoudit robustnost a všeobecnost závěrů plynoucích z atribuční analýzy.

Důležitým základem regresní analýzy je výběr vysvětlujících proměnných. Do našich výpočtů bylo zahrnuto šest prediktorů, u nichž byl v minulosti buď prokázán vliv na klima střední Evropy, nebo lze možný vliv důvodně předpokládat. Příslušné řady přitom reprezentují jak klimatický forcing v klasickém smyslu (tedy působení faktorů existujících nezávisle na klimatickém systému samotném), tak efekt velkoprostorových interních klimatických oscilací. Jedná se o následující prediktory:

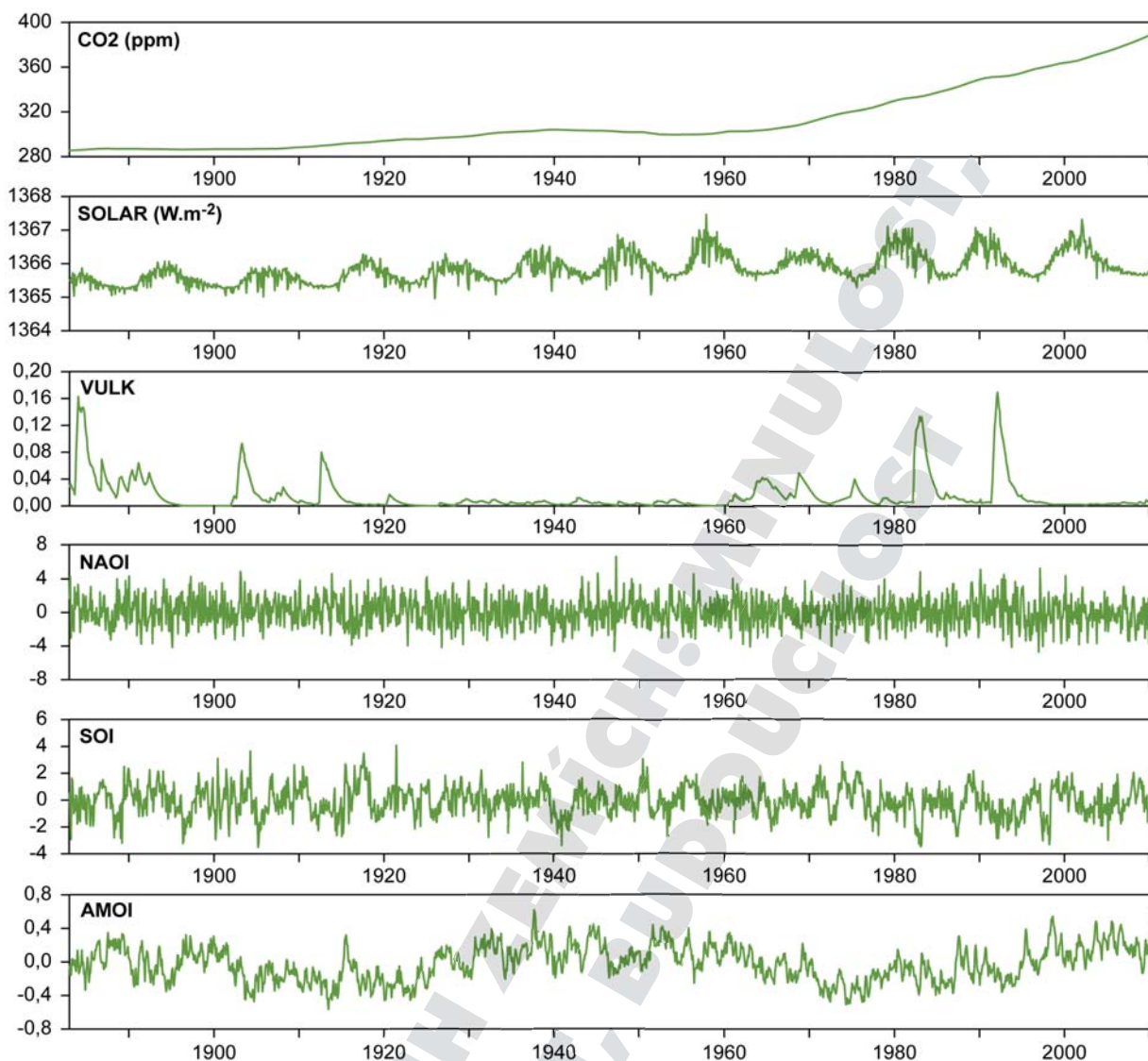
- Změny koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, především oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ , jsou považovány za hlavní příčinu růstu globálních teplot vzduchu, výrazného zejména v posledních dekádách 20. století (například Stocker et al., eds., 2013). Jejich vliv lze detekovat i v teplotách v lokálním či regionálním měřítku, včetně českých (například Mikšovský et al., 2014), a v indexech sucha s vazbou na teplotu vzduchu (Brázdil et al., 2014a). Pro naši analýzu byla jako prediktor využita řada  $\text{CO}_2$ -ekvivalentních koncentrací charakterizujících souhrnný efekt antropogenních emisí skleníkových plynů i dalších forem vlivu lidské činnosti (zejména antropogenních aerosolů a přízemního ozonu) na atmosféru. Odpovídající časová řa-

**Tab. 11.** Pearsonovy korelační koeficienty mezi časovými řadami Z-indexu (horní trojúhelníková matice) a PDSI (dolní trojúhelníková matice) v českých zemích v období 1883–2010, reprezentujícími různé meteorologické stanice: PR – Praha-Klementinum, BR – Brno, BpH – Bystřice pod Hostýnem, ČB – České Budějovice, HB – Havlíčkův Brod, OL – Olomouc, OP – Opava, PŘ – Přerov, TA – Tábor, ČA – Čáslav, CZ – české země

**Table 11.** Pearson correlation coefficients between Z-index (upper triangular matrix) and PDSI (lower triangular matrix) time series in the Czech Lands during the 1883–2010 period, representing different meteorological stations: PR – Prague-Klementinum, BR – Brno, BpH – Bystřice pod Hostýnem, ČB – České Budějovice, HB – Havlíčkův Brod, OL – Olomouc, OP – Opava, PŘ – Přerov, TA – Tábor, ČA – Čáslav, CZ – Czech Lands

Stanice	PR	BR	BpH	ČB	HB	OL	OP	PŘ	TA	ČA	CZ
PR	-	0,54	0,48	0,59	0,60	0,51	0,50	0,51	0,67	0,74	0,65
BR	0,59	-	0,72	0,60	0,61	0,77	0,67	0,76	0,60	0,66	0,77
BpH	0,60	0,61	-	0,57	0,64	0,78	0,77	0,86	0,59	0,65	0,82
ČB	0,60	0,47	0,55	-	0,65	0,58	0,57	0,57	0,73	0,66	0,75
HB	0,66	0,49	0,64	0,65	-	0,61	0,56	0,62	0,76	0,75	0,82
OL	0,60	0,68	0,71	0,51	0,52	-	0,74	0,83	0,60	0,65	0,79
OP	0,63	0,58	0,77	0,59	0,58	0,70	-	0,76	0,54	0,63	0,75
PŘ	0,63	0,67	0,80	0,51	0,59	0,74	0,74	-	0,60	0,65	0,81
TA	0,70	0,51	0,60	0,67	0,72	0,56	0,57	0,58	-	0,74	0,81
ČA	0,72	0,61	0,67	0,58	0,74	0,61	0,65	0,61	0,68	-	0,81
CZ	0,68	0,69	0,80	0,70	0,73	0,72	0,71	0,74	0,72	0,76	-

- da byla připravena aplikací dvanáctiměsíčního klouzavého průměru z ročních údajů dostupných na <http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/> (Meinshausen et al., 2011) a v dalším textu je označována akronymem CO2.
- b) I přes dominantní roli slunečního záření jako zdroje energie pro klimatický systém neexistuje v současnosti jednoznačná shoda v otázce charakteru a síly působení změn sluneční aktivity na spodní troposféru. Vzhledem k možným projevům vlivu sluneční činnosti, detekovaným v předchozí analýze českých indexů sucha (Brázdil et al., 2014a), byla časová řada charakterizující úroveň sluneční aktivity zahrnuta jako prediktor i v tomto případě. Na rozdíl od verze použité Brázdilem et al. (2014a) byly nicméně využity měsíční, nikoliv roční průměry solární iradiace (tj. příkonu slunečního záření na jednotku kolmé plochy na horní hranici zemské atmosféry). Příslušné údaje byly získány z <http://solarisheppa.geomar.de/cmip5> (Wang et al., 2005) a prodlouženy do roku 2010 pomocí měření z <http://lasp.colorado.edu/home/soerce/data/tsi-data/>. Řada je dále označována jako SOLAR.
- c) Vliv velkých vulkanických erupcí je významný v řadách globální teploty vzduchu (například Canty et al., 2013), ale zpravidla nikoliv v klimatických signálech charakterizujících střední Evropu (například Písek, Brázdil, 2006; Mikšovský et al., 2014). Výrazná odezva nebyla detekována ani v předchozí analýze indexů sucha, třebaže náznaky možného působení existují (Brázdil et al., 2014a). I zde byla proto možnost vlivu explosivního vulkanismu zohledněna, a to prostřednictvím řady optické tloušťky stratosférického aerosolu pro severní polokouli, získané z <http://data.giss.nasa.gov/modelforce/strataer/> (Sato et al., 1993) a dále označované jako VULK.
- d) Z globálních klimatických oscilací je pro oblast střední Evropy jednoznačně nejvýznamnější severoatlantská oscilace (NAO), vykazující výrazný vliv jak na teploty vzduchu a srážkové úhrny (např. Brázdil et al., 2012a, 2012c), tak i na deskriptory sucha (Brázdil et al., 2014a). V našem případě byl k charakterizování fáze NAO využit skalární index založený na tlakovém rozdílu mezi Gibraltarem a Reykjavíkem (Jones et al., 1997), získaný z <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/> a dále označovaný jako NAOI.
- e) V případě oscilačního systému ENSO (El Niño / Southern Oscillation) je sice oblast primárního vlivu lokalizována v Tichém oceánu, ale působení na různé klimatologické veličiny bylo zjištěno i pro oblast Evropy (například Brázdil, Bíl, 1998; Brönnimann et al., 2007; Mikšovský et al., 2014). V našem případě je ENSO charakterizováno indexem fáze své atmosférické složky, tedy jižní oscilace (SO), získaným z <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi/> (Ropelewski, Jones, 1987) a dále značeným SOI.
- f) Klimatický systém vykazuje (pseudo)pravidelné oscilace i v delších časových měřítkách v řádu desítek až stovek let. Jedním z nejdůležitějších nízkofrekvenčních oscilačních módů pro oblast severní polokoule a obzvláště severního Atlantiku je atlantská multidekadová oscilace (Atlantic Multidecadal Oscillation — AMO), vykazující primární periodicitu v délce asi 70 let. Třebaže v současné době stále probíhá diskuse o povaze, stabilitě a konkrétních formách vlivu tohoto jevu na počasí a klima, je fáze AMO spojována s dopady jak na lokální (například Enfield et al., 2001; Mikšovský et al., 2014), tak i na globální klimatologické charakteristiky (například Zhou, Tung, 2013). Pro účely naší analýzy je vliv AMO charakterizován indexem založeným na průměrné teplotě severního Atlantiku po odečtení lineárního trendu (Enfield et al., 2001). K analýze byla využita řada měsíčních hodnot získaná z <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/> a dále značená AMOI.
- Časový průběh používaných prediktorů je vizualizován na obrázku 168, v němž je patrný výrazný rozdíl mezi charakterem časové variability typické pro jednotlivé signály. Řada CO<sub>2</sub>-ekvivalentních koncentrací má povahu dlouhodobého trendu rostoucího téměř v celém analyzovaném období a prostého vysokofrekvenční složky. V solární činnosti dominuje (přibližně) periodický jedenáctiletý cyklus, v kombinaci s dlouhodobou komponentou (zejména nárůst sluneční aktivity v první polovině 20. století) a rychlými meziměsíčními fluktuacemi. Koncentrace stratosférických vulkanických aerosolů má převážně epizodický charakter s prudkým nárůstem a pozvolnějším poklesem hodnot v obdobích následujících po velkých sopečných erupcích. Řada NAOI je typickým příkladem rychlé oscilace bez výraznější nízkofrekvenční složky. Proměnlivost SOI je poněkud pomalejší, s epizodami El Niño (záporné hodnoty SOI) a La Niña (kladné hodnoty SOI) zpravidla přetrvávajícími po několik měsíců. V případě AMOI je výše zmíněná nízkofrekvenční komponenta kombinována navíc s rychlejšími fluk-



**Obr. 168.** Časové řady jednotlivých vysvětlujících proměnných použitých v atribuční analýze v období 1883–2010, měsíční časový krok

**Figure 168.** Time series of individual explanatory variables used in the attribution analysis in the 1883–2010 period, monthly time step

tuacemi charakterizujícími variabilitu teplot povrchu oceánu v synoptických časových měřících.

Ačkoliv mezi předpoklady použití lineární regrese patří vzájemná nezávislost jednotlivých prediktorů, tento požadavek je v případě analýzy reálných údajů málokdy kompletně splněn. Tabulka 12 shrnuje vzájemné korelace mezi všemi šesti prediktory v měsíčním kroku a též ve verzi shlazené dvanáctiměsíčním klouzavým průměrem. Je patrné, že ačkoliv příslušné řady nejsou formálně zcela nezávislé, vazby mezi nimi jsou relativně slabé a multikolinearita by tak neměla hrát v používaných regresních zobrazeních výraznější roli.

Výsledky atribuční analýzy mohou být ovlivněny nejen počtem a typem vysvětlujících proměnných, ale i volbou analyzovaného období. Obecně je zá-

doucí zahrnout do výpočtů co největší rozsah studovaných dat a maximalizovat tak množství informace použité při konstrukci regresního zobrazení. Takový požadavek nicméně naráží na problémy dané povahou klimatologických údajů. I v případě základních meteorologických prvků jako jsou teplota vzduchu či srážky mohou být záznamy kontaminovány chybami a nehomogenitami, a spolehlivost údajů pro vzdálenější minulost může být snížena. Proto bylo pro analýzu v kap. 5.2 zvoleno období 1883–2010, a to jako kompromis mezi požadavky na dostupnost a kvalitu údajů (jak prediktandů, tak i prediktorů) a maximalizaci informačního obsahu.

Odlišnost časových měřítek zohledňovaných různými verzemi indexů sucha se odráží i v potřebě úpravy řad vysvětlujících proměnných pro některé



**Tab. 12.** Pearsonovy korelační koeficienty mezi časovými řadami prediktorů v měsíčním kroku (horní trojúhelníková matice) a po shlazení dvanáctiměsíčním klouzavým průměrem (dolní trojúhelníková matice) v období 1883–2010

**Table 12.** Pearson correlation coefficients between series of predictors at monthly time scale (upper triangular matrix) and after application of 12-month running mean (lower triangular matrix) in the 1883–2010 period

Prediktor	CO2	SOLAR	VULK	NAOI	SOI	AMOI
CO2	-	0,42	-0,05	-0,08	-0,06	0,19
SOLAR	0,47	-	-0,07	0,01	0,00	0,08
VULK	-0,05	-0,09	-	0,09	-0,15	-0,23
NAOI	-0,24	0,00	0,26	-	0,00	-0,15
SOI	-0,11	-0,01	-0,21	-0,06	-	-0,03
AMOI	0,19	0,11	-0,27	-0,28	-0,06	-

formy analýzy. V případě indexů krátkodobého sucha (SPI-1, SPEI-1, Z-index) lze předpokládat konzistenci jejich časové variability s řadami prediktorů v měsíčním kroku a jako vysvětlující proměnné jsou tak používány přímo výše uvedené řady měsíčních hodnot. U indexů dlouhodobého sucha, definovaných pro dvanáctiměsíční období (SPI-12, SPEI-12) byly použity prediktory získané aritmetickým průměrem z 12 předchozích měsíců. V případě PDSI byly prediktory upraveny váženým průměrováním, s vahami pro předcházející měsíce redukovanými multiplikačně kumulativním faktorem 0,897, simulujícím míru perzistence aplikovanou v definici PDSI (viz kap. 3.1.1.2).

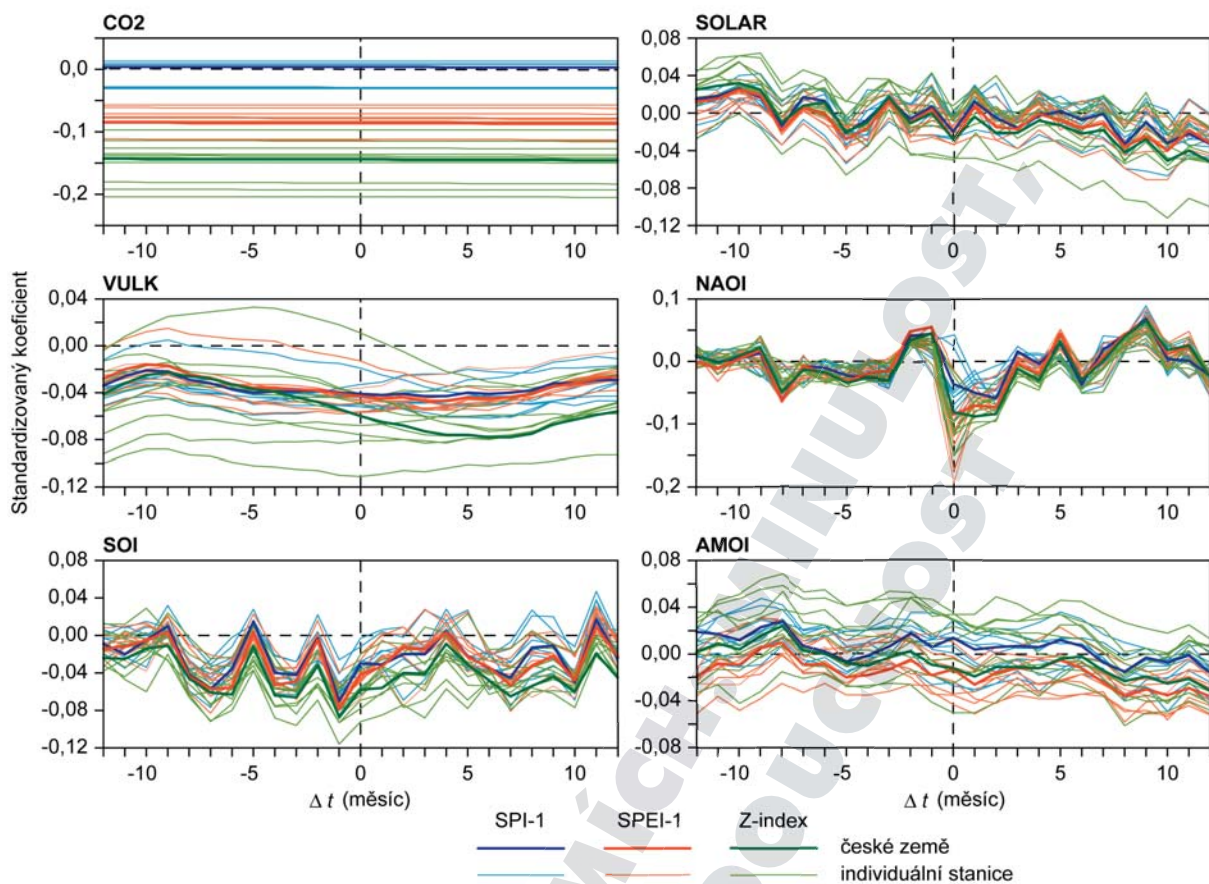
Dalším potenciálně důležitým aspektem atribuční analýzy je možnost časově zpožděné odezvy mezi prediktory a prediktandy. Třebaže by bylo formálně možné stanovovat optimální zpoždění individuálně pro každý typ indexu a lokalitu, výsledky by byly zatíženy dodatečnou neurčitostí vyplývající z přítomnosti stochastické komponenty v analyzovaných řadách. Přednost byla proto dána stanovení širěji platných hodnot časového posunu, vycházejících z převažujícího charakteru pozorovaných závislostí výsledků na časovém zpoždění. Studována byla pouze možnost krátkodobých posunů v rozmezí -12 až +12 měsíců, a to na základě chování indexů krátkodobého sucha (SPI-1, SPEI-1, Z-index).

Z obrázku 169 je zřejmé, že závislost regresních koeficientů na časovém posunu prediktoru  $\Delta t$  může být netriviální a stanovení optimálního zpoždění potenciálně nejednoznačné. Velmi jednoduchá struktura je pozorována pro závislost na  $\text{CO}_2$ -ekvivalentní koncentraci, kdy nepřítomnost krátkodobé variability prediktoru činí výsledky prakticky invariantními vůči posunům v řádu měsíců. U sluneční aktivity už je pozorovaná závislost složitější: rychlejší meziměsíční výkyvy jsou kombinovány s pomalejším trendem a neexistuje výrazný extrém. Obecně navíc

platí, že třebaže existuje možnost odezvy na výkyvy sluneční aktivity, není v současnosti vazba mezi sluneční aktivitou a meteorologickými charakteristikami troposféry jednoznačně prokázána. I geografické rozložení časových zpoždění mezi iradiací a přízemními meteorologickými veličinami může být poměrně složité (například Gray et al., 2013). Kvůli těmto pochybnostem o fyzikální podmíněnosti pozorované závislosti jsou data popisující sluneční příkon používána bez časového posunu. Odezva na působení vulkanického aerosolu je charakterizována relativně hladkými závislostmi s plochým minimem odpovídajícím maximální síle vazby. Zároveň ale existují výrazné rozdíly jak mezi výsledky pro tři studované definice indexu sucha, tak mezi jednotlivými stanicemi. Pro další analýzu byla jako optimální zvolena hodnota  $\Delta t = 3$  měsíce, třebaže neodpovídá přesné poloze maximální odezvy ve všech případech.

Netriviální závislost na časovém zpoždění byla detekována i v případě NAOI. Třebaže velká část kombinací typu indexu sucha a stanice vykazuje maximální sílu vazby pro  $\Delta t = 0$ , v některých případech je pozorovaný tvar odlišný. Nápadné je například minimum pro celorepublikové hodnoty SPI-1, lokalizované v  $\Delta t = 2$  měsíce. Fyzikální opodstatněnost takového výsledku je nicméně sporná a existuje silné podezření na vliv stochastické komponenty ve zkoumaných řadách. Navíc platí, že pro všechny tři varianty krátkodobého sucha vykazuje nadpoloviční většina řad reprezentujících individuální stanice extrém pro  $\Delta t = 0$ . Uvážíme-li také, že maximální síla vazby pro  $\Delta t = 0$  je typická i pro srážkové úhrny a teploty vzduchu, tedy primární řídicí veličiny parametrů sucha, zdá se opodstatněné aplikovat neposunuté řady NAOI jako prediktor pro všechny typy indexů a studované lokality.

V případě SOI naznačují výsledky optimální posun  $\Delta t = -1$  měsíc, tj. hodnoty indexů sucha nejsilněji asociované s hodnotou SOI pozorovanou o měsíc



**Obr. 169.** Hodnoty standardizovaných regresních koeficientů pro jednotlivé vysvětlující proměnné s časovým posunem o  $\Delta t$  (při zachování  $\Delta t = 0$  pro ostatní prediktory) v období 1883–2010. Kladné hodnoty  $\Delta t$  odpovídají konfiguracím, kdy hodnoty prediktora předcházejí hodnotám indexu sucha

**Figure 169.** Values of standardized regression coefficients obtained for individual explanatory variables shifted in time by  $\Delta t$  (while keeping  $\Delta t = 0$  for the rest of the predictors) in the 1883–2010 period. Positive values of  $\Delta t$  (in months) represent configurations with the predictor leading the drought index

později. I když v tomto případě není záporné zpoždění nutně fyzikálně nerealné (studované veličiny jsou součástí složitější struktury vazeb v klimatickém systému, kde se jednotlivé subsystémy ovlivňují navzájem), dodatečné testy naznačují, že přítomnost extrému pro  $\Delta t = -1$  měsíc není stabilní v čase, a je tudíž nedostatečně robustní pro opodstatnění časového posunu. I řada SOI je tedy aplikována v konfiguraci s  $\Delta t = 0$ . Poslední z používaných prediktorů, AMOI, vykazuje pro všechny hodnoty časových posunů jen relativně malé regresní koeficienty, bez přítomnosti výrazného extrému sdíleného většinou testovaných řad. Ani v tomto případě proto nebylo časové posunutí aplikováno.

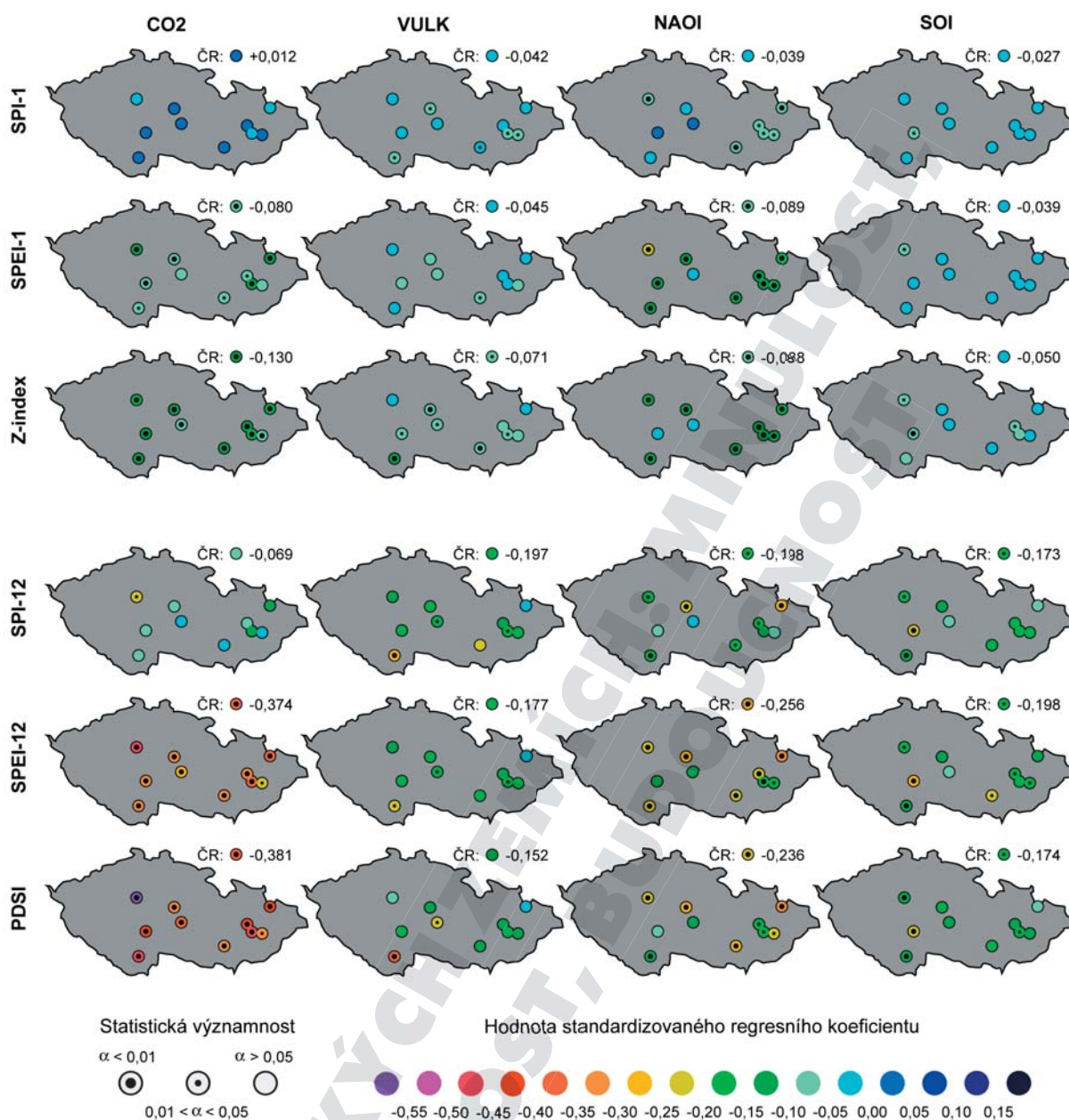
Ověření statistické významnosti regresních koeficientů (respektive toho, zda se statisticky významně liší od nuly) bylo provedeno pro hladiny významnosti  $\alpha = 0,05$  a  $0,01$  za pomoci „bootstrappingu“. Díky přítomnosti silné autokorelace v analyzovaných signálech samotných i v regresních reziduiích byla aplikována bootstrap varianta s blokovým převzorováním (například Wilks, 2006) s velikostí bloku tři

měsíce pro indexy krátkodobého sucha a 48 měsíců pro dlouhodobé indexy.

### 5.2.2 Statistická atribuce sucha v českých zemích

Výstupy regresní analýzy pro celorepublikové řady jednotlivých indexů sucha a pro jednotlivé stanice jsou formou schematických mapek ilustrovány na obrázku 170. Zobrazeny jsou pouze výsledky pro CO<sub>2</sub>, VULK, NAOI a SOI, protože koeficienty pro SOLAR a AMOI byly téměř ve všech případech blízké nule a statisticky nevýznamné. Pro lepší porovnatelnost regresních koeficientů získaných pro různé prediktory a indexy sucha jsou jejich hodnoty prezentovány ve standardizované podobě, což je ekvivalentní situaci, kdy vysvětlující i cílové řady vstupují do regrese standardizovány na nulovou střední hodnotu a jednotkovou směrodatnou odchylku.

V případě vztahu indexů krátkodobého sucha a CO<sub>2</sub> je zřetelný rozdíl mezi chováním SPI-1 na jedné straně a SPEI-1 a Z-indexu na straně dru-



**Obr. 170.** Standardizované regresní koeficienty mezi různě definovanými indexy sucha a vybranými prediktory v období 1883–2010. Tvar symbolu reprezentuje statistickou významnost, barva hodnotu koeficientu

**Figure 170.** Standardized regression coefficients between various drought indices and selected predictors in the 1883–2010 period. Shape of the symbol represents statistical significance, color coefficient's value

hé. Zatímco SPI-1 nevykazuje ani na jedné z analyzovaných stanic vazbu na ekvivalentní koncentraci CO<sub>2</sub>, u SPEI-1 a Z-indexu je indikována výrazná a pro většinu stanic statisticky významná souvislost. Tento rozdíl plyne ze způsobu určení jednotlivých indexů. Zatímco SPI-1 je definován čistě na základě srážkových úhrnů, výpočet SPEI-1 i Z-indexu zohledňuje též teplotu vzduchu, jejíž vyšší hodnoty intenzitu sucha zesilují. Uvážíme-li, že teploty v rámci České republiky rostly v analyzovaném období v korelaci s koncentracemi skleníkových plynů (Brázdil

et al., 2012a; Mikšovský et al., 2014), není antikorelace s indexy sucha překvapivá, jak již ostatně demonstrovali Brázdil et al. (2014a).

Poměrně různorodé výsledky byly získány i pro vztah mezi indexy sucha a vulkanickou činností, přičemž v některých případech byly zaznamenány statisticky významné vazby, byť většinou jen na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Role vulkanismu se tak zdá výraznější než naznačují závěry analýzy provedené Brázdilem et al. (2014a), což může souviset s použitím odlišného deskriptoru vulkanické činnos-



ti. I když vzhledem k rozdílným výsledkům pro různé meteorologické stanice nelze vliv vulkanických erupcí považovat za jednoznačně prokázaný, může existovat tendence k zesílení projevů sucha (respektive snížení hodnot příslušných indexů) v obdobích následujících po velkých sopečných erupcích.

Efekt severoatlantské oscilace je obecně patrný jak v českých teplotních řadách, tak i v řadách srážkových úhrnů (Brázdil et al., 2009a, 2012a, 2012c; Mikšovský et al., 2014). Příslušná spojitost se následně odráží i v řadách indexů sucha, takže na většině stanic jsou indikovány negativní regresní koeficienty. Pozorované vazby jsou v průměru slabší pro SPI-1 než SPEI-1 a Z-index, což může opět souviset s faktem, že SPI představuje čistě srážkový index a že projevy NAO jsou v případě srážek méně jednoznačné než u teploty vzduchu. Pozorované antikorelace mezi NAOI a indexy sucha jsou přitom konzistentní s tendencí k vyšším teplotám a nižším srážkovým úhrnům během pozitivní fáze NAO (Brázdil et al., 2012a; Mikšovský et al., 2014).

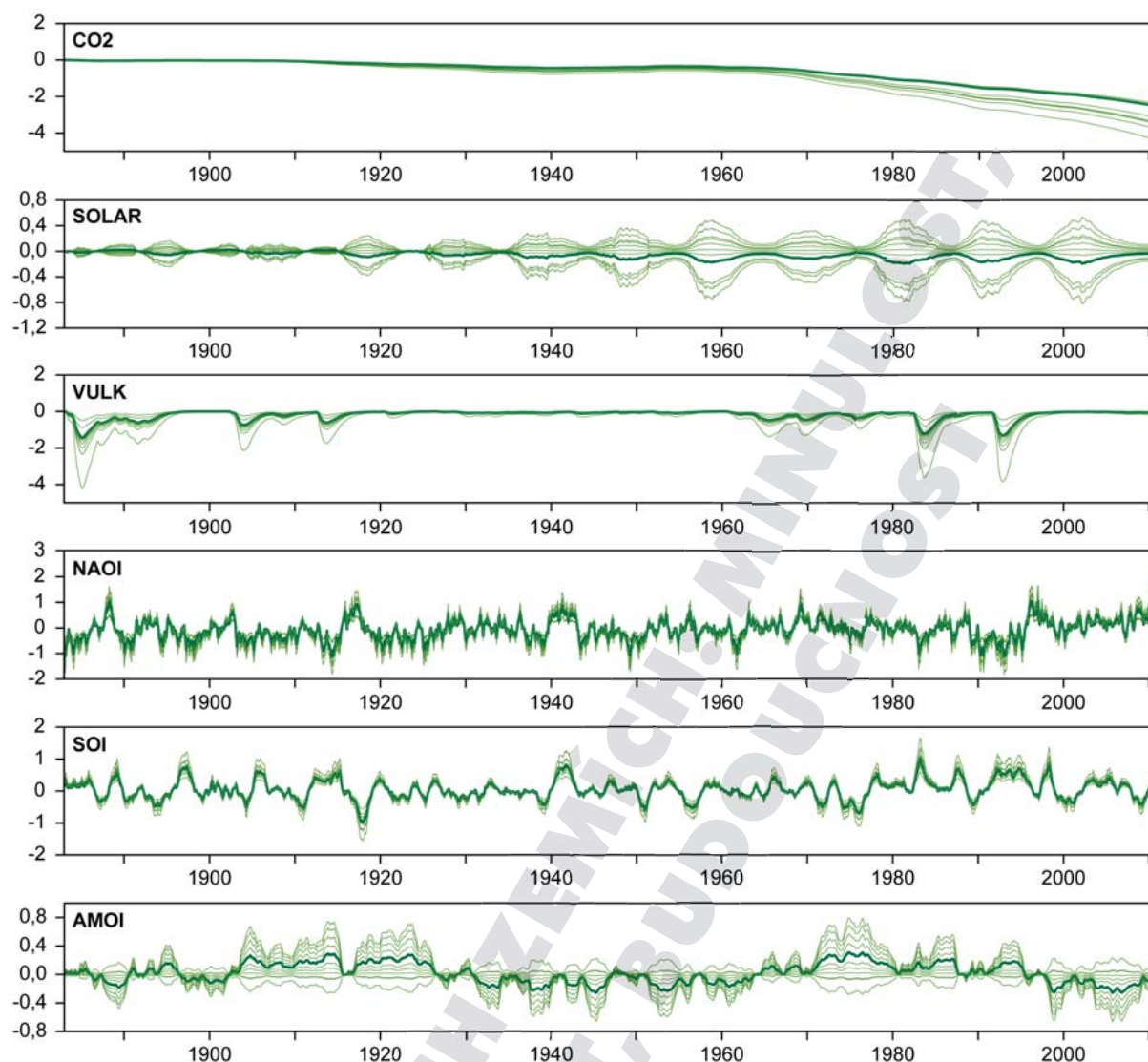
Souvislost s fází jižní oscilace je u indexů krátkodobého sucha málo průkazná, třebaže v několika případech byly nalezeny statisticky významné záporné regresní koeficienty. Na žádné z analyzovaných lokalit nebyla zjištěna významná souvislost s úrovní sluneční aktivity. Tento výsledek naznačuje, že statisticky významné vazby indexů sucha a solární činnosti zjištěné v několika případech Brázdilem et al. (2014a) mohou být spíše statistickým artefaktem než projevem fyzikálně reálné vazby. Rovněž nebyla zjištěna žádná výrazná souvislost s fází AMO, což je v souladu s výsledky citované práce. Obecně platí, že u indexů krátkodobého sucha i v případech s nejsilnější detekovanou závislostí nepřesáhla hodnota rozptylu vysvětleného všemi prediktory 6%, takže role zkoumaných vysvětlujících proměnných je na měsíční časové škále spíše marginální.

Jednoznačnejší odezvy některých vysvětlujících proměnných i obecně vyšší schopnost regresních modelů vysvětlit pozorovanou variabilitu byly nicméně zjištěny v případě indexů dlouhodobého sucha, tedy SPI-12, SPEI-12 a PDSI (dolní část obrázku 170). Role antropogenního „forcingu“ je i v tomto případě velmi výrazná (a statisticky významná) pro teplotně podmíněné SPEI a PDSI, na rozdíl od čistě srážkového SPI. Odezva vulkanické aktivity je stále relativně nejednoznačná — jen menší část stanic v České republice vykazuje statisticky významné regresní koeficienty a numerický rozsah hodnot těchto koeficientů je značný. Role NAO je opět zřetelnější u SPEI a PDSI, kde jak indexy pro celé území repub-

liky, tak pro řady jednotlivých stanic, vykazují statistickou významnost na hladině  $\alpha = 0,01$ . Na rozdíl od krátkodobých indexů je výraznější role SOI, kdy statisticky významné vazby byly indikovány jak pro republikové řady SPI, SPEI i PDSI, tak i pro řadu stanic. Záporné hodnoty příslušných regresních koeficientů přitom naznačují tendenci k výskytu sušších podmínek během episod La Niña a vlhčích během fáze El Niño. Ani úroveň sluneční aktivity, ani fáze AMO nemají na indexy dlouhodobého sucha výraznější vliv. Nejvyšší procento vysvětleného rozptylu bylo zaznamenáno pro SPEI-12 (11–24% pro jednotlivé stanice, 22% v případě indexu pro celou Českou republiku) a PDSI (16–31%, resp. 19%). Pro SPI-12 mají slabší vazby na CO<sub>2</sub> i NAOI za následek podstatně horší aproximaci (podíl vysvětleného rozptylu v rozsahu 6–13% pro individuální stanice a 10% pro celorepublikovou řadu).

Pro lepší představu o charakteru komponent spojených s jednotlivými vysvětlujícími proměnnými je na obrázku 171 zachycen časový průběh složek regresního zobrazení získaných při aproximaci řady PDSI pro celorepublikové hodnoty i individuální stanice. Patrná je relativní shoda jednotlivých signálů pro NAOI a do značné míry i pro CO<sub>2</sub> a SOI. Značná variabilita v síle odezvy je naopak zřetelná pro složku asociovanou se sopečnou činností. Různorodost výsledků pro jednotlivé lokality pak vynikne ještě více pro složky odpovídající vlivu solární aktivity a AMO, kdy nepanuje shoda ani ve znaménku odezvy.

Výše diskutované výsledky byly získány analýzou indexů sucha jako kompletních časových řad, bez rozlišení na jednotlivé sezony roku. Tento přístup má výhodu v zahrnutí maximálního dostupného množství údajů do výpočtů, ale ignoruje možnost odlišného charakteru odezvy pro různá roční období. Přitom analýza indexů krátkodobého sucha provedená zvlášť pro jednotlivá roční období naznačuje, že se sezonně podmíněné chování v analyzovaných datech skutečně projevuje (obr. 172). Nejvýraznější kontrast byl detekován pro vliv NAOI, kdy zimní hodnoty všech tří indexů sucha, zejména SPI, mají tendenci ke kladné korelaci s NAOI, v protikladu k antikorelaci během zbytku roku. Toto chování je zajímavé vzhledem k faktu, že jak teplota vzduchu, tak i srážky vykazují pro jednotlivé části roku korelace s NAOI sice proměnlivé síly, leč takřka uniformního znaménka (kladné v případě teploty, záporné pro srážky — viz Brázdil et al., 2012a). Důvod pro tuto diskrepanci během zimních měsíců může spočívat v transformaci používané při výpočtu inde-



**Obr. 171.** Příspěvky jednotlivých prediktorů v řadě PDSI v období 1883–2010. Silná čára představuje výsledky pro průměrnou řadu českých zemí a tenké čáry pro jednotlivé stanice. Komponenta pro CO<sub>2</sub> je zobrazena relativně vůči lednu 1883, SOLAR vůči období 1883–1893, zbylé proměnné vůči nulové hodnotě příslušného prediktora

**Figure 171.** Contributions of individual predictors to PDSI series in the 1883–2010 period. Bold line represents results for mean Czech Lands series, thin lines correspond to individual stations. The CO<sub>2</sub> component is displayed relative to January 1883, SOLAR relative to the 1883–1893 period, the rest of the components relative to zero value of the respective predictor

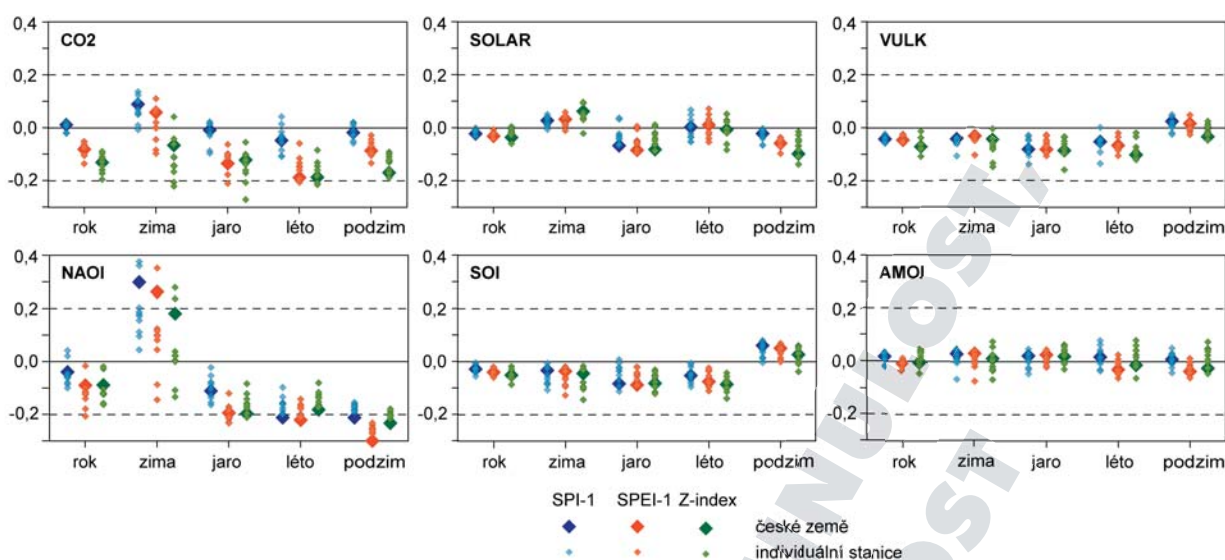
xů sucha, díky které vztah mezi indexy sucha a absolutním množstvím srážek může přecházet v netriviální nelineární funkci. Hodný zřetel je též značný rozsah hodnot zimních regresních koeficientů pro NAOI, indikující výraznou nejednoznačnost příslušných vazeb.

U ostatních regresorů jsou sezonní rozdíly méně výrazné než pro NAOI, přestože jsou v některých případech detekovatelné. Pro SOI byly stanoveny převážně záporné regresní koeficienty, s výjimkou podzimu; ve všech ročních obdobích jsou však hodnoty koeficientů malé a většinou statisticky nevýznamné. V případě AMOI nebyla pozorována žádná

zřetelná závislost na ročním období a hodnoty jsou ve všech případech malé a statisticky nevýznamné, stejně jako tomu bylo i pro roční údaje. Totéž platí i v případě sluneční aktivity. U vazby na antropogenní působení (tedy CO<sub>2</sub>-ekvivalentní koncentrace) byla pozorována určitá tendence k vyšším (resp. méně záporným) hodnotám v zimním období, patrná zvláště pro SPEI-1.

### 5.2.3 Závěry z atribuční analýzy

Výsledky atribuční analýzy, provedené pomocí lineární regrese na indexech krátkodobého i dlouhodobého sucha, potvrdily vliv některých globálních



**Obr. 172.** Roční a sezonní hodnoty standardizovaných regresních koeficientů pro indexy krátkodobého sucha reprezentující české země a jednotlivé stanice (období 1883–2010)

**Figure 172.** Annual and seasonal values of standardized regression coefficients for short-term drought indices in the 1883–2010 period, representing the Czech Lands (large symbols) and individual stations (smaller symbols)

klimatotvorných faktorů na vlhkostní režim České republiky. Výrazná vazba byla identifikována zejména ve vztahu k antropogennímu působení, kdy růst teplot generovaný navýšením koncentrací skleníkových plynů snižuje hodnoty indexů s vazbou na teplotu vzduchu (SPEI, Z-index, PDSI). U SPI vazba na antropogenní činnost zaznamenána nebyla. Potvrzena byla i role severoatlantské oscilace, jejíž fáze se u většiny (byť ne všech) kombinací indexu sucha a meteorologické stanice projevuje přítomností statisticky významných komponent. V tomto případě byla též zaznamenána sezonalita příslušných vztahů. Zatímco v zimě má kladná fáze NAO tendenci hodnoty indexů sucha zvyšovat, pro ostatní sezony a rok je typická výrazná antikorelace. Získané výsledky naznačují též možný vliv sopečné činnosti, a to s mírnou tendencí k sušším podmínkám v obdobích následujících velké vulkanické erupce, byť statisticky významné vazby jsou indikovány jen pro některé meteorologické stanice. U žádného ze studovaných indexů sucha nebyl zaznamenán významný vliv sluneční činnosti či fáze atlantské multidekádové oscilace. Výsledky se lišily též podle použitého časového měřítka. To se týká například vlivu jižní oscilace, jen slabě vyjádřeného v indexech definovaných na bázi jednotlivých měsíců, ale podstatně zřetelnějšího v signálech průměrovaných přes delší období, kdy záporné hodnoty SOI (odpovídající El Niňu) korelují s výskytem vlhčích podmínek. Obecně platí, že rozptýlený vysvětlený regresním zobrazením je výrazně vyšší v případě indexů dlouhodobého sucha,

kdy časové průměrování potlačuje fluktuační s vyšší frekvencí, vázané na střídání synoptických situací a podmíněné spíše lokálními než velkoprostorovými faktory.

Je ale třeba zdůraznit, že zde aplikovaná atribuční analýza je čistě statistickou technikou a jako taková hodnotí pouze formální podobnost tvarů studovaných časových řad, která může být jak důsledkem fyzikálně podmíněných vazeb, tak i dílem náhody. Aplikované testy statistické významnosti mohou pomoci s identifikací reálných souvislostí, ale i ony mají svá omezení (zejména pokud jde o dlouhodobé trendy). Získané výsledky je proto třeba posuzovat spíše jako indikátor existujících tendencí než zdroj kvantitativně přesných závěrů o síle jednotlivých vazeb. Z tohoto důvodu nebyly diskutovány ani specifické rysy chování indexů sucha na jednotlivých studovaných stanicích, přestože mohou existovat určitá lokální specifika.

### 5.3 SUCHO A ZMĚNY VE VYUŽÍVÁNÍ KRAJINY

Změny ve využití krajiny a s tím související podmínky udržení vody v krajině lze studovat několika způsoby. Jedním z nich je analyzovat dlouhodobé trendy využití ploch pomocí dat katastrální evidence s využitím databáze LUCS Czechia (Winklerová et al., 2008). Jejím výhodou je dlouhá časová řada dat, relativní přesnost a jistá prvotní generalizace. Nevýhodou ovšem je, že se jedná pouze o bi-



lanční data za jednotlivé katastry, zatímco do případných prostorových změn uvnitř katastrálního území nahlédnout nelze. Druhý způsob využívá mapového překryvu a v prostředí GIS umožňuje analyzovat detailní změny mezi sledovanými kategoriemi na základě podrobných map dvou či více časových horizontů. Obě uvedené metody a jejich základní výsledky jsou prezentovány v této kapitole se zřetelem na situaci týkající se vody/sucha v krajině.

### 5.3.1 Základní informace o databázi LUCC Czechia

Z databáze LUCC Czechia vycházejí všechny údaje prezentované analýzy. Zmíněná databáze, umožňující analyzovat dlouhodobé změny využití ploch (land-use) v českých zemích, je založena na evidenci Katastrálního úřadu a jeho archivu. Obsahuje data pro 13 000 katastrálních území za roky 1845, 1896, 1948, 1990, 2000 a 2010 (Winklerová et al., 2008; <http://www.lucc.ic.cz>). Tato informační základna byla na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze upravena do srovnatelné podoby pro osm základních a tři sumární kategorie z 13 000 katastrálních území pro přibližně 9 000 srovnatelných územních jednotek (SÚJ) o průměrné velikosti 886 ha (80 % tvořených jedním katastrem, ostatní z dvou či více). Sledovány byly následující kategorie: orná půda, trvalé kultury, louky, pastviny, lesní plochy, zastavěné, vodní a ostatní plochy (v roce 2010 byly oproti předchozím rokům sloučeny v evidenci louky a pastviny do kategorie trvalých travních porostů). Bližší informace o datové základně (<http://www.lucc.ic.cz>) jsou k dispozici v četných publikacích (například Kabrda, Jančák, 2007; Bičík et al., 2010, 2012a). V této monografii využijeme toho, že jednou ze sledovaných kategorií jsou vodní plochy a vodoteče.

Právě kategorie vodních ploch přináší značné potíže při sledování jejich rozsahu. Prvním problémem je fakt, že vodní plochy na území českých zemí představují v jednotlivých letech vcelku velmi malý podíl na rozloze státu, navíc nepřilíš proměnlivý. Druhý problém spočívá v tom, že ve většině katastrů, případně SÚJ (vytvořených z katastrů, mezi nimiž došlo k výměně části území), představují vodní plochy obvykle podíl pod úrovní 1 % rozlohy SÚJ. Tedy případné rozdíly mezi katastry nebo většinou regionů se budou pohybovat na hranici statistické chyby. Třetím problémem je skutečnost, že vodní plochy jako jediná ze sledovaných kategorií nejsou ve studovaných časových horizontech porovnatelné. Je tomu tak především proto, že v roce 1948 byly jako vodní plochy evidovány pouze močály, jezera a rybní-

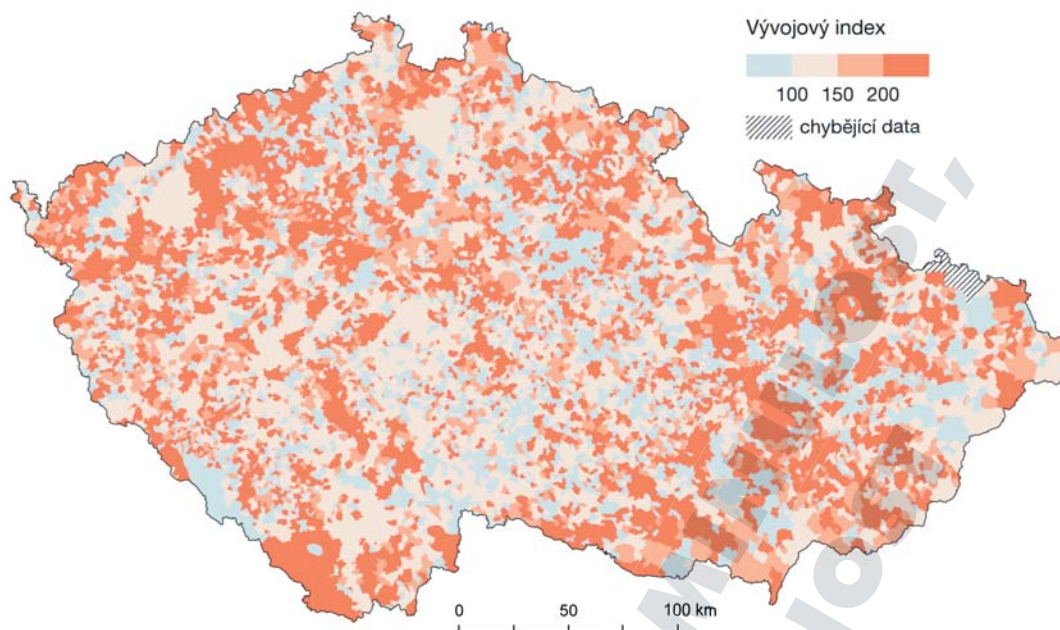
ky, zatímco tekoucí vody byly zahrnuty do ostatních ploch. Proto databáze obsahuje pro rok 1948 údaj za vodní plochy z roku 1948 plus tekoucí vody z roku 1845, přičemž případný rozdíl proti realitě lze pokládat za zanedbatelný pro 99 % SÚJ. Ostatní plochy v roce 1948 byly o stejnou rozlohu tekoucích vod z roku 1845 sníženy (podrobnosti k metodice viz Bičík et al., 2010).

Uvedený nedostatek a předpokládané malé rozdíly v rozsahu vodních ploch v jednotlivých sledovaných letech vedly k vytvoření pouze jednoho kartogramu umožňujícího analyzovat změny vodních ploch jen za celkové studované období 1845–2010 (obr. 173). Plyne z něho především zřetelný nárůst vodních ploch podél řek, které byly ovlivněny výstavbou významných vodních nádrží, jako například na Vltavě, Svatce či Jihlavě. Patrná je také výstavba vodních nádrží v blízkosti významných industriálních komplexů či nádrže vybudované pro účely zásobování pitnou vodou. Určitá územní koncentrace úbytku vodních ploch je zřejmá v nížinných oblastech, jako je například Polabí či Haná. Vodní plochy ubývaly též na mnoha místech Českomoravské vrchoviny, kde je dlouhodobě rozvíjena a doposud udržována intenzivnější zemědělská činnost. Naproti tomu na řadě míst nelze určit přesnou příčinu významnějších přírůstků a úbytků vodních ploch, která by si zasloužila detailnější analýzu na mikroregionální úrovni.

### 5.3.2 Trendy změn české krajiny od 19. století

V průběhu dvou století evidence využití ploch v českých zemích je patrné, že v krajině došlo k velkým změnám. Ty byly vyvolány celkovou modernizací společnosti a proměnou její sociálně-geografické územní struktury. Právě změna sociálně-geografických faktorů stále výrazněji ovlivňovala způsoby využívání krajiny. Na celkových údajích za české země v tabulce 13 je patrné několik jednoznačných trendů:

- úbytek orné půdy od konce 19. století (o 13,5 %)
- dlouhodobý úbytek trvalých travních porostů jako důsledek intenzifikace zemědělství, vystřídaný po roce 1990 naopak nárůstem těchto ploch ztrátou socialistických dotací do zemědělství (jejich skutečný rozsah v terénu po roce 1990 byl a je bezpochyby vyšší než ukazují údaje tabulky 13, případně kartogramy rozlohy trvalých travních porostů podle jednotlivých SÚJ)
- trvalý nárůst lesních ploch (téměř o 5 %)
- nárůst vodních ploch o polovinu (o 0,7 %)
- zvětšení zastavěných ploch na téměř trojnásobek



**Obr. 173.** Změny v rozloze vodních ploch v českých zemích v letech 1845–2010 vyjádřené vývojovým indexem (hodnota 100 odpovídá stavu v roce 1845)

**Figure 173.** Changes in the area of water bodies in the Czech Lands during the 1845–2010 period expressed by the evolution index (value 100 corresponds to the situation in 1845)

– bek (o 1,1 %)

- zvětšení ostatních ploch téměř na čtyřnásobek (o 6,6 %).

Z hlediska zadržování vody v krajině je důležité studium celkových změn ve využívání krajiny prostřednictvím jednoduché analýzy makrostruktury ploch. Makrostrukturou označujeme upravení sledované struktury sedmi kategorií do tří hlavních tříd na zemědělskou půdu (orná půda + trvalé kultury + trvalé travní porosty), lesní plochy a jiné plochy (zastavěné + vodní + ostatní plochy). Změny makrostruktury mezi pěti časovými horizonty názorně dokumentují odlišné trendy v jednotlivých obdobích a také velmi rozdílné zastoupení možných šesti typů

změn. Ty sledujeme pomocí nárůstu (včetně stejné) rozlohy sumární kategorie (označeno znaménkem +) a úbytku rozlohy (označeno znaménkem -). Z tabulky 14 je zřejmé, že frekvence zastoupení počtu SÚJ v jednotlivých časových úsecích období 1845–2010 je velmi diferencovaná s jednoznačným úbytkem zemědělské půdy a nárůstem zbylých dvou sumárních kategorií.

Změny v územním rozložení tří typů změn makrostruktury využití ploch dokumentuje obrázek 174. Zcela dominantní je typ s úbytkem zemědělské půdy a nárůstem lesních a ostatních ploch. Druhým významným typem, především v nižších a úrodnějších polohách České republiky, je typ s úbytky zemědělské půdy a lesů a s nárůstem ostatních

**Tab. 13.** Změny využití ploch v českých zemích v letech 1845–2010 v % celkové rozlohy

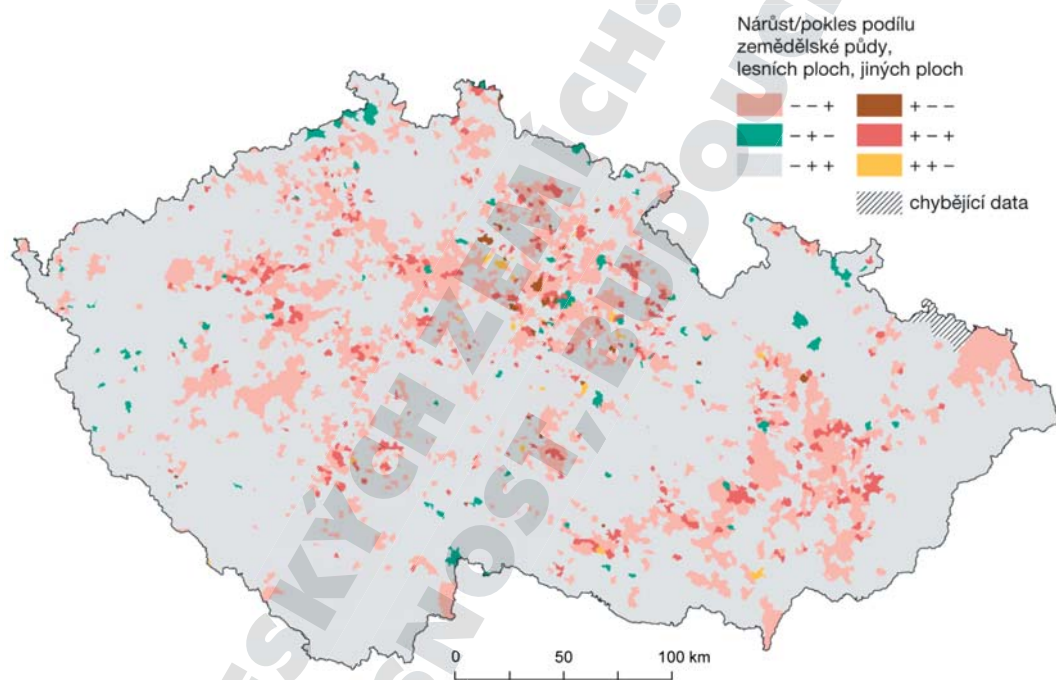
**Table 13.** Changes in the land-use structure in the Czech Lands during the years 1845–2010 in % of the entire area

Kategorie	1845	1896	1948	1990	2010
orná půda	48,22	51,59	49,87	40,99	38,14
trvalé kultury	1,14	1,46	1,90	2,99	3,03
trvalé travní porosty	17,41	14,12	12,95	10,50	12,50
lesy	28,90	28,96	30,21	33,33	33,70
vodní plochy	1,44	0,00	1,14	1,98	2,07
zastavěné plochy	0,59	0,00	1,08	1,59	1,67
ostatní plochy	2,30	3,87	2,85	8,62	8,89

**Tab. 14.** Zastoupení typů využití ploch podle změny sumárních kategorií SÚJ českých zemí v letech 1845–2010 (podle podílu sumární rozlohy zastoupených SÚJ v %). První místo v typu změny charakterizuje zemědělskou půdu, druhé lesy a třetí jiné plochy (vodní + zastavěné + ostatní); \* odpovídá podílu 20 SÚJ s chybějícími údaji<sup>78</sup> (některé SÚJ nebyly ani součástí českých zemí)

**Table 14.** Portion of land-use types according to changes in summary categories SÚJ ("basic territorial unit") in the Czech Lands during 1845–2010 (according to portion of entire area represented by SÚJ in %). The first place in the type of change characterizes agricultural land, the second one forests and the third one other land (water + build-up + remaining); \* corresponds to the portion of 20 SÚJ with missing data (some SÚJ were not a part of the Czech Lands)

Typ	1845–1896	1896–1948	1948–1990	1990–2010	1845–2010
--+	3,7	17,4	9,6	21,1	16,5
-+-	22,3	2,7	0,4	15,9	0,9
-++	16,5	72,2	89,8	43,2	79,3
+--	32,7	0,6	0,0	5,0	0,2
+ - +	13,5	6,2	0,1	3,0	2,6
++-	10,9	0,4	0,0	11,7	0,2
beze změny	0,0	0,0	0,0	0,1	-
chybějící data	0,4*	0,4*	-	-	0,3*



**Obr. 174.** Regionální diferenciacce typů změn využití ploch mezi roky 1845 a 2010 v českých zemích  
**Figure 174.** Regional differentiation of land-use changes types between 1845 and 2010 in the Czech Lands

ploch. Výskyt zbylých čtyř možných typů je v podstatě zanedbatelný. Necelá tři procenta SÚJ zaujímá typ s nárůstem rozlohy zemědělské půdy a ostatních ploch a úbytkem lesů, který se podobně jako druhý vyskytuje nejčastěji v nížinách (především ve střed-

ním Polabí a v Pomoraví).

Různou schopnost udržet vodu v krajině vykazují také studované plochy v rámci kategorie zemědělské půdy. Tak podstatně vyšší schopnost zadržet vodu v jednotlivých SÚJ v krajině vykazují v porovnání s ornou půdou trvalé travní porosty. Naproti tomu kategorie trvalých kultur soustřeďující vinice, chmelnice, zahrady a sady zahrnuje jak kultury silně ohrožené erozí (vinice, chmelnice), tak kultury vůči erozi odolnější a navíc v průběhu sledovaných let podstat-

<sup>78</sup> Zařazením dalších dvou časových horizontů roků 1896 a 2010 bylo nutné, vzhledem k dříve publikovaným pracím (například Hrnčiarová et al., eds., 2009; Bičík et al., 2010), snížit počet SÚJ z 8 903 na 8 812 z důvodu porovnatelnosti jejich rozlohy ve všech časových horizontech.



ně měnící svoji kvalitu a intenzitu využívání. Jde zejména o velký rozdíl mezi tradičními sady, mnohdy s podsevem obilnin či luštěnin, později jen se zatrávněním, a dnes s vysoce intenzivním hospodařením ve sponu, s umělou závlahou a používáním chemických ochranných prostředků. Podobně je tomu u zahrad, kde oproti někdejšímu ovocnářsko-zelinářsky intenzivně obdělávaným malým pozemkům ztratily dnešní zahrady často své dřívější produkční využití; jsou osázeny trávnikem a okrasnými dřevinami a staly se spíše prostředkem rekreace a reprezentace.

Následující tabulka 15 podává přehled o trendech ve struktuře zastoupení jednotlivých kategorií zemědělské půdy. Uvažují se čtyři kategorie zemědělské půdy (orná půda, trvalé kultury, louky a pastviny) z hlediska přírůstku či stagnace (znaménko +) nebo úbytku (znaménko -) rozlohy na podobném principu jako u tabulky 14. Také zde lze vymezit šest základních typů, ale vzhledem k možnému nárůstu či úbytku celkové plochy zemědělské půdy jsou zde uvedeny i kategorie + + + + či - - - -, tedy přírůstek či úbytek rozlohy všech čtyř kategorií. Tabulka 15 zobrazuje pro 8 903 SÚJ rozložení podle jednotlivých typů struktury zemědělského půdního fondu ve třech obdobích mezi roky 1845 a 2000 (konkrétně 1845–1948, 1948–1990 a 1990–2000). Právě do roku 2000 bylo ještě možné rozlišit zvláště louky a pastviny, které byly následně sloučeny do jediné kategorie trvalé travní kultury. Pro hodnocení vody v krajině může být toto podrobnější členění výhodnější a navíc umožňuje analyzovat v uvedených třech obdobích plochy zařazených SÚJ z hlediska nárůstu a stability, resp. úbytku rozlohy. Pouze první období vykázalo na 79,1 % území českých zemí nárůst orné půdy a na 20,1 % naopak úbytek orné půdy (ve druhém období byl tento poměr 45,0 : 54,8 % a ve třetím 40,0 : 59,8 %).<sup>79</sup> V případě luk byl poměr jejich nárůstu a úbytku ve třech obdobích postupně 56,4 : 43,4 %, 49,2 : 50,6 % a 62,3 : 37,4 %. U pastvin je tento trend obrácený. Vzhledem k razantnímu zvýšení počtu ustájeného skotu a omezení chovu koz a ovcí již koncem 19. stole-

livých typů struktury zemědělského půdního fondu ve třech obdobích mezi roky 1845 a 2000 (konkrétně 1845–1948, 1948–1990 a 1990–2000). Právě do roku 2000 bylo ještě možné rozlišit zvláště louky a pastviny, které byly následně sloučeny do jediné kategorie trvalé travní kultury. Pro hodnocení vody v krajině může být toto podrobnější členění výhodnější a navíc umožňuje analyzovat v uvedených třech obdobích plochy zařazených SÚJ z hlediska nárůstu a stability, resp. úbytku rozlohy. Pouze první období vykázalo na 79,1 % území českých zemí nárůst orné půdy a na 20,1 % naopak úbytek orné půdy (ve druhém období byl tento poměr 45,0 : 54,8 % a ve třetím 40,0 : 59,8 %).<sup>79</sup> V případě luk byl poměr jejich nárůstu a úbytku ve třech obdobích postupně 56,4 : 43,4 %, 49,2 : 50,6 % a 62,3 : 37,4 %. U pastvin je tento trend obrácený. Vzhledem k razantnímu zvýšení počtu ustájeného skotu a omezení chovu koz a ovcí již koncem 19. stole-

<sup>79</sup> Uváděné poměry většinou nedávají přesně 100%, což je způsobeno poměrně početným souborem SÚJ, v němž se jednotlivá čísla zaokrouhlovala.

**Tab. 15.** Typy změn struktury zemědělské půdy mezi roky 1845 a 2000 v českých zemích; \* značí SÚJ s chybějícími údaji (některé nebyly součástí českých zemí)

**Table 15.** Types of changes in the structure of agricultural land between 1845 and 2000 in the Czech Lands; \* corresponds to SÚJ with missing data (some of them were not a part of the Czech Lands)

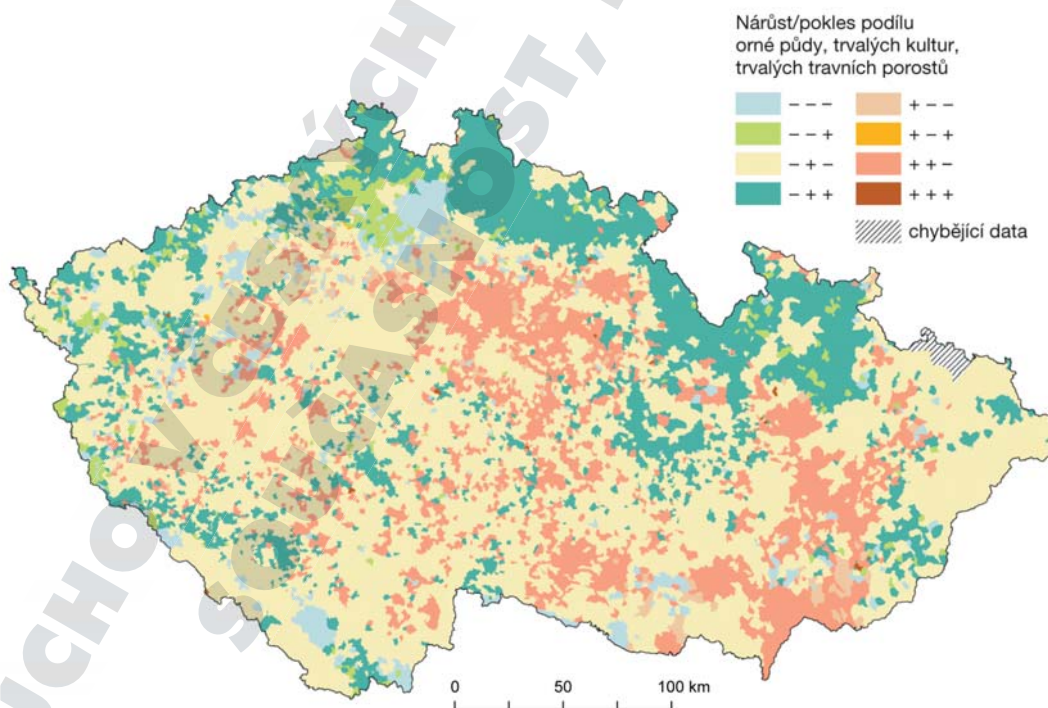
Typ	1845–1948				1948–1990				1990–2000			
	Počet SÚJ		Rozloha v roce 1948		Počet SÚJ		Rozloha v roce 1990		Počet SÚJ		Rozloha v roce 2000	
	abs	%	km <sup>2</sup>	%	abs	%	km <sup>2</sup>	%	abs	%	km <sup>2</sup>	%
*	19	0,2	264	0,3	19	0,2	178	0,2	23	0,3	192	0,2
+ + + +	3	0,0	9	0,0	0	0,0	0	0,0	106	1,2	445	0,6
+ + + -	3 080	34,6	26 271	33,3	770	8,7	5 662	7,2	416	4,7	2 958	3,8
+ + - +	79	0,9	493	0,6	381	4,3	4 221	5,4	522	5,9	3 649	4,6
+ + - -	2 939	33,0	26 728	33,9	2 029	22,8	19 223	24,4	946	10,6	8 274	10,5
+ - + +	9	0,1	38	0,1	13	0,2	46	0,1	193	2,2	1 260	1,6
+ - + -	412	4,6	3 278	4,2	207	2,3	11 454	1,5	382	4,3	3 396	4,3
+ - - +	24	0,3	150	0,2	166	1,9	1 410	1,8	364	4,1	2 878	3,7
+ - - -	495	5,6	4 996	6,3	443	5,0	2 919	3,7	629	7,1	5 268	6,7
- + + +	165	1,9	1 158	1,5	1 361	15,3	12 640	16,0	1 503	16,9	14 797	18,8
- + + -	1 207	13,6	11 375	14,4	1 642	18,4	12 997	16,5	1 457	16,4	14 081	17,9
- + - +	130	1,5	1 083	1,4	890	10,0	9 132	11,6	437	4,9	3 404	4,3
- + - -	179	2,0	1 986	2,5	411	4,6	5 699	7,2	269	3,0	2 702	3,4
- - + +	42	0,5	187	0,2	245	2,8	1 366	1,7	800	9,0	8 444	10,7
- - + -	104	1,2	720	0,9	142	1,6	829	1,1	691	7,8	6 181	7,8
- - - +	16	0,2	127	0,2	184	2,1	1 392	1,8	165	1,9	937	1,2
Celkem	8 903		78 868		8 903		78 861		8 903		78 865	

tí byl zaznamenán výrazný úbytek rozlohy pastvin, což se projevilo již v letech 1845–1948, kdy nárůst zaznamenalo jen 5,3 % SÚJ, ale úbytek 94,5 % SÚJ; ve druhém období to bylo 36,4 : 63,4 % a ve třetím 45,9 : 53,8 % SÚJ. Jedině trvalé kultury vykazují převahu nárůstu rozlohy ve všech třech sledovaných časových intervalech (87,4 : 12,4 %, 84,1 : 15,7 % a 63,5 : 36,2 %). To lze zřejmě přičítat hlavně zvětšení rozlohy zahrad, jejichž produkční funkce byla nahrazena funkcí rekreačně-reprezentační. Nicméně i nárůst rozlohy vinic v období před vstupem České republiky do Evropské unie byl významný, neboť jejich rozloha se zvětšila asi o šestinu.

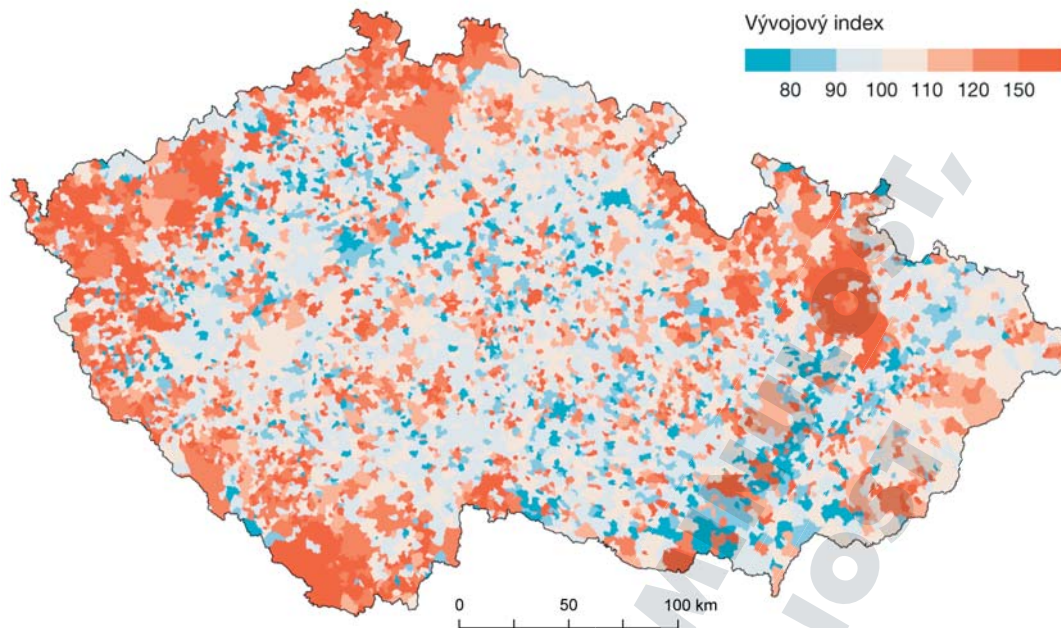
Obrázek 175 naznačuje územní rozložení jednotlivých typů změn zjednodušené struktury zemědělské půdy. Na rozdíl od tabulky 15 jsou v něm uvedeny jen tři kategorie (louky a pastviny jsou sloučeny), protože rozdíl mezi loukami a pastvinami se v průběhu 170 let mnohde smazal. Navíc obrázek 175 vyjadřuje souhrn změn mezi krajními roky sledovaného období. Jednoznačně dominujícím typem vývoje mezi lety 1845 a 2010 je typ charakterizovaný úbytky orné půdy a trvalých travních porostů a nárůstem trvalých kultur (– + –). Je zastoupen asi na 60 % plochy českých zemí. Podstatný je i výskyt dalších dvou typů, zastoupených asi na 15 % území. První (– + +) je vázán spíše na vyšší nadmořskou výšku a svažité polohy a druhý (+ + –) především na nížinné polo-

hy v Polábí a Pomoraví, ale rozptýleně i na další oblasti. Další typy se vyskytují spíše výjimečně v rozsahu několika málo procent našeho území. Pokud jde o jednotlivé dílčí časové úseky, pak se jako nejzajímavější jeví období 1845–1896. Největší index změny, který zobrazuje podíl ploch, na nichž došlo mezi dvěma uvedenými roky bilančně ke změně kategorie, vykazují především nížinné oblasti intenzivního zemědělství. Jedná se o vrcholné období extenzivního rozvoje zemědělství, po němž jak orná, tak i zemědělská půda prakticky nepřetržitě ubývaly. V následujících studovaných časových intervalech se nejvyšší index změny přesunul do městských lokalit nebo do jejich zázemí.

Poměrně výraznou změnou v celkových trendech dlouhodobých změn struktury využití ploch byl nárůst trvalých travních porostů po roce 1990, způsobený především ztrátou dotací z období socialismu. Ty přispívaly k udržení rozsahu orné půdy i ve svažitých a málo úrodných oblastech, kde navíc intenzifikační opatření (především vysoké množství umělých hnojiv) nepřinášela obdobný efekt jako v nižších polohách, pro zemědělství výhodnějších. Přestože i před rokem 1989 ubývalo orné půdy a narůstal rozsah trvalých travních porostů, byl nárůst jejich rozlohy od roku 1990 z ekonomických důvodů podstatně intenzivnější a rozsahem daleko větší (obr. 176). Navíc se projevil jejich další úbytek v oblastech, kte-



**Obr. 175.** Regionální diferenciacce typů dlouhodobých změn zemědělské půdy v letech 1845 až 2010 v českých zemích  
**Figure 175.** Regional differentiation of long-term changes types in agricultural land between 1845 and 2010 in the Czech Lands



**Obr. 176.** Změna rozsahu ploch trvalých travních porostů mezi lety 1990 a 2010 v České republice vyjádřená vývojovým indexem (rok 1990 odpovídá hodnotě 100)

**Figure 176.** Changes in the area of permanent grassland between 1990 and 2010 in the Czech Republic expressed by the evolution index (the 1990 year corresponds to the value of 100)

ré měly pro intenzivní zemědělství vhodnější podmínky, tedy především v nižších polohách a na lepších půdách.

Průkazným ukazatelem umožňujícím celkové zhodnocení krajinných změn je index změny, který ukazuje jedním číslem celkovou intenzitu změny využití ploch mezi dvěma časovými horizonty, ovšem bez ohledu na jeho „kvalitu“, tedy strukturu:

$$IC_{A-B} = 100 \frac{\sum_{i=1}^n |P_{iB} - P_{iA}|}{2}, \quad (22)$$

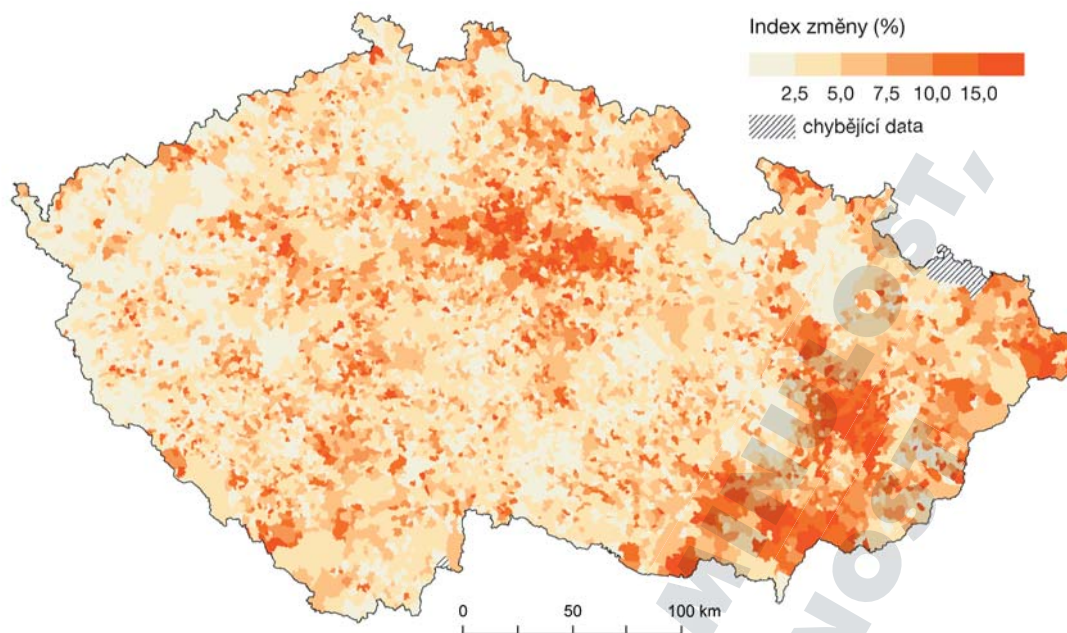
kde  $IC_{A-B}$  je index změny v období  $A$  až  $B$ ,  $n$  je počet kategorií využití ploch,  $P_{iA}$  je podíl kategorie  $i$  na počátku sledovaného období a  $P_{iB}$  na jeho konci. Jde tedy o podíl ploch dané územní jednotky, na nichž mezi dvěma časovými horizonty došlo ke změně kategorií využití ploch. Jedná se tedy pouze o bilanční vyhodnocení na základě údajů z databáze odvozené z údajů Katastrálního úřadu, takže analyzuje pouze intenzitu změn. Protože bilanční data za SÚJ nemohou zachytit vnitřní změny (například posun louky na jiné místo, třeba i stejného rozsahu), je index změny spíše orientační ve smyslu intenzity celkových realizovaných změn využití ploch. Skutečný rozsah změn využití krajiny je v dané územní jednotce vždy vyšší. Pro takováto hodnocení je pak nutné využít jiné, především geoekologické metody hodnocení krajinných změn (například Lipský,

1998, 2000, 2001; Bičík et al., 2010).

Index změny mezi roky 1990 a 2010 za celou Českou republiku činí 1,95. Toto číslo vyjadřuje, k jakému bilančnímu pohybu došlo mezi všemi sledovanými kategoriemi (kvůli roku 2010 jen sedmi). V letech 1948–1990 je index změny 11,33, tedy pětkrát vyšší než v období transformačním, což nelze jistě přičítat jen větší délce tohoto časového intervalu. Za podstatně delší období mezi roky 1845 a 1948 byl totiž index jen 5,05. Bezpochyby je to způsobeno zmíněnou změnou koncem 19. století, kdy extenzivní rozvoj zemědělství byl nahrazen podstatně intenzivnějším využitím menšího rozsahu orné i zemědělské půdy. Vzhledem k tomu, že mezi lety 1845 a 1896 došlo k zásadní změně ve vývoji krajiny, ukazuje obrázek 177 celkovou intenzitu proměny využití ploch. Plyne z něho, že zásadní proměna nespadá do oblastí velkých měst, ale především do úrodných nížin. Hlavním důvodem byla snaha o získání další úrodné půdy na úkor vodních ploch (mokřady, slepá ramena, tůňe, rybníky, a to především kvůli pěstování cukrové řepy a obilnin), zbytků lesních ploch a také rozoráním luk a pastvin. To souviselo s větším přesunem dobytka do stájí, kdy byl živěn krmivými získanými z orné půdy. Regionálně nejvýznamnějším územím z tohoto pohledu bylo střední Polabí, Pomoraví a Dyjsko-svratecký úval.

Další metodou aplikovatelnou pro hodnocení





**Obr. 177.** Intenzita změn ve využití ploch v českých zemích mezi lety 1845 a 1896 vyjádřená indexem změny  
**Figure 177.** Intensity of changes in land-use in the Czech Lands between 1845 and 1896 expressed by "index of change"

celkových změn využití ploch v krajině je metoda hlavních krajinných procesů, použitá autory ze Slovinska (Gabrovec, Kladnik, 1997; Gabrovec, Petek, 2002), kteří disponují podobnou databází, jaká je využita v této knize. Je založena na vyhodnocení nárůstu ploch ve zjednodušené struktuře (orná půda a trvalé kultury; louky a pastviny; lesní plochy; zastavěné a ostatní plochy; vodní plochy). Počítá se úhrn všech nárůstů rozlohy takto zjednodušené struktury ploch a podíl nejvýznamnější kategorie na celkovém nárůstu rozlohy. Tím dostaneme intenzitu nejvýznamnějšího procesu krajinné změny na úrovních silná ( $\geq 75\%$ ), střední (50,0–74,9%) a slabá (25,0–49,9%). V podstatě jde o tři úrovně stupně intenzifikace zemědělství, zatravňování, zalesňování či urbanizace. Vodní plochy nehrají v tomto přístupu žádnou roli. Tabulka 16 hodnotí tedy 12 různých typů intenzity ve čtyřech základních procesech krajinné proměny v českých zemích. Protože se nebere v potaz absolutní velikost změn, vyžaduje interpretace hodnot jistou opatrnost. Například jako silný může být hodnocen i takový proces, kdy došlo ke změnám v rozloze na úrovni jednotek hektarů.

Tabulka 16 dokumentuje odlišné typy krajinných změn v jednotlivých sledovaných etapách. Je poměrně překvapivé, že v českých zemích ve všech sledovaných obdobích bylo dost významné zastoupení SÚJ, které vykazovaly prakticky stabilitu struktury ploch, neboť změny do jednoho procenta představovaly 5,2,

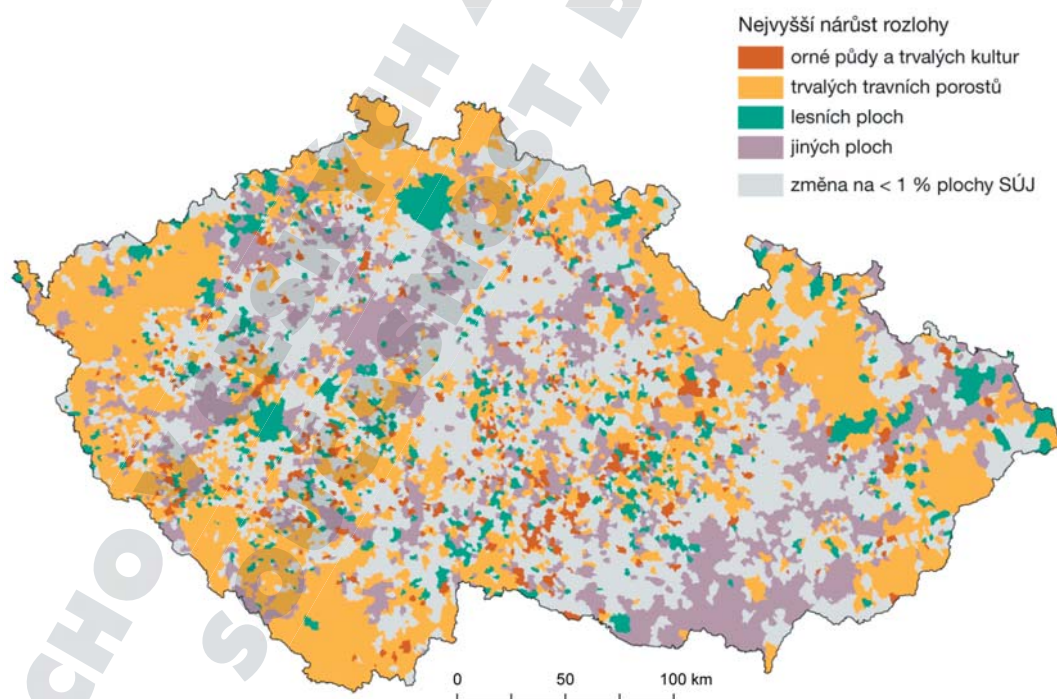
36,3 a 11,8% všech SÚJ v prvních třech analyzovaných obdobích. Také zde se ukazuje poměrně jednoznačný zlom ve vývoji struktury využití ploch v posledních dvou desetiletích 19. století, kdy nastoupila intenzifikační fáze rozvoje zemědělské produkce, nahrazující předchozí dlouhodobou fází spojenou s extenzivním rozvojem (nárůst rozlohy zemědělské i orné půdy, převážně na úkor lesních ploch a částečně i na úkor mokřadů a vodních ploch) (obr. 178).

Štych (2003, 2007) použil k ještě obecnějšímu vyjádření aktuálních trendů ve vývoji vybraných kategorií digitální model reliéfu České republiky se čtvercovou sítí o velikosti 50 x 50 m. Z tohoto podkladu pak vypočítal průměrnou nadmořskou výšku a sklonitost pro jednotlivé katastry či SÚJ. Dále byly do databáze připojeny údaje Ministerstva zemědělství České republiky týkající se ceny zemědělského půdního fondu (Vyhláška 190/1996 Sb. Ministerstva zemědělství k zákonu č. 25/1992 Sb.), na jejichž základě byla stanovena úřední cena zemědělského půdního fondu pro jednotlivé katastry a SÚJ (tab. 17). Všechny tyto parametry byly analyzovány ve vztahu změny indexu heterogenity pro vybrané kategorie (orná půda, trvalé travní porosty a zastavěné plochy) v jednotlivých analyzovaných letech. Uvedený index vyjadřuje podle Hampla (1998) medián součtu souboru jednotlivých katastrů srovnaných podle podílu dané sledované kategorie v nich. Výsledkem je zjištění o stále se snižujícím rozsahu plochy souboru

**Tab. 16.** Hlavní krajinné procesy ve třech úrovních intenzity na území českých zemí v letech 1845 až 2000: \* – dvacet SÚJ, v nichž chybějí údaje k rokům 1845 či 1896, zaujímá asi 0,4% rozlohy českých zemí

**Table 16.** Main landscape processes on three levels of intensity over the Czech Lands territory between 1845 and 2000: \* – twenty SÚJ, for which data in 1845 and 1896 are missing, represent c. 0.4% of the Czech Lands territory

Typ	Intenzita	1845–1896		1896–1948		1948–1990		1990–2000	
		Počet SÚJ	Oblast (%)	Počet SÚJ	Oblast (%)	Počet SÚJ	Oblast (%)	Počet SÚJ	Oblast (%)
Intenzifikace zemědělství	silná	4 843	56,6	429	2,3	325	3,5	89	0,4
	střední	1 203	13,2	527	1,0	129	5,8	272	1,9
	slabá	63	0,7	102	0,1	16	1,0	135	1,1
Zatrávňování	silné	195	1,6	280	24,2	2 195	1,9	177	0,8
	střední	165	1,7	400	8,6	571	3,5	749	5,5
	slabé	16	0,2	129	1,0	59	1,6	339	3,3
Zalesňování	silné	1 057	11,2	1 958	3,2	337	19,2	399	4,2
	střední	664	7,7	1 388	3,2	228	17,6	1 177	12,8
	slabé	38	0,4	185	0,5	30	2,2	283	2,8
Urbanizace (jiné změny)	silná	36	0,5	1 140	12,8	896	15,9	2 391	35,0
	střední	67	0,9	1 082	6,2	359	13,9	2 297	27,2
	slabá	14	0,1	173	0,7	50	2,2	491	4,8
Změněno méně než 1% plochy SÚJ		451	5,2	1 019	36,3	3 637	11,8	33	0,2
Celkem		8 812*		8 812*		8 832		8 832	



**Obr. 178.** Hlavní procesy krajinných změn v transformačním období 1990–2010 v České republice (kategorie jiných ploch zahrnuje i plochy zastavěné)

**Figure 178.** Main processes of landscape changes in the 1990–2010 transition period in the Czech Republic (category other land includes also built-up land)

ru katastrů, na nichž je koncentrována polovina dané kategorie. Tedy u orné půdy se polovina jejího rozsahu za celé české země koncentrovala na téměř 35 % jejich rozlohy v roce 1845, zatímco v roce 2000 již jen na území odpovídajícím 28,8 %. Toto zásadní zjištění dokumentuje postupující koncentraci jednotlivých kategorií na stále menší území, spojené se změnou průměrné nadmořské výšky a sklonitosti a změnou průměrné úřední ceny zemědělské půdy takto vymezených území (aplikovány ceny z roku 1994). U orné půdy je tento nárůst koncentrace ovlivněn i stále významnější suburbanizací, která zabírá v zázemí řady měst ty nejkvalitnější půdy. Bez tohoto záboru by koncentrace orné půdy do nížinných poloh s neúrodnějšími typy půd byla ještě silnější. U trvalých travních porostů je charakteristický přesun koncentrované poloviny této kategorie do vyšších poloh a svahů o větší sklonitosti a nižší ceně. Zastavěné plochy sice ukazují určitý dlouhodobý trend snižování nadmořské výšky koncentrované poloviny této kategorie, ale naznačují svojí cenou v podstatě stabilitu na poměrně kvalitních půdách. V nižších polohách a na nejkvalitnějších půdách se tak staly konkurentem zemědělského využití krajiny.

Výsledkem zhruba 170 let krajinných změn v českých zemích hodnocených pomocí struktury využití ploch je obrázek 179, který zobrazuje vývoj kraji-

ny v kombinaci vybraných charakteristik. Je zároveň podkladem pro úvahy založené na vytváření typologických regionů na základě vývoje a stavu struktury ploch, odrážejících měnící se funkce vyžadované od jednotlivých regionů modernizující se společnosti od počátků průmyslové revoluce. To umožňuje formulovat základní typy vývoje krajinné struktury s ohledem na funkce těchto speciálních typologických regionů (blíže viz Bičík et al., 2012a):

- urbanizovaná území velkých měst spojená s nárůstem zastavěných i ostatních ploch a ztrátou, resp. omezením rozsahu zbytků zemědělsky využívaných ploch a s nízkým podílem lesních ploch,
- zázemí velkých a středních měst — proměna zemědělské funkce na obytnou, skladovou, prodejní, dopravní, spojená zpravidla s chaotickým rozvojem suburbii, proměna zemědělské půdy na zastavěné a ostatní plochy se značnými environmentálními dopady,
- v minulosti proměněná krajina kulturní stepi nížinných a nižších poloh s dominancí orné půdy, minimem lesních ploch, luk a pastvin, s malým rozvojem rozlohy zastavěných a ostatních ploch v menších centrech,
- oblasti středních nadmořských výšek s průměrnými přírodními podmínkami, s relativně stabilní strukturou ploch, s převažující země-

**Tab. 17.** Charakteristiky koncentrace vybraných kategorií využití ploch v českých zemích mezi lety 1845 a 2000  
**Table 17.** Characteristics of the concentration of selected land-use categories in the Czech Lands between 1845 and 2000

Orná půda				
Rok	1845	1948	1990	2000
Index heterogenity (%)	34,99	34,49	30,32	28,78
Nadmořská výška (m)	382,7	371,9	368,9	362,8
Sklonitost (stupně)	2,00	1,90	1,60	1,55
Průměrná úřední cena zemědělské půdy (Kč za 1 m <sup>2</sup> )	5,56	5,74	5,99	6,12
Trvalé travní porosty				
Rok	1845	1948	1990	2000
Index heterogenity (%)	30,97	28,05	24,27	22,22
Nadmořská výška (m)	504,4	351,4	532,3	533,9
Sklonitost (stupně)	2,95	3,23	3,85	4,06
Průměrná úřední cena zemědělské půdy (Kč za 1 m <sup>2</sup> )	3,53	3,06	2,82	2,61
Zastavěné plochy				
Rok	1845	1948	1990	2000
Index heterogenity (%)	30,85	25,64	21,26	20,78
Nadmořská výška (m)	351,6	323,5	326,0	327,6
Sklonitost (stupně)	2,17	1,94	2,00	2,03
Průměrná úřední cena zemědělské půdy (Kč za 1 m <sup>2</sup> )	6,05	6,31	6,18	6,10



- dělskou, obytnou a místy i rekreační funkcí,
- e) podhorské a nižší horské oblasti dlouhodobých úbytků zemědělského půdního fondu a v poslední době (po ztrátě dotací socialistického státu) s výrazným nárůstem zatravněných, případně i lesních ploch,
- f) horské oblasti specifických funkcí s několika podtypy:
- západní hranice se „železnou oponou“ a z toho vyplývající změny využití krajiny
  - vylidněné Krušnohoří, Jesenicko atd.
  - rekreační oblasti — Krkonoše, Jizerské a Orlické hory,
- g) vojenské prostory opuštěné i funkční (Brdy, Ralsko, Doupov atd.),
- h) národní parky a chráněné krajinné oblasti s omezenými možnostmi hospodářského rozvoje s relativně stabilní strukturou ploch s vý-

razným podílem lesních ploch a trvalých travních porostů,

- i) oblasti silně depopulační s výraznou rekreační funkcí (střední Povltaví, Moravskoslezské Beskydy atd.) a extenzifikací zemědělského využití krajiny v posledním čtvrtstoletí,
- j) těžební oblasti charakteristické významným záborem zemědělské půdy pro těžbu surovin, devastací krajiny a její revitalizací v posledních 20 letech (pánevni oblasti Mostecka, Sokolovska atd.).

### 5.3.3 Příklady lokalit s odlišným dopadem změn ve využití ploch na vodní režim v krajině

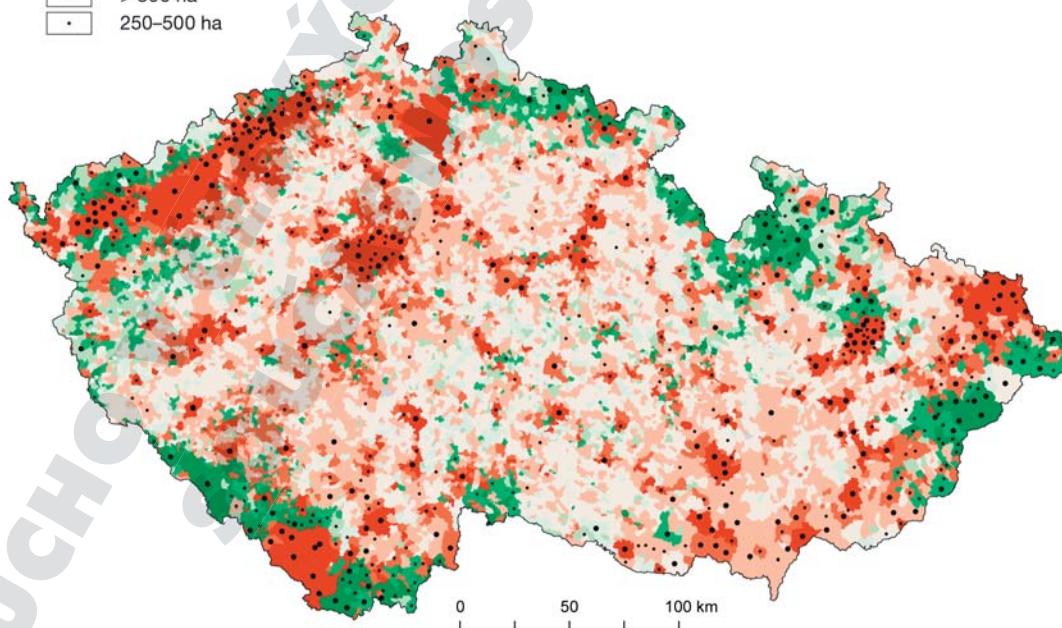
V průběhu 19. století (hlavně v jeho druhé polovině) se na území českých zemí hledala další orná půda, a to především v oblastech s vhodnými agroklima-

Typy změn

podíl ZPF	největší relativní nárůst	míra nárůstu podílu
nárůst nebo stagnace		
pokles < 10 %	lesní plochy	lesní plochy < 4 %
		lesní plochy ≥ 4 %
	jiné plochy	jiné plochy < 4 %
		jiné plochy ≥ 4 %
pokles ≥ 10 %	lesní plochy	lesní plochy < 12 %
		lesní plochy ≥ 12 %
	jiné plochy	jiné plochy < 12 %
		jiné plochy ≥ 12 %

Úbytek výměry ZPF (ha)

- > 500 ha
- ◻ 250–500 ha



**Obr. 179.** Typy změn využití krajiny českých zemí mezi roky 1948 a 2000 (ZPF – zemědělský půdní fond)  
**Figure 179.** Changes in types of the landscape use in the Czech Lands between 1948 and 2000

tickými a půdními poměry. Takové se nacházely především v místech kolem velkých řek, jako například kolem Labe, Moravy, Dyje či Ohře. Vodní toky byly na více místech kanalizovány, jejich břehy zpevňovány a nejnižší ležící a často zaplavované pozemky byly vysoušeny, přičemž se likvidovaly tůně, slepá ramena a mokřady. K dokumentaci dopadů změn ve využití ploch byly vybrány tři lokality: jihomoravská obec Kobylí, kde došlo v letech 1835–1836 k vysušení Kobylského jezera (kap. 5.3.3.1); lokality Abertamy a Hřebečná poblíž Božího Daru v Krušných horách, které byly od středověku významnými hornickými osadami a dnes mají dominantní rekreační funkci (kap. 5.3.3.2); mikroregion středního toku Labe, kde došlo ke změně toku, kanalizaci a vysoušení mokřadů (kap. 5.3.3.3). Analýza změn byla provedena na základě zpracování map stabilního katastru a zákresů výzkumu současného stavu využití ploch v GIS. Mapování v terénu bylo zakresleno do map v měřítku 1 : 5 000 a porovnáno s digitalizovaným stavem podle stabilního katastru v měřítku 1 : 2 880.

### 5.3.3.1 Kobylí

Mapa katastrálního území Kobylí dokumentuje v roce 1827 na území obce (obr. 180) poměrně velkou vodní plochu mělkého pozůstatku většího třetihorního jezera na jihovýchodě Moravy. Dalším typickým rysem je členění orné půdy do úzkých parcel, oddělených zatravněnými mezemi. Trvalé kultury, hlavně sady a vinice, se v té době nacházely především na pravém břehu říčky Trkmanky na mírném návrší orientovaném k jihovýchodu kolem kostela. O necelé dvě desítky let později došlo k odvodnění jezera a vysušení (Jeleček et al., 2012; Kolejka, 2013). Tok Trkmanky je dnes poměrně hluboce zaříznutý v kvalitních půdách v hloubce asi dvou metrů. Tím došlo k vysušení někdejší vodní plochy a získání poměrně vysoce úrodné černozemní půdy pro produkci řepy, zeleniny a dalších plodin. I když tento zásah do krajiny byl poměrně finančně náročný, umožnil podstatným způsobem zvýšit zemědělskou produkci obce. Díky rozvoji železniční sítě se pak vytvořily podmínky pro zásobování vzdálenějších trhů některými zemědělskými produkty. Zelenina, ovoce a víno našly své trvalé odběratele především v Brně, Břeclavi a částečně i ve vzdálenější Vídni (blíže viz Jeleček et al., 2012).

Stav využití ploch v roce 2001 na obrázku 180 ukazuje zcela odlišnou krajinu. Díky populačnímu růstu se především zvětšil intravilán obce (tj. zastavěné plochy a přídomní zahrady). Větší nárůst však vykazují také plochy s trvalými kulturami (především

všim vinice a sady), a to hlavně na jižním okraji obce v mírném svahu orientovaném k severozápadu. Na většině bývalé vodní plochy se v současnosti nacházejí rozsáhlé hony orné a velmi kvalitní půdy. Odpovídající kvantitativní změny ve využití ploch mezi roky 1827 a 2001 ukazuje tabulka 18, demonstrující přesuny jednotlivých pozemků mezi sedmi sledovanými kategoriemi. Například z celkové původní rozlohy orné půdy v roce 1827 ve výši 1076,4 ha zůstalo 438,8 ha beze změny a 637,6 ha přešlo do jiných kategorií (538 ha na trvalé kultury, 4,5 ha na trvalé travní plochy atd.). Protože ale z jiných kategorií se ve studovaném časovém intervalu zvýšil rozsah orné půdy o 471,6 ha (například 10,2 ha přešlo z kategorie trvalé kultury na ornou půdu), zabírala v roce 2001 celkem 910,4 ha. Z celkové rozlohy katastru obce Kobylí (2 114,6 ha) tak představovaly stabilní plochy mezi lety 1827 a 2001 jen 722,9 ha (34,2 % celkové plochy), zatímco 1 391,7 ha (65,8 %) připadlo na plochy nestabilní.

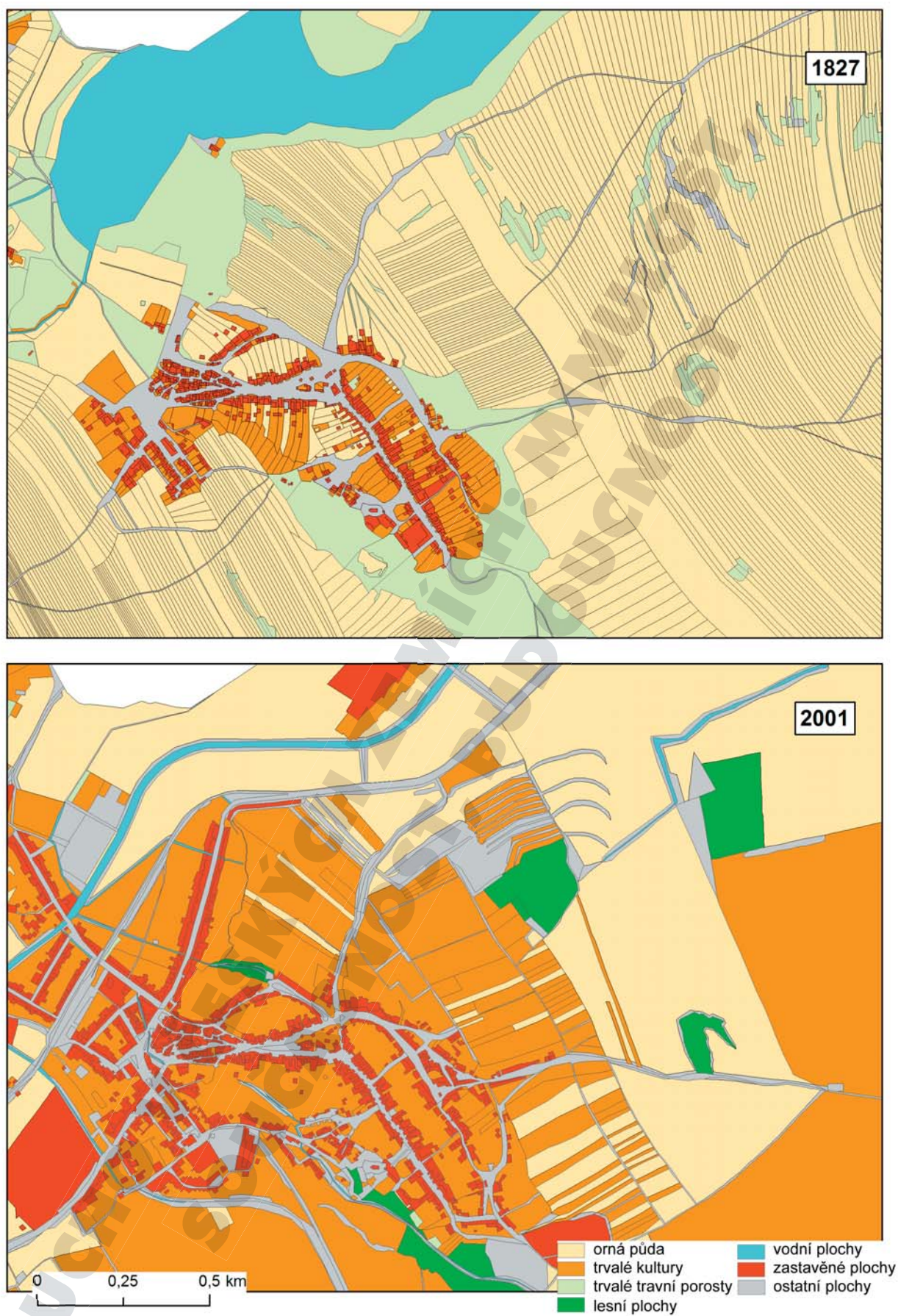
Závěry plynoucí z analýzy změn ve využití ploch v katastru obce Kobylí lze shrnout následovně:

- došlo k urychlení odvodu vody z území, a to nejen zánikem jezera,
- vzrostlo nebezpečí eroze zánikem mezí mezi malými parcelami a rozoráním dalších pozemků (například vznik vinic, orné půdy, sadů s podsevem),
- došlo k rychlejšímu odvedení vody z území zpevněním mnoha komunikací,
- došlo k intenzivnějšímu využití přírodního potenciálu území přechodem od lokálního až mikroregionálního převažujícího samozásobení na uplatnění zemědělských produktů v rámci celé republiky, popř. i v zahraničí (důsledek modernizace a jiná územní organizace společnosti).

### 5.3.3.2 Abertamy

Opačným příkladem oproti nížinným polohám s dobrým přírodním potenciálem pro intenzivní zemědělství jsou horské oblasti, jak je dále dokumentováno na příkladu katastrů obcí Abertamy a Hřebečná při porovnání situace v letech 1842 a 2007. Podobně jako v předchozím případě se vycházelo jednak z katastrální mapy v měřítku 1 : 2 880, jednak z terénního mapování v měřítku 1 : 5 000. Vybrané území nacházející se v nadmořské výšce asi 650–850 m je z mnoha důvodů velmi specifické (odsun českých Němců, poválečná uzávěra oblasti v souvislosti s těžbou uranové rudy, zánik tradičního rukavičkářského průmyslu, razantní pokles a stárnutí populace atd.) a dokumentuje zánik prak-





**Obr. 180.** Využití ploch v katastru obce Kobylí v letech 1827 a 2001

**Figure 180.** Land-use at the land register of Kobylí in 1827 and 2001



**Tab. 18.** Přehled přesunů (ha) mezi sledovanými kategoriemi v SÚJ Kobylí mezi lety 1827 a 2001 (stabilní plochy tučně)  
**Table 18.** Overview of changes (ha) among land-use categories in SÚJ Kobylí between 1827 and 2001 (land without change in bold)

Kategorie	Kategorie							
	orná půda	trvalé kultury	trvalé travní porosty	zastavěné plochy	lesy	vodní plochy	ostatní plochy	Ztráta celkem
orná půda	<b>438,8</b>	538,0	4,5	22,3	13,9	<b>1,8</b>	57,1	637,6
trvalé kultury	10,2	<b>43,8</b>	8,2	4,8	5,8	0,1	3,0	32,1
trvalé travní porosty	134,4	99,4	<b>11,3</b>	10,1	25,5	3,4	43,6	316,4
zastavěné plochy	0,0	3,8	0,0	<b>9,4</b>	0,0	0,0	0,9	4,7
lesy	0,0	19,3	0,4	0,0	<b>188,4</b>	0,0	0,9	20,6
vodní plochy	322,9	1,5	4,5	0,6	0,0	<b>14,4</b>	35,4	364,9
ostatní plochy	4,0	6,5	0,4	2,4	1,4	0,7	<b>16,8</b>	15,5
Nárůst celkem	471,6	668,5	18,0	40,1	46,7	6,1	140,8	1391,7

tický veškeré orné půdy od počátku průmyslové revoluce (Häufler, 1955 nebo Bičík et al., 2012b). Nutnost samozásobení potravinami zde bydlicích obyvatel nutila rozorát nekvalitní půdy již ve středověku na místech původního lesa, vykáceného pro stavby a výdřevu šachet. Po odsunu českých Němců a ukončení těžby uranových rud došlo ve druhé polovině padesátých let 20. století k zániku orné půdy a jejímu nahrazení loukami a pastvinami, zčásti pak i lesem. Změny v územním uspořádání využití ploch zachycuje obrázek 181 a v jejich konkrétních číselných hodnotách tabulka 19. Z celkové rozlohy katastru obou obcí (857,5 ha) připadlo mezi lety 1842 a 2007 na stabilní plochy 337,8 ha (39,4 % celkové plochy) a na nestabilní plochy 519,7 ha (60,6 %). Mezi klíčové momenty pro uchování vody v krajině se řadí:

- vodohospodářské zásahy v dolech a odvádění vody mimo důlní díla, resp. jejich zabezpečení před povrchovou vodou,
- podstatná proměna orné půdy v trvalé travní porosty a les s výrazně vyšší účinností pro zadržení vody v krajině velmi dynamického reliéfu,
- existence rozsáhlých šachet v podzemí tohoto území, kde se nachází až 50 km štol a důlních chodeb pod terénem,
- proměna funkce území z někdejší těžební (руды, dřevo), produkční (zemědělství, rukavičkářství aj.) a obytné na dnešní rekreačně-obytnou funkci nadregionálního významu.

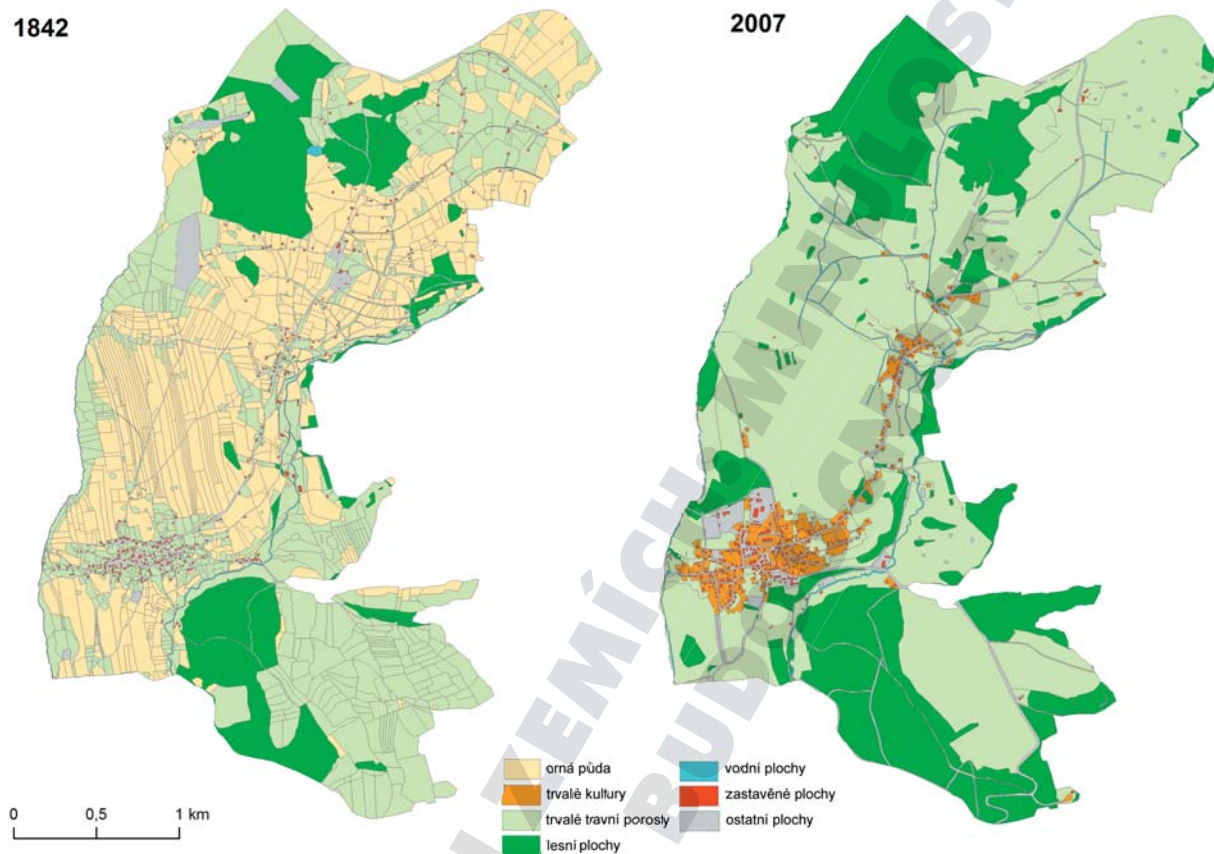
### 5.3.3.3 Mikroregion středního Polabí

Pro studium změn říční nivy Labe byly použity mapy stabilního katastru (<http://archivnimapy.cuzk.cz>), vyjadřující stav krajiny v polovině 19. století před nástupem zemědělské revoluce, resp. před projevem jejích změn v krajině. Zemědělská modernizace (někdy se využívá i pojmu revoluce jako součásti širšího působení „komplexní revoluce moderní doby“ — Purš, 1973, 1980; Jeleček, 1985) měla za následek investice do parcel, které se vyplatily. Jednalo se o meliorace a vysoušení pozemků, náhradu úhoru střídáním plodin, vyšší využití statkových a později umělých hnojiv atd., čímž docházelo k dalšímu rozšiřování plochy orné půdy. Přechod od trojpolního systému ke střídavému hospodaření vedl k ustájení skotu a produkci stájových hnojiv, což se projevilo v rušení úhoru a jeho nahrazení intenzivně obdělávanou ornou půdou.

Pro vývoj využití krajiny v nivách jsou typická určitá specifika. V době maximálního odlesnění naší krajiny v polovině 19. století bylo v říčních nivách využití půdy pro orbu velmi omezené. Zatímco na území českých zemí dosahovala orná půda téměř poloviny celkové rozlohy a v nížinných oblastech byl tento podíl ještě vyšší, ve sledovaném území údolní nivy (obr. 182) představovala orná půda jen necelých 17 %. Převládající krajinou matricí byly porosty luk a pastvin, které snesly větší stupeň zamokření a staly se mnohdy jediným možným hospodářským využitím těchto půd, navíc v případě zaplavení s minimálními škodami. Rozloha lesních ploch, které by

v přirozeném stavu pokrývaly většinu modelového území, dosahovala necelých 28 %. Okolní nížina Polabí byla v tomto období výrazně odlesněna a lužní

lesy se dochovaly jediné díky zhoršeným podmínkám panujícím v nivě.



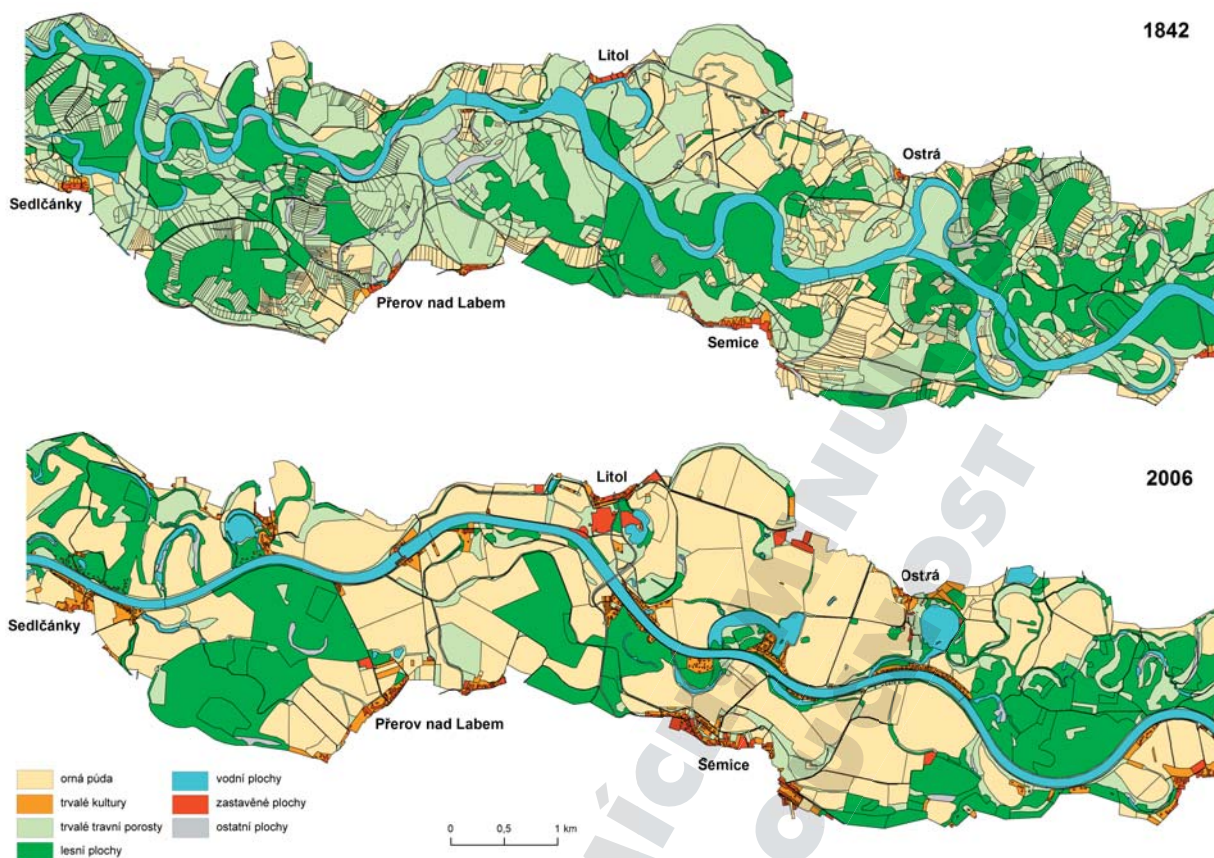
**Obr. 181.** Změny ve využití země v Abertamech a Hřebečné mezi roky 1842 a 2007

**Figure 181.** Changes in land-use at Abertamy and Hřebečná between 1842 and 2007

**Tab. 19.** Přehled přesunů (ha) mezi sledovanými kategoriemi v SÚJ Abertamy a Hřebečná mezi lety 1842 a 2007 (stabilní plochy tučně)

**Table 19.** Overview of changes (ha) among land-use categories in SÚJ Abertamy a Hřebečná between 1842 and 2007 (land without change in bold)

Kategorie	Kategorie							Ztráta celkem
	orná půda	trvalé kultury	trvalé travní porosty	zastavěné plochy	lesy	vodní plochy	ostatní plochy	
orná půda	<b>0,0</b>	9,8	284,0	2,1	27,7	2,3	13,4	339,3
trvalé kultury	0,0	<b>0,1</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
trvalé travní porosty	0,0	13,8	<b>211,5</b>	3,4	91,0	3,3	13,7	125,2
zastavěné plochy	0,0	0,9	1,5	<b>1,5</b>	0,3	0,0	0,5	3,2
lesy	0,0	0,0	23,4	0,0	<b>115,8</b>	0,2	3,3	26,9
vodní plochy	0,0	0,0	1,7	0,0	0,3	<b>1,6</b>	0,2	2,2
ostatní plochy	0,0	1,9	14,5	0,4	5,7	0,3	<b>7,5</b>	22,8
Nárůst celkem	0,0	26,4	325,1	5,9	124,9	6,2	31,1	<b>519,7</b>



**Obr. 182.** Změny ve využití ploch středního Polabí mezi roky 1842 a 2006  
**Figure 182.** Changes in land-use in the central Elbe region between 1842 and 2006

Významnou roli ve využití krajiny hrály ve sledovaném území vodní plochy. Šlo především o samotný tok Labe, další vodní plochy vzniklé ze slepých ramen a také mokřady, které vznikají zanášením stojatých vod naplavovaným bahnem a s dalším zanášením postupně zanikají. Relativně významnou rozlohu měly těžební plochy, především šterkovny a pískovny, zřizované v hrubozrnných říčních náplavech na vnitřních březích meandrů podél toku Labe. Vlastní vývoj zemědělské půdy v nivě byl do značné míry předurčen její výchozí strukturou. Rozsáhlé plochy luk a pastvin, které v polovině 19. století nemohly být ještě kvůli nedostatečným technickým možnostem intenzivně využívány, skýtaly obrovský potenciál po nástupu vědecko-technické revoluce. S rostoucími investicemi do zemědělství se začaly v úrodných nížinách zavádět nové postupy hospodaření zaměřené na intenzifikaci výroby (Jeleček, 1985). V údolní nivě, kde bylo hospodářské využití zpožděno ztíženými podmínkami, byl tento proces zákonitě mnohem intenzivnější. Po roce 1948 už k dalšímu významnému nárůstu rozlohy orné půdy nedocházelo, krajina však byla negativně ovlivněna scelováním

drobných parcel do rozsáhlých lánů. Současně docházelo k záboru zemědělské půdy pro nově zastavované intravilány obcí a Nymburka, na němž se zčásti podílel i nárůst počtu rekreačních objektů a chatových osad. Průmyslové areály, představující celkově nejvýraznější nárůst zástavby v Polabí, se ve studované části říční nivy Labe nenacházejí. Mezi lety 1842 a 2006 (obr. 182) došlo také k redukcí rozlohy lužních lesů, které se zachovaly pouze ve formě maloplošných chráněných území. Z jejich celkové rozlohy k roku 1842 bylo více než 35 % převedeno na ornou půdu. V kontrastu s těmito procesy docházelo na mnoha místech niv k samovolnému lesnímu zarůstání nevyužívaných travních porostů, mokřadů a slepých ramen řeky. Změna politicko-ekonomických podmínek po roce 1989 se projevila pozvolným snižováním rozlohy orné půdy a trvalých travních porostů při expanzi nové zástavby a přilehlých ploch intravilánu obcí (zahrady, komunikační síť atd.).

Významné změny prodělalo i samotné koryto řeky Labe. Kvůli požadavkům na splavnění toku došlo k jeho rozsáhlé regulaci a zkrácení délky. Negativní důsledky napřímení říčních toků se projevily



ve výrazném zrychlení odtoku. Voda zbavená možností neškodného rozlivu do údolní nivy, kde by byla zadržena v porostech lužního lesa a mokřadech, je příliš rychle odváděna z krajiny. To má za následek jednak často se opakující záplavy s velkými materiálními škodami, jednak ovlivnění dosažitelnosti vody v obdobích sucha, kdy se voda z těchto přirozených rezervoárů postupně neuvolňuje. Na dolních částech toků se tak kumulují negativní důsledky narovnávání vodotečí a snížení ekologické stability krajiny z celého povodí (Bičík et al., 2008).

Území studované říční nivy bylo postiženo výraznými změnami ve struktuře využití krajiny. S technologickými inovacemi došlo i zde k intenzivnímu hospodářskému využití půdy. Výsledná intenzita změn v říční nivě ve sledovaném období výrazně převyšovala rozsah změn ve zbytku území České republiky. Změna způsobu využití krajiny proběhla téměř na dvou třetinách sledovaného území (64 %). K výraznému poklesu rozlohy došlo u téměř všech ekologicky cenných stabilních ploch (lužní lesy, travní porosty, mokřady atd.), a naopak k nárůstu ploch nestabilních (zastavěné plochy, orná půda atd.). Všechny tyto změny měly za následek zrychlení odtoku a pokles ekologické stability zdejší krajiny.

### 5.3.4 Hlavní závěry ze studia využití ploch

Na základě uvedených údajů a výsledků dosavadních studií problematiky využití ploch v uplynulých letech (například Hrnčiarová et al., eds., 2009; Bičík et al., 2010; Kolejka, 2013) lze pro české země formulovat následující závěry:

- pohyb ve struktuře využití ploch ovlivnil jak celkové, tak regionální dopady na množství vody v krajině a rychlost jejího odtoku
- k výrazným změnám došlo v říčních nivách významných toků, které byly napřimovány pro dopravní účely. Za účelem získání nové orné půdy či ploch k zástavbě se provedla meliorace mnoha zamokřených území. Razantně se snížila rozloha původních lužních lesů. Mnohé údolní úseky významných toků byly zaplaveny pro účely výstavby vodních nádrží. Tyto nádrže se využívají k vodohospodářským účelům či jako zdroj vody pro vodní elektrárny. Důležitou roli pro rekreační využití hrají též území mající za následek mnohdy překotnou výstav-

bu rekreačních objektů a doprovodné infrastruktury

- od 19. století došlo k zásadní proměně v uspořádání společnosti od lokálního k více strukturovanému vzorci organizace společnosti, a tím i k jiné krajině struktuře, především vlivem hybných ekonomických a politických sil
- funkci dané lokality dnes neurčuje místní obyvatelstvo, protože podstatnější a mnohdy zcela zásadní vliv mají celospolečenské požadavky dnešní urbanizované a postmoderní společnosti
- změna vzorce organizace společnosti a její stále se rozvíjející požadavky na nové funkce krajiny vedly k formování větších územních celků — typologických regionů, podobné struktury ploch a také jejího dlouhodobého vývoje
- typologické regiony vzniklé jako shluky SÚJ podobné struktury ploch (například městské zástavby, suburbii, intenzivního zemědělství nížin, depopulačních periferních oblastí, horských rekreačních oblastí) mají odlišné dopady na zadržování vody v krajině a intenzitu jejího odtoku
- zformovalo se několik typů regionů, v nichž došlo k významnému zlepšení jejich ekologického stavu posuzovaného pomocí struktury ploch (horské a podhorské oblasti s nárůstem trvalých travních porostů a lesních ploch)
- problémem jsou úrodné nížiny v zázemí větších měst, kde se střetávají funkce intenzivního zemědělství s funkcí obytnou, průmyslově-výrobní, dopravní, ekologickou a s dalšími, spojené s vytvářením pevných, nepropustných povrchů na někdejší, často velmi úrodné půdě
- současná politika usilující o multifunkční krajinu by měla být specificky upravována s ohledem na uvedené typologické regiony, které se na území České republiky zformovaly v posledních dvou stoletích.

Ve většině sledovaných typů krajiny se objevily malé plochy opuštěné zemědělské půdy (ale i dalších kategorií, jako například lomy, pískovny, deponie vytěženého materiálu, nevyužívané „brownfieldy“), které se přirozenými procesy navrací od hospodářského využití zpět do přírody. Tyto plochy jsou velmi specifické, mohou výrazně pomoci v ochraně, resp. návratu bioty do krajiny a ovlivňují i odtokové poměry. Tyto jevy však vyžadují již jiné formy výzkumu než byly prezentovány v této kapitole.

# 6. DOPADY SUCHA NA VYBRANÉ SEKTORY NÁRODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ

## 6.1 ZEMĚDĚLSTVÍ

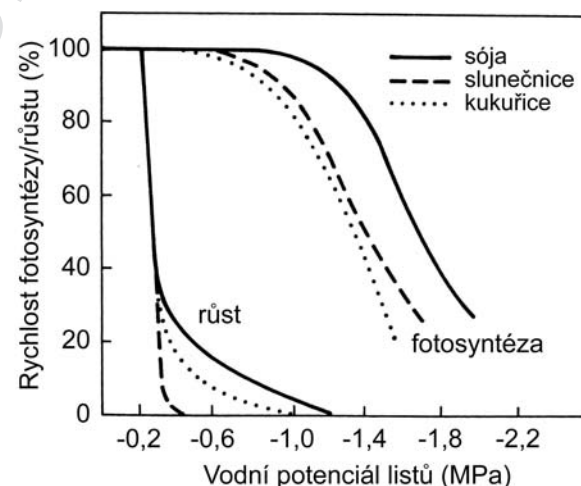
### 6.1.1 Vliv sucha na rostliny

Nedostatek vody představuje jeden z nejzávažnějších faktorů limitujících produktivitu rostlin na celé Zemi. Průměrná produkce biomasy rostlin na pouštích se pohybuje pod  $0,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , což je minimálně o dva řády méně než produktivita dosahovaná v oblastech, kde voda není limitujícím faktorem (Jones, 2014). Ale i v oblastech relativně dobře zásobených vodou snižuje sucho výnosy zemědělských plodin v průměru o 10–15 %, a to v důsledku nerovnoměrného rozložení srážek v průběhu vegetačního období. U plodin citlivých na nedostatek vody může být rozdíl výnosu vzhledem k zavlažovaným plochám i výrazně vyšší. Jak bylo ukázáno v předchozích kapitolách, existuje celá řada definic a způsobů vyjádření sucha. Protože vyšší rostliny přijímají vodu hlavně kořenovým systémem, je vhodným východiskem pro definování sucha z pohledu studia dopadů sucha na rostliny půdní vlhkost (viz kap. 4.1.2.1–4.1.2.3). Obsah vody v půdě lze například vyjádřit v procentech nasycení půdního profilu či v milimetrech vody dostupné pro rostliny. Ve fyziologii rostlin se k vyjádření míry sucha často používá vodní potenciál půdy či vodní potenciál listů. V případě vodního potenciálu půdy se jedná o odpor, který musí rostliny překonávat, aby získaly vodu z půdy. Vodní potenciál listů pak vyjadřuje energii, díky níž se voda v rostlině pohybuje. Rostlina přijímá vodu vlivem rozdílů v hodnotách vodního potenciálu půdy a kořenů, resp. listů. Tedy aby mohlo dojít k příjmu vody z půdy do kořenů, musí být vodní potenciál kořenů nižší než vodní potenciál půdy. Má-li být voda (a živiny) vedena rostlinnými pletivy do listů, musí být vodní potenciál listů nižší než je vodní potenciál kořenů. V noci obvykle dochází k vyrovnání těchto potenciálů. Jednotkou vodního potenciálu je pascal (Pa), přičemž jako nulový standard se volí čistá voda.

Množství vody absorbované rostlinou je pak přímo úměrné absorpčnímu povrchu kořenového systému a rozdílu vodních potenciálů mezi půdou a kořenem. K příjmu vody může dojít pouze v situaci, kdy vodní potenciál jemných vlásečnicových kořínek je nižší než vodní potenciál půdního roztoku.

Je-li tomu naopak, dochází k vadnutí rostlin. Kritická hodnota vodního potenciálu půdy, kdy vodní potenciál kořenů zůstává trvale vyšší a nemůže tak docházet k příjmu vody rostlinou, je označována jako bod trvalého vadnutí. V zemědělství a pedologii se považuje za konvenční normu vodní potenciál půdy o hodnotě  $-1,5 \text{ MPa}$ . V ekologii dosahuje bod vadnutí rozpětí od  $-1 \text{ MPa}$  pro hygromyfy až po  $-4 \text{ MPa}$  pro xeromyfy (například Larcher, 1988). Zemědělské plodiny dokážou snížit vodní potenciál kořenů maximálně na  $-1$  až  $-2 \text{ MPa}$ , zatímco lesní dřeviny i na méně než  $-3 \text{ MPa}$  (viz kap. 6.2.1). U běžných druhů rostlin (mezomyfů) se pokles vodního potenciálu listů na  $-0,5 \text{ MPa}$  označuje jako mírný vodní stres, při hodnotách od  $-0,5$  do  $-1,5 \text{ MPa}$  jako středně silný stres a při hodnotách pod  $-1,5 \text{ MPa}$  jako velmi silný stres. Při tomto stavu často klesá turgorový tlak v buňkách listů na nulu a ty začínají vadnout (obr. 183).

Fyziologická odezva rostlin na působení nedostatku vody je shrnuta v řadě publikací (například Levitt, 1980; Jones et al., eds., 1989; Kramer, Boyer, 1995). Popis odezvy a citlivosti rostlin k nedostatku



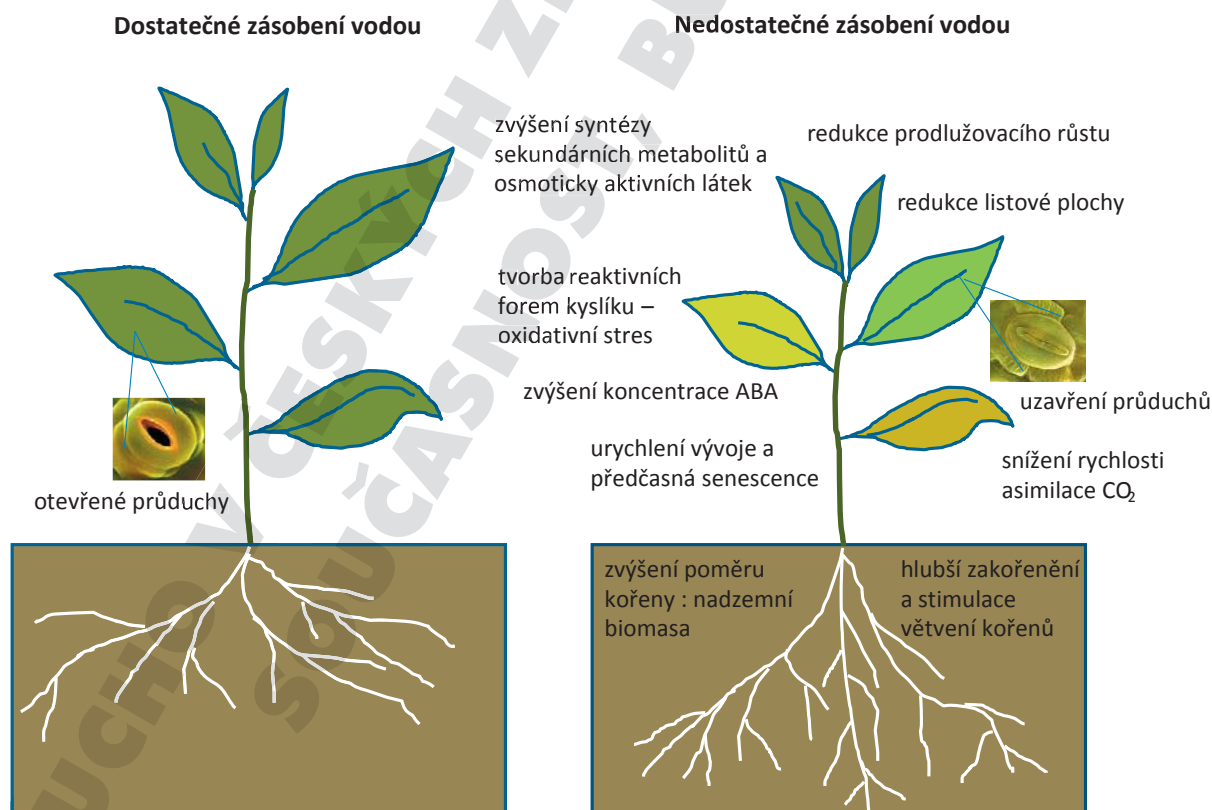
**Obr. 183.** Rozdíly v citlivosti růstových procesů a fotosyntézy na pokles vodního potenciálu listů pro sóju, kukuřici a slunečnici (Larcher, 1988; Procházka et al., 1998)

**Figure 183.** Differences in growth and photosynthesis sensitivity in response to decrease of water potential in leaves of soybean, maize and sunflower crops (Larcher, 1988; Procházka et al., 1998)

vody je poměrně složitý, a to nejen z důvodu značných mezidruhových odlišností a rozdílné kapacity aklimace (přizpůsobení), ale také vzhledem ke značnému množství fyziologických procesů, ve kterých se nedostatek vody projevuje. Vysychání půdy může například ovlivňovat růst nadzemní biomasy a fotosyntézu prostřednictvím hydraulického signálu, při kterém stav vody v půdě (vodní potenciál) přímo ovlivňuje vodní potenciál rostlin, ale také prostřednictvím chemického signálu (zahrnujícího tvorbu a transport kyseliny abscisové či změny pH rostlinných buněk). Vodní potenciál příslušných orgánů rostlin tak není jediným parametrem při posuzování odezvy rostlin na suchu. Schéma na obrázku 184 zachycuje odezvy, jimž je dále věnována pozornost.

Nejvýznamnějším projevem vlivu sucha na rostliny je redukce růstu, kdy na působení sucha je zvláště citlivé prodlužování buněk (Hsiao, 1973). K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malé ztrátě vody, kdy turgor v listech klesne jen o 0,1–0,2 MPa (Procházka et al., 1998). K úplnému zastavení růstu u mezofytů pak dochází při poklesu turgoru v listech na prahovou hodnotu pro růst, která leží v rozmezí 0,3–0,4 MPa. K zastavení růstu tak

dojde dříve než ke zjevnému vadnutí listů (kdy je turgor nulový) nebo k ovlivnění hlavních metabolických procesů, včetně fotosyntézy. Je pravděpodobné, že minimálně v případech, kdy jsou pozorovány změny v růstu stonku a současně nedochází ke změně zásobení nadzemních částí rostlin vodou, dochází k ovlivnění růstu prostřednictvím chemických signálů, přenášených z kořenů do nadzemních částí (Gowing et al., 1990). K syntéze látek vytvářejících buněčnou stěnu může ale docházet i v případě mírného stresu suchem, který již inhibuje prodlužovací růst buněk. To se může projevit jako tzv. „odložený růst“, přičemž snížení rychlosti růstu, ke kterému došlo v průběhu mírného stresu, se kompenzuje zvýšeným růstem po následujícím zavlažení (Acevedo et al., 1971). Naopak proces dělení buněk je na stres ze sucha méně citlivý (v porovnání s prodlužováním buněk). Zpomalení či dokonce zastavení prodlužovacího růstu buněk při nedostatku vody se projevuje značnými změnami ve vývoji a morfologii rostlin. Tak při působení sucha dochází v nadzemních orgánech rostlin k deaktivaci růstového metabolismu, zatímco v kořenech k jeho stimulaci (Gargallo-Garriga et al., 2014). Pokles metabolické aktivity v listech



**Obr. 184.** Schéma mechanismů, kterými suchu působí na rostliny  
**Figure 184.** The mechanisms by which drought influences plants



vede ke snížení spotřeby vody a živin, zatímco zvýšená metabolická aktivita kořenů způsobí zvýšení příjmu vody a v ní rozpuštěných minerálních látek. Tyto změny přispívají v krátkodobém měřítku ke zvýšení ochrany rostlin při nedostatku vody. Rozdílná citlivost kořenů a nadzemních částí vůči stresu suchem se projevuje značným zvýšením poměru kořenů k nadzemním částem rostlin (Sharp, Davies, 1989). Ačkoliv růst kořenů je obecně inhibován suchem, jejich vrcholová část vykazuje stálý intenzivní růst, který je porovnatelný s růstem rostlin pěstovaných při dostatku vody (Sharp et al., 2004). Mezi další vlivy patří redukce odnožování u trav a předčasné ukončení prodlužovacího růstu u vytrvalých druhů s následnou tvorbou latentních pupenů či zvýšený opad listů a plodů. Nedostatek vody nesnižuje pouze velikost listů, ale vede také (například u pšenice) k redukci počtu průduchů a ke zvýšení počtu epidermálních trichomů (Quarrie, Jones, 1977).

Nedostatek vody rovněž ovlivňuje vývoj reprodukčních orgánů, přičemž u některých druhů (například liči čínské) je období sucha nezbytné pro stimulaci iniciace květů (Menzel, 1983). V jiných případech způsobuje stres suchem urychlení vývoje plně diferencovaných květních pupenů (Jones, 1987). Nedostatek vody má obecně tendenci urychlovat kvetení u jednoletých a zpožďovat kvetení u vytrvalých druhů. Například u pšenice může mírný stres suchem urychlit kvetení až o týden, současně však dochází k poklesu počtu klásků v klase a snížení životnosti pylu (Angus, Moncur, 1977).

Na úrovni buněčného metabolismu je známa řada dopadů nedostatku vody. Jedná se především o zvýšení rychlosti degradačních procesů v porovnání se syntetickými, snížení syntézy bílkovin, zvýšení koncentrace volných aminokyselin (zejména prolinu, který může přesáhnout u některých druhů koncentraci 1 %), zvýšení koncentrace glycine-betainu, di- a polyaminů a cukrů. K tomu přistupují odpovídající změny v aktivitě enzymů. Při nedostatečném zásobení rostlinných pletiv vodou dochází zejména ke snížení aktivity nitrátreduktázy a následnému zpomalení redukce nitrátů. Naopak aktivita alfa-amylázy a obecně hydroláz narůstá, což vede k hydrolýze škrobu. Řada z těchto změn může být spojena s aklimací rostlin. Je ovšem velmi obtížné oddělit změny, které jsou projevem poškození na úrovni buněk či pletiv, od projevů aklimace. Podobně jako u jiných stresových podmínek může deficit vody posouvat redoxní potenciál buněk k více oxidovanému stavu a zvyšovat koncentraci volných kyslíkových radikálů (v obou případech se jed-

ná o změny způsobující poškození buněk a pletiv), ale současně také zvyšuje množství redukujících látek, jako je například glutathion. Současně dochází k aktivaci systémů, které zachycují volné radikály, jako je například superoxid-dismutáza (Alscher, Cumming, 1990).

Všechny výše uvedené vlivy nedostatku vody přispívají ke snížení produkce sušiny i výnosu semen. Ačkoliv může být vliv sucha na rychlost asimilace CO<sub>2</sub> vztažené na jednotku listové plochy či jiné fyziologické procesy významný, dominantním vlivem, který přispívá ke snížení celkové produkce, je obecně snížení rychlosti růstu nadzemní biomasy a následně pokles indexu listové plochy.<sup>80</sup>

Receptorový systém pro spuštění stresové odezvy rostlin vůči suchu není dosud zcela objasněn. Nejlépe je prokázána odezva na turgorový tlak. Přínejmenším u rostoucích buněk mohou již malé změny v turgoru snížit prodlužování buněk s následným hromaděním nevyužitých látek pro stavbu buněčných stěn či jiných metabolitů ovlivňujících metabolismus rostlin. Turgor může přímo ovlivňovat i transport iontů prostřednictvím zapojení membránových receptorů nebo jiných systémů řízených turgorem (Kacperska, 2004). Relativní obsah vody v rostlinných orgánech je obvykle dobrým indikátorem turgorového tlaku, přičemž se jedná o snadno měřitelný parametr. Většina pozorovaných dopadů nedostatku vody na rostliny je téměř vždy až sekundárním projevem a je výsledkem regulačních procesů řízených rostlinnými regulátory (hormony). Rostlinné regulátory jsou zapojeny v signálních drahách, které řídí odezvu rostlin na působení stresových podmínek, včetně sucha (Khan et al., 2012). Klíčovou úlohu v reakci rostlin na stres sucha sehrává kyselina abscisová (ABA), přičemž tento regulátor integruje odezvu celých rostlin nejen k nedostatku vody, ale také k řadě dalších přírodních faktorů, jako je například zasolení či vysoké teploty (Wilkinson, Davies, 2002). ABA je jedním z hlavních regulátorů vodivosti průduchů, a to nejen v reakci na nedostatek vody, ale modifikuje také odezvu průduchů na světelné podmínky či koncentraci CO<sub>2</sub> ve vzduchu. Význam ABA na vodivost průduchů byl mimo jiné prokázán exogenní aplikací ABA. Koncentrace ABA se rychle zvyšuje při působení stresových podmínek, přičemž prakticky souběžně se projevuje uzavírání průduchů. Snížením turgorového tlaku tedy dochází k velmi rychlému uvolnění zásob ABA z chloroplastů a k iniciaci syntézy ABA.

<sup>80</sup> Index listové plochy vyjadřuje celkovou plochu listů porostů připadající na jednotku plochy půdy.

Skutečnost, že koncentrace ABA v buňkách ne vždy koreluje s otevřeností průduchů, zejména v průběhu regenerace po působení stresových podmínek, může být vysvětlena rozdělením na fyziologicky aktivní a neaktivní zásobu ABA. ABA současně slouží jako významný mediátor genové exprese, kdy její zvýšená koncentrace vede ke zvýšení exprese biosyntézy stresových proteinů (dehydration-induced proteins) — dehydrinů. Z uvedených skutečností plyne, že ABA má rozhodující úlohu v aklimaci rostlin na nedostatek vody, a to zejména v souvislosti s funkcí signálních drah. Kromě ABA se na regulaci průduchové vodivosti podílejí i další rostlinné hormony. Zatímco auxiny a cytokininy podporují otevírání průduchů, etylen, brasinosteroidy, jasmonáty a kyselina salicylová spíše stimulují jejich uzavírání (Acharya, Assmann, 2009). Zvýšená produkce etylenu přispívá, kromě uzavírání průduchů, také k rychlejšímu opadu listů a plodů a ohýbání listů směrem dolů (epinastie). Cytokininy se rovněž podílejí na urychlení senescence listů, což vede ke snížení celkové listové plochy, snížení transpirace a zvýšení efektivity využití vody v podmínkách sucha.

K vyjádření schopnosti rostlin přežít stres suchem se místo staršího termínu odolnost k suchu používá nyní přesnější termín tolerance k suchu, který zahrnuje všechny mechanismy zajišťující přežití rostlin a jejich produktivitu za podmínek sucha. Z pohledu zemědělství a zelinářství dosahuje v podmínkách sucha tolerantní genotyp vyššího výnosu tržního produktu než genotyp méně tolerantní. Důležitou složkou tolerance k suchu je pro farmáře a šlechtitele také dosažení výnosové stability (Fischer, Turner, 1978). V přirozených ekosystémech je tolerance k suchu reprezentována druhy, které mají schopnost přežít v relativně suchém prostředí. V tomto případě ale tolerance k suchu neznamena nutně dosažení vysoké produktivity. Tedy mechanismy tolerance k suchu jsou v typických zemědělských monokulturách odlišné od mechanismů, které se postupně vyvinuly v přirozených ekosystémech. Rostliny, které dokážou přežít v suchém prostředí, se označují jako xerofyty. I když se xerofyty vyskytují přirozeně v suchých podmínkách, nemusí to být nutně způsobeno tím, že se jedná o rostliny, kterým vyhovuje sucho z fyziologického hlediska, ale spíše tím, že jejich konkurenční schopnost je vyšší pouze za suchých podmínek. Je-li konkurence jiných druhů vyražena, je růst a produkce zlepšována především zlepšením dostupnosti vody.

Existuje celá řada možností, kterými se jednotlivé druhy rostlin adaptují, resp. aklimují, na nedo-

statečné zásobení vodou. Nelze tedy jednoduše určit soubor morfologických a fyziologických vlastností, kterými se xerofytní druhy odlišují. Celá řada vlastností, kterými byly klasifikovány xerofytní druhy, je založena na základě ekologických nik, které tyto druhy využívají. Tyto strategie jsou označovány jako únik suchu („escape“), vyhnutí se suchu („evading“) a odolávání suchu („eduring“) (Levitt, 1980). Protože tyto mechanismy jsou relevantní spíše pro přirozené ekosystémy a zařazení do jednotlivých skupin není jednoduché, je vhodnější využívat klasifikace adaptačních/aklimačních strategií rostlin do tří základních skupin (Jones, 2014):

- a) vyhnutí se stresu (avoidance) — jde o mechanismus, který omezuje stres sucha soustředěním hlavních vývojových a fyziologických procesů do období, kdy je tento stres nejmenší (například zkrácení vegetačního období),
- b) tolerance stresu — jedná se o fyziologickou adaptaci, která umožňuje jednotlivým druhům rostlin pokračovat ve svých metabolických funkcích navzdory nedostatku vody,
- c) mechanismy zvýšení efektivity využití vody — tyto mechanismy vedou k optimalizaci využití vody.

Uvedené mechanismy jsou podrobněji charakterizovány níže (kap. 6.1.1.1–6.1.1.3).

Vedle konstitutivně (geneticky) podmíněné adaptace k suchu se prakticky u všech rostlin setkáváme s celou řadou aklimačních mechanismů k suchu. Mezi nejvýznamnější aklimační mechanismy patří regulace výdeje vody prostřednictvím průduchů, osmotická regulace, regulace velikosti listové plochy a řízení růstu kořenů.

#### 6.1.1.1 Vyhnutí se stresu

Do této skupiny adaptací rostlin vůči suchu můžeme řadit především:

- a) únik suchu
 

Rostliny s velmi rychlým vývojem, které brzy ukončují svůj životní cyklus, mohou využít lépe období s dostatkem vláhy v půdě (po zimním období, po období dešťů atd.) a uniknout tak období sucha. Tento mechanismus je typický především pro efemerní druhy, které mohou ukončit svůj životní cyklus od vyklíčení až po dozrání semen v průběhu čtyř až šesti týdnů. Podobný mechanismus úniku, ovšem v mnohem menší míře, lze pozorovat u řady polních plodin, kde odrůdy tolerantní k suchu jsou současně odrůdami s velmi časným kvetením a dozráváním, čímž se vyhnou nejzávažnějšímu ob-

dobí sucha. U řady druhů je možné pozorovat dynamickou odezvu tohoto typu reakce. Jestliže dochází k vysychání půdy v období do kvetení, pak se doba dozrávání zkracuje více, než pokud jsou tyto rostliny pěstovány při dostatku vody. Tato skupina tolerance obecně nesouvisí s žádným dalším fyziologickým mechanismem tolerance k suchu.

#### b) omezení ztrát vody

Adaptace či aklimace rostlin, které vedou k omezení ztrát vody, mohou spočívat buď v zachování dostatečné vlhkosti půdy po delší období, přičemž se uchovává půdní vláhla pro dobu dozrávání semen, nebo v omezení transpirace, resp. evapotranspirace. Na omezení transpirace se podílejí zejména

- silná kutikula s příslušně nízkou kutikulární vodivostí pro transport vodní páry
- redukce listové plochy rostlin, kdy může jít o rychlý a vratný proces skládání/svinování listů nebo proces nevratný, spojený s opadem listů
- vysoká odrazivost listů a snížení absorpce slunečního záření listy
- nízká průduchová vodivost dosažená díky uzavírání průduchů nebo tvorbou malých a řídké rozmístěných průduchů, lokalizovaných zpravidla na spodní straně listů.

Obecně ke snížení ztrát přispívá také silná vrstva ochlupení nebo trichomů. Prakticky je však tento vliv na uchování vody v rostlině spíše malý a ochlupení sehrává pravděpodobně důležitější roli v radiční bilanci listů. Ačkoliv je většina znaků, které vedou k omezení ztrát vody, spíše konstantní bez ohledu na přírodní podmínky, některé z nich jsou dále modifikovány aktuálními podmínkami růstového prostředí. Například tloušťka voskové vrstvičky a kutikuly, vývoj ochlupení a odrazivost listů vzrůstají s rostoucí mírou nedostatku vody. Se zhoršující se dostupností vody dochází obdobně ke snižování velikosti listů a celkové listové plochy rostlin, což představuje jeden z nejvýznamnějších aspektů aklimace rostlin k suchu formou omezení ztrát vody. Regulace velikosti listové plochy při stresu suchem zahrnuje jak omezení vývoje listů, tak i urychlení senescence listů a jejich opadu. Na senescenci a opadu listů se podílejí především receptorové a signální dráhy zahrnující rostlinné hormony (cytokininy, ABA), reaktivní formy kyslíku a změny v expresi genů (Munné-Bosch, Alegre, 2004).

#### c) efektivní příjem vody

Řada rostlin, které jsou úspěšné na suchých stanovištích, nemá specifické adaptace pro řízení výdeje vody, ale jejich tolerance k suchu spočívá ve vývoji velmi hlubokého a bohatě větveného kořenového systému, který umožňuje získávat vodu z většího objemu půdy nebo z větších hloubek. Řada stepních a pouštních keřů se vyznačuje hlubokým kořenovým systémem. Vývoj kořenů může být velmi plastický v závislosti na konkrétních podmínkách, přičemž za suchých podmínek je zajišťován přesunem zásobních látek do kořenů. To je mimo jiné umožněno i nízkou citlivostí dálkového transportu v rostlinách ke stresu suchem (a to i extrémnímu), což vede následně k mobilizaci rezerv organických látek. K podobnému přesunu organických látek a živin dochází také ze starších orgánů do orgánů mladších, zejména generativních. To umožňuje následně rostlinám dokončit úspěšně reprodukční proces. Vysoké náklady rostlin ve formě asimilátů a energie, které jsou nutně spojené s vytvořením mohutného kořenového systému pro efektivní příjem vody, však obvykle znamenají, že tyto rostliny nemají za podmínek dostatečného zásobení vodou takovou konkurenční schopnost nebo nedosahují takové produktivity jako rostliny s menšími kořeny. Řada rostlin je schopna přijímat významné množství vody prostřednictvím intercepce z mlhy, rosy či dešťových srážek. To platí zejména pro některé druhy dřevin, u kterých intercepce významně přispívá k vodní bilanci v suchých podmínkách (Breshears et al., 2008; viz také kap. 6.2).

#### 6.1.1.2 Tolerance k nedostatku vody

Existuje celá řada mechanismů přispívajících ke schopnosti rostlin udržovat fyziologickou aktivitu i za podmínek poklesu obsahu vody či vodního potenciálu v listech. Byla popsána řada genů s potenciální úlohou při zvyšování tolerance rostlin k nedostatku vody (Ingram, Bartels, 1996). Jejich funkce může být dána jedním ze dvou fyziologických mechanismů:

##### a) zachování turgoru (oddálení vysušení)

Běžným jevem v odezvě na stress suchem je zachování turgoru prostřednictvím zvýšení koncentrace buněčného roztoku, ke kterému dochází v listech, kořenech i rozmnožovacích orgánech řady druhů (Zhang et al., 1999). Tento proces, často označovaný jako osmotické



přizpůsobení, zajišťuje uchování fyziologických procesů při poklesu vodního potenciálu jako důsledku stresu suchem či zasolení. Osmotické přizpůsobení vyjadřuje aktivní proces, při kterém dochází k akumulaci osmoticky aktivních látek v buňce, a liší se od pasivního zvýšení koncentrace při ztrátě vody z buněk. Ačkoliv se na osmotickém přizpůsobení mohou podílet jak anorganické ionty (zejména  $K^+$ ,  $Cl^-$ ), tak i organické látky, jsou změny v koncentraci organických látek, jako jsou cukry, cukerné alkoholy, aminokyseliny a různé organické kyseliny, mnohem významnější. Nejdůležitějšími ze skupiny organických látek jsou nepolární sloučeniny, které mají jen malou interferenci s buněčným metabolismem. Typickým příkladem jsou jednoduché cukry (trehalóza, glukóza, fruktóza), cukerné alkoholy (glycerol, manitol, sorbitol, quercitol atd.), aminokyseliny (zejména prolin) nebo kvartérní amonné sloučeniny, jako je glycine-betain. Hydroxylové skupiny těchto látek zajišťují vodíkovou vazbu s vodou, a proto působí jako osmoticky chránící látky, stabilizující významné enzymy a jiné buněčné struktury. Ačkoliv kapacita osmotického přizpůsobení je u řady plodin pozitivně korelována k výnosu za sucha, u některých druhů může vést naopak k vyšší citlivosti vůči suchu (Quisenberry et al., 1984), což je pravděpodobně důsledek energetických nákladů spojených s osmoregulací. Poznání metabolických principů osmotického přizpůsobení vedlo ke snaze genetického inženýrství vytvořit genotypy schopné produkovat zvýšené množství osmoticky aktivních látek, zejména prolinu (Jiang, Wang, 2011). Nicméně prokázání vztahu mezi zlepšením osmotické kapacity a tolerancí k suchu je jen velmi obtížné (Molinari et al., 2007; Yang et al., 2010).

b) schopnost snášet vysušení

Tolerance k vysušení představuje schopnost rostlin zachovat si důležité životní funkce i při nízkém vodním potenciálu. Je obvykle měřena jako vodní potenciál nebo obsah vody v pletivech rostlin, při kterém dochází k úmrtí poloviny buněk (Levitt, 1980). Podstatou tolerance k vysušení je především produkce osmoticky aktivních látek a tvorba ochranných roztoků, které zajišťují udržení enzymatické aktivity a stabilizaci buněčných membrán i za podmínek silného poklesu obsahu vody. Typickým příkladem jsou tzv. LEA („late embryogenesis abundant“) proteiny, které se podílejí na zasychání semen.

### 6.1.1.3 Mechanismy efektivního příjmu vody

Mechanismy, které zvyšují pravděpodobnost přežití rostlin v podmínkách sucha, snižují zároveň produktivitu rostlin. Například množství asimilovaného uhlíku v procesu fotosyntézy je snižováno uzavíráním průduchů, stáčením listů nebo zmenšováním listové plochy, ale také zkrácením vegetační sezony. V průběhu vegetačního cyklu rostlin tak neustále dochází k hledání kompromisu mezi uchováním vody v pletivech a produktivitou. Optimální bilance mezi těmito dvěma procesy závisí na vodní bilanci prostředí. Tolerance k suchu je podporována mechanismy, při kterých je omezené množství vody využito k fotosyntéze a následně přeměně asimilátů na reprodukční orgány či výnos v případě polních plodin:

a) efektivita využití vody

Efektivita využití vody vyjadřuje poměr mezi čistou rychlostí asimilace  $CO_2$  a ztrátou vody. Její výpočet se ovšem liší mezi jednotlivými autory a rychlost asimilace je někdy nahrazována produkcí sušiny, výnosem nebo ekonomickým výnosem. Obdobně také ztráty vody mohou zahrnovat pouze transpiraci nebo celkovou evapotranspiraci v závislosti na využití této hodnoty. Zatímco výnos na jednotku transpirace je lepším měřítkem účinnosti rostlin a je vhodnější například pro porovnání druhů či odrůd, vyjádření na jednotku evapotranspirace má značný ekologický význam, protože výraznou část ztrát vody představuje přímý výpar z půdy.

b) efektivní využití dostupné vody

V řadě případů představuje zvýšená efektivita využití vody nevhodnou konkurenční strategií, protože je často spojena s omezeným růstem. Takovéto rostliny se zvýšenou efektivitou pak ztrácejí část dostupné vody ve prospěch rychleji rostoucích konkurentů, kteří mají nižší efektivitu využití vody. Pokud rostliny nejsou limitovány nedostatkem vody, vede vyšší efektivita využití vody k poklesu produktivity v porovnání s genotypy, které mají efektivitu nižší. Měřítka efektivnosti využití vody tedy není příliš vhodné jako hlavní šlechtitelský znak pro podmínky střídavého stresu suchem. Blum (2009) proto navrhl, aby se pozornost šlechtitelů a agronomů přesunula z efektivnosti využití vody ke zlepšení efektivního využití vody. Zvýšení efektivního využití vody zahrnuje strategie, které zvyšují množství dostupné vody pro rostliny (například hloubka zakořenění).

c) zvýšený sklizňový index

U zemědělských plodin může být účinná tolerance k suchu založena na mechanismech, které

zajišťují zvýšené využití asimilátů pro tvorbu výnosu. Například u obilnin se jedná o zvýšený sklizňový index, který určuje podíl zrna na celkové hmotnosti sušiny, což znamená vyšší výnos na jednotku fotosyntézy. Podobné znaky mohou být příznivé za sucha i v přirozených ekosystémech.

### 6.1.2 Dopady sucha na výnosy zemědělských plodin

Protože voda je jednou ze základních a nenahraditelných podmínek pro růst rostlin, patří zemědělství mezi nejzranitelnější hospodářská odvětví s vážnými negativními dopady v případě výskytu sucha. Při porovnání vlivu sucha s ostatními hydrometeorologickými extrémy (povodně, holomrazy, krupobití, pozdní a časné mrazy, extrémní teploty atd.) v rámci střední Evropy i České republiky se tento jev řadí z hlediska hospodářských důsledků k nejvýznamnějším (viz například Olesen et al., 2011). K ekonomickým ztrátám může docházet vlivem horších podmínek při zakládání porostů, zvýšením nákladů za vodu dodanou pro závlahy (pokud je infrastruktura závlah a voda k dispozici), snížením výnosů, zhoršením kvality produkce atd. Přestože se pojem zemědělské sucho objevuje v odborné literatuře poměrně často (například Heim, 2002), jeho přesná definice a následná kvantifikace je poměrně problematická vzhledem k rozmanitosti přírodních podmínek v jednotlivých zemědělských oblastech (půdně-klimatické podmínky, dostupnost vodních zdrojů, terén), rozdílným reakcím či požadavkům pěstovaných plodin, způsobu hospodaření a neustálému vývoji celého sektoru. Během několika minulých generací se zásadně změnila velikost pozemků, skladba plodin, typy odrůd, technologie i půdní vlastnosti (viz kap. 6.1.3). Komplikovaná je i kvantifikace dopadů sucha, a to jak v případě samotného výskytu tohoto jevu, tak i v souběhu s dalšími nepříznivými podmínkami.

Jednou z možností kvantifikace zemědělského sucha je určení intervalu podmínek, při nichž dochází k definovanému poškození porostů a snížení parametrů produkce. Jejich závažnost v daném regionu a pro danou plodinu pak může být určena specifickou kombinací načasování, délky trvání a velikosti vláhového deficitu v půdě. Detailní pochopení problematiky napomáhá určit míru rizika daného způsobu hospodaření v regionech a přizpůsobit pěstitelské postupy minimalizaci dopadů a ekonomických ztrát. Otázka reakce zemědělských plodin na sucha je významná i s ohledem na dlouhodobé

trendy výskytu suchých epizod (viz kap. 4.1) a také na jejich očekávaný vývoj v budoucnosti (Eitzinger et al., 2013; Trnka et al., 2013, 2014b; kap. 7). Cílem této kapitoly je nastínit současnou úroveň poznání v oblasti dopadů sucha na výnosy, včetně hodnocení probíhajících změn v rámci vazeb významných proměnných.

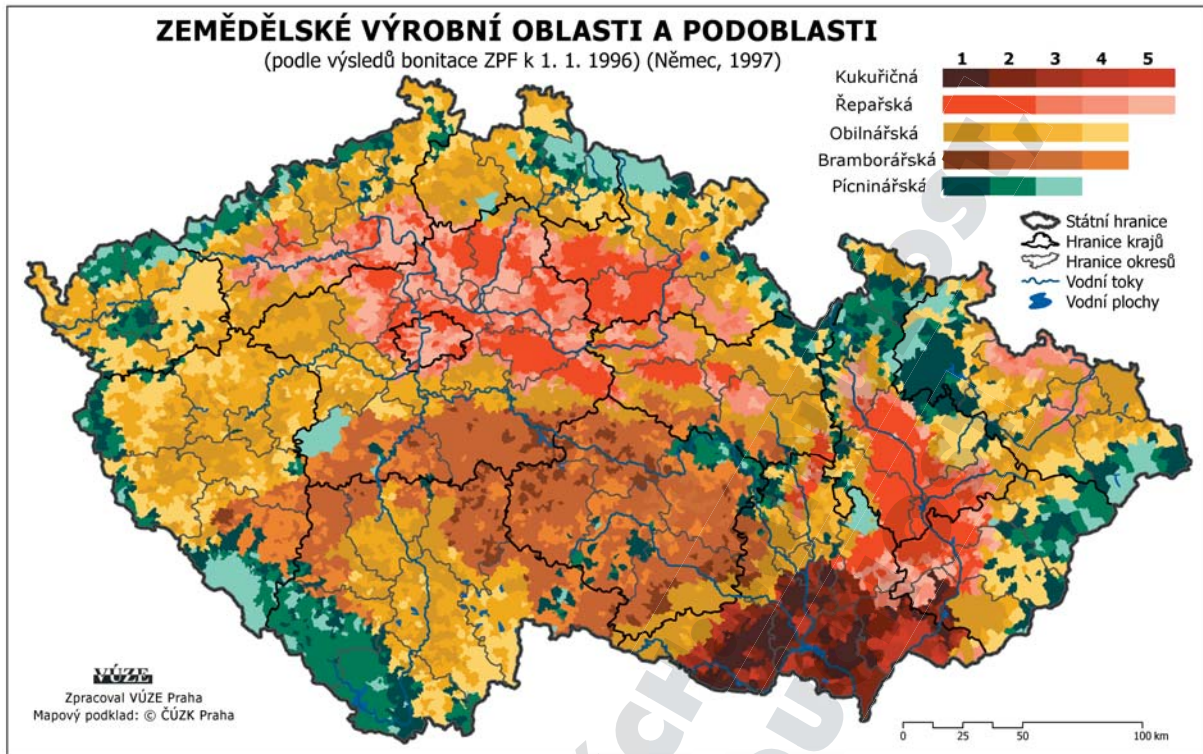
Často využívanou metodou hodnocení souboru agroklimatických podmínek daného území je jeho rozdělení na výrobní oblasti. Jejich vývoj v rámci českých zemí v obdobích 1931–1960 a 1961–1990 ukazuje obrázek 185. I když nezahrnuje období po roce 1990, v němž se vyskytla řada rekordně teplých a suchých let, je z něho patrný ústup pícninářské výrobní oblasti na jedné straně a rozšíření ploch výrobní oblasti kukuřičné (objevující se i na Mělnicku a Lounsku) a řepařské (například severní Morava, jihozápadní Čechy, východní okraj Českomoravské vrchoviny) na straně druhé.

Mezi oblasti tradičně nejvíce a nejčastěji postižené zemědělským suchem patří okresy jižní Moravy a také některé okresy středních Čech. V posledních letech (například v roce 2012) se však významné epizody sucha projevily i v okresech na střední Moravě, jako jsou Olomouc, Prostějov či Přerov (Zahradníček et al., 2014). Při hodnocení dopadů sucha se zřetelem na pokles výnosů dochází k největším meziročním poklesům právě v takových oblastech, které se jinak vyznačují vysokou produkční úrovní (například Haná). Je však třeba dodat, že v rámci okresů jižní Moravy či severozápadních Čech je sucho mnohem častější, čímž je následně snižována úroveň obvyklých výnosů, například v porovnání s Hanou za předpokladu stejných půdních podmínek. V takovýchto oblastech i velmi intenzivní epizoda sucha může mít relativně menší dopad z pohledu meziročního poklesu výnosů oproti regionálnímu průměru. Uvedené příklady byly zmíněny proto, aby naznačily komplikovanost hledání ideální metody pro hodnocení dopadů sucha na výnosy zemědělských plodin.

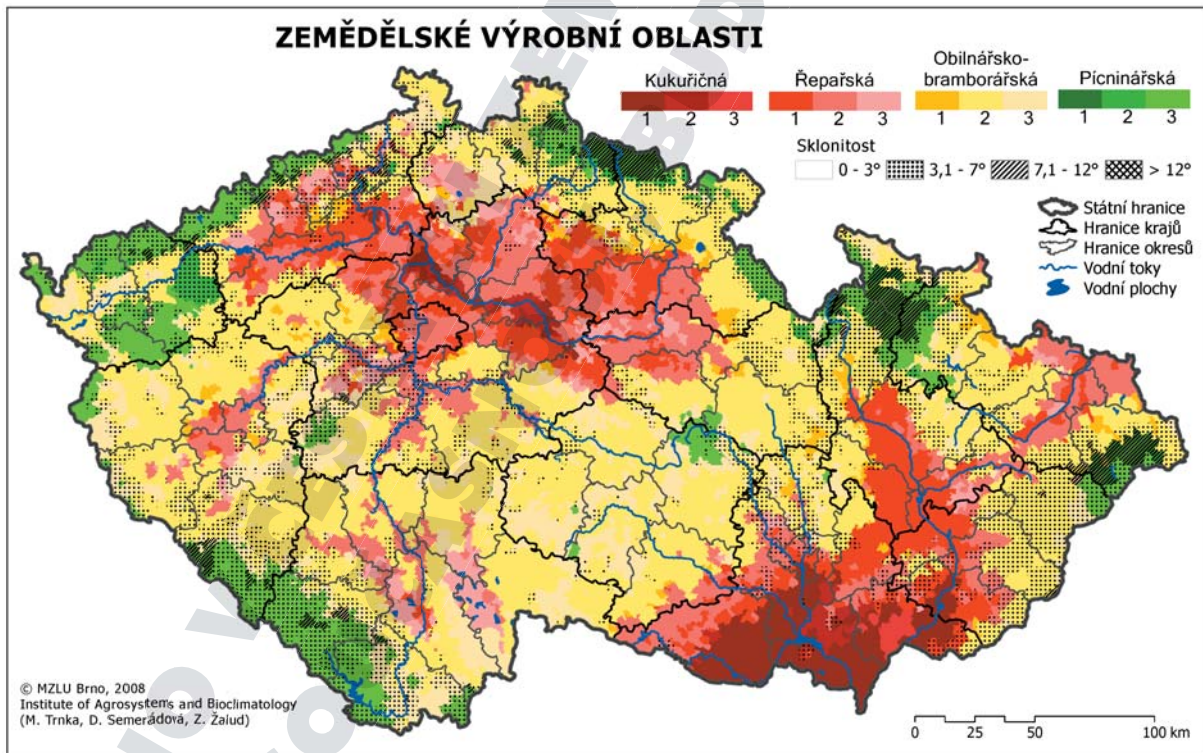
Vedle změny agroklimatických podmínek (obr. 185) jsou z hlediska studované problematiky velmi významné poznatky Trnky et al. (2012) o změně reakci plodin na průběh teplot vzduchu a výskyt sucha (obr. 186). Na základě hodnocení stability výnosů pšenice ozimé a ječmene jarního pro osm okresů v jihovýchodní části České republiky autoři konstatovali, že klimatická variabilita ovlivňuje proměnlivost výnosů v současných podmínkách (období 1961–2007) více, než tomu bylo koncem 19. a začátkem 20. století (období 1869–1913). Oproti minulosti vzrostly výnosy dvojnásobně až



a



b



**Obr. 185.** Geografické rozložení výrobních oblastí v českých zemích: (a) v období 1931–1960 (Němec, 2001); (b) v období 1961–1990 (Trnka et al., 2009b) – v rámci výrobních oblastí jsou rozlišeny podoblasti s půdními podmínkami od vhodných (1) přes průměrné (2) až po nevhodné (3), dostupnost pozemků je vyznačena šrafováním s rozlišením podle jejich sklonitosti

**Figure 185.** Geographical distribution of production regions in the Czech Lands: (a) in the 1931–1960 period (Němec, 2001); (b) in the 1961–1990 period (Trnka et al., 2009) – soil qualities from suitable (1) through mean (2) to unsuitable (3) are shown in individual production regions, field accessibility is expressed by hatching with respect to slope



trojnásobně jako důsledek technologického pokroku v zemědělství při současném vzrůstu teplot vzduchu a poklesu množství srážek mezi oběma obdobími. Je třeba dodat, že i když studiem dopadů sucha na výnosy se dosud zabývala řada prací (například Chloupek et al., 2004; Hlavinka et al., 2009; Lobell et al., 2011; Olesen et al., 2011; Kolář et al., 2014), žádná z nich nepracovala se staršími údaji jako zmíněná práce. Proto tyto práce nebyly schopny postihnout změnu vazeb mezi klimatem a výnosy v delším časovém intervalu. Podle Trnky et al. (2012) měly sušší podmínky období 1869–1913, hodnocené pomocí Z-indexu (Palmer, 1965) ve studovaných okresech, pouze malý negativní nebo dokonce pozitivní vliv na výnosy. Naproti tomu v období 1961–2007 bylo sucho v průběhu května a června již významným faktorem ovlivňujícím variabilitu výnosů (obr. 186). Tento závěr platí zejména u jarního ječmene, který je z hlediska výskytu sucha na jaře více zranitelný (Hlavinka et al., 2009). Negativní dopady zvýšené teploty vzduchu a sucha na výnosy byly výraznější u okresů s nejteplejšími a nejsuššími podmínkami. Obecně se zde uplatňuje fakt, že vyšší květnové a červnové teploty vzduchu vedou k dřívějšímu dozrání plodin, podporují stres suchem, zvyšují respiraci porostu a mohou například negativně ovlivnit průběh kvetení. Dopady vzestupu teplot a nárůstu epizod sucha byly do jisté míry zmírněny vlivem vyšší koncentrace  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Pokud by se předpokládalo (podobně jako Lobell a Field, 2007), že nárůst koncentrace  $\text{CO}_2$  o 1 ppm vede k přibližnému zvýšení výnosů o 0,1 % u C3 rostlin (například Long et al., 2006), pak rozdíl mezi roky 1870 a 2005 by mohl činit asi 9 % (1870 — 289 ppm  $\text{CO}_2$ , 2005 — 379 ppm  $\text{CO}_2$ ).

Na hodnocení vlivu sucha na výnosy s použitím Z-indexu pro osm klíčových plodin ze všech významných okresů v České republice (z hlediska pěstování dané plodiny) v období 1961–2000 se zaměřila studie Hlavinky et al. (2009). Její autoři identifikovali citlivá období, kdy variabilita Z-indexu nejlépe vysvětlovala proměnlivost odchylek výnosů ječmene jarního, pšenice ozimé, kukuřice na zrnno, řepky ozimé, žita ozimého, ovsa, brambor a sena od běžných hodnot v rámci daného okresu a časového období (obr. 187). Ukázalo se, že výnosy zvolených plodin nejlépe korelovaly se sumou relativního Z-indexu (tj. vodní bilancí) pro duben–červen.

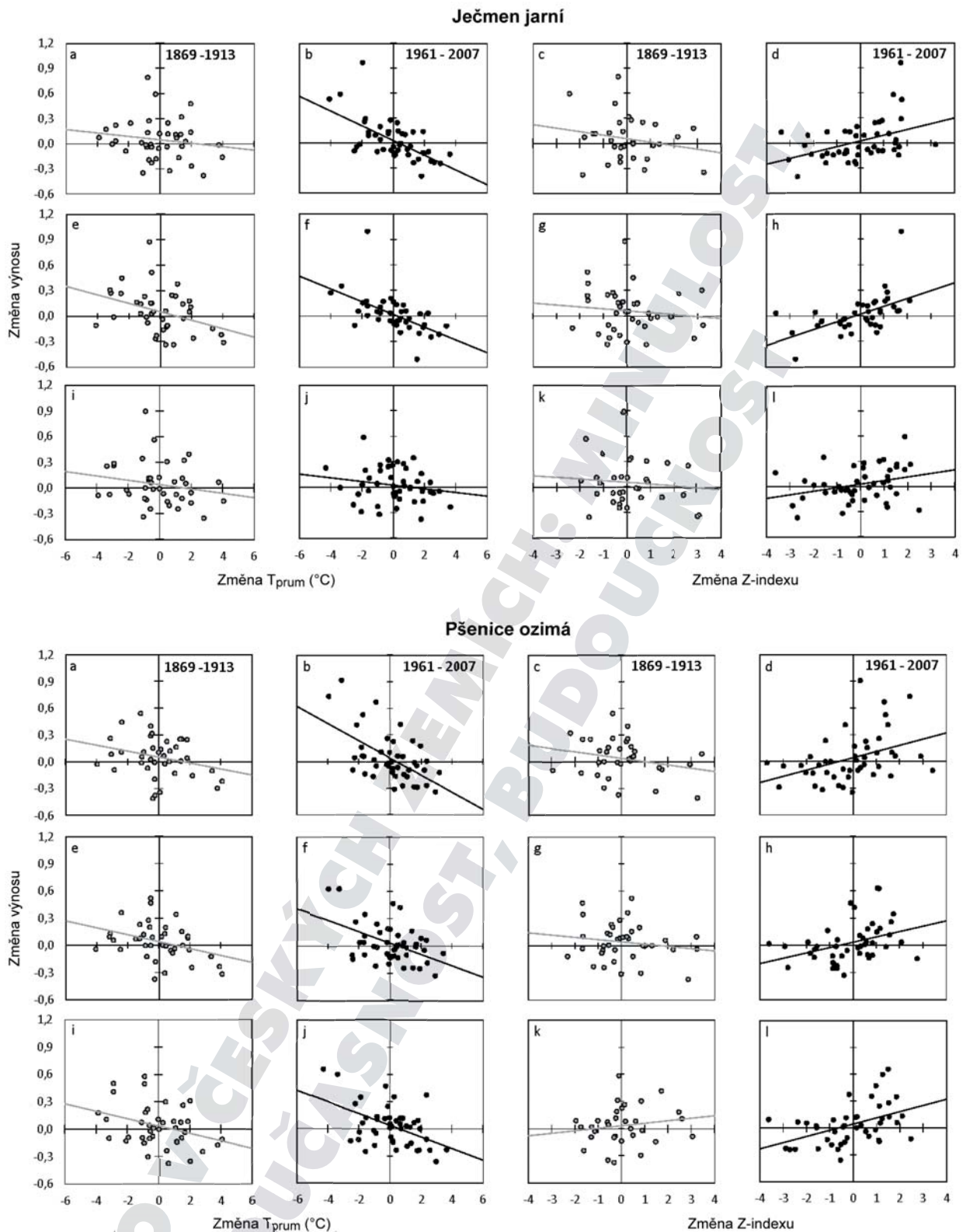
Hlavinka et al. (2009) rovněž kvantifikovali redukci výnosů osmi zvolených plodin při výskytu sucha určité intensity, hodnocené pomocí sumy relativního Z-indexu pro měsíce s největším významem

vodní bilance pro danou plodinu pro jednotlivé roky v daném okrese (obr. 188). Z analýz je patrná průměrně větší zranitelnost výnosů jarních plodin (ječmen jarní a oves versus pšenice ozimá a žito ozimé). I v případě plodin C4 (kukuřice na zrnno) může výskyt intenzivních epizod sucha vést k poklesu výnosů. U ječmene jarního a ovsa je dobře patrné zrychlování propadu výnosů s každým dalším stupněm intenzivnějšího sucha (nižší hodnoty relativního Z-indexu). Metodika kvantifikace vazeb mezi relativním Z-indexem a odchylkou výnosů od obvyklých hodnot byla v rámci zmíněné práce použita i pro detailní hodnocení situace v průběhu významných ročníků, jako byl například rok 2000 (obr. 189). U jarního ječmene a ovsa byl v tomto roce dobře patrný propad výnosů u většiny okresů, přičemž jeho velikost dobře odpovídala zjištěnému vodnímu deficitu. U ozimých plodin (pšenice, řepka, žito) a u kukuřice to platilo jen do jisté míry; byly identifikovány i okresy, kde sušší podmínky znamenaly mírný nárůst výnosů oproti běžným hodnotám (jednalo se o obvykle chladnější a vlhčí okresy).

Obdobné analýzy jako předchozí byly provedeny také pro období po roce 2000, nicméně v důsledku omezené dostupnosti údajů o výnosech na úrovni okresů po tomto roce bylo možné analyzovat pouze vybraný vzorek okresů. Například Kolář et al. (2014) hodnotili vliv klimatických faktorů na výnosy pšenice ozimé a ječmene jarního v 13 moravských okresech v období 1961–2007. Kromě vlivu sucha a vysokých teplot vzduchu si všimli i poškození holomrazy a konstatovali významnější dopad na výnosy v případě souběhu více nepříznivých podmínek.

Obrázek 190 ukazuje reakci výnosů ječmene jarního, pšenice ozimé a řepky ozimé na výskyt sucha na příkladu let 2000 a 2012. Z dalšího obrázku 191 je pak patrná reakce výnosů cukrové řepy na sucho v okrese Znojmo v letech 2000–2012. Oba obrázky dokládají pokles výnosů v důsledku snížených hodnot vodní bilance. U analýz týkajících se kratších časových intervalů není nutné z údajů o výnosech odstraňovat trendy nesouvisející s klimatickými podmínkami a lze pracovat přímo s reálnými hodnotami výnosů. Je tomu tak proto, že výnosy většiny polních plodin v letech 2000–2012 stagnovaly.

V kontextu kvantifikace dopadů sucha na výnosy zemědělských plodin lze uvést také práci Zahradníčka et al. (2014), hodnotící epizodu sucha trvající od srpna 2011 do května 2012, která zasáhla především východní částí území České republiky při výrazném prostorovém gradientu mezi západem (bez sucha) a východem republiky. Během hodnocené



**Obr. 186.** Vztah mezi relativními ročními odchylkami výnosů ječmene jarního a pšenice ozimé a změnou průměrné teploty vzduchu ( $T_{\text{prum}}$ ) a Z-indexu za květen–červen v obdobích 1869–1913 a 1961–2007 v okresech Břeclav (a–d), Brno-venkov (e–h) a Třebíč (i–l). Záporné hodnoty Z-indexu indikují výskyt sucha (podle Trnky et al., 2012)

**Figure 186.** Relationships between annual deviations in spring barley and winter wheat yields and annual anomalies in terms of May–June mean air temperature ( $T_{\text{prum}}$ ) and Z-index in the 1869–1913 and 1961–2007 periods at the Břeclav (a–d), Brno-venkov (e–h) and Třebíč (i–l) districts. Negative Z-index values indicate dry conditions (after Trnka et al., 2012)

Plodina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ječmen jarní				●	.....	.....	.....	.....	.....			
Pšenice ozimá	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Kukuřice na zrno					●	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Řepka ozimá	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Žito ozimé	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Oves				●	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Brambory				●	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Seno	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

**Obr. 187.** Přehled období (šedé buňky), jejichž vodní bilance vyjádřená relativním Z-indexem nejvíce korelovala s dosaženými výnosy ječmene jarního, pšenice ozimé, kukuřice na zrno, řepky ozimé, žita ozimého, ova, brambor a seno ve vybraných okresech České republiky v období 1961–2000. Tečkovaně je znázorněna typická délka trvání vegetace jednotlivých plodin od setí (kroužek) po sklizeň (šipka)

**Figure 187.** Periods (shaded cells) for which water balance expressed by relative Z-index correlated best with achieved yields of spring barley, winter wheat, maize, winter rape, winter rye, oats, potatoes and hay in selected districts of the Czech Republic in the 1961–2000 period. The usual sowing dates are shown as bold dots; the duration of the growing season is indicated by dotted lines and the harvests by arrows

epizody byly srážkové úhrny na úrovni 50–70 % průměru období 1961–2000, přičemž na 7,5 % území panovalo „stoleté“ sucho. Extrémně nízké výnosy obilnin v úrodných oblastech Moravy neměly analogii za předchozích 51 let a v okresech Brno-venkov, Břeclav, Prostějov a Přerov byly dokonce na nejnižší úrovni od sedmdesátých let 19. století (obr. 192). Větší negativní dopady byly patrné ve výnosech ozimů v porovnání s jařinami. Skutečný propad v celkové produkci ozimých plodin však byl ještě výraznější, protože řada nejvíce poškozených porostů byla na jaře zaorána.

Další možností zpřesňování odhadu dopadů sucha a rozsahu jím postižených území jsou analýzy ve větším prostorovém rozlišení, než je okresní úroveň. Jednou z oblastí, které byly v roce 2014 nejvýznamněji postiženy epizodou sucha, byla západní část okresu Znojmo. Rozdíly ve výskytu trvání významného vodního deficitu (obr. 193) mohly být identifikovány díky prostorovému rozlišení 500 x 500 m v rámci tzv. Integrovaného systému sledování sucha (ISSS; <http://www.intersucho.cz>). Sucho mělo výrazné dopady na zemědělské plodiny, a to včetně kukuřice (obr. 194), která by jako plodina typu C4 měla být oproti rostlinám typu C3 účinkům sucha odolnější.

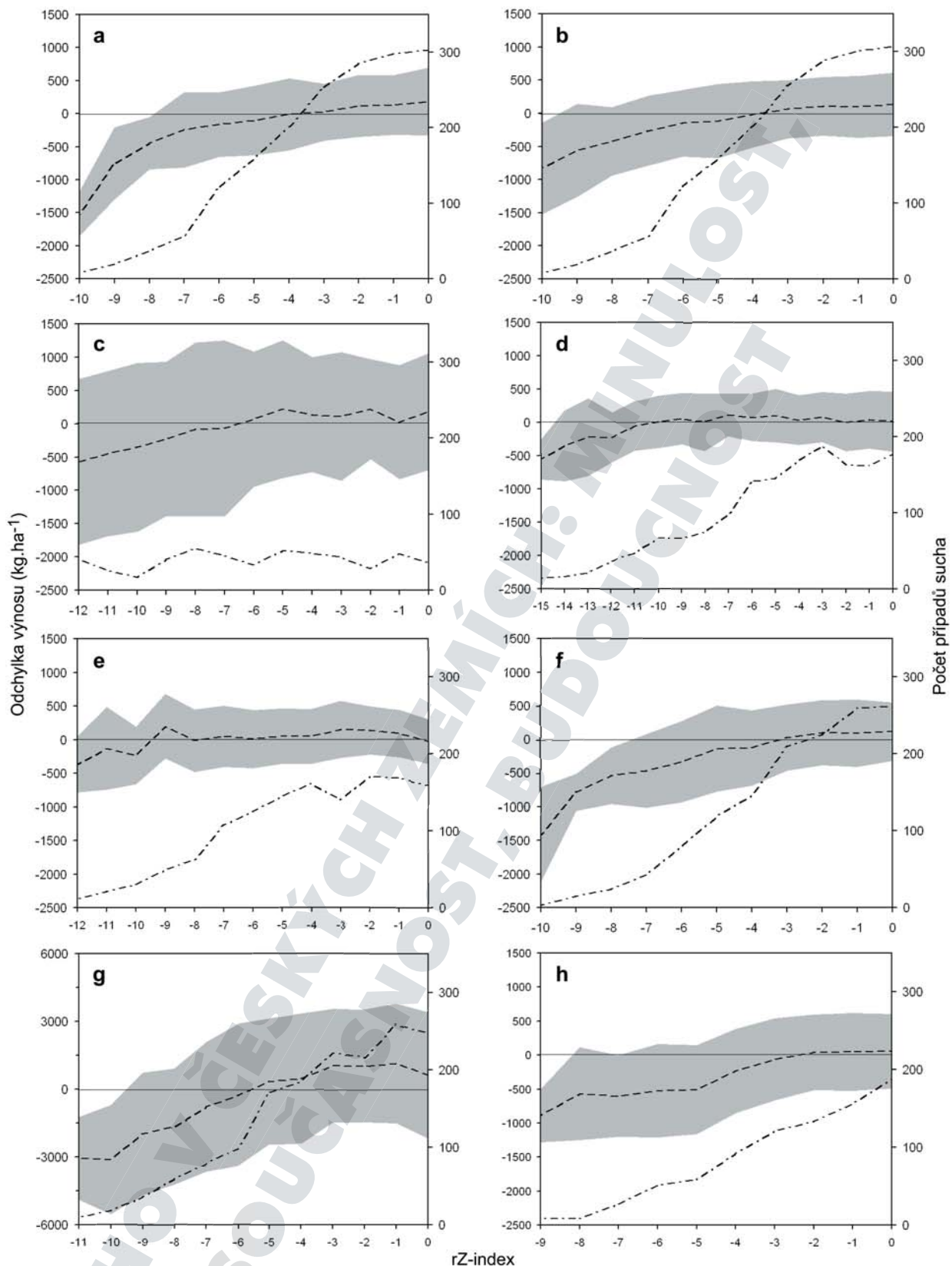
Velkou výhodou využití ISSS pro hodnocení zemědělského sucha je nejen jeho detailní prostoro-

vé rozlišení, ale současně i denní krok prováděných výpočtů. Aktuální výsledky jsou v pravidelném intervalu jednoho týdne prezentovány na webových stránkách <http://www.intersucho.cz>, takže je možné v reálném čase identifikovat epizody sucha. Další výzvou pro výzkum dopadů sucha na výnosy je využití růstových modelů, které umožňují provádět komplexní vícefaktorové analýzy včetně odhadů vlivu očekávaných podmínek v budoucnu pro různé scénáře změny klimatu. Výstupem pak mohou být upozornění na budoucí rizika a následná asistence při návrhu efektivních adaptačních opatření.

### 6.1.3 Dopady sucha na půdu

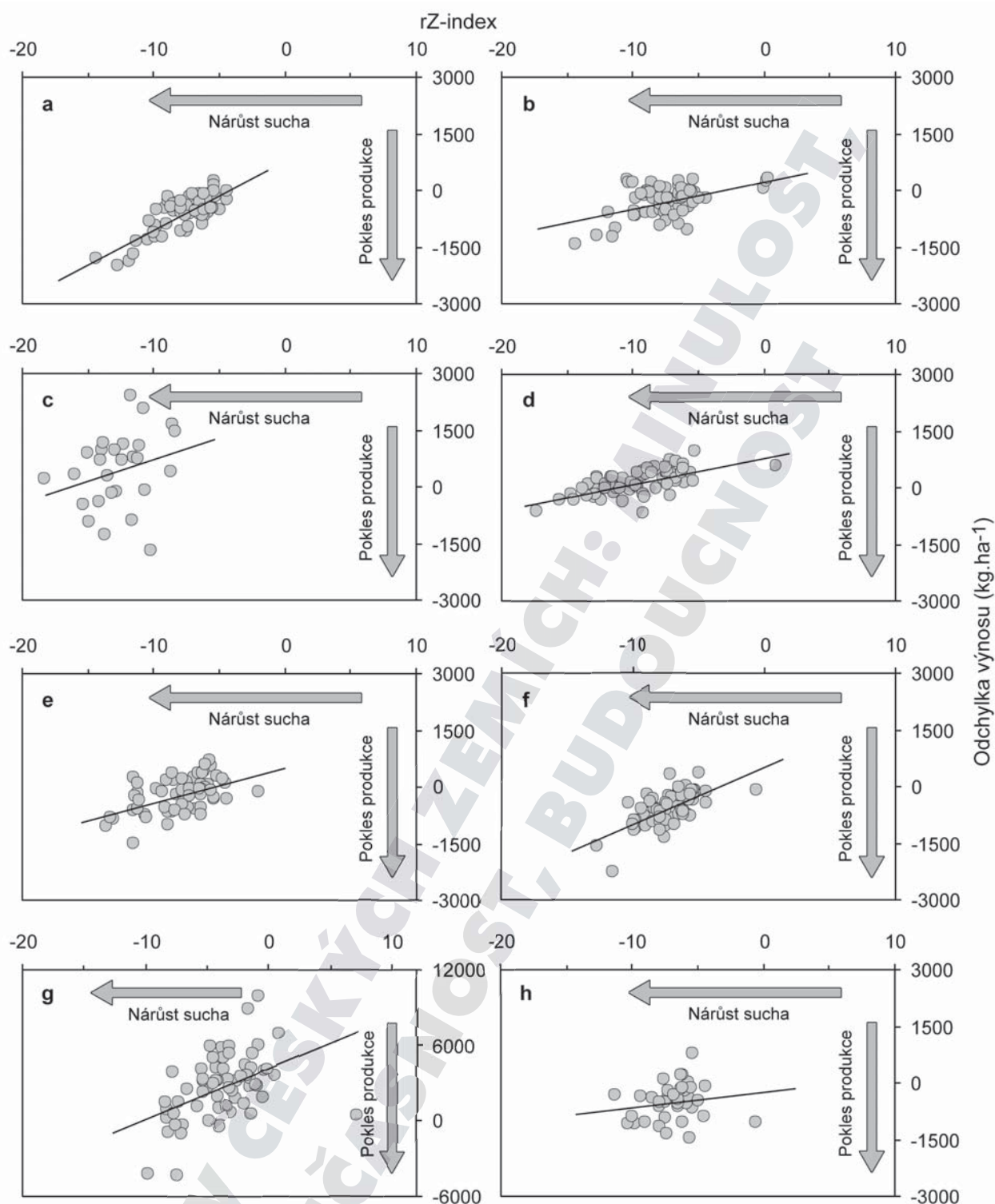
Sucho ale neovlivňuje zemědělskou výrobu pouze přímo snížením výnosů (obr. 189–192), ale také působením na degradaci půdního prostředí. Degradace (poškození) půdy znamená omezení či ztrátu schopnosti půdy plnit své přirozené funkce. Degradční faktory většinou nepůsobí izolovaně, ale vzájemně se kombinují a posilují. Zatímco na některé typy degradace má sucho větší vliv, zejména na větrnou erozi, dehumifikaci (tj. pokles obsahu organické hmoty v půdě) nebo desertifikaci, s jinými souvisí pouze okrajově (například s vodní erozí, která je usnadňována dehumifikací, k níž sucho přispívá). Sucho, resp. jeho dopady, mohou být často znásobeny způsobem hospodaření na půdě (obr. 195).





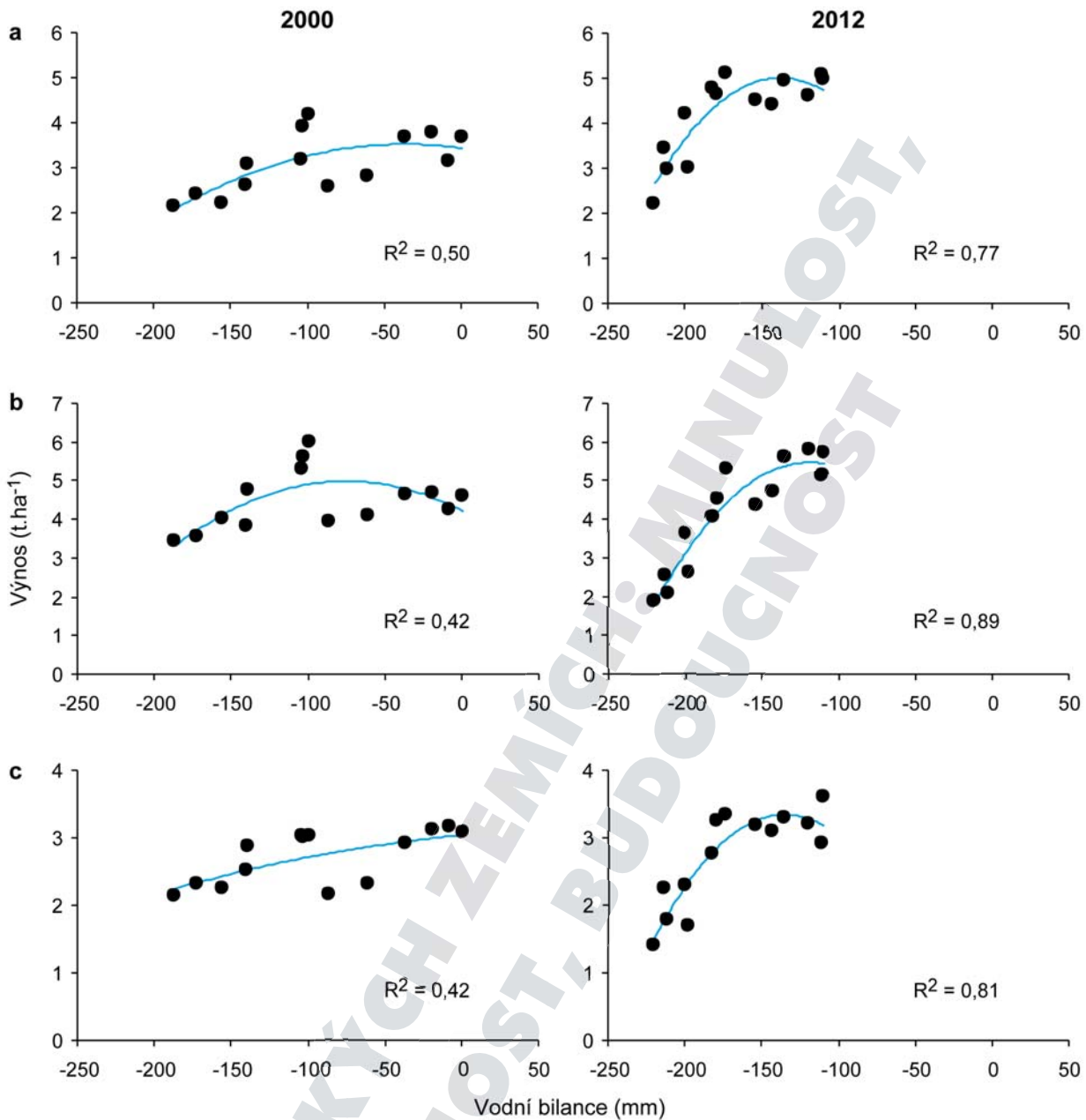
**Obr. 188.** Průměrné odchylky okresních výnosů (čárkovaně) ječmene jarního (a), pšenice ozimé (b), kukuřice na zrno (c), řepky ozimé (d), žita ozimého (e), ova (f), brambor (g) a sena (h) od obvyklých výnosů při různé intenzitě sucha vyjádřeného kumulativním relativním Z-indexem. Šedý pruh odpovídá  $\pm$ jedné směrodatné odchylce zjištěných rozdílů výnosů a čerchovaná čára značí počet případů sucha dané intenzity v okresech České republiky v období 1961–2000

**Figure 188.** Departures of mean yields (broken lines) of spring barley (a), winter wheat (b), maize (c), winter rape (d), winter rye (e), oats (f), potatoes (g) and hay (h) from usual yields for defined drought intensity as expressed by cumulative relative Z-index. Grey belts correspond to  $\pm$ standard deviation (from the mean yield departures). Numbers of districts-seasons for each drought category over the 1961–2000 period are shown by the dot-dash line



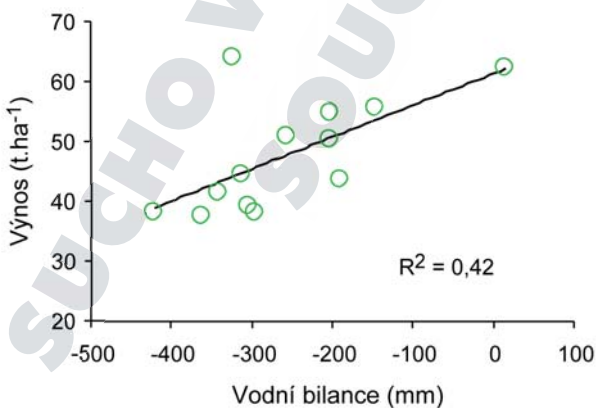
**Obr. 189.** Odchylky výnosů ječmene jarního (a), pšenice ozimé (b), kukuřice na zrno (c), řepky ozimé (d), žita ozimého (e), ovsu (f), brambor (g) a sena (h) od obvyklých výnosů při daných intenzitách sucha vyjádřených kumulativním relativním Z-indexem pro vybrané okresy v České republice v roce 2000. Přímka je vyjádřena lineární závislost mezi výnosy a relativním Z-indexem

**Figure 189.** Yield departures of spring barley (a), winter wheat (b), maize (c), winter rape (d), winter rye (e), oats (f), potatoes (g) and hay (h) from usual yields for defined drought intensity expressed as cumulative relative Z-index for selected districts in the Czech Republic in the year 2000. Lines represent the linear relationship between yield departures and rZ-index



**Obr. 190.** Průměrné výnosy ječmene jarního (a), pšenice ozimé (b) a řepky ozimé (c) v okresech Jihomoravského kraje, Olomouckého kraje a Vysočiny vztážené k vodní bilanci jara (březen–květen), vyjádřené rozdílům úhrnů srážek a referenční evapotranspirace, v letech 2000 a 2012

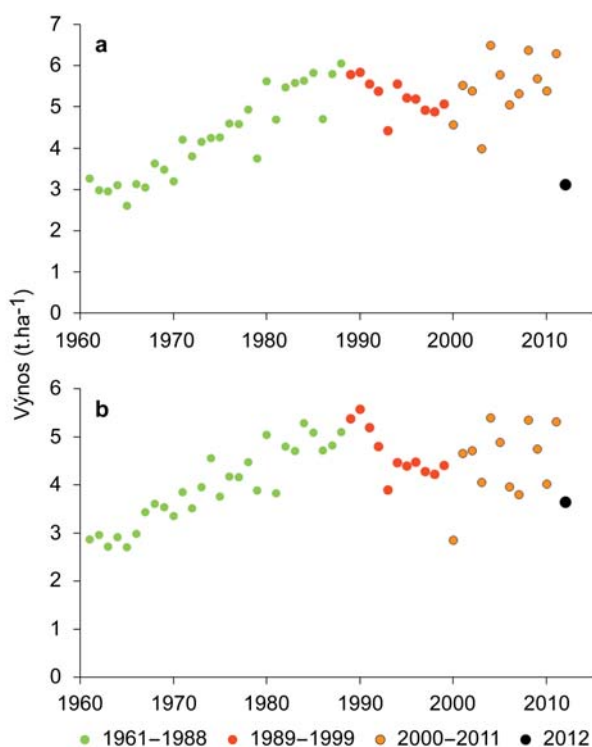
**Figure 190.** Relationships between mean yields of spring barley (a), winter wheat (b) and winter rape (c) in districts of the South Moravia, Olomouc and Vysočina regions and spring (March–May) water balance as the difference between precipitation totals and reference evapotranspiration in the years 2000 and 2012



**Obr. 191.** Průměrné výnosy cukrové řepy v okrese Znojmo v letech 2000–2012 vztážené k vodní bilanci května–srpna, definované jako rozdíl úhrnů srážek a referenční evapotranspirace

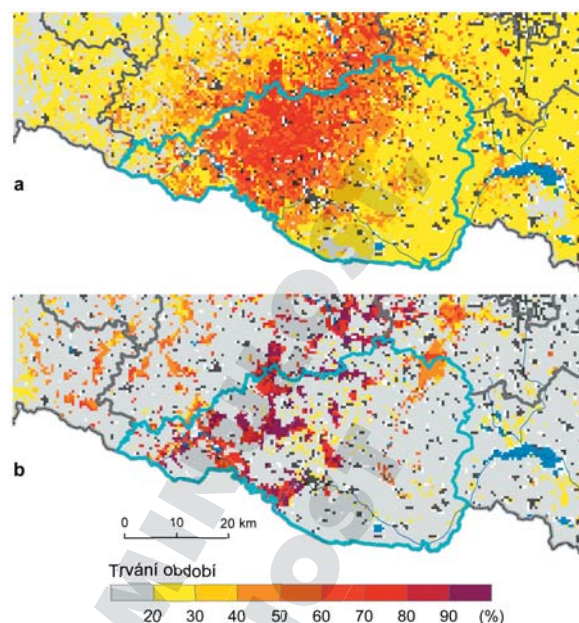
**Figure 191.** Relationship between mean sugar beet yields in the Znojmo districts in the 2000–2012 period and May–August water balance expressed as the difference between precipitation total and reference evapotranspiration





**Obr. 192.** Průměrné roční výnosy pšenice ozimé (a) a ječmene jarního (b) pro moravské okresy Brno-venkov, Břeclav, Přerov a Prostějov v období 1961–2012 (Zahradníček et al., 2014)

**Figure 192.** Mean annual yields of winter wheat (a) and spring barley (b) in the four Moravian districts (Brno-venkov, Břeclav, Přerov, Prostějov) in the 1961–2012 period (Zahradníček et al., 2014)



**Obr. 193.** Percentuální trvání období, kdy relativní nasycení půdního profilu kleslo pod hodnotu 30% retenční kapacity půdy pro vrstvu 0–40 cm (a) a 40–100 cm (b) v měsících duben–červen roku 2014 pro okres Znojmo (hranice okresu modře)

**Figure 193.** Percentage duration of the period within the months April–June in which relative soil moisture content was below 30% of retention capacity in the layers 0–40 cm (a) and 40–100 cm (b) in the Znojmo district in the year 2014 (district boundary marked in blue)



**Obr. 194.** Porost kukuřice ovlivněný suchem na Znojemsku na snímku z 20. července 2014 (foto D. Semerádová)

**Figure 194.** Maize crops in the Znojmo district under the impact of drought, 20 July 2014 (photo D. Semerádová)





**Obr. 195.** Projevy sucha na půdě – tvorba půdního škraloupy a trhlin (foto R. Vácha)  
**Figure 195.** Effects of drought on soil: formation of soil crusts and cracks (photo R. Vácha)



**Obr. 196.** Ukázka procesu zasolení půdy v národní přírodní rezervaci Soos na snímku z 21. června 2008 (foto R. Vácha)  
**Figure 196.** Example of the soil salinification process in the Soos National Nature Reserve, 21 June 2008 (photo R. Vácha)

Tato kapitola se proto zabývá popisem a vymezením hlavních degradačních procesů, ke kterým sucho na našem území přispívá, a současně půdními charakteristikami, které ovlivňují samotný průběh sucha.

Prvním degradačním procesem spojeným s výskytem sucha je zasolení půd, které spočívá v akumulaci rozpustných solí v půdě. O zasolené půdě (obr. 196) hovoříme v případě, že je elektrická vodivost vodního extraktu vyšší než  $4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Zasolování půdy je určováno klimatickými, geologickými a hydrologickými podmínkami. V celosvětovém měřítku k němu dochází především v nížinách, v údolních nivách a v deltách řek, přičemž ohroženy jsou zejména oblasti se zasolenou podzemní vodou nebo lokality v blízkosti mořského pobřeží. K zasolení dochází především v aridních oblastech, kde výpar převládá nad srážkami a malé množství srážkové vody nestačí odplavit soli pryč z půdního profilu. V podmínkách České republiky může být zdrojem solí především závlahová voda, podzemní voda vztlínající půdním profilem nebo aplikace průmyslových hnojiv. Zasolením se zhoršuje většina půdních vlastností a zvyšuje se osmotický tlak na kořeny rostlin, čímž jsou rostliny vysušovány. Zasolení se projevuje výskytem slanomilných rostlinných druhů a v extrémních případech až výkvěty solí na povrchu půdy. V našich podmínkách je způsobeno především anionty

$\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  a kationty  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  (Němeček et al., 1990). Jedná se však jen o lokální problém vázaný na aridní oblasti (půdní typ solončak se výjimečně objevuje na jižní Moravě) nebo na intenzivně zavlažované kultury (zelenina). Prevencí zasolení půdy je zejména používání čisté závlahové vody a kvalitních průmyslových hnojiv s nízkým obsahem solí.

K častému poškozování půdy na našem území dochází erozí, která představuje jednu z nejzávažnějších forem degradace půd a ochuzuje ji o její nejcennější část, ornici. V souvislosti se suchem je třeba zmínit zejména větrnou erozi (obr. 197), kterou je ohroženo přes 18 % půd České republiky. Dochází při ní k odnosu půdních částic z povrchu půdy mechanickou silou větru, transportu půdních částic na jiné místo a jejich následnému usazování. Výsledkem je zvýšení štěrkovitosti půdy, ztráty živin, humusu, osiva, sadby a poškození pěstovaných plodin (Janeček et al., 2012). Navíc nepřímou ovlivňuje pohyb zemědělských strojů při obdělávání půd. Průvodním jevem větrné eroze je také zanášení komunikací a příkopů a výrazné zvýšení prašnosti ovzduší. Jemné půdní částice obsahující i různé zbytky agrochemikálií se pak mohou dostat i do dýchacího ústrojí člověka i ostatních živočichů. Pro větrnou erozi jsou rozhodující především faktory klimatické (směr, frekvence a rychlost větru), struktura půdy, drsnost půdního povrchu a také vlhkost půdy. Ačkoliv je typickým jevem v aridních oblastech, vyskytuje se i v humidních oblastech na vysychavých místech nekrytých vegetací, případně i na půdách extrémně těžkých (viz například Litoměřicko). Vzniku větrné eroze napomáhá zejména nadměrná velikost po-



**Obr. 197.** Odnos, přesun a usazování částic při větrné erozi v okolí Rakvic (foto M. Tipll)

**Figure 197.** Detachment, transport and deposition of particles by wind erosion in the Rakvice area (photo M. Tipll)

zemků s jedním druhem plodiny, chybějící větro-lamy, přirozené či uměle vysazované aleje, remízky apod. V jednotlivých rocích jde i o výskyt vhodných klimatických podmínek reprezentovaných suchem v kombinaci s prouděním vzduchu.

Z hlediska pěstování zemědělských plodin bývá nejškodlivější větrná eroze na jaře po suché zimě, kdy bývají poškozeny mladé porosty. Rozsah a výskyt půd ohrožených větrnou erozí v České republice ukazuje obrázek 198 a tabulka 20.

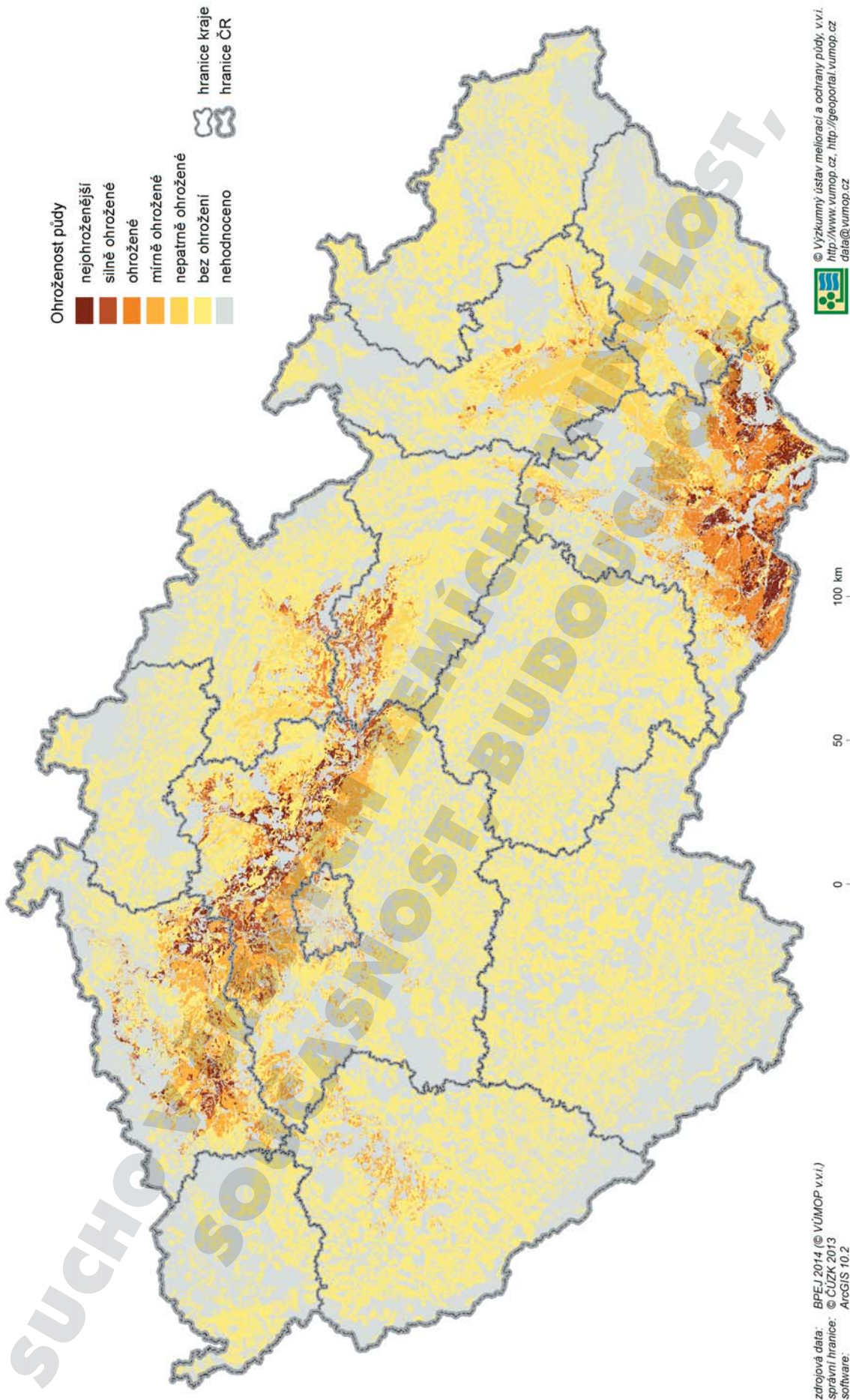
Třetím významným a se suchem spojeným procesem, přispívajícím k degradaci půdy, je dehumifikace, kterou rozumíme úbytek obsahu humusu v půdě. Dochází k němu intenzivním zpracováním půdy bez dostatečného přísunu organických hnojiv. Pokles obsahu humusu je dále zesilován působením

**Tab. 20.** Potenciální ohroženost orné půdy větrnou erozí v České republice (<http://statistiky.vumop.cz>)

**Table 20.** Potential vulnerability of arable land to wind erosion in the Czech Republic (<http://statistiky.vumop.cz>)

Stupeň ohroženosti půdy	Orná půda	
	výměra (ha)	podíl (%)
nejohroženější	80 290	3,21
silně ohrožené	45 379	1,81
ohrožené	143 690	5,74
mírně ohrožené	185 092	7,39
náchylné	175 423	7,00
bez ohrožení	1 844 028	73,61
nehodnoceno	31 156	1,24
Celkem	2 505 058	100,00





**Obr. 198.** Geografické rozložení potenciální ohroženosti zemědělské půdy větrnou erozí v České republice (<http://statistiky.vumop.cz>)  
**Figure 198.** Geographical distribution of potential vulnerability of arable land to wind erosion in the Czech Republic (<http://statistiky.vumop.cz>)

vodní a větrné eroze, zvýšenou mineralizací půdy po odvodnění pozemku, zavlažováním půdy nebo její zvýšenou aerací po rozorání luk a pastvin. Zásadní vliv na jeho obsah má také způsob využití půdy, kdy humus je zastoupen ve větší míře na půdách zatravněných, než na půdách pravidelně oraných (Orlov et al., 2003). Důsledkem úbytku půdní organické hmoty je zhoršení stability půdní struktury, vysoká zranitelnost erozí a acidifikací, snížení infiltrační a retenční schopnosti půdy (půda je nestabilní a snadno zhutnitelná), zvýšení pohyblivosti kontaminujících látek, horší poutání živin, zvýšení obsahu dusičnanů v půdě s časově omezeným vlivem na výživu rostlin a negativním dopadem na hydrosféru. Úbytek humusu působí významně i na půdní edafon a jeho činnost. Uvedené faktory tak vedou ke snížení produkční schopnosti půdy. Míru dehumifikace zemědělských půd v České republice shrnuje tabulka 21 a výskyt dehumifikací ohrožených půd ukazuje obrázek 199.

Degradační procesy v půdě mohou vést až k desertifikaci (obr. 200), tedy procesu, který vede k poklesu úrodnosti půdy a postupné přeměně území na poušť. Hlavním faktorem je dlouhodobý nedostatek vody v půdě a intenzivní mineralizace organické hmoty. V České republice se tato problematika týká zejména území situovaných na jižní Moravě, která se stále rozšiřují úměrně s intenzitou procesu eroze půdy (jak větrné, tak hlavně vodní). Některé půdy, zejména kvalitní černozemě, jsou za několik desítek let již tak erodovány, že jsou obnaženy podložní substráty (v lepším případě spraš, v horším písčité substráty z původního mořského dna). K desertifikaci přispívá i probíhající klimatická změna se stále častějším výskytem dlouhých období sucha a nedosta-

tek statkových hnojiv, kterými by měla být dodávána organická hmota do půdy. Výskyt půdních bloků ohrožených desertifikací lze odvodit podle zrnitosti půdy a klimatických podmínek stanoviště. Na základě těchto charakteristik představují tzv. vysychavé půdy v České republice 3 % z celkové výměry zemědělské půdy. Geografické rozložení území výrazně postiženého tímto degradačním procesem ukazuje obrázek 201.

#### 6.1.4 Půdní vlastnosti ovlivňující průběh a dopady sucha

Dopady konkrétní epizody sucha na vodní režim krajiny či výnosy zemědělských plodin závisejí do značné míry na půdních vlastnostech, a to zejména na infiltrační a následně retenční schopnosti půdy. První z těchto vlastností je infiltrační schopnost půdy, tedy schopnost pohlcovat především vodu ze srážek. Rychlost průtoku vody do půdy se označuje jako rychlost infiltrace vody. Na základě kategorizace hlavních půdních jednotek rozlišujeme pět skupin s různou úrovní propustnosti a infiltrace. Optimální je střední až vysoká infiltrační schopnost, při které se minimalizuje povrchový odtok vody, a tím i riziko vodní eroze, a současně se zvyšuje šance na vytvoření rezervy půdní vláhy pro případ následného nedostatku vody. Při extrémně vysoké infiltrační schopnosti naopak hrozí rychlé vyplavování živin a polutantů do podloží a do podzemních vod. Charakteristiky týkající se rozdělení půd podle rychlosti infiltrace vody shrnuje tabulka 22.

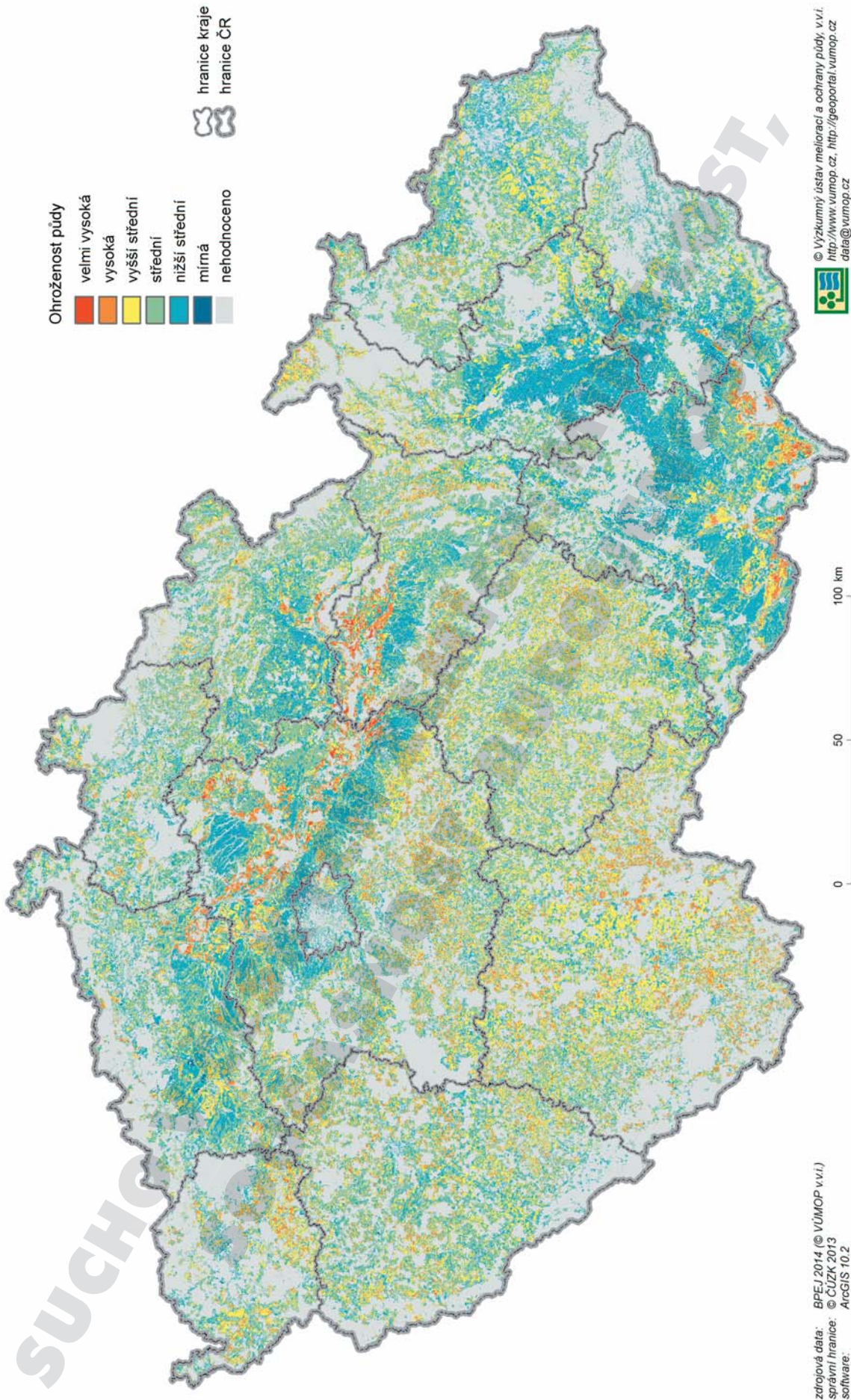
Druhá půdní vlastnost, retenční schopnost půdy, vyjadřuje schopnost půdy zadržet vodu v půdním profilu. Zcela zásadně pak ovlivňuje zranitelnost území v případě výskytu epizody sucha. Pokud do této

**Tab. 21.** Potenciální ohroženost zemědělské půdy dehumifikací v České republice (<http://statistiky.vumop.cz>)

**Table 21.** Potential vulnerability of agricultural land to dehumidification in the Czech Republic (<http://statistiky.vumop.cz>)

Potenciální ohroženost dehumifikací	Zemědělská půda	
	výměra (ha)	podíl (%)
velmi vysoká	23 104	0,55
vysoká	296 775	7,05
vyšší střední	1 177 186	27,96
střední	1 430 561	33,97
nižší střední	1 229 723	29,21
mírná	53 017	1,26
Celkem	4 210 366	100,00





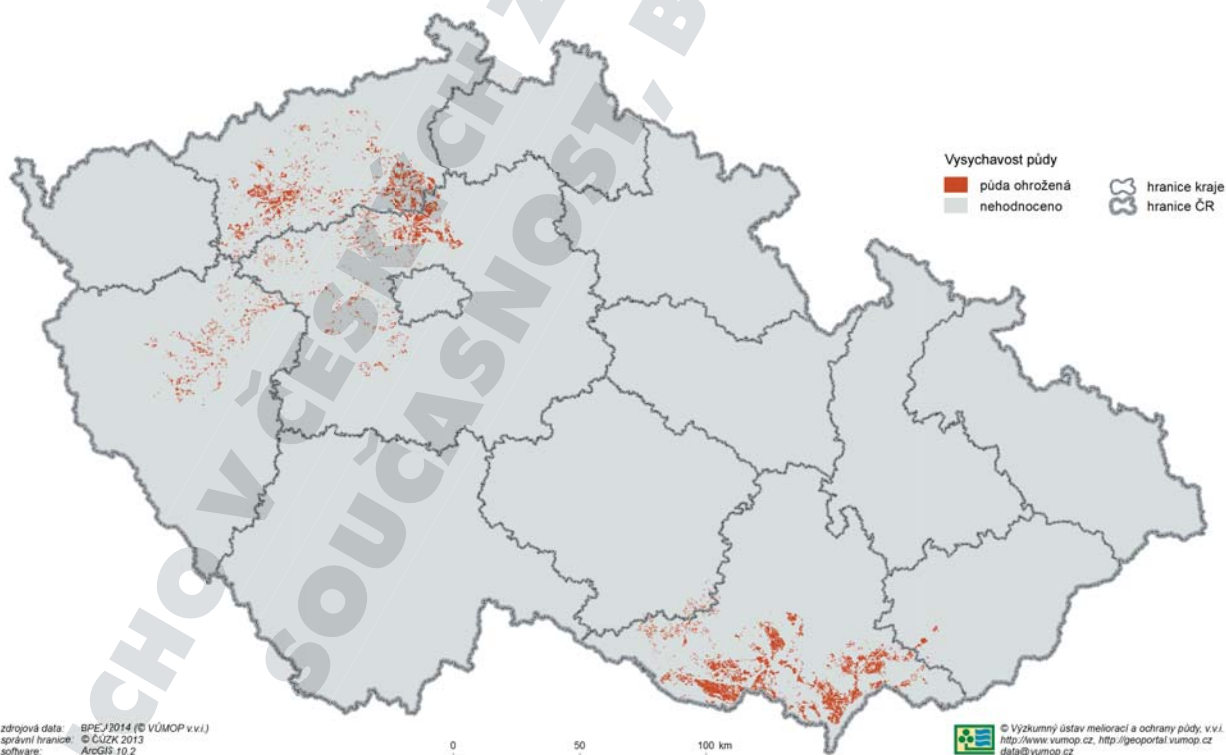




**Obr. 200.** Ukázka profilu vysychavé půdy (regozem) ve Ždánicích na Hodonínsku na snímku z 14. července 2010 (foto J. Vopravil)

**Figure 200.** Example of a drying soil profile (regosol), Ždánice in the Hodonín region, 14 July 2010 (photo J. Vopravil)

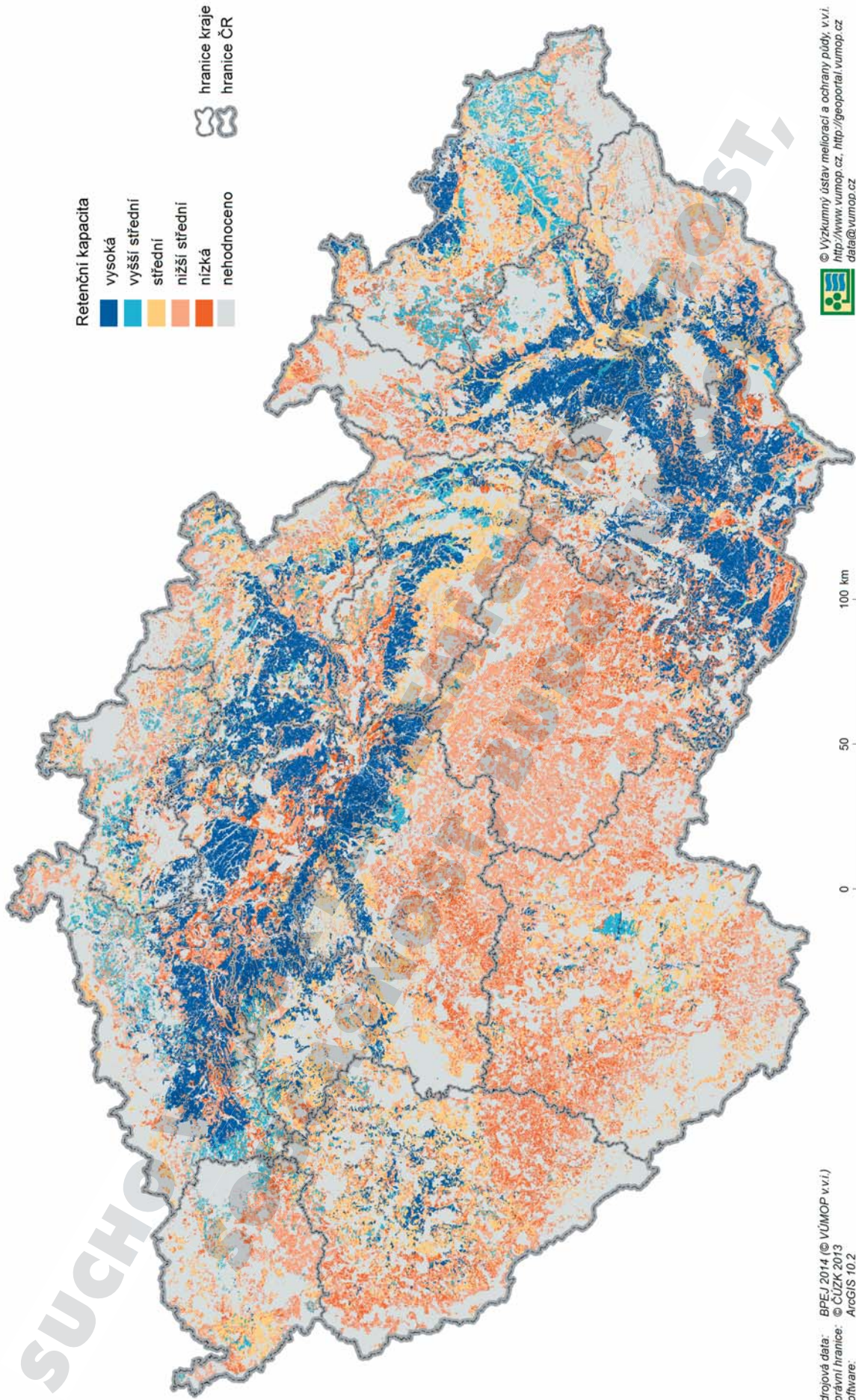
epizody vstupuje území s plně nasyceným půdním profilem, dokáže jeden metr čtvereční půdy s vysokou retenční schopností plně zajistit dostupnou půdní vláhu po dobu asi 50 dnů, zatímco na půdách s nízkou retenční schopností to může být i méně než deset dnů. Potenciální retenční vodní kapacita hlubokých černozemí a hnědozemí je až  $350 \text{ l.m}^{-2}$  půdy (Vopravil et al., 2010). Půdy se dělí podle retenční vodní kapacity do pěti skupin na půdy s nízkou ( $< 100 \text{ l.m}^{-2}$ ), nižší střední ( $100\text{--}160 \text{ l.m}^{-2}$ ), střední ( $160\text{--}220 \text{ l.m}^{-2}$ ), vyšší střední ( $220\text{--}320 \text{ l.m}^{-2}$ ) a vysokou ( $> 320 \text{ l.m}^{-2}$ ) retencí. Výsledné hodnoty retenční vodní kapacity zohledňují průměrnou hloubku profilu a obsah vody, takže charakterizují skutečné množství vody, které je půda při srážkách schopna zadržet. Nejvyšší retenční vodní kapacitu mají půdy hlinité až jílovitohlinité. Jak ukazuje obrázek 202, v suchem nejvíce postihovaných oblastech České republiky se vyskytují převážně půdy s vysokou retenční schopností, nicméně najdeme zde i poměrně rozsáhlé oblasti půd s nižší retenční schopností, což následně ovlivňuje průběh a dopady epizod sucha.



**Obr. 201.** Geografické rozložení vysychavých půd na území České republiky (<http://statistiky.vumop.cz>)

**Figure 201.** Geographical distribution of soils prone to drying out in the territory of the Czech Republic (<http://statistiky.vumop.cz>)





**Obr. 202.** Geografické rozložení retenční vodní kapacity půd na území České republiky (<http://statistiky.vumop.cz>)  
**Figure 202.** Geographical distribution of the water retention capacity of soils in the territory of the Czech Republic (<http://statistiky.vumop.cz>)

**Tab. 22.** Stupnice rychlosti infiltrace vody do půdy při úplném nasycení (<http://statistiky.vumop.cz>)**Table 22.** Rate of water infiltration into the soil at full saturation (<http://statistiky.vumop.cz>)

Kategorie infiltrace	Rychlost infiltrace (mm.min <sup>-1</sup> )	Půdy
vysoká	> 0,20	hluboké šterky a písky
vyšší střední	0,15–0,20	středně hluboké a hluboké půdy, hlinitopísčité až jílovitohlinité
střední	0,10–0,15	středně hluboké a hluboké půdy, hlinitopísčité až jílovitohlinité
nižší střední	0,05–0,10	půdy s málo propustnou vrstvou, jílovitohlinité až jílovité
nízká	< 0,05	bobtnavé jíly, vysoká hladina podzemní vody, mělké půdy

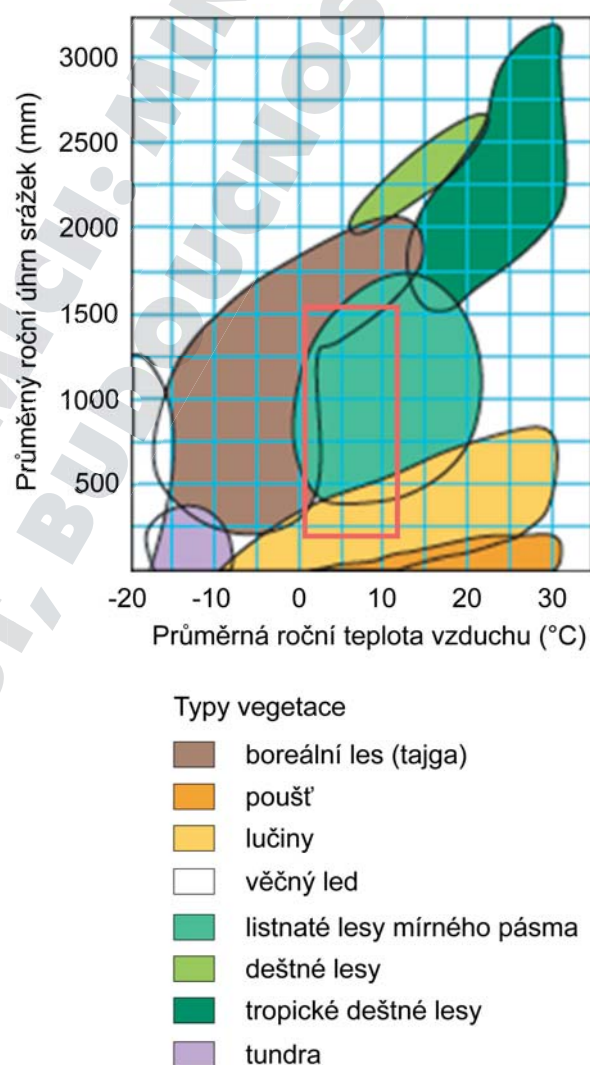
## 6.2 LESNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Lesní vegetace je nedostatkem vláhy ovlivňována podobně jako ostatní rostliny, přičemž z pohledu lesních ekosystémů je množství a dostupnost vody, stejně jako její rozložení v průběhu roku, základním faktorem, řídícím spolu s teplotou vzduchu rozšíření porostů, jejich druhové složení a produkci na Zemi (Boisvenue, Running, 2006). S rostoucím množstvím srážek se zvětšuje nejen produkce, ale i počet dřevinných druhů. Druhové složení porostů závisí nejen na celkovém množství srážek, ale také na jejich rozložení v průběhu vegetační sezony. V mírném klimatickém pásu (temperátní zóně), kde se nachází i naše lesy, dominují během vlhkých období mezofytní druhy, zatímco v suchých obdobích jejich převaha odeznívá. Růstu stromů v širším měřítku tedy brání především aridita (tj. suchost) prostředí, výraznější v kontinentálním typu klimatu. V souvislosti s teplotou vzduchu je třeba si uvědomit, že množství srážek, které je v teplém klimatu dostatečné jen pro stepní vegetaci, může v chladnějších oblastech stačit i pro rozvoj lesů (obr. 203).

Ariditu je třeba chápat jako soubor charakteristických, víceméně trvalých podmínek prostředí. Za aridní oblast je považováno území s ročním úhrnem srážek menším než 250 mm a za semiaridní s 250–500 mm srážek (Wood, 2005). Naproti tomu sucho, charakterizované deficitem vody v jedné nebo více složkách prostředí v kontinuu půda – rostlina – atmosféra, je přechodný stav prostředí, vyskytující se v různé frekvenci, intenzitě a délce trvání i v prostředí vlhkém, resp. s dostatečným ročním úhrnem srážek.

### 6.2.1 Vodní provoz stromu a reakce na vodní stres

Vodní bilancí rostliny (stromu) se rozumí poměr mezi množstvím přijaté a vydané vody. Může být



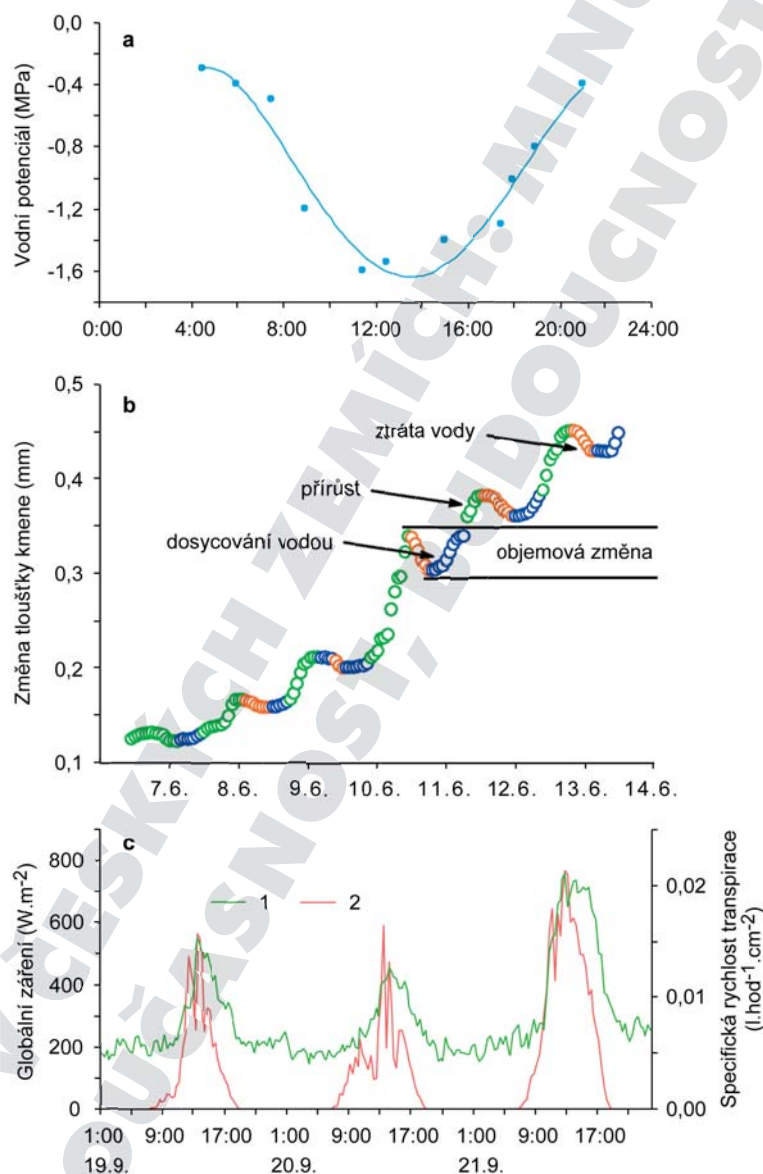
**Obr. 203.** Schematické znázornění rozšíření různých typů vegetace na Zemi s ohledem na průměrný roční úhrn srážek a průměrnou roční teplotu vzduchu. Červený obdélník znázorňuje podmínky v České republice (upraveno podle Woodwarda et al., 2004)

**Figure 203.** A schematic expression of the distribution of the different vegetation types worldwide with respect to mean annual precipitation total and mean annual air temperature. The red rectangle indicates patterns in the Czech Republic (modified after Woodward et al., 2004)



pozitivní (aktivní), vyrovnaná nebo negativní (pasivní). Aktivní (kladná) vodní bilance rostliny představuje stav, kdy převládá příjem vody nad výdejem a kdy dochází například k dosycování pletiv vodou. Vodní bilance rostliny neustále osciluje mezi kladnými a zápornými hodnotami, a má svůj denní i sezonní průběh. Ve dne mají stromy obvykle bilanci zápornou, přičemž obsah vody se obnovuje večer či v noci, což je patrné z denního průběhu změny obsahu vody v listoví (obr. 204a), objemových změn kmene (obr. 204b) nebo rychlosti proudění „xylémových šťáv“ v kmeni, již lze zaznamenat některou z tepelných metod (například Köstner et al., 1998; Čermák et al., 2004; obr. 204c). Při odstranění trendu objemových změn kmene v čase (detrendaci), monitorovaných pomocí automatických dendrometrů, lze prokázat, že i změny v obvodu, resp. objemu kmene závisí na množství dostupné vody, resp. srážek, a na podmínkách prostředí pro výpar (popsanými sytostním doplňkem, který lze odvodit z teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu). Při déletrvajícím suchu se kmene dokonce výrazně smršťují a ob-

mových šťáv“ v kmeni, již lze zaznamenat některou z tepelných metod (například Köstner et al., 1998; Čermák et al., 2004; obr. 204c). Při odstranění trendu objemových změn kmene v čase (detrendaci), monitorovaných pomocí automatických dendrometrů, lze prokázat, že i změny v obvodu, resp. objemu kmene závisí na množství dostupné vody, resp. srážek, a na podmínkách prostředí pro výpar (popsanými sytostním doplňkem, který lze odvodit z teploty, vlhkosti a tlaku vzduchu). Při déletrvajícím suchu se kmene dokonce výrazně smršťují a ob-



**Obr. 204.** a) Denní chod změn obsahu vody v letorostech mladého smrku ztepilého dne 6. srpna 2006; b) chod objemových změn kmene ve dnech 7.–14. června 2010; c) změny rychlosti transpiračního proudu (1) v kmeni mladého smrku ve dnech 19.–21. září 2000 (2 – globální záření). Všechna měření byla provedena na lokalitě Bílý Kříž v Moravskoslezských Beskydách

**Figure 204.** (a) Diurnal variation of changes in water content in the tree-rings of a young Norway spruce on 6 August 2006; (b) variation in changes of stem volume on 7–14 June 2010; (c) changes in sap flow rate (1) in the stem of a young Norway spruce on 19–21 September 2000 (2 – global radiation). All measurements were taken in the Bílý Kříž locality in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

jem kmene se zmenšuje. Zvětšení objemu kmene je naopak nejen výsledkem růstu, ale i dosycování kmene vodou. Vyrovnaná vodní bilance znamená, že příjmová i výdajová složka jsou v rovnováze. Při pasivní (negativní) vodní bilanci dochází ke zvyšování vodního sytostního deficitu v rostlině a k poruše zásobování a hospodaření s vodou. Sloupec vody ve vodivých drahách xylému může být v extrémních podmínkách dokonce trvale přerušen kavitací (zavzdušněním). Obsah vody v rostlině lze vyjádřit relativně jako procentuální podíl obsahu vody vůči plnému nasycení nebo hodnotou vodního potenciálu, který v podstatě ukazuje, jakou silou je voda v daném prostředí vázána. Obdobně může být vodní bilance celého porostu vysoce pozitivní, pozitivní, vyrovnaná či negativní. Negativní vodní bilance však není dlouhodobě udržitelná ani pro rostlinu, ani pro porost.

Příjmovou složkou v rovnici vodní bilance lesního porostu jsou vertikální a horizontální srážky, případně přítok (především v údolních nivách a luzích). Horizontální srážky mohou především v horských oblastech dosahovat téměř 30 % množství vertikálních srážek. Výdajovou složkou vodní bilance pak tvoří evapotranspirace a odtok. Složkami evapotranspirace jsou intercepce, výpar z povrchu půdy a volných povrchů vodní hladiny (evaporace) a aktivní výpar řízený rostlinou či porostem (transpirace). Intercepce je u stromů poměrně dost významná. Jde o srážky, které ulpí na povrchu vegetace, především listů, a znovu se vypaří do ovzduší bez ovlivnění půdní vlhkosti (tzv. „skropná“ voda). Intercepce závisí na velikosti povrchu vegetace a kolísá nejčastěji mezi 0,3 až 1,5 mm v rámci jedné srážkové epizody. Například u smrkového porostu se na celkové evapotranspiraci podílí intercepce asi 30 %, transpirace 60 % a výpar z půdy 10 %.

Odtok se dělí na povrchový a podpovrchový, přičemž v lese je povrchový odtok zanedbatelný. Výjimkou je období, kdy je půda plně nasycena vodou, tedy po zimě či při opakujících se přivalových deštích. U stromů s hladkou kůrou a metlovitou korunou je půda navíc nezanedbatelně obohacována stokem vody po kmene. Ten tvoří například u buku až 15–18 % z množství dopadajících srážek. U dřevin s hrubou kůrou a rozložitým typem větvení (například u smrku) je naproti tomu stok po kmene zanedbatelný (asi 1–2 %).

K pasivní vodní bilanci stromu či vodnímu deficitu dochází při jakékoli nerovnováze ve vodní bilanci, tedy například při vysokém výdeji transpirací, zvláště za současné nízké rychlosti absorpce kořeno-

vým systémem. Nízká rychlost absorpce vody je nejčastěji dána nedostatkem vody v půdě, ale také vysokou koncentrací solí, hodnotou pH půdy či nízkou teplotou půdy.<sup>81</sup> Transpirace, jako výdejová složka, je řízena rostlinou v závislosti na množství vody v rostlině a faktorech prostředí. Proto je vyšší rychlost transpirace důsledkem „vysokých požadavků na výpar“, jako jsou nízká vlhkost vzduchu, vysoká teplota vzduchu (resp. vysoký sytostní doplněk), vysoké ozáření, působení silného větru aj. Stres suchem je tak často doprovázen také tepelným stresem.

Každý rostlinný druh má různou toleranci ke stresu suchem. Jak bylo uvedeno v kap. 6.1.1, v zemědělství a pedologii se považuje za konvenční normu bodu trvalého vadnutí vodní potenciál půdy –1,5 MPa, přičemž obecně se uvádí hodnoty mezi –1 a –4 MPa.<sup>82</sup> Vodní potenciál jehlic/listů lesních dřevin klesá při stresu mírným suchem běžně k hodnotě –0,5 MPa, při středním suchu k –1,5 až –2 MPa a za velmi silného sucha může klesnout až na –3 MPa (například u smrku zteplého či buku lesního). U tolerantnějších druhů dřevin může vodní potenciál listoví klesnout ještě níž, jako například u dubu nebo borovice lesní (Ditmarová et al., 2010). Minimální, ještě obnovitelný, vodní potenciál xylému kmene se pohybuje obecně v rozmezí od asi –3,4 až do –6 MPa.

### 6.2.2 Projevy vodního stresu u stromů

Živé organismy, včetně stromů, reagují na jakýkoliv stres tak, že se mu buď vyhnou, nebo přizpůsobí. Většina lesních dřevin se šíří rychlostí řádově kolem stovek metrů za rok, tedy v rozsahu 10 až 100 km za století. Vyhnout se stresu ve smyslu opuštění stanoviště tak znamená odumření. Za vyhýbání se stresu je proto u rostlin považováno i předcházení stresu (zkrácením životního cyklu, prodloužením dormance, vývojem vhodného typu kořenů či listů, složením

<sup>81</sup> Fyziologické sucho vzniká nejčastěji na počátku jarního období, kdy již rostlina počíná transpirovat, avšak voda je v půdě zamrzlá a tím pro rostlinu nedostupná. Při nízkých teplotách může dojít i k tvorbě ledu v mezibuněčných prostorech či vakuolách, což vyvolává vodní deficit v cytosolu buněk.

<sup>82</sup> Vodní potenciál se rovná rozdílu volné energie na jednotku objemu matričně vázané (nebo tlak vyrovnávající či osmoticky poutané) vody a volné energie na jednotku objemu čisté vody (Larcher, 1988). Rostliny mohou snižovat vodní potenciál kořenů pro zajištění potřebného rozdílu (pro příjem vody) v potenciálu kořenů a potenciálu půdy. U dřevin je hranicí pro toto snížení asi –3 MPa. Poklesne-li vodní potenciál půdy v okolí kořenů pod tuto hodnotu, mohou dřeviny získat vodu jen tehdy, pokud je doplňována tokem z půdních prostor mimo dosah kořenů.

kutikuly atd.) formou anatomického či morfologického přizpůsobení. Poměrně často dochází k malým vodním stresům, které vyvolávají u lesních dřevin například omezení ve využití sluneční energie v procesu fotosyntézy a transpirace či redukci průduchové vodivosti. Tato situace běžně nastává například v poledních hodinách za jasných letních dnů (obr. 204). Následkem sníženého vodního potenciálu v listoví se přivírají průduchové štěrbin, takže listy nejenže snižují příjem  $\text{CO}_2$  fotosyntézou, ale zároveň dále brání účinnému ochlazení svého těla, které je dopadajícím slunečním zářením dále ohříváno. K ochlazení povrchu stromů tak dochází převážně zjevným vyzařováním tepelné energie, které je nedostatečné a rostlina se přehřívá.

Vodní deficit se u lesních dřevin rozvíjí poměrně snadno, a to dokonce i u stromů rostoucích na vlhkých půdách, neboť, jak již bylo zmíněno, transpirace (výdej) může převažovat nad absorpcí vody. Projevy sucha jsou sice čtené, ne však zcela jednoznačné, neboť mohou probíhat zároveň na fyziologické, chemické, anatomické a morfologické úrovni. Z časového hlediska patří mezi nejrychlejší změny fyziologické a chemické (osmotické přizpůsobení). Z hlediska prostorového jsou pozorovatelné změny již od buněčné úrovně (kondenzace jaderného chromatinu, zvětšování vakuol). Vysychání pletiv ovlivňuje otevřenost průduchů (stomatální vodivost — konduktanci), fotosyntézu, výměnu plynů, růst, produkci pylu a semen, transpiraci, absorpci vody a minerálních iontů. Vodní deficit působí na klíčící semen, přičemž nejnáchylnější na ztrátu vlhkosti jsou v tomto ohledu semena větších rozměrů (například buku a dubu). Tvorba plodů a semen může být tlumena v podstatě v kterémkoliv stadiu reprodukčního růstu. Vodní deficit může vyvolat omezení až zastavení růstu, a to jak prodlužovacího růstu (listů, jehlic, letorostů, kořenů), tak radiálního růstu (kmene), a tím produkce dřeva, vadnutí, žloutnutí či zasychání listových čepelí (od špičky a obvodu, někdy rychleji prostorem interkostálních polí, tj. mezi žilnatinou) až odumření a opad listů (letorostů a větví), sesychání plodů, šišek, kmenů, vysušné trhliny, sesychání kořenů, změny v ploše a architektuře kořenového systému i odumření celého stromu. S ohledem na kořenový systém jde na jedné straně o jeho rozvoj pro zajištění větší absorpční plochy pro příjem vody, ale na druhé straně dochází k zavádání či dokonce mechanickému porušení kořenů v důsledku sesychání a výrazným objemovým změnám v půdě. Růst je výsledkem aktivity meristematických pletiv, kde dochází k dělení bu-

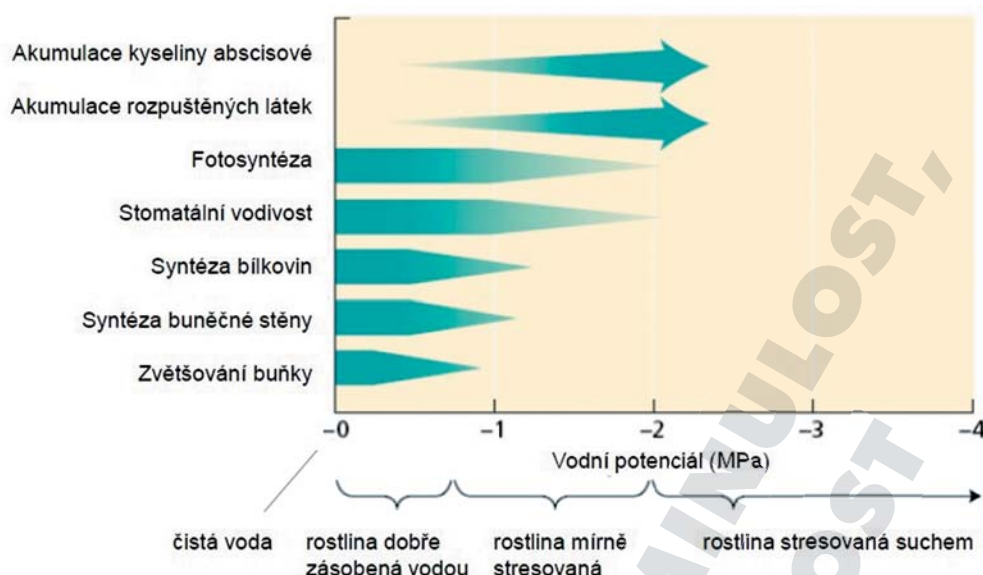
nek (zvětšování počtu), a také rozpínání, zvětšování velikosti buněk. Pro růst je tak nepostradatelný tlak vody uvnitř buňky — turgor, který ji rozpíná. V raných stádiích vývoje a růstu buňky je buněčná stěna pružná a turgor ji nutí k rozpínání. Její pružnost se však ztrácí se zvyšujícím se stářím a zpevňováním (například lignifikací). Pokles turgoru v období intenzivního růstu buňky v jarním období tak může mít až fatální vliv na přírůst, neboť nepružná buněčná stěna již brání dalšímu zvětšování buňky. Citlivost vybraných procesů spojených s růstem a fyziologickou aktivitou vyjadřuje obr. 205. Je zřejmé, že nejcitlivěji reaguje na nedostatek vody růst buňky, syntéza buněčné stěny a proteosyntéza.

Odolnost (rezistence) lesních dřevin se řídí mechanismy popsanými v kap. 6.1.1, tedy zejména schopností oddálit vysušení, resp. udržet na přijatelné úrovni vodní potenciál protoplazmy, a schopností snášet vysušení protoplazmy bez poškození. Strukturálními (anatomickými a morfologickými) adaptacemi, s nimiž se u dřevin setkáváme, jsou úpravy počtu a velikosti průduchů (menší průduchy vykazují vyšší počet na jednotku plochy povrchu), zesílení kutikuly, vnoření průduchů, voskové povlaky či husté pokrytí povrchu listu trichomy (chlupy). K morfologickým adaptacím patří také intenzivní rozvoj kořenového systému, živých dřevních buněk i silný rozvoj palisádového mezofylu. Zmenšení transpirujícího povrchu je dosahováno skládáním či svinováním listů, nebo částečným či úplným opadem asimilačního aparátu.

Pro možnost ovlivnění vodní bilance jednotlivých dřevin či celého porostu je třeba si uvědomit, co je hybnou silou pro výdej vody a které složky vodní bilance je možné cíleně ovlivnit. Pohyb vody mezi půdou, rostlinou a atmosférou je závislý především na rozdílu potenciálů sil, kterými je vázána voda v jednotlivých prostředích. Tyto rozdíly mohou být až řádové (mokrý půda 0 MPa, suchá půda -2,5 MPa, vlhký vzduch -10 MPa, suchý vzduch -100 MPa). Pro rostlinu je zásadní rozdíl vodních potenciálů na rozhraní mezi listem a přilehlou vrstvou atmosféry.

Významnou výdejovou složkou, aktivně řízenou rostlinou, je transpirace. Transpirace, jako výdej vody listy v plynném skupenství, je ukončením tzv. transpiračního proudu, který vede vodu z kořenů xylémem dřeva a cévnímí svazky do listů. Je důležitým procesem energetické bilance rostliny či ekosystému, protože tvoří významnou složku odvodu přebytečné sluneční energie (až 98 % přijaté vody je spotřebováno na odvod tepla) a omezuje přehřívá-





**Obr. 205.** Fyziologické změny rostliny v důsledku dehydratace (upraveno podle Hsiao, 1979)  
**Figure 205.** Physiological changes resulting from dehydration (modified after Hsiao, 1979)

ní listů i dalších částí rostlin slunečním zářením. Zabezpečuje také zásobování všech částí rostliny vodou a minerálními živinami. Transpirace porostů závisí na intenzitě globálního záření, teplotě vzduchu, nasycení vzduchu vodní parou (resp. sytostním doplněním) a rychlosti proudění. Čím je porost řidší, s pravidelnějším rozmístěním stromů v porostu, a čím je listovní menší (tenčí hraniční vrstva odporu difuze vodní páry z listu do ovzduší), tím má proudění vzduchu větší efekt na zvyšování ztrát vody transpirací i evaporací. Kromě meteorologických parametrů závisí transpirace také na druhu dřeviny, věku, architektuře koruny, zdravotním stavu, sociálním postavení stromu v porostu, struktuře porostu atd. Za nesnížené dostupnosti vody v půdním profilu je transpirace stromu, stejně jako stomatální vodivost, závislá na dopadajícím slunečním záření a sytostním doplněním. Transpiraci lze v tomto případě poměrně snadno simulovat, avšak jen do chvíle, než začne být voda pro rostlinu hůře dostupná. Transpirace jednotlivých stromů s různým sociálním postavením v porostu se pak začne znatelně a rozdílně měnit (obr. 206). Především nadúrovňové stromy jsou výrazně a poměrně brzy (i v závislosti na velikosti jejich kořenového systému) postiženy nedostatkem vody v půdě, neboť mají osluněnou velkou část listové plochy.

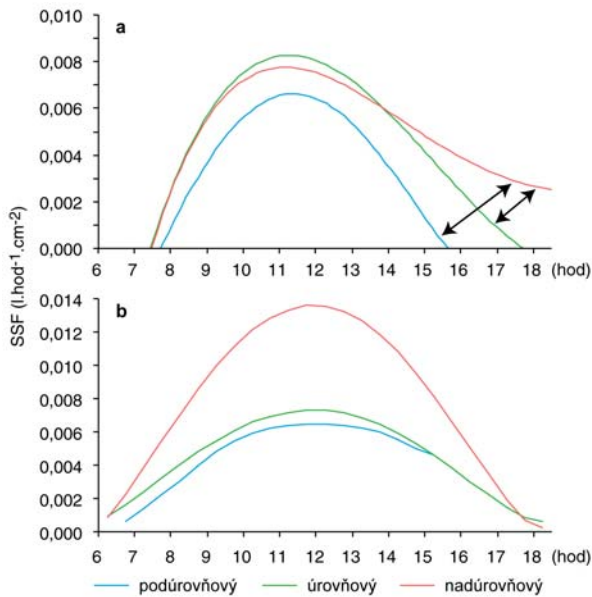
Obdobně lze sledovat rozdílnou míru transpirace porostů s různou hustotou, historií probírkových zásahů apod., kdy stromy v řidším porostu mají obvykle delší zavětvenou korunu a větší podíl

slunného listoví. To vede k rozdílům v celkovém výdeji vody transpirací nejen za „normálních“ dnů (s dostatečnou půdní vlhkostí) a dnů s nedostatkem vody v půdním profilu, ale i za zatažených a slunečných dnů.

V „normálním“ dni bez limitní dostupnosti vody v půdě uvolní nadúrovňový mladý smrk transpirací asi 121 vody za den, úrovňový asi 61 a podúrovňový asi 31. Při suchu vydá stejný nadúrovňový smrk o 50 % vody méně, úrovňový o 40 % a podúrovňový jen o 11 %. Největší stres suchem u nadúrovňového jedince souvisí s tím, že z hlediska svých rozměrů má největší požadavky na zásobování vodou (ochlazování), což potvrzuje dosycování ztrát vody z pletiv během dne (obr. 206). Míra tohoto dosycování je mimo jiné jedním z indikátorů stresu suchem (Nadezhdina, 1999).

### 6.2.3 Růstové odezvy dřevin na sucho

Růstové procesy dřevin lze při jisté míře zjednodušení seřadit podle důležitosti následovně: růst asimilačního aparátu, růst kořenů, růst pupenů, růst zásobních pletiv, růst stonku a obranných komponentů a reprodukční růst. Jednotlivé procesy se logicky vzájemně ovlivňují. Snížení olistění může vést ke snížení vertikálního růstu, radiálního růstu, celkové stromové biomasy či poměru aktivní plochy kořenů k ploše listů. Na druhé straně jednotlivé stromy mnohdy nevykazují korelaci mezi defoliací koruny a objemovým přírůstem. Obecně lze konstatovat, že přírůst kmene jako méně důležitý proces může



**Obr. 206.** Specifická rychlost transpirace (SSF) normalizovaná jednotkou vodivé části běle kmene vybraných stromů smrku ztepilého z jednotlivých sociálních úrovní porostu v průběhu dne se sníženou dostupností vody (a) a s dobrou dostupností vody (b) v půdním profilu. SSF měřeno metodou tepelných pulzů na úrovni kmene. Šipkami je znázorněno dosycování pletiv kmene vodou ve večerních hodinách v případě (a). Všechna měření byla provedena na lokalitě Bílý Kříž v Moravskoslezských Beskydech

**Figure 206.** Specific sap flux rate (SSF) normalized by unit of stem sapwood area in selected Norway spruce trees, categorised by social level of stand (blue: spruce sub-dominant species, green: co-dominant, red: dominant) during the day with limited availability of soil water (a) and with good availability of water (b) in the soil profile, as measured by heat pulse velocity at stem level. Arrows indicate woody tissue refilling with water in the evening hours in (a). All measurements were taken in the Bílý Kříž locality in the Moravskoslezské Beskydy Mts.

být redukován velmi brzy po vzniku stresové situace. Není to ovšem obligatorní reakce a v některých případech k propadu růstu dochází až se zpožděním nebo k němu nedochází vůbec. Kromě toho reakce radiálního růstu na stres může být přítomna ještě několik let po jeho působení. Například při reakci na sucho řada druhů dřevin vykazuje redukcii růstu dva až pět let po suché epizodě. Reakce v druhém a třetím roce pak může být dokonce silnější než v roce prvním. Přes tyto „problémové“ momenty (z hlediska detekce) je radiální růst velmi dobrým a často používaným indikátorem vitality, a to především pro možnost získat informace o výskytu sucha zpětně letokruhovou analýzou, tj. sledováním reakce stromu na klima v dlouhých časových úsecích (viz kap. 3.4). Z hospodářského hlediska jsou pak reakce radi-

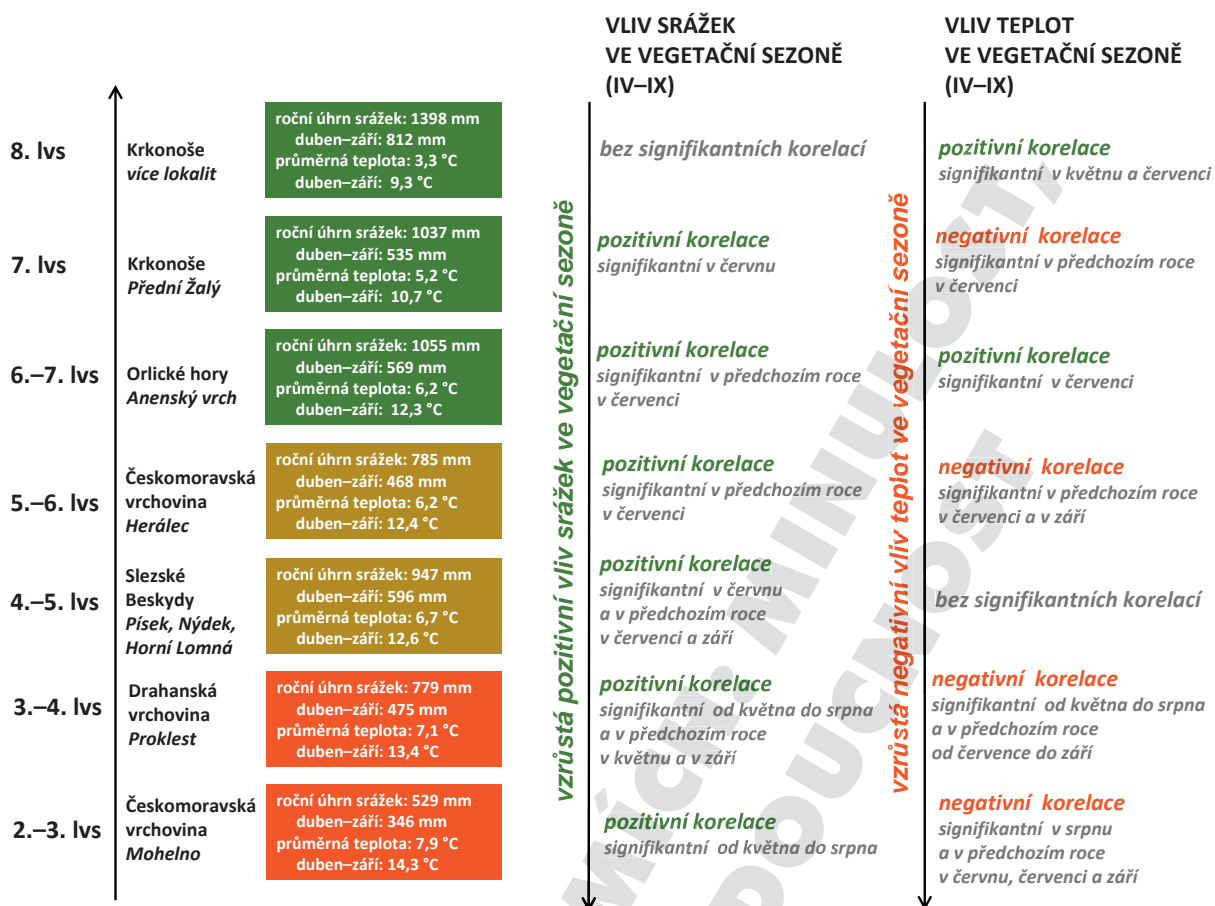
álního růstu na klima klíčové. Nejvíce zastoupenými dřevinami lesů České republiky jsou smrk ztepilý (53 %), borovice lesní (18 %), buk lesní (7 %) a duby (6 %). Následující části textu rekapituluji poznatky o reakcích jejich radiálního růstu na změnu klimatických parametrů.

### 6.2.3.1 Smrk ztepilý (*Picea abies* /L./ Karst.)

Poznatky o růstových reakcích smrku na měnící se klimatické podmínky byly získány na základě projektů řešených v letech 2007–2013 na 48 plochách v oblasti Orlických hor (Anenský vrch — Rybníček et al., 2009), Slezských Beskyd (Jablunkovsko — Rybníček et al., 2010a), Dražanské vrchoviny (Proklesť — Rybníček et al., 2012a), Českomoravské vrchoviny (okolí Mohelna — Rybníček et al., 2012b; okolí Herálce — Rybníček et al., 2012c) a Krkonoš (Kolář et al., 2015). Nově byly získány i informace o stavu korun, včetně retrospektivního hodnocení působení stresorů na tento stav.

Srážky v aktuální i v předchozí vegetační sezoně pozitivně ovlivňovaly radiální růst. Na plochách nižších a středních poloh (2. až 4. lesní vegetační stupeň — dále jen lvs) byly statisticky významné korelace zjištěny pro podstatnou část měsíců vegetačního období, zatímco ve vyšších polohách byly významné korelace méně četné. Pokud jde o teploty vzduchu, ovlivňovaly významně radiální růst v jarních a letních měsících zejména v nižších a středních polohách (opět 2. až 4. lvs), a to výhradně negativně (jak v aktuální sezoně, tak i v předchozí). Ve vyšších polohách pak byly zjištěny pozitivní i negativní korelace, přičemž jednoznačně pozitivní vliv teplot byl zaznamenán pouze v nejvyšších polohách 8. lvs (obr. 207).

Obdobné závěry prezentuje většina dalších českých i evropských dendroklimatologických studií smrku ztepilého, kterých je jen za posledních 20 let několik desítek. V České republice byly kromě výše zmíněných průzkumů realizovány dendrochronologické studie v Jizerských a Krušných horách (Kroupová, 2002), na Šumavě a v Českém lese (Čejková, Kolář, 2009; Čada et al., 2013), v Jeseníkách (Tremel et al., 2012) a v Krkonoších (Kroupová, 2002; Tremel et al., 2012). Pro srážky ve vegetačním období jednoznačně převládají pozitivní korelace; výjimkou je negativní vliv vysokých letních srážek v oblastech s vysokým srážkovým úhrnem. U teplot vzduchu závisí charakter a intenzita vlivu na nadmořské výšce a zeměpisné šířce lokality. Důvody pozitivního vlivu srážek ve vegetačním období, ve kterém je vytvářen letokruh, jsou vzhledem k vysokým nárokům smrku na dostupnou vodu zřejmé. Dostatek srážek v roce



**Obř. 207.** Vliv množství srážek a teplot vzduchu na radiální růst smrku ve vegetačním období – signifikantní korelace (Rybníček et al., 2009, 2010a, 2012a, 2012b, 2012c; Kolář et al., 2015); lvs značí lesní vegetační stupeň

**Figure 207.** Effect of climate on radial growth of Norway spruce during the vegetation period – significant correlations (Rybníček et al., 2009, 2010a, 2012a, 2012b, 2012c; Kolář et al., 2015); lvs – forest vegetation zone

předcházejícím má pozitivní vliv na celkovou vitalitu stromu a na tvorbu zásobních látek, které jsou využívány k růstu v počáteční fázi tvorby letokruhu. Příznivě je ovlivněna distribuce, biomasa a vitalita kořenů, a tím i produkční schopnosti dřeviny pro příští rok. Zejména na konci sezony ovlivňují srážky také množství disponibilní vody v půdě na jaře příštího roku. Mimo vegetační sezonu působily na šířku letokruhu statisticky významně srážky v únoru (Orlické hory) a v březnu (Orlické hory, Krkonoše). Tyto pozitivní korelace mohou být v horských podmínkách důsledkem příznivého vlivu dostatečně vysoké sněhové pokrývky na kořenovou sféru, kdy sníh chrání půdu před promrzáním a navyšuje zásobu vody dostupné pro jarní růst.

Sledované lokality, kromě nejvýše ležících Orlických hor a Krkonoš s vysokým srážkovým úhrnem, vykazovaly za posledních 50 let klesající trend radiálního růstu. Nejuzší letokruhy (o šířce 1 mm a méně) vznikly u podstatné části stromů, kromě lokalit v oblasti Krkonoš a Orlických hor v období posled-

ních 20 let (důvody viz níže), a to zejména v suchých letech či v letech s výraznými sezonními „přísušky“: 1991–1992 (všechna území kromě Krkonoš), 2003 (Proklest, Mohelno, Slezské Beskydy), 2006 (Slezské Beskydy) a 2008 (Mohelno). Ve stejných letech došlo v řadě míst ke zhoršení zdravotního stavu porostů, tj. k nárůstu defoliace a k chřadnutí (například chřadnutí smrku ve Slezských Beskydách, akcelerující po suchém roce 2003). Srážkové úhrny za vegetační období přitom nevykazují v uvedených lokalitách žádný zřetelný trend od roku 1961. Výjimkou jsou oblasti Mohelna a Orlických hor, kde došlo k mírnému poklesu srážek, a vrcholové partie Krkonoš, kde byl naopak zaznamenán jejich mírný vzestup. Zatímco na Mohelně jde o pokles, který může být důležitý, neboť se snížil již tak nízký srážkový úhrn za vegetační období, jedná se v případě Orlických hor o nepodstatný pokles v rámci srážkového dostatku.

Kombinace nerovnoměrného rozložení srážek, tj. výskytu velmi deštivých a následně bezsrážkových period, vyšších intenzit dopadajícího slunečního

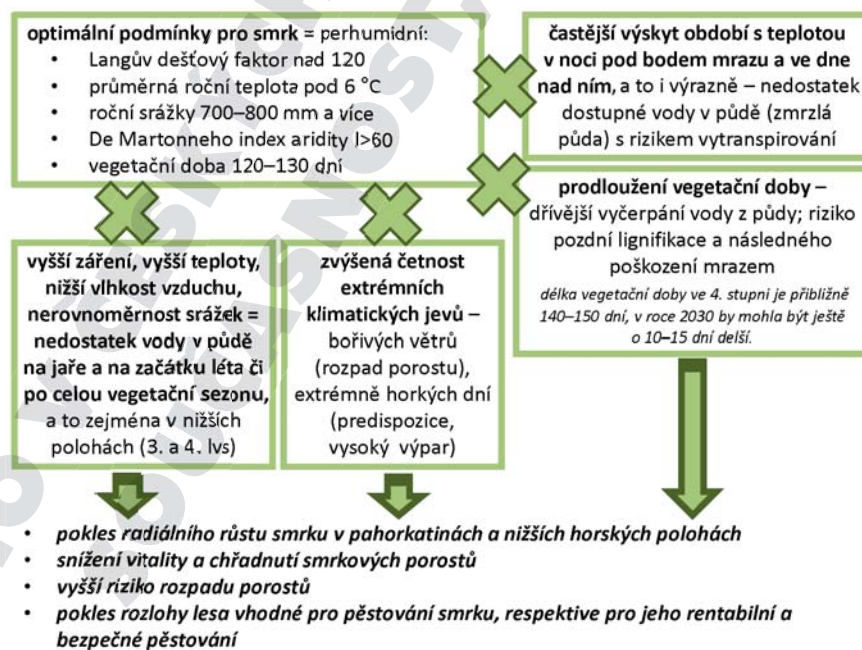


záření, vyšších (zejména jarních) teplot a nižší vlhkosti vzduchu, rychlejšího proudění vzduchu spolu s dřívějším začátkem vegetační doby, vedou ke zvýšení ztrát evapotranspirací, k rychlejšímu vyčerpání zásob vody v půdě a tak i k častějším a větším vodním deficitům. Ty jsou v posledním dvacetiletí základní příčinou poklesu radiálního přírůstu smrku v pahorkatinách i v nižších horských polohách, a silným predispozičním či iniciačním stresorem, způsobujícím rozsáhlé chřadnutí smrkových porostů v České republice a v sousedních zemích, jako je Polsko nebo Slovensko (obr. 208). Nicméně i v nadmořských výškách nad 1000 m, kde je množství srážek pro smrk považováno obecně za dostatečné, může být jejich redistribuce faktorem redukujícím růst, jak ukazují například studie z bavorské části Českého lesa (Spiecker, 1990, 1995).

### 6.2.3.2 Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.)

Borovice lesní je obecně považována za dřevinu s nevyhraněnými ekologickými nároky, která toleruje sucho a poměrně dobře snáší teplotní extrém. Je druhem adaptovaným na velmi široké rozpětí klimatických podmínek — délku vegetační doby 90–200 dnů a roční úhrny srážek mezi 200 a 1800 mm. Přes tuto vysokou ekologickou valenci má množství srážek, a to zejména letních, významný vliv na radiální přírůst kmene borovice. Mácová (2008) realizovala

rozsáhlý průzkum v šesti oblastech České republiky, a to na dvou lokalitách Českomoravské vrchoviny a po jedné lokalitě v Českém ráji, v Labských pískovcích, na Šumavě a v nivě Labe ve středních Čechách. Ve všech studovaných oblastech byl radiální růst borovice pozitivně a statisticky významně ovlivněn letními srážkami (zejména v červnu a v červenci), a to především v teplých a suchých oblastech. V nich se projevil také negativní vliv teplého a suchého podzimu předchozího roku (zejména září). Celkově nejslaběji reagovaly na srážky borovice na pískovcích v Českém ráji a v Labských pískovcích; důvodem může být architektura jejich kořenů, umožňující využití puklinové či průlinové vody. Kromě uvedených vlivů byl radiální přírůst statisticky významně ovlivňován vysokými teplotami vzduchu v únoru či březnu nebo v obou měsících. Výrazný vliv letních úhrnů srážek na šířku letokruhů borovice potvrzují i další evropské studie, jako například ze suchých údolí Alp (Eilmann et al., 2006; Weber et al., 2007). Jejich výsledky ukazují, že i odolná borovice lesní může být v teplejších a sušších oblastech suchem významně limitována, a to jak v růstu, tak v zdravotním stavu a mortalitě. Výrazný vliv sucha na odumírání borovic je doložen například z Alp či z Pyrenejí. Kritické jsou situace, kdy dojde k výraznější změně v dostupnosti vody, na kterou je pro stromy obtížné či nemožné se adaptovat.



**Obr. 208.** Optimální klimatické podmínky pro smrk ztepilý, probíhající klimatické změny vedoucí k vodnímu deficitu a z nich vyplývající důsledky a ohrožení pro pěstování smrku

**Figure 208.** Optimum climate conditions for Norway spruce, current climate changes leading to water stress and resulting effects on, and threats to, spruce silviculture

### 6.2.3.3 Duby (*Quercus* spp.)

Duby, zejména dub letní *Quercus robur* L. a dub zimní *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., jsou hlavními hospodářskými dřevinami nejnižší položených (a tedy také nejsušších) oblastí České republiky. Jejich nároky na srážky a vodu v půdě se liší. U dubu letního existují dva vyhraněné ekotypy, a to lužní se značnými nároky na vláhu (snáší i jarní záplavy) a lesostepní se schopností růstu na mělkých, v létě silně vysychavých půdách. Dub zimní zvládá půdy s poměrně širokým rozpětím množství vody od vysychavých stanovišť až po stanoviště s normálním hydrickým režimem.

V letech 2011–2013 byly realizovány studie věnované radiálnímu růstu a zdravotnímu stavu dubů v porostech Dražanské vrchoviny (Rybníček et al., 2015a) a Českého krasu (Rybníček et al., 2015b). V obou oblastech závisel radiální přírůst dubů v průběhu vegetační sezony, v níž se letokruh vytvářel, významně na zásobě vody v půdě do hloubky 130 cm. U srážek byly pozitivní korelace zjištěny pro měsíce březen–květen (Karlštejnsko) a květen–červenec (Dražanská vrchovina). Nejsilnější růstová reakce na množství dostupné vody byla zjištěna na silně vysychavém stanovišti subxerothermní bukové doubravy na Karlštejnku. Velká část stromů na této ploše měla jen malou variabilitu v šířce letokruhů, která byla významně ovlivněna dostupnou vodou v půdě ve všech měsících od srpna předchozího roku až do září aktuálního roku. Na stejné ploše byla také zjištěna nejvyšší defoliace ze studovaných lokalit. Na Karlštejnku s nižším ročním úhrnem srážek (543 mm) bylo důležitým faktorem také množství srážek a dostupné vody v půdě na podzim předcházejícího roku (pozitivní korelace), a to zejména v říjnu; přírůst dále snižovaly vysoké teploty vzduchu ve druhé polovině léta. Pozitivní vliv podzimních srážek byl zjištěn i v rezervaci Zbytka (lužní les, východní Čechy), kde byla významná korelace zaznamenána pro září (Čejková, Poláková, 2012). Nejnižších radiálních přírůstů dosáhly duby na Karlštejnku v roce 2004, kterému předcházel velmi suchý rok 2003 (viz kap. 4.1.5.18), a v roce 2007 (viz kap. 4.1.5.19), kdy byly velmi nízké jarní srážky. Na Dražanské vrchovině byly nejnižší přírůsty zjištěny pro rok 1964, kterému předcházel suchý podzim roku 1963, následovaný suchým začátkem jara 1964, a pro rok 1993, kterému předcházelo suché a horké léto roku 1992 (viz kap. 4.1.5.16), následované v roce 1993 suchou zimou a jarem.

Významný vliv podzimního (popřípadě i zimního) počasí je pro duby charakteristickým rysem

i v dalších evropských regionech a lze ho považovat za typickou odlišnost mezi růstovými odezvami dubu na jedné straně a smrku s borovicí na straně druhé. U dubů jsou na podzim ukládány uhlohydráty, z kterých je realizován časný jarní přírůst již několik týdnů před olistěním, kdy asi 30 % letokruhu přiroste ještě před rašením. Jarní dřevo je tak obecně více kontrolováno vnitřními faktory a meteorologickými podmínkami v předchozím roce a zimě; letní dřevo je citlivější na faktory vnější, včetně dostupné vody v půdě v dané vegetační sezoně. Využití zásob uhlohydrátů pro růst jarního dřeva souvisí také s jeho vodivými elementy. Velké jarní tracheje jsou velmi citlivé na zimní embolii. Velká část trachejí jarního dřeva z předešlého roku je embolizována zimními mrazy (produkce nových trachejí před olistěním je přitom nutná pro jarní obnovu hydraulické vodivosti). Příznivé podzimní a zimní meteorologické podmínky tak mají výrazný pozitivní vliv na tvorbu jarního dřeva.

### 6.2.3.4 Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.)

Buk je dřevinou oceánického a suboceánického klimatu s ekologickým optimem ročních úhrnů srážek mezi 800 až 1000 mm. V České republice je nejvíce rozšířeným listnáčem a spolu s duby zabírá více než polovinu celkové plochy porostlé listnatými dřevinami. Podle výzkumů z roku 2013 na Dražanské vrchovině byl radiální růst buku statisticky významně a pozitivně ovlivněn letními srážkami, zejména pak v červnu a v srpnu. Naopak vysoké úhrny v lednu měly na přírůst negativní vliv. Podobně jako u dubů byl růst buku významně ovlivňován také počtem srážek na podzim roku předcházejícího vzniku letokruhu: nižší teplota vzduchu a vyšší zásoba vody v půdě pozitivně ovlivňovaly růst v následujícím roce, přičemž negativní korelace s teplotou byla zjištěna nejen na podzim, ale i pro měsíce červenec a srpen.

Další evropské studie ukazují výrazné rozdíly v klimatických odezvách radiálního růstu v nižších a vyšších polohách. Zatímco v nižších polohách radiální růst příznivě ovlivňují nižší teploty a vyšší srážky (v porovnání s dlouhodobými průměry), ve vyšších polohách je tomu naopak: růst je podporován vyššími teplotami vzduchu a nižšími úhrny srážek. Buk má obecně vyšší nároky na vodu než duby a obvykle také citlivěji reaguje na změny její dostupnosti v půdě. Zdá se, že i poměrně malé změny ve srážkovém režimu mohou mít v některých případech na buk znatelný vliv. Ve smíšených porostech by tato senzitivita mohla vést ke zvýšení konkurenceschopnosti dubu, a tedy k růstu jeho podílu

na úkor buku. Buk může při změně srážkových poměrů trpět vodním stresem dokonce i na hydro-morfních půdách. Jedním z hlavních důvodů pro rozdílnou citlivost dubů a buků na nedostatek srážek je rozdílná hloubka prokořenění. Duby mohou udržovat dostatečný příjem vody během suššího léta dosažením na její zásoby v hlubších vrstvách půdy. Jak v růstových reakcích, tak ve schopnosti adaptace na měnící se podmínky klimatu ovšem existují značné rozdíly také mezi jednotlivými ekotypy a lokálními populacemi. Proto pro úvahy o budoucím prosperování dřevin je nutné nepodceňovat jejich fenotypickou plasticitu a evoluční přizpůsobivost. V některých oblastech může buk vykazovat vysokou resilienci a zvládat období se sníženou dostupností vody, zatímco jinde i poměrně malé změny ve srážkovém režimu mohou mít na jeho růst či zdravotní stav negativní vliv.

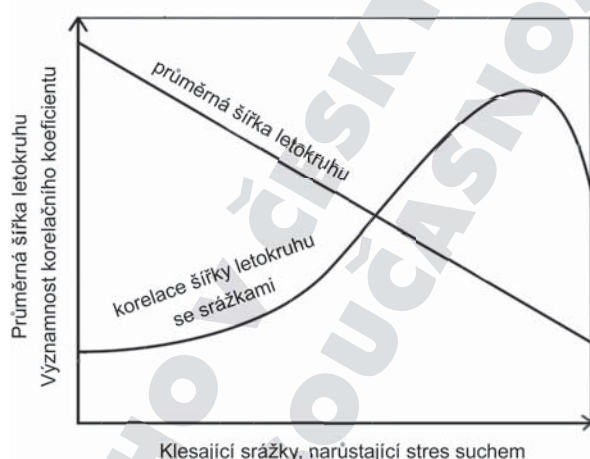
Obecné trendy reakce letokruhu na dostupnost vody lze očekávat stejné u obou listnatých dřevin. Korelační koeficienty narůstají s vodním stresem do jeho určité úrovně, zatímco při extrémním stresu vznikají velmi úzké letokruhy a klesá vliv klimatu na jejich šířku (obr. 209).

#### 6.2.4 Současné dopady na lesní porosty a lesní hospodářství

Jak bylo uvedeno výše, sucho významně ovlivňuje produkci lesa. Kromě přímého vlivu na utváření letokruhu působí sucho negativně na růst stromu také omezením tvorby pupenů, z kterých v následujících letech vznikají výhony. Snížení produkce může být ve velmi suchých letech značné. Tak například v roce 2003 poklesla hrubá primární produkce evropských temperátních rostlinných ekosystémů asi o 30 %, což mělo za následek výrazné uvolnění CO<sub>2</sub> do atmosféry ve výši 0,5 miliardy tun. To odpovídá množství uhlíku ukládanému za běžných podmínek do biomasy po dobu čtyř let (Ciais et al., 2005). Hospodářské, ekonomické či environmentální dopady takové suché epizody jsou zřejmé. Sucho přitom negativně působí nejen na velikost produkce, ale také na její kvalitu a bezpečnost.

Sucho je silným predispozičním a iniciačním stresorem spouštějícím rozsáhlé epizody chřadnutí a odumírání dřevin ve všech světadílech. I když chřadnutí není novým fenoménem a objevovalo se vždy, jeho počty a především plošný rozsah v posledních desetiletích narůstají. Allen et al. (2010) dohledali ve všech světadílech 88 případů odumírání lesa spojených se suchem v posledních 40 letech (po roce 1970). K výraznému nárůstu odumírání stromů došlo po suchém roce 2003. Chřadnutí iniciovaná suchem postihla v Evropě všechny hlavní hospodářské dřeviny: borovici lesní (například Andalusie, Walliské a Tyrolské Alpy, Provence), smrk ztepilý (například jihovýchodní Norsko, jihovýchodní Slezsko a severozápadní Slovensko), duby i buk lesní (více oblastí ve Francii a Španělsku) či jedli bělokorou (sever Řecka, Pyreneje). Plošné chřadnutí lesů pak kromě přímých hospodářských ztrát může vést k celé řadě dalších nepříznivých změn na úrovni ekosystémů a krajinných celků. Snížení listové plochy u stromů postižených suchem či jejich úplná defoliace v důsledku uhynutí zvyšují množství dopadajícího záření na půdní povrch. Důsledkem je zvýšení výparu a prohlubující se vodní deficit. Změny mohou být i důležité procesy v půdě, zejména koloběhy živin či mykorhizní aktivita. Při odumření rozsáhlejších lesních porostů dochází ke změnám albeda, které mohou vést k podstatným změnám v točích tepelné energie mezi zemským povrchem, vegetací a atmosférou s možnými dopady na klima v regionálním měřítku.

Od roku 1963 existuje pro české země informace o velikosti tzv. nahodilé (neplánované) těžby dřeva způsobené suchem. Klasifikace těchto těžeb je ale komplikovaná, a to proto, že ve většině případů není sucho mortalitním faktorem (tím jsou druhotné biotičtí činitelé), a že příznaky sucha jsou nespecifické. Z těchto důvodů lze předpokládat, že část nahodilých těžeb způsobených suchem nebyla rozpoznána. Z údajů pro období 1963–2013 lze však usuzovat,



**Obr. 209.** Obecný model změn šířky letokruhu a korelací se srážkami podle gradientu narůstajícího stresu suchem (upraveno podle Fritts, 1976; Scharnweber et al., 2011)

**Figure 209.** Common model of changes in tree-ring width and correlations with precipitation along a gradient of increasing drought stress (modified after Fritts, 1976; Scharnweber et al., 2011)



že nahodilé těžby vyvolané suchem dominovaly v letech 1993–1995, kdy přesáhly 4,2 milionů m<sup>3</sup> dřeva (obr. 210).

McDowell et al. (2008) zdůraznili v souladu s Manionovou spirálou chřadnutí (Manion, 1991) tři hlavní mechanismy, které mohou vést k plošnému hynutí stromů při suchu:

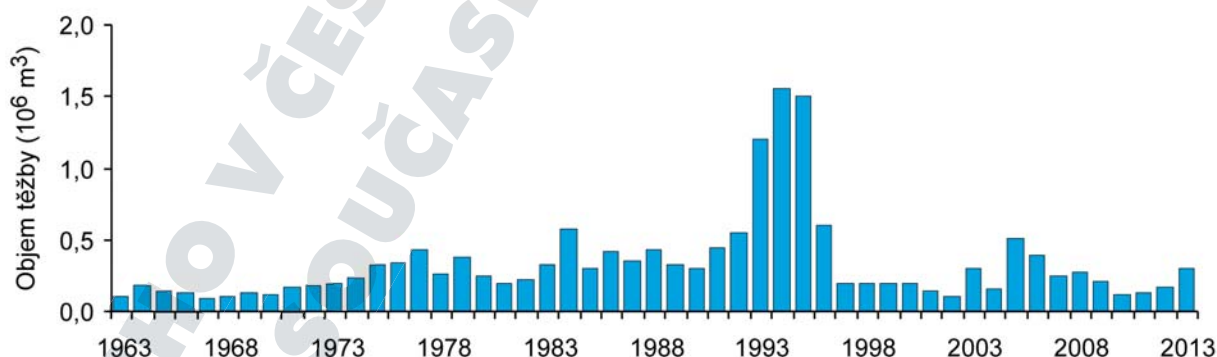
- extrémní sucho a teplo vedoucí ke kavitaci vodních sloupců ve dřevě (vznik vzduchových bublin přerušujících tok vody v trachejích) a tím k hydraulickému selhání s následným uhynutím dřeviny,
- chronický vodní stres vedoucí k deficitu uhlíku („uhlíkové vyhladovění“) a souvisejícím metabolickým omezením (v souvislosti s tím mají stromy také sníženou schopnost bránit se ataku biotických činitelů),
- vyšší teploty vzduchu během sucha mohou vyvolat nárůst populací biotických činitelů, které jim umožní zdolat oslabené stresované hostitelské dřeviny.

Jednotlivé mechanismy se přitom uplatňují různě při různých intenzitách a délkách trvání stresu (obr. 211). Uhlíkové vyhladovění předpokládáme v situacích, kdy jde o dlouhotrvající vodní stres, tj. kdy dojde k poklesu fotosyntetické aktivity natolik, že jsou vyčerpány uhlíkové rezervy a chybí uhlík pro zachování látkové výměny. Hydraulické selhání předpokládáme v situaci, kdy jde o natolik intenzivní vodní stres, že dojde k nevratným ztrátám vody dříve než k uhlíkovému vyhladovění. Působení biotických činitelů, jako jsou hmyzí škůdci a houboví patogeni, může zesilovat nebo být zesilováno

předchozími dvěma mechanismy (McDowell et al., 2008).

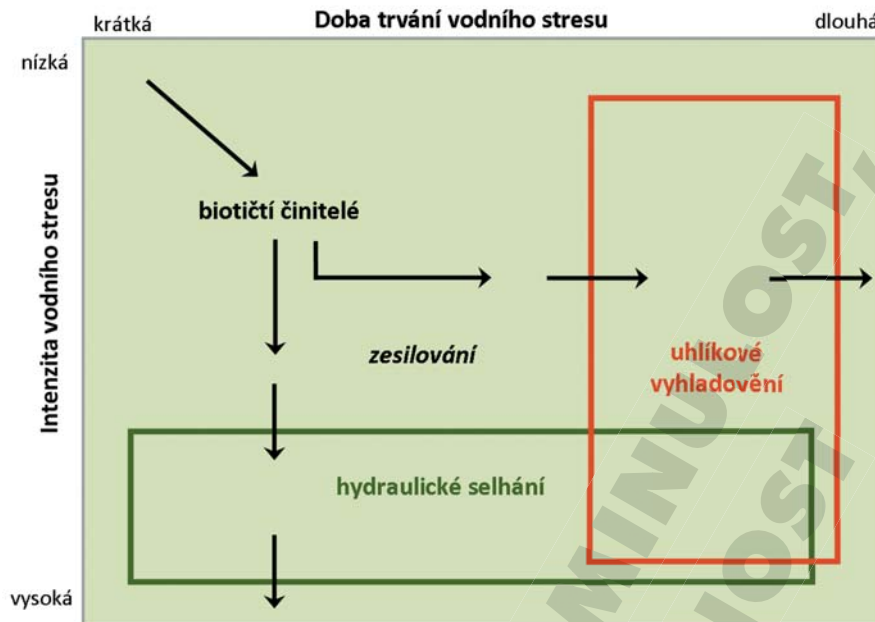
U velké části epizod chřadnutí vyvolaných suchem není však samotné sucho převažujícím mortalitním stresorem, nýbrž následné biotické poškození, nejčastěji kůrovcovitými brouky. Vyšší teploty vzduchu ve vegetační sezoně a častější suchá období vytvářejí příznivé podmínky pro gradace populací hmyzu, a to zejména vícegeneračních druhů. Při vyšší teplotě na jaře začíná dříve aktivita zimujících jedinců a zkracuje se doba vývoje jedné generace, což spolu s prodloužením vegetační doby vede ke zvýšení počtu generací nebo dokončení vývoje generace, který byl dříve ukončen nepříznivými meteorologickými podmínkami. To je spolu s vlastním oslabením dřevin suchem příčinou gradací, které mohou mít výrazně destruktivní (kalamitní) účinky. V podmínkách České republiky jde zejména o gradace lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*), lýkožrouta severského (*Ips duplicatus*) a lýkožrouta lesklého (*Pityogenes chalcographus*) na smrku ztepilém. Teplé a suché počasí bylo jednou z hlavních příčin kůrovcové kalamity vrcholící v letech 1993–1995. Takovéto počasí hrálo důležitou roli také při další gradaci v letech 2007–2010, kdy však hlavním spouštěcím faktorem byly větrné polomy.

Významným mortalitním faktorem při chřadnutí smrku na severní Moravě a ve Slezsku jsou václavky (*Armillaria* spp.), zejména václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Václavky obecně destabilizují zejména sekundární smrkové porosty nižších a středních poloh, kde je smrk limitován nedostatkem vody. Jarní či letní „přísušky“ jsou pak typickým spouštěčem akutního průběhu onemocnění, při kterém



**Obr. 210.** Objem nahodilé těžby dřeva vyvolané suchem v České republice v období 1963–2013. Údaje od roku 1990 pocházejí asi ze tří čtvrtin plochy lesa v České republice (zdroj: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště-Strnady)

**Figure 210.** Volume of salvage felling in response to drought in the Czech Republic in the 1963–2013 period. Data after 1990 cover about three-quarters of the forest area in the Czech Republic (source: Forestry and Game Management Research Institute, Jíloviště-Strnady)



**Obr. 211.** Teoretický koncept vztahů mezi délkou období sucha (dobou trvání vodního stresu), relativním nedostatkem dostupné vody (intenzita vodního stresu) a třemi předpokládanými mechanismy hynutí stromů (McDowell et al., 2008)

**Figure 211.** Theoretical approach to the relationships between the duration of drought episode (time under water stress), relative deficiency in water availability (intensity of water stress) and three hypothetical mechanisms of tree mortality (McDowell et al., 2008)

dochází k rychlému hynutí smrku s opadem zeleného jehličí. Při extrémním suchu se objevuje také kombinovaný útok kůrovců a václavky, kdy menší druhy kůrovců (*Pityogenes chalcographus*, *Ips duplicatus*) nalétávají na odumírající smrky v akutní fázi infekce václavky. Výskyt kořenové hniloby může rovněž iniciovat napadení vaskulárními mykózami. Postupující infekce kořenů snižuje možnosti příjmu vody a zavadající strom je nalétáván kůrovci, kteří na svém těle přenášejí spory hub rodu *Ophiostoma*. Patogeni vaskulárních pletiv pak dále destabilizují hospodaření s vodou a prohlubují oslabení umožňující další nálet kůrovců. V souvislosti se suchem jsou zmiňována i šíření dalších houbových onemocnění. Například výskyt hub rodu *Phytophthora* (*Phytophthora citricola*, *P. cambivora*, *P. cactorum*) na chřadnoucích bucích je spojován s klimatickými extrémy, jako tomu bylo například v Bavorsku po velmi vlhkém roce 2002 a extrémně suchém roce 2003 (Jung, 2004, 2009).

Porosty proředěné vlivem sucha jsou náchylnější k poškození větrem a námrazou. Riziko rozpadu porostu výrazně narůstá při proředění porostního pláště, kdy vzniknou nové nepevné porostní stěny, zvýší se prostupnost porostu, a tím narůstá jak riziko větrných, tak i námrazových polomů. Častější epizody jarního a podzimního sucha vedou k vysokým nezdarům zalesnění, kdy sucho je hlavní příčinou hynutí stromků ve výsadbách v nižších polohách. Vy-

soké nezdar zalesnění byly v některých regionech zaznamenány například na jaře 2003, na podzim 2006, na podzim 2013 nebo na jaře 2014.

Opakované vážné dopady sucha na stav lesa a hospodaření v něm a zvyšující se pravděpodobnost dalšího nárůstu četnosti a intenzity epizod sucha nejsou dostatečně zohledněny v hospodářské úpravě lesa, v lesnické legislativě a ani v lesních hospodářských plánech. Doporučené dřevinné skladby v rámcových směrnících hospodaření pro jednotlivé hospodářské soubory nezohledňují ohrožení suchem a potřebu mu čelit pestřejší dřevinnou skladbou a menším zastoupením smrku v nižších vegetačních stupních. I přes pozitivní změny stále zůstávají vysoké podíly plochy lesa obnovovány umělou obnovou na pasekách (pasečný hospodářský způsob). Rozsáhlé plochy porostů jsou přestárlé s vysokým rizikem rozpadu. Nutnost změny rámců hospodaření a státní lesnické politiky je opakovaně reflektována na různých úrovních od Národního lesnického programu II (2008–2013) až po závěry výzkumných projektů či odborných seminářů.<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Viz například seminář Chřadnutí smrku v oblasti severní a střední Moravy, uskutečněný dne 14. října 2014 (viz <http://www.svol.cz/aktuality/chradnuti-smrku-v-oblasti-severni-a-stredni-moravy/>).

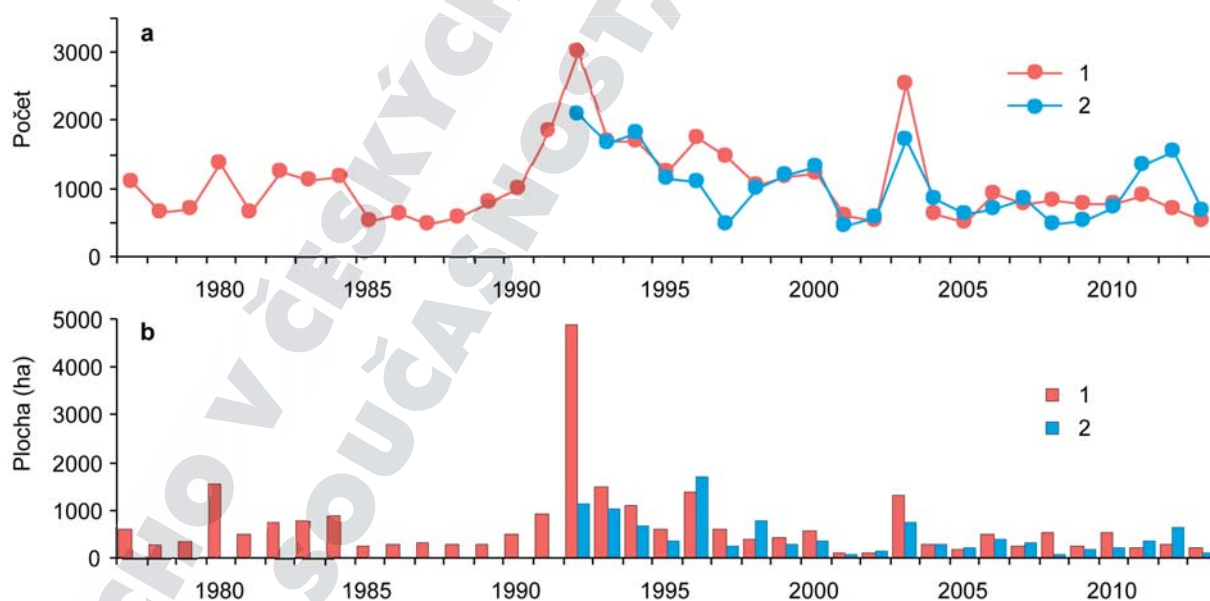
### 6.2.5 Lesní požáry v důsledku sucha

Lesní požáry ovlivňovaly krajinu českých zemí již dávno před příchodem člověka a jsou přirozenou součástí její dynamiky. Doklady o tom nalézáme ve vhodných fosilizačních prostředích jako jsou rašeliniště a ve zbytcích zuhelnatělého materiálu v půdě. Sedimenty často ukazují na překvapivě vysokou frekvenci požárů v posledních tisíciletích. K častým lesním požárům docházelo v rámci osídlování krajiny. Úmyslně založený požár byl velmi často prostředkem pro získání zemědělské půdy na úkor lesa. Díky rozsáhlé vnitřní a vnější kolonizaci území v 10.–13. století docházelo v českých zemích k růstu zemědělské půdy na úkor lesů (Šimák, 1938; Nožička, 1957). Kromě lidské činnosti ovlivňovala četnost lesních požárů také velmi suchá období (viz například kap. 4.2.3). Nožička (1957) zmiňuje velké lesní požáry v Krušnohoří v letech 1502, 1540, 1577, 1590, 1616 a požár založený pastýři v roce 1651 u Lipníku nad Bečvou. S růstem požárů se objevují snahy o zavedení preventivních opatření. Například v roce 1552 český král Ferdinand I. nařídil vysekání stariny v lesích a zákaz rozdělování ohně pasáky na Křivoklátsku. Zároveň všichni obyvatelé všech blízkých měst a vesnic byli povinni se ihned podílet na hašení požáru lesa (Chadt-Ševětínský, 1914). V roce 1754 vydala Marie Terezie císařský královský patent lesů a dříví, který zakazoval zakládat v lesích ohně v době od sv. Jiří do sv. Havla (tj. od 24. dubna

do 16. října). Jen v zimě bylo možné na bezpečných místech rozdělat oheň nutný pro zahřátí těch, kteří pracovali v lese. Šíření požáru se pak mělo zabránit vykopáním hlubokých příkopů (Nožička, 1957). K nárůstu počtu požárů od 19. století došlo kvůli budování rozsáhlé sítě železnic a využívání parních lokomotiv (Kula, 1985). Významnou příčinou vzniku lesních požárů bylo také pastevectví; na Slovensku a Podkarpatské Rusi byly lesní porosty vypalovány ještě v první polovině 20. století (Pfeffer, 1938).

V současné době jsou požáry nejvíce ohroženy lesní celky na výrazně suchých stanovištích jako například v oblasti Českosaského Švýcarska či tzv. Moravské Sahary. V obou těchto oblastech ostatně k velkým lesním požárům v posledních letech došlo, a sice v Českosaském Švýcarsku v roce 2006 v okolí Jetřichovic na Děčínsku (postíženo asi 20 ha) a na „Moravské Sahaře“ v roce 2012 na Hodonínsku (174 ha). Výrazný vliv suchého a teplého jara a léta na četnost požárů v České republice byl patrný v roce 2003 (suchá celá vegetační sezona), 2011 a 2012 (suché začátky jara) (obr. 212).

Podle statistik Hasičského záchranného sboru (HZS) bylo v letech 1992–2013 registrováno v České republice v průměru 1 034 lesních požárů za rok a zasažená plocha byla 468 ha, což odpovídá 0,02 % z celkové výměry lesních porostů. V tomto 22letém období byl zaznamenán statisticky významný pokles počtu požárů a zasažené plochy. Vzhledem



**Obr. 212.** Počet lesních požárů (a) a plocha postižená požáry (b) v Německu v období 1977–2013 (1) a v České republice v období 1992–2013 (2). Zdroj údajů: Bundesanstalt für Landwirtschaft a Hasičský záchranný sbor České republiky

**Figure 212.** The number of wildfires (a) and burned areas (b) in Germany in the 1977–2013 period (1) and in the Czech Republic in the 1992–2013 period (2). Source of data: Federal Office for Agriculture and Food in Germany and Fire Rescue Service of the Czech Republic



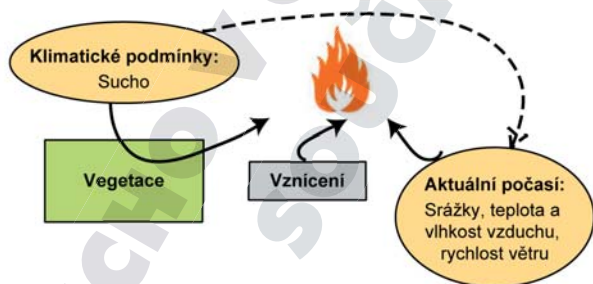
k relativně krátké časové řadě (po roce 1992 došlo ke změně metodiky hodnocení požárů) byla analyzá doplněna o statistiku lesních požárů z Německa. V období 1976–2013 bylo v celém Německu registrováno v průměru 1105 lesních požárů za rok a zasažená plocha činila 781 ha. V tomto 36letém období nebyl zaznamenán statisticky významný trend v počtu požárů a v zasažené ploše (obr. 212). Stagnace, resp. pokles počtu požárů je ale poněkud překvapující s ohledem na skutečnost, že meteorologické podmínky jsou stále příznivější pro vznik a šíření lesních požárů. Podle Wastla et al. (2012), kteří analyzovali situaci v Alpách, jsou důvodem redukce vojenské činnosti, zrušení provozu parních lokomotiv, změny v lesnické výrobě (mimo jiné zákaz pálení kletí v teplejší části roku) a lepší informovanost veřejnosti (podpora varování před nebezpečím lesních požárů a zákazy vstupu do lesů v kritických obdobích). V České republice došlo k útlumu parních lokomotiv již v sedmdesátých letech minulého století a jejich provoz byl definitivně ukončen v roce 1981. Nejvyšší počet požárů byl zaznamenán v obou zemích v roce 1992, přičemž vůbec největší zasažená plocha v Německu v roce 1992 zabírala 4 908 ha a v České republice v roce 1996 1 714 ha.

K požárům vegetace dochází často periodicky v období sucha, vysokých letních teplot, nízké vlhkosti vzduchu a při větrném počasí. Riziko požárů významně ovlivňuje stav a typ porostů (včetně jejich odolnosti proti ohni) a podmínky pro jejich vznícení (obr. 213). Mezi příčinami požárů dlouhodobě převládá vliv návštěvníků lesa a pracovníků v lese. Rizikovější jsou proto atraktivní, snadno dostupné lokality s vyšší návštěvností lidí, kteří zde zakládají ohně či odhazují nedopalky cigaret. Největší riziko hrozí v jarním období a v období prázdnin, zejména pak v srpnu, kdy je v lesních porostech jednak nejvíce

snadno zápalného materiálu (zejména suchá tráva) a jednak je nejvyšší návštěvnost lesa a vysoká frekvence nebezpečných aktivit. Rostoucí vliv volnočasových aktivit na lesní požáry lze dokladovat i statisticky významným zvýšením počtu lesních požárů v České republice během víkendů v období 1992–2004 v porovnání s lety 1974–1983 (Kula, Jankovská, 2013). Hlavními příčinami 15 985 lesních požárů v prvně zmíněném období bylo zakládání ohňů (včetně pálení kletí mimo zimní období a zakázaného vypalování trávy), kouření a aktivity dětí ve věku do 15 let. V dalších případech se jednalo o úmyslné založení požáru, technické závady na železnici či na jiných zařízeních a konečně také o přirozené příčiny (asi 1 % požárů bylo zapáleno bleskem). Pro šíření požáru je nejpříznivější suché kletí a tráva; dobře hoří i vyschlé borové jehličí, dubové a bukové listí. Naopak ležící smrkové jehličí odolává vznícení poměrně dobře, obdobně jako listí osiky.

Chandler et al. (1983) definují nebezpečí požárů jako výslednici několika faktorů, které mají vliv na vznik, šíření, obtížnost protipožárního zásahu a škody, které způsobí. Patří mezi ně topografické atributy, vlastnosti paliva a povětrnostní podmínky, stejně jako náhodné faktory (například žhářství). Mnohé z nich jsou obtížně kvantifikovatelné. Proto jsou celosvětově využívány jen jednoduché indexy nebezpečí požárů. V Evropě jsou lesní požáry sledovány Evropským informačním systémem o lesních požárech (European Forest Fire Information System – EFFIS). Od roku 2007 je na webu EFFIS v provozu „The fire danger forecast module of EFFIS“, který na základě meteorologických údajů, získávaných z předpovědních modelů (Météo France, DWD, ECMWF), prognózuje riziko vzniku požáru s využitím kanadského indexu „Fire Weather Index“ (FWI), modifikovaného na evropské podmínky. Venäläinen et al. (2014) dokumentovali rostoucí trend hodnot FWI pro jižní a východní Evropu v období 1961–2012. Zatímco výhodou indexu je jednotné posuzování požárního nebezpečí pro celou Evropu, v některých oblastech a za určitého typu počasí může dávat horší výsledky.

Od roku 2006 je pro posouzení nebezpečí požárů vegetace v otevřené venkovské krajině využíván v České republice index nebezpečí požárů INP (Možný, Bareš, 2013). Index popisuje nebezpečí požárů vegetace pro pět tříd: 1 – velmi nízké, 2 – nízké, 3 – střední, 4 – vysoké, 5 – velmi vysoké. Pro výpočet indexu je využíván maximální náraz větru v daném dni, půdní vlhkost v povrchové vrstvě půdy (měřená nebo modelovaná), maximální



**Obr. 213.** Koncept vzájemného působení podmínek ovlivňujících požáry vegetace

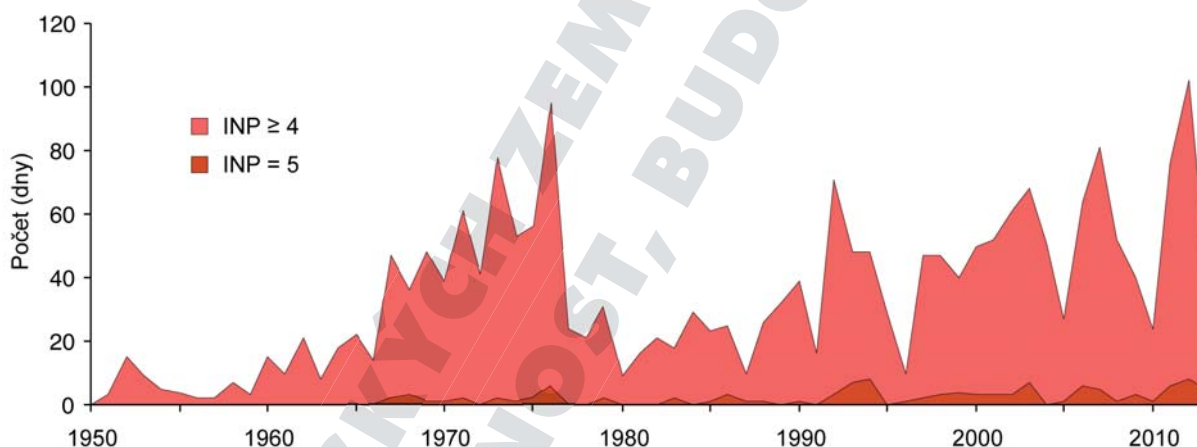
**Figure 213.** A conditional approach to mutual interactions influencing vegetation wildfires

teplota vzduchu a průměrná relativní vlhkost vzduchu. Při validaci indexu byla zjištěna pozitivní závislost k údajům o frekvenci požárů vegetace v České republice a Německu v letech 1977–2004. Výsledky z INP byly o něco lepší než z FWI. Průměrný rozdíl mezi oběma indexy byl v tomto období relativně malý (0,56). Inspirací pro vznik INP byly modely GFI a WBI, využívané Německou meteorologickou službou pro předpověď nebezpečí požárů.

Řady průměrných počtů dnů s vysokým a velmi vysokým nebezpečím požárů ( $INP \geq 4$ ) a velmi vysokým nebezpečím požárů ( $INP = 5$ ) v České republice vykazaly statisticky významný vzestupný trend ( $0,76 \text{ dne.rok}^{-1}$ , resp.  $0,07 \text{ dne.rok}^{-1}$ ) v letech 1951–2013 (obr. 214). Je to způsobeno vzestupem teplot vzduchu a nárůstem déletrvajících epizod sucha v posledních letech. V období 1951–2013 dosáhl průměrný roční počet dnů hodnoty 34,7 dne pro  $INP \geq 4$  (26,6 dne v období 1951–1980 a 38,8 dne v následujícím třicetiletí) a 1,8 dne pro  $INP = 5$ . Nejvyšší počty dnů s  $INP \geq 4$  připadly na roky 2012

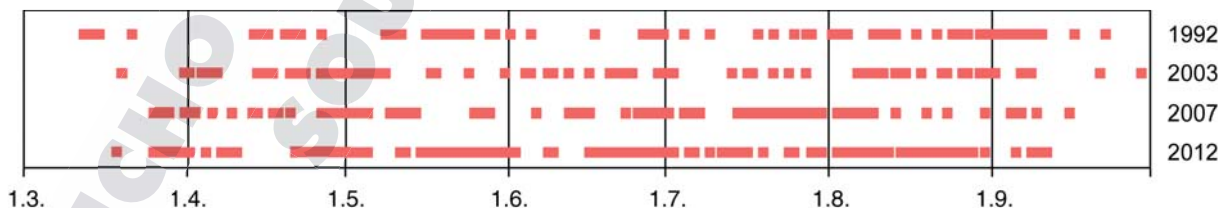
(102 dny), 1976 (95), 2007 (81), 1973 (78), 2011 (76), 1992 (71) a 2003 (68). Roky 1992, 2003, 2007 a 2012 z tohoto soupisu představují zároveň roky s nejvyšším počtem lesních požárů za posledních 22 let. Nejvyšší počet po sobě jdoucích dnů s  $INP \geq 4$  byl zaznamenán především v období duben–květen a konec července–srpen (obr. 215).

Nejvyšší průměrné měsíční indexy INP pro Českou republiku v období 1951–2013 byly dosaženy v dubnu až srpnu, přičemž jejich průměrné hodnoty kolísají od 2,57 (duben) do 2,68 (červenec). Absolutní extrémy měsíčních hodnot INP byly zaznamenány vždy v červenci (3,83 v roce 2006 a 1,03 v roce 1995). Nejproměnlivějšími měsíci s nejvyšší směrodatnou odchylkou byly červenec (0,54) a srpen (0,53). Zatímco v období 1951–1980 byl roční chod INP popsán jednoduchou vlnou s maximem v červenci a s minimem v lednu, došlo v následujícím třicetiletí k podstatnému nárůstu hodnot INP v květnu a dubnu (obr. 216). V období 1992–2013 se malé lesní požáry v rozsahu do 1 ha vyskytovaly



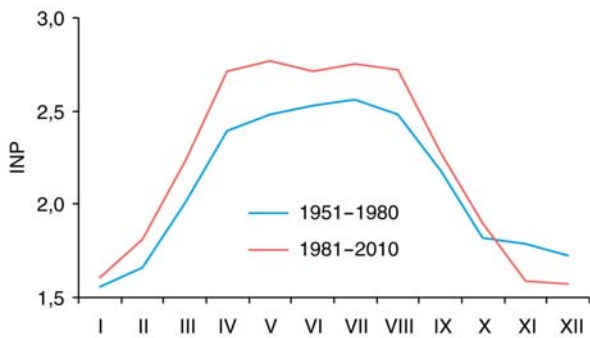
**Obr. 214.** Průměrný počet dnů s vysokým a velmi vysokým nebezpečím požárů ( $INP \geq 4$ ) a velmi vysokým nebezpečím požárů ( $INP = 5$ ) v letech 1951–2013 v České republice

**Figure 214.** Mean number of days with high and very high fire risk ( $INP \geq 4$ ) and very high fire risk ( $INP = 5$ ) during the 1951–2013 period in the Czech Republic



**Obr. 215.** Dny s vysokým a velmi vysokým nebezpečím požárů ( $INP \geq 4$ ) v letech 1992, 2003, 2007 a 2012 v České republice

**Figure 215.** Days with high and very high fire risk ( $INP \geq 4$ ) in the years 1992, 2003, 2007 and 2012 in the Czech Republic



**Obr. 216.** Roční chod průměrných měsíčních indexů nebezpečí požárů (INP) v České republice v obdobích 1951–1980 a 1981–2010

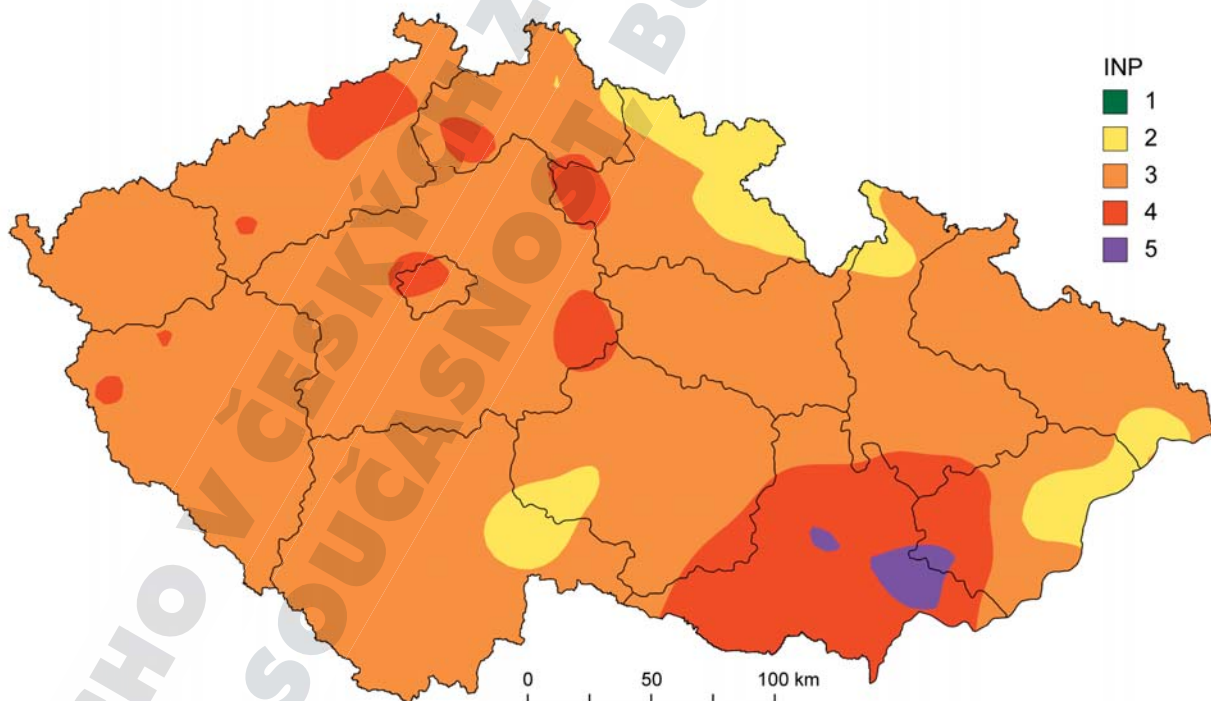
**Figure 216.** Annual variation of mean monthly indices of fire danger (INP) in the Czech Republic during the 1951–1980 and 1981–2010 periods

ve všech měsících a s plochou nad 1 ha pouze ve vegetačním období, především na jaře. Nejčastěji byly požáry postiženy severní a západní Čechy spolu s jižní Moravou.

Protože šíření požárů je ovlivněno počasím, topografií, druhem a stavem porostu, je velmi důležité, aby hasiči dostávali pravidelné zprávy o situaci

od meteorologické služby. ČHMÚ denně generuje dvě předpovědní mapy na 6 a 30 hodin, popisující nebezpečí požárů ve volné krajině s vegetací (lesy, travní a zemědělské porosty). Pro hodnocení nebezpečí je využíván výše zmíněný index nebezpečí požárů INP. Vstupními daty do modelu jsou naměřené meteorologické údaje ze sítě stanic ČHMÚ a předpovězené hodnoty modelem ALADIN. Výstrahy jsou součástí Systému integrované výstražné služby pro Českou republiku před hydrometeorologickými extrémními (jedná se o extrémní, kde hrozí ztráty na lidských životech) a výstupy jsou předávány do varovného systému EU (<http://www.meteoalarm.eu>). Příklad mapového výstupu je uveden na obr. 217. Vedle prognóz počasí je velmi důležitá rychlá a účinná detekce požárů, nejlépe jako kombinace více typů pozorování, která zahrnují vyškolené pozorovatele, letecký průzkum a satelitní pozorování.

Skutečně extrémní požáry s plošným rozsahem nad 1 000 ha se v posledních letech v České republice prozatím nevyskytly, nicméně byly již zaznamenány v sousedních zemích: rok 1975 — okolí Lüneburgu (Německo) — plocha 7 418 ha; rok 1991 — okolí Lozorna a Malacek (Slovensko) —



**Obr. 217.** Geografické rozložení hodnot indexu nebezpečí požárů INP ze dne 24. května 2012 na území České republiky podle Možného a Bareše (2013). Nebezpečí vzniku požáru vegetace: 1 – velmi nízké, 2 – nízké, 3 – střední, 4 – vysoké, 5 – velmi vysoké

**Figure 217.** Geographical distribution of the index of fire risk (INP) on 24 May 2012 in the territory of the Czech Republic, after Možný and Bareš (2013). Risk of vegetation fire: 1 – very low, 2 – low, 3 – moderate, 4 – high, 5 – very high

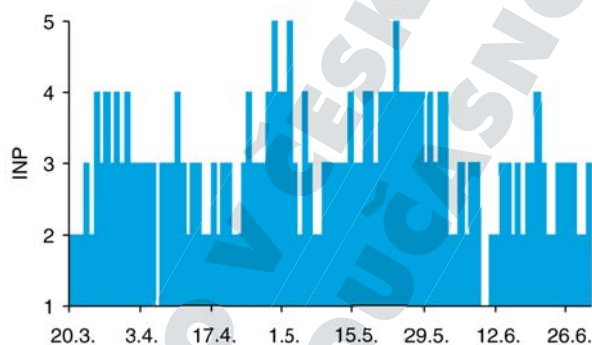


1 171 ha; rok 1992 — okolí obce Kuźnia Raciborska (Polsko) — 9 062 ha. Vzhledem k rostoucímu trendu INP nelze do budoucna vyloučit výskyt extrémního požáru také na území naší republiky. Velkým varováním byl již požár borového lesa u Bzenec v oblasti „Moravské Sahary“ s výměrou 174 ha v roce 2012 (obr. 218). Požár se podařilo zvládnout jen díky enormnímu nasazení hasičů a odpovídající techniky. Zásahu se zúčastnilo 208 hasičských jednotek, 1500 osob, 3 vrtulníky, 3 letadla a 1 speciální tank, a bylo při něm spotřebováno 22 tisíc m<sup>3</sup> vody. Požár byl ohlášen 24. května v 16 hodin a zlikvidován 30. května v 10 hodin. Mohl být iniciován obdobím dlouhého sucha na Moravě (viz Zahradníček et al., 2014). Díky větrnému počasí a suchu bylo od 20. do 28. května INP  $\geq 4$ , což odpovídalo vysokému nebezpečí vzniku požáru (obr. 218).

a



b



**Obr. 218.** a) Borový les u Bzenec po požáru v roce 2012 (podle Hasičského záchranného sboru Jihomoravského kraje, <http://www.firebrno.cz>); b) chod indexu nebezpečí požárů (INP) pro Bzenec od 20. března do 30. června 2012

**Figure 218.** (a) Pine forest near Bzenec and fire in 2012 (Fire Rescue Service of the South Moravia region, <http://www.firebrno.cz>); (b) variation of indices of fire risk (INP) for Bzenec from 20 March to 30 June 2012

## 6.3 VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Tato kapitola věnovaná dopadům hydrologického sucha na vodní hospodářství se zaměřuje na hodnocení dopadů na povrchové vody a dostupnost vodních zdrojů (kap. 6.3.1), na vliv vodních nádrží (kap. 6.3.2) a na dopady sucha na podzemní vody (kap. 6.3.3). Kapitola uzavírá studie projevů sucha na malých vodních tocích, která ilustruje ekologické souvislosti vyschnutí vodního toku (kap. 6.3.4).

### 6.3.1 Dopady hydrologického sucha na vodní toky a na dostupnost vodních zdrojů

Během období hydrologického sucha dochází k poklesu průtoků nebo případně k úplnému vyschnutí toku (obr. 219). V důsledku menšího objemu vody v korytě je tok náchylnější ke znečištění a zhoršují se podmínky pro ekosystémy. Každý z organismů je adaptován na určité podmínky, kdy nedostatek a v krajním případě úplná absence vody může způsobit podstatnou redukci či vyhynutí vybraných druhů (viz kap. 6.3.4), přičemž ke snížení biodiverzity toku napomáhá i zhoršená kvalita vody. Ta je způsobena nejen samotným znečištěním toku, ale i nemožností ředění tohoto znečištění pomocí většího objemu vody. Zhoršení kvality vody je jedním z nejvýznamnějších dopadů na tok. Ovlivňuje nejen ekologické podmínky v toku, ale i možnosti využití vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou, odběry vody pro průmysl, energetiku a zemědělství, nebo využití vodních toků pro rekreaci. Dochází ke změně chemismu vody, ke snížení množství rozpuštěného kyslíku, je zvýšená koncentrace škodlivých látek, zvýšená teplota vody, objevuje se větší množství řas a vodních rostlin. Pro případné využití vody z toku je pak potřeba jejího lepšího čištění (obr. 220).

Jeden z nejvýznamnějších dopadů hydrologického sucha představuje zhoršená možnost (popřípadě nemožnost) zásobování obyvatelstva pitnou vodou, a to vzhledem k jejímu nedostatku, případně nevyhovující kvalitě či jejímu znečištění. V takových případech je třeba zajistit dodávky pitné vody jiným způsobem, a to v krajním případě až za pomoci cisteren, což představuje významné ekonomické náklady. Snížení dodávek vody, nemožnost odběrů vody, resp. nemožnost odběrů vody potřebné jakosti (vhodná teplota, neznečištěná voda atd.), představuje vážný problém i pro využití vody v průmyslu a energetice. Kvůli nedostatku vody či její nevyhovující kvalitě (včetně vysoké teploty vody) může být omezena nebo dokonce přerušena činnost podniků (s možným





**Obr. 219.** Vyschlý tok řeky Blšanky v profilu vodoměrné stanice Stránky dne 20. července 2007 (foto Povodí Ohře s.p.)  
**Figure 219.** The Blšanka stream, dried out, at the Stránky hydrological station, 20 July 2007 (photo Povodí Ohře s.p.)



**Obr. 220.** Příklad znečištění vody dne 27. srpna 2009 v Rakovníku (Rakovnický potok) (foto Archiv Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka)  
**Figure 220.** Example of polluted water inflow, 27 August 2009, Rakovník (Rakovnický potok Brook) (photo Archives T. G. Masaryk Water Research Institute)



poškozením užitých technologií). V energetice mohou nastat problémy s chlazením tepelných a jaderných elektráren, i když hlavním dopadem je omezení, případně zastavení provozu vodních elektráren, které nemohou při malých průtocích fungovat. Výskyt malých průtoků má vliv i na plavbu. Tu je nutno omezit, případně zastavit, neboť lodní doprava je konstruována na plavbu za přesně definovaných minimálních průtoků. Z hlediska využití vody je podstatné také omezení, resp. úplné zastavení zavlažování v zemědělství a čerpání vody pro další účely, kde není potřeba vody akutní (zavlažování okrasných ploch, kropení ulic a prašných prostředí, mytí strojů, praní atd.). Jsou také zhoršeny podmínky pro rybolov. Z hlediska možného využití vody představuje problém i nižší tlak vody v potrubích, kdy dokonce v případě jeho poklesu nemohou být potrubí provozována. Někteří uživatelé tak mohou být odříznuti od dodávek vody. Během období sucha nastává zvýšené nebezpečí vzniku požárů kvůli suché vegetaci (kap. 6.2.5) a nedostatek vody v tocích a nádržích může představovat i problém při hašení požárů, kdy se musí brát v úvahu vzdálenější zdroje. Hydrologické sucho má také negativní vliv na rekreaci. V důsledku zhoršení kvality vody není voda z hygienických důvodů vhodná ke koupání. V období sucha se za účelem nadlepšování průtoků, pokud to jde, akumuluje více vody tak, aby mohly být nadlepšovány malé průtoky. To za určitých podmínek může znamenat oslabení funkce nádrží z hlediska jejich využití jako protipovodňové ochrany.

### 6.3.2 Vliv nádrží na průběh hydrologického sucha

Jak bylo několikrát zmíněno v kap. 4.1.4, nádrže na vodním toku významně eliminují vliv suchého období nadlepšováním průtoků na úseku toku pod nádrží (Vlnas et al., 2010). To bylo patrné například pro sucho pod prahovým průtokem  $Q_{95}$  v letech 1982, 1990, 1991 nebo 2003 na Ohři na vodoměrné stanici Citice, kde byly díky manipulacím na vodních dílech Skalka a Jesenice významně redukovány nedostatkové objemy. Nadlepšování průtoků bylo tak významné, že je zřetelné i pod hodnotou  $Q_{70}$ . Pozitivní vliv nádrže se dále uplatnil například na stanici Nekoř na Divoké Orlici, významně ovlivněné vodním dílem Pastviny, které bylo uvedeno do provozu v roce 1938. Vlivem nádrže došlo k úplné eliminaci nedostatkových objemů při suchých epizodách v letech 1982, 1983, 1992, 2000 a 2003 (obr. 221).

Pro hodnocení vodohospodářské soustavy byl využit simulační model Výzkumného ústavu vo-

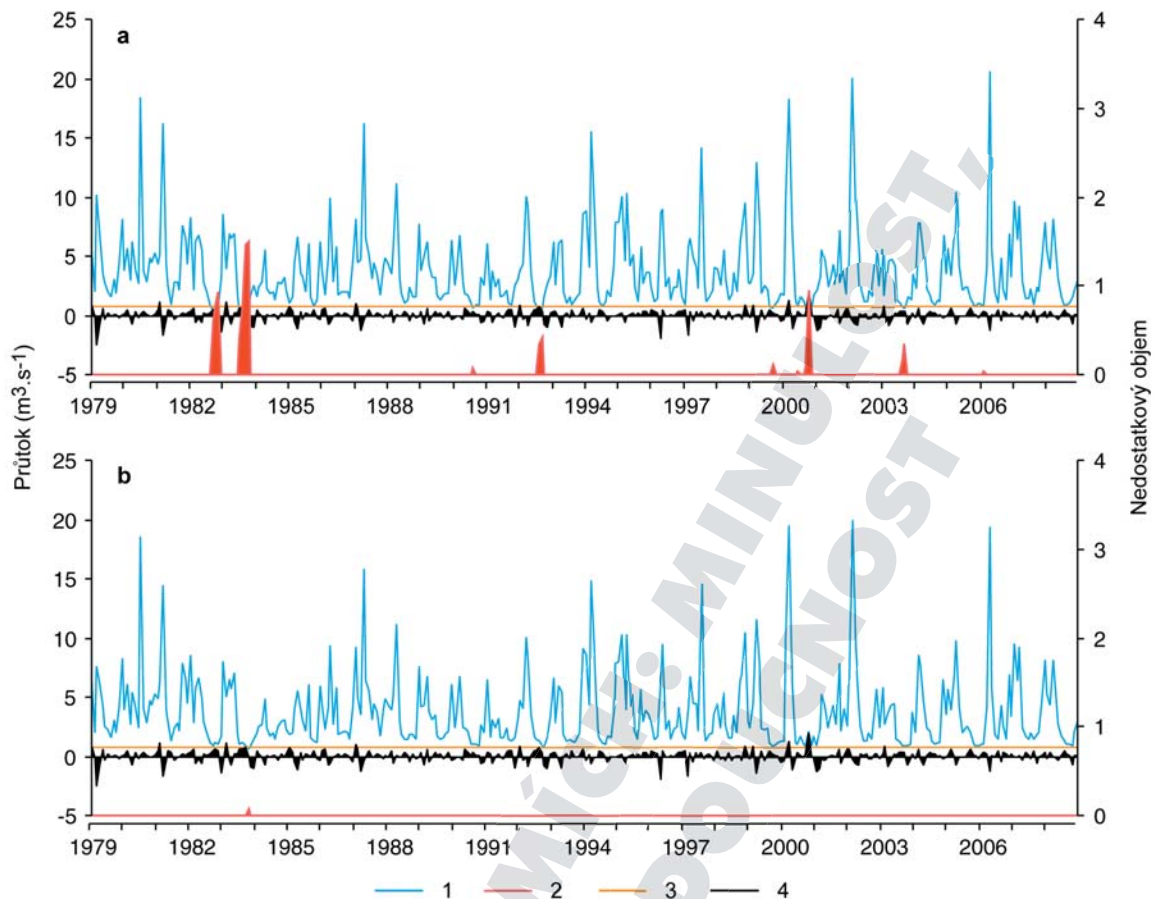
dohospodářského T. G. Masaryka v Praze. Zjednodušeným vstupem do modelu byly průtokové řady a požadavky na užívání vody, hodnoty minimálních zůstatkových průtoků pro řešené profily a hodnoty doporučené zabezpečení podle jednotlivých tříd, které vycházejí z článků 5.1–5.6 a Přílohy B ČSN 75 2405. Zmíněná příloha rozlišuje odběratele vody, další uživatele a efekty nádrže do následujících čtyř tříd významnosti:

- a) třída A: vodovody pro více než 150 tisíc obyvatel, tepelné elektrárny s výkonem nad 500 MW a jaderné elektrárny,
- b) třída B: vodovody pro 50–150 tisíc obyvatel, tepelné elektrárny o výkonu do 500 MW, průmysl celostátního významu, minimální průtok ve vodním toku pod nádrží a v určených profilech vodního toku,
- c) třída C: vodovody pro méně než 50 tisíc obyvatel, průmysl krajského významu, živočišná výroba mimo chov ryb a drůbeže,
- d) třída D: vodní elektrárny (vztaženo k individuálně dohodnutému průtoku), místní průmysl a provozovny komunálního hospodářství, závlahy, chov ryb a vodní drůbeže, lesnictví, rekreace.

Norma zároveň uvádí doporučené hodnoty zabezpečení podle trvání ( $pt_{dop}$ ) v závislosti na významu zabezpečovaného užívání vody: pro třídu A zabezpečení  $\geq 99,5\%$ , pro B  $\geq 98,5\%$ , pro C  $\geq 97,5\%$  a pro D  $\geq 95,0\%$ . Výsledným řešením jsou bilanční stavy jednotlivých kontrolních profilů, které jsou identifikovány do modelu vodohospodářské soustavy. Jedná se především o bilanční profily, vodní nádrže a místa, kde se nacházejí převody vody. Bilanční stavy jsou rozděleny do čtyř tříd od aktivních po pasivní (obr. 222). Aktivní profil dosahuje dané zabezpečení pro třídy A–D v 99,5 % případech modelované řady, vyvážený aktivní minimálně v 97 %, vyvážený pasivní v 95 % a pod touto hranicí se vyskytují pasivní profily, kde na některých profilech jsou i hodnoty pod 50 %. V třicetileté řadě měsíčních hodnot bude profil třídy C pasivní, pokud 27 měsíců za 30 let<sup>84</sup> nesplňuje dané požadavky na zabezpečení. Cílem je především identifikovat lokality, kde je bilanční stav napjatý a navrhnout konkrétní opatření, která by tyto problémy zmírnila.

<sup>84</sup> Tj.  $360 - (12 \text{ měsíců} \times 30 \text{ let}) \times 0,975 \times 0,95 = 26,55$  měsíce.





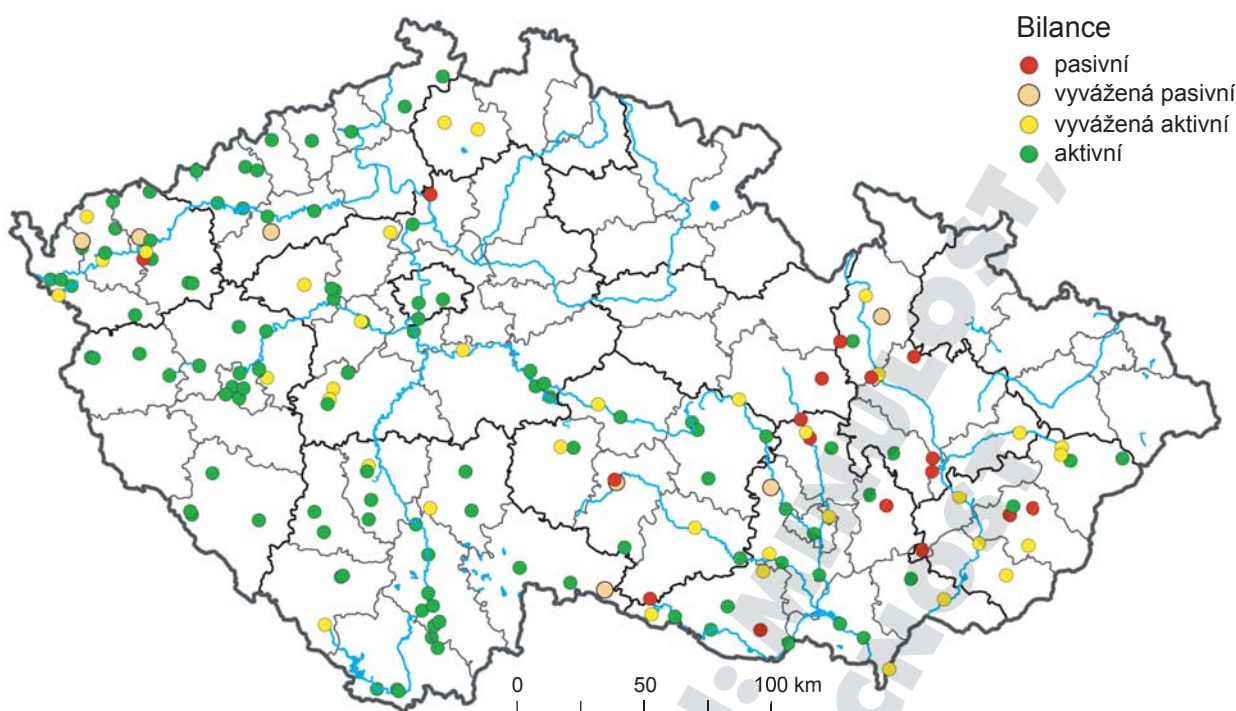
**Obr. 221.** Vliv vodního díla Pastviny na průměrné měsíční průtoky (1) vodoměrné stanice Nekoř na Divoké Orlici v období 1979–2009: a) neovlivněné průtoky (očištěné od vlivu vodního díla), b) měřené průtoky (ovlivněné manipulací na vodním díle): 2 – standardizované nedostatkové objemy pod prahovým průtokem  $Q_{95}$  (3), 4 – velikost manipulací na vodním díle (kladné hodnoty znamenají nadlepšování průtoků) (podle Vlnase et al., 2010)

**Figure 221.** The influence of the Pastviny reservoir on mean monthly discharges at the Nekoř hydrological station on the Divoká Orlice in the 1979–2009 period: (a) natural discharges (no reservoir manipulation), (b) measured discharges (positively affected by reservoir manipulation). Standardised deficiency volumes below the  $Q_{95}$  threshold appear in red, values of reservoir manipulations in black (positive values indicate discharge maintenance) (after Vlnas et al., 2010)

### 6.3.3 Dopady hydrologického sucha na zdroje podzemní vody

Podzemní voda je významnou součástí přírodního prostředí a její zásoby představují složku, která stabilizuje odtok z území. Zejména v delších bezsrážkových obdobích jsou povrchové toky dotovány výhradně z podzemních vod. Vzhledem k poloze našeho území je účinek podzemních vod pro vyrovnání odtoků z území významnější než všechny existující nádrže. Podle Castany (1978) je sucho v podzemní vodě důsledkem deficitu efektivních srážek a vyčerpávání zásob podzemní vody. Podle technické zprávy EU (EC, 2008) se sucho projevuje významným poklesem průměrného dostupného množství vody při výrazném snížení průměrných hladin podzemní vody. Řešení dopadů sucha v podzemních vodách byla dosud přes jejich význam věnována jen malá pozornost.

Podzemní vody jsou velmi významnou složkou oběhu vody v přírodě. Jsou v interakci s povrchovými vodami, s nimiž se v důsledku morfologických, geologických a klimatických podmínek vzájemně ovlivňují. V minulosti se problematika obou řešila většinou odděleně. U povrchových vod byla pozornost zaměřena především na povodňové stavy a využívání vodní energie, zatímco minimálním průtokům byla věnována jen malá pozornost (Kněžek, 2013). U podzemních vod převládalo hodnocení jejich využitelnosti pro vodárenské využití. V posledních letech se v důsledku implementace Rámcové směrnice EU o vodách (Směrnice 2000/60/ES) do českého zákona o vodách (Zákon 254/2001 Sb.) hodnotí i stavy povrchových a podzemních vod. Dobrý stav povrchových a podzemních vod zahrnuje i kvalitativní a kvantitativní požadavky na jejich využívání i na potřeby biologických spo-



**Obr. 222.** Stav vodohospodářské soustavy v České republice v letech 1981–2010 podle Viziny et al. (2014a)  
**Figure 222.** Water management system in the Czech Republic in the 1981–2010 period, after Vizina et al. (2014a)

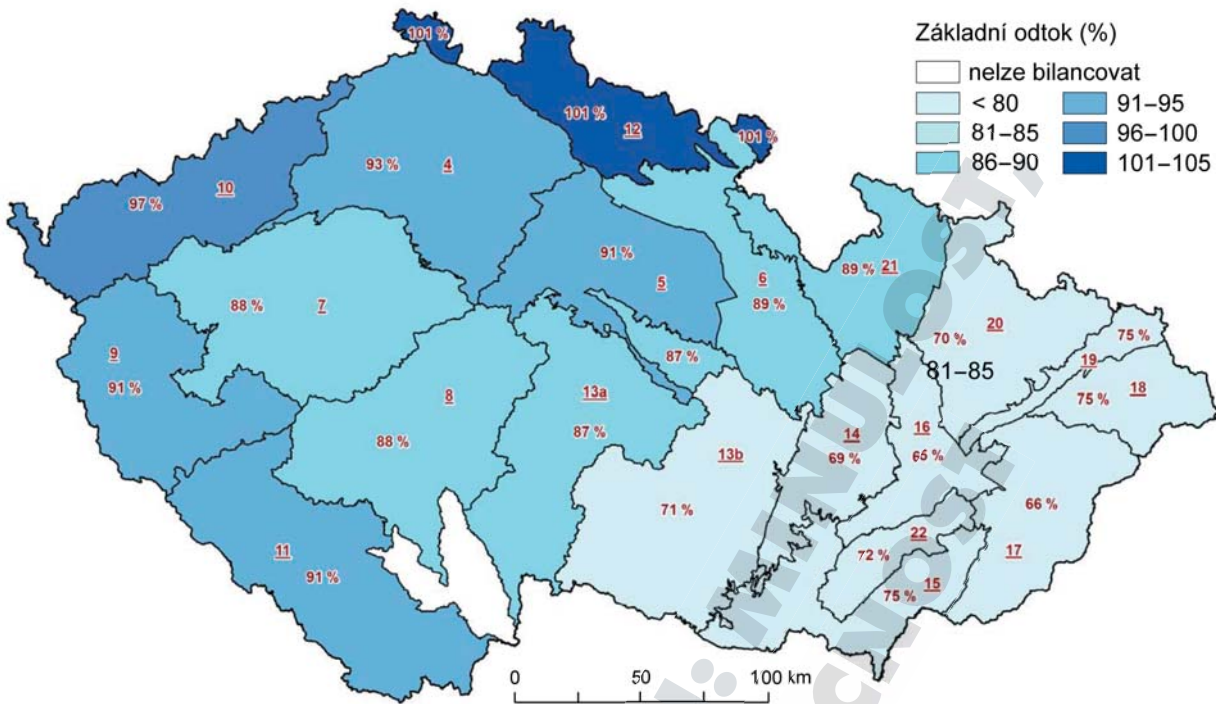
lečenstev vázaných na vody, včetně terestrických ekosystémů.

Systematické pozorování podzemních vod bylo zahájeno v trase projektovaného kanálu Dunaj — Odra — Labe na přelomu třicátých a čtyřicátých let minulého století. Část těchto objektů byla zařazena do státní pozorovací sítě a je na nich pozorováno dosud. Celoplošná pozorovací síť ČHMÚ vznikla postupně v letech 1957–1969, s výjimkou pozorovací sítě hlubších zvodní, které jsou monitorovány většinou od roku 1991. V dalším období byla síť doplňována a upravována. Vlastní koncepce pozorovací sítě byla vyjádřena již v počátku, kdy objekty byly rozděleny na:

- pozorovací síť pramenů, sledující jejich vydatnosti a teploty vody, přičemž prameny k pozorování byly vybrány podle jednotné metodiky na základě celoplošného průzkumu,
- pozorovací síť mělkých zvodní, která byla situována do porézních zón a přilehlých terasových stupňů, vytvořenou podle projektů z počátku šedesátých let,
- pozorovací síť hlubokých zvodní, tvořenou vrty z regionálního hydrogeologického průzkumu, který proběhl v šedesátých až devadesátých letech minulého století.

Rozsah pozorovací sítě se mění v souvislosti s jejím postupným budováním a úpravami. V současné době pozoruje asi 2 000 objektů podzemních vod. Zpracované údaje jsou nepostradatelné při rozhodování o využívání a ochraně zdrojů vod, stejně jako pro ochranu životního a přírodního prostředí, a jsou výchozím podkladem pro hydrologickou a vodohospodářskou bilanci a zjišťování stavu podzemních vod. Dalším zpracováním údajů lze stanovit množství podzemních vod, které je k dispozici a tvoří součást průtoku v povrchovém toku, tedy tzv. základní odtok (obr. 223). Tyto výpočty jsou prováděny pro desítky dílčích povodí a poté převáděny na hydrogeologické rajony. Jsou velmi významné pro rozhodování o možnostech využití podzemních vod.

Podzemní voda proudí z oblasti infiltrace do oblasti odvodnění. Systémy podzemního odtoku z oblasti doplňování se liší velikostí a hloubkou, přičemž jeden systém může překrývat druhý. Režim podzemních vod mělkých zvodní je velmi dynamický a mezi nimi a povrchovými toky je největší výměna vody. V podloží mělkých zvodní se mohou vyskytovat další zvodně, v nichž probíhá oběh vody ve větších hloubkách a cirkulující podzemní voda se v nich zdrží podstatně déle než v mělkých zvodních. Podzemní voda z hlubších zvodní je rovněž drénována povrchovými toky, které mohou drénovat i více



**Obr. 223.** Geografické rozložení základního odtoku v roce 2012 na území České republiky, vyjádřeného v % průměru období 1981–2010 (zdroj: ČHMÚ). Podtržená čísla udávají skupiny hydrogeologických rajonů  
**Figure 223.** Geographical distribution of basic flow in the year 2012 in the territory of the Czech Republic, expressed as a percentage of the 1981–2010 mean (source: CHMI). Underlined numbers represent a group of hydrogeological regions

zvodní. Tato drenáž probíhá v různých úsecích vodního toku, které nemusí být shodné s úseky, v nichž se drénují mělké podzemní vody.

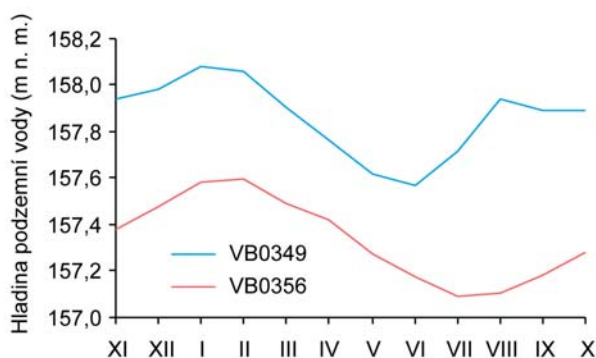
Odběry podzemní vody tvoří 23 % z celkových odběrů vod, přičemž na odběry pro vodovody pro veřejnou potřebu připadá 82 % z tohoto množství. Druhým největším odběratelem je průmysl, včetně dobývání nerostných surovin, který odebírá 9,2 % z celkového množství. Na ostatní odběratele podzemní vody, jako jsou zemědělství, stavebnictví a energetika, připadá méně než 4,8 % z celkového odebíraného množství. Odběry podzemní vody pro vodovody reprezentují 49 % z celkového množství vody odebírané pro vodovody. Vzhledem k tomu, že 93,8 % obyvatel České republiky je zásobováno z veřejných zdrojů (zbývajících 6,2 % obyvatel z vlastních zdrojů, tj. většinou z domovních studní), činí podíl odběrů podzemní vody pro zásobování pitnou vodou více než 49 %.

Na území České republiky je přibližně 80 % využitelných množství podzemních vod soustředěno na asi 30 % její plochy. K nejvýznamnějším územím náleží část české křídové pánve, omezená přibližně řekou Jizerou, dolním tokem Labe a státní hranicí, dále východní Čechy na pomezí s Moravou a Třeboňská s Budějovickou pánví v jižních Čechách.

Všechna tato území musí být chráněna proti znečištění, nadměrným odběrům podzemních vod a dalším činnostem, které by mohly ohrozit jejich množství nebo kvalitu. Aktuální informace o stavu hladin podzemní vody jsou dostupné na [http://hydro.chmi.cz/hpps\\_pzv.php](http://hydro.chmi.cz/hpps_pzv.php).

Hlavním faktorem pro velikost doplňování zásob podzemní vody jsou atmosférické srážky zmenšené o výpar. V našich podmínkách jde buď o celoroční, nebo o sezonní doplňování zásob. Při sezonním doplňování zásob, rozšířeném na větší části našeho území, leží převážnou část zimního období sněhová pokrývka (s celkovým počtem dní s výskytem sněhové pokrývky větším než 50 dní). Oba typy režimu doplňování zásob vykazují výraznou sezonní periodicitu, charakteristickou výskytem maximálních hladin v lednu a únoru a minimálních hladin v létě. Obrázek 224 dokumentuje roční chod hladin podzemní vody se sezonním doplňováním mělkých podzemních vod v povodí Dyje (vrt VB0349 Charvatská Nová Ves) a v povodí Moravy (vrt VB0356 Mikulčice). Po výskytu maximálních hladin (většinou začátkem roku) dochází k poklesu hladiny podzemní vody až na hodnoty ročního minima, vyskytujícího se většinou v létě. K několikanásobnému přerušování poklesové tendence může dojít při vysokých úhrnech srážek.





**Obr. 224.** Roční chod průměrných měsíčních hladin podzemní vody v období 1981–2010 ve vrtu VB0349 Charvatská Nová Ves a vrtu VB0356 Mikulčice

**Figure 224.** Annual variation of mean monthly groundwater levels in the 1981–2010 period in monitoring well VB0349, Charvatská Nová Ves and at VB0356, Mikulčice

žek v letním období. Velikost minimálních hladin velmi dobře koreluje s velikostí maximálních hladin. Po dosažení ročního minima nastává vzestup hladiny, způsobený podzimními srážkami při nízkém výparu, vrcholící ročním maximem na konci zimního či na začátku jarního období.

Nízké hladiny podzemní vody mohou významně ovlivňovat průtoky řek s dopady na složky životního prostředí. Malé průtoky v povrchových tocích jsou tvořeny podzemní složkou odtoku a v důsledku toho mohou jejich průtoky při nízkých hladinách podzemní vody ve zvodních, které jsou v hydraulické spojitosti s podzemními vodami, poklesnout pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku, který umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku.

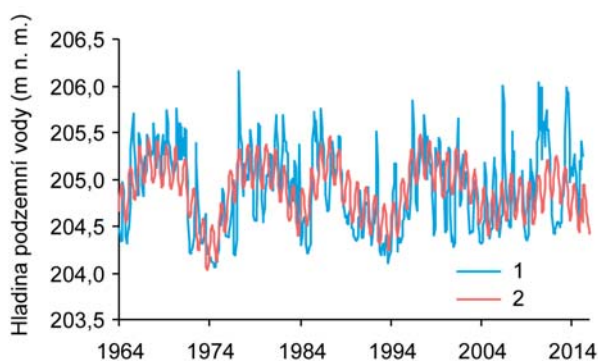
Výskyt minimálních hladin podzemní vody je vedle přírodních faktorů výrazně ovlivněn i antropogenními zásahy. Trvalé snížení hladiny podzemní vody nastává účinkem odběrů podzemní vody, odvodňováním ložisek nerostných surovin, provozem hydraulických bariér při sanaci kontaminované podzemní vody a trvalým snižováním hladin pod základy staveb v městských aglomeracích. Stejně tak se projeví i u dopravních staveb, u nichž je niveleta vedena v zářezu pod hladinou podzemní vody, při nichž odebírané množství podzemní vody není vyvážené s doplňováním zásob podzemní vody a normami environmentální kvality (tj. dobrý stav podzemních vod). Snížení hladiny podzemní vody vyvolávají i úpravy toků, jako je napřimování meandrů. Podzemní stavby a podzemní sítě (vodovodní a kanalizační potrubí, produktovody), které jsou situovány pod hladinou podzemní vody, mají rovněž

drenážní účinek. Za určitých podmínek se na snižování hladiny podzemní vody podílí také zemědělská výroba, a to například nevhodnými osevními postupy, technologickou nekázní při nasazení těžké techniky na rozbahněných pozemcích atd. S výstavbou nových objektů narůstají nepropustné plochy, které snižují velikost infiltrace srážkových vod.

### 6.3.3.1 Dlouhodobá variabilita hladin podzemní vody

Pro studium dlouhodobé variability a prognózu hladin podzemní vody se používají časové řady hladin podzemní vody, vydatnosti pramenů, velikosti podzemního odtoku atd. V případě minimálních hladin podzemní vody se jedná o řady minimálních ročních hladin. Analýza časové řady umožňuje identifikovat mechanismy její tvorby a na jejich základě odhadovat její budoucí chování, tedy předpovídat. Dekompozice časové řady umožňuje identifikovat její trend, sezonní, víceletou cyklickou a náhodnou složku (Kisiel, 1969; Muzikář, Soukalová, 1988). V hydrologii podzemních vod se jako nejvhodnější jeví trend lineární. Je-li režim podzemní vody ovlivněn uměle (například odběry podzemní vody), je nejvhodnější aproximace trendu logaritmickou nebo exponenciální funkcí. K určení cyklické složky reprezentované krátkodobými a dlouhodobými kvaziperiodickými kolísáními se používá metoda harmonické analýzy (Zalcborg, 1976, 1980; Muzikář, Soukalová, 1988; Soukalová, Muzikář, 2013a). Nejvýznamnější periodou (statistická významnost byla posuzována Fisherovým testem) u většiny vrtů je dvanáctiměsíční perioda, která koresponduje se sezonním doplňováním podzemní vody. Za ní následují periody v délce 5, 2 a 10 let (platí pro povodí Moravy). Obrázek 225 ukazuje průběh měsíčních hladin podzemních vod mělkých zvodní na příkladu vrtu Kralice na Hané, a to jednak pro měřené a jednak pro modelované hodnoty metodou harmonické analýzy. Délka period v časových řadách ročních minimálních hladin a ročních průměrných hladin je analogická. Příklady zjištěných period hladin podzemní vody lze najít v řadě zahraničních prací (Zalcborg, 1976, 1980; Ramón, 1978; Zaporozec, 1980).

V dlouhodobém chodu ročních charakteristik se vyskytují seskupení několika za sebou jdoucích let s vysokými hladinami nebo nízkými hladinami. Mezi nimi se objevuje sestupný nebo vzestupný trend hladiny (Kovalevskij, 1976, 1983; Castany, 1978; Muzikář, Soukalová, 1988). Opačné extrémy se mohou vyskytnout v sousedních letech pouze v krasu nebo

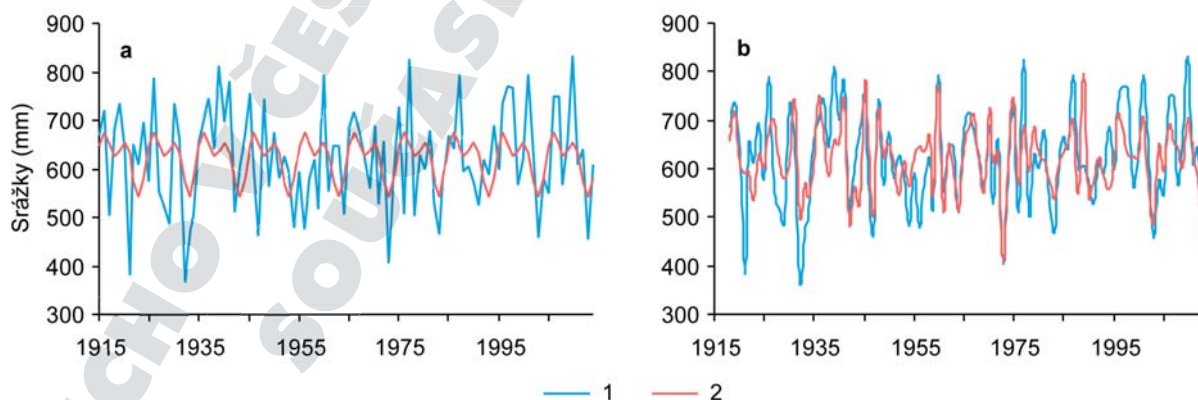


**Obr. 225.** Měřené (1) a harmonickou analýzou (2) modelované (periody 1, 2, 4, 5 a 8 let) průměrné měsíční hladiny podzemní vody ve vrtu VB0125 Kralice na Hané v období 1964–2014

**Figure 225.** Mean monthly groundwater levels in monitoring well VB0125, Kralice na Hané in the 1964–2014 period, measured (1) and modelled (2) by harmonic analysis (periods 1, 2, 4, 5 and 8 years)

v horských zvodních (infiltrační oblasti) a v kratších časových řadách (do 7–10 let). V sezonním i v dlouhodobém kolísání hladin podzemní vody se neprojevuje výrazný vliv aktuálních srážek, nýbrž jejich akumulace z předcházejícího období. Doba akumulace srážek roste se vzdáleností posuzovaného místa od infiltrační oblasti a je nepřímo závislá na rychlosti proudění podzemní vody. U víceletého kolísání hladin to může činit až 5–7 let (Marine, 1963; Kovalenskij, 1976; Muzikář, Soukalová, 1988).

Cykličnost ročních úhrnů srážek, které jsou rozhodujícím faktorem pro tvorbu podzemních vod, koresponduje s periodami v časových řadách hladin podzemních vod. To lze dokumentovat na příkladu řady ročních úhrnů srážek na stanici Napajedla



**Obr. 226.** Kolísání ročních úhrnů srážek na stanici Napajedla v období 1915–2014 (1) aproximované modelovými úhrny stanovenými metodou harmonické analýzy (2) pro periody: a) 2 a 10 let, b) 2, 3, 4, 5 a 10 let

**Figure 226.** Fluctuations in annual precipitation totals at the Napajedla station in the 1915–2014 period (1) compared to totals modelled by harmonic analysis (2) for periods: (a) 2 and 10 years, (b) 2, 3, 4, 5 and 10 years

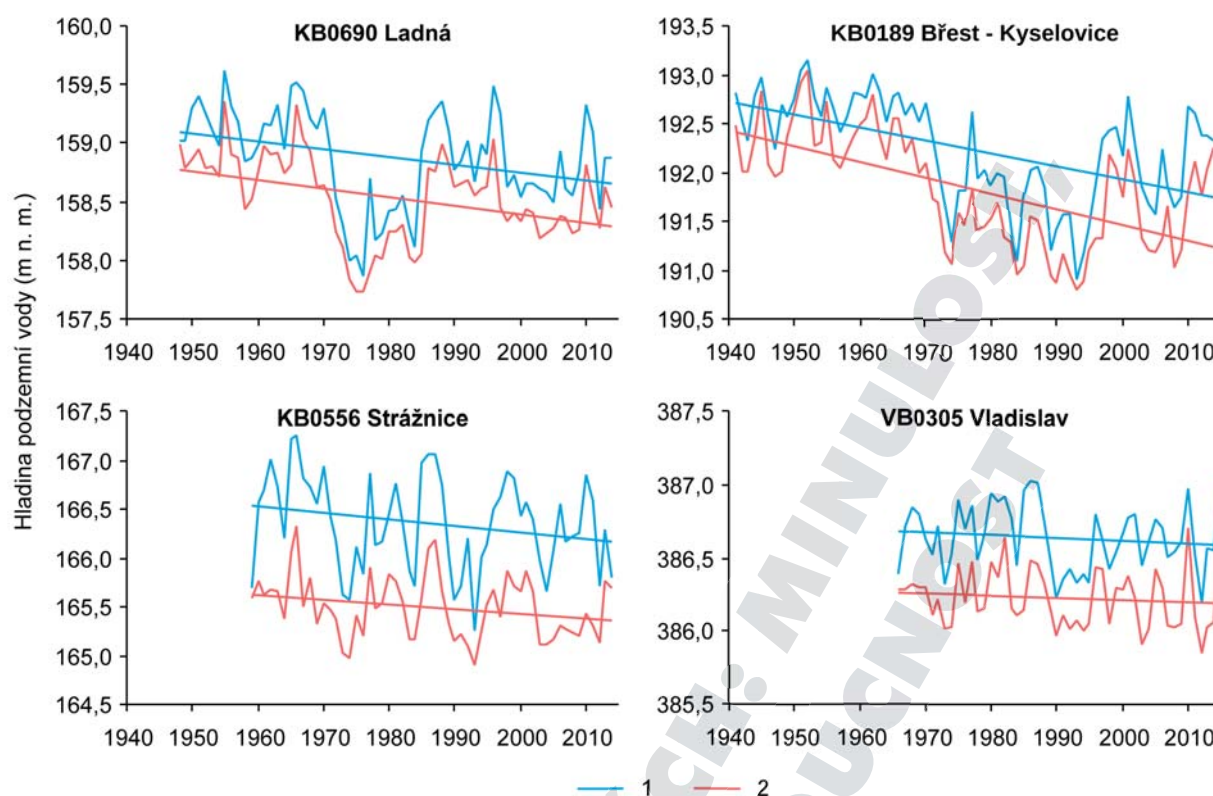
v období 1915–2014, kde byly jako nejvýznamnější prokázány periody v délce 2 a 10 let (obr. 226).

Obrázek 227 uvádí příklady kolísání ročních průměrných a ročních minimálních hladin podzemní vody pro vybrané vrty v povodích Moravy, Dyje a Jihlavy. Ve všech vrtech je dobře patrný celkově sestupný lineární trend. Poklesové trendy mohou souviset s variabilitou klimatu a prostorovým rozložením srážek během roku. Jsou například v souladu s nárůstem hodnot potenciální evapotranspirace v důsledku vzestupného teplotního trendu na území České republiky (kap. 4.1).

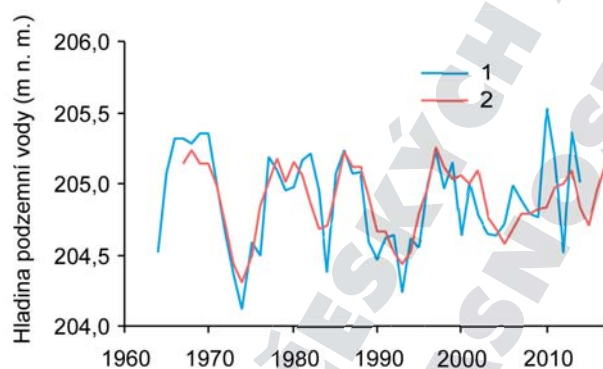
### 6.3.3.2 Předpověď hladin podzemní vody

Sezonní předpovědi hladin podzemní vody vycházejí nejčastěji z řad průměrných měsíčních hladin podzemních vod. Jejich praktický význam je zřejmý jak z hlediska celkového podílu zdrojů vody závislých na odběru podzemních vod, tak i s ohledem na výše uvedené sestupné trendy. Prognózy ročních minimálních hladin se mohou stanovit na základě regresní rovnice měsíčních průměrných hladin (například průměrná měsíční hladina v březnu se bere jako nezávisle proměnná a průměrná měsíční hladina v září jako závisle proměnná). Pro předpovědi ročních průměrných hladin se používá harmonická analýza a autoregresní model. Obrázek 228 ukazuje měřené a harmonickou analýzou modelované průměrné roční hladiny podzemních vod s prognózou do roku 2016.

Rozdíl mezi skutečnou a předpovídanou hodnotou pak udává chybu předpovědi. Přípustná chyba předpovědi  $d_p$  se počítá ze vztahu  $d_p = 0,674s$ , kde  $s$  je směrodatná odchylka naměřených hodnot. Má-li 80 % předpovídaných hodnot chybu předpovědi



**Obr. 227.** Kolísání a lineární trendy ročních průměrných (1) a ročních minimálních (2) hladin podzemních vod pro vybrané vrtky v povodí Moravy (Břest-Kyselovice 1941–2014, Strážnice 1959–2014), Dyje (Ladná 1948–2014) a Jihlavy (Vladislav 1966–2014)  
**Figure 227.** Fluctuations and linear trends in mean annual (1) and minimum (2) annual groundwater levels for selected monitoring wells in the Morava (Břest-Kyselovice 1941–2014, Strážnice 1959–2014), Dyje (Ladná 1948–2014) and Jihlava (Vladislav 1966–2014) catchments



**Obr. 228.** Měřené (1) a harmonickou analýzou modelované (2) (periody 2, 4, 5 a 6 let) průměrné roční hladiny podzemní vody ve vrtu VB0125 Kralice na Hané v období 1964–2014, resp. 1964–2016

**Figure 228.** Mean annual groundwater levels in monitoring well VB0125, Kralice na Hané, in the 1964–2014 (1964–2016) period: measured (1) and modelled (2) by harmonic analysis (periods 2, 4, 5 and 6 years)

nižší než  $d_p$ , považuje se předpověď za přijatelnou. Na základě podílu směrodatných odchylek  $s_p$  (tj. souboru předpovídaných hodnot) a  $s$  (měřených hodnot) se pak může klasifikovat předpovědní

model, kdy předpověď může být hodnocena jako dobrá ( $s_p/s = 0,4$ ), uspokojivá (0,6), slabá (0,8) nebo neuspokojivá.

V povodí Moravy byla provedena prognóza minimálních hladin mělkých zvodní v roce 2013 regresní analýzou ve 33 monitorovacích vrtech hlášené sítě. Nezávisle proměnnou byly průměrné měsíční hladiny v březnu a závisle proměnnou byly průměrné měsíční hladiny v září. V posuzovaném období od března do září poklesly průměrné měsíční hladiny o 0,05–0,95 m (průměr 0,34 m). Pro 85 % předpovídaných hodnot byla předpověď přijatelná, neboť chyba předpovědi byla nižší než  $d_p$ .

Na rozdíl od prognózy hladin podzemní vody v daném monitorovaném vrtu se při praktické aplikaci prognóz musí provést plošná extrapolace, pro kterou je nutné zvolit indikační vrt. Ten musí být situován v blízkosti míst, pro která se má prognóza extrapolovat, a nesmí být ovlivněn odběry podzemní vody. Zároveň musí mít analogické podmínky jako monitorovací vrt, v němž byla prognóza provedena. Jedná se například o hydrogeologické podmínky pro tvorbu zásob podzemní vody, odtok podzemní



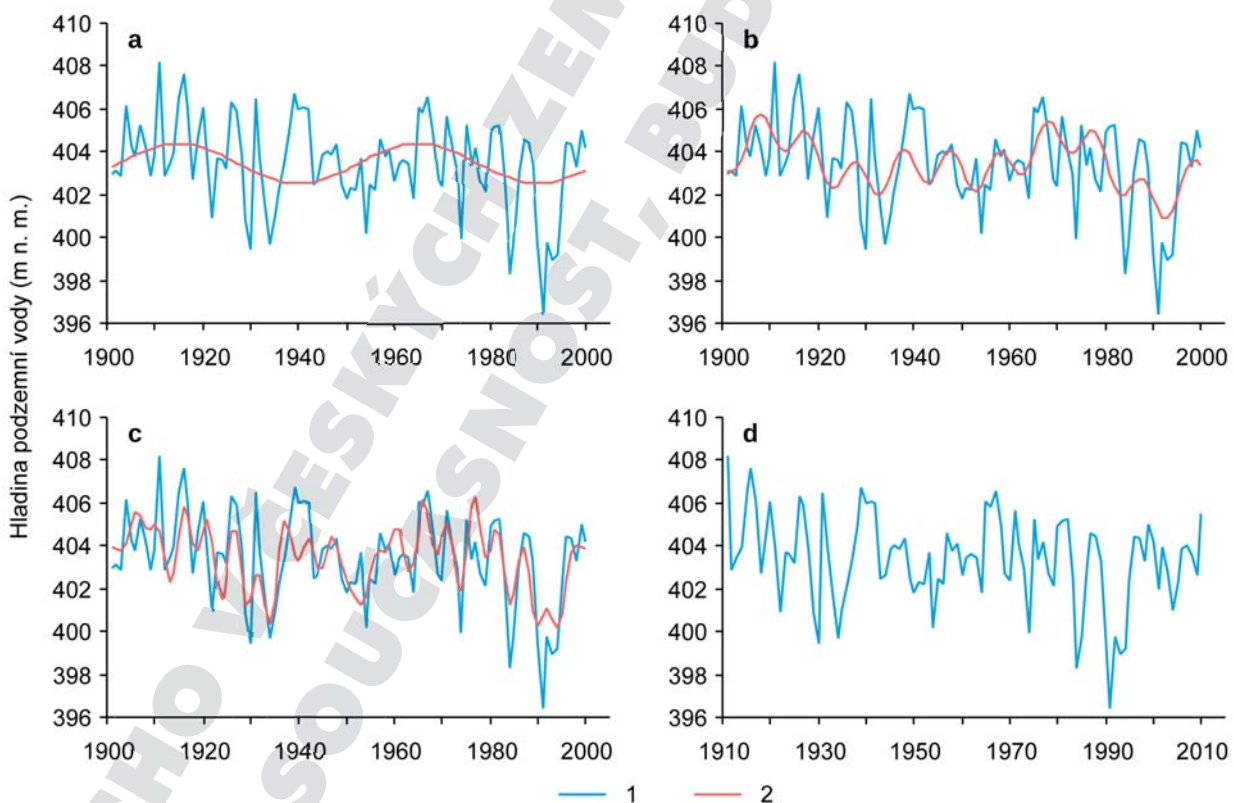
vody, litologii a mocnost nenasycené a nasycené zóny, jejich propustnost, geomorfologické podmínky a zejména synchronní sezonní kolísání hladin (Zalcborg, 1980; Rétháti, 1983; Muzikář, Soukalová, 1988). V indikačním vrtu se musí měřit hladiny podzemní vody alespoň po dobu dvou let souběžně s monitorovacím vrtem, pro který byla provedena prognóza, a v němž probíhá dlouhodobý monitoring. Pro měsíční průměrné hladiny v obou vrtech se stanoví korelační závislost, kdy z regresní rovnice se dopočítá prognózní hladina v indikačním vrtu. Například z korelačních závislostí vrtů s dlouhodobým a s dvouletým monitoringem v povodí Dyje vyplynulo, že v krátkodobě monitorovaných vrtech je možno spolehlivě stanovit 90 % a přesněji 80 % hladiny (Muzikář, Soukalová, 1988).

### 6.3.3.3 Výskyt minimálních hladin podzemních vod a hodnocení výskytu sucha

Výskyt minimálních hladin podzemních vod je charakterizován asi desetiletou periodou. Jako málo vodné se z hlediska podzemních vod jeví roky 1934, 1944, 1954, 1964, 1974, 1984, 1993, 2003

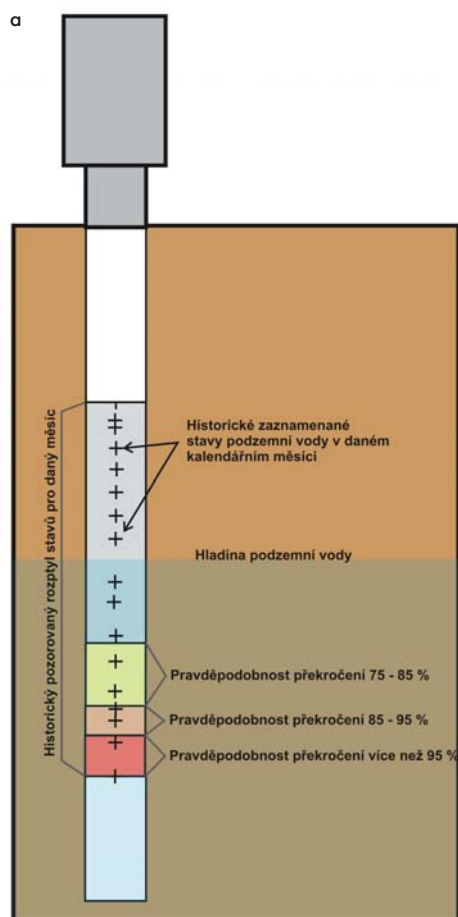
a 2012. Na Moravě byly minimální hladiny dosaženy v povodí Moravy převážně v letech 1974, 1984 a 1993, v povodí Jihlavy v letech 1983 a 1995, v povodí Svratky v letech 1973–1974 a v povodí Dyje v letech 1974, 1983 a 2003. Absolutním minimům se pozorované hladiny podzemních vod přiblížily nebo je překročily v roce 2012 v povodí horní Jihlavy a v povodí Dyje.

Nejdelší dobu pozorování hladiny podzemních vod v České republice má vrt na katastrálním území obce Banín, kde pravidelná měření hladin probíhá bez přerušování od 6. října 1899 (k analýze pozorování viz například Kříž, Prokop, 2002). Tento vrt je situován v infiltrační oblasti vodního zdroje Březová nad Svitavou v jižní části ústecké synklinály. Časová řada průměrných ročních hladin má celkově mírně sestupný trend. Příčinou je vliv srážek jako hlavního faktoru ovlivňujícího doplňování zásob podzemní vody a dále trvalý odběr podzemní vody pro brněnský vodovod. V časové řadě se vyskytuje statisticky významná 25letá perioda, následovaná dalšími periodami v délce 2, 5, 10 a 16 let. Tyto periody byly také vybrány pro modelování pohybu hladin podzemní



**Obr. 229.** (a–c) Kolísání měřených (1) a harmonickou analýzou modelovaných (2) průměrných ročních hladin podzemní vody a (d) výskyt minimálních ročních hladin ve vrtu v Baníně v období 1900–2000 (1911–2010 pro d). Periody použité pro modelování: a) 25 let, b) 5, 16 a 25 let, c) 2, 5, 10, 16 a 25 let

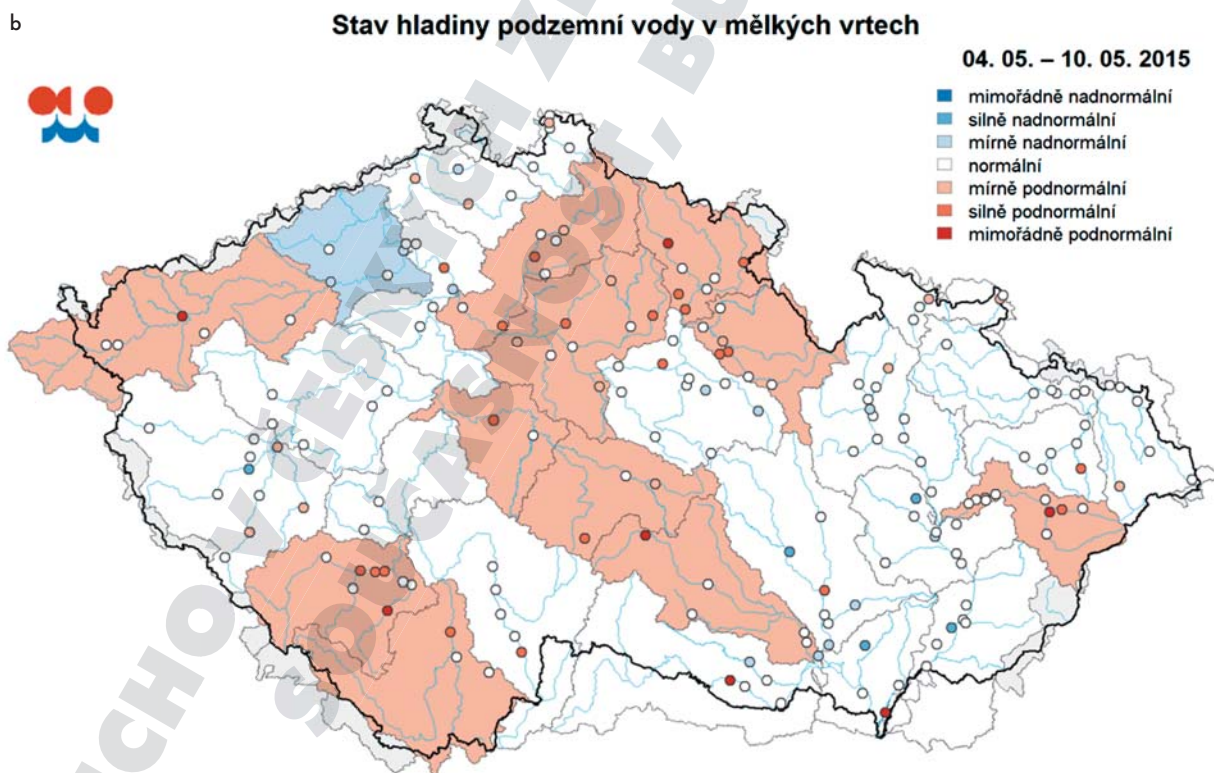
**Figure 229.** (a–c) Fluctuations in mean annual groundwater levels measured (1) and modelled by harmonic analysis (2) and (d) occurrence of minimum annual levels in the Banín monitoring well, 1900–2000 (1911–2010 for (d)). Modelling periods: (a) 25 years, (b) 5, 16 and 25 years, (c) 2, 5, 10, 16 and 25 years



vody harmonickou analýzou (obr. 229). Absolutní minimální roční hladina se vyskytla ve vrtu v Baníně v roce 1993, přičemž nízké hladiny podzemní vody byly zaznamenány již v předchozích třech letech. V těchto rocích bylo území České republiky postiženo suchem, přičemž celkový nedostatek srážek se nejvíce projevil ve středních, východních a jižních Čechách, stejně jako na jižní Moravě.

Stav podzemních vod v konkrétním vrtu je hodnocen podle pravděpodobnosti překročení hladiny v příslušném kalendářním měsíci (obr. 230). Stav sucha je charakterizován třemi kategoriemi odvozenými v referenčním období 1981–2010, kde mírné sucho značí stavy mírně podnormální s pravděpodobností překročení 75–85 %, silné sucho stavy silně podnormální s pravděpodobností překročení 85–95 % a mimořádné sucho mimořádně podnormální stavy, které odpovídají nejnižším 5 % pozorování.<sup>85</sup> Hodnocení je prováděno jak pro jednotlivé objekty, tak souhrnně pro definované oblasti povodí. Popis

<sup>85</sup> Analogicky znamená pravděpodobnost překročení 15–25 % mírně nadnormální stav hladiny podzemní vody, pravděpodobnost překročení 5–15 % silně nadnormální stav hladiny a pravděpodobnost překročení 5 % mimořádně nadnormální stav.



**Obr. 230.** a) Schéma hodnocení stavu hladiny podzemní vody v mělkém vrtu; b) stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech na území České republiky v týdnu 4.–10. května 2015 (podle Týdenní zprávy ČHMÚ)

**Figure 230.** (a) Evaluation of the groundwater level in a shallow monitoring well; (b) groundwater levels in shallow monitoring wells in the territory of the Czech Republic, week of 4–10 May 2015 (CHMI weekly report)

aktuální situace stavu sucha na území České republiky v rámci hydrometeorologické situace je pravidelně publikován v Týdenní zprávě o hydrometeorologické situaci a suchu na území ČR (obr. 230; <http://portal.chmi.cz>).

Kromě dlouhodobějších opatření pro řešení problematiky sucha doporučuje v současné době Ministerstvo životního prostředí České republiky také operativní opatření, která spočívají, analogicky jako v případě povodní, v zavedení tří stupňů aktivit: bdělost, pohotovost a ohrožení. Zpracovává se návrh indikátorů pro sucho a typové plány pro „dlouhodobé sucho“. Pro přípravu opatření při stavech bdělosti, pohotovosti a ohrožení bude nutné zpracovávat prognózy minimálních hladin podzemní vody a zaměřit se i na plošnou extrapolaci prognóz. Z pohledu dlouhodobých poklesů hladin podzemních vod a jejich dopadů na využívané zdroje podzemních vod postihuje v současnosti stav pohotovosti asi 10 % obyvatel. Jako součást opatření při mimořádných situacích mohou vodoprávní úřady omezit nebo zakázat na nezbytně nutnou dobu nakládání s vodami podle platného povolení k odběru vody z vodního zdroje. Opatření pro zmírnění dopadů sucha v podzemních vodách zahrnují rovněž zlepšení retenčních schopností krajiny spojené s její revitalizací a efektivnější hospodaření se srážkovými vodami.

### 6.3.4 Vysychání drobných vodních toků jako indikátor výskytu a potenciálních dopadů hydrologického sucha

Tato kapitola se zaměřuje na analýzu vysychání drobných (malých) vodních toků a zejména jeho dopady na vodní bezobratlé obývací dno (makrozoobentos). Jednotlivé zástupce této skupiny lze zároveň využít jako vhodné bioindikátory pro detekci suchých epizod v nedávné historii toku. Jsou zde uvedeny příklady povodí, ve kterých dochází v poslední době k častému vysychání úseků toků a částečně analyzovány možné regionální a lokální příčiny tohoto jevu, které lze následně využít pro konstrukci map rizika vysychání vodních toků.

#### 6.3.4.1 Bioindikace vysychavých toků pomocí vodních organismů a její metody

Úplné vysychání toků se začalo v České republice systematictěji sledovat až v posledních dekadách, takže o jeho projevech a zejména dopadech na oživení toků není zatím dostatek informací. Částečně to souvisí s metodologickými obtížemi, jelikož na tocích menších řádů chybí vodoměrné stanice, které by monitorovaly stav průtoků, včetně přerušení kon-

tinuity toku. Navíc jsou pro vznik vyschlého úseku často určující nejen regionální faktory, ale zejména celá řada čistě lokálních parametrů od přírodního prostředí po činnost člověka. Vysychání je totiž závislé na synergickém působení řady faktorů, z nichž mnohé jsou značně proměnlivé v čase a podchycení některých z nich měřeními je problematické.

Tyto skutečnosti dávají prostor pro využití mnoha typů nepřímých indikátorů, které by dokázaly zpětně reflektovat výskyt suché epizody a zároveň poskytnout informaci o míře zasažení ekosystému tímto stresorem. Kromě dále detailněji prezentovaných výsledků dokumentujících reakci vodních bezobratlých na vysychání toků mohou být v budoucnosti dopracovány i přístupy založené na dalších společenstvech monitorovaných v rámci Směrnice o vodách (2000), jimiž jsou například fytoENTOS (řasy) či ryby. S aplikací nových metod však budou spojena četná úskalí. Tak například společenstva řas jsou vzhledem ke krátké generační době velmi dynamická a projevy výskytu sucha se v nich nemusí uchovat příliš dlouho. V případě ryb je zase problémem, že většina obsádky během vyschnutí toku pravděpodobně uhne. Po opětovném zaplavení budou na lokalitě převážně takové druhy ryb, které díky svým dobrým migračním schopnostem kolonizovaly úsek nedávno a nemusely se tak vyrovnávat s předchozím vyschnutím. Mají tudíž jen omezenou indikační hodnotu, i když i informace o tom, že sucho výrazně snižuje počty rybí obsádky, může být pro bioindikaci přínosem (Magalhaes et al., 2007). Poměrně novátorským přístupem pro hodnocení vysychavých toků je studium společenstva bezobratlých, kteří obývají vyschlé dno a jsou směsicí suchozemských kolonizátorů a přežívajících vodních organismů (Sheldon, 2005). Proto se nyní začíná uplatňovat nový pohled na vysychavé toky, který je v regionech s jejich přirozeně vysokým zastoupením chápáno jako centra specifické biodiverzity, jež jsou hodna intenzivní ochrany (Acuña et al., 2014).

Z terminologického hlediska je v této kapitole pojem „vysychání toků“ chápán jako přerušení povrchové kontinuity toku, kdy se tok rozpadá do izolovaných tůň, které spolu již nekomunikují povrchovou hladinou (obr. 231). V dalších fázích vysychání pak může dojít k úplnému vymizení vody z koryta, přestože podpovrchový (hypodermický) průtok ve spodnějších vrstvách dna (hyporeálu) konektivitu toku nadále do určité míry zajišťuje. Hydrobiologická definice vysychání toků se tak liší od hydrologické, kde je za sucho považována situace, kdy průtok poklesne pod určitou kritickou mez. V České republice je za tuto mez





**Obr. 231.** Rozpad kontinuálního toku do jednotlivých izolovaných tůní na příkladu Járkovce v Bílých Karpatech na snímku z 19. července 2014 (foto P. Pařil)

**Figure 231.** Abruption of a continuous stream into individual and isolated residual pools: the Járkovec stream in the Bílé Karpaty Mts., 19 July 2014 (photo P. Pařil)

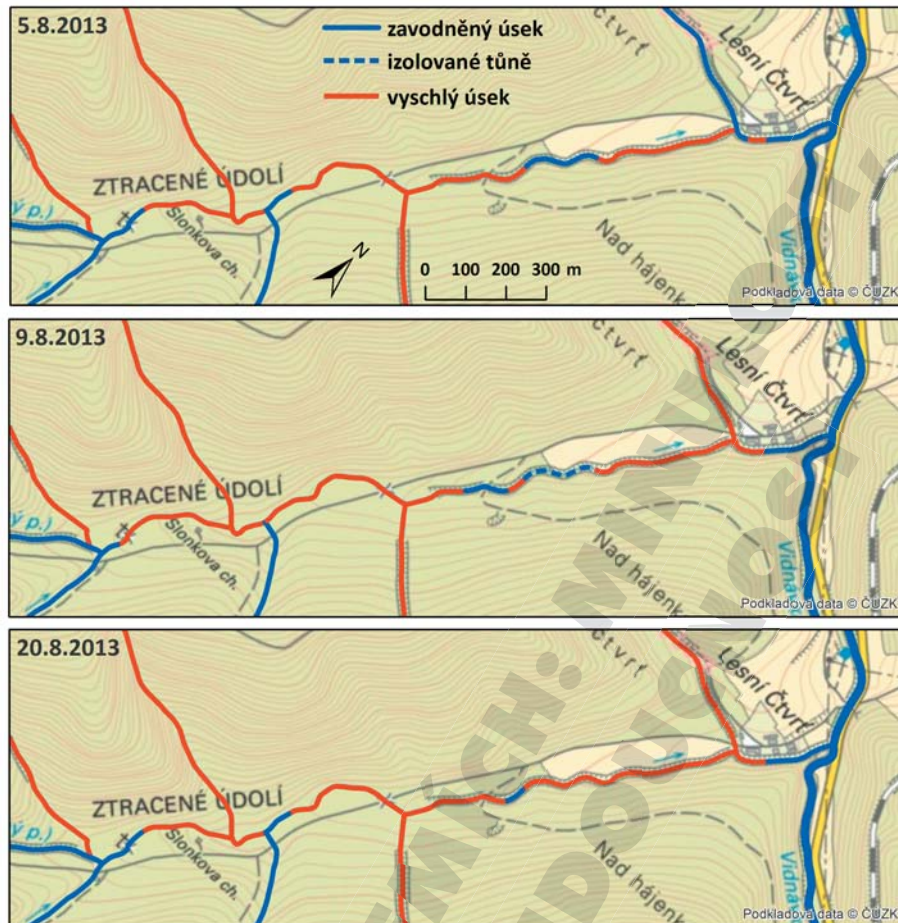
považována hodnota 355denního průtoku  $Q_{355}$ , tj. průtoku dosaženého či překročeného v dlouhodobém průměru po dobu 355 dní v roce (viz kap. 3.2; Řičicová et al., 2003). Tento průtok však ještě nemusí znamenat přerušení povrchové kontinuity toku.

Ztráta kontinuity toku na povrchu dna je z hlediska vodních bezobratlých, kteří tvoří nejpodstatnější složku zoocenóz drobných toků (ryby zde často chybí), zcela zásadní a vede k výrazné změně jejich společenstev. Vzhledem k vysoké citlivosti vůči tomuto stresoru mohou být s úspěchem využívány pro bioindikaci epizod vyschnutí, které tok zasáhly během posledního roku. Výhodnost využití bezobratlých spočívá mimo jiné v tom, že lze s jejich pomocí indikovat vyschnutí na tocích nižších řádů, které nejsou kontinuálně sledovány v monitorovací síti ČHMÚ. Údaje o případném vyschnutí lze sice pro určitou část menších toků odvozovat po kalibraci z průtoků na vodoměrných stanicích toků vyšších řádů, ovšem pro lokální vymizení povrchového průtoku mají tyto hydrologické aproximace menší

spolehlivost (Pařil, 2015). Vysychání totiž postihuje v závislosti na mnoha faktorech různé části povodí velmi nestejně a k vymizení povrchového průtoku tak mnohem častěji dochází pouze lokálně na úsecích v řádu stovek metrů až několika kilometrů (obr. 232). Takto variabilní projevy vysychání dna lze jen stěží komplexně podchytit na základě údajů sítě vodoměrných stanic. Naproti tomu projevy výskytu suché periody ve společenstvu bezobratlých lze s určitou spolehlivostí retrospektivně indikovat přímo na suchem postiženém úseku.

Pro získávání údajů o složení společenstev bezobratlých ze dna vodních toků je využívána ve vodohospodářské praxi standardně zavedená metoda PERLA (ČSN 75 7701), pomocí níž se na sledovaných broditelných tocích odebírá třiminutový kopaný odběr vzorku bezobratlých. Po vytrídění v laboratoři jsou bezobratlí určeni na „závažnou determinální úroveň“, která zabezpečuje srovnatelnou úroveň přesnosti získaných dat. V rámci zavedených monitorovacích programů, prováděných





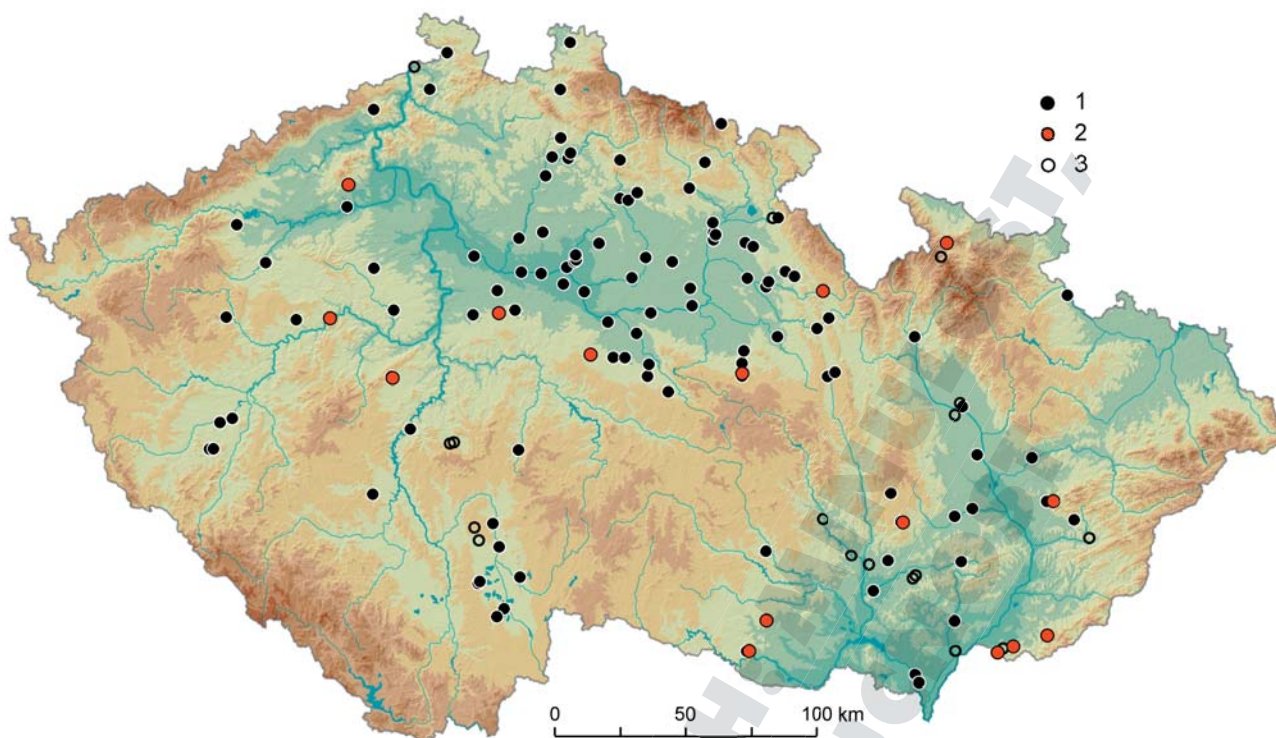
**Obr. 232.** Změny v rozsahu vyschnutí částí potoka Obloučník v Rychlebských horách nad obcí Vápenná během tří terénních šetření v roce 2013

**Figure 232.** Changes in the extent of dried-up stretches of Obloučník Brook in the Rychlebské hory Mts. upstream of the village of Vápenná, observed on three field inspections in 2013

správci povodí, jsou odebírány vzorky bezobratlých v jarním (březen–polovina května) a v podzimním (konec září–polovina listopadu) období, kdy vodní toky nebývají vyschlé.

Jako testovací soubory, na kterých byla metoda bioindikace vyvíjena a kalibrována, byly využity dva soubory dat odebíraných metodou PERLA na tocích do velikosti 4. řádu podle Strahlera (1957) do nadmořské výšky 500 m. Prvním z nich byla databáze informačního systému SALAMANDER, vytvořeného bývalou Zemědělskou a vodohospodářskou správou (ZVHS) v letech 1997–2010 (obr. 233). Databáze obsahuje téměř 5 000 odběrů makrozoobentosu z více než 900 lokalit. Kromě bezobratlých, vzorkovaných na jaře a na podzim, byly na většině lokalit odebírány v měsíčních intervalech vzorky vody pro chemické analýzy, z nichž je možné na základě terénních protokolů zjistit vyschnutí toku v době odběru. Ačkoliv byl monitoring ZVHS primárně zaměřen na ekologický stav toků a zahr-

noval značný podíl ovlivněných lokalit (např. znečištění či hydromorfologicky), jsou v datovém souboru i tzv. referenční lokality (převážně permanentní toky), jejichž stav se blíží přirozenému. Pro hodnocení vlivu vysychání, který by byl v maximální možné míře odstíněn od ostatních negativních vlivů, posloužil výběr 230 lokalit; na 50 z nich bylo doloženo vyschnutí. Tento výběr zahrnoval téměř 1 200 jednotlivých odběrů vzorků makrozoobentosu. Druhý soubor údajů se opíral o údaje z 12 oblastí s převážně párově uspořádanými lokalitami, na nichž bylo v rámci projektu BIOSUCHO (<http://www.sucho.eu>) v letech 2012–2013 odebráno metodou PERLA celkem 75 vzorků makrozoobentosu (obr. 233). V každé oblasti byly porovnávány vysychající a permanentní lokality, které nebyly výrazně ovlivněny lidskými zásahy. Zjištěný rozsah vyschnutí a čas, který uplynul od obnovení průtoku, pak byly vztaženy k míře zasažení společenstva bezobratlých suchem.



**Obr. 233.** Geografické rozložení vysychavých úseků toků na území České republiky získané z databáze SALAMANDER z let 1997–2010 (1), z projektu BIOSUCHO v letech 2012–2015 (2) a během projektu z průzkumu u odborné a laické veřejnosti (3)

**Figure 233.** Geographical distribution of reaches of streams drying up in the territory of the Czech Republic, obtained from the SALAMANDER database, 1997–2010 (1), monitored as part of the BIODROUGHT project between 2012 and 2015 (2) and gathered from specialists and the general public (3)

#### 6.3.4.2 Vliv vysychání toků na vodní bezobratlé

Systematickému studiu vlivu vyschnutí toku na faunu v evropském měřítku byla dosud věnována jen menší pozornost (například Bohle, 2000; Sommerhäuser, 2005; Pastuchová, 2006) s výjimkou toků v krasových oblastech (Meyer, Meyer, 2000; Meyer et al., 2003; Stubbington et al., 2009, 2011, 2015). Frekvence výskytu vysychavých toků je přirozeně daleko vyšší ve výrazně sušším Středomoří (Acuña et al., 2005; Bonada et al., 2007a; Fenoglio et al., 2007), přičemž celosvětově dosahuje podíl vysychavých toků na jih od 60. rovnoběžky téměř 70 % (Raymond et al., 2013). Extrapolace mechanismů působení sucha na biotu ze středomořské oblasti do střední Evropy však není možná, protože mediteránní druhy měly nesrovnatelně delší evoluční čas na přizpůsobení se pravidelnému suchu a biodiverzita makrozoobentosu je zde ve vysychavých tocích výrazně vyšší (Bonada et al., 2007b).

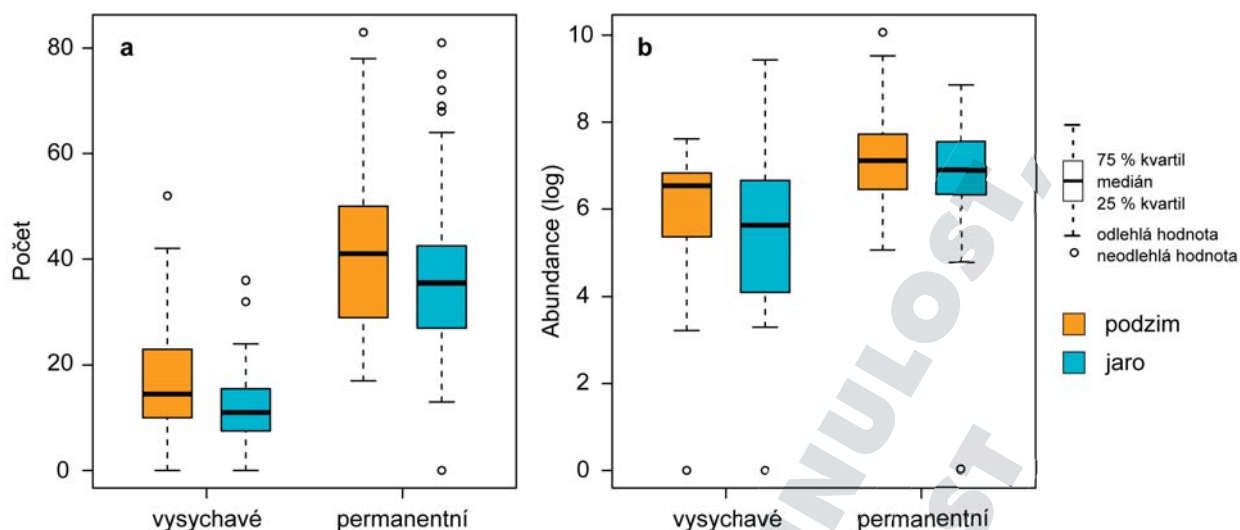
V České republice začal první výzkum vlivu vysychání toků na vodní bezobratlé teprve před deseti lety (Řezníčková et al., 2007, 2010, 2013) a roz-

sáhlejší projekt zaměřený na tuto tematiku probíhá teprve od roku 2012.<sup>86</sup> K základním získaným poznatkům patří fakt, že na opakovaně a dlouhodoběji vysychajících tocích je v porovnání s permanentními dobře patrný výrazný pokles počtu jedinců (abundance) a počtu druhů (taxonů) makrozoobentosu (obr. 234).

Ve společenstvu bezobratlých se významně projevuje nejen rozdílná intenzita a rozsah vyschnutí v jednotlivých letech, ale dopady sucha se liší i v jednotlivých částech sezony. Na podzim je vliv sucha mnohem výraznější, protože doba pro rekolonizaci po opětovném zaplavení daného úseku je jen velmi krátká (řádově týdny). Naproti tomu při jarních odběrech, kdy rekolonizace probíhala od letního vyschnutí předchozího roku po dobu několika měsíců, nemusí být vliv sucha na společenstvu tak patrný (proto je vhodné hodnotit obě běžně vzorkované

<sup>86</sup> Projekt Technologické agentury České republiky č. TA02020395 Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro management vodního hospodářství a údržby krajiny (akronym BIOSUCHO).





**Obr. 234.** Porovnání počtu druhů (a) a počtu jedinců (b) makrozoobentosu na vybraných vysychavých a permanentních lokalitách v České republice pomocí krabicových grafů (údaje z databáze SALAMANDER)

**Figure 234.** Comparison of taxa numbers (a) and number of individuals (b) at selected intermittent and permanent sites in the Czech Republic (autumn – orange, spring – blue) expressed as box-plots (data from the SALAMANDER database)

sezony odděleně). Rozdílnou míru dopadů dokládá obrázek 235, kdy na jaře leží střed (centroid) shluku vysychavých lokalit výrazně blíže středu shluku permanentních lokalit, zatímco na podzim je vzdálenost obou středů vyšší. Vysychavé lokality také většinou netvoří příliš kompaktní shluk bodů. Souvisí to s vyšším stupněm rozrůzněnosti jejich společenstev, který je dán značně variabilním rozsahem suché periody, která vnáší do složení makrozoobentosu vyšší stupeň nahodilosti.

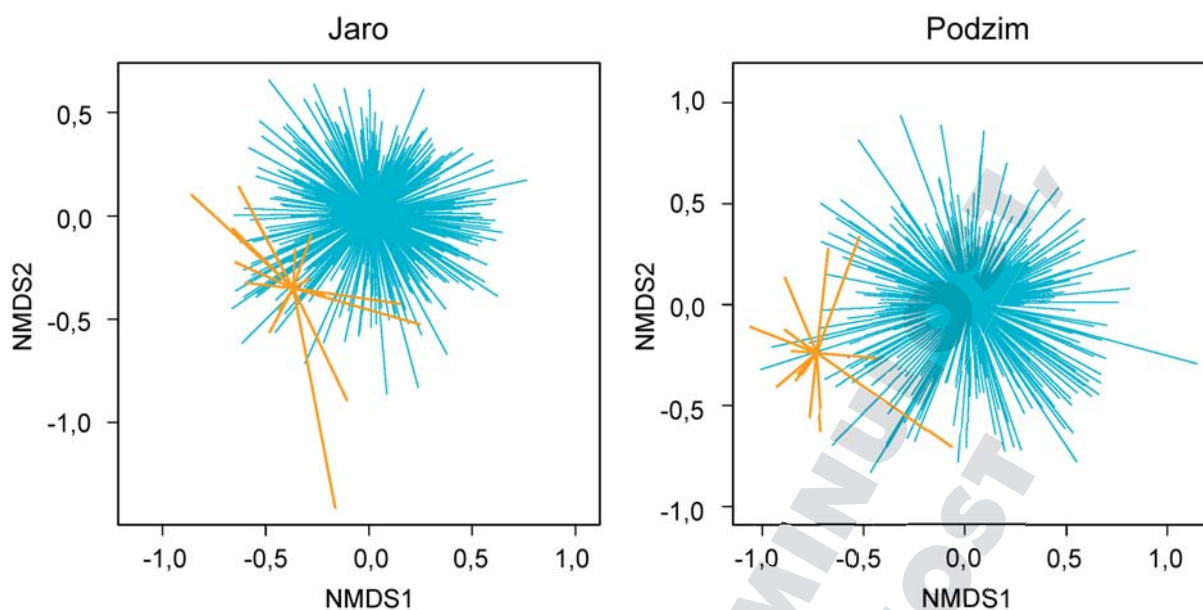
Protože různé skupiny a druhy vodních bezobratlých reagují na vyschnutí s odlišnou citlivostí, lze na základě detailního monitoringu lokalit a determinace makrozoobentosu na nejlepší dosažitelnou taxonomickou úroveň rozlišit až tři kategorie lokalit, klasifikující toky na vysychavé (vysychající rozsáhle v řádu kilometrů na dny až týdny), suchem zranitelné (vysychající omezeně na stovkách metrů a v řádu dnů) a permanentní (nevysychavé).

Mezi nejcitlivější skupiny v makrozoobentosu patří nejhodněji zastoupené skupiny vodního hmyzu (jak co do počtu jedinců, tak i druhů). Jedná se o jepice (Ephemeroptera), pošvatky (Plecoptera) a chrostíky (Trichoptera), označované jako EPT taxony. Počet druhů těchto skupin významně klesá od permanentních přes zranitelné až po vysychavé toky (obr. 236a). Zmíněné taxonomické skupiny se proto nyní jeví jako nejhodněji pro bioindikaci suchých epizod, přičemž nejcitlivější k vysychání jsou jepice (obr. 236b–c).

#### 6.3.4.3 Indikace vysychání pomocí kombinace metrik založených na makrozoobentosu

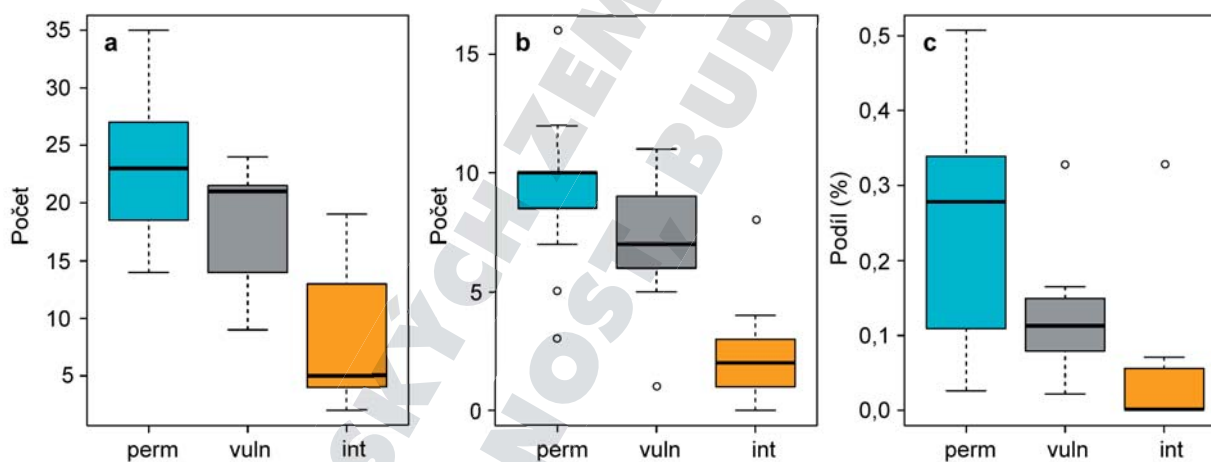
Pro konečné vyhodnocení zasažení společenstva toku předchozím vyschnutím je výhodné kombinovat různé typy metrik, jako například taxonomické (složení společenstva), funkční (vlastnosti druhů — tzv. „species traits“) a indikátorové (druhy indikující permanenci či vysychavost). Mezi vhodné taxonomické metriky lze řadit například abundance jepic, počet EPT taxonů nebo relativní zastoupení máloštětinatých červů (Oligochaeta) ve společenstvu. Z funkčních metrik se osvědčily například relativní zastoupení proudomilných organismů (rheofilů), relativní podíl máloštětinatců nebo index založený na podílu váženého počtu druhů indikujících permanenci k celkovému počtu všech indikátorů (obr. 237).

Pro zhodnocení nejlepší kombinace metrik (prediktorů) pro vzájemné odlišení permanentních, zranitelných a vysychavých toků (tedy bioindikaci vysychání) byla použita lineární diskriminační analýza. Úspěšnost predikce pak byla ověřována krosvalidací, která je pro odhad správnosti klasifikace přesnější než zahrnutí všech dat použitých v této analýze, jelikož je testována na nezávislých pozorováních. Ověření na datech z projektu BIOSUCHO ukázalo relativně velmi vysokou spolehlivost zařazení toku (asi 90 %), přičemž nikdy nebyla permanentní lokalita zahrnuta mezi vysychavé, nebo naopak. Vzhledem ke značné variabilitě rozsahu vyschnutí byly v asi



**Obr. 235.** Rozložení vzorků z podzimní a jarní sezony (následující po vyschnutí) pro vysychavé (oranžové) a nevysychavé (modré) lokality na základě druhového složení makrozoobentosu v ordinačním prostoru (údaje z databáze SALAMANDER; NMDS – mnohorozměrné nemetrické škálování)

**Figure 235.** Classification of macroinvertebrate samples taken in autumn (right) and spring (left) after the drying-up of streams: intermittent (orange) and permanent (blue) sites, based on species composition from the benthic community (data from the SALAMANDER database; NMDS – non-metric multidimensional scaling)



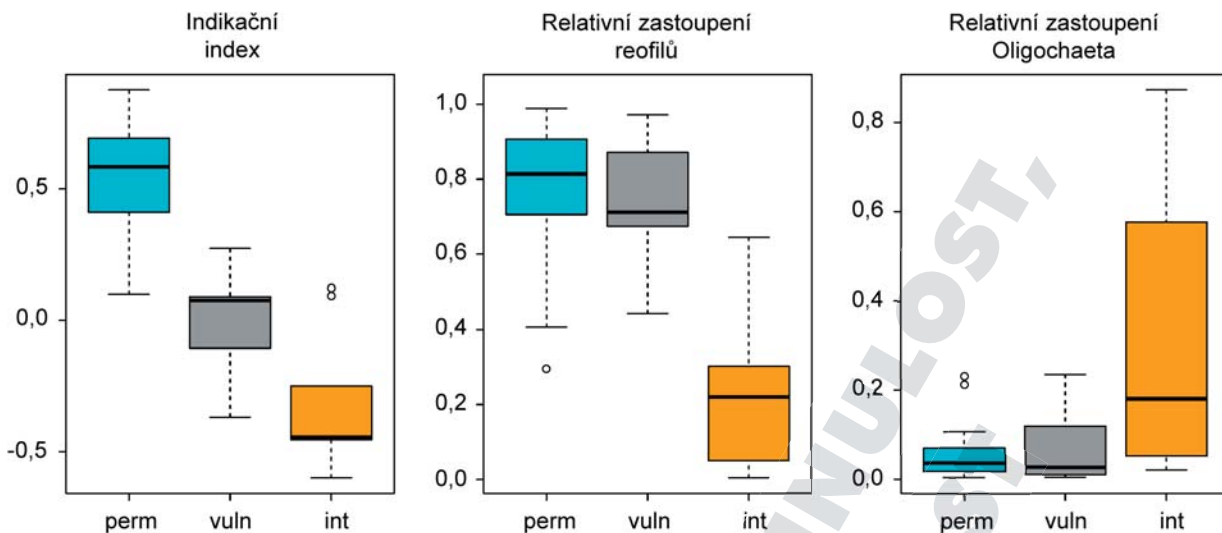
**Obr. 236.** Pokles (a) celkového počtu druhů jepic, pošvatek a chrostíků, (b) celkového počtu druhů jepic a (c) jejich procentuálního zastoupení v makrozoobentosu od permanentních (perm) přes zranitelné (vuln) k vysychavým (int) lokalitám v podzimních vzorcích z let 2012–2013 (podle údajů z projektu BIOSUCHO)

**Figure 236.** Decrease in (a) total number of taxa of may-flies, stone-flies and caddis-flies, (b) in total number of may-fly taxa and (c) their percentage representation in the macroinvertebrate community from permanent (perm), vulnerable (vuln) and intermittent (int) sites in autumn samples, 2012–2013 (after data from the BIODROUGHT project)

10% případů zařazeny permanentní nebo vysychavé toky do kategorie toků zranitelných.

Na základě dosud získaných výsledků lze konstatovat, že vyvíjený způsob retrospektivní indikace epizod sucha je velmi perspektivní a poskytuje informaci o předchozím vyschnutí drobných vodních toků, která je jinými prostředky jen obtížně zjistitelná.

Získaný soubor je však třeba ještě doplnit o údaje z lokalit zasažených dalšími výraznými stresory, jako je například organické znečištění, toxicita, vysoká acidita či změněný hydrologický režim. Teprve na základě komplexního souboru údajů o dalších podmínkách prostředí bude možné upřesnit, nakolik jsou reakce vodních bezobratlých na sucho



**Obr. 237.** Metriky, jejichž kombinace v podzimní sezoně nejlépe odlišovala tři hodnocené skupiny toků (perm – permanentní, vuln – zranitelný, int – vysychavý)

**Figure 237.** Metrics combination of which was most successful for discrimination between three evaluated stream types (perm – permanent, vuln – vulnerable, int – intermittent)

specifické a do jaké míry mohou být překryty reakcí na jiné stresory.

#### 6.3.4.4 Očekávané dopady vysychání toků na jejich biotu

Z hlediska předpokládaných dopadů na ekosystémy tekoucích vod lze očekávat několik základních tendencí, které mohou s rostoucí frekvencí sucha zesilovat (Acuña et al., 2014; Datry et al., 2014). S ohledem na relativně významné dopady vyschnutí toků na velkou část vodní fauny (obr. 238) lze očekávat, že by mohlo dojít k určité redukci biodiverzity vodních bezobratlých, která se projeví úbytkem citlivých taxonů permanentních toků (úhyn vyschnutím, zvýšená predace v tůních, ztráta preferovaných, rychle tekoucích habitatů atd.). Základním mechanismem působení sucha bude kromě samotné absence vody v korytě i snižování obsahu kyslíku ve vodě (za nízkých průtoků a v tůních). Ke stavům nízké saturace kyslíkem bude docházet i díky zvyšování obsahu biologicky odbouratelných látek, které budou za nízkých průtoků méně ředěny. Ke zhoršení kyslíkových poměrů a následnému „dušení“ organismů přispěje i růst teploty vody, který je spojen s poklesem koncentrace kyslíku ve vodě na základě fyzikálních principů. Za této situace lze očekávat zvyšování podílu ubikvistních, ke znečištění tolerantnějších organismů, zatímco chladnomilnější a na kyslík náročné organismy budou vyhledávat teplotní refugia, napří-

klad přesunem do vyšších nadmořských výšek či zeměpisných šířek (Haidekker, Hering, 2008; Durance, Ormerod, 2009). Úbytek původních druhů tak může být nahrazován i některými nově přicházejícími, převážně jihoevropskými druhy, které jsou na vysychání lépe adaptovány (Bonada et al., 2007a). S jejich příchodem lze očekávat i posun v celkovém poměru jednotlivých vlastností zastoupených ve společenstvu (Bonada et al., 2007b). Kromě druhů, které nezpůsobí v původních společenstvech makrozoobentosu výrazné změny, lze očekávat i typické invazní taxony, které mohou vytlačovat druhy původní a zásadním směrem měnit fungování celých společenstev i ekosystémů (Larned et al., 2010). Kromě snížení počtu druhů lze předpokládat i určitý pokles abundance, a tím i produktivity postižených toků, který se projeví nejen u makrozoobentosu, ale například i u ryb, neboť pro řadu z nich je makrozoobentos základním zdrojem potravy. Významným vlivem vysychání bude i dočasná ztráta konektivity mezi jednotlivými úseky toků, která povede nejen k obecnému poklesu možnosti migrace, ale i k omezení toku energií a genů, což může mít pro řadu populací vodních organismů významné negativní důsledky (Larned et al., 2010). U mnoha vodních organismů přitom nejsou pravděpodobné dlouhodobé dopady vysychání toků dobře známy (např. řasy a vodní makrofyta), a proto lze jen obtížně spekulovat o veškerých následcích tohoto jevu (Lake, 2003).





**Obr. 238.** Dopady vyschnutí na vodní faunu: vyschnutí jedinců na povrchu obnaženého dna – (a) blešivec (*Gammarus fossarum*), (b) chrostík z čeledi Limnephilidae; mravenci napadající vodní bezobratlé na dně suchého toku – (c) střechatka (*Sialis fuliginosa*), (d) blešivec hřebenatý (*Gammarus roeselli*); úhyny ryb na dně tůň s nedostatkem kyslíku – (e) vranka pruhoploutvá (*Cottus poecilopus*), (f) jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*) (foto P. Pařil)

**Figure 238.** Aquatic fauna suffers when streams dry up: specimens on exposed stream bed – (a) freshwater shrimp (*Gammarus fossarum*), (b) caddis-fly (family Limnephilidae); ants attacking aquatic macroinvertebrates on exposed stream bed – (c) alder-fly (*Sialis fuliginosa*), (d) freshwater shrimp (*Gammarus roeselli*); fish in dried-out residual pools, killed by lack of oxygen – (e) Siberian bullhead (*Cottus poecilopus*), (f) Chub (*Leuciscus cephalus*) (photo P. Pařil)

# 7. SCÉNÁŘE BUDOUCÍHO SUCHA PRO ČESKOU REPUBLIKU A JEHO OČEKÁVANÉ DOPADY

Zatímco předchozí kapitoly této monografie se širou zabývaly různými aspekty sucha v českých zemích v minulosti a v současnosti, orientuje se tato kapitola na budoucí možné epizody sucha v České republice a jejich očekávané dopady na různé sektory národního hospodářství. Budoucí vývoj sucha bude probíhat v rámci globální klimatické změny, související s výrazným působením antropogenního klimatotvorného faktoru na chování klimatického systému Země, která se bude promítat i do regionálního a lokálního měřítka, jimž odpovídá oblast střední Evropy a České republiky. Pro postižení těchto vývojových tendencí se tato kapitola orientuje na charakterizování hlavních rysů globální klimatické změny a odpovídající emisní scénáře (kap. 7.1). Ty jsou dále využity klimatickými modely při projekci budoucího klimatu, včetně sucha, v měřítku celé Evropy (kap. 7.2) i pro území České republiky (kap. 7.3). Projekce budoucího klimatu jsou pak využity pro analýzu a diskusi očekávaných dopadů klimatické změny a epizod sucha v oblasti zemědělství (kap. 7.4), lesnictví (kap. 7.5) a vodního hospodářství (kap. 7.6). Celá kapitola končí obecnějším pohledem na problematiku adaptačních opatření na zvýšené riziko sucha v České republice (kap. 7.7).

## 7.1 GLOBÁLNÍ KLIMATICKÁ ZMĚNA A EMISNÍ SCÉNÁŘE

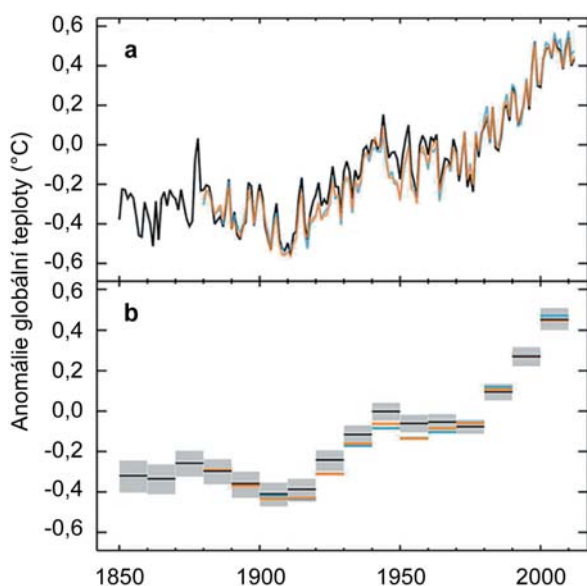
Hlavním projevem současné globální klimatické změny je proces globálního oteplování, kterým se rozumí vzestup průměrné teploty vzduchu na Zemi od osmdesátých let 19. století do současnosti (obr. 239). Podle páté hodnotící zprávy IPCC (Stocker et al., eds., 2013) vzrostla globální teplota (kombinovaná teplota při povrchu oceánu a souše) mezi lety 1880 a 2012 o 0,85 °C (90% interval spolehlivosti činí 0,65 až 1,06 °C). Každá ze tří posledních dekád byla teplejší než všechny předchozí dekády od roku 1850, přičemž desetiletí 2001–2010 bylo dosud nejteplejší. Posledních 10 let (2003–2012) bylo v průměru o 0,78 °C (0,72 až 0,85 °C) teplejší než období 1850–1900. Navíc na severní polokouli bylo poslední třicetiletí

1983–2012 pravděpodobně nejteplejším třicetiletím za posledních 1 400 let. Přitom míra oteplování nad pevninou je asi dvojnásobná v porovnání s oteplováním nad oceány. Kromě robustně vyjádřeného oteplování je pro globální teplotní řadu typická i její značná meziroční a mezidekadová variabilita, kterou lze přičítat přirozené variabilitě klimatu. Pokud jde o srážky, z hlediska sucha klíčový meteorologický prvek, vyznačují se informace o změně srážek v globálním měřítku pevnin od roku 1901 jen malou spolehlivostí do roku 1951 a jen střední potě.<sup>87</sup> Srážky průměrované pro střední zeměpisné šířky pevnin na severní polokouli vykazují vzestupný trend se střední spolehlivostí před rokem 1951 a s vysokou spolehlivostí po tomto roce. Pokud se objevují dlouhodobé rostoucí nebo poklesové trendy srážek v jiných šířkách, jsou tyto poznatky málo spolehlivé.

Proces globálního oteplování je dáván do souvislosti s antropogenně podmíněným zesilováním skleníkového efektu. Přirozený skleníkový efekt, zvyšující průměrnou teplotu na Zemi asi o 33 °C, souvisí s působením vybraných radiačně-aktivních (též skleníkových) plynů, mezi nimiž hraje klíčovou roli vodní pára, dále oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, metan CH<sub>4</sub>, oxid dusný N<sub>2</sub>O, ozon O<sub>3</sub> v troposféře a další stopové plyny. Tyto plyny propouštějí přicházející krátkovlnné sluneční záření, ale pohlcují dlouhovlnné záření zemského povrchu v atmosféře, čímž dochází k dodatečné akumulaci tepelné energie, která by jinak unikala do meziplanetárního prostoru. Antropogenní činnosti (například spalování fosilních paliv, výroba cementu, pěstování rýže, chov skotu, výroba dusíkatých hnojiv) se zvyšují koncentrace CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub> a dalších stopových plynů v troposféře. Tím dochází k dodatečnému (antropogennímu) zesilování skleníkového efektu, který je v současné době považován za hlavní mechanismus stávající klimatické změny, probíhající na pozadí přirozené variability klimatu.

<sup>87</sup> Spolehlivost prezentovaných poznatků v hodnotící zprávě IPCC je charakterizována podle existujících svědectví a informací k dané tematice jako velmi nízká, nízká, střední, vysoká a velmi vysoká.





**Obř. 239.** Kolísání anomálií (referenční období 1961–1990) globální teplotní řady (kombinované přízemní teploty pevniny a oceánů) podle tří různých datových souborů v období 1850–2012: a) roční průměry, b) dekádní průměry (upraveno podle Stocker et al., eds., 2013)

**Figure 239.** Fluctuations in anomalies (against 1961–1990 reference period) of global temperature series (combined land and ocean surface temperature) from three datasets in the 1850–2012 period: (a) annual means, (b) decadal means (adapted after Stocker et al., eds., 2013)

V posledních desetiletích byla vyvinuta řada klimatických modelů, které umožňují simulovat chování klimatického systému (například Neelin, 2011). Tyto simulace pomáhají nejen pochopit existující vazby v něm, ale také počítat budoucí chování klimatického systému za splnění určitých podmínek. Mezi vstupními parametry modelů pro odhad budoucího klimatu hrají za této situace významnou roli očekávané budoucí emise a koncentrace skleníkových plynů, zpracované do podoby emisních scénářů. V případě aplikace konkrétního modelu pro výpočet budoucího klimatu se zohledněním zvoleného emisního scénáře se pak hovoří o projekcích klimatu.

Scénáře emisí skleníkových plynů se začaly připravovat již začátkem devadesátých let minulého století. Ve třetí a čtvrté hodnotící zprávě IPCC (Houghton et al., eds., 2001; Solomon et al., eds., 2007) byl prezentován soubor scénářů podle Special Report on Emissions Scenarios pod zkratkou SRES. Jejich základní myšlenkou bylo dělení možností budoucího vývoje jednak na základě směřování k vyšší globalizaci nebo regionalizaci a jednak ke změně nebo udržení současného paradigmatu zachování economic-

kého růstu. Základními řídicími proměnnými těchto scénářů se tak staly populační růst, dynamika růstu ekonomiky a technologií, způsob využití krajiny, míra zachování či zvýšení produkce a dostupnosti potravin, a dalších ekosystémových služeb. Celkem 40 sestavených scénářů emisí skleníkových plynů bylo shrnuto do čtyř základních skupin (rodin) scénářů, které byly popsány následovně:

a) SRES-A1

Je charakterizován velmi rychlým ekonomickým růstem doprovázeným zaváděním nových a k životnímu prostředí citlivějších technologií, vedoucích ke konvergenci všech světových regionů v důsledku sílící globalizace. Interakce sociální a kulturní jsou významné a rapidně se snižují rozdíly mezi oblastmi v hrubém příjmu na osobu. Maximum populace bude dosaženo v polovině 21. století. V energetice lze očekávat tři skupiny technologických změn: intenzivní využívání fosilních zdrojů (A1FI), využívání nefosilních zdrojů energie (A1T), rovnováhu ve využívání různých zdrojů energie (A1B). Hlavní rysy A1 scénáře jsou vyrovnávání rozdílů mezi regiony, rozvoj technologií, které jsou sdíleny díky větší kulturní a sociální interakci mezi zeměmi (regiony). Současně klesají rozdíly v příjmech v globálním měřítku a je kladen důraz na spravedlivé sdílení zdrojů.

b) SRES-A2

Svět A2 je mnohem heterogennější než dnešní s důrazem na soběstačnost a vlastní identitu. V důsledku pokračující nerovnosti v bohatství jednotlivých oblastí světa se (na rozdíl od SRES-A1 a SRES-B1) rozdíly v porodnosti snižují velmi pomalu, a proto neustále a dramaticky roste počet obyvatel planety. Ekonomický rozvoj je vázán na regiony a růst ekonomické výkonnosti a rozvoj technologií je mnohem více roztržštěn než u ostatních scénářů. Heterogenita a sociální nestabilita je typická právě pro A2.

c) SRES-B1

B1 představuje konvergující svět, se stejným populačním vývojem jako v A1, který vrcholí okolo roku 2050. Tento svět se ale mimořádně rychle přeorientovává na ekonomiku služeb a informačních technologií. Klesá materiálová a energetická náročnost produkce a jsou zaváděny „čisté“ a efektivní technologie, které jsou podobně jako v případě A1 sdíleny v rámci globálního společenství. Ve všech oblastech jsou upřednostňována globální řešení s důrazem na ekonomickou, sociální a biologickou udrži-



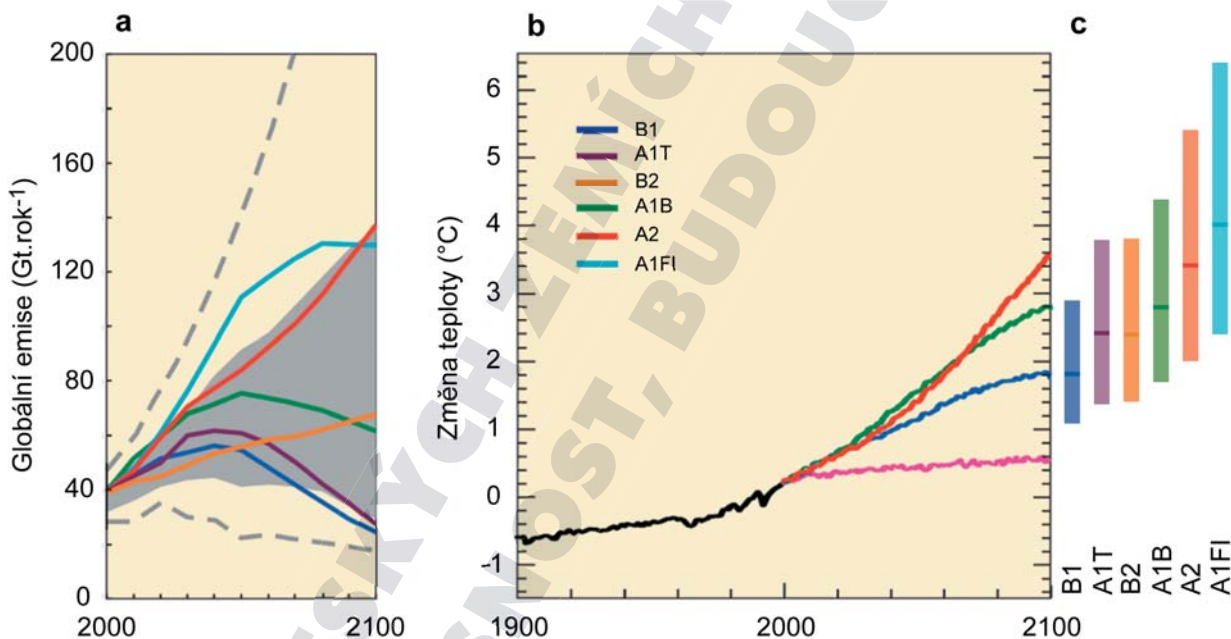
telnost a sociální spravedlnost, ale bez dalších zvláštních opatření směřujících k ochraně klimatu.

d) SRES-B2

Lokální a regionální zájmy dominují světu B2, v němž jsou hledána řešení pro ekonomicky, sociálně a biologicky udržitelný rozvoj. Je to svět rostoucí světové populace, i když podstatně pomaleji než v případě scénáře A2. Zvyšování populace je doprovázeno průměrným růstem ekonomiky a méně dynamickým rozvojem technologií než v případě scénářů A1 a B1. I když je kladen důraz na životní prostředí a sociální spravedlnost podobně jako v případě B1, děje se tak jen na lokální a regionální úrovni, nikoliv za globální spolupráce.

Obrázek 240 ukazuje vývoj emisí radiačně-aktivních plynů vyjádřených jako ekvivalentní  $\text{CO}_2$  pro vybrané typy SRES scénářů do konce 21. století a očekávaný vývoj globální teploty.

V případě páté hodnotící zprávy IPCC (Stocker et al., eds., 2013) byly uvedené emisní scénáře nahrazeny čtyřmi tzv. reprezentativními směry dosažení koncentrací (*Representative Concentration Pathway* — RCP) (obr. 241). Jsou charakterizovány hodnotou zesílení radiačního působení (ve  $\text{W.m}^{-2}$ ) ekvivalentního  $\text{CO}_2$  na konci 21. století v porovnání s koncem předindustriálního období, vztaženým k roku 1750. RCP2.6 představuje vývoj s výraznějším snížením koncentrací ekvivalentního  $\text{CO}_2$ , jehož dodatečné radiační působení na klimatický systém by činilo  $2.6 \text{ W.m}^{-2}$  při koncentraci 421 ppm.



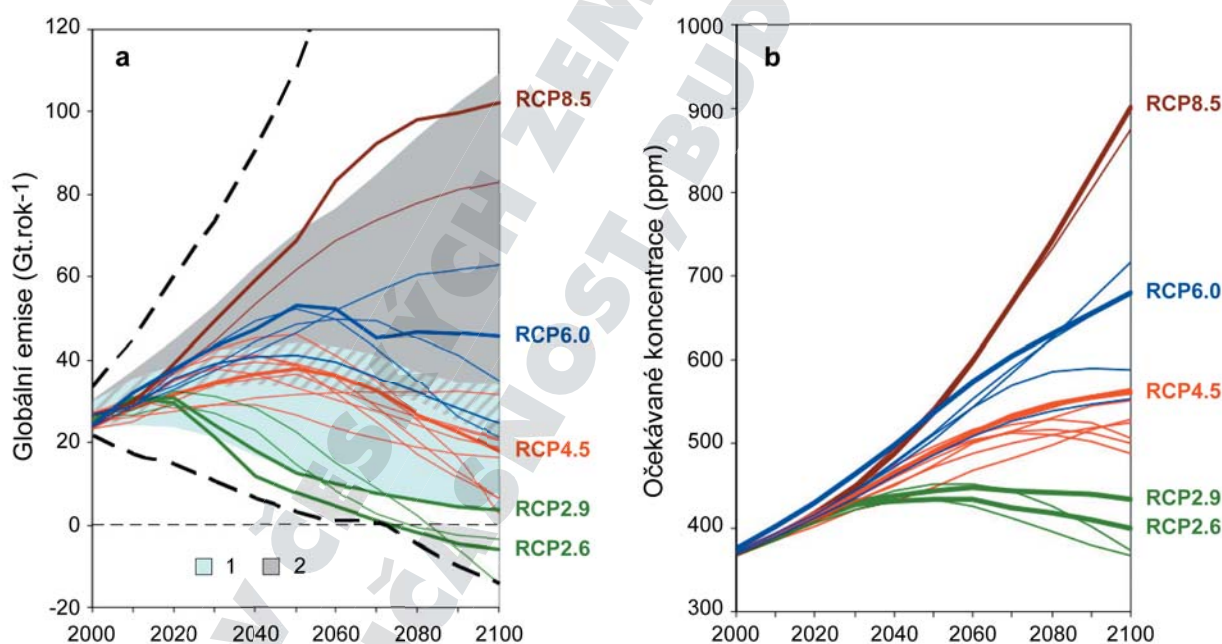
**Obr. 240.** a) Globální emise skleníkových plynů (vyjádřené v Gt ekvivalentního  $\text{CO}_2$  za rok) při absenci politiky ochrany klimatu pro šest emisních scénářů SRES (barevné čáry). Šedá oblast značí rozsah 10.–90. percentilu deseti scénářů publikovaných po SRES, přičemž čárkovaně jsou vymezeny jejich krajní hodnoty. Emise zahrnují  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  a fluorované uhlovodíky; b) Simulace změny globální teploty pro 20. století a její projekce do konce 21. století podle více globálních klimatických modelů pro scénáře SRES-A2, A1B a B1 (anomálie vzhledem k referenčnímu období 1980–1999). Projekce berou v úvahu také emise skleníkových plynů s krátkou životností a emise aerosolů. Fialová linie ukazuje projekce pomocí AOGCM při fixaci koncentrací na úrovni roku 2000; c) Pravděpodobný interval a nejlepší odhad (čára v každém sloupci) teplotní změny pro šest scénářů SRES v období 2090–2099 (podle <https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar4-sysr-spm.pdf>)

**Figure 240.** (a) Global greenhouse gas (GHG) emissions (in Gt of  $\text{CO}_2$ -equivalent per year) in the absence of climate policies for six SRES emission scenarios (coloured lines). Grey indicates the 10th–90th percentile range for ten scenarios (after SRES) and dashed lines their full range. Emissions include  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and chlorofluorocarbons; (b) Simulations of changes in global temperature for the 20th century and their projection to the end of the 21st century based on further global climate models for SRES scenarios A2, A1B and B1 (anomalies with respect to the 1980–1999 reference period). The projections also take into account emissions of short-lived GHGs and aerosols. The violet line shows the AOGCM projection when concentrations were fixed at the value for the year 2000; (c) The likely range and best estimate (solid line in each bar) of temperature change for six SRES scenarios in the 2090–2099 period (after <https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar4-sysr-spm.pdf>)

Další dvě vývojové trajektorie ukazují na stabilizaci koncentrace ekvivalentního  $\text{CO}_2$  na konci 21. století na nižší úrovni 538 ppm, čemuž odpovídá radiační příspěvek  $4,5 \text{ W.m}^{-2}$  (RCP4.5), resp. na vyšší úrovni 670 ppm s radiačním příspěvkem ve výši  $6,0 \text{ W.m}^{-2}$  (RCP6.0). Poslední vývojový směr počítá s kontinuálním nárůstem koncentrací ekvivalentního  $\text{CO}_2$ , které by měly dosáhnout na konci našeho století 936 ppm, čemuž odpovídá zesílené radiační působení o  $8,5 \text{ W.m}^{-2}$  (RCP8.5). Jde tak o jistou analogii vývoje podle scénářů označených jako „business-as-usual“, kdy exploatace fosilních paliv a dalších zdrojů na Zemi běží extenzivním způsobem bez ohledu na produkci radiačně-aktivních plynů. Výhodou takto koncipovaných vývojových trajektorií je skutečnost, že umožňují vyhodnotit celou škálu možností od extrémně proaktivních (RCP2.6) až po ignorování negativních dopadů na naši atmosféru (RCP8.5), bez nutnosti zabývat se potenciálními socio-ekonomickými „konotacemi“ dřívějších SRES scénářů (Houghton et al., eds., 2001).

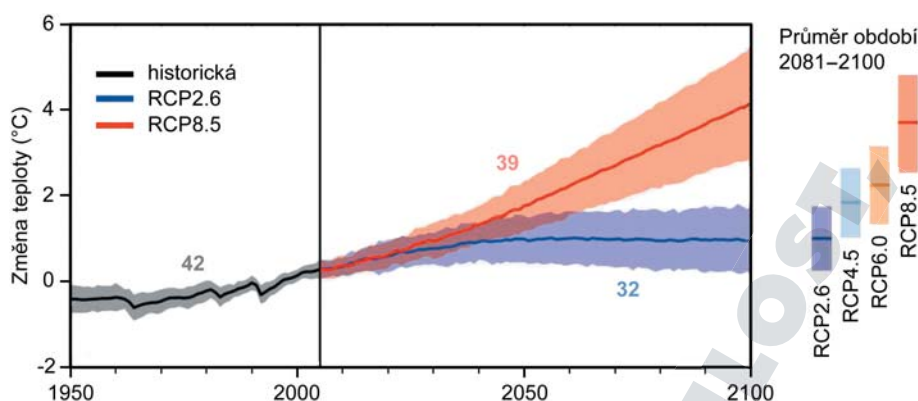
Čtyři uvedené směry vývoje koncentrací ekvivalentního  $\text{CO}_2$  posloužily v páté hodnotící zprávě k výpočtu budoucích globálních teplot (obr. 242). V číselné podobě jsou odpovídající změny v průběhu 21. století prezentovány v tab. 23.

Podle modelových simulací CMIP5, řízených koncentracemi RCP, bude zvýšení průměrné globální teploty vzduchu v období let 2081–2100 v porovnání s lety 1986–2005 (tab. 23) pravděpodobně v rozsahu  $0,3\text{--}1,7 \text{ }^\circ\text{C}$  (RCP2.6) až  $2,6\text{--}4,8 \text{ }^\circ\text{C}$  (RCP8.5). Zde je třeba si uvědomit, že globální teplota do roku 1986 vzrostla od počátku století o asi  $0,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Přitom je zřejmé, že arktická oblast se bude oteplovat rychleji než je globální průměr a průměrné oteplení nad pevninou bude větší než nad oceánem. Změna průměrné globální teploty vzduchu v porovnání s průměrem za období 1850–1900 překročí podle projekcí téměř jistě do konce 21. století  $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$  podle scénářů RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5. Oteplení pravděpodobně překročí  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  podle scénářů RCP6.0 a RCP8.5, a podle scénáře RCP4.5 je pravděpodob-



**Obr. 241.** a) Odhady globálních antropogenních emisí skleníkových plynů (vyjádřené v Gt ekvivalentního  $\text{CO}_2$  za rok) pro jednotlivé reprezentativní směry dosažení koncentrací (RCP; doplněno RCP2.9) spolu s maximálními a minimálními odhady (čárkovaně) podle odborné literatury. Stínování charakterizuje oblast mezi 10.–90. percentilem současných odhadů vývoje ročních emisí (s vyloučením odhadů scénářů SRES): (1) odhady se započtením cíleného snižování emisí (mitigace), (2) odhady bez cílené emisí; b) Očekávané koncentrace ekvivalentního  $\text{CO}_2$  odpovídající vývoji emisí podle daného RCP (upraveno podle Mosse et al., 2008)

**Figure 241.** (a) Estimated global anthropogenic emissions of greenhouse gases (in Gt of  $\text{CO}_2$ -equivalent per year) according to “Representative Concentration Pathways” (RCPs; RCP2.9 added) together with maximum and minimum estimates (dashed lines) presented in the literature. Shaded space represents the area between the 10th and 90th percentiles of recent estimates of annual emissions (estimates based on SRES scenarios not included here): (1) mitigation scenarios, (2) scenarios without targeted mitigation efforts; (b) Expected concentrations of  $\text{CO}_2$ -equivalent corresponding to emission development after the given RCPs (modified after Moss et al., 2008)



**Obr. 242.** Změna roční průměrné globální teploty podle multimodelové simulace CMIP5 od roku 1950 do roku 2100 vzhledem k průměru za období let 1986–2005; čísla indikují počet použitých globálních klimatických modelů (převzato z IPCC, Summary for policymakers, 2013; <https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar5-wg1-spm.pdf>)

**Figure 242.** Change in mean annual global temperature based on a CMIP5 multi-model simulation from 1950 to 2100 expressed as deviation from the 1986–2005 mean; figures indicate the number of global climate models used (modified after IPCC, Summary for policymakers, 2013; <https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar5-wg1-spm.pdf>)

**Tab. 23.** Odhadované změny průměrné globální přízemní teploty vzduchu pro polovinu a konec 21. století vzhledem k referenčnímu období 1986–2005 (podle Stockera et al., eds., 2013)

**Table 23.** Estimated changes in global mean surface air temperature for the mid- and late 21st century relative to the 1986–2005 reference period (after Stocker et al., eds., 2013)

Scénář	Období 2046–2065		Období 2081–2100	
	Průměr (°C)	Pravděpodobný rozsah (°C)	Průměr (°C)	Pravděpodobný rozsah (°C)
RCP 2.6	1,0	0,4–1,6	1,0	0,3–1,7
RCP 4.5	1,4	0,9–2,0	1,8	1,1–2,6
RCP 6.0	1,3	0,8–1,8	2,2	1,4–3,1
RCP 8.5	2,0	1,4–2,6	3,2	2,6–4,8

nější, že překročí 2 °C, než že se tomu tak nestane. Překročení oteplení o 4 °C připadá v úvahu pouze při realizaci RCP8.5, kdy je stejně pravděpodobné, že ke zvýšení teploty o 4 °C dojde jako že se tak nestane. Markantní rozdíly mezi RCP2.6 a RCP8.5 vynikají zvláště na konci tohoto století (obr. 242).

Pokud jde o globální rozdělení srážek, podle scénáře RCP8.5 pravděpodobně dojde do konce tohoto století ve vysokých zeměpisných šířkách a v rovníkových oblastech Tichého oceánu ke zvýšení průměrných ročních úhrnů. Podle tohoto scénáře v mnoha suchých oblastech ve středních zeměpisných šířkách a v subtropických oblastech průměrný úhrn srážek pravděpodobně poklesne, zatímco v mnoha vlhkých oblastech ve středních zeměpisných šířkách se průměrný úhrn srážek do konce tohoto století pravděpodobně zvýší. Charakter očekávané změny srážek je méně konzistentní mezi jednotlivými modely než v případě teploty. To negativně ovlivňuje i míru jis-

toty odhadu změn těchto z pohledu vodní bilance a výskytu sucha klíčových parametrů v celé řadě regionů, včetně Evropy.

## 7.2 ODHADOVANÉ ZMĚNY TEPLoty VZDUCHU, SRÁŽEK A INTENZITY SUCHA V EVROPĚ V 21. STOLETÍ

Scénáře změny klimatu byly odvozeny z výstupů 40 globálních klimatických modelů<sup>88</sup> z databáze

<sup>88</sup> Pro mapy v kap. 7.2 byly použity níže uvedené GCM modely, ze kterých byly odvozeny scénáře změny klimatu. Oficiální akronymy analyzovaných modelů v nomenklatuře CMIP5 jsou: ACCESS1-0, ACCESS1-3, bcc-csm1-1, bcc-csm1-1-m, BNU-ESM, CanESM2, CCSM4, CESM1-BGC, CESM1-CAM5, CESM1-WACCM, CMCC-CESM, CMCC-CM, CMCC-CMS, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3-6-0, EC-EARTH, FGOALS-g2, FIO-ESM, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, GISS-E2-H, GISS-E2-H-CC, GISS-E2-R, GISS-E2-R-CC, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC,



CMIP5 (Taylor et al., 2012), která byla použita pro poslední hodnotící zprávu IPCC (Stocker et al., eds., 2013). Ke konstrukci scénářů zobrazených na mapách v této kapitole byly použity výstupy ze simulací pro emisní scénář RCP8.5, a to všech modelů, pro které byly k dispozici časové řady teplot vzduchu a srážek od roku 1961 do konce 21. století. V případě, že bylo z daného modelu k dispozici více běhů, byl pro analýzu použit první běh, pro nějž byly k dispozici požadované údaje. Scénáře byly definovány jako změny klimatických charakteristik vzhledem k referenčnímu období 1961–1990 pro dvě uvažovaná budoucí období, 2021–2050 a 2071–2100. Změny teploty vzduchu jsou definovány rozdílem průměrných hodnot budoucích a referenčního období. V případě srážek se berou procentuální změny budoucích období vzhledem k období referenčnímu. Změny podmínek sucha jsou charakterizovány prostřednictvím relativního PDSI (rPDSI; Dubrovský et al., 2009) pro celý rok a jeho meziprojektu, relativního Z-indexu (rZ-index), kterým jsou charakterizovány změny podmínek sucha pro jednotlivá roční období.<sup>89</sup>

Jednotlivé mapy, zobrazující scénáře změn teploty vzduchu, srážek a indexů sucha, ukazují statistiky vypočtené ze 40 hodnot odpovídajících jednotlivým modelům. Barevně je vyjádřen medián (MED), zatímco mezimodelová variabilita definovaná poměrem STD/MED (STD je směrodatná odchylka) je charakterizována symbolem (nejnižší variabilita indikující nejlepší shodu mezi modely je reprezentována čtvercem, zatímco nejvyšší variabilita indikující nejhorší mezimodelovou shodu prázdňou čtyřcípou hvězdou). Čím je symbol (a barevné pokrytí daného gridu) plošně větší, tím je shoda mezi modely vyšší.

Diskuse prostorové struktury scénářů se zaměřuje na změny klimatu pro konec 21. století za předpokladu emisního scénáře RCP8.5, reprezentujícího výrazný nárůst koncentrace skleníkových plynů. Tato kombinace totiž implikuje největší odstup signálu klimatické změny od šumu daného přirozenou variabilitou klimatu, což umožňuje lépe identifikovat charakteristiky prostorové struktury změn klimatu. Mapy těchto scénářů ukazují obrázky 243–245, přičemž změny teploty vzduchu a srážek pro území České republiky podle

jednotlivých modelů jsou uvedeny na obrázku 246. Analogické mapy, ale pro období 2021–2050, jsou pak prezentovány na obrázcích 247–249 (emisní scénář RCP8.5) a obrázcích 250–251 (emisní scénář RCP4.5). V případě scénáře RCP4.5 byly změny teplot a srážek vypočteny z hodnot simulovaných GCM modely pro emisní scénář RCP8.5 metodou „pattern scaling“ (Santer et al., 1990; Dubrovský et al., 2005). Tato metoda je založena na předpokladu, že změny klimatických prvků jsou přímo úměrně změně průměrné globální teploty. V našem případě byly hodnoty pro emisní scénář RCP4.5 vypočteny jako  $k$ -násobek změn pro RCP8.5, kde

$$k = \frac{[T_{\text{glob}}(\text{RCP4.5}, 2035) - T_{\text{glob}}(\text{RCP4.5}, 1975)]}{[T_{\text{glob}}(\text{RCP8.5}, 2035) - T_{\text{glob}}(\text{RCP8.5}, 1975)]} \quad (23)$$

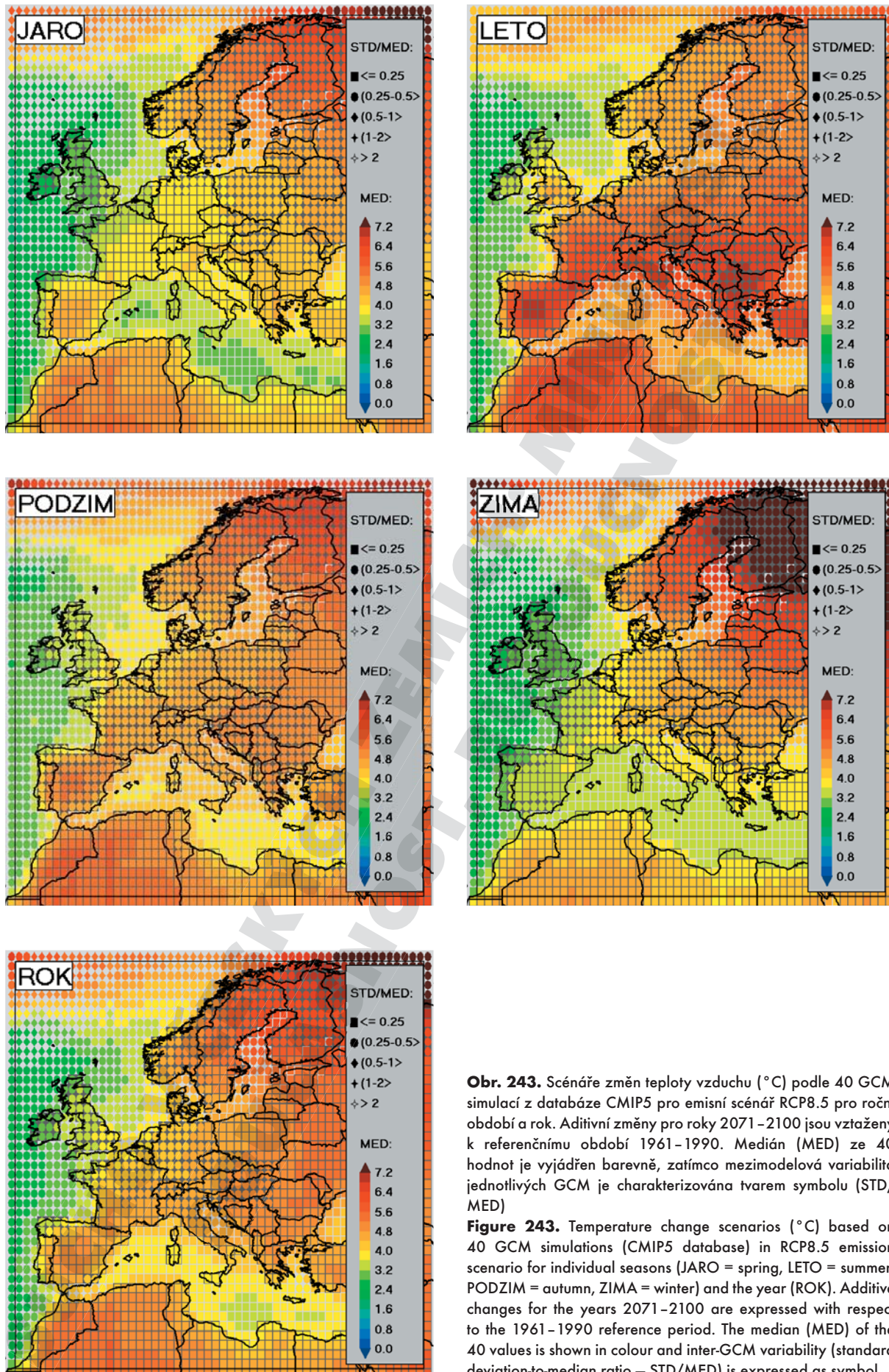
a  $T_{\text{glob}}(es, r)$  je globální teplota simulovaná jednoduchým klimatickým modelem MAGICC (Harvey et al., 1997; Hulme et al., 2000) pro emisní scénář  $es$  a rok  $r$ . Po dosazení příslušných hodnot globální teploty je  $k = 0,88$ . Metoda „pattern scaling“, stejně jako model MAGICC, byly používány také při přípravě zmíněné hodnotící zprávy IPCC (Stocker et al., eds., 2013). V další části textu jsou popsány prostorové struktury změn teploty vzduchu, srážek a indexů sucha pro emisní scénář RCP8.5.

#### a) teplota vzduchu

Změny teploty vzduchu (obr. 243) vykazují nárůst ve všech ročních obdobích. Zatímco v létě se nárůst teploty v Evropě zvyšuje směrem k jihu (na jihu by se teplota ve větší vzdálenosti od pobřeží měla zvýšit až o 7 °C, zejména na Balkáně a Pyrenejském poloostrově), v zimě je patrný vzestup nárůstu teploty v opačném směru, tedy k severu (na severovýchodě Skandinávie až o 9 °C). Za zmínku stojí výrazně vyšší růst letních teplot nad pevninou oproti nižším hodnotám růstu nad mořem. V oblasti České republiky by se letní teploty měly zvýšit asi o 5 °C, na jaře asi o 4,5 °C, přičemž v zimě a na podzim bude nárůst v rozmezí těchto dvou hodnot. Pokud jde o mezimodelovou variabilitu, kterou lze částečně považovat za projev nejistoty projekce změny klimatu plynoucí z použití klimatických modelů, symbol čtverce (v České republice se vyskytuje na západě na jaře) naznačuje dobrou shodu mezi modely (poměr směrodatné odchylky a mediánu změny teploty podle 40 GCM modelů, tedy  $\text{STD}(\Delta T)/\text{MED}(\Delta T)$ , je menší než 0,25; v ostatních případech leží hodnota poměru v rozmezí 0,25 až 0,5, což ještě odpovídá poměrně dobré mezimodelové shodě).

HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR, MIROC5, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MRI-CGCM3, MRI-ESM1, NorESM1-M, NorESM1-ME.

<sup>89</sup> rPDSI s ohledem na výraznou časovou perzistenci není vhodným indikátorem pro kratší časové úseky, neboť jeho hodnoty pro jednotlivé sezony jsou prakticky stejné.



**Obr. 243.** Scénáře změn teploty vzduchu (°C) podle 40 GCM simulací z databáze CMIP5 pro emisní scénář RCP8.5 pro roční období a rok. Aditivní změny pro roky 2071–2100 jsou vztaženy k referenčnímu období 1961–1990. Medián (MED) ze 40 hodnot je vyjádřen barevně, zatímco mezimodelová variabilita jednotlivých GCM je charakterizována tvarem symbolu (STD/MED)

**Figure 243.** Temperature change scenarios (°C) based on 40 GCM simulations (CMIP5 database) in RCP8.5 emission scenario for individual seasons (JARO = spring, LETO = summer, PODZIM = autumn, ZIMA = winter) and the year (ROK). Additive changes for the years 2071–2100 are expressed with respect to the 1961–1990 reference period. The median (MED) of the 40 values is shown in colour and inter-GCM variability (standard deviation-to-median ratio – STD/MED) is expressed as symbol



**b) srážky**

Změny srážek (obr. 244) ukazují, že severojižní gradient se vyskytuje i zde, a je ve všech ročních obdobích výrazně kladný. Záporné změny srážkových úhrnů na jihu Evropy přecházejí v kladné na severu Evropy, přičemž mezi nimi existuje pásmo nevýznamných změn. To se během roku posouvá, takže nejseverněji se nachází v létě a nejjižněji v zimě. V souladu s tímto prostorovým rozložením a posuny během roku lze konstatovat, že asi od 62. rovnoběžky na sever budou změny srážek pozitivní ve všech sezonách, zatímco od 40. rovnoběžky na jih budou celoročně negativní. V oblasti České republiky by měly srážky klesat v létě a růst v zimě, méně výrazně i na jaře, zatímco na podzim budou změny nevýznamné. Mezimodelová variabilita změn srážek je výrazně vyšší než u teplotních změn, a to zejména ve výše zmíněném pásmu nevýznamných srážkových změn. S rostoucí vzdáleností od něho je shoda mezi modely lepší. Tak například poměr STD/MED na našem území vykazuje hodnoty 0,5–1 v zimě, 1–2 na jaře a v létě, a > 2 na podzim. Z hlediska statistické významnosti by se dalo tvrdit, že změny budou statisticky nevýznamné, nicméně v kontextu se zřetelně vyjádřenou prostorovou strukturou změn srážek a její proměnlivostí během roku je třeba předpokládat, že změny srážek na našem území budou kladné v zimě a záporné v létě.

**c) intenzita sucha**

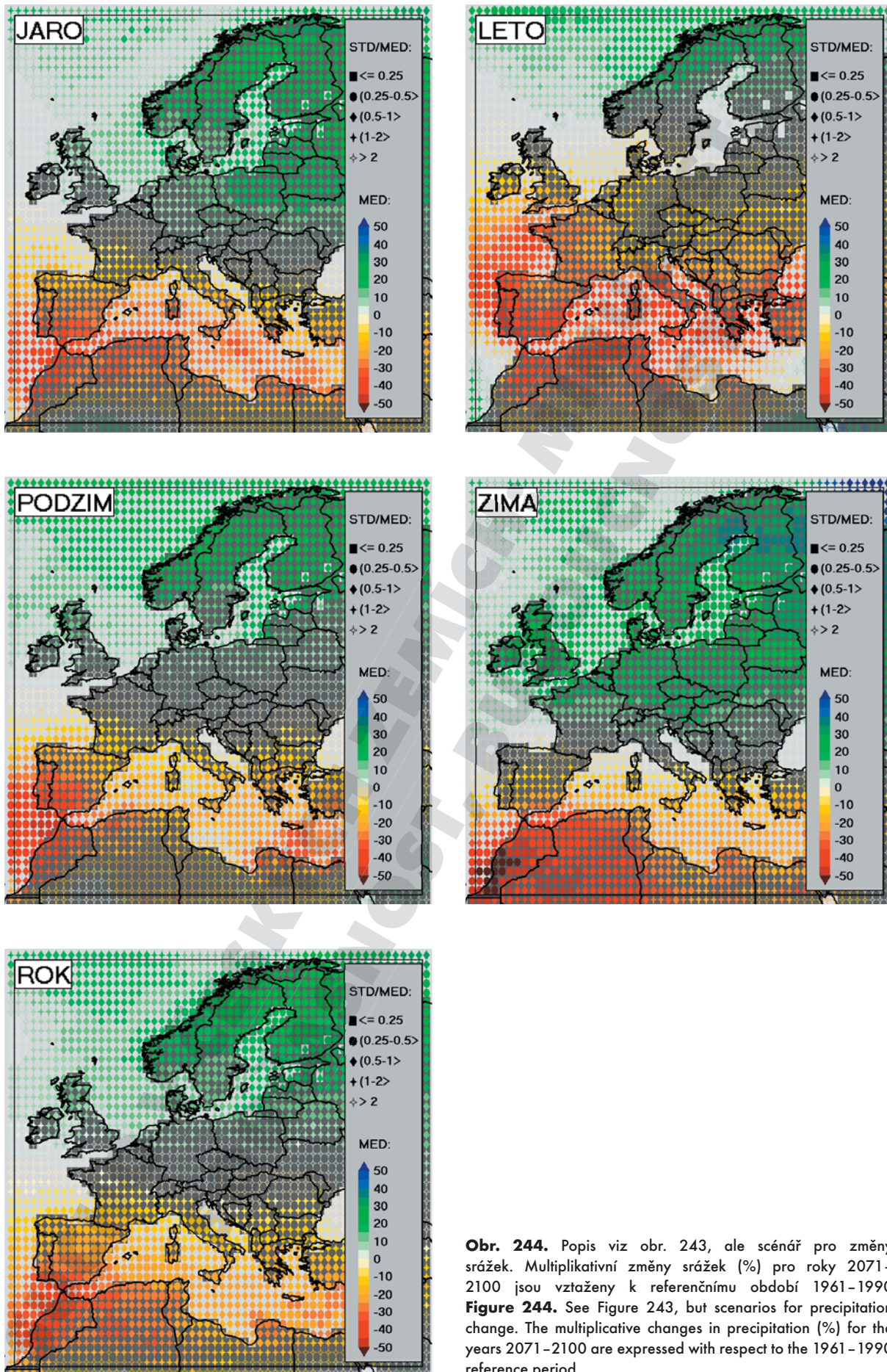
Vzhledem k tomu, že riziko sucha stoupá s rostoucími teplotami (ty porostou ve všech sezonách v celé Evropě) a s klesajícími srážkami, mapy změn intenzity sucha (obr. 245) pouze kvantitativně doplňují očekávání vyplývající z map změn teploty vzduchu a srážek (obr. 243–244): riziko sucha výrazně vzroste ve velké části Evropy, zejména pak jižně od pásu srážkové neurčitosti. Nejvýraznější nárůst rizika sucha v létě je důsledkem sezonně nejvyššího vzestupu teplot doprovázeného výrazným poklesem srážek v tomto ročním období. I v ostatních sezonách se bude na většině evropského území riziko sucha zvyšovat, přičemž modely simulovaná velikost růstu odpovídá změnám teplot a srážek. Riziko sucha klesne pouze v oblastech, kde v dané sezoně bude negativní vliv zvýšení srážek (tedy zmírnění rizika sucha) vyšší než pozitivní vliv nárůstu teplot (tedy podporující riziko sucha). Jedná se vlastně pouze o zimu a území Irsko a západní část Skandinávie, kde lze v tomto ročním období očekávat nevýznamný pokles rizika sucha. Na území České republiky se ukazuje nejvýznamnější nárůst rizika sucha v létě a na pod-

zim. Mapa rPDSI dokládá, že jeho průměrné hodnoty budou z hlediska současných normálů indikovat extrémní sucho. V této souvislosti je ale třeba dodat, že v použitém modelu PDSI (Wells et al., 2004) je potenciální evapotranspirace odhadnuta pomocí Thornthwaitovy metody, která je v podmínkách teplejšího klimatu považována za méně vhodnou než Penman-Monteithova metoda, upřednostňovaná v této situaci (například Burke et al., 2006; Hoerling et al., 2012; Dai, 2013; van der Schrier et al., 2013). Na druhou stranu lze připustit, že při aplikaci určité korekce lze k odhadu podmínek sucha v teplejším klimatu použít i simulace námi použité verze PDSI indexu. Podle Dubrovského et al. (2014) dávají totiž obě metody výpočtu indexu stejné prostorové rozložení, lišící se pouze multiplikatивním faktorem: při použití Thornthwaitovy rovnice jsou hodnoty rPDSI vypočtené pro konec 21. století přibližně dvakrát větší než při použití rovnice Penman-Monteitha. Je-li tedy extrémní sucho indikováno hodnotami  $PDSI < -4$ , lze předpokládat, že na prezentovaných mapách tomu budou odpovídat hodnoty  $rPDSI < -8$ .

Sestavené scénáře změn klimatu podle GCM modelů z databáze CMIP5 jsou velice podobné scénářům odvozeným ze starších GCM simulací zahrnutých v databázi CMIP3 (Meehl et al., 2007), která byla použita pro čtvrtou hodnotící zprávu IPCC (Solomon et al., eds., 2007). Při porovnání obou sad scénářů je však třeba uvést, že současné projekce klimatu se vztahují k jiným emisním scénářům, než které byly použity dříve. Scénáře v této kapitole, odvozené ze 40 GCM simulací pro RCP8.5 s předpokládaným výrazným nárůstem emisí skleníkových plynů, a tedy i tomu odpovídajícím výrazným vzestupem globální teploty, lze porovnat se scénáři odvozenými z 16 GCM simulací pro emisní scénář SRES-A2 a publikovanými Dubrovským et al. (2014). Scénář SRES-A2 představoval v době používání databáze CMIP3 „extrémní“ emisní scénář.<sup>90</sup> Protože emisní scénář SRES-A2 dává nižší nárůst skleníkových plynů (a tedy i globální teplotu) než RCP8.5, byly v prvním kroku „opraveny“ staré scénáře pomocí metody „pattern scaling“: staré scénáře byly vynásobeny koeficientem 1,27, který odpovídá poměru vzestupu globální teploty (2071–2100 versus 1961–1990) pro oba emisní scénáře podle modelu MAGICC. Teprve po této úpravě lze efektivněji porovnat některé charakteristiky, jako je například prostorové rozložení změn a roční chod.

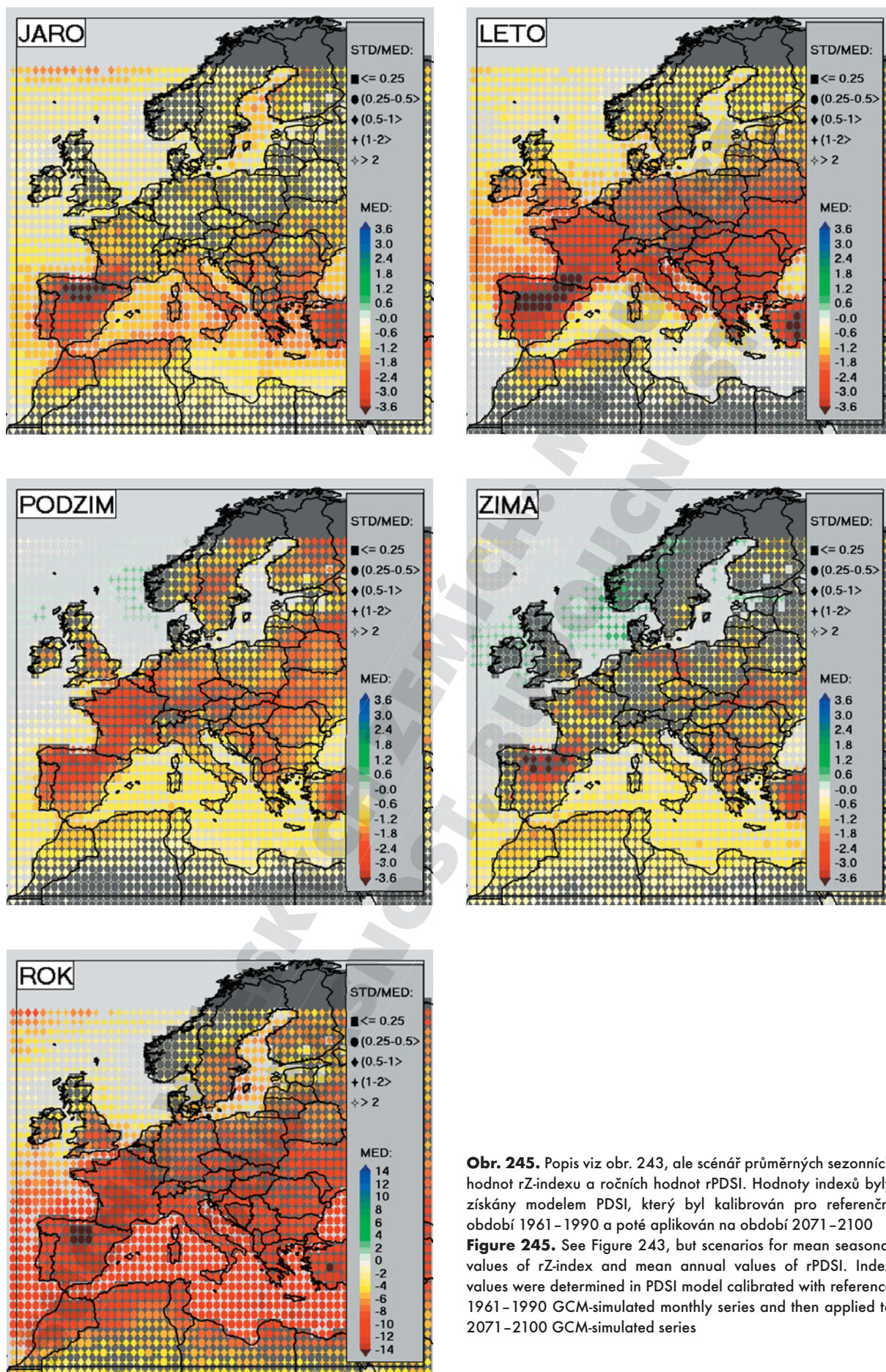
<sup>90</sup> Jeho volba souvisela s tím, že pro extrémnější emisní scénář SRES-A1T nebylo k dispozici takové množství modelových simulací jako pro SRES-A2.





**Obr. 244.** Popis viz obr. 243, ale scénář pro změny srážek. Multiplikativní změny srážek (%) pro roky 2071–2100 jsou vztaženy k referenčnímu období 1961–1990  
**Figure 244.** See Figure 243, but scenarios for precipitation change. The multiplicative changes in precipitation (%) for the years 2071–2100 are expressed with respect to the 1961–1990 reference period





**Obr. 245.** Popis viz obr. 243, ale scénář průměrných sezonních hodnot rZ-indexu a ročních hodnot rPDSI. Hodnoty indexů byly získány modelem PDSI, který byl kalibrován pro referenční období 1961–1990 a poté aplikován na období 2071–2100

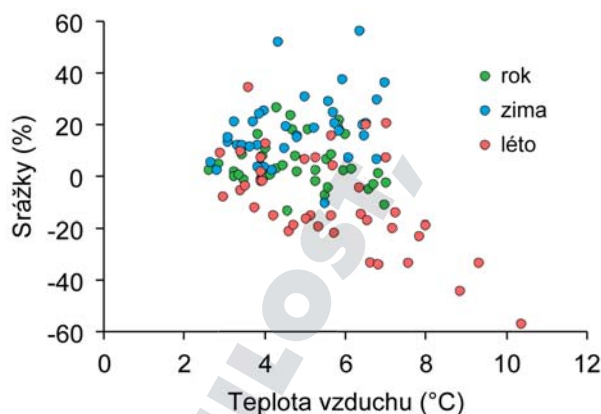
**Figure 245.** See Figure 243, but scenarios for mean seasonal values of rZ-index and mean annual values of rPDSI. Index values were determined in PDSI model calibrated with reference 1961–1990 GCM-simulated monthly series and then applied to 2071–2100 GCM-simulated series

Z porovnání simulací modelů z CMIP3 a CMIP5 plyne, že modely CMIP5 obecně očekávají nižší nárůst teploty vzduchu. Výraznou výjimkou je vyšší nárůst letních teplot v Evropě na sever asi od 50. rovnoběžky, s čímž souvisí méně výrazný severojižní gradient teplotních změn v tomto ročním období. Mezimodelová variabilita je u souboru CMIP5 až na výjimky nevýrazně vyšší než u starších scénářů. Odlišná je opět oblast severní Evropy, kdy současné scénáře změny letních teplot vykazují lepší shodu mezi jednotlivými GCM modely. Pokud jde o území České republiky, signalizují nové scénáře vyšší nárůst teplot v létě a nižší ve zbývajících sezonách. Podobně i změny srážek podle CMIP5 modelů vykazují velmi podobné prostorové rozložení jako výsledky podle CMIP3, ale změny (ať už nárůsty či poklesy) jsou u CMIP5 simulací méně výrazné. Celkově ukazují nové scénáře v porovnání se staršími méně extrémní nárůst srážek v severovýchodní Evropě v zimě a méně výrazný pokles srážek v jižní Evropě na jaře a v létě. Pokud jde o mezimodelovou variabilitu, je u modelů CMIP5 (podobně jako u teplot vzduchu) spíše vyšší. V oblasti České republiky jsou scénáře srážek podle CMIP5 a CMIP3 velmi podobné, a to jak co do velikosti signálu klimatické změny, tak co do mezimodelové variability.

Změny v riziku sucha vyplývají ze změn teplot vzduchu a srážek. Důsledkem výše uvedených rozdílů mezi klimatickými modely z CMIP3 a CMIP5 je skutečnost, že podle CMIP5 odhadů by nárůst rizika sucha v celé Evropě i ve všech sezonách měl být obecně méně výrazný, než vyplývalo z odhadů CMIP3. Přesto však lze nárůst rizika sucha v České republice i podle nových scénářů považovat za velmi výrazný ve všech ročních obdobích, zejména pak v létě, kdy jsou očekávané změny podle CMIP5 a CMIP3 prakticky shodné.

Obrázek 246 ukazuje závislost mezi změnami teplot vzduchu a srážek pro geografický střed České republiky podle 40 GCM modelů pro zimu, léto a rok. Je z něho zřejmé, že korelace mezi změnami teplot a srážek je v létě negativní (korelační koeficient  $r = -0,595$ ) a v zimě pozitivní ( $r = 0,372$ ), zatímco pro celý rok je korelace statisticky nevýznamná ( $r = -0,010$ ). Souvisí to s tím, že v létě jsou vyšší srážky na našem území spojeny s chladnějším počasím, zatímco v zimě je tomu naopak.

Pokud jde o scénáře změny tří analyzovaných klimatických charakteristik pro období 2021–2050, ukazují obrázky 247–251 na stejnou prostorovou strukturu změn jako výše zmíněné scénáře pro období 2071–2100. Liší se víceméně jen velikostí změn,

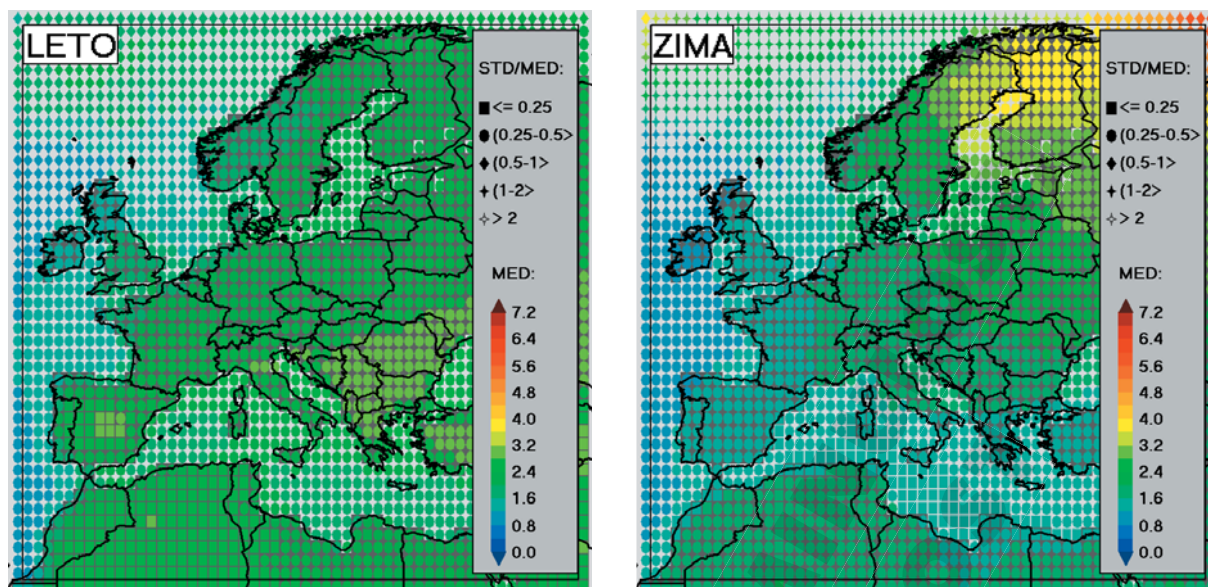


**Obr. 246.** Změny srážek versus změny teploty vzduchu pro zeměpisný střed České republiky (Čihošř, viz [http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC\\_Geographical\\_center\\_of\\_Czech\\_Republic\\_Cihošř](http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC_Geographical_center_of_Czech_Republic_Cihošř)) podle 40 GCM modelů. Každý symbol reprezentuje jeden z modelů s rozlišením na rok, zimu a léto

**Figure 246.** Precipitation versus temperature changes for the geographical centre of the Czech Republic (Čihošř, see [http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC\\_Geographical\\_center\\_of\\_Czech\\_Republic\\_Cihošř](http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC_Geographical_center_of_Czech_Republic_Cihošř)), based on 40 GCMs. Each symbol represents one element from the model with respect to year (green), winter (blue) and summer (red)

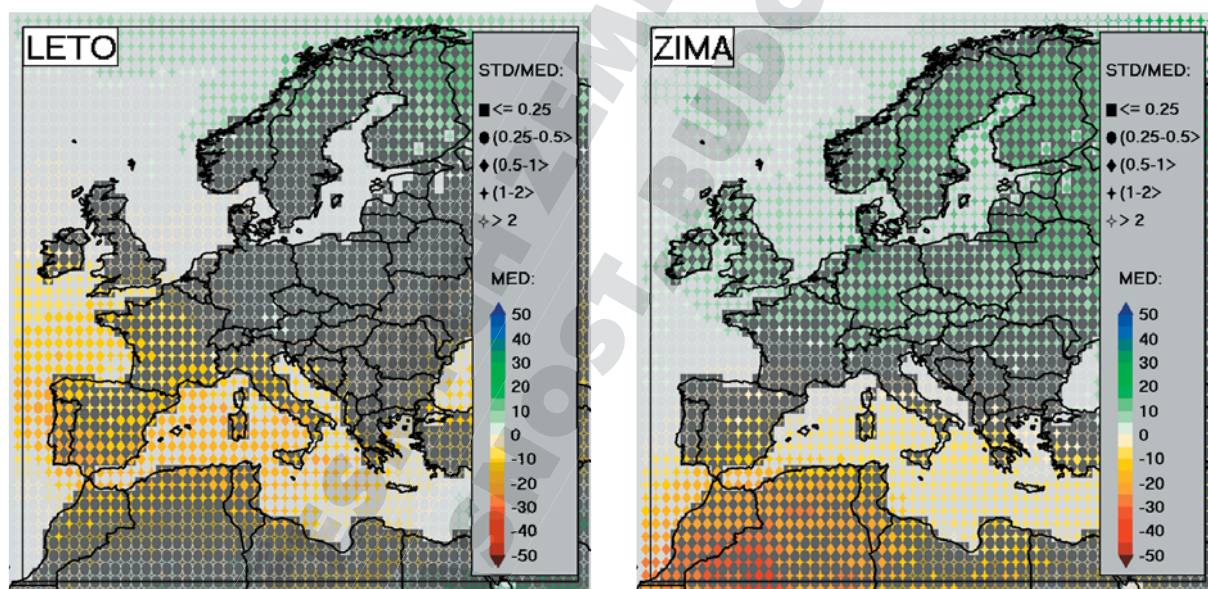
kteřá je úměrná změně globální teploty pro dané období a emisní scénář (jak bylo již uvedeno, mapy pro RCP4.5 a 2021–2050 vznikly škálováním změn pro scénář RCP8.5). Kromě toho je však třeba zdůraznit, že změny v blízké budoucnosti jsou zatíženy vyšší mezimodelovou variabilitou, což souvisí s menším odstupem signálu klimatické změny od šumu daného přirozenou variabilitou klimatu. To je patrné zejména u srážek, jejichž změny jsou zatíženy mnohem větší mezimodelovou variabilitou než změny teplot. Tak například v létě jsou hodnoty poměru  $STD(\Delta P)/MED(\Delta P)$  pro období 2021–2050 v oblasti střední Evropy (včetně České republiky) téměř všude větší než 2, což víceméně indikuje statisticky nevýznamné změny srážek, zatímco v období 2071–2100 byl tento poměr menší než 2 a na území Polska dokonce menší než 1. Protože škálováním scénářů se poměr  $STD/MED$  nemění, může být konstrukce scénářů metodou „pattern scaling“ pro bližší budoucnost, resp. pro emisní scénáře implikující nižší koncentrace skleníkových plynů (tedy pro situace s méně výrazným signálem změny klimatu), výhodnější než použití GCM simulací pro dané období a emisní scénář. Tato metoda totiž potlačí vliv šumu a lépe tak zachytí signál klimatické změny.





**Obr. 247.** Popis viz obr. 243, ale pro změny teploty vzduchu v létě a v zimě ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro roky 2021–2050 vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

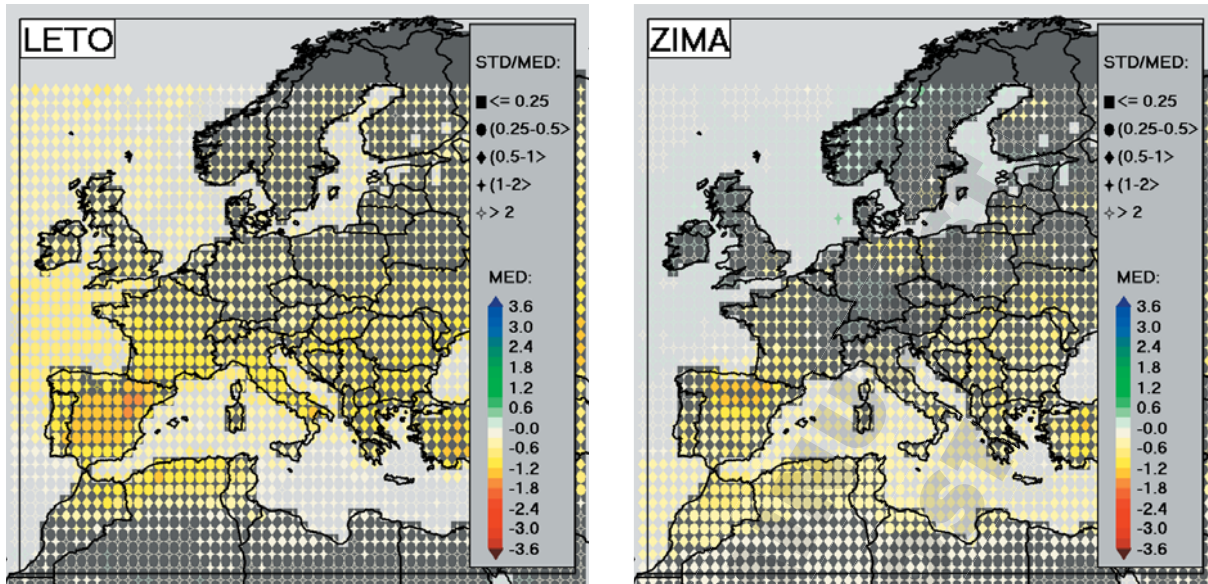
**Figure 247.** See Figure 243, but for temperature changes in summer and winter ( $^{\circ}\text{C}$ ) for the years 2021–2050 with respect to the 1961–1990 reference period



**Obr. 248.** Popis viz obr. 243, ale pro změny srážek v létě a v zimě (%) pro roky 2021–2050 vzhledem k referenčnímu období 1961–1990

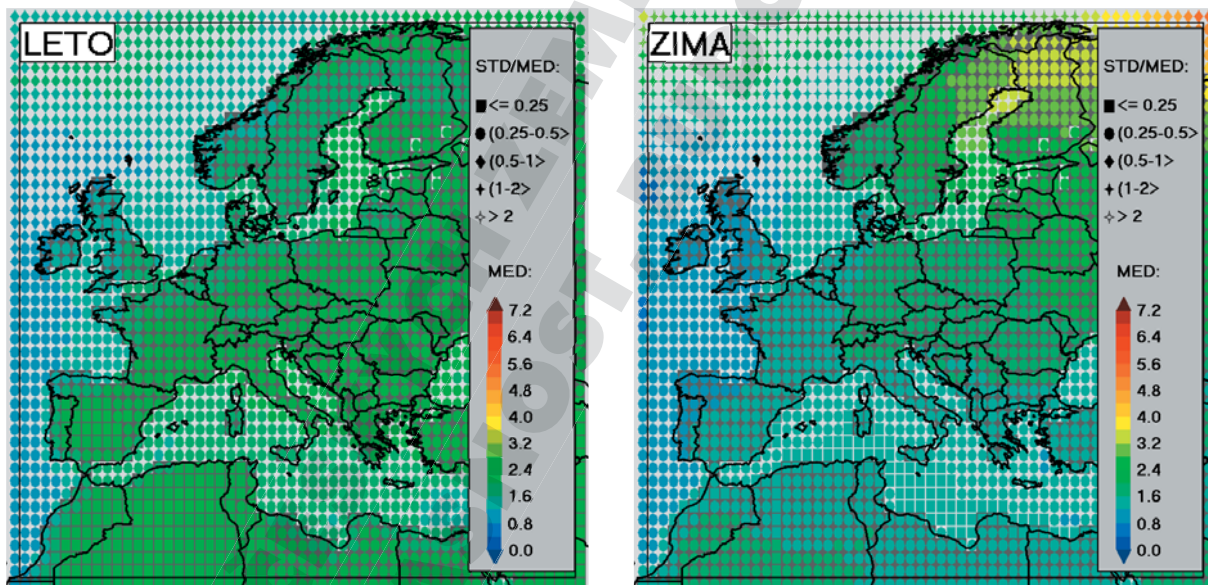
**Figure 248.** See Figure 243, but for precipitation changes in summer and winter (%) for the years 2021–2050 with respect to the 1961–1990 reference period





**Obr. 249.** Popis viz obr. 243, ale pro průměrné hodnoty rZ-indexu v létě a v zimě pro roky 2021–2050

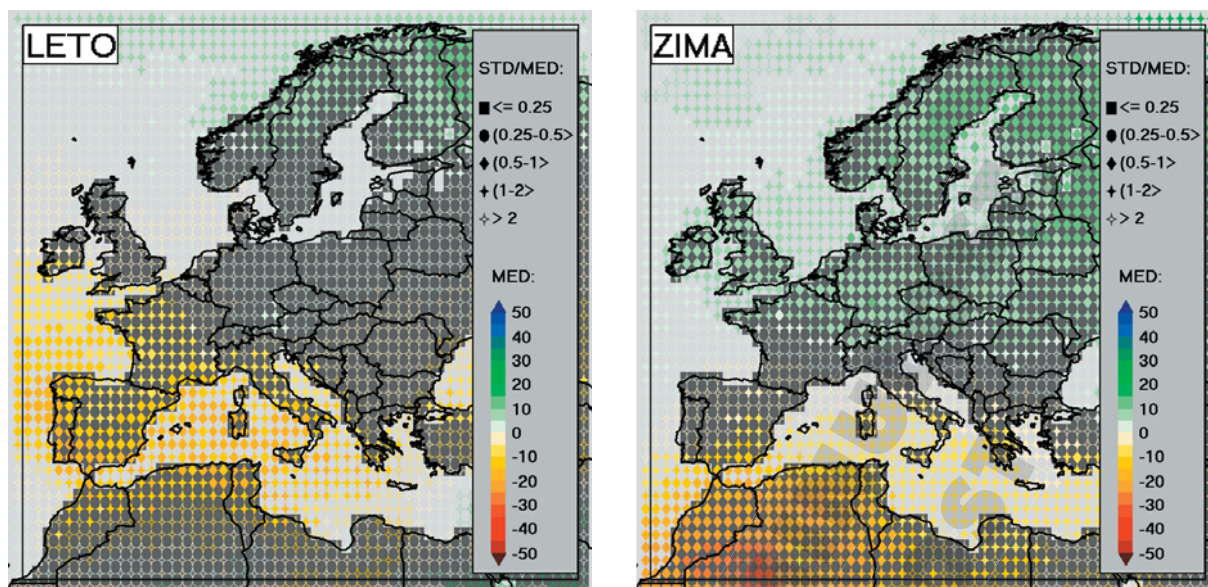
**Figure 249.** See Figure 243, but for mean values of rZ-index in summer and winter for the years 2021–2050



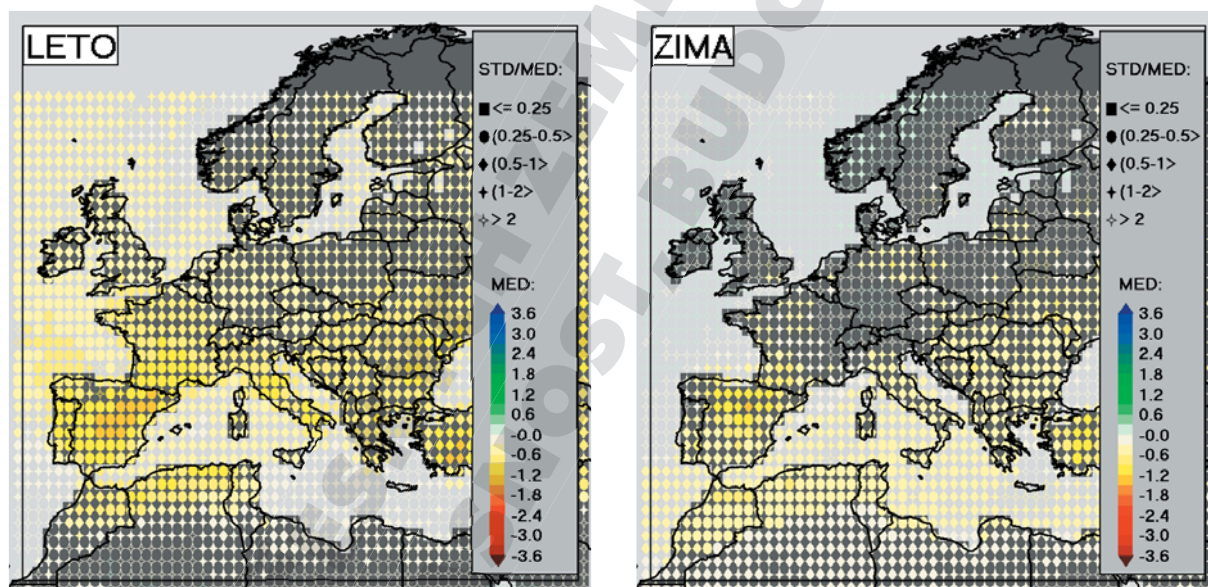
**Obr. 250.** Scénáře změny teploty vzduchu ( $^{\circ}\text{C}$ ) v létě a v zimě pro emisní scénář RCP4.5 a období 2021–2050 (scénáře se vztahují k referenčnímu období 1961–1990 a byly vypočteny metodou „pattern scaling“ aplikovanou na scénáře pro emisní scénář RCP8.5)

**Figure 250.** Scenarios of changes (with respect to the 1961–1990 reference period) of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) during summer (left) and winter (right) for RCP4.5 emission scenario and period 2021–2050. The scenarios were determined by pattern scaling applied to RCP8.5-based scenarios





Obr. 250 – pokračování, srážky (%)  
 Figure 250 – continued, precipitation (%)



Obr. 251. Scénáře průměrných hodnot rZ-indexu v létě a v zimě pro emisní scénář RCP4.5 a období 2021–2050 (scénáře byly vypočteny metodou „pattern scaling“ aplikovanou na scénáře pro emisní scénář RCP8.5)  
 Figure 251. Scenarios of mean values of rZ-index during summer and winter for the RCP4.5 emission scenario and the 2021–2050 period (the scenarios were calculated using pattern scaling applied to RCP8.5-based scenarios)



### 7.3 ODHADOVANÉ ZMĚNY VYBRANÝCH KLIMATOLOGICKÝCH CHARAKTERISTIK V ČESKÉ REPUBLICE

Pro analýzu možného budoucího vývoje klimatu ve vysokém rozlišení pro Českou republiku byly použity tři modelové projekce. První je regionálně klimatický model ALADIN-Climate/CZ v 10 km rozlišení (prostorová doména viz obr. 252), který vznikl v rámci projektu EU FP6 CECILIA (<http://www.cecilia-eu.org/>) a je adaptací numerického předpovědního modelu počasí ALADIN (verze CY28T3). Tento regionální klimatický model, dále označený jako ALADIN-10, byl řízen globálním klimatickým modelem ARPEGE-Climat 4.5. Projekce budoucího klimatu je k dispozici jednak pro období 2021–2050 a jednak pro roky 2071–2100 (Farda et al., 2007; Farda, 2008).

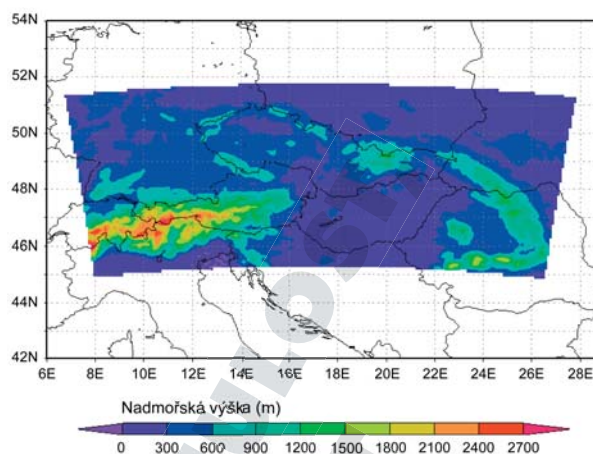
Druhým modelem, použitým pro znázornění možného budoucího vývoje klimatu, je RegCM. Tento model byl původně vytvořen pro celou Evropu v 25 km rozlišení v rámci projektu ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org/>), stejně jako model ALADIN-Climate/CZ. Je řízen globálním klimatickým modelem ECHAM5. Během řešení projektu CECILIA byl tento model přepočítán do 10 km rozlišení pro budoucí období 2021–2050 a 2071–2100 (Halenka, 2010). Tento model je v dalším označován jako RegCM-10.

Třetím použitým modelem je opět ALADIN-Climate/CZ, který na rozdíl od modelu ALADIN-10 s rozlišením 10 km byl vytvořen v rozlišení 25 km, ale jeho integrace probíhala na větší prostorové doméně.<sup>91</sup> Díky menšímu prostorovému rozlišení, a tedy nižším výpočetním nárokům, bylo možné spočítat daný model pro celé budoucí období do roku 2100 bez přerušení, na rozdíl od modelu ALADIN-Climate/CZ v rozlišení 10 km (2021–2050 a 2071–2100). Tento model dále označujeme jako ALADIN-25.

Pro projekci klimatu používají všechny tři modely emisní scénář SRES-A1B, který je variantou scénáře A1 a počítá s kombinovaným využitím fosilních paliv a obnovitelných zdrojů na pokrytí energetických potřeb (Solomon et al., eds., 2007).

Před vlastní analýzou budoucího vývoje klimatu je nutné modelové výstupy korigovat, neboť jsou většinou zatíženy systematickou chybou a v některých parametrech nesouhlasí se skutečností. Pro správnou

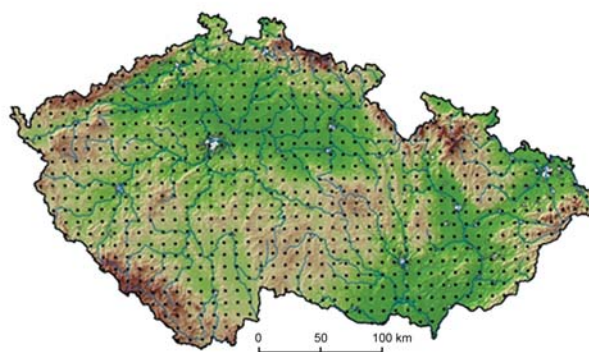
<sup>91</sup> Model vznikl v rámci projektu VaV — SP/1a6/108/07 Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektoru vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření.



**Obr. 252.** Integrovaná doména a reliéf modelu ALADIN-Climate/CZ použitý v projektu FP6 CECILIA

**Figure 252.** Integration domain and model elevation of the ALADIN-Climate/CZ model used in the FP6 CECILIA project

nou korekci je třeba také mít co nejkvalitnější údaje o skutečném klimatu, tj. staniční měření. Všechna použitá staniční data byla kontrolována na kvalitu, následně byla homogenizována a byly v nich doplněny případné chybějící údaje (Štěpánek et al., 2011a, 2013). Za účelem korekce modelových výstupů byly staniční hodnoty z tzv. technických řad přepočítány pro období 1961–2000 do gridové sítě 10 x 10 km (obr. 253) (Štěpánek et al., 2011b). Na základě vztahu mezi výstupy z regionálního klimatického modelu a přepočítanými staničními daty byla provedena kvantilová korekce v denním kroku podle metody Déquého (Déqué, 2007). Protože tyto korekce byly již realizovány v rámci výše zmíněných projektů, jsou zde využívána takto korigovaná modelová data.



**Obr. 253.** Gridová síť (10 x 10 km) modelu ALADIN-Climate/CZ

**Figure 253.** Grid network (10 x 10 km) of the ALADIN-Climate/CZ model

### 7.3.1 Teplota vzduchu

Průměrná roční teplota vzduchu vykazuje dlouhodobě vzestupný trend, který se v posledních několika desetiletích zvyšuje (VaV, 2011; Brázdil et al., 2012a, 2012c). I když průměrné roční teploty vzduchu podléhaly v posledním padesátiletí výrazným meziročním změnám, vykazují vzestupný trend, kdy výrazněji rostla zejména teplota v letních měsících, přičemž na podzim bylo oteplování méně patrné (VaV, 2011). Podle všech tří použitých modelů se předpokládá růst teploty vzduchu také v budoucnosti. Tak v letech 2021–2050 by měla teplota vzduchu na území České republiky růst v rozmezí 1,2–1,5 °C v porovnání s obdobím 1961–2000 (obr. 254), zatímco v období 2071–2100 by to mělo být již o 3,2–3,3 °C. Nejrychlejší tempo růstu dávají výpočty podle modelu ALADIN-10. Model ALADIN-25 má rozdíly prostorově nejhlašenější, což odpovídá jeho hrubšímu prostorovému rozlišení 25 km (tab. 24), zatímco model ALADIN-10 s 10 km rozlišením dává daleko detailnější informace o změně teploty vzduchu s nadmořskou výškou. Nejvyšší změnu oproti referenčnímu období 1961–2000 vykazují horské oblasti, a to pro sledované časové úseky 2021–2050 a 2071–2100. Model RegCM-10 díky svému vysokému rozlišení vykazuje podobné výsledky jako model ALADIN-10, i když pro roky 2021–2050 dává pomalejší tempo růstu teplot vzduchu. Velikost teplotní změny závisí také na sezoně. Pro uvedené období ukazuje model ALADIN-10 na mírně vyšší nárůst teplot vzduchu v zimě a v létě. Naopak model RegCM-10 vykazuje v létě podstatně menší změnu teplot než v ostatních obdobích. Třetí model ALADIN-25 má nárůst relativně rovnoměrný, pouze na jaře je pozitivní trend poněkud menší. V projekci pro období 2071–2100 se oba modely založené

na ALADIN-Climate/CZ shodují ve vyšším nárůstu letních teplot na úkor ostatních sezon. Model RegCM-10 počítá naopak s výraznější změnou teplot vzduchu v létě (Štěpánek et al., 2012).

Pokud jde o předpokládaný vývoj ročních maximálních teplot vzduchu (obr. 255), je podobný jako u průměrných hodnot. Tak v období 2021–2050 se změna maximální teploty v České republice pohybuje v průměru mezi 1,1–1,4 °C s největším nárůstem podle modelu ALADIN-25 a nejmenším podle modelu RegCM-10. Na rozdíl od průměrné teploty vzduchu však zde není tak výrazný rozdíl mezi odhady pro různé nadmořské výšky. Pro leta 2071–2100 činí počítaný růst teplot 3,3–3,4 °C, přičemž všechny použité modely se prakticky neliší. Pouze model ALADIN-25 je prostorově méně variabilní. Podobný vývoj jako v případě maximálních teplot vzduchu lze očekávat i u minimálních teplot.

### 7.3.2 Srážky

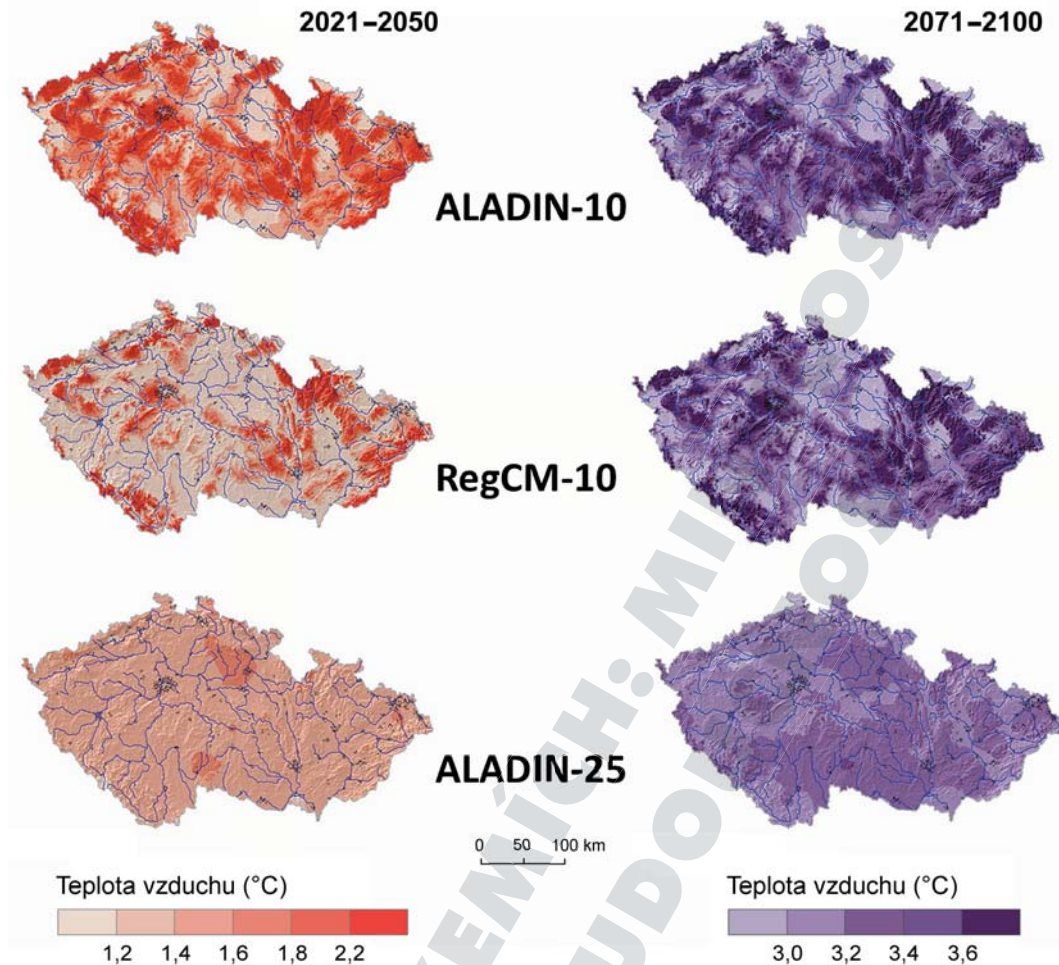
Srážky na území České republiky se vyznačují značnou časovou a prostorovou variabilitou. Souvisí to hlavně s atmosférickou cirkulací, kdy množství srážek je závislé na daném typu synoptické situace a srážkotvorných synoptických objektech. Prostorová proměnlivost je navíc zvýrazněna orografickými vlivy našeho území, mezi které patří růst množství srážek s rostoucí nadmořskou výškou a také projevy expozice, kdy návětrné svahy mají vyšší úhrny než svahy závětrné (Tolasz et al., eds., 2007). Při značné meziroční variabilitě srážek je obtížné prokázat ve srážkových řadách statisticky významný lineární trend (VaV, 2011; Brázdil et al., 2012a, 2012c).

Pro období 2021–2050 predikují modely v průměru pro celou Českou republiku mírný růst srážkových úhrnů, ale vypočítané změny jsou prostorově

**Tab. 24.** Změna průměrné teploty vzduchu v závislosti na nadmořské výšce v České republice (ČR), predikovaná modely ALADIN-10, RegCM-10 a ALADIN-25 pro období 2021–2050 a 2071–2100

**Table 24.** Change of mean air temperature in relation to altitude in the Czech Republic (ČR) predicted by the ALADIN-10, RegCM-10 and ALADIN-25 model for the 2021–2050 and 2071–2100 periods

Nadmořská výška	2021–2050			2071–2100		
	ALADIN-10	RegCM-10	ALADIN-25	ALADIN-10	RegCM-10	ALADIN-25
< 200	1,3	1,0	1,3	3,0	3,1	3,2
201–400	1,4	1,0	1,3	3,2	3,1	3,2
401–600	1,5	1,2	1,3	3,4	3,3	3,2
601–800	1,9	1,5	1,3	3,7	3,6	3,2
> 800	2,3	2,0	1,3	4,0	4,1	3,2
ČR	1,5	1,2	1,3	3,3	3,3	3,2



**Obr. 254.** Změna průměrné roční teploty vzduchu v České republice v obdobích 2021–2050 a 2071–2100, vyjádřená jako odchylka od referenčního období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů (ALADIN-10, RegCM-10 a ALADIN-25)

**Figure 254.** Change in mean annual air temperature in the Czech Republic for the 2021–2050 and 2071–2100 periods expressed as deviation from the 1961–2000 reference period, based on three regional climate models (ALADIN-10, RegCM-10 and ALADIN-25)

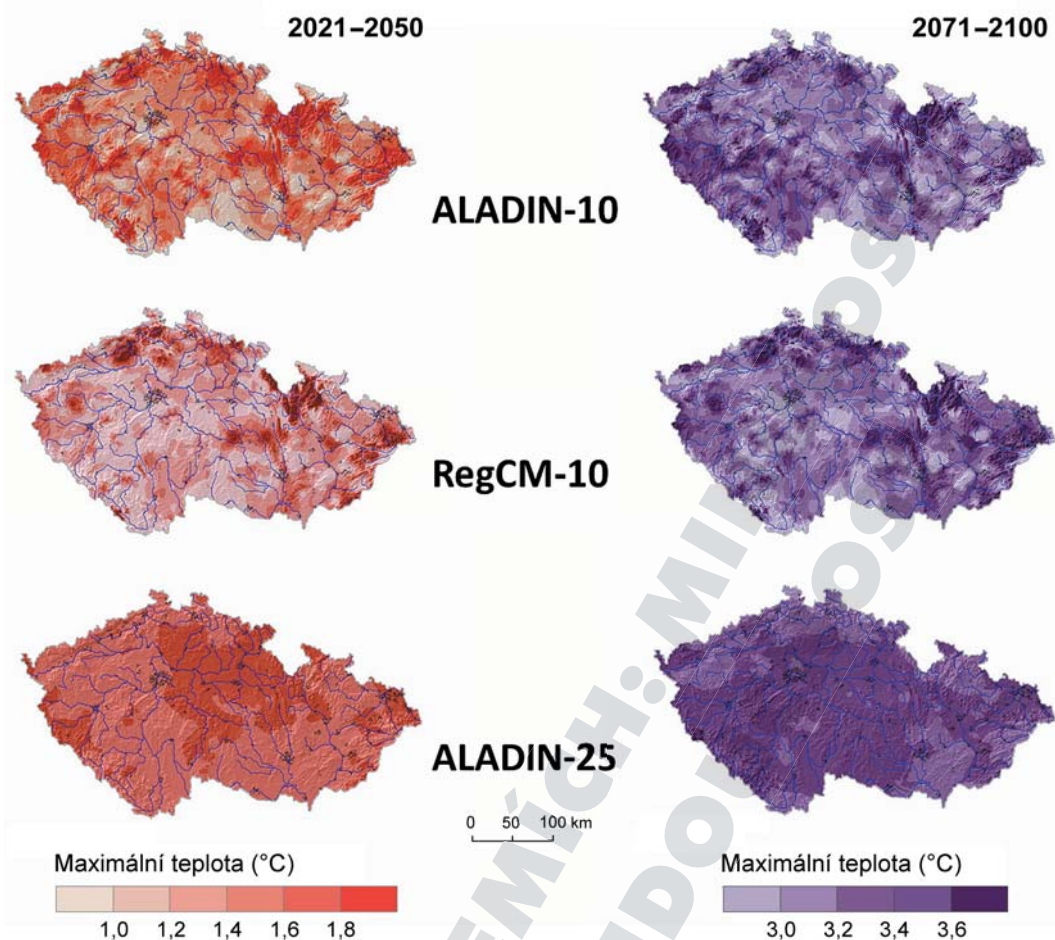
rozdílné. Z obrázku 256 plyne, že většina území vykazuje změnu srážkových úhrnů pouze o velikosti do 5 % vzhledem k referenčnímu období 1961–2000. Modely ALADIN-10 a ALADIN-25 udávají větší růst srážkových úhrnů na Moravě než v Čechách. Tím se liší od výpočtů modelu RegCM-10, který indikuje nejvyšší nárůst množství srážek, ale hlavně v Čechách. Modely ALADIN-10 a ALADIN-25 předpokládají pokles srážkových úhrnů v zimě (až o 15 %), zatímco na podzim udávají vzestup srážek až o 20 % a v létě až o 10 %. S mírným nárůstem srážek se počítá i na jaře (Štěpánek et al., 2012). Model RegCM-10 se sice shoduje s předchozími ve vyšším nárůstu srážek na podzim, ale nedává pokles zimních srážek.

Mírný pokles srážkových úhrnů v České republice v letech 2071–2100 vykazují modely ALADIN-10 a ALADIN-25, zatímco model RegCM-10 udává

vyšší srážky i pro vzdálenou budoucnost (obr. 256). To lze ale přičítat vlastní chybě modelu RegCM-10, který v nekorigované verzi počítá výrazně vyšší srážkové úhrny pro naše území, přičemž samotná korekce modelu nemusela tento nesoulad úplně odstranit. V porovnání s obdobím 2021–2050 nepredikují modely ALADIN-10 a ALADIN-25 již tak velký pokles zimních srážek (jen o 4 %), ale naopak udávají výrazný pokles letních srážek (o 10–12 %). Naproti tomu na jaře a na podzim se očekává mírný nárůst srážkových úhrnů. Pokud jde o model RegCM-10, tak ten predikuje nárůst zimních, jarních a podzimních srážek až o 20 % a prakticky žádnou výraznou změnu u letních srážek.

Pro celé zkoumané období 1961–2100 není pro většinu měsíců a sezon predikovaný statisticky významný trend změny úhrnu srážek. V ročních srážkových úhrnech byl zjištěn pro průměrnou řadu





**Obr. 255.** Změna průměrné roční maximální teploty vzduchu v České republice v obdobích 2021–2050 a 2071–2100, vyjádřená jako odchylka od referenčního období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů (ALADIN-10, RegCM-10 a ALADIN-25)  
**Figure 255.** Change in the mean annual maximum air temperature in the Czech Republic for the 2021–2050 and 2071–2100 periods expressed as deviation from the 1961–2000 reference period, based on three regional climate models (ALADIN-10, RegCM-10 and ALADIN-25)

České republiky statisticky významný pokles srážek o 1,7 mm/10 let (Štěpánek et al., 2012).

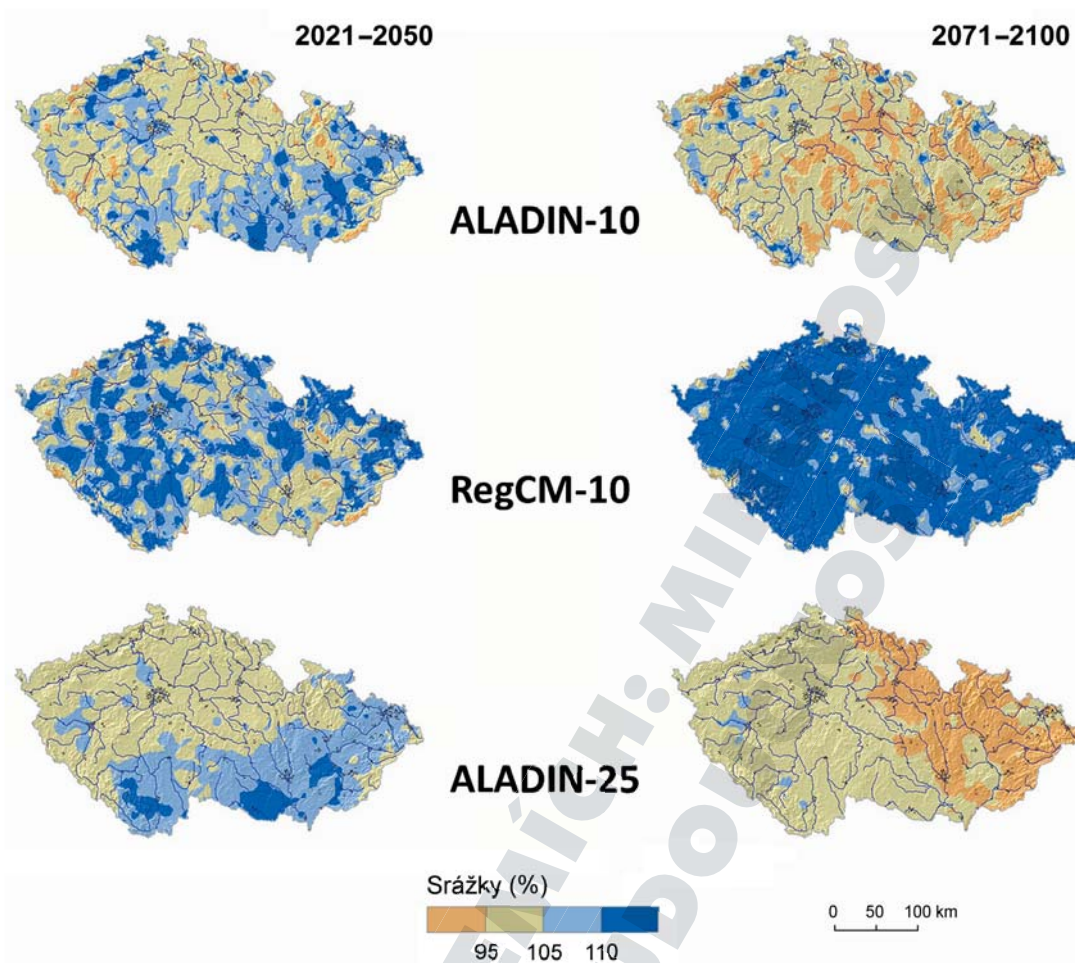
### 7.3.3 Vlhkost vzduchu, vítr a globální záření

Vlhkost vzduchu, vítr a globální záření představují meteorologické prvky, které rovněž ovlivňují vodní bilanci. Geografické rozložení průměrné relativní vlhkosti vzduchu na území České republiky v období 1961–2000 není příliš variabilní. Nejnižší hodnoty připadají na nížiny, přičemž relativní vlhkost roste nepravidelně s nadmořskou výškou (Tolasz et al., eds., 2007). K výrazným dlouhodobým změnám relativní vlhkosti vzduchu nedochází. Trendy této charakteristiky jsou jak pozitivní, tak negativní, ale většinou statisticky nevýznamné.

Změna relativní vlhkosti vzduchu v obou budoucích obdobích je ale predikována třemi použitými modely odlišně. Zatímco modely ALADIN-10

a ALADIN-25 počítají s poklesem relativní vlhkosti, model RegCM-10 předpokládá její mírný nárůst (obr. 257). Výraznější změna vychází podle modelu ALADIN-Climate/CZ (ALADIN-10 i ALADIN-25) pro roky 2071–2100. Průměrný pokles pro celé území České republiky činí u modelu ALADIN-10 3,3 % a u modelu ALADIN-25 4,0 %. Změna očekávaných vlhkostních poměrů není závislá na nadmořské výšce. Pokles relativní vlhkosti vzduchu je simulován pro všechny sezony, přičemž menší je v zimě a vyšší v létě (VaV, 2011). Ze simulace očekávaných změn plyne viditelný rozdíl mezi modelovým rozlišením 10 a 25 km. Tak model ALADIN-25 vykazuje podobné změny na větších územních celcích než je tomu u stejného modelu ALADIN-10, který podstatně více zohledňuje daný terén.

Vítr je nejproměnlivější meteorologický prvek, který je výrazně závislý na svém směru a drsnosti povrchu. Nejvyšší rychlosti větru jsou dosahovány



**Obr. 256.** Změna průměrného ročního úhrnu srážek v České republice v obdobích 2021–2050 a 2071–2100, vyjádřená jako odchylka od referenčního období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů (ALADIN-10, RegCM-10 a ALADIN-25)  
**Figure 256.** Change in mean annual precipitation in the Czech Republic for the 2021–2050 and 2071–2100 periods expressed as deviation from the 1961–2000 reference period, based on three regional climate models (ALADIN-10, RegCM-10 and ALADIN-25)

v létě a nejvyšší v zimě (Tolasz et al., eds., 2007). Rychlost větru v České republice vykazuje v posledních 50 letech spíše mírně poklesovou tendenci, která ale může souviset i se změnou měření této veličiny v důsledku automatizace. Projekce budoucího vývoje rychlosti větru u všech tří použitých modelů však nepočítají prakticky s žádnou změnou v chování této charakteristiky.

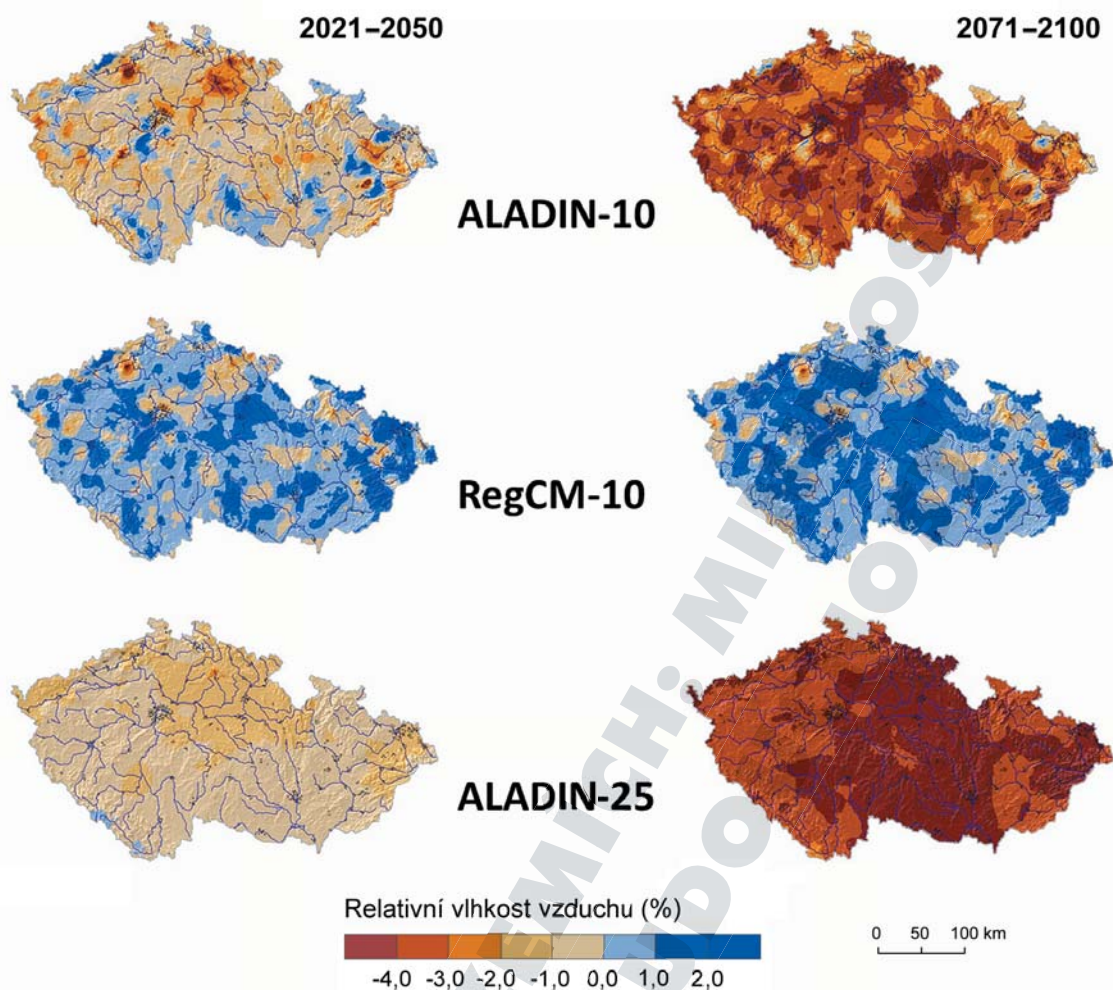
Z dlouhodobějšího hlediska, a to od roku 1951, došlo na našem území k poklesu úhrnů globálního záření. Jednou z příčin byla změna atmosférické cirkulace v sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století a zvýšení množství oblačnosti. Od devadesátých let minulého století dochází opět k mírnému nárůstu (Tolasz et al., eds., 2007). Pokud jde o budoucí změny globálního záření, počítají modely s jeho mírným poklesem v letech 2021–2050, a to nejvíce podle modelu RegCM-10. Pro další období 2071–2100 udávají

modely ALADIN-10 a ALADIN-25 mírný vzestup a model RegCM-10 menší pokles hodnot globálního záření.

#### 7.3.4 Vodní bilance

Evapotranspirace spolu se srážkami a odtokem tvoří základní části vodní bilance území a společně s odtokem představují jeho ztrátovou složku. Model ALADIN-10 je schopen simulovat hodnoty aktuální (skutečné) evapotranspirace ve zvolené prostorové doméně (viz obr. 252), nicméně nemohl být korigován, jelikož není k dispozici referenční databáze skutečných hodnot aktuální evapotranspirace pro zvolenou oblast. Přesto lze jeho výsledky použít pro interpretaci možné změny povrchového a podpovrchového odtoku, a tedy i výskytu hydrologického sucha. Jak plyne z obrázku 258a, je aktuální evapotranspirace nižší v horských oblastech, což je dobře





**Obr. 257.** Změna průměrné roční relativní vlhkosti vzduchu v České republice v obdobích 2021–2050 a 2071–2100, vyjádřená jako odchylka od referenčního období 1961–2000, na základě tří regionálních klimatických modelů (ALADIN-10, RegCM-10 a ALADIN-25)  
**Figure 257.** Change in the mean annual relative air humidity in the Czech Republic for the 2021–2050 and 2071–2100 periods expressed as deviation from the 1961–2000 reference period based on three regional climate models (ALADIN-10, RegCM-10 and ALADIN-25)

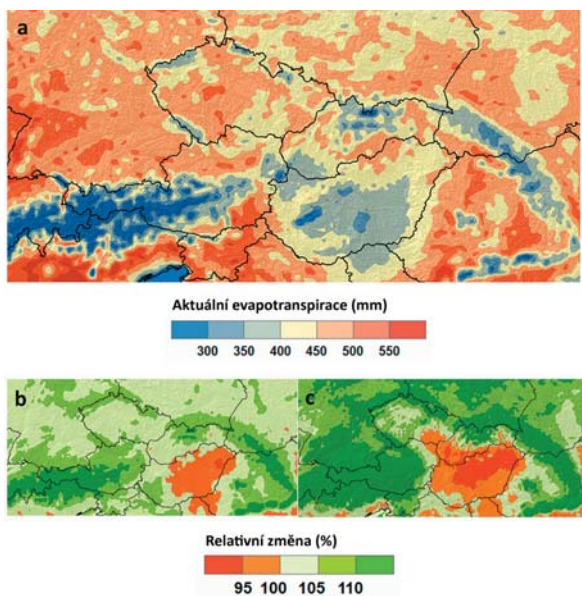
patrně pro oblast Alp a Karpat. Obecně je její hodnota nejvyšší ve středních nadmořských výškách, o něco nižší v teplých oblastech s menší nadmořskou výškou a nejnižší v horských oblastech. V rámci střední Evropy je aktuální evapotranspirace nižší na jihozápadním Slovensku a v Maďarsku, což souvisí s teplejším klimatem a spíše menším množstvím srážek. V měřítku České republiky simuluje model ALADIN-10 její vyšší hodnoty pro Čechy.

Predikované změny aktuální evapotranspirace v oblasti střední Evropy pro období 2021–2050 nepřesahují 5 % (obr. 258b), což je ale dáno autoregulační povahou tohoto prvku (například aktuální evapotranspirace se zmenšuje při poklesu srážek). Na většině studovaného území ale převažuje zvýšení aktuální evapotranspirace, zejména v horských oblastech, což lze přičítat výraznějšímu vzestupu teplot

vzduchu v těchto polohách podle výpočtů modelu ALADIN-10. Naproti tomu pokles aktuální evapotranspirace je indikován pro oblast východního Maďarska, patrně v souvislosti s předpokládaným poklesem srážek.

Významnější rozdíly v aktuální evapotranspiraci jsou modelem predikovány pro období 2071–2100 (obr. 258c). Opět převažuje její rostoucí trend, kterému odpovídá v horských oblastech vzestup až o více než 10 %. Zajímavá je simulace v oblasti Krušných hor, kde na jejich návětrné německé straně aktuální evapotranspirace výrazně roste, přičemž na závětrné české straně je tento nárůst slabší. To by mohlo znamenat, že model ALADIN-10 postihuje zvýraznění návětrného efektu a významné zvýšení srážek v této oblasti, podpořené rostoucí teplotou vzduchu. Oproti období 2021–2050 se v poslední části 21. sto-





**Obr. 258.** Aktuální evapotranspirace (mm) ve střední Evropě simulovaná modelem ALADIN-10 pro období 1961–2000 (a) a její očekávaná relativní změna (%) v letech 2021–2050 (b) a 2071–2100 (c)

**Figure 258.** Actual evapotranspiration (mm) in Central Europe simulated by the ALADIN-10 for the 1961–2000 period (a) and its expected relative change (%) in the 2021–2050 (b) and 2071–2100 (c) periods

letí výrazně zvětšila oblast s poklesem hodnot aktuální evapotranspirace, která se z větší části Maďarska a jihozápadního Slovenska rozšířila i na jižní Moravu. To by signalizovalo pokles dostupného množství vody v této oblasti.

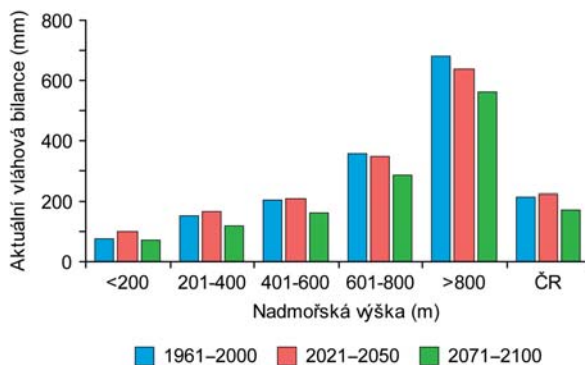
Pro oblast České republiky byla vypočtena aktuální vláhová bilance (rozdíl srážek a aktuální evapotranspirace) pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100 na základě simulací modelu ALADIN-10. V takto pojetém zpracování vláhové bilance by měl rozdíl srážek a aktuální evapotranspirace vycházet vždy kladný, ale čím bude menší, tím méně vody zůstává pro povrchový a podpovrchový odtok, a tím méně je i zachytitelné vody v krajině. Jak plyne z obrázku 259, je přebytek srážek nad evapotranspirací největší v horských oblastech ve výškách nad 800 m a nejnižší v nižších polohách, takže obecně roste s nadmořskou výškou. Z geografického hlediska jsou srážky a aktuální evapotranspirace nejvyrovnanější na jižní Moravě a v západních Čechách. Pro třicetiletí 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1961–2000 predikuje model mírné zvýšení kladných hodnot vláhové bilance v nížinách a naopak jejich pokles v horských oblastech. V letech 2071–2100 rozdíly značně narůstají, takže například průměrná aktuální vláhová bilance pro oblast České republiky je o 20 % nižší než v referenčním období.

Pokles se projevuje ve všech nadmořských výškách. O více než 100 mm by se měla zmenšit aktuální vláhová bilance v horách, což bude znamenat menší odtok vody z této hydrologicky důležité oblasti. Jak je patrné z obrázku 260, ke zhoršení aktuální vláhové bilance dojde hlavně na jižní a střední Moravě, ale i na většině území Čech, včetně Polabí. Z těchto výsledků tak vyplývá snížení množství dostupné vody na našem území v poslední části 21. století.

### 7.3.5 Indexy extremity

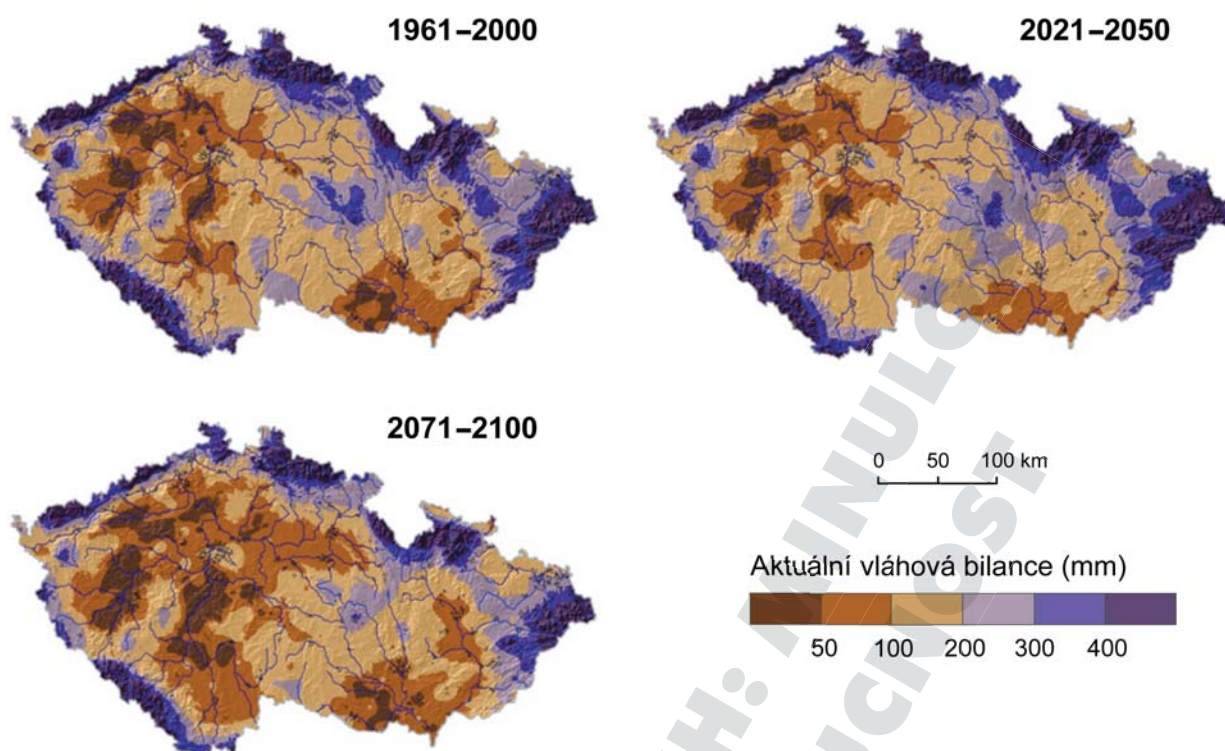
Pro dokreslení možné změny klimatu v budoucnosti lze použít také některé indexy extremity. Například v rámci projektu CECILIA byl sestaven seznam 131 takových indexů, opírajících se o teplotu vzduchu a srážky. V této kapitole jsou z nich vybrány roční počty tropických dnů, počty dnů bez srážek a počet dnů suché periody, jejichž změny mají rovněž vztah k vodní bilanci.

Tropický den (maximální teplota vzduchu  $\geq 30,0$  °C) se zpravidla vyskytne na našem území jen několikrát do roka (obr. 261), ale v posledních dvou dekádách se frekvence jejich výskytu zvyšuje. Tropické dny jsou nekomfortní jak pro člověka, tak i pro řadu fyziologických procesů v živých organizmech. Z pohledu vodní bilance přispívají ke zvýšení evapotranspirace a k rychlejšímu vysušování krajiny. Oproti šedesátým letům minulého století vzrostl v letech 2003–2014 jejich počet dvojnásobně. Nejvíce tropických dnů přibýlo v oblasti moravských úvalů a v Polabí, tedy v místech s důležitou zemědělskou činností. Simulace počtu tropických dnů modelem ALADIN-10 ukazují na růst jejich četnosti



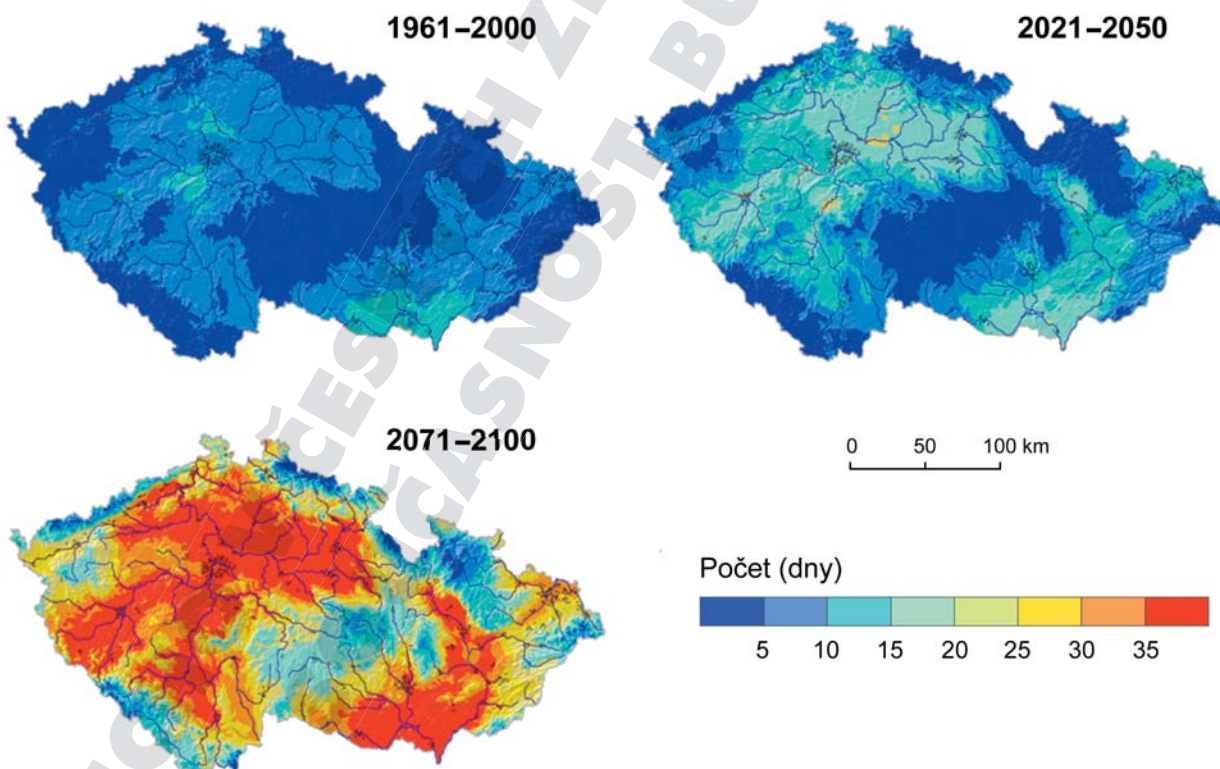
**Obr. 259.** Aktuální vláhová bilance pro jednotlivé kategorie nadmořské výšky v České republice (ČR) podle simulace modelem ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

**Figure 259.** Actual water balance for individual altitude categories in the Czech Republic (ČR) in simulations by the ALADIN-10 model for the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods



**Obr. 260.** Aktuální vláhová bilance (rozdíl srážek a aktuální evapotranspirace) na území České republiky podle simulace modelu ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

**Figure 260.** Actual water balance (difference between precipitation and actual evapotranspiration) in the Czech Republic simulated by the ALADIN-10 model for the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods



**Obr. 261.** Počet tropických dnů na území České republiky podle simulace korigovaného modelu ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

**Figure 261.** Number of tropical days in the Czech Republic simulated by corrected ALADIN-10 model with 10-km resolution in the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods



do budoucna. Tak v období 1961–2100 by měl statisticky významný lineární trend činit 2 dny za 10 let. Jak plyne z obrázku 261, zvýšení počtu tropických dnů je predikováno hlavně pro období 2071–2100. Zatímco průměrný počet tropických dnů pro oblast České republiky by měl vzrůst v letech 2021–2050 o 50 % oproti referenčnímu období 1961–2000, v posledním třicetiletí 21. století by už jejich počet měl být 4,5krát vyšší.

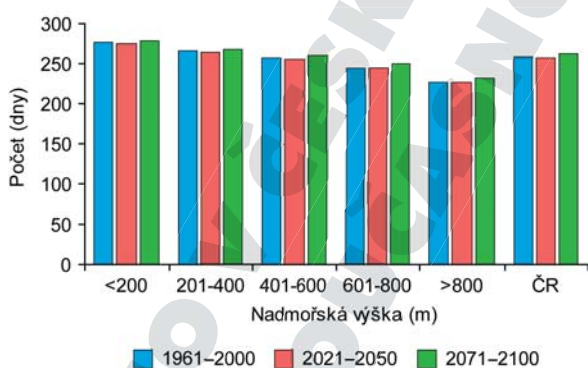
Pokud jde o roční počty dnů s úhrnem srážek  $\leq 1,0$  mm („bezsrážkový“ den), překrývá jejich meziroční variabilita dlouhodobé trendy, které jsou statisticky nevýznamné. Predikce jejich počtu podle modelu ALADIN-10 pro různé kategorie nadmořské výšky na území České republiky ukazuje spíše na nevýznamné změny (obr. 262). Jak lze očekávat, nejvíce „bezsrážkových“ dnů se vyskytne v nížinách a s rostoucí nadmořskou výškou jejich počet klesá. Zatímco v letech 2021–2050 v porovnání s referenčním čtyřicetiletím by se měl počet těchto dnů mírně snížit, v období 2071–2100 by měl jejich počet vzrůst v průměru asi o tři dny. Zkoumání geografických rozdílů v počtu těchto dnů ukázalo v blízké budoucnosti jejich pokles hlavně v oblasti jižních Čech a Šumavy. V období 2071–2100 je zaznamenatelný růst počtu studovaných dnů především v oblasti jižní Moravy a Českomoravské vrchoviny.

Počet dnů v suché periodě, tj. počet dnů se srážkovým úhrnem  $\leq 0,1$  mm v deseti po sobě jdoucích dnech, je nejvyšší hlavně na jižní Moravě, kde v referenčním období 1961–2000 činil kolem 65–80 dnů za rok (obr. 263). Nejméně těchto dnů připa-

dá na horské oblasti. Pokud se bere 65 dnů v suché periodě jako hranice mezi územím náchylnějším a méně náchylným k výskytu sucha, tak model ALADIN-10 simuluje sucho pro plochu zabírající 7,5 % z rozlohy České republiky. I když v období 2021–2050 zůstává tento procentuální podíl analogický, zvětšila se tato oblast na jižní Moravě a přibýlo míst, kde počet těchto dnů je vyšší než 80. K dalšímu nárůstu takto vymezené plochy až na 25 % rozlohy území České republiky by mělo dojít podle modelových výpočtů v letech 2071–2100 (obr. 264), kde na více než 7 % území by měl počet analyzovaných dnů překročit 80 a na 1,5 % území dokonce více než 95 dnů v roce. K původně nejpostiženějšímu regionu jižní Moravy se přidává i střední Morava spolu s další úrodnou oblastí Hané.

## 7.4 OČEKÁVANÉ DOPADY ZMĚNY KLIMATU A SUCHA NA ZEMĚDĚLSTVÍ

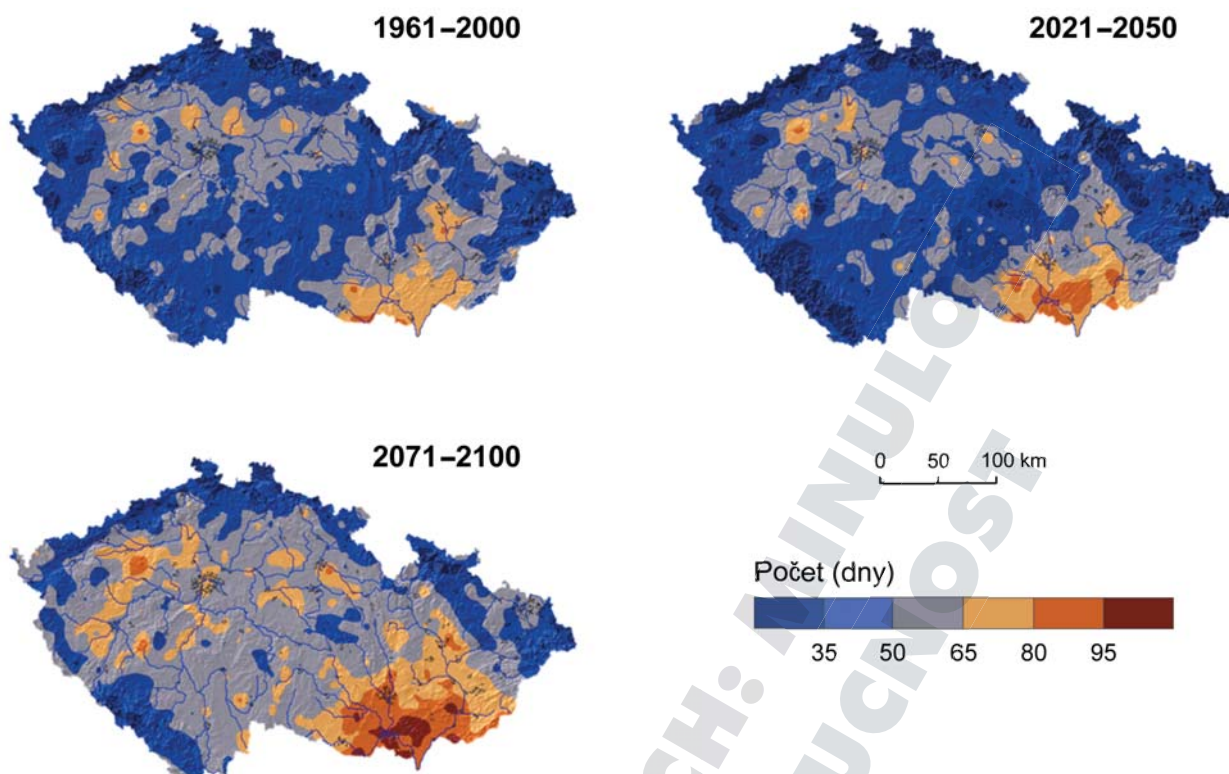
Očekávané změny klimatu popsané v kap. 7.2 a 7.3 nepochybně ovlivní různé sektory národního hospodářství. I když tyto změny mohou být dost výrazné (viz například obr. 243), v zemědělské praxi již lze pozorovat dopady probíhajícího zvýšení teploty vzduchu, které na území České republiky činilo v období 1961–2005 více než  $1^\circ\text{C}$  (Brázdil et al., 2009a). Dopady lze pozorovat především v primární produkci rostlinné výroby, a to jednak přímým ovlivněním růstu a vývoje rostlin (například změna trvání fenologických fází, výskyt chorob a škůdců), jednak následně změnou agroklimatických (stanovištních) podmínek (například posun výrobních oblastí či výskytu sucha). Výchozí příčinou zvyšování teploty vzduchu je antropogenně podmíněný nárůst koncentrací  $\text{CO}_2$  ve vzduchu a jeho schopnost absorbovat dlouhovlnné záření zemského povrchu. Tento plyn je však zásadní i pro život rostlin, neboť je zdrojem uhlíku, který rostlina asimiluje procesem fotosyntézy. Koncentrace  $\text{CO}_2$  ve vzduchu není pro tento proces optimální a při jeho zvyšování dojde i k vyššímu nárůstu biomasy. Podle experimentálních výzkumů reagují rostliny typu  $\text{C}_3$  na nárůst  $\text{CO}_2$  o každých 100 ppm vyšší tvorbou biomasy v řádu několika procent, zatímco u rostlin typu  $\text{C}_4$  je nárůst biomasy minimální. Pozitivním, fyziologicky podmíněným jevem u rostlin, vegetujících v podmínkách vyšší koncentrace uvedeného plynu, je zvýšení využitelnosti vody rostlinou, což však ostře kontrastuje s její očekávanou sníženou dostupností v důsledku nárůstu teplot vzduchu a změn v rozložení srážek (kap. 7.2 a 7.3).



**Obr. 262.** Počet dnů se srážkovým úhrnem  $\leq 1,0$  mm pro jednotlivé kategorie nadmořské výšky v České republice (ČR) podle simulace modelem ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

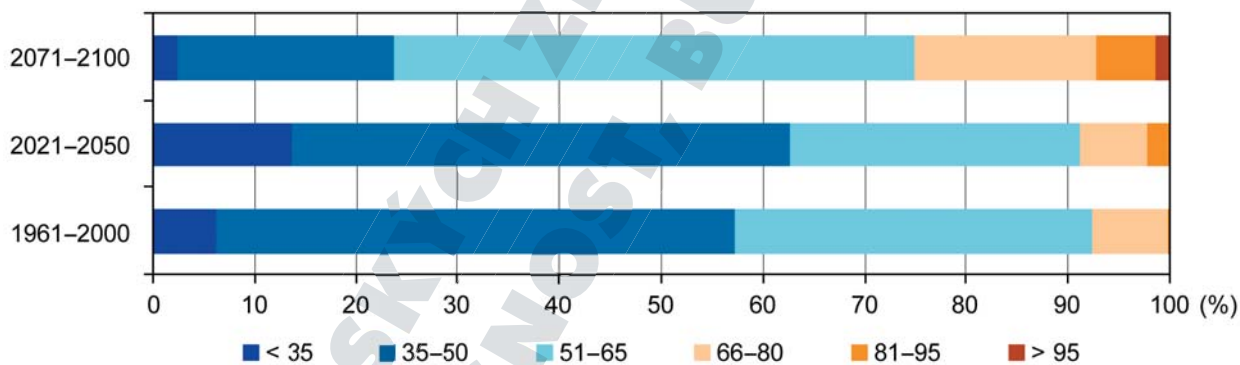
**Figure 262.** Number of days with precipitation total  $\leq 1,0$  mm for individual altitude categories in the Czech Republic (ČR) in simulations by the ALADIN-10 model for the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods





**Obr 263.** Počet dnů se srážkovým úhrnem  $\leq 0,1$  mm v deseti po sobě jdoucích dnech na území České republiky podle simulace korigovaného modelu ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

**Figure 263.** Number of days with precipitation totals  $\leq 0.1$  mm for ten consecutive days in the Czech Republic simulated by corrected ALADIN-10 model in the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods



**Obr. 264.** Kategorie počtu dnů v suché periodě podle procentuálního podílu na území České republiky podle simulace modelu ALADIN-10 pro období 1961–2000, 2021–2050 a 2071–2100

**Figure 264.** Categories of number of days in a dry period with respect to percentage ratio in the Czech Republic as simulated by the ALADIN-10 model for the 1961–2000, 2021–2050 and 2071–2100 periods

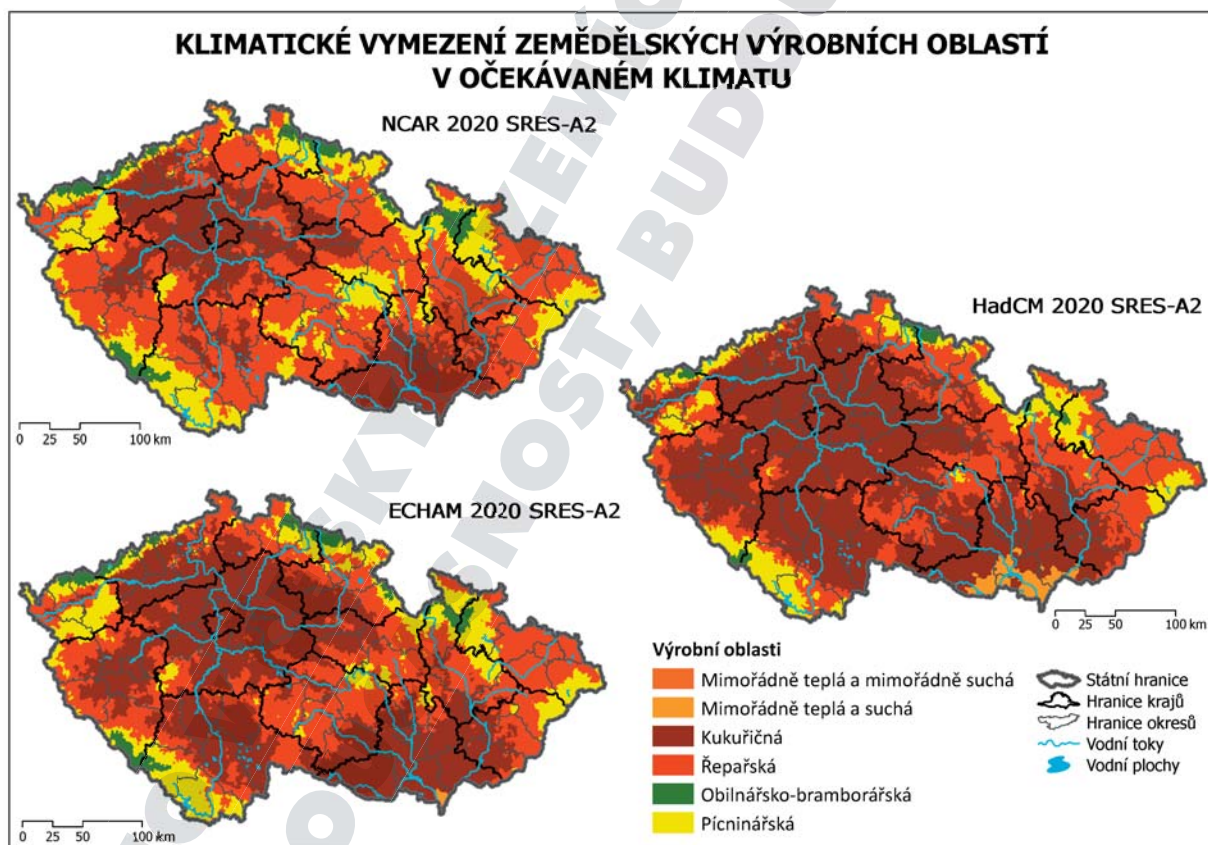
Významnou skutečností je, že roste teplota všech ročních období, i když u některých měsíců (například květen) je trend výraznější. Vzestupem teploty vzduchu jsou ovlivňovány další meteorologické prvky (například srážky, vlhkost vzduchu, vítr) a s nimi související významné faktory a procesy (například vlhkost půdy, hladina podzemní vody, reálná a potenciální evapotranspirace). Jedním z projevů je evidentní posun současných výrobních oblastí (obr.

185b) tak, jak je definoval Němec (2001), resp. Trnka et al. (2009b). Dopady globální klimatické změny na agroklimatické podmínky v České republice budou značné a jejich rozsah je dobře patrný z obrázků 265–266. Z jejich porovnání plyne, že lze očekávat velmi výrazný ústup agroklimatických podmínek vymezujících pícninářskou a obilnářsko-bramborářskou výrobní oblast. Současně s tím se bude zvětšovat plocha s podmínkami odpovídajícími řepář-

ské a kukuřičné oblasti (podle některých odhadů až na 4/5 území). Na jižní Moravě se již v horizontu příští dekády očekávají agroklimatické podmínky, charakterizované velmi vysokou teplotní sumou nad 10 °C v kombinaci s výrazným vodním deficitem, tedy podmínky na našem území dosud neznámé.<sup>92</sup> Na první pohled se změna agroklimatických podmínek může jevit jako relativně příznivá, neboť zóny se suboptimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány oblastmi s lepším klimatem řepařské výrobní oblasti. Zároveň ale dochází k „pronikání“ kukuřičné výrobní oblasti a sušších agroklimatických režimů do klíčových oblastí střední Moravy a Polabí, kde se v současnosti setkáváme téměř s optimální kombinací klimatických a půdních podmínek pro bezzávlahové

zemědělství, tj. s řepařskou výrobní oblastí na kvalitních půdách. Přitom ale oblasti, ve kterých dochází k přechodnému zlepšení agroklimatických podmínek, se nemohou srovnávat s oblastí Hané ani Polabí co do kvality půdy. Nástup teplejších, leč většinou sušších ročníků, znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta, a to i v oblastech, kde se těmito problémům nemuselo dosud čelit. S přihlédnutím k dnes uznávaným scénářům vývoje budoucího klimatu se stane pěstování plodin bez využití závlah postupně nerentabilní i v oblastech úvalů a Polabí. Na druhé straně lze očekávat, a současné výsledky tomu nasvědčují, že dosud produkčně okrajové oblasti, jako například Českomoravská vrchovina, mohou z této změny do jisté míry profitovat, neboť odpadne řada klimatických limitů pro pěstování zemědělských plodin. Naplněním výše uvedených odhadů tak může dojít k posunu

<sup>92</sup> Bude patrně třeba nalézt i vhodné pojmenování nových výrobních oblastí (pokud bude podobný typ klasifikace vůbec smysluplné používat).



**Obr. 265.** Odhad agroklimatických podmínek na území České republiky kolem roku 2020 podle modelů NCAR, HadCM a ECHAM při použití emisního scénáře SRES-A2 a vysoké citlivosti klimatického systému na nárůst koncentrací  $\text{CO}_2$ , což odpovídá přibližně nárůstu teploty o 1 °C vzhledem k období 1961–1990, resp. o 0,5 °C oproti letům 1961–2000

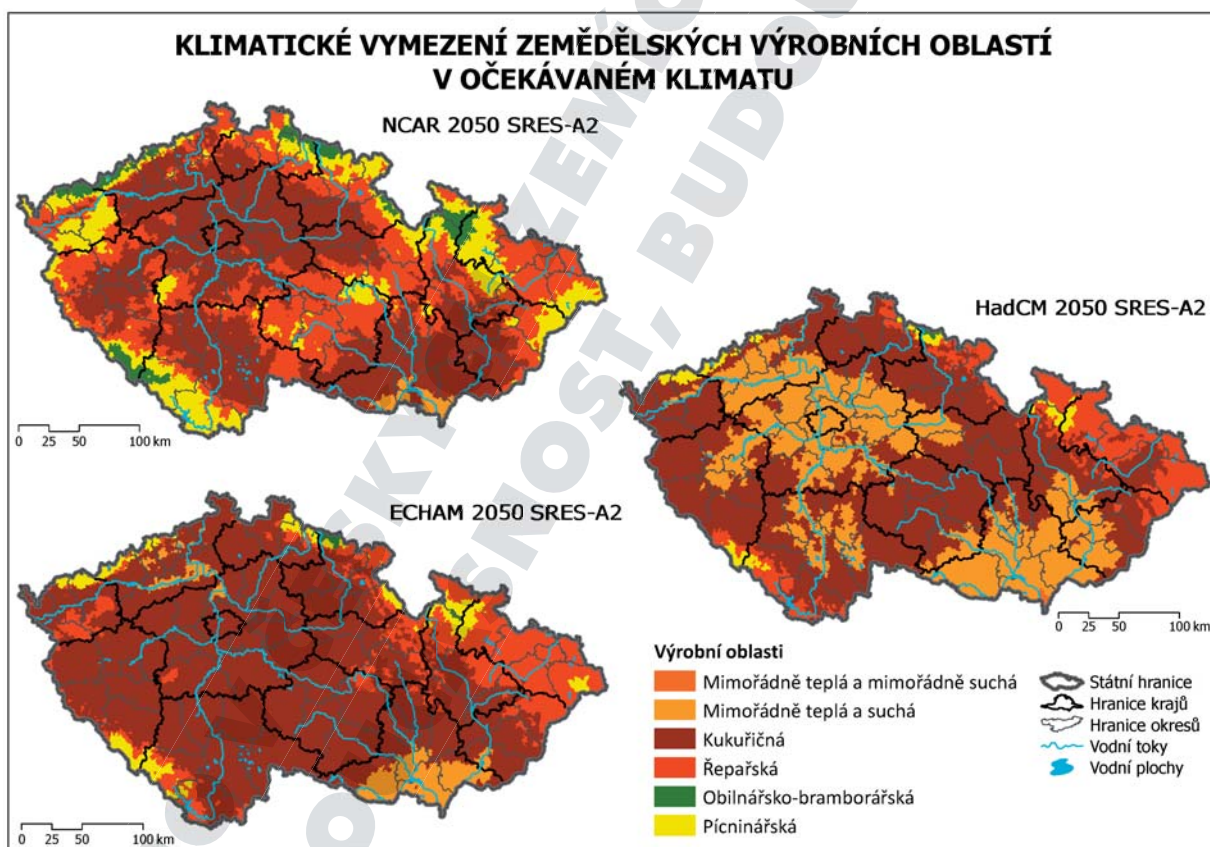
**Figure 265.** Estimation of agro-climatic patterns over the territory of the Czech Republic around 2020 in terms of NCAR, HadCM and ECHAM models using the SRES-A2 emission scenario and assuming high sensitivity of the climate system to an increase in  $\text{CO}_2$  concentrations. This corresponds to an approximate increase in mean annual temperature of 1 °C compared to 1961–1990 and 0.5 °C compared to 1961–2000



agroklimatických podmínek, nemajícím na našem území obdoby minimálně v novodobých dějinách zemědělství. Změna nastane nikoli během století, ale spíše dekad, přičemž adaptace bude ztížena panující nejistotou v odhadech budoucího vývoje klimatu (obr. 265–266). Využití map výrobních oblastí umožňuje velmi efektivně zachytit hlavní charakter vlivu očekávaných změn klimatu na zemědělskou výrobu. Současně lze konstatovat, že již pozorovaný posun v rozložení výrobních oblastí v zásadě souhlasí s pozorovanými změnami v České republice v posledních 15 letech.

Z pohledu dopadů není významná jen změna trendů základních meteorologických prvků, ale i nárůst jejich variability či frekvence výskytu (viz například obr. 264). Jak již bylo naznačeno, změna klimatu ovlivní především rostlinnou výrobu, která zabezpečuje nejen potraviny, ale i krmiva a další suroviny. V devadesátých letech minulého století byly

do zemědělské praxe uváděny nové typy odrůd s vysokou výkonností na jedné straně a současně s vyšší citlivostí vůči abiotickým stresům na druhé straně (sucho, nízké teploty vzduchu). V současné době je odolnost proti suchu a schopnost dobrého přežívání (pšenice ozimá, řepka ozimá) základem řady šlechtitelských programů, zvláště pro odrůdy určené do nižších středních poloh. Prostřednictvím rostlinné výroby je a bude ovlivněna i živočišná výroba, potravinářství a navazující zpracovatelské obory. Změna klimatu ovlivní kromě produkčních ekosystémových služeb i služby regulační (například regulace zdrojů vody, kvality půdy, podnebí, chorob) a kulturní (například rekreační, turistické, vzdělávací). Důsledkem budou významné socio-ekonomické dopady, které spolu s dalšími faktory jako je zvýšená spotřeba přírodních zdrojů, urbanizace nebo změny ve využívání ploch budou zvyšovat zranitelnost krajiny. Z pohledu zemědělství lze dopady těchto změn



**Obr. 266.** Odhad agroklimatických podmínek na území České republiky kolem roku 2050 podle modelů NCAR, HadCM a ECHAM při použití emisního scénáře SRES-A2 a vysoké citlivosti klimatického systému na nárůst koncentrací  $\text{CO}_2$ , což odpovídá přibližně nárůstu teploty o  $2,5\text{ }^\circ\text{C}$  vzhledem k období 1961–1990, resp. o  $2\text{ }^\circ\text{C}$  oproti letům 1961–2000

**Figure 266.** Estimation of agro-climatic patterns over the territory of the Czech Republic around 2050 in terms of NCAR, HadCM and ECHAM models using the SRES-A2 emission scenario and assuming high sensitivity of the climate system to an increase in  $\text{CO}_2$  concentrations. This corresponds to approximate increases in mean annual temperature of  $2.5\text{ }^\circ\text{C}$  compared to 1961–1990 and  $2\text{ }^\circ\text{C}$  compared to 1961–2000



sledovat z časového (tj. kdy a jak se projevují v průběhu roku) a faktického (tj. jak se projevují na růstu a vývoji rostlin) hlediska.

### 7.4.1 Dopady změny klimatu na zemědělství v průběhu roku

Základem odhadu dopadů klimatu na zemědělství je v krátkodobém (2021–2050) i v dlouhodobém (2071–2100) časovém horizontu vzestup průměrné roční teploty vzduchu na našem území v ročním průměru asi o 1,4–1,9 °C, resp. o 2,7–4,7 °C, kdy oteplení v létě se jeví o něco vyšší než v ostatních ročních obdobích (tab. 25). Značná nejistota se pak týká odhadů srážek, nicméně lze očekávat spíše mírné zvýšení ročních úhrnů s pravděpodobným poklesem jejich množství v letních měsících. Velká nejistota v odhadech pro konec 21. století plyne

z nejistot v emisích radiačně-aktivních plynů (viz kap. 7.1–7.3).

#### 7.4.1.1 Zima

Pozorované a nadále očekávané zkracování trvání sněhové pokrývky v zimních měsících, zvláště ve středních a nižších polohách, zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (tj. výskytu mrazů bez sněhové pokrývky) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněné izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. V této souvislosti je třeba dodat, že již 5 cm sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývka prakticky eliminuje i účinky silných mrazů. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových (maximální teplota vzduchu  $\leq -0,1$  °C) i arktických (maximální teplota

**Tab. 25.** Aditivní změny průměrných sezonních a ročních teplot vzduchu a relativní změny množství srážek (průměr  $\pm$  směrodatná odchylka) v České republice v obdobích 2021–2050 (kurzíva) a 2071–2100 (tučně) vzhledem k referenčnímu období 1961–1990 podle simulací regionálních klimatických modelů (RCM – ALADIN-10, ALADIN-25, RegCM-10) pro scénář SRES-A1B a na základě 40 globálních klimatických modelů CMIP5 pro scénáře SRES-A1B, SRES-A2, RCP4.5 a RCP8.5

**Table 25.** Additive changes in mean seasonal and annual air temperatures and relative changes in precipitation totals (mean  $\pm$  standard deviation) in the Czech Republic for the 2021–2050 (italics) and 2071–2100 (bold) periods with respect to the 1961–1990 reference period, after simulations of regional climate models (RCM – ALADIN-10, ALADIN-25, RegCM-10) for the SRES-A1B scenario and based on 40 CMIP5 global climate models for the SRES-A1B, SRES-A2, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

Změna teploty vzduchu (°C)						
Emisní scénář	Model	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
SRES-A1B	RCM	1,4±0,1 <b>3,1±0,2</b>	1,4±0,4 <b>3,8±0,4</b>	1,4±0,1 <b>3,3±0,2</b>	1,5±0,2 <b>3,3±0,4</b>	1,4±0,2 <b>3,4±0,1</b>
	GCM-CMIP5	1,4±0,4 <b>3,3±0,4</b>	1,9±0,6 <b>4,1±1,4</b>	1,7±0,5 <b>3,5±1,0</b>	1,6±0,4 <b>3,4±1,0</b>	1,7±0,2 <b>3,5±0,9</b>
SRES-A2	GCM-CMIP5	1,2±0,3 <b>3,2±0,8</b>	1,7±0,6 <b>4,4±1,4</b>	1,4±0,4 <b>3,7±1,1</b>	1,4±0,4 <b>3,6±1,0</b>	1,4±0,2 <b>3,4±0,1</b>
RCP4.5	GCM-CMIP5	1,4±0,4 <b>2,3±0,6</b>	1,9±0,6 <b>3,2±1,1</b>	1,6±0,5 <b>2,7±0,8</b>	1,6±0,4 <b>2,6±0,7</b>	1,6±0,4 <b>2,7±0,7</b>
RCP8.5	GCM-CMIP5	1,6±0,4 <b>4,0±1,0</b>	2,2±0,7 <b>5,5±1,8</b>	1,9±0,6 <b>4,7±1,4</b>	1,8±0,5 <b>4,5±1,3</b>	1,9±0,5 <b>4,7±1,2</b>
Změna srážek (%)						
Emisní scénář	Model	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
SRES-A1B	RCM	2,8±4,0 <b>9,3±5,4</b>	9,1±1,5 <b>-6,8±6,3</b>	19,8±1,6 <b>15,5±7,7</b>	-8,2±7,4 <b>4,5±11,8</b>	4,5±6,5 <b>4,5±6,5</b>
	GCM-CMIP5	3,7±4,4 <b>7,8±9,4</b>	-4,8±6,6 <b>-10,1±14,0</b>	1,9±4,6 <b>4,0±9,8</b>	5,3±4,3 <b>11,3±9,6</b>	0,7±3,3 <b>1,4±6,9</b>
SRES-A2	GCM-CMIP5	3,2±3,8 <b>8,3±10,0</b>	-4,1±5,7 <b>-10,8±14,9</b>	1,6±4,0 <b>4,3±10,4</b>	4,6±3,9 <b>12,0±10,2</b>	0,6±2,8 <b>1,5±7,3</b>
RCP4.5	GCM-CMIP5	3,7±4,4 <b>6,0±7,3</b>	-4,8±6,6 <b>-7,9±10,9</b>	1,9±4,6 <b>3,1±7,6</b>	5,3±4,5 <b>8,8±7,5</b>	0,7±3,2 <b>1,1±5,3</b>
RCP8.5	GCM-CMIP5	4,2±5,1 <b>10,5±12,7</b>	-5,4±7,5 <b>13,7±18,9</b>	2,2±5,2 <b>5,5±13,2</b>	6,1±5,2 <b>15,3±13,0</b>	0,8±3,7 <b>1,9±9,3</b>

vzduchu  $\leq -10$  °C) dní, nelze jejich výskyt vyloučit. V případě mrazů lze především u pšenice ozimé a řepky ozimé pozorovat regionální poškození, kdy buď voda v rostlině zamrzne, zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva, nebo voda zamrzne v půdě, následně dojde k jejímu pohybu a poškození kořenového systému, či při častějším střídání vyšších a nižších teplot k vytahování rostlin. Naopak díky vyšším teplotám lze očekávat více srážek v podobě deště, což způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce, popř. i její tání, takže se snižuje množství vody, které se z ní může uvolnit při tání na začátku vegetačního období. Jak ukazuje kap. 7.6, dojde pravděpodobně k poklesu průtoků na většině toků, což opět negativně ovlivní zemědělství i ovocnářství. Všechny tyto důsledky lze v posledních letech pozorovat v zemědělsky intenzivně využívaných oblastech Polabí či jižní a střední Moravy. Zima bez sněhu, popř. s kratší dobou trvání nebo s menší výškou sněhové pokrývky, tak vytváří příznivé podmínky pro nástup jarního sucha.

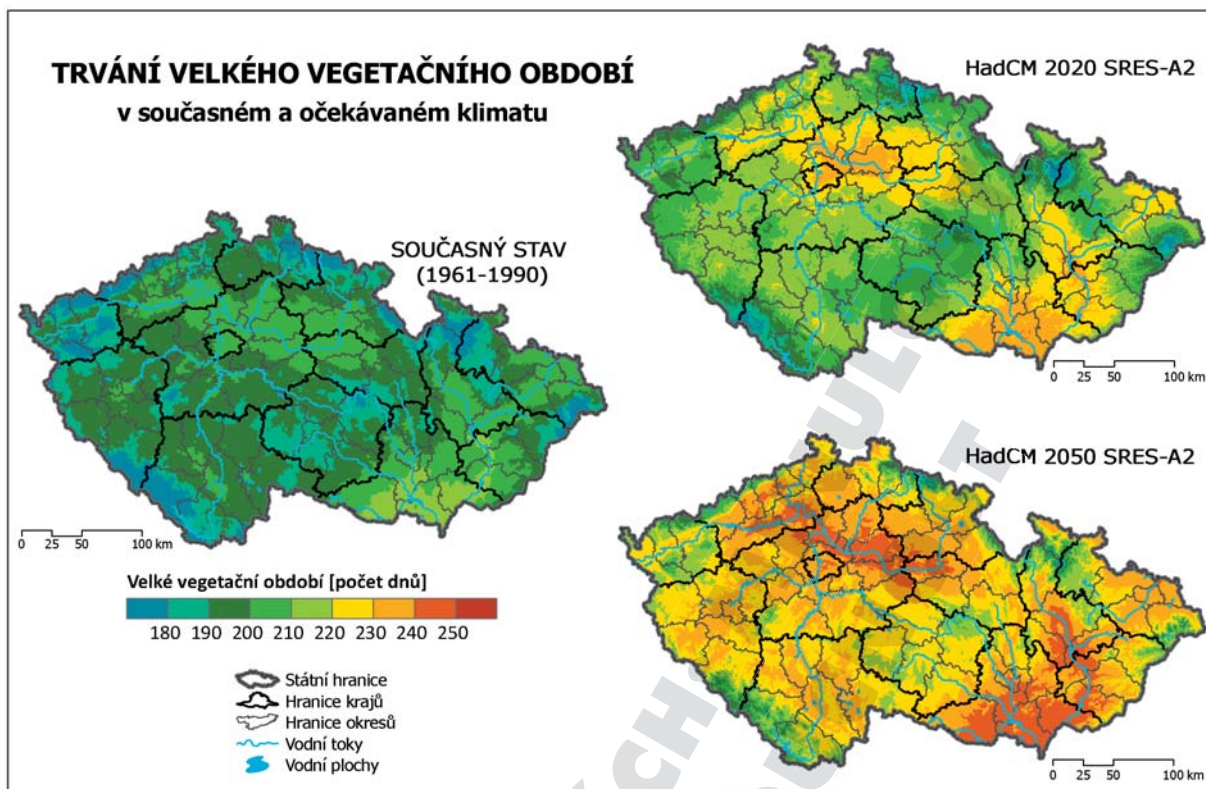
S teplotami v zimě souvisí také přezimování (diapauza) škůdců, kdy některé druhy mohou být napadeny predátory a prakticky se v daném roce neobjeví. I když existuje poměrně rozšířená představa, že teplé zimy podporují rozvoj škůdců, je to ve střední Evropě až na výjimky naopak. Převážná většina střeoevropských škůdců totiž přečkává zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě (často pod bodem mrazu) a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdárný vývoj je proto nevhodnější dlouhá, mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 °C vedou k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také například vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Pokud se tedy klimatická změna projeví nástupem mírnějších zim, bude většina střeoevropských škůdců ovlivněna negativně a význam některých může klesat. Zimním oteplením tak budou pozitivně ovlivněny jen nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje a při ochlazení pouze snižují aktivitu. Bezmrázové zimy mohou pozitivně ovlivnit také některé migranty, kteří k nám dosud pronikají většinou jen sezonně.

Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nemá významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí kterých přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhou dobu (i několika let) v půdě (sklerocia; chlamydo-spory).

Mezi ně patří některé druhy zařazené do rodů *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia* aj. U druhů přezimujících na hostitelských rostlinách nebo jejich zbytcích a tvořících primární inokulum na napadených rostlinných pletivech (rody *Alternaria*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Erysiphe* aj.) se projevuje vyšší škodlivost vlivem lepších podmínek přezimování. Výskyt mírných zim povede také k rozšíření přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách (například blínu černého *Hyoscyamus niger*). Vyšší konkurenční schopnost plevelů v zimním období je tedy novým prvkem, který může významně ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období.

#### 7.4.1.2 Jaro

Jaro je z pohledu zemědělství nejvýznamnějším ročním obdobím, neboť se v něm provádí nejvíce agrotechnických zásahů a současně probíhá intenzivní růst a vývoj rostlin. Očekávané zvyšování jarních teplot povede k dřívějšímu nástupu velkého (průměrná denní teplota vzduchu je  $\geq 5$  °C) a hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je  $\geq 10$  °C) vegetačního období (obr. 267). Velké vegetační období bude v nižších polohách začínat již počátkem března a končit v poslední dekádě října. Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivní růst a především vývoj plodin tak, že bude docházet stále častěji k dřívějšímu vzcházení a nástupu dalších fenofází, včetně fyziologické zralosti. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2050 mohlo být uspišeno v polohách do 400 m n. m. o 10–14 dnů a ve vyšších polohách o 15–20 dnů. Zrychlí se také dosažení určitých teplotních sum jako limitních podmínek jednotlivých fenologických fází. Dřívější zahájení vegetačních období však není vždy pozitivním faktorem. Časně se vyvíjející vegetace, především v případě vinohradů a ovocných sadů, je vystavena vyššímu riziku mrazu při vpádech studeného vzduchu nebo při nočním radiačním ochlazení. V důsledku poklesu půdní vlhkosti, způsobeného jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce a jednak dřívější aktivitou vegetace (a tedy vyšší potřebou vláhy na transpiraci), dochází a bude docházet k častějšímu výskytu jarního sucha. To bude podpořeno i přímým vzestupem teploty vzduchu, způsobujícím zvýšení neproduktivní evaporace. Časný začátek jara v kombinaci s výskytem sucha si tak vyžádá větší rozšíření suchovzdorných odrůd či přímo plodin (čirok, proso), stejně jako výsadbu teplotemilných odrůd vinné révy (zvláště červených), a to i přes riziko pozdních jarních mrazů.



**Obr. 267.** Odhadované průměrné trvání velkého vegetačního období v České republice definovaného jako souvislé období bez sněhové pokrývky s průměrnou teplotou vzduchu trvale  $\geq 5^\circ\text{C}$  a minimální teplotou neklesající pod  $-2^\circ\text{C}$  pro současný stav (1961–1990) a období kolem roku 2020 a 2050 s použitím modelu HadCM pro emisní scénář SRES-A2

**Figure 267.** Estimated mean duration of the vegetation season in the Czech Republic, defined as a continuous period with mean daily temperatures  $\geq 5^\circ\text{C}$ , without snow cover and with daily minimum temperatures above  $-2^\circ\text{C}$ , for the present situation (1961–1990) and time horizons centred around the years 2020 and 2050, based on the HadCM model and the SRES-A2 emission scenario

V kontextu přezimování a následné jarní aktivity chorob a škůdců je třeba zmínit také jarní kumulaci abiotických a biotických stresů. Suchem či mrazy oslabené a poškozené porosty jsou snazším cílem veškerých patogenů, protože abiotické stresy snižují nejen odolnost samotných plodin či dřevin, ale často i účinnost fungicidů a pesticidů.

#### 7.4.1.3 Léto

V létě souvisejí očekávané dopady klimatické změny především s nárůstem teploty vzduchu, úbytkem srážek, změnou v jejich rozložení a s výskytem hydrometeorologických extrémů. Zvyšující se počet letních (denní maximální teplota  $\geq 25,0^\circ\text{C}$ ) a tropických dnů (obr. 261) a s nimi spojených horkých vln ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny, a to i v situaci, kdy je v půdě relativní dostatek vláhy. Dosavadní analýzy (např. Trnka et al., 2013) ukazují, že půdní vlhkost v průběhu letních měsíců poklesne a obdobně jako na jaře se objeví nárůst zemědělského sucha. Dopady sucha na plodiny budou stále

častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Budou k tomu přispívat i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a pravděpodobně i nižší objemy vody v nádržích, které by byly potenciálním zdrojem vody pro závlahy (kap. 7.6). Právě v době její nejvyšší potřeby bude nejméně disponibilní vody, což bude komplikovat využití závlahových systémů, které by v budoucnu mohly produkční úroveň stabilizovat nebo i zvýšit. Samozřejmostí se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. Velkoplošné závlahy nepřipadají patrně vzhledem k množství disponibilní vody v úvahu. Důsledkem pro zemědělskou prvovýrobu bude i stále vyšší počet soudních sporů, v nichž budou předmětem dopady sucha.<sup>93</sup>

<sup>93</sup> Reakcí na tyto skutečnosti je společná aktivita ministerstev zemědělství a životního prostředí, spočívající v přípravě tzv. Fondu nepojistitelných rizik, který by měl poskytovat zemědělským subjektům ochranu v případě výskytu komerčně nepojistitelných (nebo obtížně pojistitelných) agroklimatických extrémů.



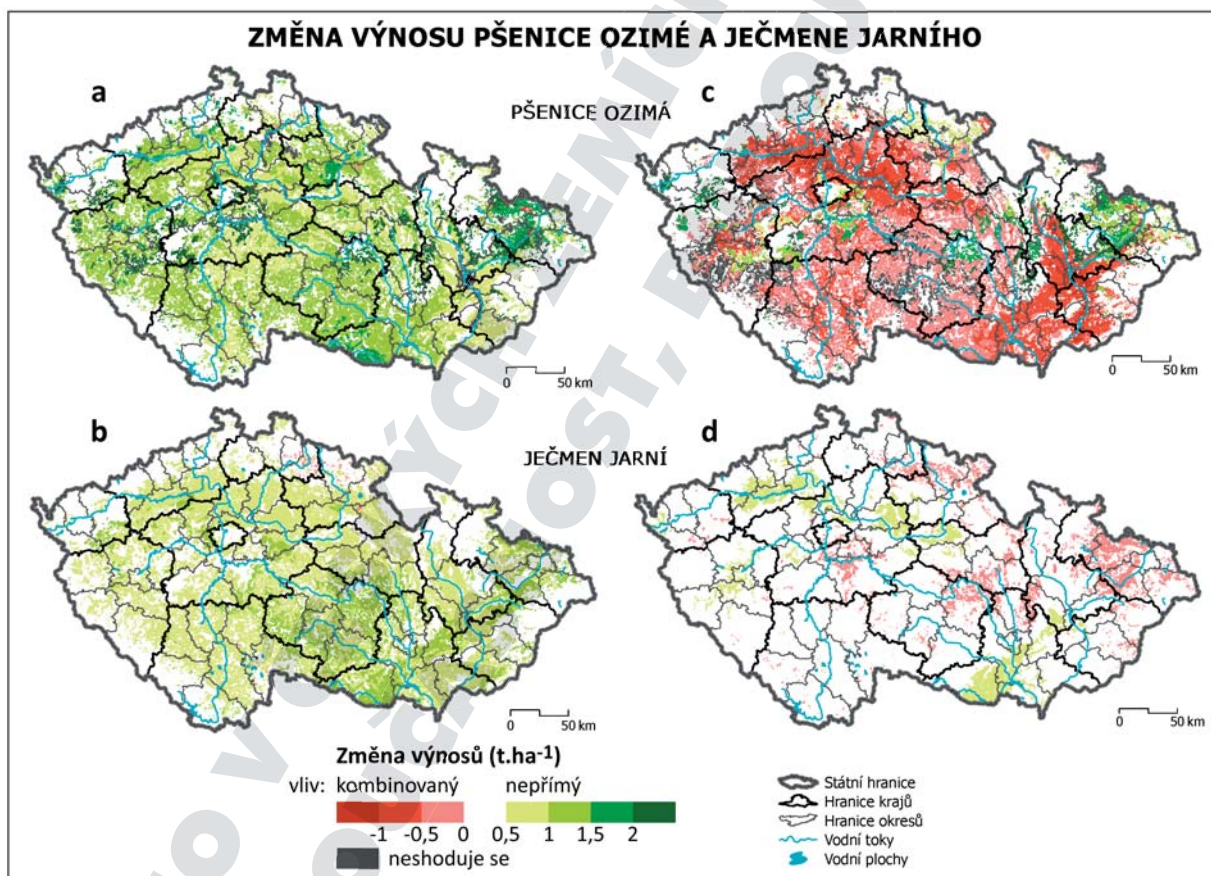
#### 7.4.1.4 Podzim

Podzim je významný z pohledu sklizně některých plodin (některé ovoce, vinná réva, kukuřice na zrno) a zakládání porostů ozimých obilnin. Z pohledu dopadů klimatické změny jde o roční období s relativně nejmenšími dopady na zemědělství. V nejnižších polohách se stanou podzimní měsíce součástí velkého vegetačního období a prodlouží se počet dnů umožňujících růst a vývoj ozimů. I když se v současné době projevuje spíše nárůst podzimních srážek a zvýšení teploty vzduchu vyvolá vyšší evapotranspiraci, nemohou mít případné dopady na rostliny takový vliv jako na jaře nebo začátkem léta.

#### 7.4.2 Dopady změny klimatu na výnosy polních plodin

Mění se klima ovlivňuje široký komplex mechanismů a procesů určujících úroveň výnosů v rámci

rostlinné výroby (například Žalud, ed., 2009). Kombinují se zde jak pozitivní, tak negativní vlivy, jejichž poměr a význam se bude dále měnit. Mezi pozitivní faktory lze řadit například rostoucí koncentrace  $\text{CO}_2$ , stimulující fotosyntézu a vedoucí k efektivnějšímu hospodaření rostlin s vodou, vyšší teplotní sumy nebo delší vegetační období (obr. 267). Mezi negativa patří vyšší pravděpodobnost výskytu a intenzity sucha, rychlejší vývoj vegetace (tj. kratší doba k tvorbě biomasy u stávajících odrůd), vyšší riziko stresu vysokými teplotami v průběhu citlivých vývojových fází, vyšší riziko výskytu povodní nebo negativně působící intenzivní srážkové epizody. Obrázek 268 ukazuje změnu průměrné úrovně výnosů pro pšenici ozimou a ječmen jarní při aplikaci vybraného růstového modelu v období kolem roku 2050. Při uvážení možných klimatických podmínek a pozitivního vlivu vyšší koncentrace  $\text{CO}_2$  lze pro obě významné



**Obr. 268.** Odhad změny průměrných výnosů pšenice ozimé (a, c) a ječmene jarního (b, d) v České republice pro období kolem roku 2050 s využitím scénáře SRES-A2 vzhledem k referenčnímu období 1961–1990. Odhad je založen na využití modelů CERES-Wheat a CERES-Barley. Výpočet zohledňuje vliv změny klimatických podmínek (c, d), který doplňuje o započtení přímého vlivu zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  (a, b) (upraveno podle Eitzingera et al., 2013)

**Figure 268.** Estimated yield levels of winter wheat (a, c) and spring barley (b, d) in the Czech Republic around 2050 based on the SRES-A2 scenario with respect to the 1961–1990 reference period. The estimate is based on the CERES-Wheat and CERES-Barley models. The calculation takes into account the influence of changed climatic patterns (c, d) supplemented by the direct effect of increased  $\text{CO}_2$  concentrations (a, b) (modified after Eitzinger et al., 2013)

obiloviny předpokládat v některých regionech nárůst průměrných výnosů až o 1,5 tuny (ječmen) či 2,0 tuny (pšenice) na hektar. Pokud by se ale nezapočítával přímý vliv koncentrací CO<sub>2</sub> (stimulace fotosyntézy a zvýšení efektivity využití vody), pak by pravděpodobně došlo k poklesu průměrné výnosové úrovně v případě pšenice ozimé na většině orné půdy (v některých regionech i o více než jednu tunu na hektar) v důsledku kombinace vyšších teplot a nedostatku vláhy (Eitzinger et al., 2013).

Situace se bude lišit pro jednotlivé regiony, kdy v chladnějších regionech zavládnou příznivější podmínky, zatímco v suchých a teplých regionech bude růst význam nepříznivých situací. Zvýhodněny budou teplomilné plodiny a odrůdy. Podle Hlavinky et al. (2015) bude v případě naplnění sušších scénářů změny klimatu velmi komplikované udržet v nejteplejších oblastech České republiky současnou úroveň průměrných výnosů pro ječmen jarní, pšenici ozimou, kukuřici a řepku ozimou. Kromě kukuřice se dá očekávat i nárůst ročníků s dramatickými propady výnosů. Kvůli nedostatku vody bude v některých letech problematické úspěšné pěstování meziplovin, které mohou díky spotřebované půdní vláze způsobit problémy následující cílové plodině. Naproti tomu nárůst průměrné úrovně výnosů nejvýznamnějších plodin lze očekávat ve vyšších polohách. Situace na jednotlivých pozemcích bude ovlivněna stávajícími půdními vlastnostmi z hlediska retenční kapacity a celkové úrodnosti půdy, případně charakterem terénu. Uvedené výsledky vycházejí z předpokladu udržení kvality půd ve stejném stavu jako v současnosti. Zhoršení půdních vlastností by se samozřejmě promítlo negativně do budoucích výnosů. Při změně dostupnosti půdní vláhy bude v některých oblastech problematická i stabilní produkce trvalých travních porostů.

Jak plyne z prací Eitzingera et al. (2013) a Hlavinky et al. (2015), lze rovněž očekávat nárůst meziroční variability výnosů zemědělských plodin díky zvýšené frekvenci a intenzitě pro rostlinnou produkci nepříznivých významných epizod sucha, výskytu stresu vysokými teplotami v citlivých vývojových fázích, poškození nízkými teplotami apod. To se v konečném důsledku může projevit až fatálními následky v případě některých sezon a regionů. Otázkou zůstává, do jaké míry jsou růstové modely schopné predikovat dopady těchto extrémních budoucích situací (vzhledem k problematické kalibraci za současných podmínek). Analogií budoucích situací může být stávající hodnocení agroklimatických podmínek a nepříznivých situací (k hodnocení potenciálních

budoucích problémů na příkladu ozimé pšenice viz také Trnka et al., 2014c).

Další otevřenou otázkou zůstává tlak chorob a škůdců, které pro prognózy budoucích výnosů nejsou zatím uvažovány. Další neznámou z hlediska budoucnosti jsou vlastnosti nových odrůd. I přes svá omezení hraje modelování budoucích agroklimatických podmínek bezesporu nezastupitelnou úlohu v definování nejvýznamnějších očekávaných rizik, na která by výzkum, vývoj (včetně šlechtitelských aktivit týkajících se odolnosti k suchu a k vysokým teplotám) a praxe (například využití lokálních závlah, větší zastoupení teplomilných plodin jako kukuřice, slunečnice či sója) měly reagovat.

### 7.4.3 Dopady změny klimatu na půdu

Půda je pro zemědělství základní a nenahraditelný výrobní prostředek. Jakékoliv změny v jejím složení se okamžitě projeví na polní produkci. V kontextu očekávaného dopadu změny klimatu na produkci se vedle sucha jeví jako nejzávažnější zvyšující se eroze půdy. Pokud se nebudou důsledně aplikovat protierozní opatření, lze při vyšším výskytu intenzivních srážek, mnohdy dopadajících na vyschlou půdu, očekávat výrazně intenzivnější erozní projevy. Tomu často napomáhá jednostranné zaměření českého zemědělství na rostlinnou výrobu s nízkým podílem víceletých pícnin a trvalých travních porostů. Navíc diverzita pěstovaných kultur je nízká a je dávana přednost okamžitým ekonomickým přínosům před dlouhodobě udržitelným hospodařením, kdy například pěstování kukuřice pro bioplynové stanice je realizováno v nevhodných (kopcovitých) oblastech, často s nevhodnou agrotechnikou, a je nevyhnutelně provázáno vysokými objemy erozního smyvu.

Změnou vlhkostního režimu půdy v současných a v budoucích klimatických podmínkách se zabývali Trnka et al. (2013), kteří k tomu použili půdně-vlhkostní (hydrické) režimy popisující přítomnost nebo absenci půdní vody dostupné pro rostliny ve specifických půdních horizontech v definovaných obdobích roku (Soil Survey Staff, 1975).<sup>94</sup> Analýza půdního klimatu v této monografii vychází z denních údajů 125 stanic v České republice a 20 stanic v Rakousku v období 1961–2000. Z celkového počtu 12 hydrických režimů se jich na našem území vyskytovalo šest (jejich popis viz tabulka 26).

Dominantním režimem v období 1961–2000 byl v České republice suchý tempudický režim (49 % území), který se vyznačuje příznivými vlhkostními

<sup>94</sup> K tomuto viz model SoilClim (kap. 3.1.2).

**Tab. 26.** Základní kritéria definující hydrické režimy půd na území České republiky (Trnka et al., 2013)**Table 26.** Basic criteria defining the soil moisture regimes in the territory of the Czech Republic (Trnka et al., 2013)

Režim	Základní kritéria pro definování hydrických režimů
perudický	Rozdíl mezi dlouhodobými průměry množství srážek a referenční evapotranspirací je ve všech měsících, včetně letních, vyšší než nula.
typicky udický	Rozdíl mezi ročním úhrnem srážek a referenční evapotranspirací se pohybuje mezi 175–449 mm a současně je alespoň 330 dnů, v nichž je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční kapacity.
subhumidně udický	Rozdíl mezi ročním úhrnem srážek a referenční evapotranspirací je menší než 175 mm a současně je alespoň 330 dnů, v nichž je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční kapacity.
suchý tempudický	Počet dnů, v nichž je půdní profil nasycen na více než 2/3 své retenční kapacity, se pohybuje mezi 171 a 229.
vlhký tempustický	Půdní profil je nasycen na více než 2/3 své retenční kapacity v méně než 270 dnech. Současně je podíl suchých dnů (kdy je půda nasycena na méně než 1/3 své retenční kapacity) s půdní teplotou (v hloubce 0,5 m) nad 5 °C k celkovému počtu dní s teplotou půdy nad 5 °C menší než 50% a nejdelší zaznamenané období s kritickým nedostatkem vláhy po letním slunovratu nepřekročilo 45 dní.
typicky tempustický	Půdní profil je nasycen na více než 2/3 své retenční kapacity v méně než 270 dnech. Současně podíl suchých dnů s půdní teplotou (v hloubce 0,5 m) nad 5 °C k celkovému počtu dní s teplotou půdy nad 5 °C je menší než 50% a nejdelší zaznamenané období s kritickým nedostatkem vláhy po letním slunovratu bylo delší než 45 dní.

poměry po většinu roku. Spolu s dalšími dvěma relativně vlhkými půdně-klimatickými režimy, a to subhumidně udickým (27%) a perudickým (22%), zabíraly naprostou většinu území (obr. 269). V oblastech s perudickým půdně-klimatickým režimem se nacházejí pramenné oblasti většiny našich řek. Naopak relativně suché tempustické režimy reprezentovaly v období 1961–2000 méně než 2% našeho území a zahrnovaly pouze nejsušší části jižní Moravy. Hodnotám tempustického režimu se ale výrazně blíží i některé oblasti v severozápadních Čechách (Žatecko, Lounsko a Rakovnícko), zejména pokud se přihlídneme k devadesátým letům minulého století. V posledních 50 letech je na většině území České republiky patrná tendence k nárůstu výskytu sušších půdně-klimatických režimů, která v relativně blízké budoucnosti nabývá potenciálně velmi znepokojivých rozměrů.

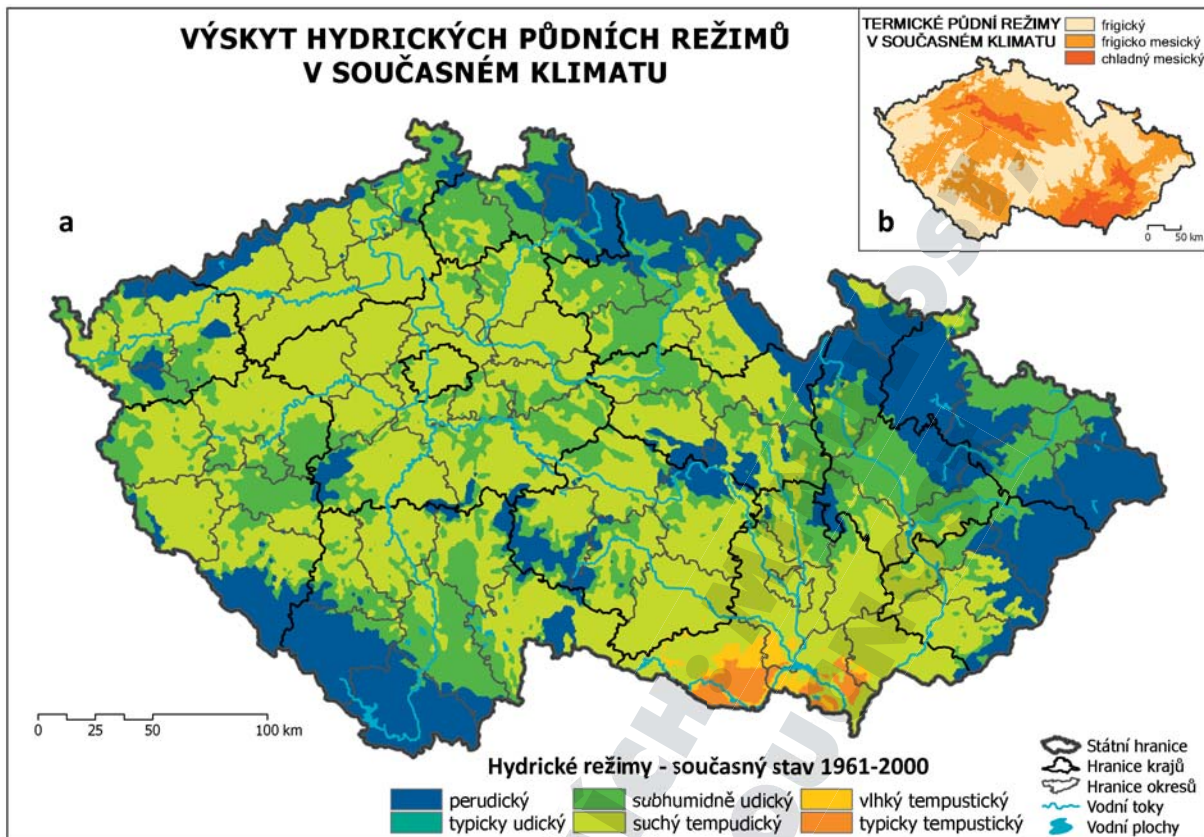
Obrázek 270 ukazuje hydrické režimy na našem území při očekávaném zvýšení globální teploty o 2 °C v horizontu roku 2050 oproti období 1961–2000. Modely HadGE, MPEH5 a CSMK3, které velmi dobře vystihují možný rozsah očekávané změny prezentovaný například na obrázku 246, se výhledově jeví jako modely dobře vystihující dlouhodobé chování klimatického systému ve střední Evropě. Třetí z nich reprezentuje skupinu modelů, které jsou z pohledu vodní bilance pro střední Evropu pozitivnější. Všechny modely se shodují v zásadní redukci rozsahu

perudického a vlhkých udických půdně-klimatických režimů. Frekvence perudického režimu se snižuje na 1/2–1/15 stávajících hodnot. Současně klesá i frekvence subhumidně udického režimu na 1/3–1/2. Výrazný nárůst zaznamenává zejména typický tempustický režim, který v současné době zaujímá méně než 1% rozlohy. Právě tento režim se podle modelu HadGE stává prostorově dominantním (56% rozlohy), zatímco podle odhadů zbývajících dvou modelů by dominantním režimem měl být suchý tempudický režim (51–54%).

Navíc v regionech, které jsou v současnosti vnímány jako suché, zásadně roste pravděpodobnost výskytu sezonního vyčerpání dostupné půdní vláhy (v letních měsících), jež je poměrně typické pro středomořské klima. Evidentní a všem scénářům společný je i úbytek rozsahu perudického režimu, což se jeví jako problematické pro horní toky všech našich řek. Bez ohledu na použitý model se suché hydrické režimy nacházejí na jihovýchodě a severozápadě České republiky. Přitom severní Čechy a zejména střední a severní Morava se jeví jako méně ohrožené v porovnání s jihem republiky.

Současně se změnou půdního klimatu (tedy hydrického i termického režimu) lze očekávat i změny v četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů, stejně jako v sezonalitě jejich výskytu v jednotlivých měsících, vydatnosti, intenzitě a době trvání. Z hlediska ohrožení půd vodní erozí by mohlo být naopak





**Obr. 269.** Půdní klima na území České republiky v období 1961–2000 reprezentované hydrickými (a) a termickými (b) režimy podle metodiky Trnky et al. (2013)

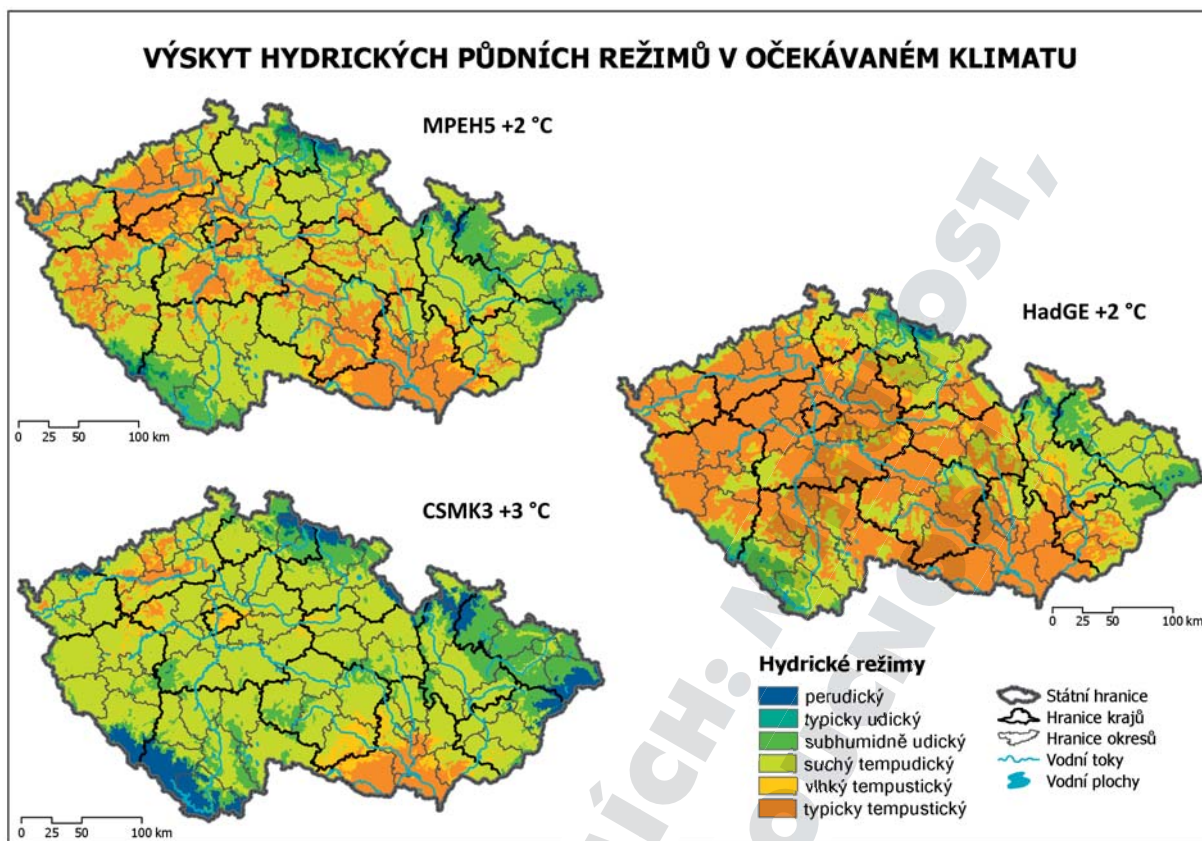
**Figure 269.** Soil climate in the territory of the Czech Republic in the 1961–2000 period represented in terms of moisture (a) and temperature (b), after Trnka et al. (2013)

příznivé mírné oteplení prostředí v zimních měsících a nižší intenzita sněhových srážek. Rychlé tání sněhu v předjarním období má totiž na erozní procesy značný vliv. Kromě změny intenzity a množství srážek mohou mít klimatické změny vliv i na jednotlivé faktory, které erozi ovlivňují (například vliv na vegetační kryt a vlastnosti půd). V rámci projektu NAZV QJ1230056 „Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce“ bylo připraveno několik verzí map faktoru ochranného vlivu vegetace (C-faktor<sup>95</sup>). Všechny testované přístupy výpočtu C-faktoru pro modelový rok 2050 však potvrdily, že jeho hodnoty oproti současnosti budou narůstat. Při uvažování optimálních osevních postupů z pohledu produkce a změn zastoupení plodin podle změny klimatických regionů (viz například obr. 265 a 266), narůstají hodnoty C-faktoru o desítky procent (místy i o více než

50 %), zvláště v podhorských oblastech a na Českomoravské vrchovině. V posledně jmenovaných regionech změna klimatu znamená také změněné podmínky pro pěstování zemědělských plodin, kdy se předpokládá zvýšení podílu osevních ploch s plodinami s vyšším C-faktorem (například kukuřice), zejména v neprospěch trvalých travních porostů.

Jak již bylo uvedeno, klimatickou změnou bude ovlivněna vlhkost půdy, která má vliv na infiltrační schopnost půdy a tím i na povrchový odtok. Klesající půdní vlhkost bude působit i na větrnou erozi, neboť při nižší vlhkosti je půda k jejím projevům náchylnější. Je tedy pravděpodobné, že se výrazně rozšíří rozsah půd ohrožených větrnou erozí, ačkoliv z analýzy meteorologických údajů vyplývá, že rychlost větru v České republice se od roku 1961 nezvyšuje (Brázdil et al., 2009a), ale má spíše klesající trend (viz také kap. 7.3.3). Kromě změny hydrických režimů a erozních procesů se budou měnit i vlastnosti půd, jakými jsou například jejich utužení, dehumifikace, acidifikace či zasolování, což ale již přesahuje rámec této knihy.

<sup>95</sup> C-faktor vyjadřuje relativní ochranný účinek vegetace na intenzitu ztráty půdy ve vztahu k pozemku bez vegetačního pokryvu.



**Obr. 270.** Odhadované půdní klima na území České republiky, reprezentované převládajícími hydrickými režimy, pro horizont roku 2050 vzhledem k období 1961–2000 podle simulací modelů HadGE, MPEH5 a CSMK3 na základě SRES-A2 scénáře (tj. při očekávaném zvýšení globální teploty vzduchu přibližně o 2 °C)

**Figure 270.** Estimated soil climate over the territory of the Czech Republic, in terms of prevailing soil moisture regimes, around 2050 relative to the 1961–2000 period, simulations in HadGE, MPEH5 and CSMK3 models based on SRES-A2 scenario (i.e. with an anticipated increase in mean global temperature of around 2 °C)

## 7.5 OČEKÁVANÉ DOPADY ZMĚNY KLIMATU A SUCHA NA LESNÍ POROSTY A LESNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

Již v současných podmínkách ovlivňuje sucho lesní porosty a hospodaření v nich podstatnou měrou (viz kap. 6.2). V kontinentální části Evropy a také v České republice lze přitom podle většiny dostupných scénářů očekávaného vývoje klimatu předpokládat, že nejvýznamnějším klimatickým rizikem budou právě jarní a letní sucha (kap. 7.2 a 7.3). Synergicky s těmito faktory se může uplatnit přetrvávající depoziční zátěž. Pravděpodobně bude také docházet častěji k poškození lesů extrémními jevy, jako jsou bouřky se silným větrem (včetně tornád), přívalovými srážkami či s krupobitím, vichřice (ve druhé polovině zimního období a na jaře), laviny, silné půdní eroze a sesuvy.

Výraznější vliv klimatických změn na lesní prostředí,<sup>96</sup> resp. především na lesní půdy, je v časovém

horizontu výše prezentovaných scénářů možný zejména v důsledku změn půdně-klimatického režimu (viz obr. 269–270 a kap. 7.4.3). Jako zásadní se jeví důsledky změny klimatu (a s ním spojené změny četnosti a intenzity sucha) na druhovou skladbu lesů a vegetační stupňovitost, na fotosyntézu a vodní provoz dřevin, na výskyt hmyzích škůdců a houbových chorob, a konečně na riziko vyšší frekvence a nebezpečí lesních požárů.

Areály lesních dřevin jsou v podstatě definovány klimaticky, a stejně tak jsou klimatologické charakteristiky důležitými parametry spoluurčujícími lesní vegetační stupně. V případě oteplení, změn ročních úhrnů srážek (nebo úhrnů v klíčových obdobích vegetačních sezon) a změn v rozdělení srážek (zejména výskyt „přísušků“) dojde k významné

a lesní hospodářství České republiky je dlouhodobě systematicky řešena. Byla součástí výzkumů a prognóz Národního klimatického programu České republiky, je součástí dalších významných výzkumných projektů a programů, například v rámci Centra výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

<sup>96</sup> Problematika predikce dopadů klimatických změn na lesy



změně podmínek pro dřeviny, takže lze na jedné straně očekávat rozsáhlé zdravotní problémy některých druhů v podmínkách na okraji jejich ekologických amplitud a na druhé straně šíření těchto či jiných druhů do oblastí, které se díky změně klimatu stanou pro tyto druhý příhodnými (podrobně viz kap. 7.5.1).

Z lesnického pohledu je důležitou otázkou nejen zdravotní stav lesních porostů, ale také jejich produkce, její kvalita a bezpečnost. Z pohledu jednoduché logiky by zvýšení obsahu  $\text{CO}_2$  (jako jednoho ze základních vstupů) mělo vést k vyšší intenzitě fotosyntézy (pozitivní aklimace), spojené se zvýšeným využitím absorbované energie ve fotochemických reakcích, a tak i k vyšší produkci. Tak tomu pravděpodobně v řadě případů také bude, zejména pokud půjde o krátkodobé zvýšení koncentrace  $\text{CO}_2$ . V tomto jednoduchém sledu příčin a následků povede více dostupného  $\text{CO}_2$  k vyšší rychlosti fotosyntézy, k větší účinnosti využití záření, ke zvýšení rychlosti fixace uhlíku a následně tak i k navýšení produkce. Důsledkem může být také vyšší účinnost využití vody a nižší transpirace, což by mohlo vést k vyšší odolnosti vůči suchu. Řada těchto pozitivních dopadů je však v delším časovém měřítku doložena především u zemědělských plodin, zatímco u dřevin k nim může, ale také nemusí, dojít. Opakovaně jsou v odborných studiích uváděny scénáře, ve kterých dochází po určité době k propadu intenzity fotosyntézy. Výsledný vliv zvýšení koncentrace  $\text{CO}_2$  a teploty na tvorbu biomasy je obecně závislý na množství dostupných živin, zejména dusíku, na dostupnosti vody a dostupnosti světla (ozářenosti). Může se pohybovat v amplitudě od žádného efektu na přírůst (to může nastat například při deficitu vody) přes zvýšený nárůst kořenů i letorostů až po změnu poměru nárůstu letorostů a kořenů ve prospěch jednoho nebo druhého, a to vždy v souladu s principem rovnováhy mezi potenciálem dřeviny asimilovat a potenciálem jejího kořenového systému dodávat živiny. Počáteční stimulace fotosyntézy působením zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  tak může klesat či mizet v periodě týdnů či měsíců, pro což se používá pojem aklimační deprese. Reakce na zvýšené koncentrace  $\text{CO}_2$  budou rozdílné i u jednotlivých druhů dřevin, přičemž rozdíly mohou existovat i mezi jednotlivými částmi stromu; reakce má také sezonní dynamiku, kdy aklimační deprese se objevuje hlavně na konci vegetační sezony.

Přesné prognózy očekávané produkce pravděpodobně nebudeme schopni provádět, neboť na rychlost fotosyntézy působí soubor faktorů ve vzá-

jemných komplikovaných vztazích. Optimistické scénáře zvýšení produkce dřevní hmoty tak mohou, ale také nemusí, být naplněny. Rozdíly lze očekávat mezi jednotlivými regiony i druhy lesních dřevin. Obecně lze v kontinentální části Evropy očekávat nárůst zásob dřeva listnatých dřevin na úkor jehličnatých (například v Rakousku). Očekává se také nárůst zásoby dřeva pionýrských dřevin s krátkým životním cyklem spolu s nárůstem zásoby slabších sortimentů. Lokálně může dojít k přechodnému nárůstu těžby dřeva ze smrkových lesů při jejich nahrazování lépe adaptovanými smíšenými porosty. Pravděpodobně také dojde k celkovému narušení trhů s dřevem.

Při růstu ve změněných podmínkách je pro rostliny fyziologicky i energeticky komplikovanější odolat působení biotických stresorů. Při očekávaných klimatických změnách lze očekávat:

- změny v četnosti, délce a případně i v průběhu gradací (a tím i v abundanci populací hmyzích škůdců),
- zkrácení délky trvání jejich generací, zvýšení jejich počtu a v důsledku toho celkové změny populační dynamiky (opět včetně změn abundance),
- změny v areálech rozšíření, tj. například posuny v rámci kontinentů, ale i transkontinentální přesuny a introdukce populací hmyzích škůdců a houbových chorob; migraci lze u nás očekávat především severním směrem a do výše položených oblastí, kdy spolu s tím bude narůstat i riziko zavlečení nových a karanténních druhů organismů,
- změny chování stávajících patogenů v důsledku změny fyziologických procesů hostitelů i patogenů (například urychlení metabolismu houbových patogenů a dřevních hub při vyšších teplotách) a vlivem zvýšené predispozice hostitelů.

Některé z těchto změn lze přitom již v lesních porostech pozorovat (viz kap. 6.2).

Současně s výše uvedenými změnami lze očekávat i nárůst četnosti požárů (viz kap. 6.2.5). Klimatické údaje z posledních dvou desetiletí ukazují v řadě regionů nárůst četnosti výskytu extrémně vysokých teplot vzduchu v bezsrážkových obdobích nebo v obdobích s nízkými srážkami. I když v České republice není ohrožení tak silné jako v mediteránní oblasti, lze odůvodněně očekávat vyšší četnost a nebezpečí požárů v nejhroženějších regionech jako jsou například Českosaské Švýcarsko či tzv. Moravská Sahara.



### 7.5.1 Rizika sucha pro stávající lesní porosty s převahou smrku ztepilého

Synergické působení extrémních klimatických výkyvů, dlouhodobé přirozené acidifikace půdy a antropogenních vlivů, především imisní zátěže a hospodářských zásahů, má v posledních desetiletích v téměř celé střední Evropě za následek snižování vitality lesních porostů (viz kap. 6.2). Naprosto zásadní význam mají v procesu chřadnutí naší nejvýznamnější dřeviny, smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.), abiotické, především pak klimatické, stresové faktory jako predispoziční, případně iniciační stresory. K nejvýznamnějším abiotickým stresorům náleží sucho, především v předjaří, na jaře a v létě. Za lesní porosty s převahou smrku ztepilého se považují porosty s více než jeho 50 % zastoupením. Protože smrk je pěstován v různé míře téměř ve všech lesních vegetačních stupních a od 4. do 7. stupně se vyskytuje v příměsí i přirozeně, mají naše prognózy dopad na většinu lesních porostů v České republice.

Na základě celé řady poznatků o dopadu klimatické změny na evropské lesy lze usuzovat, že genetická variabilita převážné většiny hospodářských dřevin je širší než očekávaná změna klimatu (Kellomaki et al., eds., 2000). Ovšem při současné úrovni intenzifikace lesní výroby v České republice na to není možné spoléhat. I když je variabilita hospodářských dřevin široká, je řada dřevin pěstována na významných výměřích lesní půdy na hranici své tolerance (zejména smrk ztepilý). Proto i relativně malá změna klimatu může mít významné negativní ekonomické důsledky. Při hodnocení stavu a predikcích vývoje lesních porostů s převahou smrku je potřebné se zaměřit na studium jejich adaptačního potenciálu, a to ve vztahu k rizikům, jakými jsou ataky houbových patogenů a hmyzích konzumentů. Při tak velkém území, jaké představuje celá Česká republika, rozčleněná do 41 relativně rozsáhlých přírodních lesních oblastí, je téměř nemožné pracovat s charakteristikami jednotlivých porostů. Jednou z mála dostupných a zvládnutelných možností je využít údaje z Oblastních plánů rozvoje lesů, vypracovaných po roce 2000, kde lze nalézt jak údaje o druhové skladbě, věku a zdravotním stavu porostů, tak i o působení abiotických i biotických činitelů a o jimi způsobených nahodilých těžbách. Druhou možností je pracovat s agregovanými typologickými jednotkami, jako jsou skupiny lesních typů nebo cílové hospodářské soubory v kombinaci s porostními typy. Zatímco skupiny lesních typů a hospodářské soubory informují o stanovištních podmínkách,

porostní typy charakterizují současnou dřevinnou skladbu.

Analýza je zaměřena na lesní ekosystémy s převahou smrku pro vybraný scénář vývoje klimatu a odhad jejich dalšího pravděpodobného vývoje do konce tohoto století. K realizaci odhadu je potřebné spočítat prostorové průměry základních klimatologických charakteristik (průměrná denní teplota vzduchu a denní úhrn srážek) pro všechny lesní vegetační stupně, vyskytující se v jednotlivých přírodních lesních oblastech. Kromě těchto základních charakteristik je třeba zjišťovat i výskyt dalších klimatologických charakteristik spojených s výskytem sucha, jako je například počet dnů s denním úhrnem srážek menším než 1 mm (úhrn zachycený téměř ve všech případech intercepce na povrchu jehlic a listů), které se ve vegetačním období vyskytly v obdobích delších než 10 dnů za sebou (faktor D10). Takové téměř bezsrážkové období již má na smrk ztepilý, jako mělce kořenící dřevinu, prokazatelný vliv.

Údaje klimatických scénářů od roku 2010 do roku 2099, vyjádřené jako průměry za vegetační období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099, byly porovnávány s referenčními daty, naměřenými na klimatologických stanicích v období 1961–1990 a 1991–2009.<sup>97</sup> Průměrné hodnoty hlavních sledovaných parametrů pro vegetační sezonu v jednotlivých lesních vegetačních stupních pro území celé České republiky jsou uvedeny v tabulce 27 a na obrázku 271.

<sup>97</sup> Výpočet daného srážkově deficitního pole proběhl na podkladě bodových pozorování. Pro výpočet byly vybrány technické řady stanic, kdy použité údaje okolních stanic byly nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který počítáme novou řadu, a poté byla váženým průměrem vypočtena nová hodnota (Štěpánek et al., 2009). Tyto staniční údaje byly interpolovány v ploše metodou univerzálního krigingu. Před samotným výpočtem byla uplatněna lokální regresní závislost dané veličiny na nadmořské výšce. Pro prognózu dalšího vývoje období sucha bylo třeba provést obdobné výpočty pro scénářová data 131 gridových bodů pocházejících z modelu ALADIN-Climate/CZ pro období do roku 2100 (Pretel, ed., 2011). Pro potřeby validace a korekce výstupů regionálního klimatického modelu byl odladěn software ProClimDB, který mimo jiné obsahuje kvantilovou metodu korekce výstupů regionálních klimatických modelů. Korekce byly aplikovány pro každý bod zvlášť, vždy klouzavě pro tři měsíce, a použité technické řady byly přepočítány na reálnou nadmořskou výšku (přečteno z digitálního modelu terénu s rozlišením 100 m). Tento postup byl aplikován jak pro výpočet základních meteorologických prvků (teplota vzduchu, srážky), tak i pro indikátor sucha D10.

**Tab. 27.** Hodnoty teploty vzduchu  $T$ , srážkových úhrnů  $S$  a klimatického stresového faktoru D10 (počet dnů suchých období) ve vegetační sezoně v pěti studovaných obdobích (1961–1990, 1991–2009, 2010–2039, 2040–2069, 2070–2099) v jednotlivých lesních vegetačních stupních (lvs) v České republice

**Table 27.** Air temperatures  $T$ , precipitation totals  $S$  and D10 climatic stress factor (number of days of dry periods) in the vegetation season for the five periods studied (1961–1990, 1991–2009, 2010–2039, 2040–2069, 2070–2099) in individual forest vegetation zones (lvs) in the Czech Republic

Období	T (°C)	S (mm)	10D	T (°C)	S (mm)	10D	T (°C)	S (mm)	10D
	1. lvs			2. lvs			3. lvs		
1961–1990	13,1	420	56,9	12,9	438	53,7	12,6	466	48,8
1991–2009	13,3	437	61,1	13,2	459	57,4	13,1	487	51,8
2010–2039	13,7	449	63,3	13,5	467	59,1	13,3	492	53,0
2040–2069	14,4	453	83,2	14,2	474	78,3	14,0	504	71,3
2070–2099	15,0	453	88,4	14,8	473	83,7	14,6	505	77,1
	4. lvs			5. lvs			6. lvs		
1961–1990	12,3	485	43,4	11,9	495	39,2	11,3	528	33,4
1991–2009	12,8	508	45,8	12,5	513	40,4	12,2	545	33,7
2010–2039	13,0	513	46,7	12,7	522	40,0	12,4	547	31,9
2040–2069	13,7	530	64,3	13,5	541	57,4	13,1	574	48,4
2070–2099	14,3	531	70,6	13,9	548	63,8	13,5	584	54,3
	7. lvs			8. lvs					
1961–1990	10,8	544	28,3	10,1	591	20,1			
1991–2009	11,7	561	29,5	11,1	612	22,4			
2010–2039	12,0	554	27,3	11,3	602	19,8			
2040–2069	12,7	585	43,5	12,1	635	32,6			
2070–2099	13,1	598	49,6	12,4	661	37,3			

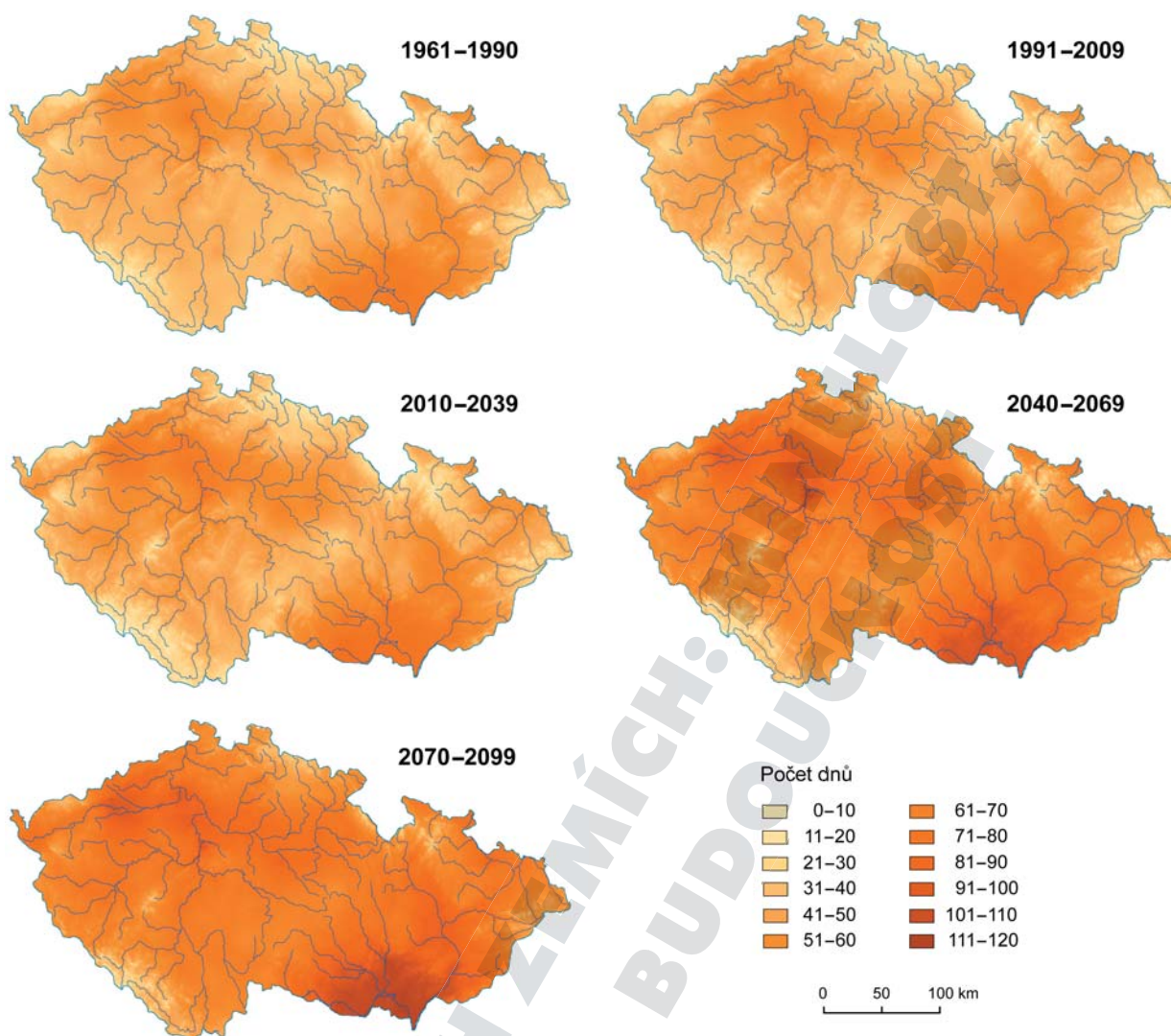
### 7.5.2 Růst lesních porostů v současném a budoucím klimatu

Ohrožené porosty s převahou smrku ztepilého, patřící k určitému hospodářskému souboru a nacházející se v daném lesním vegetačním stupni a v konkrétní přírodní lesní oblasti, byly vytipovány na základě porovnání základních a odvozených klimatologických parametrů mezi všemi pěti sledovanými obdobími v letech 1961–2099. Analýzy teploty vzduchu, srážek a stresového faktoru D10 (tab. 27 a obr. 271) byly zpracovány v prvním kroku pro jednotlivé lesní vegetační stupně na celém území České republiky. Následně byl porovnáván jejich průběh se současným stavem, tj. s obdobím 1991–2009, a odhadnuty možné změny klimatických podmínek, tj. „posun“ lesních vegetačních stupňů.

V ekologické síti typologického systému je vertikální členění lesních vegetačních stupňů založeno na vztahu mezi klimatem a biocenózou. V horizontálním členění se diferencují růstové podmínky především podle trvalých vlastností půdy, kdy základem této diference jsou edafické kategorie.

Zařazení daného stanoviště do příslušného lesního vegetačního stupně vyjadřuje ve své podstatě produkční potenciál stanoviště z hlediska klimatických podmínek pro danou dřevinu. Lesní vegetační stupně byly odvozeny od stanovištních nároků nejdůležitějších hospodářských dřevin a postihují spojitě klimatické podmínky stanoviště od poloh nejnižších až po nejvyšší. Jsou charakterizovány intervaly průměrné roční teploty vzduchu, průměrného ročního úhrnu srážek, průměrné délky vegetačního období a nadmořské výšky. Z této skutečnosti pak vyplývá, že změna klimatických podmínek stanoviště se projeví ve vztahu mezi ekotopem a biocenózou a může vést k posunu vegetačního stupně.

V druhém kroku byl porovnáván průběh teploty vzduchu, srážek a stresového faktoru D10 po jednotlivých přírodních lesních oblastech. Srovnávacím kritériem byly rozdíly jejich hodnot mezi obdobími 1961–1990 a 1991–2009 pro jednotlivé lesní vegetační stupně, a to jak za celou republiku (tab. 27, obr. 272), tak i pro jednotlivé přírodní lesní oblasti. Tento přístup umožnil vymezit přírodní lesní oblasti:



**Obr. 271.** Vývoj hodnot klimatického stresového faktoru D10 (počet dnů suchých období ve vegetační sezoně) v České republice v pěti studovaných obdobích od roku 1961 do roku 2099

**Figure 271.** Evolution of D10 climatic stress factor (number of days in dry periods during the vegetation season) in the Czech Republic in the five periods studied between 1961 and 2099

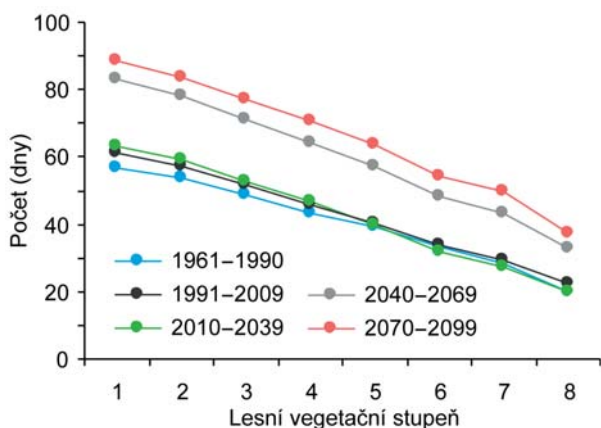
- se „standardním“ průběhem stresových faktorů,
- s charakterem „studeného“ klimatu, tj. minimálním posunem lesních vegetačních stupňů v analyzovaných obdobích,
- s charakterem „teplého“ klimatu, resp. „velmi teplého“ klimatu s potencionálním posunem lesních vegetačních stupňů až do dubového, resp. pseudodubového stupně.

Výsledky popsaného postupu hodnocení klimatických podmínek pro růst smrku ztepilého v období 1961–2099 podle lesních vegetačních stupňů pro celé území České republiky ukazují, že v období 2010–2039 by ještě nemělo dojít ke změnám klimatických charakteristik lesních vegetačních stupňů v takové míře, aby odpovídaly nižším stupňům. Naopak hod-

noty stresového faktoru D10 jsou predikovány někdy překvapivě nižší než v období reprezentujícím současné klimatické podmínky (1990–2009). Ovšem v obdobích 2040–2069 a 2070–2099 lze na základě provedené analýzy již přepokládat ztelné změny klimatických podmínek, a tedy i posun k podmínkám odpovídajícím nižším vegetačním stupňům (zpravidla o dva stupně).

Stresové klimatické faktory rozlišily přírodní lesní oblasti na „teplé“, kde klimatické podmínky v jejich některých lesních vegetačních stupních nesplňují kritéria ekologické valence smrku ztepilého již v současném období, a na „studené“, které podle klimatických scénářů dosud vyhovují růstovým požadavkům smrku. Jsou to především horské přírodní lesní oblasti od 6. lesního vegetačního stupně





**Obr. 272.** Průběh hodnot klimatického stresového faktoru D10 podle lesních vegetačních stupňů v pěti studovaných obdobích na území České republiky

**Figure 272.** Changes in D10 climatic stress factor for individual forest vegetation zones in five periods studied over the territory of the Czech Republic

výše: 13 (Šumava), 21 (Jizerské hory), 22 (Krkonoše), 27 (Hrubý Jeseník) a 40 (Moravskoslezské Beskydy). Ve všech ostatních přírodních lesních oblastech se již vyskytují lesní vegetační stupně, u kterých lze alespoň v jednom z budoucích období očekávat překročení hodnot klimatických parametrů odpovídajících ekologické valenci smrku. Obecně se dá konstatovat, že v letech 2040–2099 nebudou v České

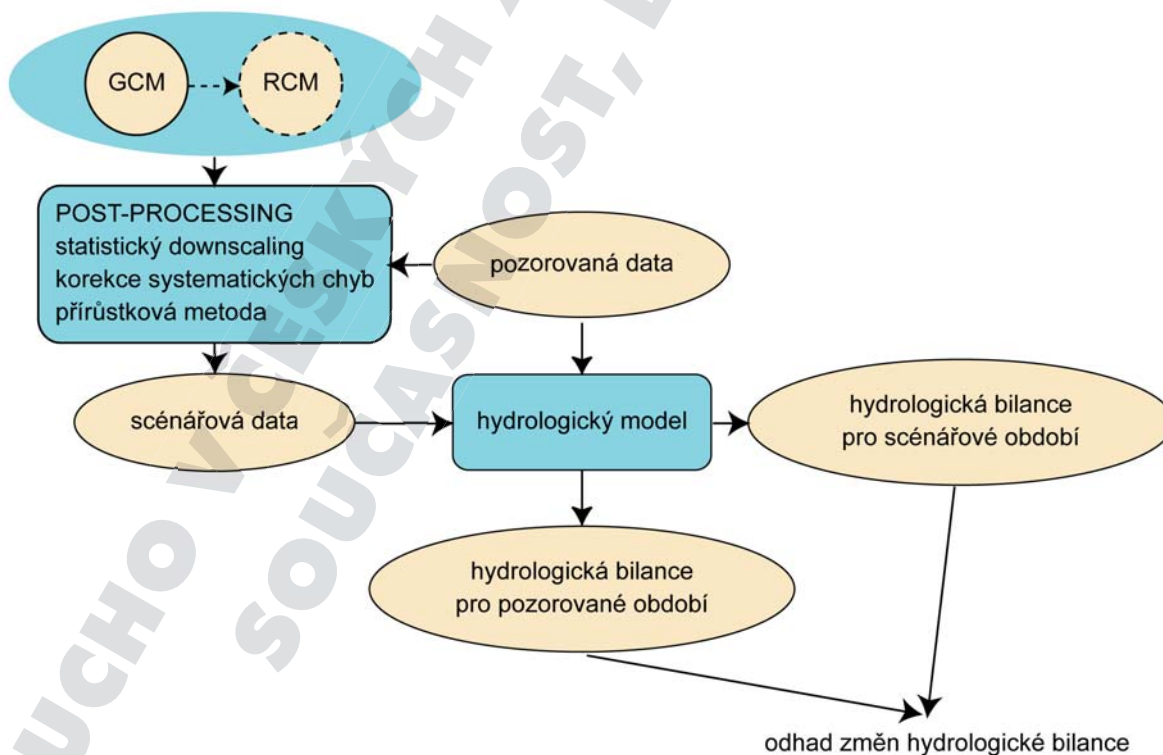
republice klimatické podmínky v přírodních lesních oblastech pahorkatinného až vrchovinného typu již odpovídat růstovým podmínkám smrku ztepilého.

## 7.6 OČEKÁVANÉ DOPADY ZMĚNY KLIMATU A SUCHA NA VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

### 7.6.1 Hydrologický režim a vodní zdroje

Pro odhad dopadů změny klimatu na hydrologický režim v České republice byly využity jednoduché přírůstkové scénáře změn teploty vzduchu, srážek a relativní vlhkosti vzduchu. Tyto scénáře byly založeny na 15 simulacích regionálních klimatických modelů z projektu ENSEMBLES (Hewitt, Griggs, 2004) pro emisní scénář SRES-A1B (podrobnosti o metodice tvorby scénářů a použitých simulacích viz Hanel et al., 2012, 2013). Hydrologický model BILAN (Vizina et al., 2014a) byl nakalibrován pro 250 povodí různých velikostí. Následně byla modelována hydrologická bilance pro pozorované podmínky a pro podmínky ovlivněné změnou klimatu. Primárně byly analyzovány změny mezi referenčním obdobím 1961–1990 a lety 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Obrázek 273 ukazuje základní schéma modelování hydrologické bilance ovlivněné změnou klimatu.

Základní podstata možných změn hydrologické

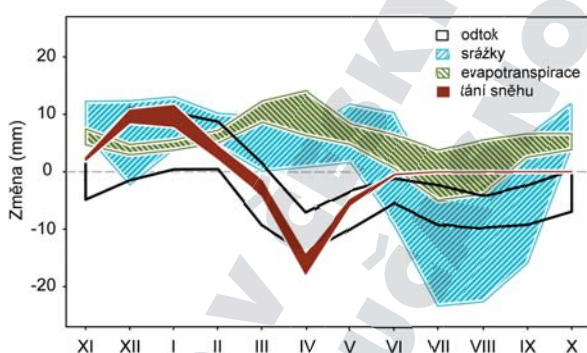


**Obr. 273.** Schéma modelování hydrologické bilance ovlivněné změnou klimatu (Hanel, Vizina, 2014)

**Figure 273.** Modelling the hydrological balance affected by climate change (Hanel, Vizina, 2014)

bilance na našem území je známa již řadu let. Vyplyvá z projekcí srážek a teploty vzduchu pro Evropu, tj. postupné zvyšování teplot během celého roku a pokles letních, růst zimních a stagnace ročních úhrnů srážek (Solomon et al., eds., 2007). Poloha České republiky v přechodné oblasti mezi předpokládaným růstem srážek na severu a jejich poklesem na jihu Evropy přispívá k nejistotě odhadu změn roční bilance srážek, resp. odtoku a ostatních složek hydrologického cyklu. Nerovnoměrné rozložení projektovaných změn srážek během roku patří mezi jevy společné pro celou řadu simulací klimatických modelů. Princip změn hydrologické bilance je demonstrován na obrázku 274 pro období 2070–2099, nicméně poznatky týkající se charakteru změn lze generalizovat i pro ostatní časové horizonty. Od začátku podzimu do začátku léta se projevuje růst srážek, který je doprovázen řádově stejným vzestupem výparu (důsledek růstu teploty vzduchu). V letním období dochází k poklesu srážek a v důsledku úbytku zásob vody v povodí nevede zvyšování teploty vzduchu k výraznému zvyšování výparu. Důležitým faktorem ovlivňujícím změny odtoku je posun doby tání v důsledku vyšší teploty vzduchu přibližně z března–dubna na leden–únor. Změny odtoku v období leden–květen jsou tedy dominantně ovlivněny odlišnou dynamikou sněhových zásob, zatímco změny v letním období souvisejí zejména s úbytkem srážek.

Průměrné změny odtoku ze souboru výše zmíněných regionálních klimatických modelů pro jednotlivá roční období a zvolená období jsou uvedeny



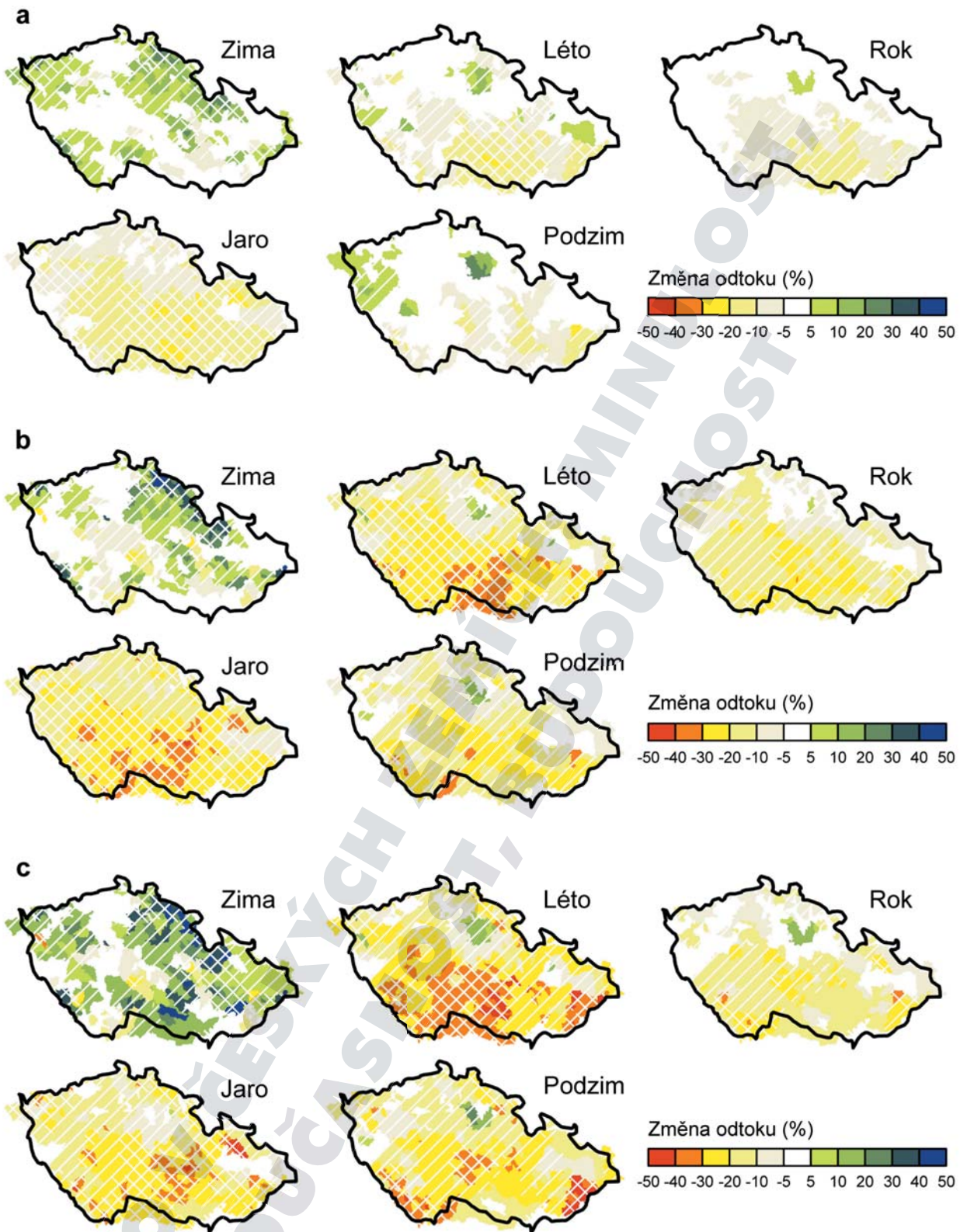
**Obr. 274.** Změna základních složek hydrologického cyklu v průběhu hydrologického roku v České republice. Polygony ohraničují oblast, v níž leží průměrné změny ze souboru regionálních klimatických modelů pro 90% modelovaných povodí (Hanel et al., 2013)

**Figure 274.** Changes in basic components of the water cycle during the hydrological year in the Czech Republic. Polygons enclose the area in which mean changes from the ensemble of regional climate models for 90% of the modelled catchments are concentrated (Hanel et al., 2013)

na obrázku 275. Změny odtoku jsou konzistentní pro všechny časové intervaly. Zpravidla lze konstatovat růst odtoků v zimním období a jejich pokles po zbytek roku, a pro velkou část České republiky i v roční bilanci. K větším poklesům zpravidla dochází v jižní polovině našeho území. Mírně se vymyká období 2010–2039 (obr. 275a), v němž se v létě i na podzim vyskytují povodí, v nichž odtoky stagnují, popřípadě výjimečně dokonce rostou. V roční bilanci tak lze podle simulací regionálních klimatických modelů očekávat pro toto období stagnaci odtoků v severní a západní části republiky a pokles (většinou do 10%) v její jižní a jihovýchodní části. Nicméně je nutné konstatovat, že tyto odhady (zejména nízký pokles letních a podzimních odtoků) nejsou zcela v souladu s pozorovanými změnami. To může být způsobeno jednak nedokonalostí klimatických modelů a jednak tím, že odhadované změny klimatu pro toto období nejsou natolik výrazné (růst ročních srážkových úhrnů kolem 3% a teploty vzduchu kolem 1 °C), aby nemohly být překryty přirozenou variabilitou srážek a teplot. V dalších studovaných obdobích 2040–2069 a 2070–2099 (obr. 275b–c) již lze jasně rozlišit období růstu odtoků v zimě (většinou 5–10%, místy 20% i více) a poklesu v ostatních sezónách, a to nejvíce v létě (20–40%). V roční bilanci se pak jedná o pokles dosahující zpravidla 5–20%. Rozdíly mezi těmito obdobími nejsou tak významné jako mezi roky 2010–2039 a 2040–2069, což je pravděpodobně způsobeno množstvím emisí odhadovaným podle použitého emisního scénáře SRES-A1B, který předpokládá jejich rychlejší nárůst v první polovině 21. století. Obrázek 275 zároveň charakterizuje šrafováním povodí, pro která se 2/3, resp. 90% simulací regionálních klimatických modelů shodovalo ve znaménku očekávané změny. Je zřejmé, že zejména změny roční bilance odtoku jsou pro všechny časové horizonty na většině území České republiky relativně nejisté. Značná je rovněž nejistota v měřítku jednotlivých povodí (Hanel et al., 2013).

Přestože změny roční bilance odtoku jsou relativně nejisté, je míra nejistoty v odhadu změn některých složek hydrologického cyklu výrazně menší. Tak například pokles zásob podzemní vody v řádu 20% a více v období 2070–2099 indikují simulace většiny regionálních klimatických modelů na velké části našeho území (obr. 276). Podobně robustní je i odhad růstu výparu ve všech ročních obdobích (zejména v zimě) s výjimkou léta, kdy naopak dochází k jeho stagnaci z důvodu nedostatku vody v povodích.

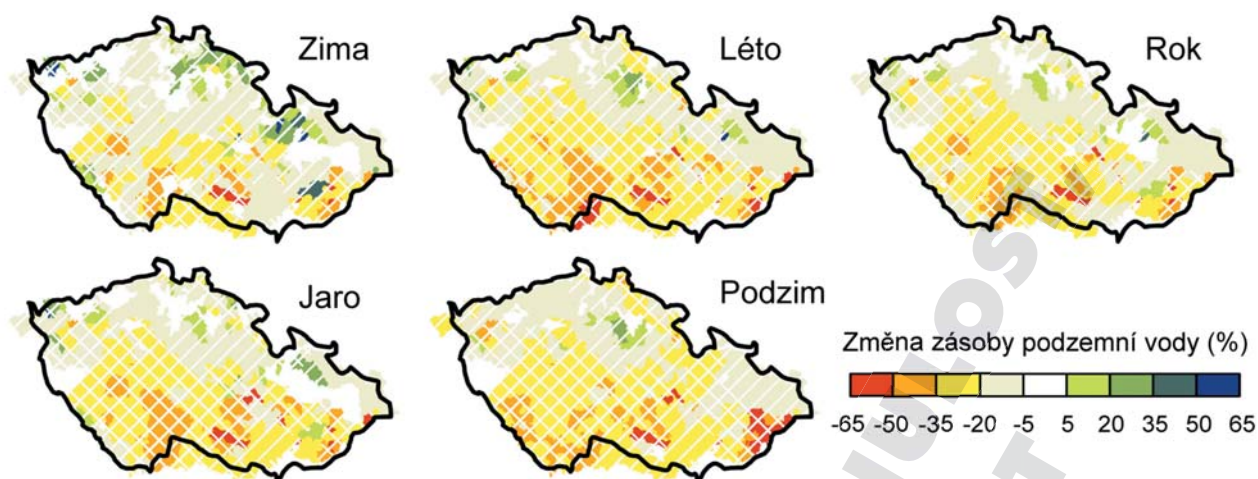




**Obr. 275.** Průměrné změny odtoku na území České republiky podle simulací regionálních klimatických modelů pro období: a) 2010–2039, b) 2040–2069, c) 2070–2099. Šrafováním jsou znázorněny oblasti, v nichž se 2/3 (jednoduché šrafování), resp. 90% (dvojitě šrafování) simulací shoduje ve znaménku změny (Hanel et al., 2013)

**Figure 275.** Mean runoff changes over the territory of the Czech Republic in the ensemble of climate model simulations for the 2010–2039 (a), 2040–2069 (b) and 2070–2099 (c) periods. Hatching indicates areas for which 2/3 (simple hatching) and/or 90% (double hatching) of simulations agree in the sign of changes (Hanel et al., 2013)





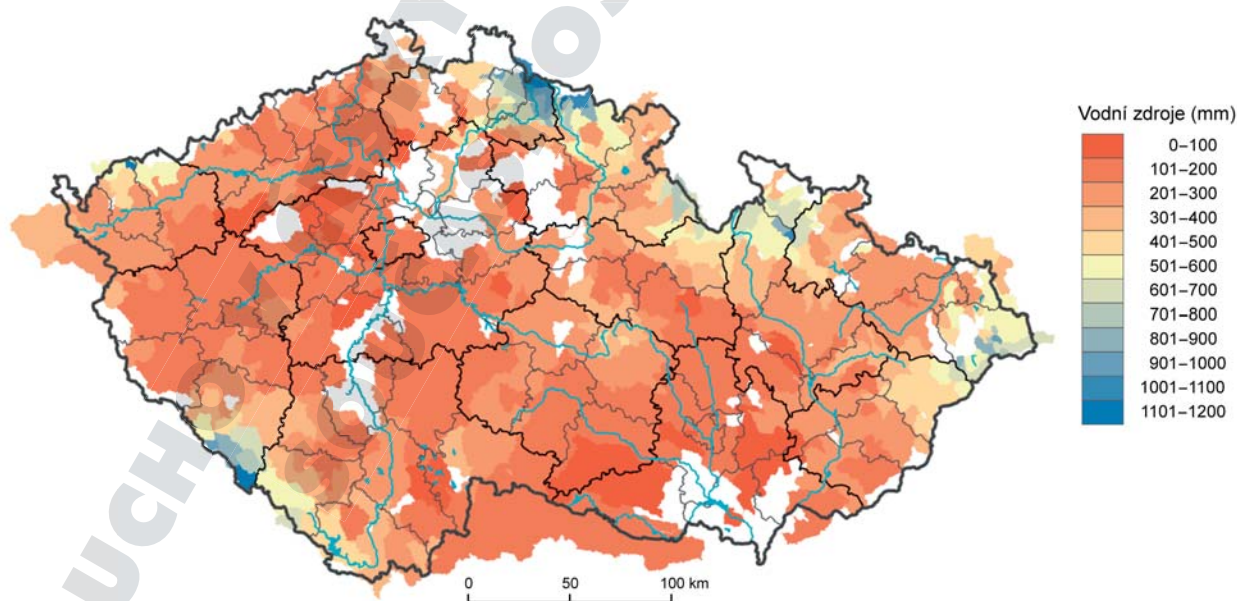
**Obr. 276.** Změny zásoby podzemní vody v České republice podle simulací souboru regionálních klimatických modelů pro období 2070–2099. Šrafovaním jsou znázorněny oblasti, v nichž se 2/3 (jednoduché šrafování), resp. 90% (dvojitě šrafování) simulací shoduje ve znaménku změny (Hanel et al., 2013)

**Figure 276.** Changes in groundwater storage in the Czech Republic in the ensemble of regional climate models for the 2070–2099 period. Hatching shows areas for which 2/3 (simple hatching) and/or 90% (double hatching) of simulations agree in the sign of changes (Hanel et al., 2013)

### 7.6.2 Vodní zdroje

Hodnocení vodních zdrojů v České republice se provádí podle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb. o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a údajích pro vodní bilanci § 6 a ČSN 75 2405. V této kapitole jsou však vodní zdroje popsány komplexněji se zaměřením na kvantifikaci případů nedostatku vody pro současné a výhledové podmínky v České republice. Pro současné poměry

jsou vodní zdroje zachyceny na obr. 277. Hodnocení výhledového stavu je podmíněno uspokojením nároků na užívání vody, tj. odběrů z povrchových vod, podzemních vod a vypouštění (může být problematické z hlediska kvality vody a negativně může tok ovlivňovat i zvýšená teplota vody). Tyto nároky se však liší podle lokality a není úplně zřejmé, jaké budou ve výhledech několika desetiletí. Z těchto důvodů je užívání vody řešeno variantně pro výhledová



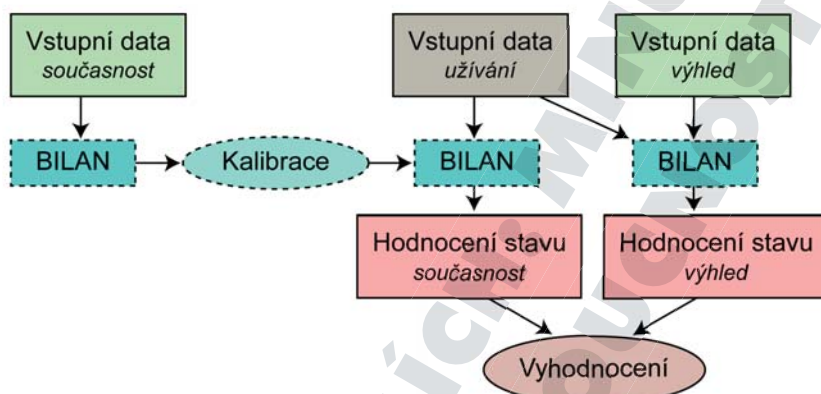
**Obr. 277.** Dostupnost vodních zdrojů v České republice v současnosti (Vizina et al., 2014a)

**Figure 277.** Availability of water resources in the Czech Republic in the current conditions (Vizina et al., 2014a)

období. Princip hodnocení je znázorněn na obrázku 278 a lze ho shrnout do následujících bodů (Vizina et al., 2014b):

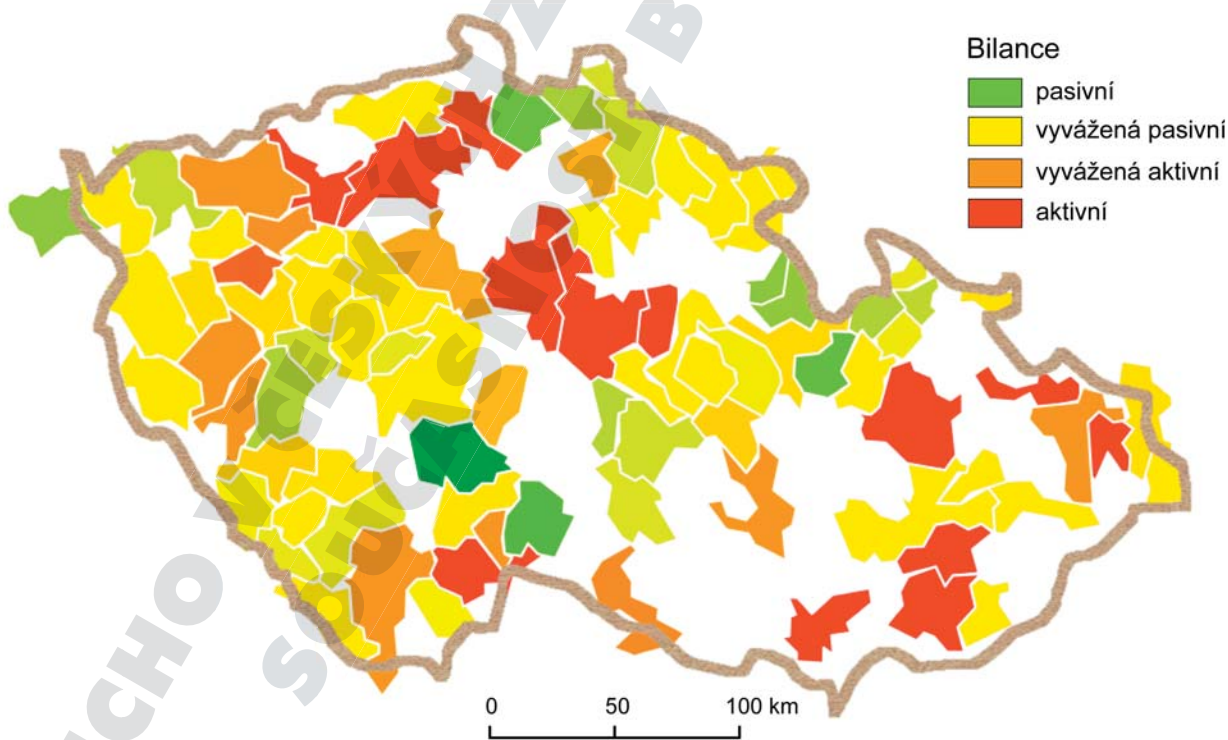
- kalibrace modelu na současných podmínkách,
- upravení vstupních údajů o užívání vody a o klimatických podmínkách,
- modelování bilance pro současné a výhledové podmínky,
- vyhodnocení stavu povrchových a podzemních vod.

Pro hodnocení stavu vodních zdrojů jsou vstupními veličinami zabezpečení dodávky vody, nedostatkový objem, maximální délka poruchy, maximální nedostatkový objem a parametr polohy rozdělení GEV. Na základě tohoto hodnocení jsou pak jednotlivá povodí rozdělena na aktivní, aktivní vyvážená, pasivní vyvážená a pasivní (bližší viz kap. 6.3.2). Na obrázku 279 jsou ukázány výsledky pro model REMO\_EH5 a období 2010–2039 při současném užívání vody. Jak lze předpokládat, problémové



**Obr. 278.** Schéma hodnocení vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny (Vizina et al., 2014a)

**Figure 278.** Assessment of water resources in terms of climate change (Vizina et al., 2014a)



**Obr. 279.** Hodnocení vodních zdrojů v České republice podle modelu REMO\_EH5 pro období 2010–2039 (Vizina et al., 2014a)

**Figure 279.** Assessment of water resources in the Czech Republic, using the REMO\_EH5 model for the 2010–2039 period (Vizina et al., 2014a)



lokality se nacházejí v místech, kde již v současných podmínkách je dostupnost vodních zdrojů snížena. Většinou jsou to místa s nízkými srážkovými úhrny, jako je jižní Morava nebo střední Čechy. Tyto lokality budou problematické i podle simulací klimatických modelů, přičemž tento problém bude ještě závažnější v budoucnosti než za současných podmínek.

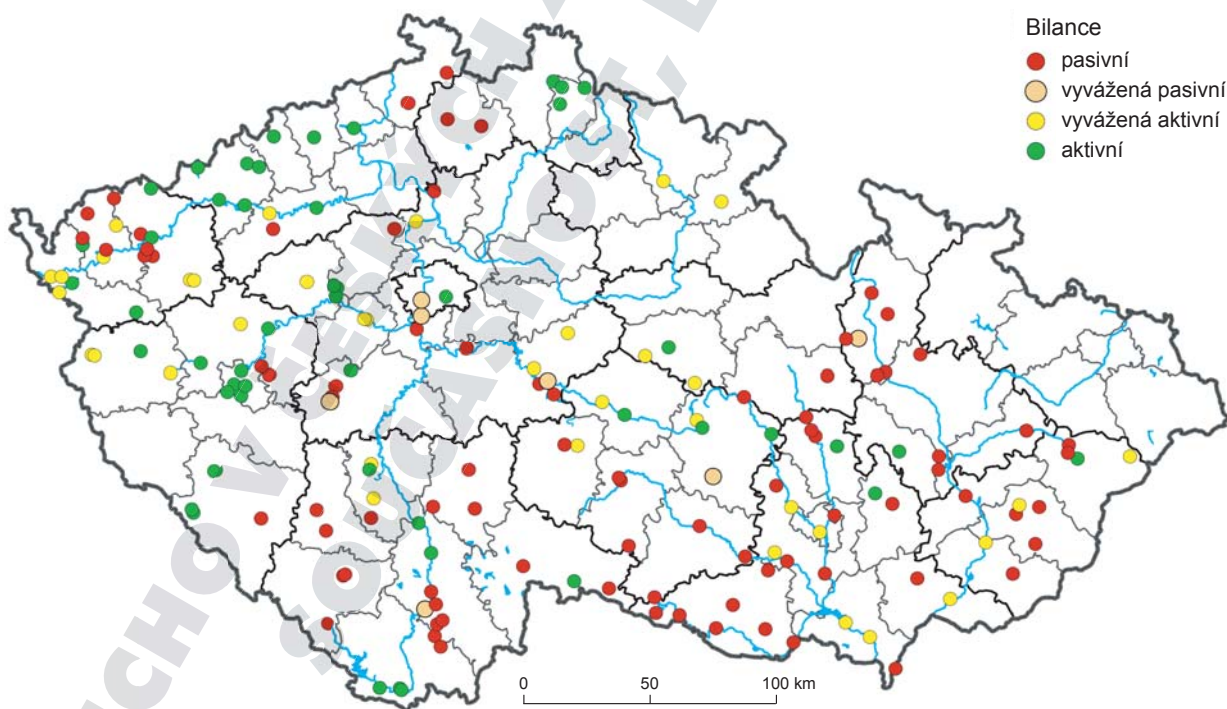
### 7.6.3 Vodohospodářské soustavy a jejich ohrožení suchem

Následující výsledky jsou syntézou studií zaměřených na dopad klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v dílčích povodích (Kašpárek et al., 2007, 2008; POPOd, 2010; Vyskoč et al., 2010). Vstupem do vodohospodářského simulačního modelu byla současná hydrologie, která je založená na pozorovaných datech a na výhledech, které byly modelovány modelem BILAN podle vybraných regionálních klimatických modelů a emisních scénářů z projektu PRUDENCE (Christensen, Christensen, 2007). U simulace regionálního klimatického modelu RCAO podle emisního scénáře SRES-B2, který bylo možno označit za blízký středů rozsahu použitých scénářů, se projevují zřetelné změny hydrologického režimu, zejména pokles průměrných

průtoků o 15–20 %. Důležitou změnou je rozkolísanost průtoků, hlavně minimálních, které často nebudou dosahovat potřebných ekologických hodnot, což přinese vážné problémy v oblasti ochrany kvality vod, způsobené především zhoršením podmínek pro ředění zbytkového znečištění, vypouštěného z čistíren odpadních vod. Rozbor je udělán po jednotlivých povodích a je graficky znázorněn pro výhledový stav v letech 2071–2100 na obrázku 280.

#### 7.6.3.1 Povodí Vltavy

Za současných hydrologických podmínek jsou požadavky na užívání vody a zachování minimálních průtoků dostatečně zabezpečeny s výjimkou menších problémů u aktivit zajišťovaných vodními nádržemi Pilská a Obecnice v povodí Berounky. Některé simulace regionálních klimatických modelů ukazují, že mohou nastat situace, které by byly stávajícími zdroji vody neřešitelné. Požadavky na užívání vody a zajištění minimálních průtoků nejsou zajištěny pro simulaci regionálního klimatického modelu RCAO podle emisního scénáře SRES-B2 pro 24 % hodnotných profilů a podle emisního scénáře SRES-A2 pro 51 % profilů. V případě simulace regionálního klimatického modelu HIRHAM nejsou požadavky zajištěny pro 63 % profilů podle emisního scénáře SRES-B2



**Obr. 280.** Hodnocení vodohospodářské bilance pro vodohospodářské soustavy České republiky k rokům 2071–2100 (Vizina et al., 2014a)

**Figure 280.** Assessment of water balance for water management systems in the Czech Republic for the years 2071–2100 (Vizina et al., 2014a)



a 73 % profilů pro nejnepríznivější variantu emisního scénáře SRES-A2. Z dalších významných nádrží je na tom nejlépe vodní nádrž Lipno I, nejhůře vodní nádrž Švihov. Nádrže Orlický a Slapy jsou v tomto ohledu přibližně rovnocenné (Kašpárek et al., 2007).

### 7.6.3.2 Povodí Ohře

Možný nepříznivý dopad klimatické změny na vodní zdroje je patrný zejména v dolním povodí Teplé, včetně zajištění vodárenských odběrů z vodní nádrže Stanovice, částečně v povodí levobřežních přítoků Ohře v západní části oblasti povodí (Rolava, Svatava), v povodí Blšanky a Liboce a u pravobřežních přítoků Labe (Ploučnice, Liběchovka, Kamenice, Pšovka), včetně zajištění vodárenských odběrů z vodní nádrže Chřibská (Chřibská Kamenice). Naopak dostatečně jsou zajištěny požadavky na odběry a minimální průtoky v profilech vodních nádrží Mariánské Lázně, Jesenice, Horka, Myslivny, v nádržích vodohospodářské soustavy severočeské hnědouhelné pánve, v nádržích Kadaň a Nechranice, ve vodohospodářské soustavě NOD (náhradní opatření za nádrž Dřínov), v nádrži Všechny a na samotném toku Ohře (Vyskoč et al., 2010).

### 7.6.3.3 Povodí Labe

Změny hydrologického režimu se projeví zmenšením možnosti celkového nadlepšení průtoků při zachování zásobních objemů stávajících nádrží asi o 10–40 %. Pokles bude v relativním měřítku mírnější v horských povodích, významnější v povodích střední nadmořské výšky a největší v povodích s nejmenší průměrnou nadmořskou výškou. Z výsledků studií dále vyplývá, že zatímco za současných podmínek jsou požadavky na užívání vody a zachování minimálních průtoků dostatečně zabezpečeny, pro varianty řad průtoků vycházející ze scénářů klimatických změn dojde ke značnému dopadu na zásobní funkci vodohospodářské soustavy. Z uvedených poznatků je zřejmé, že nepříznivé dopady klimatické změny na hydrologický režim v povodí Labe nebude možné řešit v dostatečné míře případnou změnou manipulačních pravidel pro řízení odtoku. Pokud taková situace nastane, bude ji možné eliminovat nebo zmírnit její dopady pouze realizací dalších opatření při samozřejmém předpokladu racionalizace ve sféře užívání vody a vytvoření podmínek pro optimalizaci vodního režimu krajiny. Všechny posuzované odběry vody zajišťované vodními nádržemi jsou dostatečně zabezpečeny. Nicméně určitý problém může představovat odběr pro elektrárnu Opatovice, kde

nejdou dostatečně zajištěny požadované minimální průtoky v Labi a v Opatovickém kanálu. Průtok v profilu Opatovice je nadlepšován z nádrže Rozkoš. Naopak u odběrů z vodních toků je zajištěn pouze odběr Kárané (Jizera). Dostatečně není zabezpečen zejména odběr pro úpravnu vody Příkrý (Kašpárek et al., 2008).

### 7.6.3.4 Povodí Odry

Odhady změn klimatu a na ně navazující modelová šetření naznačují, že by se zvládnutí dosavadní zabezpečení neobešlo bez nutnosti zřízení nových umělých akumulací, zachycujících vody z doby jejich přebytku pro využití v době nedostatku. Možné klimatické změny by se dotkly poměrů v celém povodí a z hlediska zásobování vodou by se jejich negativní účinky projeví ve větší míře v podoblasti ležící mimo dosah působnosti vodohospodářské soustavy povodí Odry. Nejmarkantněji by se jejich nepříznivé ovlivnění projevilo na Jablunkovsku, ale rovněž i na Jesenicku a nejspíše i v povodí střední Odry nad Ostravou, které leží mimo dosah vlivu vodohospodářské soustavy. I v podoblasti ovládané soustavou se předpokládá, že by klimatické změny byly provázeny negativními dopady. Jak plyne z modelované, pětisetleté hydrologické řady průměrných měsíčních průtoků v síti příslušných stanic v povodí, zohledňující ovlivnění předpokládanou klimatickou změnou a fungování celé vodohospodářské soustavy v dnešní podobě, včetně dnešních nároků na vodu, by tyto změny způsobily i zde poměrně vážné poruchy. Docházelo by k nim i přesto, že podle modelových simulací do roku 2050 (bez vlivu klimatických změn) by dnešní soustava zvládla i hypotetický předpokládaný nárůst odběrů vody o 20 %, aniž by bylo třeba jejího dalšího doplnění o nové akumulace. Při změně hydrologie povodí v důsledku změny klimatu a při stagnaci odběrů na současných hodnotách by ale mělo do roku 2050 dojít k narušení některých funkcí údolních nádrží v soustavě, včetně možnosti jejich spolupráce v soustavě (POPOD, 2010).

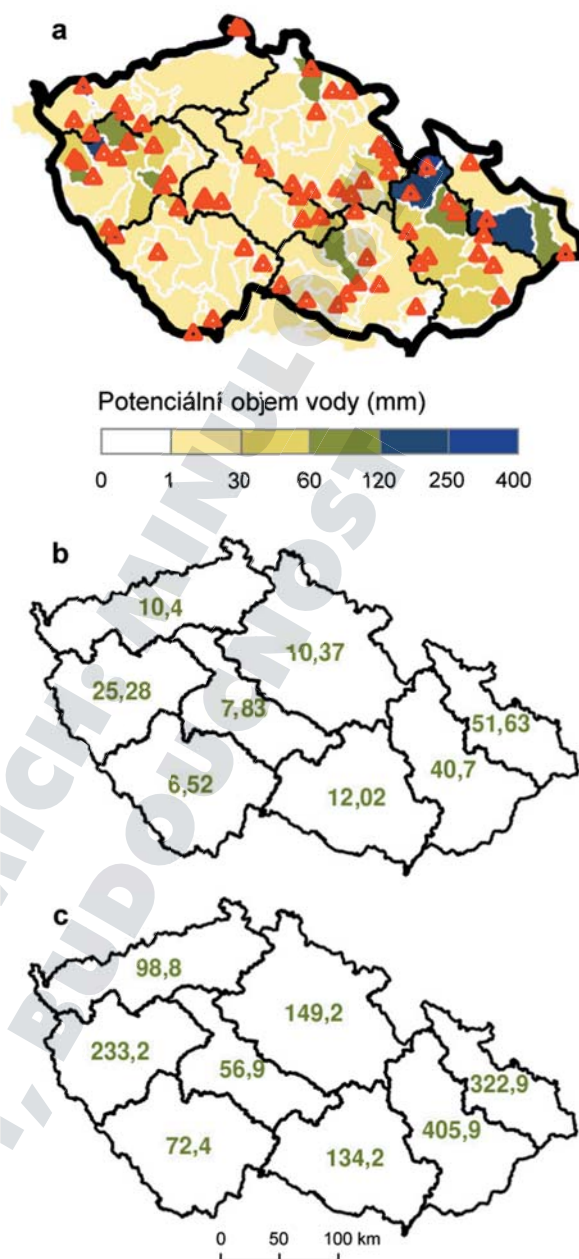
### 7.6.3.5 Povodí Moravy

V oblasti povodí Moravy, v dílčím povodí Dřevnice, se na připravených průtocích dotčených klimatickými změnami výrazně snižuje kapacita vodárenské nádrže Slušovice, která by nepokryla ani relativně nízké požadavky na odběry vody realizované v roce 2005. Další vodárenské nádrže, Karolinka na Stanovnici a Opatovice na Malé Hané, by ve výhledu požadavky na odběry vody z roku 2005 těsně zvládly (Drbal et al., 2008).

### 7.6.3.6 Kompenzace růstu nedostatkových objemů

Jednou z možností kompenzace nedostatkových objemů vody v budoucích deficitních obdobích je využití lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod (dále jen LAPV). Generel těchto lokalit (jehož pořízení je dáno zákonem) vychází ze seznamu výhledových vodních nádrží ze Směrného vodohospodářského plánu ČSR, jenž byl naposledy aktualizován roku 1988. Tato aktualizace uvažovala 210 územně hájených lokalit. V letech 2005–2007 byl zpracován Plán hlavních povodí České republiky, jehož součástí byl i seznam LAPV redukováný na 186 územně hájených lokalit. Tento seznam se ale kvůli odporu veřejnosti nepodařilo odsouhlasit. Proto byl ve schváleném Plánu hlavních povodí České republiky přijat v závazné části úkol navrhnout legislativní postup v rámci vodního zákona k provedení výběru lokalit a při tomto výběru přihlídnout k environmentálním a socio-ekonomickým důsledkům územní ochrany, uskutečnit projednání s dotčenými kraji a obcemi a stanovit hlavní zásady využití těchto území (MZe a MŽP, 2011). V současné době byl Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem životního prostředí schválen Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod (dále jen Generel; MZe a MŽP, 2011), v němž je uvažováno 65 lokalit. V této knize se ale pracuje se seznamem 69 lokalit, jenž pochází z návrhu Generelu z roku 2010 (MZe a MŽP, 2011) a který byl v době zpracování této monografie k dispozici (obr. 281).

Možnost využití LAPV pro zmírnění důsledků změny klimatu (zejména zajištění dostatku vodních zdrojů a zlepšení hydrologického režimu v krajině) v případě uskutečnění pesimističtějších scénářů změny klimatu je zřejmá a je zmíněna i v samotném generelu. Generel LAPV stanoví soubor jedinečných lokalit, jejichž plochy jsou morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchových vod jako jednoho z adaptačních opatření pro případné řešení dopadů klimatické změny, především pro snížení nepříznivých účinků povodní a sucha, v dlouhodobém horizontu příštích 50 až 100 let (MZe a MŽP, 2011). Nicméně množství vody, jež by případné nádrže na jednotlivých lokalitách za předpokladu pokračující klimatické změny byly schopné poskytnout, je nejisté a závisí, kromě geomorfologických charakteristik, zejména na míře oteplování a na budoucím geografickém rozložení srážek. Případné využití hájených lokalit k realizaci vodních nádrží by mělo nastoupit až tehdy, kdy budou vyčerpány možnosti ostatních opatření k zajištění



**Obr. 281.** Lokality (červeně) vhodné pro akumulaci povrchových vod v České republice (a) a potenciální objemy vody dostupné v případných nádržích v jednotlivých povodích vyjádřené pro plochu oblastí povodí v mm (b) a milionech m<sup>3</sup> (c) (Hanel et al., 2013)

**Figure 281.** Locations (red) suitable for surface water storage in the Czech Republic (a) and potential volumes of water available in the potential reservoirs in individual catchments expressed in mm (b) and in million m<sup>3</sup> (c) (Hanel et al., 2013)

vodohospodářských služeb a kdy dopady klimatické změny nebudou řešitelné jinými prostředky pro jejich neproveditelnost nebo pro jejich neúměrné náklady. S touto vizí by měly být Generelem LAPV vymezené lokality přejímány do všech stupňů územní plánovacích dokumentací, tj. jako územní rezervy se

stanoveným kritériem pro převod do návrhu pouze v případě, kdy by byla prokázána potřeba tohoto kroku k řešení dopadů klimatické změny příslušnými studii (MZE a MŽP, 2011).

V roce 2005 byl ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka proveden odhad objemu nádrží potřebný pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny (Peláková, Boersema, 2005). Součástí tohoto vyhodnocení bylo i rámcové porovnání těchto odhadů s potenciálními objemy 210 nádrží na LAPV. Bylo konstatováno, že pro alespoň částečnou kompenzaci nedostatkových objemů by bylo nutno využít všechny lokality. Následující analýza vychází ze stejné metodiky, nicméně uvažuje aktuálně projednaný seznam LAPV a 15 simulací regionálních klimatických modelů z projektu ENSEMBLES (Hewitt, Griggs, 2004).

Pro 100 povodí, na jejichž území by se projevil efekt těchto nádrží, byla následně modelována jejich hydrologická bilance pomocí modelu BILAN. Obrázek 281 ukazuje vybraná povodí a dostupné objemy nádrží v jednotlivých oblastech povodí. Pro většinu povodí byly k dispozici řady měsíčních průtoků s minimální délkou 27 let (pro povodí Odry a některé stanice v povodí Moravy byly k dispozici pouze řady dvacetileté).

Nedostatkové objemy jsou definovány na základě poklesu průtoků pod prahovou hodnotu  $Q_{70}$ , tj. 70% kvantil z čáry překročení měsíčních průtoků. Deficity byly nejprve pro každé povodí vyčísleny v simulovaných řadách pro současné období. Následně byly vyhodnoceny deficity ve scénářových řadách, které byly získány pomocí přírůstkové metody pro období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 na základě uvažovaných simulací 15 regionálních klimatických modelů. Deficity podle scénářové a historické řady byly poté odečteny a byl určen medián a maximum těchto rozdílů. Tento postup není náhradou vodohospodářského řešení jednotlivých nádrží. Nezkoumá se, v jak dlouhém období před nástupem kritického období hydrologického sucha by bylo nutné vodu akumulovat. Při volbě prahových měsíčních průtoků  $Q_{70}$  lze oprávněně předpokládat, že pokud dopad klimatické změny nebude zcela katastrofální, bude reálné v sezoně nebo několikaletém období před začátkem kritického hydrologického sucha vodu potřebnou ke kompenzaci průtoků v nádržích akumulovat a při průtokové depresi nadlepit průtoky. Nejedná se o vyrovnání průtoků na  $Q_{70}$ , ale o zvětšení průtoků v období poklesu pod tuto mez na průběh odpovídající stavu před klimatickou změnou (Peláková, Boersema, 2005).

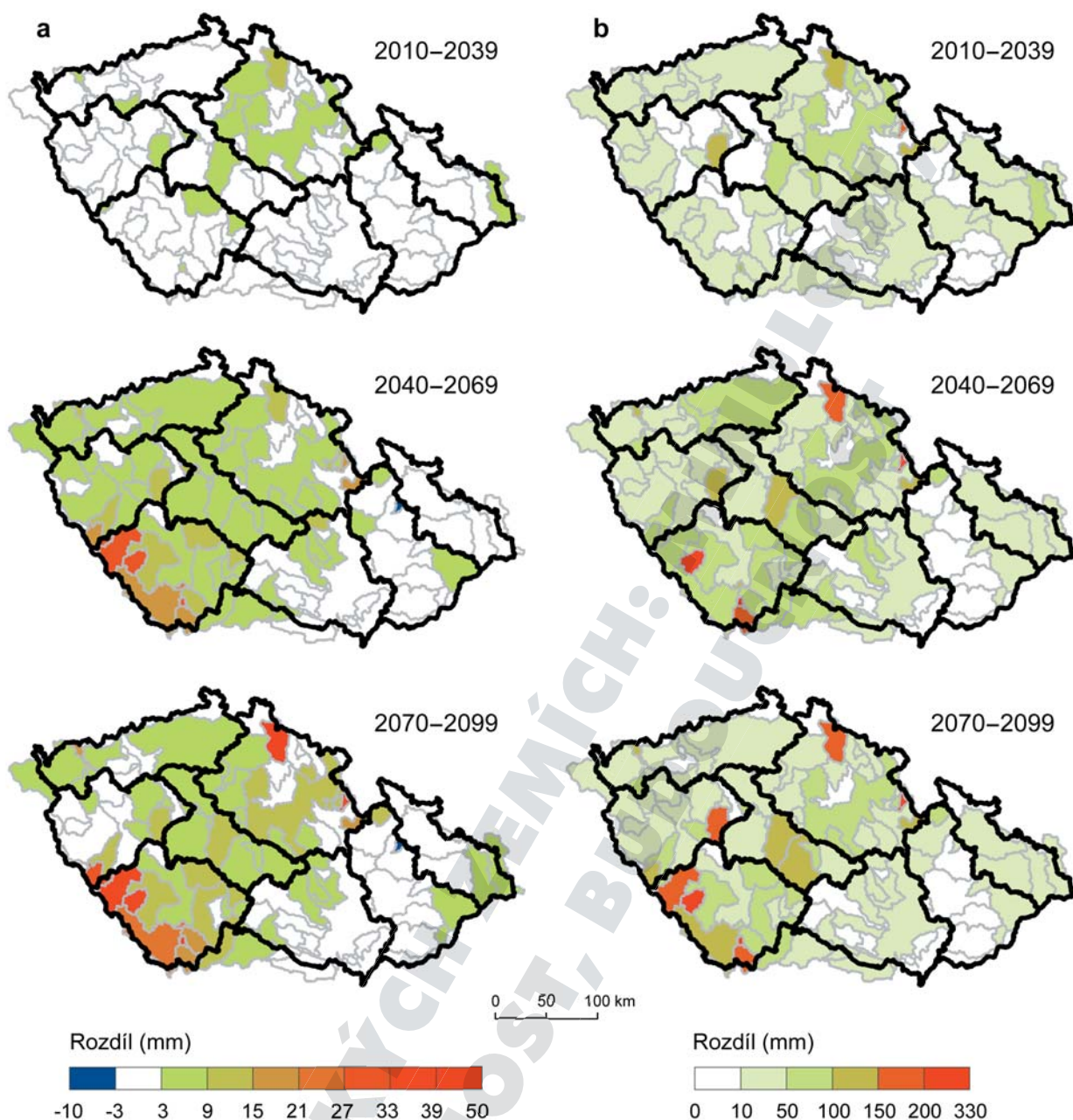
Peláková a Boersema (2005) se zabývali možností kompenzace maximálního možného rozdílu v deficitech ( $\Delta_{MAX}DEF$ ) mezi pozorovaným a klimatickou změnou ovlivněným deficitem. Hanel et al. (2011) navíc uvedli i porovnání pro medián těchto rozdílů ( $\Delta_{MED}DEF$ ). Obrázky 282a–b ukazují hodnoty  $\Delta_{MED}DEF$  a  $\Delta_{MAX}DEF$  na studovaných povodích podle průměru všech modelů pro období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099. Na všech analyzovaných povodích a pro všechna tři období je modelovaný mediánový a maximální deficit větší než deficit pozorovaný. Hodnoty pro dvě poslední období se příliš neliší: největší rozdíly v deficitech lze pozorovat v povodích Vltavy, Labe, Berounky a Ohře, přičemž v povodích Moravy, Dyje a Odry jsou tyto rozdíly méně významné. Nicméně odhady jsou zatíženy značnou nejistotou (například pro některé simulace je mediánový deficit v budoucím období menší než v pozorovaném, nicméně pro valnou většinu simulací jsou deficity větší v budoucím období).

Obrázky 282c–d ukazují rozdíly mezi dostupnou vodou v uvažovaných nádržích a vodou nutnou ke kompenzaci  $\Delta_{MED}DEF$  a  $\Delta_{MAX}DEF$  podle průměru celého souboru použitých klimatických modelů. Až na výjimky lze v povodí horní Vltavy konstatovat, že uvažované nádrže poskytují dostatečnou kapacitu pro pokrytí  $\Delta_{MED}DEF$ . Naproti tomu uvažovaná kapacita je kromě povodí Odry a Moravy nedostatečná k pokrytí projektovaného  $\Delta_{MAX}DEF$ . V případě jednotlivých modelových simulací může být situace podstatně horší i částečně lepší.

#### 7.6.4 Plánování aktivit v období nedostatku vody a sucha

V období hydrologického sucha je třeba odběry vody koordinovat a vytvořit pravidla pro šetření s vodou tak, aby byla zajištěna ekologická stabilita na toku, nebylo ohroženo obyvatelstvo v důsledku nemožných dodávek kvalitní pitné vody či hrozící havárie průmyslového nebo energetického podniku v důsledku nedostatku vhodné vody. Je proto nutné přijmout legislativní opatření, která umožní optimálnější nakládání s vodami, aby se omezily dopady hydrologického sucha. V souvislosti s eliminací dopadů sucha jsou ve světě i v rámci zemí Evropské unie přijímána potřebná opatření ke zmírnění dopadů sucha (podrobnosti ke struktuře plánování a plánovacích dokumentací v rámci Evropské unie a vybraných států světa, včetně současné situace v naší republice, viz například Tremml, 2013). V České republice se o optimální podobě možných adaptačních opatření pro zmírnění dopadu sucha zatím



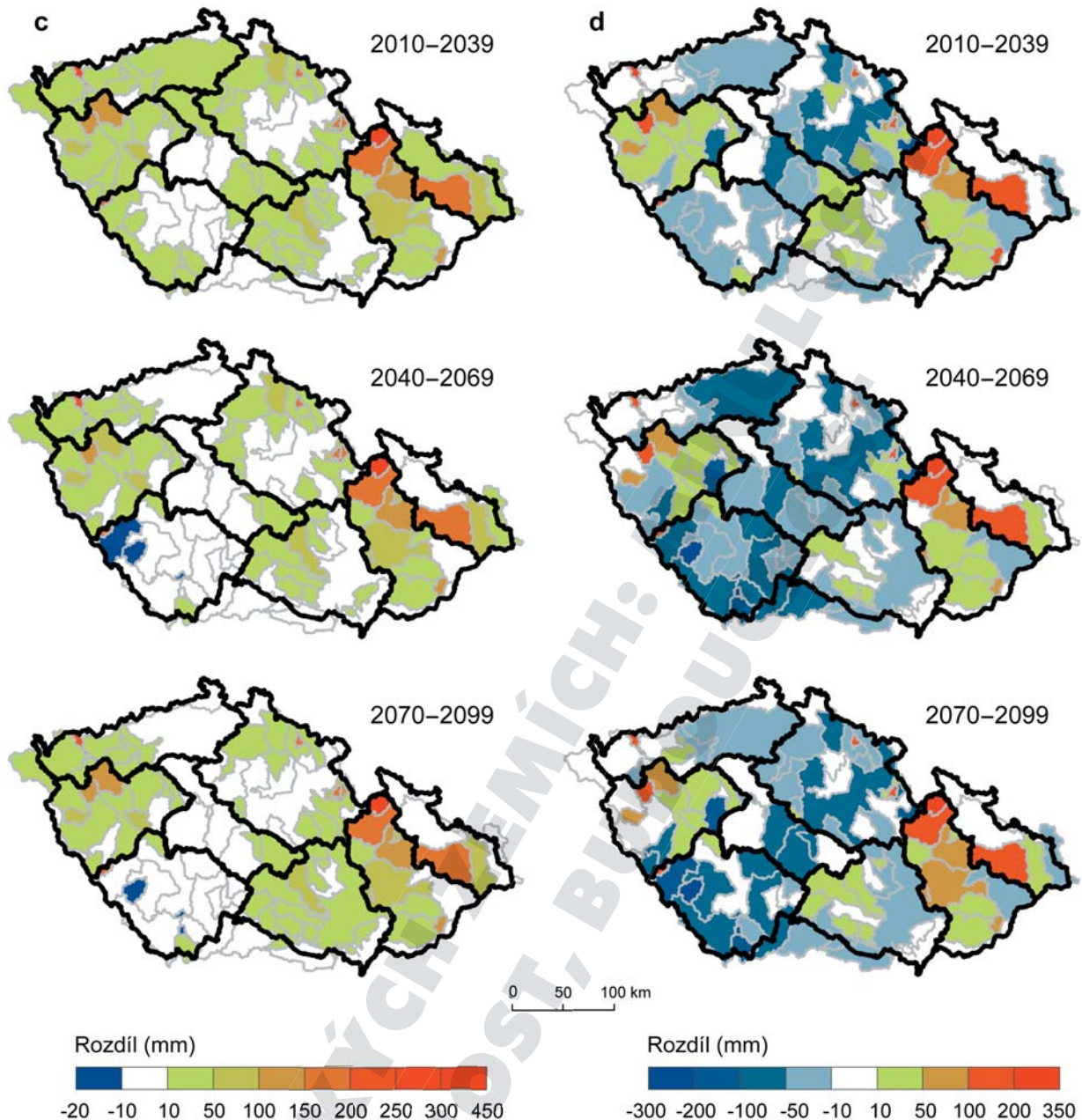


**Obr. 282.** Rozdíly (a)  $\Delta_{\text{MED}}\text{DEF}$  a (b)  $\Delta_{\text{MAX}}\text{DEF}$  (mm) na modelovaných povodích na území České republiky a rozdíly mezi dostupnou vodou v uvažovaných nádržích a vodou nutnou ke kompenzaci (c)  $\Delta_{\text{MED}}\text{DEF}$  a (d)  $\Delta_{\text{MAX}}\text{DEF}$  podle průměru celého souboru klimatických modelů pro období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 (Hanel et al., 2013)

**Figure 282.** Changes (a)  $\Delta_{\text{MED}}\text{DEF}$  and (b)  $\Delta_{\text{MAX}}\text{DEF}$  (mm) in modelled catchments over the territory of the Czech Republic and the differences between available water in potential reservoirs and water considered necessary to compensate (c)  $\Delta_{\text{MED}}\text{DEF}$  and (d)  $\Delta_{\text{MAX}}\text{DEF}$  according to the mean of the ensemble of climate models for the 2010–2039, 2040–2069 and 2070–2099 periods (Hanel et al., 2013)

diskutuje, případně jsou zpracovávány případové studie dopadů sucha na vybraná povodí a navržená možná adaptační opatření (například Hanel et al., 2011; Horáček et al., 2011; Mrkvičková et al., 2012). Z hlediska možných přijímaných opatření v období sucha se uvažuje o zavedení obdobného schématu plánování jako v době povodní. Pro kvantitativní zhodnocení sucha je klíčová role ČHMÚ. Ten mů-

že díky dostupným aktuálním měřením efektivně zhodnotit aktuální průběh sucha a s užitím modelů také předpovědět, jak se bude sucho vyvíjet, resp. zda sucho nastane nebo naopak skončí. Na základě vytvořených plánů pro zmírnění dopadů sucha (ať už samostatně vytvořených, případně jako součásti Plánů oblastí povodí) je možné přijmout poté potřebná opatření, která nastaví spravedlivé podmínky

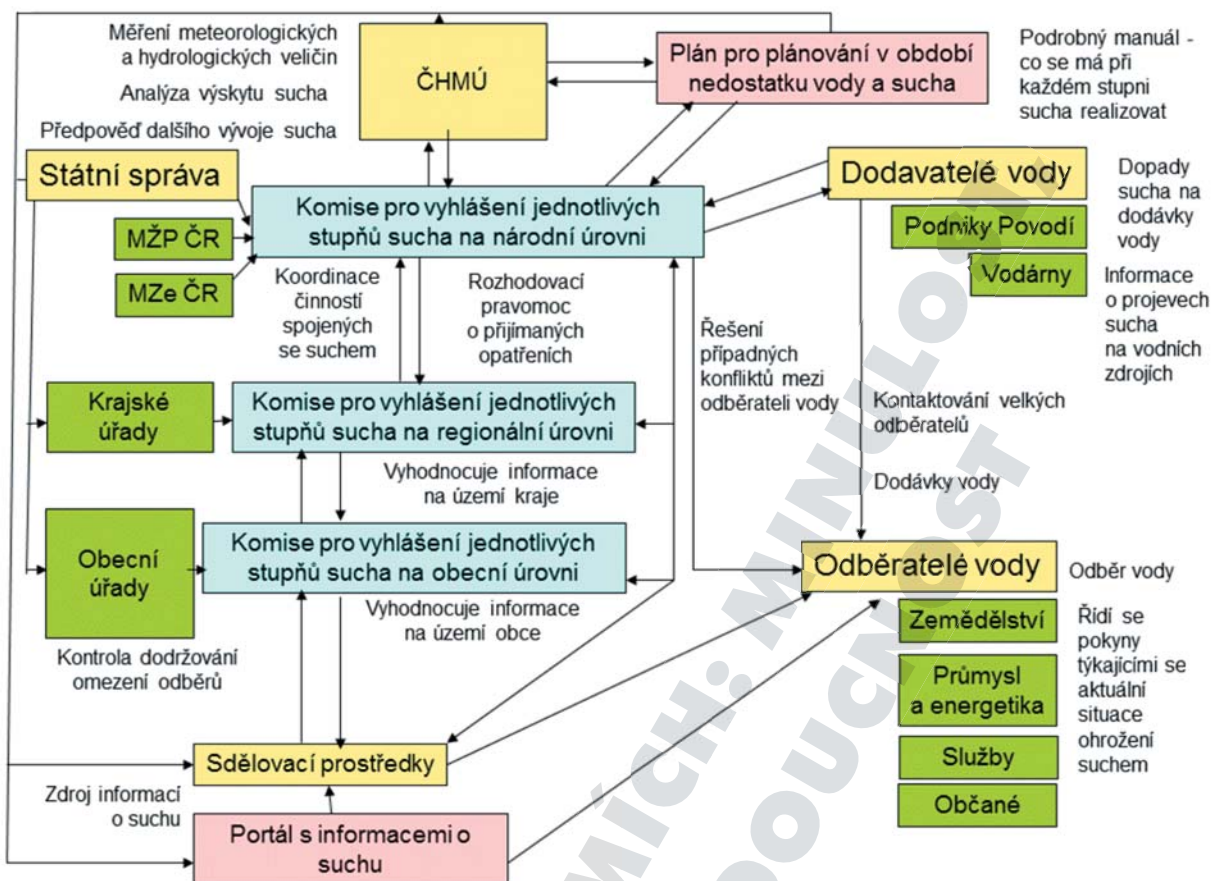


**Obr. 282** – pokračování  
**Figure 282** – continued

pro šetrné využívání vody. Je třeba zabezpečit dostatek nezávadné pitné vody. Dodavatelé vody proto musí zajistit bezproblémové dodávky vody za pomoci stávající infrastruktury, případně musí být vyhledány a v období sucha aktivovány alternativní zdroje, jejichž možnost využití je potřeba znát s dostatečným předstihem. Kromě dostatečného množství vody musí být hlídána i kvalita vody. V případě nedostatku vody by měli být odběratelé vody rozděleni do kategorií podle důležitosti odběrů, kde hlavní prioritou je zabezpečení dodávek pitné vody a vody

pro účely, v rámci nichž by nedostatek vody představoval vážné problémy pro poškození užívaných systémů nebo jejich havárii. Naopak nižší prioritu (resp. zákaz užívání) by měly mít dodávky vody pro okrasné účely, závlahy či mycí účely. Podstatná je i detekce a oprava úniků vody a netěsností v soustavě spotřeby vody, čímž se eliminují dnes obrovské ztráty vody. Potřebné je také další snižování spotřeby vody (nejen fyzicky, ale i za pomoci na vodu šetrných spotřebičů, resp. odstavením na vodu náročných spotřebičů a procesů), zvyšování podílu recyklované vody,





Obr. 283. Návrh možného konceptu plánování aktivit v období nedostatku vody a sucha

Figure 283. Proposal for an outline plan of what may be done in a period of water deficiency and drought

ochrana všech zdrojů vody a podpora retenčních opatření v krajině pro zadržení vody. Významná je také osvěta veřejnosti a dobrá komunikace s médii tak, aby se spotřebitelé dozvěděli, co všechno mají dělat pro snížení spotřeby vody v běžném období i v období nedostatku vody. Právě z výše uvedených principů by mělo vycházet nové plánování pro období nedostatku vody a sucha. Při přihlédnutí k současné podobě plánování v období povodní by mohl plánovací proces v budoucnu vypadat například jako na obr. 283. V současné době nicméně systém plánování pro období sucha není příliš rozvinut a o hydrologickém suchu se uvažuje pouze tehdy, když průtok klesne pod prahovou hodnotu  $Q_{355}$ . Informace o výskytu hydrologického sucha na tocích lze pak nalézt na stránkách Hlásné a předpovědní služby ČHMÚ (<http://hydro.chmi.cz/hpps/index.php>).

## 7.7 ADAPTACE NA BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA SUCHA

Dlouhodobé udržení kvality lidského života závisí na bezpečnosti ekosystémů a jejich kapacitě po-

skytovat ekosystémové služby (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Bezpečnost člověka a lidské společnosti tvoří jeden z aspektů kvality lidského života a z hlediska vztahu ke změnám životního prostředí hovoříme o environmentální bezpečnosti (Janoušková et al., 2013). Environmentální bezpečnost lze definovat jako dlouhodobé udržení určité úrovně ekosystémových služeb, které spoluurčují kvalitu lidského života a ekonomickou prosperitu společnosti. Lidská společnost je v současnosti ovlivňována celou řadou rizik, vznikajících působením přírodních a antropogenních faktorů, nebo jejich vzájemnou součinností. Změna klimatu a přeměny ekosystémů vedou často ke ztrátě širšího spektra ekosystémových služeb, což narušuje environmentální bezpečnost lidské společnosti.

Environmentální bezpečnost se vztahuje na ochranu důležitých ekosystémových služeb a zabezpečení dodávky přírodních zdrojů (včetně vody, půdy, energie a minerálů) v takové míře, která umožňuje setrvalé udržení ekonomické úrovně a kvality lidského života (Hecht et al., 2012). Globální změny v rostoucí míře přinášejí zvýšená rizika



pro lidskou společnost i přírodní prostředí. Společenské i přírodní systémy si tedy potřebují zachovat určitou míru rezilience, aby byly schopny reagovat na globální změny a problémy, což vyjadřuje koncept adaptivní kapacity. Miléniový projekt (Glenn et al., 2014) definuje environmentální bezpečnost jako životaschopnost životního prostředí pro podporu lidského života spolu se součástmi, které

- a) zabraňují nebo napravují poškození životního prostředí,
- b) zabraňují nebo odpovídají environmentálním konfliktům,
- c) ochraňují životní prostředí díky jeho neodmyslitelné morální hodnotě.

Sucho z pohledu environmentální bezpečnosti přináší nejen celou řadu rizik pro fungování ekosystémů, ale i pro úroveň a kvalitu lidského života. V extrémní podobě může sucho jako přírodní zdroj rizika představovat i živelní pohromu. Výskyt sucha i v menší intenzitě a míře však může ohrozit fungování ekosystémů či narušit výstupy různých sektorů lidské činnosti, které nemusí být snadno nahraditelné z dlouhodobého hlediska. Tato kapitola se zabývá vztahem sucha k ekosystémovým službám a adaptivní kapacitě sociálně-ekologických systémů. Součástí je rovněž návrh možných adaptačních opatření pro zmírňování dopadů sucha a přehled vnímání možných projevů klimatické změny, včetně sucha, českou společností.

### 7.7.1 Sucho a ekosystémové služby

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, zvýšený výskyt sucha je jedním z očekávaných projevů klimatické změny v České republice (MŽP, 2009). Bez ohledu na to, zda jde o sucho meteorologické, zemědělské nebo hydrologické, všechny jeho varianty ovlivní stav biologické rozmanitosti, rezilienci ekosystémů a potenciál poskytování ekosystémových služeb (Chong, 2014). Podle Millennium Ecosystem Assessment (2005) jsou ekosystémové služby nezbytným předpokladem pro zajištění žádoucí kvality života lidí. Rozlišovány jsou čtyři základní kategorie služeb, a to podpůrné, zásobovací, regulační a kulturní (ibidem). Z celé škály přínosů poskytovaných přírodním prostředím lidské společnosti existuje u některých služeb významnější citlivost vůči dopadům sucha. Přehled klíčových ekosystémových služeb, které sucho samy ovlivňují a jsou jím ovlivňovány, uvádí tabulka 28. Významnou roli zde hrají regulační ekosystémové služby pro předcházení dopadům sucha nebo přímo pro omezení výskytu sucha. Jejich dostupnost je však podmíněna zdravými ekosystémy odpovídající struktury a fungujícími procesy. Je tedy patrné, že kromě klimatické změny hraje významnou roli v četnosti a intenzitě epizod sucha i způsob využití území a stav krajiny (Nel et al., 2014).

Pokud naopak identifikujeme suchem ovlivňované ekosystémové služby, jejichž nedostatek by byl pro společnost nejvíce nepříznivý, jedná se

**Tab. 28.** Přehled klíčových ekosystémových služeb s vazbou na sucho  
**Table 28.** Overview of key ecosystem services linked to drought

Kategorie ES	ES	Projev/dopad
<b>Ekosystémové služby ovlivňující sucho</b>		
Regulační	Ukládání uhlíku	Změna klimatu
	Regulace vodního cyklu	Regulace odtoku
	Regulace kvality půdy	Schopnost zadržování vody půdou
<b>Ekosystémové služby ovlivněné suchem</b>		
Regulační	Regulace invazí	Rozšiřování nepůvodních a invazních druhů
	Regulace eroze půdy	Zvýšená půdní eroze
	Regulace kvality půdy	Snížená úrodnost půdy a schopnost zadržování vody
	Regulace katastrof	Zvýšené riziko požárů
Zásobovací	Produkce potravin	Ohrožení potravinové bezpečnosti
	Produkce pitné vody	Nedostatek pitné vody
	Produkce přírodních materiálů	Nedostatek přírodních materiálů
Kulturní	Rekreace	Ztráta turistických míst (například v souvislosti se zánikem stanovišť)

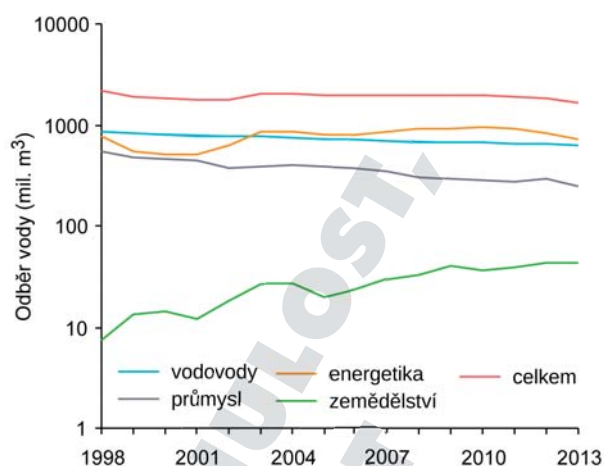
o produkci pitné vody a potravin. Přestože celková spotřeba vody v České republice v letech 1998–2013 poklesla, což lze hodnotit jako příznivou skutečnost, například z hlediska naplňování cílů Státní politiky životního prostředí (<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573>), v zemědělském sektoru má spotřeba vody rostoucí tendenci (obr. 284). Tato situace ukazuje problematický jev, kdy spotřeba vody v zemědělství do současnosti narůstala, ačkoliv celková spotřeba vody klesala. Do budoucna lze také očekávat nárůst spotřeby vody v zemědělství, a tím i vyšší riziko nedostatku vody v případě sucha, protože bude třeba více vody na závlahy.

I přes současné, relativně nízké odběry vody v zemědělství (například v porovnání s vodovody, průmyslem nebo energetikou) může vlivem sucha dojít v budoucnu ke změně takto příznivého stavu. Již mezi roky 2012 a 2013 došlo v důsledku teplého a suchého počasí ke zvýšení spotřeby vody o téměř 2 %. Kvůli závislosti odběrů na průběhu teplot vzduchu a množství srážek je proto možné, zejména v citlivých oblastech jako je jižní Morava nebo střední Čechy, očekávat v budoucnu další navýšení odběru vody (<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573>).

Z hlediska zajištění výše uvedených ekosystémových služeb (viz tab. 28) je proto žádoucí obnovit a zvýšit retenční kapacitu české krajiny a minimalizovat závislost (agro)ekosystémů na dodávané vodě. Schopnost zadržování vody krajinou lze podpořit technickými, legislativními, ekonomickými, behaviorálními<sup>98</sup> a ekosystémovými opatřeními. Ekosystémově založená opatření jsou v podstatě uplatněním konceptu ekosystémových služeb v praxi. Využívají biodiverzitu a ekosystémové služby k přizpůsobení systému novým nebo pozměněným podmínkám (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2009). Navíc mají vysoký potenciál pro řešení aktuálních environmentálních problémů, tj. ke zmírnění dopadů klimatické změny i ke snížení úbytku biologické rozmanitosti. Zároveň jsou v porovnání s technickým řešením považována za ekonomicky efektivnější, dlouhodobější a relativně bez nároku na údržbu (Chong, 2014; Nel et al., 2014).

### 7.7.2 Adaptivní kapacita v případě sucha

Sucho představuje jeden z aspektů globální změny klimatu přinášejících řadu negativních environmentálních a socio-ekonomických důsledků. Ke snazšímu vyrovnávání lidské společnosti s následky epizod sucha slouží tzv. adaptační opatření, tedy opatření



**Obr. 284.** Celkové odběry vody jednotlivými odběrateli v České republice (<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573>)

**Figure 284.** Total water withdrawals by individual customers in the Czech Republic (<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573>)

umožňující přizpůsobit se změnám klimatu a pružně na tyto změny reagovat.

Ačkoliv možných adaptačních přístupů a opatření existuje celá řada, na jejich praktické rozvíjení a implementaci mají zásadní vliv socio-ekonomické podmínky a celková připravenost společnosti reagovat na změny klimatu a její důsledky. Souhrnný potenciál lidské společnosti přijímat adaptační opatření je v odborné literatuře označován jako adaptivní kapacita, tedy schopnost přizpůsobit se změnám klimatu a zmírnit potenciální škody, využít nových příležitostí, vznikajících v důsledku měnícího se klimatu, a vyrovnat se s případnými následky (Parry et al., eds., 2007).

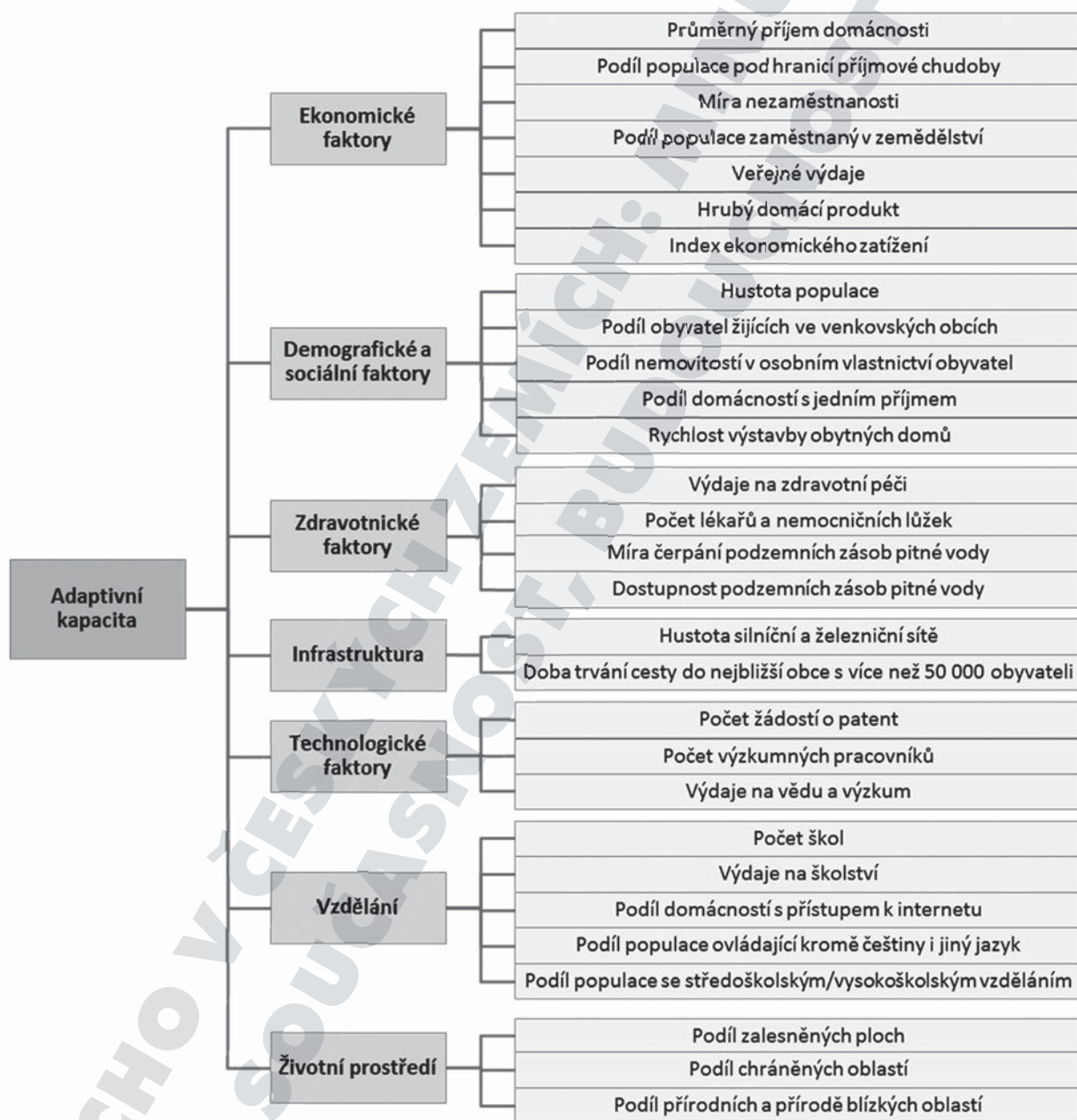
Existuje široká škála faktorů, ovlivňujících adaptivní kapacitu společnosti a umožňujících přizpůsobit se negativním dopadům změny klimatu, včetně epizod sucha. Z tematického hlediska se jedná o faktory ekonomické, demografické, technologické, informační, znalostní, institucionální atd. Protože celá řada faktorů ovlivňujících adaptivní kapacitu se liší v závislosti na studovaném území, má tedy prostorový aspekt, lze k hodnocení adaptivní kapacity přistupovat z územního hlediska a studovat rozdíly v adaptivní kapacitě jednotlivých oblastí.

Přestože existující studie analyzují odlišné parametry ovlivňující adaptivní kapacitu (Brooks et al., 2005; Hinkel, 2011; Abson et al., 2012; Acosta et al., 2013; Frazier et al., 2013; Juhola, Kruse, 2013; Lesnikowski et al., 2013; Dunford et al., 2014), některé faktory jsou uváděny jako zásadní ve většině z nich.

<sup>98</sup> Jde o změnu spotřebního chování.

Obrázek 285 ukazuje vybrané faktory ovlivňující adaptivní kapacitu, které jsou relevantní pro území a podmínky České republiky. Ekonomické faktory zahrnují převážně parametry charakterizující materiální zajištěnost obyvatel a původ jejich příjmů (například závislost na příjmech ze zemědělství). S touto skupinou úzce souvisejí faktory demografické, popisující prostorové rozmístění obyvatel a jejich sociální stabilitu. Faktory související se zdravím obyvatel charakterizují dostupnost zdravotnické péče

a zdrojů pitné vody. Další skupinu představují faktory charakterizující investice do rozvoje nových technologií formou financování vědy a výzkumu, společně s dostupností a financováním vzdělání. Poslední dvě skupiny faktorů se týkají infrastruktury a životního prostředí, a charakterizují dopravní dostupnost území a podíl ekosystémů s vysokou schopností adaptace na změny klimatu.



**Obr. 285.** Příklad faktory ovlivňujících adaptivní kapacitu území (podle Brooks et al., 2005; Hinkel, 2011; Abson et al., 2012; Acosta et al., 2013; Frazier et al., 2013; Juhola, Kruse, 2013; Lesnikowski et al., 2013; Dunford et al., 2014)  
**Figure 285.** Some of the factors affecting the adaptive capacity of a given area (after Brooks et al., 2005; Hinkel, 2011; Abson et al., 2012; Acosta et al., 2013; Frazier et al., 2013; Juhola, Kruse, 2013; Lesnikowski et al., 2013; Dunford et al., 2014)



### 7.7.3 Definování území nejvíce zranitelných suchem

Analýza území nejzranitelnějších suchem je založena na datových zdrojích z dlouhodobého monitoringu sucha (Trnka et al., 2014b) a aplikovaného projektu EnviSec.<sup>99</sup> Dílčí zranitelnost představuje kapacitu k přípravě, odpovědi či obnově z určitého ohrožení, v tomto případě tedy dopadů sucha. Její součástí pro pilotní hodnocení je fragmentace ekosystémů jako kapacita ekosystémů poskytovat služby a hustota obyvatel. Fragmentací ekosystémů v tomto případě rozumíme podíl přírodních ekosystémů v území, založený na analýze Konsolidované vrstvy ekosystémů České republiky (Frélichová et al., 2014), která klasifikuje ekosystémy naší republiky pro potřeby hodnocení ekosystémových služeb. Hustota obyvatel potom indikuje možnou expozici populace vůči dopadům sucha. Výsledná vrstva zranitelnosti území vůči suchu je tedy kombinací této dílčí zranitelnosti a dlouhodobého rizika výskytu sucha v České republice.

Pilotní mapování zranitelnosti území vůči suchu jako schopnosti ekosystémů poskytovat ekosystémové služby v závislosti na ročním výskytu stresu suchem ukazuje, že některé regiony České republiky jsou zatíženy rizikem mnohem více než ostatní

<sup>99</sup> Projekt VG20122015091 Integrované hodnocení dopadů globálních změn na environmentální bezpečnost České republiky (EnviSec) byl financován v rámci programu bezpečnostního výzkumu Ministerstva vnitra České republiky v letech 2012–2015.

(obr. 286). Jihomoravský, Ústecký a Karlovarský kraj jako území s nejnižší kapacitou reprezentují nejzranitelnější oblasti, kde lze potenciálně očekávat největší dopady. Jsou to místa, kde je současně vysoká hustota obyvatel, vysoká fragmentace krajiny, častý a intenzivní výskyt sucha.

V souvislosti s rozpoznáním rizikem projevu sucha připravilo Ministerstvo zemědělství České republiky v roce 2014 východisko pro návrh Konceptu řešení problematiky ochrany před negativními dopady výskytu sucha a nedostatku vody v České republice (Anonym, 2014). Čtyřmi prioritními oblastmi minimalizace negativních dopadů sucha a nedostatku vody jsou lidské životy a zdraví, životní prostředí, ekonomika/hospodářství a sociální struktura/společnost.

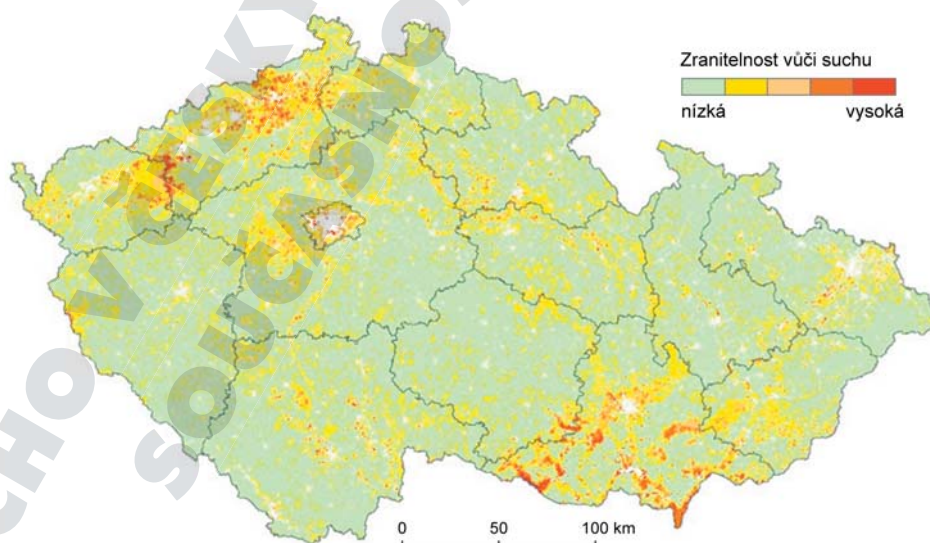
### 7.7.4 Adaptační opatření proti suchu a jejich percepce společností

Evropská komise (2009) rozlišuje šedá, zelená a měkká adaptační opatření. Ta lze v případě sucha a nedostatku vody charakterizovat následovně:

#### a) šedá opatření

Jde zejména o technická řešení a stavební úpravy, jejichž cílem je ochrana společnosti. Jedná se o následující opatření:

- rozvoj oblastí pro akumulaci povrchové vody (rezervoáry, nádrže)
- výstavba zařízení na sběr dešťové vody
- výstavba systémů na recyklaci odpadních vod



**Obr. 286.** Zranitelnost území České republiky vůči suchu (v závislosti na ročním výskytu stresu suchem)

**Figure 286.** Vulnerability of the territory of the Czech Republic to drought (in relation to annual occurrence of stress arising from drought)

- výstavba systémů doplňujících zásoby podzemní vody
  - budování infrastruktury k zajištění dodávky vody z odlehlejších oblastí.
- b) zelená opatření
- Označují se také jako přírodě blízká nebo ekosystémově založená opatření, která zvyšují odolnost společnosti prostřednictvím služeb ekosystémů. Patří k nim:
- zvýšení retenční kapacity krajiny za účelem udržení vlhkosti v půdě (údržba krajiny zachováním krajinných prvků, jako jsou například meze a remízky)
  - posílení schopnosti ekosystémů zadržovat vodu (revitalizace mokřadů a nivních biotopů) pro zvýšení odolnosti vůči suchu
  - akumulace vody v mokřadech k pozdějšímu využití
  - zakládání a údržba zelených ploch v intravilánech i extravilánech obcí za účelem zvýšení infiltrace a ukládání vody
  - zlepšení hospodaření s půdou.
- c) měkká opatření
- Zahrnují zejména systémová opatření (politiky, plánovací nástroje, způsoby šíření informací) vedoucí ke zmírňování zranitelnosti společnosti:
- mapování rizik a dostupnosti vody v současnosti (například monitoring sucha) a prostřednictvím klimatických scénářů
  - přesná hlásná a předpovědní služba a systém včasného varování
  - zvyšování povědomí o suchu a šíření informací mezi veřejností
  - zohlednění problematiky sucha a nedostatku vody v územním plánování
  - účinnější využívání vody (například omezení ztrát, lepší postupy při zavlažování, recyklace)
  - ekonomické nástroje (řízená poptávka po vodě, adekvátní ceny vody, které podpoří její udržitelnější používání)
  - krizové plány a omezení týkající se používání vody v případě delších sušších období, zajištění krizových dodávek vody
  - opatření v zemědělství: posun v načasování zemědělských činností (například doby výsadby, výsevu, ošetření), šlechtění a výběr odolnějších plodin a odrůd, které se lépe přizpůsobí dostupnosti vody a jsou odolnější vůči novým klimatickým podmínkám (tj. vyšší teplotě a nižším srážkám), zvyšování přizpůsobivosti zemědělců (informovanost, motivace).

Kromě objektivní analýzy rizika sucha, adaptivní kapacity a návrhu opatření na úrovni ekosystémů a krajiny je významným aspektem adaptivní kapacity společnosti celkové povědomí a vnímání potřeby se přizpůsobit očekávaným nepříznivým důsledkům sucha. Proto jsou dále uvedeny výsledky vnímání sucha a potřeby adaptací na suchu v české společnosti na základě rozsáhlého šetření percepce klimatických změn.

Průzkum percepce změny klimatu byl realizován formou online dotazníkového šetření na reprezentativním vzorku populace České republiky o celkovém počtu 1024 respondentů.<sup>100</sup> Vzorek zahrnoval respondenty ve věku 18 let a vyšším, vybranými napříč všemi 14 kraji republiky, s vyrovnaným zastoupením žen (50,5 %) a mužů (49,5 %). Dotazníkový průzkum byl realizován v říjnu 2014 ve spolupráci s agenturou pro výzkum trhu a veřejného mínění Ipsos. Cílem dotazníkového průzkumu bylo ověřit názor populace České republiky na otázky spojené s globální změnou klimatu a zjistit, do jaké míry občané tyto změny pocítují a zda přijímají individuální adaptační opatření.

Většina české populace (78 %) vnímá, že probíhá globální změna klimatu. Vnímání těchto změn úzce souvisí s věkem a vzděláním. O změně klimatu jsou přesvědčeni zejména mladí lidé a lidé s vyšším vzděláním. Uvedený postoj je částečně ovlivňován i osobní zkušeností s přírodní katastrofou (povodně). Většina z těch, kdo nerozporují změnu klimatu (70 %), je také přesvědčena, že Česká republika pocítuje dopady změny klimatu, což více vnímají mladí lidé od 18 do 29 let a vysokoškolsky vzdělaní lidé, nejméně pak lidé s nižším vzděláním. Vzdělání a věk hraje obecně úlohu v názorech na tyto otázky a je i odrazem celospolečenské diskuze k tomuto tématu v posledních dvou desetiletích, do které je tato skupina zapojena, ať v rámci studia nebo účasti na různých diskuzních fórech.

Průzkum se také zaměřoval na zkušenosti respondentů za posledních deset let s extrémními projevy počasí, jako jsou dlouhodobá extrémní sucha způsobující nedostatek vody. Téměř polovina, tedy 45 % populace, má zkušenosti s těmito extrémy a 24 % má výrazné zkušenosti. Dále 27 % respondentů odpovědělo, že nemá zkušenosti s extrémním suchem, a reakce 4 % respondentů byla, že neví.

Jako pozitivní zjištění lze brát fakt, že více než polovina populace (51 %) podniká vlastní individuální

<sup>100</sup> Dotazníkové šetření bylo realizováno v rámci projektu COST LD13032 Změna klimatu a migrace jako adaptace (2013–2015).

kroky jako reakci na přizpůsobení se klimatickým změnám. Individuální opatření k přizpůsobení se a zmírňování dopadů klimatických změn mohou být rozdělena do několika hlavních kategorií, v nichž poměrně výrazně dominují opatření zvy-

šující resilienci v případě epizody sucha (tab. 29). Individuální adaptační opatření spojená se zachycováním a využíváním dešťové vody, a také zaměřená na celkové úspory vody, přijímá 38 % z těchto respondentů.

**Tab. 29.** Přehled konkrétních přijímaných adaptačních opatření v České republice (výsledky na základě dotazníkového šetření)  
**Table 29.** An overview of particular adaptation measures adopted in the Czech Republic (results based on a questionnaire survey)

Individuální opatření	Zastoupení (%)
zachycování a využívání dešťové vody	27
úspory energií	17
pojištění (živelní pohromy)	17
úspory vody	11
včasné varování (například předpovědi počasí)	6
protipovodňová ochrana domu	6
třídění odpadu	6
úprava odtokových podmínek v okolí domu	5
snížování energetické náročnosti domu	2
využívání solární energie	2
opatření proti vichřici	1
využívání veřejné dopravy	1



## 8. ZÁVĚR

Přirozená klimatická variabilita, antropogenní vlivy na klima a také charakter využití krajiny ovlivňovaly, ovlivňují a budou ovlivňovat výskyt a dopady epizod sucha na našem území. Tato publikace se pokusila provést kritickou analýzu dostupných údajů a předložit čtenáři nejen poznatky o klimatologii sucha v České republice a jeho časové a prostorové variabilitě, ale také o jeho dopadech na nejvíce dotčené sektory národního hospodářství. Podařilo se vytvořit rozsáhlou chronologii epizod sucha na základě dokumentárních údajů a dat ze systematických meteorologických a hydrologických pozorování, která byla doplněna o dendroklimatologická data a v maximální míře také o informace charakterizující dopady tohoto extrémního jevu. Získané údaje umožnily formulovat představu o dlouhodobém kolísání epizod sucha z pohledu jejich četnosti, intenzity, délky trvání, synoptických příčin, ale také kvantifikovat důsledky epizod sucha pro zemědělství, lesní a vodní hospodářství. Hlavní výsledky celé práce lze shrnout do následujících bodů:

- a) V letech 1961–2012, pro které byly k dispozici údaje z největšího počtu meteorologických stanic, rostla intenzita sucha na většině z nich, a to ať již bylo sucho vyjádřeno pomocí řady vybraných indexů sucha nebo jako anomálie půdní vlhkosti. Tento nárůst lze přičítat zejména vzestupu teplot vzduchu, globálního záření a sytostního doplnku za současné stagnace srážkových úhrnů. Jako zvláště závažný se jeví trend k poklesu zásoby vody v půdě v kritických měsících pro zemědělskou a lesní výrobu (květen–červen) a následná zvýšená variabilita zásoby dostupné půdní vláhly v letních měsících.
- b) V období 1805–2012 dokládají použité indexy sucha (SPEI-1, SPEI-12, PDSI a Z-index) výrazný trend ke zvýšené suchosti jara. Indexy zachycující dlouhodobé anomálie vodní bilance (SPEI-12 a PDSI) vykazují stejný výsledek také pro celý rok a léto, a v menší míře i pro podzim. Naproti tomu v zimě se v některých regionech projevil trend ke zvýšené vlhkosti. Tyto skutečnosti jsou dokladem zásadního vlivu rostoucí teploty vzduchu, a tedy i rostoucí potenciální evapotranspirace, na vznik extrémního sucha.
- c) Analýzu epizod sucha na základě dlouhodobé chronologie sucha v českých zemích je v současné době možné opřít jednak o indexy sucha vypočtené pro období přístrojových pozorování, jednak o převážně kvalitativní informace o suchu, identifikované z dokumentárních pramenů pro předcházející období. Promítnutí dendrochronologických údajů do souhrnné chronologie epizod sucha v českých zemích naráží dosud na komplikovaný vztah mezi vlastním výskytem sucha a šířkou letokruhů, dokumentovaných na příkladu dlouhé dubové chronologie. Na základě dokumentárních pramenů a přístrojových pozorování bylo možné sestavit kompilovanou řadu četností suchých epizod pro období 1501–2012. Bereme-li v úvahu jednotlivá padesátiletí, pak největší počet roků se suchými epizodami byl registrován v padesátiletí 1951–2000 (26), následovaném roky 1751–1800 (25), 1701–1750 a 1801–1850 (24 v každém padesátiletí), zatímco nejnižší četnosti suchých roků byly zjištěny v letech 1651–1700 (16) a 1551–1600 (19).
- d) Z dostupných údajů je zřejmé, že v minulých stoletích docházelo v českých zemích k mimořádným epizodám sucha. Mezi nimi lze uvést jak takové výrazné epizody před začátkem období přístrojových pozorování (například v letech 1534, 1536, 1540, 1616, 1718, 1719, 1726, 1746, 1790), tak období sucha, která jsou doložena z instrumentálních údajů (zejména roky 1808, 1809, 1811, 1826, 1834, 1842, 1863, 1868, 1904, 1911, 1921, 1947, 1953, 1959, 1992, 2000, 2003, 2007 a 2012). Tyto suché epizody s sebou nesly výrazné dopady do každodenního života obyvatel a v mnoha případech se projevovaly výrazným zvýšením cen potravin po velké neúrodě polních plodin, stejně jako přijímáním mimořádných opatření k eliminaci dopadů extrémního sucha. Při analýze epizod sucha narážíme přes veškeré badatelské úsilí obecně na problém nedostatečně dlouhých řad hydro-meteorologických extrémů, popř. na jejich kvalitu. Tato publikace je první svého druhu, která přináší souhrnný pohled na výskyt epizod

- sucha s využitím široké palety dostupných dat nejen na našem území, ale v širším mezinárodním měřítku. Ukazuje, že navzdory poměrně výrazné variabilitě v analyzovaných datech, lze identifikovat zvyšující se intenzitu výskytu sucha na našem území v posledních dekádách.
- e) Ačkoliv prozatím nelze použít dendrochronologii dubu v kompilované chronologii epizod sucha v českých zemích, poskytuje jedinečný nástroj pro zkoumání variability sucha v mimořádně dlouhém časovém intervalu let 761–2010. Jde zároveň o jediná data z našeho území, mapující s ročním rozlišením výskyt sucha před rokem 1500 na našem území. Tato řada ukazuje na vyšší četnost roků s minimálními přírůsty letokruhů (jako možný projev suchých epizod) na konci 9. století, přelomu 12. a 13. století, v polovině 17. století a na počátku 19. století. Naopak nižší počet růstových extrémů je typický pro přelom 11. a 12. století, druhou polovinu 14. století, první polovinu 18. století a také konec studovaného období, kde se ale již projevuje antropogenní vliv, který mohl snížit citlivost dubu na nedostatek vláhy (například zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> či dostupnost dusíku). Jako nejextrémnější (přesahující hodnoty trojnásobku směrodatné odchylky) byly vymezeny roky 945, 1142 a 1653.
- f) Analýza synoptických poměrů suchých epizod v období 1850–2010 ukázala, že periody s výskytem sucha mezi dubnem a zářím na našem území jsou typické především výskytem hřebenu vysokého tlaku vzduchu nad střední Evropou, vycházejícími zpravidla z oblasti Azorské tlakové výše. Objevují se však i případy, kdy hřeben vysokého tlaku zasahuje nad naše území z anticyklon lokalizovaných na východ či jihovýchod od nás. Další situace souvisejí přímo s izolovanou anticyklonou v oblasti střední Evropy. Hřeben vysokého tlaku vzduchu je zpravidla méně výrazný v dubnu a v květnu, a naopak velmi výrazný v září. Nízký tlak vzduchu je během těchto suchých epizod charakteristický pro oblast severního Atlantiku, Skandinávie a také pro východní Středomoří. Uvedené rozložení tlaku vzduchu je tak v teplé části roku obecně příznivé pro převládající anticyklonální ráz počasí s nadprůměrnými teplotami vzduchu a podprůměrnými úhrny srážek, tedy podmínkami vhodnými pro výskyt extrémního sucha.
- g) Výsledky atribuční analýzy, opírající se rovněž o analýzu indexů dlouhodobého a krátkodobého sucha (1883–2010), potvrdily zásadní antropogenní působení na trend výskytu suchých epizod, kdy růst teploty vzduchu generovaný navýšením koncentrací skleníkových plynů snižuje hodnoty indexů s vazbou na teplotu vzduchu (SPEI, Z-index, PDSI). Za pozornost stojí i získané výsledky naznačující možný vliv sopečné činnosti, a to s mírnou tendencí k sušším podmínkám v obdobích následujících po velkých vulkanických erupcích, a také fakt, že nebyl zaznamenán významný vliv sluneční činnosti či fáze atlantské multidekádové oscilace. Je tedy zřejmé, že výrazné změny v hydrologické bilanci našeho území, které se projevují například snižováním půdní vlhkosti v některých ročních obdobích, lze jednoznačně přičítat na vrub probíhajícím globálním změnám. Proto se lze důvodně obávat negativních důsledků dalšího nárůstu globálních teplot z důvodu antropogenního zesilování skleníkového jevu.
- h) Činnost člověka (kromě již zmíněných emisí skleníkových plynů) způsobila zásadní pohyb ve struktuře využití území, který následně ovlivnil jak celkové, tak regionální dopady na množství vody v krajině a rychlost jejího odtoku. K zvláště výrazným změnám došlo v říčních nivách významných toků, které byly regulovány a exploatovány pro dopravní a jiné účely. Z důvodu získání nové orné půdy či ploch k zástavbě se provedla meliorace mnoha zamokřených území a razantně se snížila rozloha původních lužních lesů. Na druhou stranu významné objemy vody jsou zadržovány ve velkých vodních nádržích, které do značné míry snížily variabilitu průtoků, a tím i intenzitu výskytu hydrologického sucha na našich významných vodních tocích, zejména od druhé poloviny 20. století.
- i) Technologický pokrok v zemědělství výrazně zvýšil produkční úroveň a dopady epizod sucha. I když přímo neohrožují potravinovou bezpečnost České republiky, dochází v posledních dvaceti letech k postupnému zvyšování citlivosti produkce potravin na výskyt sucha na našem území. Ještě markantnější je pak situace v lesním hospodářství, kdy nejen roste riziko lesních požárů, ale současně dochází i k ohrožení některých typů porostů výskytem abiotických extrémů v míře, která nás vede k nutnosti přehodnotit po desetiletí aplikované zásady hospodaření. Dotazníkové šetření zaměřené na percepci klimatické změny ukázalo, že mezi adaptacemi na úrovni domácností dominují

opatření mající omezit jejich ohrožení nedostatkem vody a výskytem sucha. To ukazuje, že problematika výskytu sucha a jeho dopadů zasahuje společnost významněji, než by naznačovala pozornost věnovaná této problematice sdělovacími prostředky.

- j) Se zvýšenou pozorností je třeba vnímat projekce změny klimatu ve středoevropském regionu pro 21. století, které signalizují riziko déletrvajících a intenzivnějších epizod sucha, zejména v období od dubna do září. To bude mít zásadní vliv na sektor zemědělství, lesního i vodního hospodářství, a pravděpodobně ovlivní negativně stabilitu zemědělské produkce, přírůsty dřeva či zajištění odpovídajících průtoků ve vodních tocích a dostatečné kapacity vodních zdrojů. S vyšší extremitou očekávaných epizod sucha se velmi pravděpodobně zvýší i riziko výskytu extrémních situací, jakými jsou výrazné a velkoplošné poklesy zemědělské a lesní produkce, rozsáhlé lesní požáry či regionální nedostatek vodní zdrojů.

Ve světle zjištěných trendů a projekce budoucích klimatických podmínek je nutné uvést, že nejde jen o problém týkající se České republiky nebo střední Evropy, ale i dalších regionů, kde je očekáván nárůst frekvence suchých epizod (například Stocker et al., eds., 2013; Kovats et al., 2014) a s tím související pokles povrchového odtoku (Davie, 2013). Riziko nárůstu počtu extrémních přírodních jevů ostatně dokumentují i údaje významných pojišťovacích společností jako je například Mnichovská zajišťovna (Munich Re, 2015). Pokud analyzujeme počet přírodních katastrof v období 1980–2014 (kdy jsou data nejúplnější), potom při porovnání desetiletí z období 1995–2014 s osmdesátými lety 20. století (1980–1989) vzrostl počet přírodních katastrof způsobených klimatickými faktory (včetně sucha) více než dvojnásobně. Ostatně nedávné epizody sucha v Rusku (rok 2010), v USA (2011–2012), v Číně (2013) či v Brazílii (2014) patřily v každém z těchto roků vždy mezi deset přírodních katastrof s nejvyššími zaznamenanými škodami, a svými ekonomickými důsledky si nezadaly se ztrátami způsobenými zemětřeseními či ničivými tropickými cyklony (Munich Re, 2015).

Z uvedeného je zřejmé, že se naše společnost bude muset s epizodami sucha vypořádávat neustále, a to prakticky ve všech regionech České republiky. Předložené analýzy ukazují, že oblasti, v nichž frekvence a intenzita epizod sucha dosahuje nejvyšších hodnot, mají současně relativně nižší adaptační

schopnost (například v důsledku horší dostupnosti přírodních a ekonomických zdrojů). Platí to zvláště pro regiony jižní Moravy a severozápadních Čech. Nicméně opatření týkající se snížení zranitelnosti území v případě výskytu sucha bude třeba zpracovat a přijímat pro celé naše území, a to i s přihlédnutím k dalším rizikům. Příkladem takovéto analýzy může být vymezení katastrálních území a povodí IV. řádu, která jsou zranitelná jak výskytem sucha ohrožujícím zemědělskou výrobu, tak rapidní degradací půdy, související hlavně s vodní erozí, nebo bleskovými povodněmi (obr. 287). Takto komplexní pojetí je nezbytné proto, že probíhající globální klimatické změna ve střední Evropě zvýší nejen frekvenci výskytu a intenzitu sucha, ale pravděpodobně i dalších extrémních hydrologických jevů (Stocker et al., eds., 2013). Z tohoto důvodu je třeba přistupovat k adaptacím na sucha s přihlédnutím k dalším rizikům a vnímat riziko sucha a povodní jako přirozenou součást hydrologického cyklu. Přitom je třeba minimalizovat případy, kdy přijatá opatření za účelem zmírnění projevů jednoho z extrémů by vedla ke zhoršení dopadů jiného extrému. Příkladem takového přístupu je Generel vodního hospodářství krajiny České republiky, iniciovaný Agrární komorou České republiky a Státním pozemkovým úřadem (Trnka et al., 2015b).

Je třeba také zohlednit fakt, že ochota společnosti věnovat úsilí a prostředky systematické přípravě na epizodu sucha je tradičně nižší než v případě povodní. Proto zbývá v této oblasti vykonat ještě mnoho práce. V první řadě je nezbytné posílit všestrannou přípravu a kontrolu připravenosti řídicích složek (zejména regionálních a centrálních státních orgánů) a zpracovat specifické plány použitelné v případě výskytu extrémního sucha. S ohledem na charakter sucha a skutečnost, že v jeho průběhu lze realizovat jen minimum adaptačních opatření, je nezbytné systematicky pracovat na zvýšení schopnosti jednotlivých podniků, obcí a celých sektorů úspěšně přestát extrémní epizody sucha, které se na našem území mohou vyskytnout. Mezi takovými opatřeními lze například jmenovat:

- systematické zlepšování retenční schopnosti půdy a krajiny jako celku
- optimalizace použitých plodin a jejich diverzifikace (i ve smyslu použitých odrůd a agrotechniky)
- péče o optimální druhové zastoupení dřevin s přihlédnutím k výskytu sucha
- osvěta mezi obyvatelstvem s výchovou k individuální odpovědnosti (například hospodárné

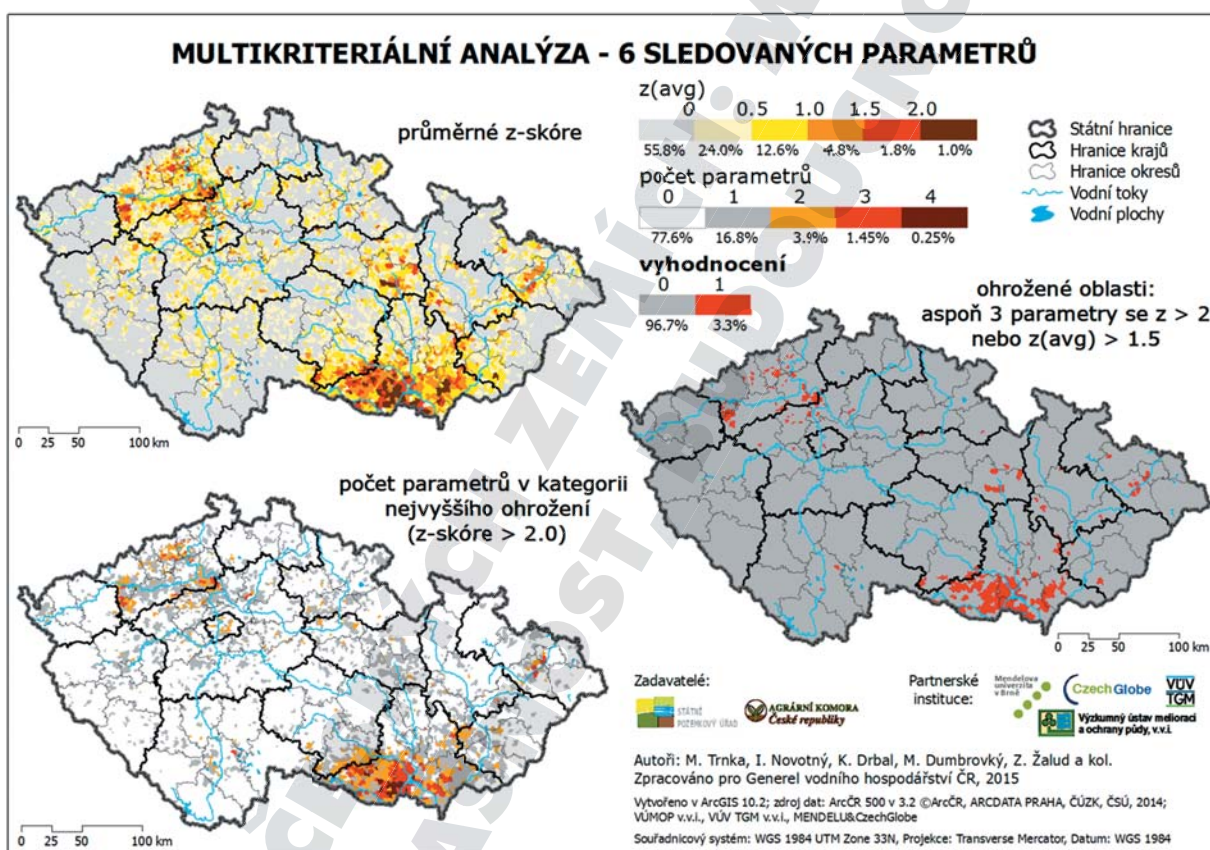


nakládání s vodními zdroji a využívání různých akumulčních systémů)

- systematická příprava na ekonomické následky epizod sucha v ekonomicky „bohatých“ letech (například vytváření fondu nepojistitelných rizik)
- příprava konkrétních, adresných a použitelných plánů aktivit v případě epizod sucha s jasně vymezenými kompetencemi
- včasné zachycení nástupu sucha a přijímaní vhodných opatření s důrazem na minimalizaci přímých materiálních ztrát a maximální informovanost potenciálně postižených; neprofesionální přístup na všech stupních řízení

může mít v této fázi za následek znásobení možných škod.

Klíčovou otázkou je možnost dalšího prostorového a časového zkvalitňování informací o aktuálním stavu sucha a také předpovědi jeho budoucího výskytu. Zejména v případě zemědělství se existence včasné střednědobé a zvláště sezonní předpovědi jeví jako nezbytná, pokud má být zvrácen nepříznivý trend zvyšující se závislosti tohoto sektoru na klimatických podmínkách. V řadě aspektů se nutnost vývoje monitorovacích a předpovědních nástrojů samozřejmě týká i lesního a vodního hospodářství, stejně jako dalších sektorů národního hospo-



**Obr. 287.** Multikriteriální analýza území České republiky definující katastrální území nejvíce ohrožená projevy sucha a přívalových srážek na základě kombinace šesti parametrů (pravděpodobnost výjimečného sucha v měsících duben–červen a červenec–září, podíl vysychavých půd, ohrožení nadměrným erozním smyvem, podíl plochy erozně ohrožených drah soustředěného odtoku a podíl ploch s odtokovými poměry příznivými pro vznik bleskové povodně, ohrožující intravilán obce): a) průměrné z-skóre (jeho vyšší hodnota odpovídá vyššímu ohrožení); b) regiony, kde nejméně jeden z parametrů ukazuje na extrémně vysoké riziko v kontextu zbytku České republiky; c) červeně – plochy nejvíce ohrožených katastrálních území na základě multikriteriální analýzy (podle Trnky et al., 2015b)

**Figure 287.** Multicriteria analysis of the territory of the Czech Republic, at land register unit level, defining the highest risk of drought and torrential rain, combining six different parameters (probability of extreme drought in April–June and July–September, proportion of soils prone to quick drying, risk of unsustainable water erosion, proportion of unit area contributing to concentrated runoff paths with high erosion risk, and proportion of area with surface conducive to flash floods endangering inhabited zones): (a) mean z-score (the higher value corresponds to the higher combined risk); (b) regions in which at least one of the parameters achieved values considered extreme in the context of the territory of the Czech Republic; (c) red – the most endangered land register units according to the multicriteria analysis (after Trnka et al., 2015b)

dářství a oblastí, kterým se tato kniha nevěnovala (například energetika, rekreace). Výrazný pokrok v oblasti monitoringu a prognózy přinesl právě projekt „Intersucho“, vedený Centrem výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně a Masarykovou univerzitou, jenž zavedl pro Českou republiku neobvykle podrobnou a na řadě indikátorů založenou analýzu aktuálního stavu půdní vlhkosti a pozorovaných dopadů zemědělského sucha, včetně předpovědi jeho dalšího vývoje a dopadů (viz <http://www.intersucho.cz>). V podobném duchu se ale nese výzkumná a aplikační činnost řady dalších institucí, jako například Českého hydrometeorologického ústavu, Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v.v.i., či Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, v.v.i. Proto se jako velmi žádoucí jeví spolupráce všech těchto organizací, stejně jako dostatečná, cílená a koordinovaná podpora tomuto výzkumu, přestože (a právě proto) zahrnuje agendu několika ministerstev a má mimořádný společenský význam.

Není pochyb o tom, že problematika studia sucha je natolik závažná, že by jí také v nadcházejících letech měla být věnována systematická výzkumná pozornost nejen v podmínkách České republiky, ale i celé střední Evropy, a to v těsné součinnosti s okolními státy. Příkladem může být budování propojeného monitorovacího a výstražného systému

pro případ výskytu zemědělského sucha na území střední Evropy,<sup>101</sup> který by mohl být v budoucnu integrován se systémy monitorujícími meteorologické a hydrologické sucha a jejich dopady. Společného postupu napříč sektory národního hospodářství, regiony i státy bude třeba i v případě návrhu a přijímání konkrétních adaptačních opatření, aby se předešlo situaci, kdy aplikace adaptačních opatření na území jednoho regionu/státu povede ke zhoršení stavu v jiné části území nebo státu. Podobně důležitá je i vzájemná součinnost při přípravě plánů pro případ epizod extrémního sucha, a to nejen kvůli výměně zkušeností, ale zejména proto, aby případný postup k eliminaci negativních dopadů sucha byl koordinovaný a dostatečně efektivní.

V neposlední řadě se jako nanejvýš žádoucí jeví pokračovat ve studiu příčin a dopadů suchých epizod v minulosti, a to nejen s využitím postupů klasické klimatologie, ale také historické klimatologie, dendroklimatologie, bioklimatologie, hydrologie, environmentální ekonomie a dalších vědních disciplín. Není pochyb o tom, že studium sucha a jeho dopadů vyžaduje komplexní a mezioborové pojetí, o které se pokoušela tato publikace, která zároveň naznačila řadu směrů, jimiž by se měly další výzkumy v této oblasti ubírat.

<sup>101</sup> Viz <http://www.intersucho.cz>.

---

# LITERATURA

- Abbildungen böhmischer und mährischer Gelehrten und Künstler, nebst kurzen Nachrichten von ihren Leben und Werken. Erster Theil. Wolfgang Gerle, Prag 1773, 124 s.
- Abson, D. J., Dougill, A. J., Stringer, L. C. (2012): Using Principal Component Analysis for information-rich socio-ecological vulnerability mapping in Southern Africa. *Applied Geography*, 35, 515–524.
- Acovedo, E., Hsiao, T. C., Henderson, D. W. (1971): Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology*, 48, 631–636.
- Acosta, L., Klein, R. J. T., Reidsma, P., Metzger, M. J., Rounsevell, M. D. A., Leemans, R., Schröter, D. (2013): A spatially explicit scenario-driven model of adaptive capacity to global change in Europe. *Global Environmental Change*, 23, 1211–1224.
- Acuña, V., Datry, T., Marshall, J., Barceló, D., Dahm, C. N., Ginebreda, A., McGregor, G., Sabater, S., Tockner, K., Palmer, M. A. (2014): Why should we care about temporary waterways? *Science*, 343, 1080–1082.
- Acuña, V., Muñoz, I., Giorgi, A., Omella, M., Sabater, F., Sabater, S. (2005): Drought and postdrought recovery cycles in an intermittent Mediterranean stream: structural and functional aspects. *Journal of the North American Benthological Society*, 24, 919–933.
- Adámek, K. V. (1908a): Památní kniha školy hlinecké od roku 1833. In: *Zprávy Musea okresu hlineckého I*. Nákladem Musea okresu Hlineckého, Hlinsko, 27–40.
- Adámek, K. V. (1908b): Ze starého Hlinska. 1770–1847. In: *Zprávy Musea okresu hlineckého II*. Nákladem Musea okresu Hlineckého, Hlinsko, 52–69.
- Adámek, Z., Pechová, E. (2001): *Hluboké Mašůvky. Cestami věků od minulosti k dnešku*. Obecní úřad Hluboké Mašůvky, 140 s. + přílohy.
- Acharya, B. R., Assmann, S. M. (2009): Hormone interactions in stomatal function. *Plant Molecular Biology*, 69, 451–462.
- Albrecht, P., Bartková, H., Dokoupilová, M., Chytil, M., Kokojanová, M., Prudká, A., Synek, M., Válka, M., Hastík, J. (2002): *Kralice na Hané. Příroda, historie, osobnosti*. Obec Kralice na Hané, 285 s.
- Alexandre, P. (1987): *Le climat en Europe au Moyen Age. Contribution à l'histoire des variations climatiques de 1000 à 1425, d'après les sources narratives de l'Europe occidentale*. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 825 s.
- Allan, R. J., Ansell, T. J. (2006): A new globally complete monthly historical mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850–2004. *Journal of Climate*, 19, 5816–5842.
- Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., Hogg, E. H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J., Allard, G., Running, S. W., Semerci, A., Cobb, N. (2010): A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259, 660–684.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998): *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 290 s.
- Alscher, R. G., Cumming, J. R. (1990): *Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms*. Wiley-Liss Inc., New York, 407 s.
- Ambrož, E., Blecha, D. (1892): *Úplný adresář, dějiny a památnosti královského města Německého Brodu*. Nákladem vlastním, Německý Brod, 194 s.
- Ambrož, V. (1905): *Z Moravičan u Mohelnice*. Selský archiv, 4, 239–240.
- Ambrož, V. (1931): *Pamětní záznamy v obecních registrech moravičanských*. Časopis Vlasteneckého spolku musejního v Olomouci, 44, 83–89.
- Angus, J. F., Moncur, M. W. (1977): Water stress and phenology in wheat. *Crop and Pasture Science*, 28, 177–181.
- Anonym (1911): *Hladový kámen z Podmokel*. Plavec, 6, 3.
- Anonym (1937): *Römerstadts Unglückjahre in der Schilderung der Chronisten*. *Römerstadter Ländchen*, 15, 17–21, 25–32, 33–40, 46–48, 51–56, 57–63, 69–71, 77–80, 85–88, 94–96.



- Anonym (2014): Příprava realizace preventivních a následných opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody (východisko pro návrh Koncepce řešení problematiky ochrany před negativními dopady výskytu sucha a nedostatku vody v České republice); <http://www.vakinfo.cz/sovak-info/sovakinfo-c-10-2014/priloha-sovakinfo-10-14-1.3>.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J. M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E. (2007): HISTALP — historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, 27, 17–46.
- Auer, I., Jurkovic, A., Orlik, A., Böhm, R., Korus, E., Sulis, A., Machetti, A., Manenti, C., Dolinar, M., Nadbath, M., Vertačnik, G., Vičar, Z., Pavčič, B., Geier, G., Rossi, G., Leichtfried, A., Schellander, H., Gabl, K., Zardi, D. (2008): High quality climate data for the assessment of Alpine climate, its variability and change on regional scale — Collection and analysis of historical climatological data and metadata. Final Report FORALPS WP5: meteo–hydrological forecast and observations for improved water resource management in the Alps, Vienna.
- Auer, I., Korus, E. (2005): The variability of heat waves and dry spells in the flat and mountainous regions of Austria. *Hrvatski meteorološki časopis*, 40, 604–607.
- Augustin, F. (1891): Povodeň v Čechách roku 1890. Nákladem důchodců obce pražské, Praha, 35 s.
- Augustin, F. (1894): Sucha v Čechách v době od roku 962–1893. A. Reinwart, Praha, 37 s.
- Badura, J. a redaktor (1906): Pamětihodné příhody (Od r. 1835.–1864. zapisoval Franc Sovka z Radvanic). *Selský archiv*, 5, 100–106.
- Bachmann, J. (1911): Aufzeichnungen eines Alt-Leitmeritzers. *Mitteilungen des Vereines für Geschichte der Deutschen in Böhmen*, 50, 107–131, 254–281.
- Baillie, M. G. L., Pilcher, J. R. (1973): A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33, 7–14.
- Barriendos, M. (2005): Climate and culture in Spain. Religious responses to extreme climatic events in the Hispanic Kingdoms (16th–19th century). In: Behringer, W., Lehmann, H., Pfister, C., eds.: *Kulturelle Konsequenzen der “Kleine Eiszeit” — Cultural Consequences of the “Little Ice Age”*. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 379–414.
- Bartalis, Z., Naeimi, V., Hasenauer, S., Wagner, W. (2008): ASCAT Soil Moisture Product Handbook. ASCAT Soil Moisture Report Series, No. 15. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, 30 s.
- Bartoš, J., Kovářová, S. (1999): Dějiny obce Jívová. *ObÚ Jívová, Jívová*, 120 s.
- Bartošiková, J. (1996): „Lejstřík na rozličné památky Josefa Jančíka.“ *Zápisky bystřického písmáka z let 1786–1848 (1855) a jejich vztah k Sovové kronice*. In: *Archivní ročenka 1996*. Státní okresní archiv Kroměříž, Kroměříž, 49–59.
- Bayarjargal, Y., Karnieli, A., Bayasgalan, M., Khudulmur, S., Ganush, C., Tucker, C. J. (2006): A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis. *Remote Sensing of Environment*, 105, 9–22.
- Bělinová, M., Brázdil, R. (2012): Meteorologická pozorování c. k. Vlastenecko-hospodářské společnosti v Čechách v letech 1817–1847. *Meteorologické zprávy*, 65, 13–22.
- Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202.
- Beránková, H., Rychlík, B. (2000): *Javorník 650*. Nakladatelství Větrné mlýny, Obec Javorník a Moravské zemské muzeum, Brno a Javorník, 147 s.
- Berger, A. (1880/81): Zur Leidensgeschichte des Böhmenwaldes. *Mitteilungen des Vereines für Geschichte der Deutschen in Böhmen*, 29, 89–106.
- Berger, K. (1901): *Geschichte der Stadt Bärn*. Deutscher Verein für die Geschichte Mährens und Schlesiens, Verlag des Vereines, Brünn, 320 s.
- Berger, K. (1909): *Die Geschichte der Stadt Römerstadt*. *Zeitschrift des Deutschen Vereines für die Geschichte Mährens und Schlesiens*, 13, 60–195.
- Bičík, I., Jeleček, L., Kabrda, J., Kupková, L., Lipský, Z., Mareš, P., Šefrna, L., Štych, P., Winklerová, J. (2010): Vývoj využití ploch v Česku. *Česká geografická společnost, Edice Geographica*, Praha, 250 s.
- Bičík, I., Kupková, L., Štych, P. (2012a): Changes of land use structure in Czechia. From local patterns

- to a more complex regional organization. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds.: *Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World — Volume VII*. IGU Commission on LUCC, Charles University in Prague, Prague, 5–12.
- Bičík, I., Kupková, L., Štych, P. a kol. (2012b): Změny funkcí české krajiny a jejich dopad na využití ploch: modelová území Košťálkov, Abertamy-Hřebečná, Rudná, Živohošť, Moravské Slovácko. In: Chodějovská, E., Šimůnek, R., eds.: *Krajina jako historické jeviště: k počtě Evy Semotanové*. Historický ústav AV ČR, Praha, 347–372.
- Bičík, I., Langhammer, J., Štych, P., Kupková, L. (2008): Long-term land-use changes in Czechia as a flood risk influencing factor. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica* 45, 29–52.
- Bienert, K. J., ed. (s.a.): *Hans Kriesches Chronik der Stadt Böhmisches Leipa*. Rukopis. SOKA Česká Lípa, Sběrka rukopisů, karton č. 3, 239 s.
- Bína, Z. (1994): *Lesná dvousetletá. Historie a současnost obce v ochranném pásmu Národního parku Podyjí*. Pro obec Lesnou vydal Z. Bína, Lesná, 72 s.
- Bláha, J. (1947): *Ovocnictví a vinařství jižní Moravy ve vztahu k suchu*. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: *Hospodaření s vodou v našich nejušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74*. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 90–93.
- Blau, J. (1908): Ein Kapitel vom Getreidepreis. *Mitteilungen des Vereines für die Geschichte der Deutschen in Böhmen*, 47, 277–283.
- Blažková, J. (2004): Resistance to abiotic and biotic stressors in sweet cherry rootstocks and cultivars from the Czech Republic. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12, 303–311.
- Blinka, P. (2005): Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876–2002. *Meteorologické zprávy*, 58, 10–18.
- Blum, A. (2009): Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119–123.
- Bobek, J. (1989): *Jiřetín pod Jedlovou — dějiny hornického města*. Strojopis. OÚ Jiřetín pod Jedlovou, 100 s.
- Bohle, H. W. (2000): Anpassungsstrategien ausgewählter Organismen an temporäre Wasserführung — Insekten periodischer Fließgewässer Mitteleuropas. In: *Gewässer ohne Wasser? Ökologie, Bewertung, Management temporärer Gewässer*. Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes Nordrhein-Westfalen, NUA-Seminarbericht, Recklinghausen, 5, 53–71.
- Böhm, R., Jones, P. D., Hiebl, J., Frank, D., Brunetti, M., Maugeri, M. (2010): The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperatures series 1760–2007. *Climatic Change*, 101, 41–67.
- Boisvenue, C., Running, S. W. (2006): Impacts of climate change on natural forest productivity — evidence since the middle of the 20th century. *Global Change Biology*, 12, 862–882.
- Bonada, N., Doledec, S., Stutzner, B. (2007a): Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology*, 13, 1658–1671.
- Bonada, N., Rieradevall, M., Prat, N. (2007b): Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in Mediterranean river network. *Hydrobiologia*, 589, 91–106.
- Borák, M., Foltýn, M. (2011): Klimatická změna a její možné nepříznivé vlivy v povodí Moravy. *Vodní hospodářství*, 61, 14–17.
- Brablec, J. (1948): Příspěvek k výzkumu a zjištění suchých oblastí v ČSR. *Meteorologické zprávy*, 2, 104–107.
- Brablec, J. (1949): Ještě k výzkumu suchých oblastí ČSR. *Meteorologické zprávy*, 3, 96–99.
- Brádka, J. (1972): Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostní situace. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu* 18, Praha, 8–62.
- Brádka, J., Dřevíkovský, A., Gregor, Z., Kolesár, J. (1961): *Počasi na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích*. Hydrometeorologický ústav, Praha, 31 s.
- Bratránek, A. (1947): *Oblasti relativně suché a mokré v povodí Labe, Odry a Moravy*. (Hydrologická studie na podkladě 50-letého srážkového průměru 1876–1925.) Státní ústav hydrologický T. G. Masaryka, Praha, 13 s. + přílohy.
- Brázdil, R. (1998): Meteorological extremes and their impacts on forests in the Czech Republic. In: Beniston, M., Innes, J. L. (eds.): *The Impacts of Climate Variability on Forests*. Springer, Berlin — Heidelberg — New York — Barcelona — Budapest — Hong Kong — London — Milan — Paris — Singapore — Tokyo, 19–47.

- Brázdil, R., Bělinová, M., Dobrovolný, P., Mikšovský, J., Pišoft, P., Řezníčková, L., Štěpánek, P., Valášek, H., Zahradníček, P. (2012a): Temperature and Precipitation Fluctuations in the Czech Lands During the Instrumental Period. Masaryk University, Brno, 235 s.
- Brázdil, R., Bělinová, M., Rožnovský, J. (2011a): Phenological observations made by the I. R. Bohemian Patriotic-Economic Society, 1828–1847. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 71–81.
- Brázdil, R., Bíl, M. (1998): Jev El Niño — Jižní oscilace a jeho možné projevy v polích tlaku vzduchu, teploty vzduchu a srážek v Evropě ve 20. století. *Geografie — Sborník České geografické společnosti*, 103, 65–87.
- Brázdil, R., Černušák, T., Řezníčková, L. (2011b): The Weather and Climate in the Region of Olomouc, Czech Republic, Based on Premonstratensian Diaries Kept by the Hradisko Monastery and Svätý Kopeček Priory, 1693–1783. Masaryk University, Brno, 272 s.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P. (2010): Chapter 2. Historical Climate in Central Europe During the Last 500 Years. In: Przybylak, R., Majorowicz, J., Brázdil, R., Kejna, M., eds.: *The Polish Climate in the European Context: An Historical Overview*. Springer Science + Business Media B.V., Dordrecht — Heidelberg — London — New York, 41–70.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Elleder, L., Kakos, V., Kotyza, O., Květoň, V., Macková, J., Müller, M., Štekl, J., Tolasz, R., Valášek, H. (2005a): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita a Český hydrometeorologický ústav, Brno — Praha, 370 s.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Luterbacher, J., Moberg, A., Pfister, C., Wheeler, D., Zorita, E. (2010a): European climate of the past 500 years: new challenges for historical climatology. *Climatic Change*, 101, 7–40.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Štekl, J., Kotyza, O., Valášek, H., Jež, J. (2004a): History of Weather and Climate in the Czech Lands VI: Strong Winds. Masaryk University, Brno, 378 s.
- Brázdil, R., Dobrovolný, P., Trnka, M., Kotyza, O., Řezníčková, L., Valášek, H., Zahradníček, P., Štěpánek, P. (2013a): Droughts in the Czech Lands, 1090–2012 AD. *Climate of the Past*, 9, 1985–2002.
- Brázdil, R., Dobrý, J., Kyncl, J., Štěpánková, P. (1997): Rekonstrukce teploty vzduchu teplého půlroku v oblasti Krkonoš na základě letokruhů smrku v období 1804–1989. *Geografie — Sborník České geografické společnosti*, 102, 3–16.
- Brázdil, R., Chromá, K., Dobrovolný, P., Tolasz, R. (2009a): Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29, 223–242.
- Brázdil, R., Chromá, K., Tolasz, R. (2003a): Kolísání extrémně vlhkých a extrémně suchých měsíců v České republice. *Meteorologické zprávy*, 56, 73–79.
- Brázdil, R., Chromá, K., Valášek, H., Dolák, L. (2012b): Hydrometeorological extremes derived from taxation records for south-eastern Moravia, Czech Republic, 1751–1900 AD. *Climate of the Past*, 8, 467–481.
- Brázdil, R., Kirchner, K., Březina, L., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Halášová, O., Hostýnek, J., Chromá, K., Janderková, J., Kaláb, Z., Kepřtová, K., Kotyza, O., Krejčí, O., Kunc, J., Lacina, J., Lepka, Z., Létal, A., Macková, J., Máčka, Z., Mulíček, O., Roštinský, P., Řehánek, T., Seidenglanz, D., Semerádová, D., Sokol, Z., Soukalová, E., Štekl, J., Trnka, M., Valášek, H., Věžník, A., Voženílek, V., Žalud, Z. (2007a): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Český hydrometeorologický ústav, Ústav Geoniky Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno — Praha — Ostrava, 432 s.
- Brázdil, R., Kiss, A., Luterbacher, J., Valášek, H. (2008a): Weather patterns in eastern Slovakia 1717–1730, based on records from Breslau meteorological network. *International Journal of Climatology*, 28, 1639–1651.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I (Period 1000–1500). *Zürcher Geographische Schriften* 62, Zürich, 260 s.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (1996): History of Weather and Climate in the Czech Lands II. The earliest daily observations of the weather in the Czech Lands. Masaryk University, Brno, 177 s.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (2000): History of Weather and Climate in the Czech Lands IV. Utilisation of Economic Sources for the Study of Climate Fluctuation at Louny and Surroundings in the Fifteenth–Seventeenth Centuries. Masaryk University, Brno, 350 s.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (2001): Současná historická klimatologie a možnosti jejího využití v historickém výzkumu. *Časopis Matice moravské*, 120, Supplementum 1, 17–59.



- Brázdil, R., Kotyza, O. (2008): Historická klimatologie a historie. In: Dvořák, J., Knoz, T., eds.: *Historie v kontextu ostatních vědních disciplín. Sborník z jednání sekce na IX. sjezdu historiků, konaném ve dnech 6.–8. září 2006 v Pardubicích.* Brno — Praha — Pardubice — Ústí nad Labem, 263–339.
- Brázdil, R., Kotyza, O., Dobrovolný, P., Řezníčková, L., Valášek, H. (2013b): *Climate of the Sixteenth Century in the Czech Lands.* Masaryk University, Brno, 286 s.
- Brázdil, R., Krušínský, R., Řezníčková, L. (2008b): Zprávy o počasí z let 1655–1656 v deníku Jana Františka Bruntálského z Vrbna. *Časopis Matice moravské*, 127, 455–467.
- Brázdil, R., Pfister, C., Wanner, H., von Storch, H., Luterbacher, J. (2005b): *Historical climatology in Europe — the state of the art.* *Climatic Change*, 70, 363–430.
- Brázdil, R., Řezníčková, L., Valášek, H. (2006): Early instrumental meteorological observations in the Czech Lands I: Ferdinand Knittelmayer, Brno, 1799–1812. *Meteorologický časopis*, 9, 59–71.
- Brázdil, R., Řezníčková, L., Valášek, H. (2007b): Počasí v Čechách v letech 1805–1806: konfrontace vizuálních a přístrojových pozorování. *Meteorologické zprávy*, 60, 187–193.
- Brázdil, R., Řezníčková, L., Valášek, H., Kotyza, O. (2007c): Early instrumental meteorological observations in the Czech Lands III: František Jindřich Jakub Kreybich, Žitenice, 1787–1829. *Meteorologický časopis*, 10, 63–74.
- Brázdil, R., Štekl, J. (1988): *Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR.* Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 298 s.
- Brázdil, R., Štěpánková, P., Kyncl, T., Kyncl, J. (2002a): Fir tree-ring reconstruction of March–July precipitation in southern Moravia (Czech Republic), 1376–1996. *Climate Research*, 20, 223–239.
- Brázdil, R., Trnka, M., Dobrovolný, P., Chromá, K., Hlavinka, P., Žalud, Z. (2009b): Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97, 297–315.
- Brázdil, R., Trnka, M., Mikšovský, J., Řezníčková, L., Dobrovolný, P. (2014a): Spring-summer droughts in the Czech Land in 1805–2012 and their forcings. *International Journal of Climatology*, on-line. DOI: 10.1002/joc.4065.
- Brázdil, R., Valášek, H. (2002): Meteorologická měření a pozorování v Zákupcích v letech 1718–1720. *Geografie — Sborník České geografické společnosti*, 107, 1–22.
- Brázdil, R., Valášek, H. (2003): Počasí v Brně a okolí v letech 1767–1790 podle záznamů Jana Nepomuka, svobodného pána Hausperského z Fanálu. In: *Brno v minulosti a dnes. Sborník příspěvků k dějinám a výstavbě Brna XVII.* Magistrát města Brna, Archiv města Brna, Brno, 399–443.
- Brázdil, R., Valášek, H., Kašičková, L., Chromá, K. (2014b): Meteorologická pozorování Josefa Lukotky ve Vsetíně v letech 1903–1923. *Meteorologické zprávy*, 67, 120–128.
- Brázdil, R., Valášek, H., Kotyza, O. (2004b): Meteorological records of Michel Stüeler of Krupka and their contribution to the knowledge of the climate of the Czech Lands in 1629–1649. In: Drbohlav, D., Kalvoda, J., Voženílek, V., eds.: *Czech Geography at the Dawn of the Millennium.* Czech Geographic Society, Palacky University in Olomouc, Olomouc, 95–112.
- Brázdil, R., Valášek, H., Macková, J. (2002b): Meteorologická pozorování P. Tadeáše Štiky v Počaplech z let 1788–1789. *Meteorologické zprávy*, 55, 151–157.
- Brázdil, R., Valášek, H., Macková, J. (2003b): Climate in the Czech Lands during the 1780s in light of the daily weather records of parson Karel Bernard Hein of Hodonice (south-western Moravia): Comparison of documentary and instrumental data. *Climatic Change*, 60, 297–327.
- Brázdil, R., Valášek, H., Macková, J. (2005c): Meteorologická pozorování v Brně v první polovině 19. století. *Historie počasí a hydrometeorologických extrémů.* Archiv města Brna, Brno, 452 s.
- Brázdil, R., Valášek, H., Řezníčková, L., Štěpánek, P. (2008c): Měření srážek v Těšíně v období leden 1777–leden 1778. *Meteorologické zprávy*, 61, 26–29.
- Brázdil, R., Valášek, H., Soukalová, E., Bělínová, M., Buriánová, J., Čermáková, J., Dobrovolný, P., Dráb, A., Fárová, K., Havlíček, M., Chrudina, Z., Kašičková, L., Kovář, K., Kozel, J., Máčka, Z., Mulíček, O., Řezníčková, L., Skokanová, H., Štěpánek, P. (2010b): *Povodně v Brně. Historie povodní, jejich příčiny a dopady.* Statutární město Brno, Archiv města Brna, Brno, 470 s. + přílohy.
- Brázdil, R., Valášek, H., Sviták, Z., Macková, J. (2002c): History of Weather and Climate in the Czech Lands V. Instrumental Meteorological Measurements in Moravia up to the End of the

- Eighteenth Century. Masaryk University, Brno, 250 s.
- Brázdil, R., Zahradníček, P., Pišoft, P., Štěpánek, P., Bělinová, M., Dobrovolný, P. (2012c): Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Lands during the period of instrumental measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 17–34.
- Breshears, D. D., McDowell, N. G., Goddard, K. L., Dayem, K. E., Martens, S. N., Meyer, C. W., Brown, K. M. (2008): Foliar absorption of intercepted rainfall improves woody plant water status most during drought. *Ecology*, 89, 41–47.
- Bretholz, B., ed. (1923): *Die Chronik der Böhmen des Cosmas von Prag*. Weidmann, MGH SRG NS II, Berlin, 393 s.
- Briffa, K. R., van der Schrier, G., Jones, P. D. (2009): Wet and dry summers in Europe since 1750: evidence of increasing drought. *International Journal of Climatology*, 29, 1894–1905.
- Brohan, P., Kennedy, J. J., Haris, I., Tett, S. F. B., Jones, P. D. (2006): Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research*, 111, D12106.
- Brönnimann, S., Xoplaki, E., Casty, C., Pauling, A., Luterbacher, J. (2007): ENSO influence on Europe during the last centuries. *Climate Dynamics*, 28, 181–197.
- Brooks, N., Adger, W. N., Kelly, P. M. (2005): The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15, 151–163.
- Brown, J. F., Wardlow, B. D., Tadesse, T., Hayes, M. J., Reed, B. C. (2008): The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience and Remote Sensing*, 45, 16–46.
- Broža, V., Satrapa, L., Sakař, K., Bláha, J., Báča, V., Vít, P., Maníček, J., Bíza, P., Jílek, M., Kopřivová, J., Vinklát, P. D. (2005): *Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Knihy 555*, Liberec, 249 s.
- Břečka, J., Čejka, J., Droberjar, E., Galuška, L., Jan, L., Kynčl, M., Mikulka, J., Přichystal, A., Salaš, M., Šebela, L., Štěpánek, V., Vykoupil, L. (1994): *Dějiny Blučiny. ObÚ v Blučině*, 264 s.
- Bubeníčková, L., Kulasová, A. (2010): Odezvy suchého období v experimentálním povodí Uhlířská. In: *Seminář Adolfa Patery 2010 — Extrémní hydrologické jevy v povodích*. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 177–182.
- Bukovanský, K. (1909): *Kloboucký okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 29*. Musejní spolek, Brno, 151 s.
- Burian, B. (1939): *Konický okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 61*. Musejní spolek, Brno, 244 s.
- Burke, E. J., Brown, S. J., Christidis, N. (2006): Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. *Journal of Hydrometeorology*, 7, 1113–1125.
- Burša, J., Pilka, M. (1997): *Hradčovice-Lhotka z pohledu historie*. Obecní úřad Hradčovice, 136 s.
- Büntgen, U., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Trnka, M., Kyncl, T. (2011a): Five centuries of Southern Moravian drought variations revealed from living and historic tree rings. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 167–180.
- Büntgen, U., Brázdil, R., Frank, D., Esper, J. (2010a): Three centuries of Slovakian drought dynamics. *Climate Dynamics*, 35, 315–329.
- Büntgen, U., Brázdil, R., Heussner, K.-U., Hofmann, J., Kontic, R., Kyncl, T., Pfister, C., Chromá, K., Tegel, W. (2011b): Combined dendro-documentary evidence of Central European hydroclimatic springtime extremes over the last millennium. *Quaternary Science Reviews*, 30, 3947–3959.
- Büntgen, U., Frank, D. C., Nievergelt, D., Esper, J. (2006): Summer temperature variations in the European Alps, AD 755–2004. *Journal of Climate*, 19, 5606–5623.
- Büntgen, U., Kyncl, T., Ginzler, C., Jaks, D. S., Esper, J., Tegel, W., Heussner, K.-U., Kyncl, J. (2013): Filling the Eastern European gap in millennium-long temperature reconstructions. *Proceedings of the National Academy of Science*, 110, 1773–1778.
- Büntgen, U., Tegel, W., Carrer, M., Krusic, P. J., Hayes, M., Esper, J. (2015): Commentary to Wetter et al. (2014): Limited tree-ring evidence for a 1540 European ‘Megadrought’. *Climatic Change*, on-line. DOI: 10.1007/s10584-015-1423-1.
- Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., McCormick, M., Frank, D., Trouet, V., Kaplan, J., Herzig, F., Heussner, U., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J. (2011c): 2500 years of European climate variability and human susceptibility. *Science*, 331, 578–582.
- Büntgen, U., Trouet, V., Frank, D., Leuschner, H. H., Friedrichs, D., Luterbacher, J., Esper, J. (2010b):

- Tree-ring indicators of German summer drought over the last millennium. *Quaternary Science Review*, 29, 1005–1016.
- Büsching, J. G., ed. (1819): *Jahrbücher der Stadt Breslau von Nikolaus Pol. Band III. Vereins für Schlesische Geschichte und Alterthümer*, Breslau, 168 s.
- Büsching, J. G., Kunisch, J. G., eds. (1823): *Jahrbücher der Stadt Breslau von Nikolaus Pol. Band IV. Vereins für Schlesische Geschichte und Alterthümer*, Breslau, 196 s.
- Byun, H., Wilhite, D. A. (1999): Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12, 2747–2756.
- Cablík, J. (1951): *Ochrana zemědělství před klimatickým suchem*. Brázda, Praha, 138 s.
- Cahynová, M. (2005): Vliv Severoatlantské oscilace na sezónní teploty vzduchu ve střední Evropě. *Meteorologické zprávy*, 58, 41–46.
- Campbell, J. B., Wynne, R. H. (2011): *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press, New York, 667 s.
- Canty, T., Mascioli, N. R., Smarte, M. D., Salawitch, R. J. (2013): An empirical model of global climate — Part 1: A critical evaluation of volcanic cooling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 3997–4031.
- Castany, G. (1978): Effets de la sécheresse sur les eaux souterraines. Vulnérabilité a la sécheresse des nappes. *Bulletin du B. R. G. M. (deuxième série), Section III*, 3, 225–227.
- Caussinus, H., Mestre, O. (2004): Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Journal of the Royal Statistical Society, Series C — Applied Statistics*, 53, 405–425.
- Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., Aubinet, M., Buchman, N., Bernhofer, C., Carrar, A., Chevallier, F., De Noblet, N., Friend, A. D., Fiedlingstein, P., Grünwald, T., Heinesch, B., Keronen, P., Knohl, A., Krinner, G., Loustau, D., Manca, G., Matteucci, G., Miglietta, F., Ourcival, J. M., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Seufert, G., Soussana, J. F., Sanz, M. J., Schulze, E. D., Vesala, T., Valentini, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 529–533.
- Cienciala, E., Kucera, J., Ryan, M. G., Lindroth, A. (1998): Water flux in boreal forest during two hydrologically contrasting years; species specific regulation of canopy conductance and transpiration. *Annals of Forest Science*, 55, 47–61.
- Cironis, P. (1995): *Kronika obce Hradiště na Rokycansku (1834–1895)*. Státní okresní archiv Rokycany, 56 s.
- Coles, S. (2001): *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer, London, 210 s.
- Cook, E. R., Briffa, K. R., Jones, P. D. (1994): Spatial regression methods in dendroclimatology: a review and comparison of two techniques. *International Journal of Climatology*, 14, 379–402.
- Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. (1990): *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, Boston — Dordrecht — London, 394 s.
- Cook, E. R., Peters, K. (1997): Calculating unbiased tree-ring indices for the study of climatic and environmental change. *The Holocene*, 7, 361–370.
- Cooper, R. J., Melvin, T. M., Tyers, I., Wilson, R. J. S., Briffa, K. R. (2012): A tree-ring reconstruction of East Anglian (UK) hydroclimate variability over the last millennium. *Climate Dynamics*, 40, 1019–1039.
- Cvrček, J. (1903): Ze starých pamětí města Bzence. *Časopis Matice moravské*, 27, 13–23.
- Čada, V., Svoboda, M., Janda, P. (2013): Dendrochronological reconstruction of the disturbance history and past development of the mountain Norway spruce in the Bohemian Forest, central Europe. *Forest Ecology and Management*, 295, 59–68.
- Čejková, A., Kolář, T. (2009): Extreme radial growth reaction of Norway spruce along an altitudinal gradient in the Šumava Mountains. *Geochronometria*, 33, 41–47.
- Čejková, A., Poláková, S. (2012): Growth responses of sessile oak to climate and hydrological regime in the Zbytka nature reserve, the Czech Republic. *Geochronometria*, 39, 285–294.
- Čermák, J., Cienciala, E., Kučera, J., Lindroth, A., Bednářová, E. (1995): Individual variation of sap flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: A pilot study at the central NOPEX site. *Journal of Hydrology*, 168, 17–27.
- Čermák, J., Kučera, J., Nadezhdina, N. (2004): Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees-Structure and Function*, 18, 529–546.



- Červený, J., Böhm, B., Bubeníčková, L., Buchtele, J., Čulík, J., Daňková, H., Friga, J., Hladný, J., Kříž, V., Kurpelová, M., Nedelka, M., Šebek, O., Škulec, Š., Vaníček, K., Vítoslavský, J., Závodský, D. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 416 s.
- Český statistický úřad (2005): Statistická ročenka České republiky. Scientia, Praha, 814 s.
- ČHMÚ (2015a): Bilance množství a jakosti vody ČR. Dostupné na: <http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/bilance.htm>.
- ČHMÚ (2015b): Stav podzemních vod. Dostupné na: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P10\\_0\\_Aktualni\\_situace/P10\\_2\\_Hydrologie/P10\\_2\\_3\\_Stav\\_podzemnich\\_vod&last=false](http://portal.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P10_0_Aktualni_situace/P10_2_Hydrologie/P10_2_3_Stav_podzemnich_vod&last=false).
- Čizmář, J. (1933): Dějiny a paměti města Vizovic. Nákladem Mra Jos. Čizmáře, Brno, 376 s.
- Čurda, J., Janský, B., Kocum, J. (2011): Vliv fyzicko-geografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. Geografie, 116, 335–353.
- Dai, A. (2011a): Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900–2008. Journal of Geophysical Research, 116, D12115.
- Dai, A. (2011b): Drought under global warming: a review. WIREs Climate Change, 2, 45–65.
- Dai, A. (2013): Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, 3, 52–58.
- Dai, A., Trenberth, K. E., Taotao, Q. (2004): A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. Journal of Hydrometeorology, 5, 1117–1130.
- Dalezios, N. R., Blanta, A., Spyropoulos, N. V. (2012): Assessment of remotely sensed drought features in vulnerable agriculture. Natural Hazards and Earth System Sciences, 12, 3139–3150.
- Datry, T., Larned, S. T., Tockner, K. (2014): Intermittent rivers: A challenge for freshwater ecology. BioScience, 64, 229–235.
- Davi, H., Dufrêne, E., Francois, C., Le Maire, G., Loustau, D., Bosc, A., Rambal, S., Granier, A., Moors, E. (2006): Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, 141, 35–56.
- Davie, J., Falloon, P. D., Kahana, R., Dankers, R., Betts, R., Portmann, F. T., Wisser, D., Clark, D. B., Ito, A., Masaki, Y., Nishina, K., Fekete, B., Tessler, Z., Wada, Y., Liu, X., Tang, Q., Hagemann, S., Stacke, T., Pavlick, R., Schaphoff, S., Gosling, S. N., Franssen, W., Arnell, N. (2013): Comparing projections of future changes in runoff and water resources from hydrological and ecosystem models in ISI-MIP. Earth System Dynamics Discussions, 4, 279–315.
- d'Elvert, C., ed. (1861): Chronik der königlichen Stadt Iglau (1402–1617) von Iglauer Stadtschreiber Martin Leupold von Löwenthal. Quellen-Schriften zur Geschichte Mährens und Österr.-Schlesiens. 1. Sektion: Chroniken u. dgl. Theil 1. Mährische und schlesische Chroniken. In Commission der Buchhandlung A. Nitsch, Brünn, 326 s.
- Déqué, M. (2007): Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. Global and Planetary Change, 57, 16–26.
- Ditmarová, L., Kurjak, D., Palmroth, S., Kmeť, J., Štřelcová, K. (2010): Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. Tree Physiology, 30, 205–213.
- Dobeš, F. (1941): Kronika rodu Dobešů ze Stříteže nad Bečvou. Vlastním nákladem Františka Dobeše, Valašské Meziříčí, 219 s.
- Dobeš, F. (1945): Kniha o Stříteži (trochu historie, trochu rodopisu). Díl III. Nákladem vlastním, Valašské Meziříčí, 286 s.
- Dobeš, F. (1947): Kniha o Stříteži (trochu historie, trochu rodopisu). Díl I. Nákladem vlastním, Valašské Meziříčí, 367 s.
- Dobrá, J., Motyka, V., Dobrec, P., Malbeck, J., Prášil, I. T., Haisel, D., Gaudinová, A., Havlová, M., Gubiš, J., Vaňková, R. (2010): Comparison of hormonal responses to heat, drought and combined stress in tobacco plants with elevated proline content. Journal of Plant Physiology, 167, 1360–1370.
- Dobrovolný, P., Brázdil, R., Trnka, M., Kotyza, O., Valášek, H. (2015): Precipitation reconstruction for the Czech Lands, AD 1501–2010. International Journal of Climatology, 35, 1–14.
- Dobrovolný, P., Moberg, A., Brázdil, R., Pfister, C., Glaser, R., Wilson, R., van Engelen, A., Limanówka, D., Kiss, A., Halíčková, M., Macková, J., Riemann, D., Luterbacher, J., Böhm, R. (2010): Monthly and seasonal temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. Climatic Change, 101, 69–107.

- Dokládal, J. (1947): Orientační šetření o rozsahu suchých oblastí na jižní Moravě. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 37–46.
- Doležal, J., Mazůrek, P., Klimešová, J. (2010): Oak decline in southern Moravia: the association between climate change and early and late wood formation in oaks. *Preslia*, 82, 289–306.
- Domínguez-Castro, F., Santisteban, J. I., Barriendos, M., Mediavilla, R. (2008): Reconstruction of drought episodes for central Spain from rogation ceremonies recorded at the Toledo Cathedral from 1506 to 1900: A methodological approach. *Global and Planetary Change*, 63, 230–242.
- Dostál, B., Hosák, L., Zemek, M., Zimáková, A., Martinák, M., Školl, J. (1968): Břeclav — dějiny města. *Musejní spolek v Brně ve spolupráci s Městským národním výborem v Břeclavi*, Břeclav, 312 s.
- Drbal, K., Vicenec, J., Vizina, A. (2008): Studie posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu v povodí Moravy. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Brno, 80 s.
- Drössler, K. (1933): Geschichte der Pardorfer Kirche. *Heimatblatt für den Nikolsburger Bezirk*, 1, 69–72.
- Dřímál, J., Peša, V., eds. (1969): Dějiny města Brna. 1. díl. Nakladatelství Blok, Brno, 291 s.
- Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Svoboda, M., Zara, P. (2014): Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change*, 14, 1907–1919.
- Dubrovsky, M., Nemesova, I., Kalvova, J. (2005): Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research*, 29, 139–156.
- Dubrovský, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Žalud, Z., Hlavinka, P. (2009): Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 155–171.
- Dudík, B. (1858): *Olmützer Sammel-Chronik vom Jahre 1432 bis 1656*. *Schriften der hist. stat. Sektion*, Brünn, 61 s.
- Dufková, J., Šťastná, M. (2005): Determination of drought occurrence trend in the area of Southern Moravia and its influence on soil erosion. *Meteorologický časopis*, 8, 131–136.
- Dunford, R., Harrison, P. A., Jäger, J., Rounsevell, M. D. A., Tinch, R. (2014): Exploring climate change vulnerability across sectors and scenarios using indicators of impacts and coping capacity. *Climatic Change*, 128, 339–354.
- Durance, I., Ormerod, S. J. (2009): Trends in water quality and discharge confound long-term warming effects on river macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 54, 388–405.
- Dušek, L., ed. (1968): *Kronika tak řečeného Beneše Minority a její pokračování*. Historický rozbor a edice. Kandidátská dizertační práce. Karlova univerzita, Praha, 268 s.
- Dvorský, F. (1906): Třebický okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 66*. *Musejní spolek*, Brno, 449 s.
- Dvorský, F. (1916): Hrotovský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 42*. *Musejní spolek*, Brno, 336 s.
- Dvorský, J., ed. (1972): *Pražské paměti Jana Piláta Rakovnického z Jenštejna z let 1575–1605*. *Pražský sborník historický*, 7, 161–172.
- EC (2008): *Drought Management Plan Report Including Agricultural Drought Indicators and Climate Change Aspects*. *Water Scarcity and Drought Expert Network, European Commission Technical Report-2008-028* ([http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/dmp_report.pdf)).
- Eckstein, D., Bauch, J. (1969): Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussage-sicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88, 230–250.
- Eddy, J. A. (1976): The Maunder Minimum. *Science*, 192, 1189–1202.
- Eilmann, B., Weber, P., Rigling, A., Eckstein, D. (2006): Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland. *Dendrochronologia*, 23, 121–132.
- Eitzinger, J., Šťastná, M., Žalud, Z., Dubrovský, M. (2003): A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management*, 61, 195–217.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, M., Nováková, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2013): Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and

- Eastern Europe — hotspots, regional differences and common trends. *The Journal of Agricultural Science*, 151, 787–812.
- Elleder, L. (2003): Hodnocení hydrologického sucha. In: Workshop 2003 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 287–289.
- Elleder, L. (2013): Hydrologické hodnocení a parametry sucha v roce 1904. In: Odborný seminář Sucho a jak mu čelit. Sborník abstraktů. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Výzkumný ústav vohodospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav, Praha, 5–9.
- Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M., Trimble, P. J. (2001): The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. *Geophysical Research Letters*, 28, 2077–2080.
- Esper, J., Cook, E. R., Krusic, P. J., Peters, K., Schweingruber, F. H. (2003): Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies. *Tree-Ring Research*, 59, 81–98.
- Evropská komise (2009): Bílá kniha: Přizpůsobení se změně klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci. Komise evropských společenství, Brusel, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:CS:PDF>.
- Farda A. (2008): Dynamický downscaling teploty vzduchu v oblasti střední Evropy, Doktorská disertační práce. Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha, 86 s.
- Farda, A., Štěpánek, P., Halenka, T., Skalák, P., Belda, M. (2007): Model ALADIN in climate mode forced with ERA-40 reanalysis (coarse resolution experiment). *Meteorologický časopis*, 10, 123–130.
- Farský, O. (1947): Lesy a jižní Morava. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 102–108.
- Feifalik, J. (1859): Reimchronik eines Iglauer Bürgers aus dem siebenzehnten Jahrhundert (1607–1617). *Schriften der historisch-statistischen Sektion der k. k. mähr. schles. Gesellschaft des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde*, 12, 25–44.
- Felix, J. (1908): Frenštátský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 15. Musejní spolek, Brno, 220 s.
- Fendeková, M., Fendek, M., Porubská, D., Hanel, M., Horáček, S., Martinková, M., Vizina, A. (2013): Analysis of drought occurrence in selected Slovak and Czech catchments. In: Seminář Adolfa Patery 2013 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 97–105.
- Fenoglio, S., Bo, T., Cucco, M., Malacarne, G. (2007): Response of benthic invertebrate assemblages to varying drought conditions in the Po river (NW Italy). *Italian Journal of Zoology*, 74, 191–201.
- Fiala, T. (2006): Vymezení období sucha a období převládající teploty vzduchu pomocí metody součtových řad na příkladu Vráže u Písku. *Meteorologické zprávy*, 59, 76–79.
- Fiala, V., Fučík, P. (2002): Kostelecká kronika. 1. část. Od počátku do roku 1850. ERMAT Praha, s.r.o., 144 s.
- Fialová, P. (2015): Interakce podzemní a povrchové vody za extrémních hydrologických situací v nivě horní Lužnice. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 81 s.
- Fintajsl, F. (1914): Pamětní kniha obce Sobůlek u Kyjova. *Selský archiv*, 9, 109–111, 127–130.
- Fischer, E. M., Seneviratne, S. I., Vidale, P. L., Lüthi, D., Schär, C. (2007): Soil moisture-atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *Journal of Climate*, 20, 5081–5099.
- Fischer, J. W. (1808): Geschichte der königl. Hauptstadt und Gränzfestung Olmütz im Markgrathume Mähren. II. Band. Auf Kosten des Verfassers, Olmütz, 176 s.
- Fischer, R. A., Turner, N. C. (1978): Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annual Review of Plant Physiology*, 29, 277–317.
- Fišer, B. (1920): Paměti Hradištské. Osvěta, Valašské Meziříčí, 157 s.
- Flesar, V. (2013): Kořeny věků. Kronika rodu Flesarů psaná v letech 1423–1923. Vlastním nákladem, Jimramov, 656 s.
- Franc, O. (2000): Dějiny Kobylí v datech. Muzeum obce Kobylí, Praha, 160 s.
- Frank, D., Esper, J., Cook, E. R. (2007): Adjustment for proxy number and coherence in a large-scale temperature reconstruction. *Geophysical Research Letters*, 34, L16709.
- Frazier, T. G., Thompson, C. M., Dezzani, R. J., Butsick, D. (2013): Spatial and temporal quantification of resilience at the community scale. *Applied Geography*, 42, 95–107.
- Frélichová, J., Vačkář, D., Pártl, A., Loučková, B., Harmáčková, Z. V., Lorencová, E. (2014): Integrated assessment of ecosystem services in the Czech Republic. *Ecosystem Services*, 8, 110–117.



- Frenzel, B., Pfister, C., Gläser, B., eds. (1994): Climatic trends and anomalies in Europe 1675–1715. High resolution spatio-temporal reconstructions from direct meteorological observations and proxy data. Methods and results. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart — Jena — New York, 479 s.
- Frič, J. (1960): Sucha v Čechách. *Živa*, 8, 135.
- Friedrich, G. (1997): Rukověť křesťanské chronologie. Paseka, Praha — Litomyšl, 340 s.
- Frinta, A. (1970): Havel Žalanský — Phaeton. Okresní archiv Ústí nad Labem, Ústí nad Labem, 9 s.
- Fritts, H. C. (1976): Tree Ring and Climate. Academic Press, London — New York — San Francisco, 567 s.
- Gabrovec, M., Kladnik, D. (1997): Some new aspects of land use in Slovenia. *Geografski sbornik — Acta Geographica*, 37, 7–64.
- Gabrovec, M., Petek, F. (2002): A methodology for assessing the change in land use in Slovenia from the viewpoint of sustainable development. In: Chromý, P., Jančák, V., Janů, H., eds.: Land Use/Land Cover Changes in the Period of Globalization. Proceedings of the IGU-LUCC International Conference, Prague 2001. Charles University in Prague, Prague, 168–179.
- Gam, K. (1947): Zeměpisné porovnání suchých oblastí se zřetelem k jižní Moravě. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 16–22.
- Gao, B. C. (1996): NDWI — a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257–266.
- Gargallo-Garriga, A., Sardans, J., Pérez-Trujillo, M., Rivas-Ubach, A., Oravec, M., Vecerova, K., Urban, O., Jentsch, A., Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Parella, T., Peñuelas, J. (2014): Opposite metabolic responses of shoots and roots to drought. *Scientific Reports*, 4, 6829.
- Ghulam, A., Qin, Q., Teyip, T., Li, Z. L. (2007): Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 62, 150–164.
- Gibbs, W. J. (1975): Drought — its definition, delineation and effects. In: Special Envir. Report No. 5. World Meteorological Organization, Geneva, 11–39.
- Glaser, R. (2008): Klimageschichte Mitteleuropas. 1200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. Primus Verlag, Darmstadt, 264 s.
- Glaser, R., Brázdil, R., Pfister, C., Dobrovolný, P., Barriendos Vallvé, M., Bokwa, A., Camuffó, D., Kotyza, O., Limanówka, D., Rácz, L., Rodrigo, F. S. (1999): Seasonal temperature and precipitation fluctuations in selected parts of Europe during the sixteenth century. *Climatic Change*, 43, 169–200.
- Glenn, J. C., Gordon, T. J., Florescu, E. (2014): 2013–14 State of the Future. The Millenium Project, Washington D. C., 256 s.
- Gowing, D. J. G., Davies, W. J., Jones, H. G. (1990): A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. *Journal of Experimental Botany*, 41, 1535–1540.
- Gradl, H., ed. (1884): Die Chroniken der Stadt Eger. Deutsche Chroniken aus Böhmen, Band III. Im Auftrage des Vereins für Geschichte der Deutschen in Böhmen, Prag, 495 s.
- Gray, L. J., Scaife, A. A., Mitchell, D. M., Osprey, S., Ineson, S., Hardiman, S., Butchart, N., Knight, J., Sutton, R., Kodera, K. (2013): A lagged response to 11 year solar cycle in observed winter Atlantic/Europen weather patterns. *Journal of Geophysical Research, Atmosphere*, 118, 405–420.
- Gregor, A. (1947): Sucho na jižní Moravě. *Meteorologické zprávy*, 1, 49–52.
- Gregor, A. (1948): Thornthwaitova metoda posuzování sucha a vlhka. *Meteorologické zprávy*, 2, 72–75.
- Gregor, A. (1949): K diskusi o otázkách sucha. *Meteorologické zprávy*, 3, 34.
- Gttm. (1925): Brotmangel im Jahre 1842. Unsere Heimat (Blätter für Heimatkunde des Leitmeritzer Gaus, Beilage zur Leitmeritzer Zeitung), 6, 46.
- Guiot, J., Nicault, A., Rathegeber, C., Edouard, J. L., Guibal, F., Pichard, G., Till, C. (2005): Last-millennium summer temperature variations in Western Europe based on proxy data. *The Holocene*, 15, 489–500.
- Gumbel, E. J. (1963): Statistical forecast of drought. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, 8, 5–23.
- Gurwin, J. (2014): Long-term monitoring and GIS based determination of groundwater drought propagation, the Lower Silesia region, SW Poland. *Episodes*, 37, 172–181.
- Gutman, G. (1990): Towards monitoring droughts from space. *Journal of Climate*, 3, 282–295.
- Haidekker, A., Hering, D. (2008): Relationship between benthic insects (Ephemeroptera, Plecoptera, Coleoptera, Trichoptera) and temperature in small

- and medium-sized streams in Germany: A multi-variate study. *Aquatic Ecology*, 42, 463–481.
- Halenka, T. (2010): Cecilia — EC FP6 Project on the Assessment of Climate Change Impacts in Central and Eastern Europe. In: Alexandrov, V., Gajdusek, M. F., Knight, C. G., Yotova, A., eds.: *Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe*. Springer Science + Business Media B.V., New York, 125–137.
- Hampl, M. (1998): Realita, společnost a geografická organizace: hledání integrálního řádu. DemoArt, Praha, 110 s.
- Hanák, J. (1919): Paměti města Bzence. Nákladem města Bzence, Bzenec, 166 s.
- Hanák, J. (1922): Dějiny vinařství v Bzenci. Kulturně historický náskres. Tisk a náklad Slovácké knihtiskárny K. Novotného, Uherské Hradiště, 73 s.
- Haňák, V. (1913): Mor.-Krumlovský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 34. Musejní spolek, Brno, 366 s.
- Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M., Horáček, S., Vizina, A., Novický, O., Fridrichová, R. (2011): Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 108 s.
- Hanel, M., Vizina, A. (2014): Hydrologické modelování dopadů klimatické změny. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 92 s.
- Hanel, M., Vizina, A., Máca, P., Pavlásek, J. (2012): A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60, 152–161.
- Hänsel, S., Łupikasza, E., Matschullat, J. (2009): Spatiotemporal drought characteristics in Central Eastern Germany and Southern Poland. In: Pribullová, A., Bičárová, S., eds.: *Sustainable development and bioclimate*. Reviewed Conference Proceedings, Stará Lesná, 20–21.
- Hänsel, S., Matschullat, J. (2009): Changes in precipitation characteristics in Central Eastern Germany — Trends of extreme precipitation and drought. In: Pribullová, A., Bičárová, S., eds.: *Sustainable development and bioclimate*. Reviewed Conference Proceedings, Stará Lesná, 22–23.
- Hansen, J., Fung, I., Lacis, A., Rind, D., Lebedeff, S., Ruedy, R., Russell, G., Stone, P. (1988): Global climate changes as forecast by Goddard Institute for Space Studies three-dimensional model. *Journal of Geophysical Research*, 93, 9341–9364.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R. (2012): Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 14726–14727, E2415–E2423.
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., Lister, D. H. (2013): Updated high-resolution grids of monthly climatic observations. *International Journal of Climatology*, 34, 623–642.
- Harvey, L. D. D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., Lal, M., Leemans, R., Raper, S., Wigley, T., de Wolde, J. (1997): An introduction to simple climate models used in the IPCC Second Assessment Report. IPCC Tech. Paper 2, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 59 s.
- Haudeck, J. (1907): Ortsgeschichtliche Aufzeichnungen aus Libochowann. *Mitteilungen des Nordböhmisches Exkursions-Klubs*, 30, 45–50.
- Häufler, V. (1955): Horské oblasti v Československu a jejich využití. Nakladatelství ČSAV, Praha, 310 s.
- Hecht, A., Fiksel, J., Saundry, P. (2012): Environment and Security. In: Cutler, J. T., Washington, D. C., eds.: *Encyclopedia of Earth*. Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment; [http://www.eoearth.org/article/Environment\\_Security?topic=49564](http://www.eoearth.org/article/Environment_Security?topic=49564).
- Heim, R. R. (2000): Drought indices. A review. In: Wilhite, D. A. (ed.): *Drought: A Global Assessment*. Hazards Disaster Series, Vol. I. Routledge, New York, 159–167.
- Heim, R. R. (2002): A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1149–1165.
- Heisig, F. (1929): *Olbersdorfer Denkwürdigkeiten*. Dritter Band 1862 bis 1884. Selbstverlag des Herausgebers, Olbersdorf, 174 s.
- Hejnák, V. (2003): The effect of drought on production of dry matter in spring barley (*Hordeum vulgare*, cv. Amulet, Krona, and historical cv. Nuernberg). *Scientia Agriculturae Bohemica*, 34, 121–128.
- Helama, S., Lindholm, M., Timonen, M., Meriläinen, J., Eronen, M. (2002): The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland. Part 2, interannual to centennial variability in summer temperatures for 7500 years. *The Holocene*, 12, 681–687.
- Hewitt, C. D., Griggs, D. J. (2004): Ensembles-based predictions of climate changes and their impacts. *Eos*, 85, 566.

- Hinkel, J. (2011): "Indicators of vulnerability and adaptive capacity": Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*, 21, 198–208.
- Hirschi, M., Mueller, B., Dorigo, W., Seneviratne, S. (2014): Using remotely sensed soil moisture for land-atmosphere coupling diagnostics: The role of surface vs. root-zone soil moisture variability. *Remote Sensing of Environment*, 154, 246–252.
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., Demuth, S. (2001): Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21, 317–333.
- Hladný, J. (2009): Druhy sucha. In: Němec, J., Kopp, J. (eds.): *Vodstvo a podnebí v České republice*. MZV ČR, Consult Praha, s. 66.
- Hlásný, T., Holuša, J., Štěpánek, P., Turčáni, M., Polčák, N. (2011): Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. *Journal of Forest Science*, 10, 422–431.
- Hlásný, T., Mátyás, C., Seidl, R., Kulla, L., Merganičová, K., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Konópka, B. (2014): Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? *Lesnický časopis — Forestry Journal*, 60, 5–18.
- Hlaváč, V. (1977): *Poznámky z „Klementinských pozorování 1775–1839“*. Hydrometeorologický ústav, Praha, 191 s.
- Hlavinka, K. (1908): *Moravské víno a obilí od r. 1704–1744*. *Selský archiv*, 7, 38–44.
- Hlavinka, P., Kersebaum, K. C., Dubrovský, M., Fischer, M., Pohanková, E., Balek, J., Žalud, Z., Trnka, M. (2015): Water balance, drought stress and yields for field crop rotations under present and future conditions in the Czech Republic. *Climate Research*, v recenzním řízení.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Balek, J., Semerádová, D., Hayes, M., Svoboda, M., Eitzinger, J., Možný, M., Fischer, M., Hunt, E., Žalud, Z. (2011): Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*, 98, 1249–1261.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. (2009): Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 431–442.
- Hnízdil, O. (2002): *Pavлінov 1479–2002. Historie obce Pavлінov v letech 1479–2002*. *ObŮ v Pavлінově*, 222 s.
- Hoerling, M. P., Eischeid, J. K., Quan, X.-W., Diaz, H. F., Webb, R. S., Dole, R. M., Easterling, D. R. (2012): Is a transition to semipermanent drought conditions imminent in the U.S. Great Plains? *Journal of Climate*, 25, 8380–8386.
- Hoffmann, K., Büntgen, U., Kyncl, T., Brázdil, R., Esper, J. (2009): On the potential of fir ring width data for summer drought reconstruction in southern Moravia, Czech. *Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology*, 7, 57–63.
- Hofmann, G. (1984): *Metrologická příručka*. Státní oblastní archiv v Plzni, Muzeum Šumavy v Sušici, 100 s.
- Hojsák, J. (1904): *Ze zápisů Jos. Čapka z Jeseníka, Křineckého poddaného*. *Věstník Poděbradska*, 7, 186–187.
- Holková, L., Melišová, L., Bradáčová, M., Mikulková, P., Ehrenbergerová, J. (2010): Possibility of evaluation of drought tolerance in barley. *Kvasný průmysl*, 56, 118–122.
- Hollstein, E. (1980): *Mitteuropäische Eichenchronologie*. *Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte*. Trierer Grabungen und Forschungen, Mainz am Rhein, 273 s.
- Horáček, S., Kašpárek, L., Hanel, M., Vizina, A., Kašpárek, J., Poláková, A., Pavlásek, J., Havlíček, V., Máca, P., Vizina, Š., Havel, L., Eckhardt, P., Vlnas, R., Nováková, H., Kněžek, M., Elleder, L., Dragoun, Z., Šírová, J., Hradílek, V., Pácl, M. (2011): Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka. *Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha*, 164 s.
- Horák, F., ed. (1963): *Knihopis českých a slovenských tisků od doby nejstarší až do konce XVIII. století. Díl II. Tisky z let 1501–1800. Část VIII. Ročník XVI. Sešit 221–235*. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 244 s.
- Horníček, I. (1925): *Tlumačov. Popis dějepisný, místopisný a statistický. II. díl*. Vydal Místní odbor Národní jednoty v Tlumačově za přispění obce a sdružených spolků, Tlumačov, 568 s.
- Hosák, L. (1924): *Hustopecký okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 43*. Musejní spolek, Brno, 224 s.
- Hosák, L. (1928): *Z doby bělohorské (Soudní paměti z let 1616–25)*. *Vlastivědný sborník Břeclavska*, 1, 25–27.
- Hosák, L., Indra, B., Jašková, M. (1969): *Hranice. Dějiny města. Díl I. Od nejstarších dob do války*



- třicetileté. Městský národní výbor v Hranicích, Hranice, 128 s.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A., eds. (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 944 s.
- Hrbek, J., Reinhartová, J. (1968): Výskyt bezsrážkových období v létě v Čechách a na Moravě. *Meteorologické zprávy*, 21, 104–109.
- Hrdlička, J. (1999): *Stavěšice 610 let*. Obecní úřad Stavěšice, 128 s.
- Hrdý, J. (1924): *Krajské patenty XVIII. století. Od Ještěda k Troskám — Vlastivědný sborník českého severu*, 3, 56–61.
- Hrejsa, F. (1917): *Z rukopisů musejních IV. Benešovská sbírka novoutravistických kázání do r. 1590*. *Časopis Musea Království českého*, 91, 191–200.
- Hrnčiarová, T., Mackovčín, P., Zvara, I., eds. (2009): *Atlas krajiny České republiky*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Praha, 331 s.
- Hrubeš, P. (1959): O suchu v roce 1959. *Meteorologické zprávy*, 12, 205–209.
- Hrubý, F. (1908): *Z věžové báně Želechovské. Paměti z let 1700–1754*. *Selský archiv*, 7, 44–55.
- Hrubý, F. (1937): *Moravské korespondence a akta z let 1620–1636. Sv. 2. 1625–1636 (Listy Karla st. z Žerotína 1628–36)*. Nákladem Země moravskoslezské, Brno, 573 s.
- Hsiao, T. C. (1973): Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 24, 519–570.
- Hsiao, T. C. (1979): Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, 14, 59–84.
- Huang, S., Krysanova, V., Hattermann, F. (2015): Projections of climate change impacts on floods and droughts in Germany using an ensemble of climate change scenarios. *Regional Environmental Change*, 15, 461–473.
- Hule, M. (2002): *Stráž nad Nežárkou. Historie města do roku 2002*. Carpio, Třeboň, 304 s.
- Hulme, M., Wigley, T. M. L., Barrow, E. M., Raper, S. C. B., Centella, A., Smith, S., Chipanshi, A. C. (2000): Using a climate scenario generator for vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook. Climatic Research Unit, Norwich, 51 s.
- Hurrell, J. W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- Hurt, R. (1973): *Dějiny obce Kašavy. 600 let obce Kašava 1373–1973*. MNV v Kašavě, 74 s.
- Hutter, T. (1891): *Die Stadt Bilin und ihre Geschichte von der ältesten Zeit bis auf unsere Tage (1890)*. Verlag des Bürgermeisteramtes, Bilin, 168 s.
- Chadt-Ševětínský, J. E. (1914): *Dějiny lesů a lesnictví v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Vlastním nákladem, Písek (Obora), 1121 s.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D. (1983): *Fire in forestry*. In: Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D., eds.: *Forest Fire Behaviour and Effects*, Vol. I. John Wiley and Sons, New York, 171–202.
- Chase, T. N., Wolter, K., Pielke, R. A. Sr., Rasool, J. (2006): Was the 2003 European summer heat wave unusual in the global context? *Geophysical Research Letters*, 33, L23709.
- Chauhan, N. S. (2003): Spaceborn soil moisture estimation at high resolution: a microwave-optical IR synergistic approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 4599–4622.
- Chloupek, O., Dostál, V., Středa, T., Psota, V., Dvořáčková, O. (2010): Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size. *Plant Breeding*, 129, 630–636.
- Chloupek, O., Hrstková, P., Jurečka, D. (2003): Tolerance of barley seed germination to cold- and drought-stress expressed as seed vigour. *Plant Breeding*, 122, 199–203.
- Chloupek, O., Hrstková, P., Schweigert, P. (2004): Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilisation over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research*, 85, 167–190.
- Chloupek, V. (1996): *Písty. ObÚ v Pístech*, 24 s.
- Chong, J. (2014): Ecosystem-based approaches to climate change adaptation: progress and challenges. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 14, 391–405.
- Christensen, J. H., Christensen, O. B. (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81, 7–30.

- Chudáček, V. (1928): Pamětní kniha školy obce Chrástu u Plzně. Národní muzeum Plzeňska, Plzeň, 47 s.
- Indra, B. (1929–1930): Památky, uschované v báni radn. věže hranické. Záhorská kronika, 12, 53–55, 85–88.
- Indra, B., Turek, A. (1946): Paměti drahotušských kronikářů. Časopis Vlasteneckého spolku musejního v Olomouci, 55, 219–320.
- Ingłot, S. (1968): Zjawiska klimatyczno-meteorologiczne na Slasku od XVI do polowy XIX wieku. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, 139, 9–48.
- Ingram, J., Bartels, D. (1996): The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annual Review of Plant Biology, 47, 377–403.
- Jackson, R. D., Idso, D. B., Reginato, R. J., Pinter, P. J. Jr. (1981): Canopa temperature as a crop water stress indicator. Water Resources Research, 17, 1133–1138.
- Jačka, L., Pavlásek, J., Bašta, P. (2014): Effect of agricultural drought on wheat yields in two selected districts located in the Czech Republic. In: Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-13290. EGU General Assembly, Vienna 27 April–2 May 2014.
- Jančík, J. (1947): Rozstání a Baldovec. Dějiny obce. Grunty, domky a jejich držitelé. Nákladem MNV v Rozstání, Brno, 268 s.
- Janeček, M., Dostál, T., Kozlovsky-Dufková, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázká, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodika. Česká zemědělská univerzita Praha, Fakulta životního prostředí, Praha, 113 s.
- Jankovský, L., Palovčíková, D. (2003): Dieback of Austrian pine — the epidemic occurrence of *Sphaeropsis sapinea* in southern Moravia. Journal of Forest Science, 8, 389–394.
- Janoušek, V. (1938): Prostějovský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 60. Musejní spolek, Brno, 390 s.
- Janoušková, S., Hák, T., Lorencová, E., Vačkář, D. (2013): Environmentální bezpečnost: Návrh koncepčního rámce pro aplikace v České republice. Obrana a strategie, 13, 25–40.
- Janský, B., Kocum, J. (2008): Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Kremelna rivers basin in the Sumava mountains, southwestern Czechia. Geografie, 113, 383–399.
- Jeleček, L. (1985): Zemědělství a půdní fond v Čechách ve 2. polovině 19. století. Academia, Praha, 283 s.
- Jeleček, L., Bičík, I., Štych, P., Bláha, J. (2012): Kobyly. In: Bičík, I., Himiyama, Y., Feranec, J., Štych, P., eds.: Land Use/Cover Changes in Selected Regions in the World — Volume VII. IGU Commission on LUCC, Charles University in Prague, Prague, 43–48.
- Jensen, J. R. (2005): Introductory Digital Image Processing. 3rd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 526 s.
- Jiang, Y., Wang, Y. (2011): Candidate gene expression involved in drought resistance. In: Pessarakli, M., ed.: Handbook of Plant and Crop Stress. CRC Press, Boca Raton, 867–876.
- Jílek, J. (1948): Ještě něco o suchu na Moravě. Meteorologické zprávy, 2, 144–145.
- Johanovský, Z., Wolf, P. a kol. (1985): Hodnocení suchého období let 1982–1984 v profilech vybraných nádrží ČSR. ČHMÚ, Praha, 36 s.
- Jonášová, S. (2009): Paměti Františka Jana Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha VI–VII (1810–1816). Nakladatelství Karolinum, Praha, 486 s.
- Jones, H. G. (1987): Repeat flowering in apple caused by water stress or defoliation. Trees, 1, 135–138.
- Jones, H. G. (2014): Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. Third Edition. Cambridge University Press, New York, 407 s.
- Jones, H. G., Flowers, T. J., Jones, M. B., eds. (1989): Plants Under Stress: Biochemistry, Physiology and Ecology and Their Application to Plant Improvement. Cambridge University Press, Cambridge, 257 s.
- Jones, P. D., Jónsson, T., Wheeler, D. (1997): Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. International Journal of Climatology, 17, 1433–1450.
- Jönsson, P., Eklundh, L. (2002): Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40, 1824–1832.
- Juhola, S., Kruse, S., (2013): A framework for analysing regional adaptive capacity assessments: challenges for methodology and policy making. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 20, 99–120.

- Jung, T. (2004): Phytophthora schädigt Buchenbestände in ganz Bayern. LWF aktuell, 34, 36–37.
- Jung, T. (2009): Beech decline in Central Europe driven by the interaction between Phytophthora infections and climatic extremes. Forest Pathology, 39, 73–94.
- Jůva, K. (1936): K správnému hodnocení půdní meliorace v době sucha. In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: Vodní hospodářství v době sucha. Tiskem Noviny v Brně, Brno, 11–17.
- Jůva, K. (1947): Vodní hospodářství v suchých oblastech. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 133–138.
- Kabrda, J., Jančák, V. (2007): Vliv vybraných politických a institucionálních faktorů na české zemědělství a krajinu. Geografie — Sborník České geografické společnosti, 112, 48–60.
- Kacperska, A. (2004): Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity? Physiologia Plantarum, 122, 159–168.
- Kaennel, M., Schweingruber, F. H. (1995): Multilingual Glossary of Dendrochronology. Paul Haupt Publishers, Berne, 467 s.
- Kakos, V. (1974): Sucho v ČSR za období 1971–1973. Vodohospodářský spravodajca, 17, 251–255.
- Kakos, V. (1977): Sucho v Čechách v letech 1971–1974. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 19, 393–398.
- Kakos, V. (1979): Sucho v ČSR ve vegetačním období 1976. Meteorologické zprávy, 32, 108–110.
- Kakos, V. (1984): Dlouhodobé sucho a extrémní teplo v letech 1982–83. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 26, 258–265.
- Kakos, V. (2001): Velké vody na Vltavě v Praze s  $Q_k \geq Q_2$  ( $1090 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) za období 1851–2000. Rukopis, Praha.
- Kakos, V. (2008): František Augustin, první profesor meteorologie na pražské univerzitě. Meteorologické zprávy, 61, 185–191.
- Kakos, V., Kulasová, B. (1990): Povodeň v září 1890 na Vltavě v Praze. Vodní hospodářství, 40, 267–273.
- Kakos, V., Müller, M. (2004): Hydrometeorologická sucha na území Čech od roku 1851. In: Sborník z Workshopu Adolfa Patery 2004 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 17–24.
- Kamper, Z. (1927–1929): Josefa Luňáka, měšťana mladoboleslavského „Historiky boleslavské z let 1825–76“. Boleslavan, 2, 1927–28, 236–257; 3, 1928–29, 156–163, 199–206, 257–275.
- Kaněra, C. F. (1900): Farní osada sv. Vojtěcha v Počáplích. Nákladem vlastním, Terezín, 342 s.
- Karl, T. R. (1986): The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. Journal of Climate and Applied Meteorology, 25, 77–86.
- Kašpárek, L. (2000): Analýza hydrologického sucha v povodní horní Metuje a Orlice. In: Workshop 2000 — grantový projekt reg. č. 103/99/1470: Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 81–86.
- Kašpárek, L. (2005): Příčiny extrémního poklesu průtoků horní Metuje v roce 2004. In: Workshop Adolfa Patery 2005 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 17–25.
- Kašpárek, L., Novický, O. (1999): Současný stav metod hodnocení hydrologického sucha. In: Workshop 2000 — grantový projekt reg. č. 103/99/1470: Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 111–115.
- Kašpárek, L., Novický, O., Vizina, A., Vyskoč, P., Píček, J. (2007): Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu na povodí Vltavy. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 155 s.
- Kašpárek, L., Vizina, A., Vlnas, R., Vyskoč, P. (2008): Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu na povodí Labe. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 69 s.
- Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Praha 1967, 94 s.
- Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Praha 1972, 38 s.
- Katzerowsky, W. (1883): Meteorologische Aufzeichnungen aus Saaz. Mitteilungen des Vereins für Geschichte der Deutschen in Böhmen, 21, 345–353.
- Katzerowsky, W. (1887): Die meteorologischen Aufzeichnungen des Leitmeritzer Rathsverwandten Anton Gottfried Schmidt aus den Jahren 1500 bis 1761. Ein Beitrag zur Meteorologie Böhmens. Im Selbstverlag, Prag, 29 s.
- Katzerowsky, W. (1895): Meteorologische Nachrichten aus den Archiven der Stadt Leitmeritz. Im Selbstverlage des Verfassers, Leitmeritz, 30 s.



- Katzerowsky, W. (1896): Meteorologische Nachrichten aus den Archiven der Stadt Leitmeritz. In: Jahres-Bericht des k. k. Staats-Ober-Gymnasiums zu Leitmeritz in Böhmen für das Schuljahr 1895/96, Leitmeritz, 3–32.
- Kellomaki, S., Karjalainen, T., Mohren, F., Lapvetelainen, T., eds. (2000): Expert assessments on the likely impacts of climate change on forests and forestry in Europe. EFI Proceedings 34. European Forest Institute, Joensuu, 120 s.
- Kern, Z., Grynaeus, A., Morgos, A. (2009): Reconstructed precipitation for southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to 1746 AD based on ring widths of oak trees. *Időjárás*, 113, 299–314.
- Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Gachon, P., Sushama, L. (2008): Temporal evolution of low-flow regimes in Canadian rivers. *Water Resources Research*, 44, W08436.
- Khan, N. A., Nazar, R., Iqbal, N., Anjum, N. A. (2012): *Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants*. Springer, Berlin — Heidelberg, 306 s.
- Kisiel, C. C. (1969): *Time Series Analysis of Hydrologic Data*. Academic Press, New York — London (ruský překlad, Gidrometeoizdat, Leningrad 1972, 140 s.).
- Kiss, A. (2009): Historical climatology in Hungary: role of documentary evidence in the study of past climates and hydrometeorological extremes. *Időjárás*, 113, 315–339.
- Klemm, F. (1983): *Die Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen in Österreich einschliesslich Böhmen und Mähren bis zum Jahr 1700*. *Annalen der Meteorologie (NF)*, 21, Offenbach am Main, 48 s.
- Klimeš, J., Kuběna, M., Mikulášek, J. (2001): Sloup v Moravském krasu. *Obecní úřad Sloup za přispění Ministerstva pro místní rozvoj ČR a Spolku pro obnovu venkova*, 144 s.
- Kněžek, M. (2013): *Jednota hydrologie*. In: *Krátké úvahy o vodě*. ČHMÚ, Praha, 32–39.
- Knies, J. (1904): *Boskovský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 5*. Musejní spolek, Brno, 226 s.
- Kocmánková, E., Trnka, M., Žalud, Z., Semerádová, D., Dubrovský, M., Muška, F., Možný, M. (2008): The comparison of mapping methods of European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) potential distribution. *Plant Protection Science*, 44, 49–56.
- Kočí, L., Kočová, I., Pošmurná, I., Švarc, M., Zelený, V. (2000): *Chotýšany. ObÚ Chotýšany*, 108 s.
- Kočnar, K. (1947): *Zelinářství v suchých oblastech*. In: *Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74*. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 82–83.
- Kogan, F. N. (1990): Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405–1419.
- Kogan, F. N. (1995): Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 11, 91–100.
- Kogan, F. N. (1997): Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 621–636.
- Kogan, F. N. (2000): Contribution of remote sensing to drought early warning. In: *Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V. K., Wood, D. A., eds.: Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management. Proc. Expert Group Meeting, 5–7 September 2000, Lisbon (Portugal)*. World Meteorological Organization, Geneva, 86–100.
- Kohut, M. (1992): Metodika systémů zabezpečujících závlahový režim v České republice — Agromet-servis, vláhová potřeba zemědělských plodin. *Meteorologické zprávy*, 45, 169–173.
- Kohut, M. (1993): Využití meteorologických dat v agrometeorologických aplikacích. *Meteorologické zprávy*, 46, 174–182.
- Kohut, M. (2014): *Osobní sdělení*.
- Kolár, J., ed. (1987): *Marek Bydžovský z Florentina, Svět za tří českých králů. Výbor z kronikářských zápisů o letech 1526–1596*. Svoboda, Praha, 296 s.
- Kolář, P., Trnka, M., Brázdil, R., Hlavinka, P. (2014): Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961–2007 period. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 707–721.
- Kolář, T., Čermák, P., Oulehle, F., Trnka, M., Štěpánek, P., Cudlín, P., Hruška, J., Büntgen, U., Rybníček, M. (2015): Pollution control in the 1980s contributed to unprecedented spruce growth in the “Black Triangle” near the Czech-Polish border. *Environmental Pollution*, v recenzním řízení.
- Kolář, T., Rybníček, M., Kyncl, T. (2012): Oak chronology development in the Czech Republic

- and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia*, 30, 243–248.
- Kolejka, J. (2013): *Nauka o krajině. Geografický pohled a východiska*. Academia, Praha, 440 s.
- Komárek, F. (1911): *Paměti panství a farní osady budenické*. Nákladem vlastním, Praha, 171 s.
- Konícar, J. (1977): *Tři roky činnosti „Agromet-servisu“ na jižní Moravě*. Meteorologické zprávy, 30, 156.
- Kopička, P., Kotyza, O. (2009): *Paměti roudnických měšťanů z 18. století. Brodští & Jílkové*. In: *Edice a studie Státního oblastního archivu v Litoměřicích, sv. 1. Státní oblastní archiv v Litoměřicích & SCRIPTORIUM, Litoměřice — Praha, 272 s. + přílohy*.
- Kopřiva, J. (1856): *Geschichte der Stadtgemeinde Neustadt in Mähren*. Schriften der historisch-statistischen Sektion der k. k. mähr. schles. Gesellschaft des Ackerbaues, der Natur- und Landeskunde, 9, 231–310.
- Koráb, J. (1883): *Kniha pamětní král. krajského města Plzně od roku 775 až 1870*. Založena a sestavena od Martina Hrušky, městského archiváře. Nákladem dědiců Hruškových, Plzeň, 1125 s.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T. (2014): *Wheat and barley dehydrins under cold, drought, and salinity — what can LEA-II proteins tell us about plant stress response?* *Frontiers in Plant Science*, on-line. DOI: 10.3389/fpls.2014.00343.
- Kotík, J. (2003): *Letopisy obce Jasenice, dokumentárně i pamětnicky*. Nakladatelství Jiřího Jeřábka, Jasenice, 167 s.
- Kotyza, O., Cvrk, F., Pažourek, V. (1995): *Historické povodně na dolním Labi a Vltavě*. Okresní muzeum v Děčíně, Děčín, 169 s.
- Kovalevskij, V. S. (1976): *Mnogoletnija kolebanija urovnej podzemnych vod i podzemnogo stoka*. Nauka, Moskva, 276 s.
- Kovalevskij, V. S. (1983): *Mnogoletnaja izměnčivost' resursov podzemnych vod*. Nauka, Moskva, 206 s.
- Kovats, R. S., Valentini, R., Bouwer, L. M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M., Soussana, J.-F. (2014): *Europe*. In: *Barros, V. R., Field, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Girma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., White, L. L., eds.: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom — New York, NY, USA, 1267–1326.
- Köstner, B., Granier, A., Čermák, J. (1998): *Sapflow measurements in forest stands: methods and uncertainties*. *Annals of Forest Science*, 55, 13–27.
- Kračmer, J. (1937): *Perioda sucha v období let 1932–1934 v povodí řeky Moravy a v přilehlých povodích*. *Věstník pro vodní hospodářství*, 16, 4–8, 20–24.
- Kramer, P. J., Boyer, J. S. (1995): *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, London, 495 s.
- Kramoliš, Č. (1900): *Bučovský okres*. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 9*. Musejní spolek, Brno, 162 s.
- Kramoliš, Č. (1907): *Rožnovský okres*. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 55*. Musejní spolek, Brno, 228 s.
- Kratochvíl, A. (1904): *Ivančický okres*. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 23*. Musejní spolek, Brno, 368 s.
- Kratochvíl, A. (1906): *Ivančice býv. král. město na Moravě*. *Popis dějepisný, místopisný a statistický*. Musejní spolek v Ivančicích, Ivančice, 432 s.
- Kratochvíl, A. (1907): *Vel.-Meziříčský okres*. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 41*. Musejní spolek, Brno, 472 s.
- Kratochvíl, A. (1910): *Židlochovský okres*. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 79*. Musejní spolek, Brno, 361 s.
- Krečmer, V. (1952): *Vliv sucha roku 1947 zejména na výškový přírůst lesních dřevin*. In: *Sborník Československé akademie zemědělské 25*. Nákladem Československé akademie zemědělské, Praha, 243–260.
- Krejčí, K. (1937): *Katastrofální sucho — výstavba údolních přehrad*. *Věstník pro vodní hospodářství*, 16, 96–98.
- Kreuzinger, E. (1862): *Chronik der alten und neuern Zeit Troppau's, oder Troppau und seine Merkwürdigkeiten*. Im Selbstverlage des Herausgebers, Troppau, 278 s.
- Krolmus, W. (1845): *Kronyka čili dějepis všech povodní posloupných let, suchých i mokrých, úrodných a neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v Království Českém*. Tiskem Karla Wetterla, Praha, 261 s.
- Kroulík, J., Králová, H. (2012): *Dynamika teplotního režimu malých vodních toků v zemědělské*

- krajně a problematika sucha. In: Seminář Adolfa Patery 2012 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 282–288.
- Kroupová, M. (2002): Dendroecological study of spruce growth in regions under long-term air pollution load. *Journal of Forest Science*, 48, 536–548.
- Krška, K. (1980): K vymezení nejsušší jihomoravské oblasti na základě průměrných ročních úhrnů srážek. *Meteorologické zprávy*, 33, 12–18.
- Křivancová, S. (1977): Analýza místních srážkových rozdílů v oblasti jihomoravských závlah ve vegetačních obdobích let 1964–1973. *Meteorologické zprávy*, 30, 145–152.
- Křivancová, S., Vavruška, F. (1997): Základní meteorologické prvky v jednotlivých povětrnostních situacích na území České republiky v období 1961–1990. *Národní klimatický program Česká republika* 27, Praha, 114 s.
- Kříž, H. (2002): Příčiny a důsledky hydrologického sucha v režimu podzemních vod. In: Workshop 2002 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 117–122.
- Kříž, H., Prokop, L. (2002): Výsledky pozorování hladiny podzemní vody za stoleté období 1901–2000 ve vrtu V 12 v Baníně. *Podzemná voda*, 8, 17–36.
- Kubarev, A. (1947): Naléhavé otázky vodohospodářské v suchých oblastech Čech. In: Zavasil, J., Smolík, L., eds.: *Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské* 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 149–157.
- Kubát, J. (1999): Společné úkoly meteorologické a hydrologické služby Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické zprávy*, 52, 170–175.
- Kubát, J. (2004): Zpráva o činnosti hydrologie v roce 2003. Rukopis. ČHMÚ, Praha, 20 s.
- Kula, E. (1985): Výskyt a příčiny lesních požárů v ČSSR (1979–1983). *Acta Universitatis Agriculturae Brno, C Facultatis Silviculturae et Technologiae Ligni*, 54, 225–246.
- Kula, E., Jankovská, Z. (2013): Forest fires and their causes in the Czech Republic (1992–2004). *Journal of Forest Science*, 59, 41–53.
- Kulasová, N., Boháč, M., Fiala, T. (2008): Dopady změny klimatu na minimální průtoky. In: Seminář Adolfa Patery 2008 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 95–102.
- Kulasová, A., Bubeníčková, M. (2010): Sucho a jeho odezva v experimentálním povodí Uhlířská v Jizerských horách. In: Seminář Adolfa Patery 2010 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 173–176.
- Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J. (1975): *Agroklimatické podmínky ČSSR. Hydrometeorologický ústav v Přírodě, Bratislava*, 270 s. + mapové přílohy.
- Kutnar, F. (1941): *Paměti sedláka Josefa Dlaska. Melantrich, Praha*, 133 s.
- Küttel, M., Xoplaki, E., Gallego, D., Luterbacher, J., Garcia-Herrera, R., Allan, R., Barriendos, M., Jones, P. D., Wheeler, D., Wanner, H. (2010): The importance of ship log data: reconstructing North Atlantic, European and Mediterranean sea level pressure fields back to 1750. *Climate Dynamics*, 34, 1115–1128.
- Kvasnička, P. (1929): *Holešovský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy* 18. Múzejní spolek, Brno, 416 s.
- Květoň, V., Valter, J. (2008): Index meteorologicky možného sucha — nová metoda vyhodnocování výskytu sucha. *Meteorologické zprávy*, 61, 72–78.
- Łabędzki, L. (2007): Estimation of local drought frequency in central Poland using the standardized precipitation index SPI. *Irrigation and Drainage*, 56, 67–77.
- Łabędzki, L., Kanecka-Geszke, E. (2009): Standardized evapotranspiration as an agricultural drought index. *Irrigation and Drainage*, 58, 607–616.
- Lake, P. S. (2003): Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48, 1161–1172.
- Lapáček, J. (2003): Zápisky Šimona Špačka, obuvnického mistra, z konce 18. století. *Sborník Státního okresního archivu v Přerově, Přerov*, 35–50.
- Larcher, W. (1988): *Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha*, 368 s.
- Larned, S. T., Datry, T., Arscott, D. B., Tockner, K. (2010): Emerging concepts in temporary-river ecology. *Freshwater Biology*, 55, 717–738.
- Lauscher, F. (1985): Beiträge zur Wetterchronik seit dem Mittelalter. *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, Abteilung II*, 194, 93–131.
- Lednický, V. (1978): Výskyt srážkových a bezsrážkových period v československé části povodí Odry. *Meteorologické zprávy*, 31, 6–10.
- Ledr, J. (2002): Dějiny obce Malína. *Vydavatelství a nakladatelství Martin Bartoš (Kuttna), Kutná Hora*, 97 s.



- Lechner, K. (1896): Zur Geschichte der Preise. Notizenblatt des Vereines für die Geschichte Mährens and Schlesiens, 151–152.
- Lesnikowski, A. C., Ford, J. D., Berrang-Ford, L., Barrera, M., Berry, P., Henderson, J., Heymann, S. J. (2013): National-level factors affecting planned, public adaptation to health impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 23, 1153–1163.
- Levitt, J. (1980): Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses. Academic Press, New York, 607 s.
- Liang, S. (2004): Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces. Wiley Series in Remote Sensing and Image Processing. Volume 1. John Wiley & Sons., New Jersey, 560 s.
- Liang, S. (2007): Recent developments in estimating land surface biogeophysical variables from optical remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 31, 501–516.
- Ličman, A. (1921): Slavkovský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 57. Musejní spolek, Brno, 500 s. + přílohy.
- Linderholm, H. W., Molin, T. (2005): Early nineteenth century drought in east central Sweden inferred from dendrochronological and historical archives. *Climate Research*, 29, 63–72.
- Lipka, F. (1904): Příspěvky k dějinám městečka Svitávky u Boskovic na Moravě. *Časopis Společnosti přátel starožitností českých*, 12, 26–32, 66–74.
- Lipský, Z. (1998): Historical development of the Czech rural landscape used to its present ecological stabilization. *Ekológia*, 15, 105–109.
- Lipský, Z. (2000): Sledování změn v kulturní krajině. Česká zemědělská univerzita v nakladatelství Lesnická práce, Praha, 71 s.
- Lipský, Z. (2001): Present land use changes in the Czech cultural landscape: driving forces and environmental consequences. *Moravian Geographical Reports*, 9, 2–14.
- Lipták, M., Dočkal, M. (2013): Predikce sucha na povodích ČR. In: Seminář Adolfa Patery 2013 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 161–166.
- Liu, L., Xiang, D., Dong, X., Zhou, Z. (2008): Improvement of the drought monitoring model based on the cloud parameters method and remote sensing data. In: Proceedings of the Int. Workshop on Knowledge Discovery and Data Mining, 23–24 Jan. 2008, Adelaide, Australia, 293–296.
- Lloyd-Hughes, B. (2013): The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 607–611.
- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M. A. (2002): A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22, 1571–1592.
- Lobell, D. B., Field, C. B. (2007): Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2, 1–7.
- Lobell, D. B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J. (2011): Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 29, 616–620.
- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Leakey, A. D. B., Nosberger, J., Ort, D. R. (2006): Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations. *Science*, 312, 1918–1921.
- Lossmann, K. (1937): Katastrofální sucha — vodní hospodářství a stavba přehrad. *Věstník pro vodní hospodářství*, 16, 91–95.
- Lukáš, L. (1932): Spytihněv. Monografie nejstarší vesnice slovácké. Nákladem vlastním, Spytihněv, 159 s.
- Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M., Wanner, H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science*, 303, 1499–1503.
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Jones, P. D., Davies, T. D., Portis, D., Gonzalez-Rouco, J. F., von Storch, H., Gyalistras, D., Casty, C., Wanner, H. (2002a): Extending North Atlantic Oscillation reconstructions back to 1500. *Atmospheric Science Letters*, 2, 114–124.
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Dietrich, D., Rickli, R., Jacobeit, J., Beck, C., Gyalistras, D., Schmutz, C., Wanner, H. (2002b): Reconstruction of sea level pressure fields over the eastern North Atlantic and Europe back to 1500. *Climate Dynamics*, 18, 545–561.
- Mackerle, J. (1958): Letopis města Jevíčka. Krajské nakladatelství, Brno, 277 s.
- Mácová, M. (2008): Dendroclimatological comparison of native *Pinus sylvestris* and invasive *Pinus strobus* in different habitats in the Czech Republic. *Preslia*, 80, 277–289.
- Magalhaes, M. F., Beja, P., Schlosser, I. J., Collares-Pereira, M. J. (2007): Effects of multi-year droughts on fish assemblages of seasonally drying Mediterranean streams. *Freshwater Biology*, 52, 1494–1510.

- Makovský, V. (1999): Chlumeck. Poznámky ze života obce. 1298–1998. 700 let. ObÚ Chlumeck, 184 s.
- Manion, P. D. (1991): *Tree Disease Concepts*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 402 s.
- Mareš, F., ed. (1922): *Kronika Budějovská*. Věstník Královské české společnosti nauk za r. 1920, Praha, 96 s.
- Marine, W. (1963): Correlation of Water-Level Fluctuations with Climatic Cycles in the Oklahoma Panhandle. Contributions to the Hydrology of the United States, Geological Survey Water-Supply Paper 1669 — K, 10 s.
- Martínková, L. (2005): Paměti pelhřimovských měšťanů z přelomu 18. a 19. století. Filip Ignác Dremsa & Antonín Štěpán. Moravský zemský archiv v Brně — Státní okresní archiv v Pelhřimově, Pelhřimov, 192 s.
- Mašek, F. X. J. (1840): Hlavní příčiny, proč nyní více suchých než mokřých let míváme. *Vlastimil — Přítel osvěty a zábavy*, 2, 249–253.
- Mašek, F. X. J. (1842): Příčiny panujícího sucha, a prostředky, jimiž potřebné vláhy opět vydobýti můžeme. *Květy*, 64, 255, 259–260.
- Matejka, F., Rožnovský, J., Hurtalová, T., Janouš, D. (2002): Effect of soil drought on evapotranspiration of a young spruce forest. *Journal of Forest Science*, 4, 166–172.
- Matějka, V. (1972): Potenciální evapotranspirace na území ČSSR. *Meteorologické zprávy*, 25, 97–101.
- Matulla, A., Auer, I., Böhm, R., Ungersböck, M., Schöner, W., Wagner, S., Zorita, E. (2005): Outstanding past decadal-scale climate events in the Greater Alpine Region analysed by 250 years data and model runs. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, 114 s.
- Mauder, E. (1930): *Chronik von Bodenbach*. Verlag der Stadtgemeinde Bodenbach, Tetschen, 448 s.
- Mauelshagen, F. (2010): *Klimageschichte der Neuzeit*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 144 s.
- Mavromatis, T. (2007): Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, 27, 911–924.
- McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Sperry, J., West, A., Williams, D., Yezzer, E. A. (2008): Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *Tansley review*. *New Phytologist*, 178, 719–739.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time steps. In: Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, January 17–22, 179–184.
- Meehl, G. A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2007): The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383–1394.
- Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J-F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M., van Vuuren, D. P. P. (2011): The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 213–241.
- Melišová, L., Holková, L., Bradáčová, M. (2011): The effect of plant defense response to drought on selected yield parameters in barley. *Kvasný průmysl*, 57, 190–195.
- Mendicino, G., Senatore, A., Versace, P. (2008): Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate. *Journal of Hydrology*, 357, 282–302.
- Menzel, C. (1983): The control of floral initiation in lychee: a review. *Scientia Horticulturae*, 21, 201–215.
- Merhaut, L., ed. (2008): *Lexikon české literatury. Osobnosti, díla, instituce. Díl 4. S–Ž. Dodatky k LČL, 1–3, A–Ř. Svazek II. U–Ž. Dodatky A–Ř*. Academia, Praha, 2108 s.
- Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Múcher, C. A., Watkins, J. W. (2005): A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 549–563.
- Meyer, A., Meyer, E. I. (2000): Discharge regime and the effect of drying on macroinvertebrate communities in a temporary karst stream in East Westphalia (Germany). *Aquatic Sciences*, 62, 216–231.
- Meyer, A., Meyer, E. I., Meyer, C. (2003): Lotic communities of two small temporary karstic stream systems (East Westphalia, Germany) along a longitudinal gradient of hydrological intermittency. *Limnologica*, 33, 271–279.
- Mihola, L., Polišínský, A. (1975): Vyhodnocení suché periody třicátých let průměrných ročních průtoků v období 1921–1972 v povodí řeky Moravy. *Vodní hospodářství — řada A*, 25, 37–42.

- Michálek, S. (2007): Odmítnutí Marshallova plánu. Československá politika mezi Východem a Západem. *Dějiny a současnost*, 29, 33–36.
- Mika, O., Hurt, R. (1986): Šardice. 700 let obce. Muzejní a vlastivědná společnost v Brně ve spolupráci s Místním národním výborem a Jednotným zemědělským družstvem Osvobození v Šardicích, Brno, 202 s.
- Mikšovský, J., Brázdil, R., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Pišoft, P. (2014): Long-term variability of temperature and precipitation in the Czech Lands: an attribution analysis. *Climatic Change*, 125, 253–264.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Report of the Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, DC.
- Minář, M. (1948a): Dešťové faktory v Československé republice. Státní meteorologický ústav, řada C, svazek V, Praha, 49 s. + příloha.
- Minář, M. (1948b): Oblasti suchého a vlhkého podnebí polních kultur v Československé republice. Státní meteorologický ústav, Praha, 65 s. + příloha.
- Mishra, A. K., Singh, V. P. (2010): A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202–216.
- Mlateček, K., Mlatečková, M. (2002): Uherčice. Uherčice, 325 s. + příloha.
- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., Daros, E., De Campos, M. K. F., De Carvalho, J. F. R. P., Pereira, L. F. P., Vieira, L. G. E. (2007): Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum spp.*): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. *Physiologia Plantarum*, 130, 218–229.
- Moran, M. S., Clarke, T. R., Inoue, Y., Vidal, A. (1994): Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49, 246–263.
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J. F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J. P., Zurek, M. (2008): Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 25 s.
- Možný, M. (1993): Potenciální evapotranspirace jako významná agroklimatická charakteristika. *Meteorologické zprávy*, 46, 152–156.
- Možný, M. (2004): Vymezení a intenzita sucha na území ČR v letech 1891–2003. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 88 s.
- Možný, M., Bareš, D. (2013): Czech Fire-Danger Rating System. The Integrated Warning Service System. Methodological Guideline No 3/2013. Czech Hydrometeorological Institute, Praha.
- Možný, M., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Trnka, M. (2012): Cereal harvest dates in the Czech Republic between 1501 and 2008 as a proxy for March–June temperature reconstruction. *Climatic Change*, 110, 801–821.
- Možný, M., Trnka, M., Žalud, Z., Hlavinka, P., Nekovář, J., Potop, V., Virág, M. (2011): Use of a soil moisture network for drought monitoring in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 99–111.
- Mrkos, J. (1922): Suché periody v Čechách. Průměr let 1895–1912. Sborník Československé společnosti zeměpisné, 28, 133–138.
- Mrkva, R. (1993): Sucho 1992 a kůrovcová kalamita. *Lesnická práce*, 72, 37–39.
- Mrkvičková, M., Kožín, R., Hanel, M., Beran, A., Brabec, J., Novický, O., Fridrichová, R. (2012): Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 133 s.
- Müller, E. (1905): Z Hrabové u Zábřeha. *Selský archiv*, 4, 241.
- Munich Re (2015): Topics Geo. Natural catastrophes 2014. Analyses, assessments, positions. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München, 61 s.
- Munné-Bosch, S., Alegre, L. (2004): Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology*, 31, 203–216.
- Munzar, J. (2003): Dokumentace výskytu sucha v Česku v preinstrumentálním období. In: Workshop 2003 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 207–211.
- Munzar, J., Ondráček, S. (1999): Historické povodně na Moravě před rokem 1900. In: Vaishar, A., ed.:



- Povodně, krajina a lidé v povodí řeky Moravy. I. díl. REGIOGRAPH pro Ústav geoniky AV ČR, Brno, 38–41.
- Muzikář, R., Soukalová, E. (1988): Prognózy režimu podzemních vod pomocí stochastických modelů. Sborník prací ČHMÚ 36, Praha, 112 s.
- Mužiková, B., Středa, T., Středová, H. (2013): State of bare soil surface as a spring drought indicator. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 43, 197–207.
- MZe a MŽP (2011): Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Ministerstvo zemědělství České republiky a Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 153 s.
- MŽP (2009): Fifth National Communication of the Czech Republic on the UN Framework on Climate change including Supplementary Information Pursuant to Article 7.2 of the Kyoto Protocol. Ministry of the Environment of the Czech Republic, Praha, 195 s.
- Nadezhdina, N. (1999): Sap flow index as an indicator of plant water status. *Tree Physiology*, 19, 885–891.
- Nadezhdina, N., Urban, J., Čermák, J., Nadezhdin, V., Kantor, P. (2014): Comparative study of long-term water uptake of Norway spruce and Douglas-fir in Moravian upland. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 62, 1–6.
- Nalbantis, I., Tsakiris, G. (2009): Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881–897.
- Neelin, J. D. (2011): *Climate Change and Climate Modeling*. Cambridge University Press, Cambridge — New York — Melbourne — Madrid — Cape Town — Singapore — Sao Paulo — Delhi — Dubai — Tokyo — Mexico City, 282 s.
- Nel, J. L., Le Maitre, D. C., Nel, D. C., Reyers, B., Archibald, S., van Wilgen, B. W., Forsyth, G. G., Theron, A. K., O'Farrell, P. J., Mwenge Kahinda, J. M., Engelbrecht, F., Kapangaziwiri, E., van Niekerk, L., Barwell, L. (2014): Natural hazards in a changing world: A case for ecosystem-based management. *PLoS ONE*, 9, e95942.
- Němec, J. (2001): Bonitace a oceňování zemědělské půdy ČR. Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, Praha, 257 s.
- Němeček, J., Smolíková, L., Kutílek, M. (1990): *Pedologie a paleopedologie*. Academia, Praha, 552 s.
- Neue Schriften der kais. königl. patriotisch-ökonomischen Gesellschaft im Königreiche Böhmen. Gottlieb Haase Söhne, Prag 1830–1847.
- Nicolussi, K., Kaufmann, M., Melvin, T. M., van der Plicht, J., Schiessling, P., Thurner, A. (2009): A 9111 year long conifer tree-ring chronology for the European Alps: a base for environmental and climatic investigations. *The Holocene*, 19, 909–920.
- Niemeyer, S. (2008): New drought indices. In: López-Francos, A. (ed.): *Drought Management: Scientific and Technological Innovations*. CIHEAM, Zaragoza, 267–274. (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 80).
- Noháč, J. (1911): Břeclavský okres. *Vlastivěda moravská*, II. Místopis Moravy 8. Musejní spolek, Brno, 276 s.
- Noháč, J. (1926): Hodonský okres. *Vlastivěda moravská*, II. Místopis Moravy 45. Musejní spolek, Brno, 259 s.
- Nosek, F. (1906): Paměti selské II. Paměti z Rozařína u Moutnic. *Selský archiv*, 5, 99–100.
- Nosek, M. (1952): Srovnání proměnlivosti srážek v Brně a Bratislavě na základě Pearsonovy křivky a charakteristika sucha 1947. *Zemepisný sborník Slovenskej akadémie vied a umení*, 4, 5–19.
- Nosek, M. (1953): K problému sucha jižní části Dyjskosvrateckého úvalu. *Práce Moravské akademie věd přírodních*, 25, spis 19, 473–484.
- Novák, J., Slodičák, M., Kacálek, D., Dušek, D. (2010): The effect of different stand density on diameter growth response in Scots pine stands in relation to climate situations. *Journal of Forest Science*, 10, 461–473.
- Novák, L. (1948): Kronika osady Josefovic. (Věcný a jazykový výklad) I. *Slezský sborník*, 46, 226–235.
- Novák, O. (2011): Povodně a sucha na Třeboňsku v období let 1890–2009. *Vodní hospodářství*, 61, 307–312.
- Novák, V. (1936): K otázce sucha a hospodaření vodou v zemědělství. In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: *Vodní hospodářství v době sucha*. Tiskem Noviny v Brně, Brno, 23–30.
- Nováková, M., Takáč, J., Skalský, R. (2011): Example of the analysis and evaluation of agricultural soil moisture conditions from the long-time period point of view. In: Šiška, B., Hauptvogel, M., Eliašová, M., eds.: *Bioclimate: Source and Limit of Social Development*. International Scientific Conference, 6–9 September 2011, Topolčianky, Slovakia, CD-ROM.
- Novický, O., Kašpárek, L., Fridrichová, R., Fiala, T., Brzáková, J., Kourková, H., Tremel, P.,

- Vaculík, M. (2008): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 59 s.
- Novický, O., Kašpárek, L., Hanslík, E., Vlnas, R., Vizina, A., Fiala, T., Brzáková, J., Ledvinka, O., Kourková, H., Fridrichová, R. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Závěrečná zpráva za řešení projektu SP/1a6/125/08. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 171 s.
- Novotný, J. (1963): Dvě stoleté hydrologické řady průtokové na českých řekách. Sborník prací Hydrometeorologického ústavu Československé socialistické republiky 2, Praha, 116 s.
- Novotný, M., ed. (1940): Špalíček písniček jarmarečních. Evropský literární kruh, Praha, 267 s.
- Nožička, J. (1957): Přehled vývoje našich lesů. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 459 s.
- Ntale, H. K., Gan, T. Y. (2003): Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology*, 23, 1335–1357.
- Ogallo, J. L., Gbeckor-Kove, N. (1989): Drought and Desertification. WMO, Geneva, 73 s.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvag, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F. (2011): Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34, 96–112.
- Oltchev, A., Čermák, J., Nadezhdina, N., Tatarinov, F., Tishenko, A., Ibrom, A., Gravenhorst, G. (2002): Transpiration of a mixed forest stand: field measurements and simulation using SVAT Models. *Boreal Environment Research*, 7, 389–397.
- Ondrůj, A. (1973): Krumvíř. Minulost i současnost jihomoravské vesnice. Místní národní výbor v Krumvíři, Krumvíř, 128 s.
- Ondrůj, A., ed. (1977): Dokument ze života na žerotínské tvrzi v Židlochovicích na přelomu 16. a 17. století. *Jižní Morava*, 13, 168–177.
- Opletal, J. (1933): Paměti Vřesovic. Nákladem dějepisné komise ve Vřesovicích, Skalice, 240 s.
- Orlov, S., Trofimov, S. Y., Biryukova, O. N., Sukhanova, N. L., Rozanova, M. S. (2003): Dehumification of plowed soils. *Euroasian Soil Science*, 36, 811–824.
- Osborn, T. J., Briffa, K. R., Jones, P. D. (1997): Adjusting variance for sample size in tree-ring chronologies and other regional mean time series. *Dendrochronologia*, 15, 89–99.
- Ottův slovník naučný. Illustrovaná encyklopaedie obecných vědomostí. Patnáctý díl. Krajčij–Ligustrum. J. Otto, Praha 1900, 1068 s.
- Palacký, F., ed. (1941): Staří letopisové čeští od roku 1378 do 1527 čili pokračování v kronikách Přibíka Pulkavy a Beneše z Hořovic z rukopisů starých vydané. In: Charvát, J.: Dílo Františka Palackého. Díl 2. L. Mazáč, Praha, 472 s.
- Palátová, E. (2004): Effect of increased nitrogen depositions and drought stress on the development of young Norway spruce *Picea abies* (L.) Karst. stands. *Dendrobiology*, 51, 41–45.
- Palme, A. (1913): Warnsdorf mit seinen historischen Denkwürdigkeiten von dessen Gründung an bis zum Jahre 1850. Teil I. J. Hamann in B. Leipa, M. Adam in Rumburg, 257 s.
- Palme, A. (1923): Warnsdorf mit seinen historischen Denkwürdigkeiten vom Jahre 1850 bis 1913. Mit Nachtrag vom Jahre 1913–1922. Teil II. Ambr. Opitz, Warnsdorf, 175 s.
- Palmer, W. C. (1965): Meteorological Drought. Office of Climatology Research Paper 45. U.S. Weather Bureau, Washington, 58 s.
- Paměti starých pismáků moravských. Nákladem Selského archivu, Velké Meziříčí 1916, 187 s.
- Panagos, P., Jones, A., Bosco, C., Senthil Kumar, P. S. (2011): European digital archive on soil maps (EuDASM): preserving important soil data for public free access. *International Journal of Digital Earth*, 4, 434–443.
- Pánek, J., ed. (1985): Václav Březan, Životy posledních Rožmberků. Svoboda, Praha, 912 s.
- Papoušek, F. (1937): Ze zápisů vědecko-mohelského a náměšťského rektora Jana Michaela Breijnna. *Od Horácka k Podyjí*, 13, 135–143.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., Hanson, C. E., eds. (2007): Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 976 s.
- Pařil, P. (2015): Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích v rámci projektu Vysychání toků v období klimatické změny: predikce rizika a biologická indikace epizod vyschnutí jako nové metody pro management vodního hospodářství a údržby krajiny (TA02020395) za rok 2014. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Brno, 44 s.

- Pastuchová, Z. (2006): Macroinvertebrate assemblages in conditions of low-discharge streams of the Cerová vrchovina Highland in Slovakia. *Limnologia*, 36, 241–250.
- Pauling, A., Luterbacher, J., Casty, C., Wanner, H. (2006): Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics*, 26, 387–405.
- Pavlásek, J. (2010): Retenční schopnosti malého horského povodí při extrémních srážkoodtokových událostech. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 52, 12–14.
- Pavliček, J., Řehoř, M. (2002): Dějiny obce Polnička. *Obecní úřad v Polničce*, 136 s.
- Pavlík, J., Němec, L., Tolasz, R., Valter, J. (2003): Mimořádné léto roku 2003 v České republice. *Meteorologické zprávy*, 56, 161–165.
- Pavlík, T. (1996): Živelní pohromy v Historii chrudimské. *Chrudimské vlastivědné listy*, 5, 1–7.
- Pažourek, V. (1995): Lodní doprava a hladový kámen v Děčíně. *Děčínské vlastivědné zprávy*, 11, 46–50.
- Pechková, J. (2013): Dlouhodobá předpověď srážek a meteorologického sucha. In: Odborný seminář Sucho a jak mu čelit. Sborník abstraktů. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav, Praha, 24–26.
- Pejml, K. (1975): 200 let meteorologické observatoře v pražském Klementinu. *Hydrometeorologický ústav, Praha*, 78 s.
- Peláková, M., Boersema, M. (2005): Odhad objemu nádrží potřebného pro kompenzaci poklesu odtoku vlivem klimatické změny. *Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha*, 41 s.
- Pěničák, S. (1991): 650 let obce Nenkovice. *ObÚ Nenkovice*, 28 s.
- Penka, M., Červená, M. (1984): Changes in drought resistance of young spruce seedlings (*Picea abies* (L.) Karst.) in dependence on the content of decomposed wood in substrate. *Folia Dendrologica*, 11, 37–59.
- Peřinka, F. (1930): Kojetínský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 31. Musejní spolek, Brno*, 336 s.
- Peřinka, F. V. (1904): Znojemský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 76. Musejní spolek, Brno*, 551 s.
- Peřinka, F. V. (1905): Jaroslavský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 24. Musejní spolek, Brno*, 141 s.
- Peřinka, F. V. (1905): Val.-Kloboucký okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 30. Musejní spolek, Brno*, 275 s.
- Peřinka, F. V. (1907): Vizovský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 72. Musejní spolek, Brno*, 255 s.
- Peřinka, F. V. (1910): Zdounský okres. *Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 75. Musejní spolek, Brno*, 460 s.
- Peters, A. J., Walter-Shea, E. A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M. J., Svoboda, M. D. (2002): Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, 71–75.
- Peters, J. (1898): Václav Kněžoveský a jeho paměti. *Slánský obzor — Ročenka Musejního spolku ve Slaném*, 6, 13–56.
- Peters, K. (1946): Dějiny jesuitské koleje v Klatovech. *Časopis Společnosti přátel starožitností*, 41–43, 214–248.
- Petropoulos, G., Carlson, T. N., Wooster, M. J., Islam, S. (2009): A review of Ts/VI remote sensing based methods for the retrieval of land surface energy fluxes and soil surface moisture. *Progress in Physical Geography*, 33, 224–250.
- Petrovič, Š. (1947): Najsuchšie oblasti Slovenska. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: *Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno*, 31–36.
- Petrovič, Š. (1948): Sucho roku 1947. *Slovenské poľnohospodárstvo*, 3, 58–62.
- Pevný, V. (1965): Suché obdobia v Nitre. *Poľnohospodárstvo*, 11, 877–884.
- Pfeffer, A. (1938): Lesní požáry v Československé republice v r. 1934. *Československá matice lesnická, Písek*, 43 s.
- Pfister, C. (1988): *Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Das Klima der Schweiz von 1525–1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft. Band I–II. Verlag Paul Haupt, Bern — Stuttgart*, 184 a 163 s.
- Pfister, C. (1999): *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995). Paul Haupt, Bern — Stuttgart — Wien*, 304 s.
- Pfister, C. (2001): *Klimawandel in der Geschichte Europas. Zur Entwicklung und zum Potenzial der historischen Klimatologie. Österreichische*



- Zeitschrift für Geschichtswissenschaften, 12, 7–43.
- Pfister, C., Weingartner, R., Luterbacher, J. (2006): Hydrological winter droughts over the last 450 years in the Upper Rhine basin: a methodological approach. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 966–985.
- Pfister, C., Wetter, O., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Glaser, R., Luterbacher, J., Seneviratne, S. I., Zorita, E., Alcoforado, M. J., Barriendos, M., Bieber, U., Burmeister, K. H., Camenisch, C., Contino, A., Grünewald, U., Herget, J., Himmelsbach, I., Labbé, T., Limanówka, D., Litzenburger, L., Kiss, A., Kotyza, O., Nordli, Ø., Pribyl, K., Retsö, D., Riemann, D., Rohr, C., Siegfried, W., Spring, J.-L., Söderberg, J., Wagner, S., Werner, J. P. (2015): Tree-rings and people — different views on the 1540 Megadrought. Reply to Büntgen et al. 2015. *Climatic Change*, on-line. DOI: 10.1007/s10584-015-1429-8.
- Piervitali, E., Colacino, M. (2001): Evidence of drought in Western Sicily during the period 1565–1915 from liturgical offices. *Climatic Change*, 49, 225–238.
- Pinkava, J. (1974): Velké dílo zalesnění oblasti vátých písků Dúbravy mezi Bzencem a Hodonínem. *Jižní Morava*, 10, 125–136.
- Pinkava, J. (1988): Lesy na Moravskotřebovsku (1896–1924). In: *Vlastivědný sborník okresu Svitavy*, 1988, s. 61–67.
- Písecký, F. (1913): Přípisky v Historickém kalendáři Veleslavínově (1590). *Časopis Moravského muzea zemského*, 13, 134–149.
- Písek, J., Brázdil, R. (2006): Responses of large volcanic eruptions in the instrumental and documentary climatic data over Central Europe. *International Journal of Climatology*, 26, 439–459.
- Pišl, F. (1938): Paměti obce Plotiště nad Lab. Nákladem obce Plotiště nad Lab., tiskem Františka Ottmana v Holicích, 419 s.
- Pithart, D., Dostál, T., Langhammer, J., Janský, B., eds. (2012): Význam retence vody v říčních nivách. *Daphne ČR — Institut aplikované ekologie*, Praha, 141 s.
- Podlaha, A., ed. (1905): *Josephus Locatelli, Babylon Bohemiae ab anno 1780 usque ad annum 1790. Editiones archivii et bibliothecae s. f. metropolitani capituli Pragensis. I. Sumptibus s. f. metropolitani capituli Pragensis, Pragae*, 152 s.
- Podlaha, A. (2003): Vliv geografických faktorů na režim minimálního odtoku v povodích České republiky. In: *Workshop 2003 — Extrémní hydrologické jevy v povodích*. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 173–186.
- Polický, F. (1936): *Ortsgeschichte von Pausram. Ein Heimatbuch. Im Selbstverlage der Gemeinde Pausram, Nikolsburg*, 221 s.
- Polišenský, A. (1981): Periody sucha na jižní Moravě v období 1970–1979. *Vodní hospodářství — řada A*, 31, 221–224.
- POPOd (2010): *Plán oblasti povodí Odry 2010–2015. Povodí Odry, státní podnik, Ostrava*, <http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/0-uvod/0-uvod.html>.
- Pospěch, P. (1998): Paměti obce Nákla. ObÚ v Nákle ve spolupráci s OkÚ Olomouc, Danal Olomouc, 54 s.
- Potop, V., Boroneant, C., Možný, M., Štěpánek, P., Skalák, P. (2012a): Využití standardizovaného srážkového evapotranspiračního indexu pro hodnocení vegetačního období v České republice. *Meteorologické zprávy*, 65, 112–120.
- Potop, V., Boroneant, C., Možný, M., Štěpánek, P., Skalák, P. (2012b): Spatial and temporal evolution of drought conditions at various time scales in the Czech Republic during growing period. *Időjárás*, 116, 281–295.
- Potop, V., Boroneant, C., Možný, M., Štěpánek, P., Skalák, P. (2014): Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, 115, 563–581.
- Potop, V., Možný, M., Soukup, J. (2012c): Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forestry Meteorology*, 156, 121–133.
- Potop, V., Soukup, J., Možný, M. (2011): Drought at various timescales for secular lowland climatological stations in the Czech Republic. *Meteorologické zprávy*, 64, 177–187.
- Potop, V., Türkott, L. (2011): Variabilita výnosů cukrovky ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím. *Listy cukrovarnické a řepařské*, 11, 338–342.
- Potop, V., Türkott, L., Kožnarová, V. (2009): Drought impact on variability crop yields in Central Bohemia. *Cereal Research Communications*, 37, 295–304.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Türkott, L., Soukup, J. (2015): Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 26–38.

- Prasek, V. (1882): Paměti městečka Napajedel a dědin k panství napajedelskému ode dávna příslušných. Bibliotéka místopisů a jejich děl historických. Velké Meziříčí, 199 s.
- Prescott, J. A. (1940): Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions Royal Society of South Australia*, 64, 114–118.
- Pretel, J., ed. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J., Gloser, J., Havel, L., Nátr, L., Prášil, I., Sladký, Z., Šantrůček, J., Tesařová, M., Vyskot, B. (1998): Fyziologie rostlin. Academia, Praha, 484 s.
- Prokop, V. (1907): Václav Vítek, mašovský rychtář. *Časopis společnosti přátel starožitností*, 15, 29–31.
- Prudhomme, C., Sauquet, E. (2007): Modelling a regional drought index in France. Centre for Ecology & Hydrology, Natural Environment Research Council, Wallingford — Cemagref, 54 s.
- Purš, J. (1973): Průmyslová revoluce. Vývoj pojmu a koncepce. Academia, Praha, 733 s.
- Purš, J. (1980): Complex Revolution of the Modern Age and Industrial Revolution. *Historica*, 19, 135–170.
- Quarrie, S. A., Jones, H. G. (1977): Effects of abscisic acid and water stress on development and morphology of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 28, 192–203.
- Quisenberry, J. E., Cartwright, G. B., McMichael, B. L. (1984): Genetic relationship between turgor maintenance and growth in cotton germplasm. *Crop Science*, 24, 479–482.
- Ramón, S. (1978): La prévision des niveaux piézométriques. Trois remarques sur une longue série d'observations. *Bulletin du B. R. G. M. (deuxième série)*, Sec. III, 3, 239–245.
- Rathore, M. S. (2004): Adaptive Strategies to Droughts in Rajasthan. Institute of Development Studies, Jaipur.
- Raymond, P. A., Hartmann, J., Sobek, S., Lauerwald, R., McDonald, C., Hoover, M., Butman, D., Striegl, R., Mayorga, E., Humborg, C., Kortelainen, P., Durr, H., Meybeck, M., Ciais, P., Guth, P. (2013): Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, 503, 355–359.
- Rein, F. (1958): Suchá období na Milešovce. *Meteorologické zprávy*, 11, 125–130.
- Reinhartová, J. (1964): Zhodnocení sucha v období od září 1963 do srpna 1964. *Meteorologické zprávy*, 17, 177–178.
- Ressel, A. (1900): Geschichte des Friedländer Bezirkes. Nach den glaubwürdigsten Quellen. Beilage zur "Friedländer Zeitung". Druck von Franz Riemer, Friedland, 442 s.
- Resultate aus den Witterungsbeobachtungen von den Jahren 1822 bis den einschließig 1826, nebst Jahresberichten; als Fortsetzung der in der ersten und zweiten Lieferung dargestellten Witterungsbeobachtungen. Gottlieb Haase Söhne, Prag 1828, 110 s.
- Rétháti, L. (1983): Groundwater in Civil Engineering. Akadémiai Kiadó, Budapest, 430 s.
- Rezek, A., ed. (1879): Poselkyně starých příběhův českých. Sepsal Jan Beckovský, kněz řádu Křížovníků s červenou hvězdou. Díl druhý (1526–1715). Sv. první (L. 1526–1607). Dědictví sw. Prokopa w Praze XVIII za rok 1878. Praha, 444 s.
- Richter, E., ed. (1940): Königswald in älterer Zeit. Beiträge zur Heimatskunde des Elbetales, 2, 171–181.
- Robek, A. (1957–58): Výpisy z kroniky J. Knora z Dolan. Kralupský vlastivědný sešit, duben 1957, 100–104; září 1957, 146–151; březen 1958, 195–200.
- Robek, A. (1958a): Zápisky lidového kronikáře Antona Pejška ze Zlončic. Kralupský vlastivědný sešit, září 1958, III/32–III/40.
- Robek, A. (1958b): Zápisky chalupníka Josefa Vorlíčka z Hostína. Kralupský vlastivědný sborník, říjen 1958, IV/21–IV/34.
- Robek, A. (1959): Kronika Františka Pražáka ze Starých Ouholic. Kralupský vlastivědný sborník, březen 1959, V/1–V/8.
- Robek, A. (1974): Lidové kronikářství na Kralupsku a Mělnicku. Edice lidových kronikářských textů. Ústav pro etnografii a folkloristiku ČSAV, Praha, 254 s.
- Robek, A. (1976): Městské lidové kronikářství na Rychnovsku I. Edice lidových kronikářských textů. Ústav pro etnografii a folkloristiku ČSAV, Praha, 211 s.
- Robek, A. (1978a): Lidové kronikářství na Poděbradsku. Edice lidových kronikářských textů. Ústav pro etnografii a folkloristiku ČSAV, Praha, 202 s.
- Robek, A. (1978b): Městské lidové kronikářství na Rychnovsku II. Edice lidových kronikářských textů. Ústav pro etnografii a folkloristiku ČSAV, Praha, 207 s.

- Robek, A. (1979): Lidové kronikářství na Lounsku. Ústav pro etnografii a folkloristiku ČSAV, Praha, 162 s.
- Rohr, C. (2007): Extreme Naturereignisse im Ostalpen. Naturerfahrung im Spätmittelalter und am Beginn der Neuzeit. Böhlau Verlag, Köln — Weimar — Wien, 640 s.
- Rojecki, A., Girgus, R., Strupczewski, W., eds. (1965): Wyjatki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach od X do XVI. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 214 s.
- Romportl, D., Bubeníčková, K. (2008): Výskyt minimálních průtoků v období 1957–1983 na horních tocích Smědé a Kamenice. In: Seminář Adolfa Patery 2008 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 117–125.
- Ropelewski, C. F., Jones, P. D. (1987): An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review*, 115, 2161–2165.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A. (1998): The use of crop models for international climate change impact assessment. In: Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Thornton, P. K., eds.: *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 267–292.
- Rossi, S., Niemeyer, S. (2010): Monitoring droughts and impacts on the agricultural production: examples from Spain. *Options Méditerranéennes*, 95, 35–40.
- Roubic, A. (1987): Kronika rychtářů Urbanika a Hořínka z Velké Bystřice z let 1789–1848. Okresní archiv v Olomouci, Olomouc, 213–238.
- Rowell, P. D., Jones, R. G. (2006): Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics*, 27, 281–299.
- Rutherford, S., Mann, M. E., Osborn, T. J., Bradley, R. S., Briffa, K. R., Hughes, M. K., Jones, P. D. (2005): Proxybased Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: sensitivity to method, predictor network, target season, and target domain. *Journal of Climate*, 18, 2308–2329.
- Rybniček, M., Čermák, P., Hadaš, P., Kolář, T., Žid, T. (2012a): Dendrochronological analysis and habitual stress diagnostic assessment of Norway spruce (*Picea abies*) stands in the Drahaný Highlands. *Wood Research*, 57, 189–206.
- Rybniček, M., Čermák, P., Kolář, T., Přemyslovská, E., Žid, T. (2009): Influence of temperatures and precipitation on radial increment of Orlicke Mountains spruce stands in altitudes over 800 m above sea level. *Journal of Forest Science*, 55, 257–263.
- Rybniček, M., Čermák, P., Kolář, T., Žid, T. (2010a): Radial growth and health condition of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in relation to climate (Silesian Beskids, Czech Republic). *Geochronometria*, 36, 9–16.
- Rybniček, M., Čermák, P., Kolář, T., Žid, T. (2012b): Growth responses of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to the climate in the south-eastern part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Geochronometria*, 39, 149–157.
- Rybniček, M., Čermák, P., Prokop, O., Žid, T., Trnka, M., Kolář, T. (2015a): Response of different oak species (*Quercus spp.*) to climate under changing climate conditions in central Czech Republic. *Dendrobiology*, v recenzním řízení.
- Rybniček, M., Čermák, P., Žid, T., Kolář, T. (2012c): Growth responses of *Picea abies* to climate in the central part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Dendrobiology*, 68, 21–30.
- Rybniček, M., Čermák, P., Žid, T., Kolář, T., Trnka, M., Büntgen, U. (2015b): Exploring growth variability and crown vitality of sessile oak (*Quercus petraea*) in the Czech Republic. *Geochronometria*, 42, 17–27.
- Rybniček, M., Kolář, T., Kyncl, T., Kyncl, J. (2010b): Možnosti dendrochronologického datování uměleckých předmětů. In: *Acta Artis Academica 2010. Akademie výtvarných umění v Praze*, Praha, 243–250.
- Rypáček, F. J. (1914): Pamětní knížka Petra Svobody z Tišnova. *Časopis Moravského musea zemského*, 14, 201–214.
- Řezníčková, P., Pařil, P., Zahrádková, S. (2007): The ecological effect of drought on the macroinvertebrate fauna of a small intermittent stream — an example from Czech Republic, *International Review of Hydrobiology*, 92, 514–526.
- Řezníčková, P., Soldán, T., Pařil, P., Zahrádková, S. (2010): Comparison of mayfly (Ephemeroptera) taxocenes of permanent and intermittent Central European small streams via species traits. *Biologia*, 65, 720–729.
- Řezníčková, P., Tajmrová, L., Pařil, P., Zahrádková, S. (2013): Effects of drought on the composition and structure of benthic macroinvertebrate assemblages — a case study. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61, 1853–1865.



- Řiřicová, P., Daňhelka, J., Návoiová, H., Kourková, H. (2003): Sucho v českých povodích v roce 2003 a v minulých desetiletích. In: Workshop 2003 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 103–112.
- Řiřicová, P., Daňhelka, J., Návoiová, H., Kourková, H. (2004): Sucho v českých povodích v roce 2003. *Vodní hospodářství*, 54, 25–29.
- Řiháček, M. (2002): Přehled živelných a jiných tragických událostí Dolních Kounic. *Naše město Dolní Kounice*, 6, 12–13.
- Samaniego, L., Kumar, R., Zink, M. (2013): Implications of parameter uncertainty on soil moisture drought analysis in Germany. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 47–68.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J. (2002): A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79, 213–224.
- Santer, B. D., Wigley, T. M. L., Schlesinger, M. E., Mitchell, J. F. B. (1990): Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. Report No. 47. Max Planck Institute für Meteorologie, Hamburg, 22 s.
- Sato, M., Hansen, J. E., McCormick, M. P., Pollack J. B. (1993): Stratospheric aerosol optical depth, 1850–1990. *Journal of Geophysical Research*, 98, 22987–22994.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2009): Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation. Report of the second ad hoc technical expert group on biodiversity and climate change. Technical Series No. 41. Montreal, 126 s.
- Sejbal, J. (1997): *Základy peněžního vývoje*. Masarykova univerzita, Brno, 420 s.
- Semerádová, D., Trnka, M., Hlavinka, P., Balek, J., Bohovic, R., Tadesse, T., Hayes, M., Wardlow, B., Žalud, Z. (2014): Detection of drought events using satellite data. In: Conference Mendel and Bioclimatology, 3rd-5th September 2014, Brno, 403–412 (CD-Room).
- Sen, Z. (1980): Regional drought and flood frequency analysis: Theoretical consideration. *Journal of Hydrology*, 46, 265–279.
- Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M., Schär, C. (2006): Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443, 205–209.
- Shabalova, M. V., van Engelen, A. F. V. (2003): Evaluation of a reconstruction of winter and summer temperatures in the Low Countries, AD 764–1998. *Climatic Change*, 58, 219–242.
- Shafer, B. A., Dezman, L. E. (1982): Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: *Proceedings of the Western Snow Conference*. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 164–175.
- Sharp, R. E., Davies, W. J. (1989): Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: Jones, H. G., Flowers, T. J., Jones, M. B., eds.: *Plants Under Stress: Biochemistry, Physiology and Ecology and Their Application to Plant Improvement*. Cambridge University Press, Cambridge, 71–93.
- Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G., Springer, G. K., Bohnert, H. J., Nguyen, H. T. (2004): Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2343–2351.
- Sheldon, F. (2005): Incorporating natural variability into the assessment of ecological health in Australian dryland rivers. *Hydrobiologia*, 552, 45–56.
- Shukla, S., Wood, A. W. (2008): Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*, 35, L02405.
- Schär, C., Jendritzky, G. (2004): Hot news from summer 2003. *Nature*, 432, 559–560.
- Scharnweber, T., Manthey, M., Criegee, C., Bauwe, A., Schröder, C., Wilmking, M. (2011): Drought matters — Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management*, 262, 947–961.
- Schaumberger, J., Schardt, M., Guggenberger, T., Gallaun, H., Schaumberger, A., Deutz, A., Gressmann, G., Gasteiner, J. (2006): GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung. *Endbericht StartClim 2005*. Universität für Bodenkultur, Wien, 42 s.
- Schlesinger, L., ed. (1881): *Simon Hüttels Chronik der Stadt Trautenau (1484–1601)*. Deutsche Chroniken aus Böhmen, Band II. Im Auftrage des Vereins für Geschichte der Deutschen in Böhmen, Prag, 438 s.
- Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S. (2004): The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorologische Zeitschrift*, 13, 323–327.
- Schreiber, V. (1909): *Zápisník Houserů z České Skalice*. Hradecký kraj, 6, 51–53.

- Schweingruber, F. H. (1996): *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Bern — Stuttgart — Vienna, 609 s.
- Simon, J. (1949): Kunvaldské události ve světle kronik 19. století. *Český lid*, 4, 46–48.
- Sklenář, J. (1993): Hydrologické poměry jižní Moravy v období 1981–1990 se zřetelem k analýze sucha. Diplomová práce. Katedra geografie, Přírodovědecká fakulta MU, Brno, 178 s. + přílohy.
- Skopec, J. (1907): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha první (Rok 1770–1783). Část I. (1770–1780). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 148 s.
- Skopec, J. (1908): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha první (Rok 1770–1783). Část II. (1781–1783). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 222 s.
- Skopec, J. (1910): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha druhá (Rok 1784–1790). Část I. (1784–1786). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 114 s.
- Skopec, J. (1912): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha druhá (Rok 1784–1790). Část II. (1787–1790). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 169 s.
- Skopec, J. (1915): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část I. (1791–1794). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 150 s.
- Skopec, J. (1916): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část II. (1795–1797). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 111 s.
- Skopec, J. (1918): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část III. (1798–1800). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 132 s.
- Skopec, J. (1924): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha třetí (Rok 1791–1801). Část IV. (Rok 1801 a dodatky). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 114 s.
- Skopec, J. (1936): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha čtvrtá (Rok 1802–1806). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 210 s.
- Skopec, J. (1938): Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816. Kniha pátá (Rok 1807–srpen 1810). Nákladem „Dědictví sv. Jana Nepomuckého“, Praha, 232 s.
- Sládek, I. (2001): Spells of drought: climatological treatment. *Acta Universitatis Carolinae — Geographica*, 36, 147–153.
- Slavík, F. (1897): *Brněnský okres. Vlastivěda moravská, II. Místopis Moravy 6*. Musejní spolek Brno, 392 s.
- Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. [Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy] (Water Framework Directive).
- Smetana, J., ed. (1978): Nejstarší kronikářské záznamy litoměřických radních písařů. *Litoměřicko*, 14, 119–142.
- Smolík, J. (1862): Dějepis hvězdářství se zvláštním ohledem na hvězdáře v Čechách. *Živa*, 9, 289–308.
- Soil Survey Staff (1975): *Soil Taxonomy*. U.S. Department of Agriculture Handbook. No. 436. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 754 s.
- Solnař, O. (1937): Působení drenáže v období sucha. *Věstník pro vodní hospodářství*, 16, 51–54.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Miller, H. L., Chen, Z., eds. (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 996 s.
- Sommerhäuser, M. (2005): Gewässer ohne Wasser? Ökologie und Management temporärer Gewässer. In: Sommerhäuser, M., ed.: *Veranstaltungen Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung. Kolloquium am 14./15. September 2005 in Herne Koblenz*, 68–78.
- Sönmez, F. K., Kömüscü, A. Ü., Erkan, A., Turgu, E. (2005): An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using Standardized Precipitation Index. *Natural Hazards*, 35, 243–264.
- Soukal, J. (1936): Sucho z hlediska dlouhodobých srážkových pozorování. (Se zřetelem k poměrům

- na jižní Moravě). In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: Vodní hospodářství v době sucha. Tiskem Noviny v Brně, Brno, 37–41.
- Soukal, J. (1947): Poznámka o srážkové hranici 500 mm. In: Zavadil, J., Smolík, L., eds.: Hospodaření s vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno, 168.
- Soukalová, E., Muzikář, R. (2013a): Hydrologické sucho a příprava opatření pro zásobování obyvatelstva podzemní vodou v období sucha. In: Sborník ze semináře ČVTVHS: Podzemní voda ve vodoprávním řízení X, 9. října 2013. ČVTVHS, Praha, 31–38.
- Soukalová, E., Muzikář, R. (2013b): Periodicita a předpovědi výskytu sucha v podzemních vodách. In: Odborný seminář Sucho a jak mu čelit. Sborník abstraktů. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Výzkumný ústav vohodospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav, Praha, 27–32.
- Spiecker, H. (1990): Growth variation and environmental stresses — Long-term observation on permanent research plots in southwestern Germany. *Water, Air and Soil Pollution*, 54, 247–256.
- Spiecker, H. (1995): Growth dynamics in a changing environment — long-term observation. *Plant and Soil*, 169, 555–561.
- Spiecker, H. (2000): Growth of Norway Spruce (*Picea abies*, L., Karst.) under changing environmental conditions in Europe. In: Klimo, E., Hager, H., Kulhavý, J., eds.: Spruce monocultures in central Europe — problems and prospects. *EFI Proceedings No. 33*, 11–26.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, V. J., Barbosa, P. (2015): The biggest drought events in Europe from 1950 to 2012. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, on-line. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.01.001>.
- Spurk, M., Friedrich, M., Hofmann, J., Remmele, S., Frenzel, B., Leuschner, H. H., Kromer, B. (1998): Revisions and extensions of the Hohenheim oak and pine chronologies — New evidence about the timing of the Younger Dryas/Preboreal-Transition. *Radiocarbon*, 40, 1–10.
- Stahl, K. (2001): Hydrological Drought — a Study Across Europe. Dissertation Thesis. Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, 121 s.
- Stanovský, J. (2002): The influence of climatic factors on the health condition of forests in the Silesian Lowland. *Journal of Forest Science*, 10, 451–458.
- Stibor, J. (1997): Stará Bělá 1272–1918. Úřad městského obvodu Ostrava — Stará Bělá, 512 s.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., eds. (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 s.
- Stocklōw, F. J. (1890): *Das Buch der Heimat*. Allgemeiner Theil. Der Bezirk Kaaden in seiner Gegenwart und Vergangenheit. Heinrich Meyer, Kaaden, 469 s.
- Strahler, A. N. (1957): Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union Transactions*, 38, 913–920.
- Strnad, J. (1883): M. Šimona Plachého z Třebnice Paměti Plzeňské. Publikace Spolku přátel vědy a literatury české v Plzni, 4, 245 s.
- Strnadel, B. (1950): Nejstarší kronika města Frenštátu pod Radhoštěm. Nakladatelství Krajského národního výboru v Ostravě, Ostrava, 52 s.
- Strnadt, A. (1783): *Observationes Pragenses*. In: *Ephemerides Societatis Meteorologicae Palatinae*. Historia et Observationes Anni 1781. Ex Officina Novae Societatis Typographicae MDCCLXXXIII, Prostant Apud C. Fr. Schwan, Bibliopolam Aulicum, Mannheimii, 326–336.
- Strouhal, Č. (1910): Professor Dr. Frant. Augustin. In: *Almanach České akademie císaře Františka Josefa pro vědy, slovesnost a umění*, 20, 152–158.
- Strömmer, E. (2003): *Klima-Geschichte*. Methoden der Rekonstruktion und historische Perspektive Ostösterreich 1700 bis 1830. Franz Deuticke, Wien, 325 s.
- Stubbington, R., Boulton, A. J., Little, S., Wood, P. J. (2015): Changes in invertebrate assemblage composition in benthic and hyporheic zones during a severe suprasedonal drought. *Freshwater Science*, 34, 344–354.
- Stubbington, R., Wood, P. J., Boulton, A. J. (2009): Low flow controls on benthic and hyporheic macroinvertebrate assemblages during suprasedonal drought. *Hydrological Processes*, 23, 2252–2263.
- Stubbington, R., Wood, P. J., Reid, I. (2011): Spatial variability in the hyporheic zone refugium of temporary streams. *Aquatic Sciences: Research Across Boundaries*, 73, 499–511.
- Stuchlík, F. (1952): Bude rok 1953 ve střední Evropě katastrofálně suchý? *Meteorologické zprávy*, 5, 158–159.



- Svoboda, J. F. (1914a): Několik hospodář. záznamů z Bobrové. Selský archiv, 9, 78–80.
- Svoboda, J. F. (1914b): Z pamětní knihy obce Herálecké. Selský archiv, 9, 70–78.
- Svoboda, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 99 s.
- Szinell, C. S., Bussay, A., Szentimrey, T. (1998): Drought tendencies in Hungary. *International Journal of Climatology*, 18, 1479–1491.
- Szwed, M., Karg, G., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Graczyk, D., Kędziora, A., Kundzewicz, Z. W. (2010): Climate change and its effect on agriculture, water resources and human health sectors in Poland. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1725–1737.
- Šachová, B. (2013): Vliv klimatické změny na hydrologické sucho v povodí horní Otavy. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha, 104 s.
- Šamaj, F. (1965): O suchu a jeho příčinách. *Svet vedy*, 12, 385–391.
- Šercl, P., Lett, P. (2002): Výpočet rastru srážek v prostředí GIS (s využitím ArcView Spatial Analyst). Uživatelská příručka verze 2.0.1. ČHMÚ, OPV, Praha.
- Šimák, J. V., ed. (1913): Balbínovy výpisy ze dvou ztracených kronik. *Věstník Královské České společnosti nauk*, Praha, 16 s.
- Šimák, J. V. (1938): Středověká kolonizace v zemích českých. In: Krofta, K., ed.: *České dějiny*. Díl I., část 5. Jan Laichter, Praha, 504–1310.
- Šimáková, M. (1923): Pamětní kniha mašovská (1836–1858). *Od Ještěda k Troskám*, 1, 61–72, 103–109.
- Šimon, A. (1927): Záznamy přírodních zjevů na Hradištsku. *Od Ještěda k Troskám*, 6, 56–60.
- Šimon, A. (1934–35): Sucho na Hradištsku r. 1811. *Od Ještěda k Troskám*, 13, 136.
- Šípek, Z. (1999): Hostěradice — 800 let od první písemné zmínky. Vydavatelství Břetislav Šípek & Silva Šípková, Praha, 183 s. + přílohy.
- Šípek, Z. (2003): Krátké dějiny obce Džbánice. Pro obec Džbánice vydal PhDr. Jan Sucharda — JAS, Hrotovice, 88 s.
- Šiška, B., Takáč, J. (2009): Drought analysis of agricultural regions as influenced by climatic conditions in the Slovak Republic. *Időjárás*, 113, 135–143.
- Škvarenina, J., Tomlain, J., Hrvoň, J., Škvareninová, J., Nejedlík, P. (2009): Progress in dryness and wetness parameters in altitudinal vegetation stages of West Carpathians: Time-series analysis 1951–2007. *Időjárás*, 113, 47–54.
- Špecinger, O. (1983): Hladový kámen. *Průboj*, 35, 16.
- Štarha, I. (2002): Jámy 1252–2002. Minulost a současnost. Obec Jámy, 106 s. + příloha.
- Šťastná, M., Trnka, M., Křen, J., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2002): Evaluation of CERES models in different production regions of the Czech Republic. *Rostlinná výroba*, 3, 125–132.
- Štěpánek, P., Skalák, P., Farda, A., Zahradníček, P. (2012): Climate change in the area of the Czech Republic according to various model simulations. In: Kožnarová, V., Sulovská, S., Hájková, L., eds.: *Proceedings of BIOCLIMATE 2012 — Bioclimatology of Ecosystems*. Ústí nad Labem 29–31 August 2012, 122–124.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Brázdil, R., Tolasz, R. (2011a): Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii. *Český hydrometeorologický ústav*, Praha, 118 s.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A. (2013): Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. *Időjárás*, 117, 123–141.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R. (2011b): Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. *Időjárás*, 115, 87–98.
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Skalák, P. (2009): Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. *Advances in Science and Research*, 3, 23–26.
- Štych, P. (2003): Hodnocení vlivu nadmořské výšky reliéfu na vývoj změn využití ploch Česka 1845, 1948, 1990. In: Jančák, V., Chromý, P., Marada, M., eds.: *Geografie na cestách poznání*. Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 59–70.
- Štych, P. (2007): Územní diferenciacie dlhodobých změn využití krajiny Česka. *Doktorská práce*. Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 128 s. + přílohy.
- Šůla, J., ed. (1967): Počasí v Orlických horách před 400 lety. *Listy Orlického muzea*, 2, 281–285.
- Šváb, F. (1914): Statistické tabelky panství slanského z r. 1827. *Slanský obzor*, 22, 24–29.

- Švihla, V. (2001): Vliv lesa na odtokové poměry na malém povodí. *Lesnické práce*, 80, 66–69.
- Tall, A., Gomboš, M. (2011): Application of Palmer Drought Severity Index for evaluation of drought. In.: Salaš, P., ed.: *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Lednice 20.–21. 10. 2011. Úroda, vědecká příloha, 623–628.
- Tallaksen, L. M., Madsen, H., Clausen, B. (1997): On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences Journal*, 42, 15–33.
- Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., eds. (2004): *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 579 s.
- Tang, H., Li, Z. L. (2014): *Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared. Theory and Applications*. Springer, Heidelberg — New York — Dordrecht — London, 281 s.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., Meehl, G. A. (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485–498.
- Teplý, F. (1899): *Paměti starožitného města Miličina a jeho okolí*. Nákladem vlastním, Praha, 209 s.
- Thorntwaite, C. W. (1948): An approach towards a rational classification of climate. *The Geographical Review*, 38, 55–94.
- Tille, J. (1905): *Geschichte der Stadt Niemes und ihrer nächsten Umgebung*. Druck und Verlag von A. Bienert, Niemes, 540 s.
- Tiray, J. (1907): *Paměti*. Z Praskoles u Telče. *Selský archiv*, 6, 138–142.
- Tobolka, Z., ed. (1946): *Knihopis českých a slovenských tisků od doby nejstarší až do konce XVIII. století. Díl II. Tisky z let 1501–1800. Část III. Písmena D–J. Čís. 1809–3641*. Státní nakladatelství, Praha, 511 s.
- Tolasz, R. (2002): *Klimatická změna a klimatické fluktuační normály vybraných klimatologických prvků na území České republiky*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 32 s.
- Tolasz, R., Míková, T., Valeriánová, A., Voženílek, V., eds. (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha — Olomouc, 256 s.
- Toman, F., Spitz, P., Filip, J. (2002): Impact of predicted climatic changes on agriculture and forestry in the Czech Republic. In: *International Conference on Drought Mitigation and Prevention of Land Desertification*, Bled, 21–25 April 2002. ICID, ERWG, ERWTD, SINCID, č. 71, 7 s. (CD-ROM).
- Tomášek, M. (2000): *Půdy České republiky*. Česká geologická služba, Praha, 67 s.
- Tomlain, J. (1978): K charakteristice suchých a vlhkých oblastí ČSSR. *Meteorologické zprávy*, 31, 185–189.
- Tomlain, J. (1979): Metódy určovania potenciálneho a skutočného výparu z povrchu pôdy. *Meteorologické zprávy*, 32, 72–77.
- Trachtulec, J. (1984): Srovnání roku 1983 se suchými roky 1947 a 1976 z hlediska zásoby půdní vláhy na Znojemsku. *Meteorologické zprávy*, 37, 172.
- Treixler, G. (1932): *Vierzig Jahre Gödinger Geschichte*. (Jakob Kleins Chronik der Jahre 1713 bis 1752). *Zeitschrift des Deutschen Vereines für die Geschichte Mährens und Schlesiens*, 34, 1–31, 49–62, 81–100, 133–159.
- Tremml, P. (2010): Nejvýznamnější období sucha v letech 1956–2009 na území České republiky. *Příloha VTEI Vodního hospodářství, MČ4 2*, 13–16.
- Tremml, P. (2011): Největší sucha na území České republiky v období let 1875–2010. *Meteorologické zprávy*, 64, 168–176.
- Tremml, P. (2012): Největší hydrologická sucha 20. století. In: *Seminář Adolfa Patery 2012 — Extrémní hydrologické jevy v povodích*. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 250–257.
- Tremml, P. (2013): Monitoring a plánování v období nedostatku vody a sucha z pohledu Evropské unie. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 55, 6–12.
- Tremml, P. (2014): Rok 2014 v kontextu největších such let 1804–2010, aneb bude nejsušší? In: *Brych, K., Tesař, M., eds.: Hydrologie malého povodí. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, Český hydrometeorologický ústav, Praha, 539–543*.
- Tremml, V., Ponocná, T., Büntgen, U. (2012): Growth trends and temperature responses of treeline Norway spruce in the Czech-Polish Sudetes Mountains. *Climate Research*, 55, 91–103.
- Tremml, V., Ponocná, T., King, G. M., Büntgen, U. (2014): A new tree-ring-based summer temperature reconstruction over the last three centuries for east-central Europe. *International Journal of Climatology*, on-line. DOI: 10.1002/joc.4201.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. (2012): Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 117, D17103.

- Trigo, R. M., García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, I. F., Valente, M. A. (2005): How exceptional was the early August 2003 heatwave in France? *Geophysical Research Letters*, 32, L10701.
- Trnka, F. (1912): *Kroniky novoměstské. Část II. Nákladem a tiskem A. Veselého, Nové Město na Moravě*, 229 s.
- Trnka, M. (2014): Představení projektu InterSucho aneb proč je sucho aktuální problém. *Vodní hospodářství*, 64, 29–30.
- Trnka, M., Brázdil, R., Balek, J., Semerádová, D., Hlavinka, P., Možný, M., Štěpánek, P., Dobrovolný, P., Zahradníček, P., Dubrovský, M., Eitzinger, J., Fuchs, B., Svoboda, M., Hayes, M., Žalud, Z. (2014a): Drivers of soil drying in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology*, on-line. DOI: 10.1002/joc.4167.
- Trnka, M., Brázdil, R., Dubrovský, M., Semerádová, D., Štěpánek, P., Dobrovolný, P., Možný, M., Eitzinger, J., Málek, J., Formayer, H., Balek, J., Žalud, Z. (2011a): A 200-year climate record in Central Europe: implications for agriculture. *Agronomy and Sustainable Development*, 31, 631–641.
- Trnka, M., Brázdil, R., Možný, M., Štěpánek, P., Dobrovolný, P., Zahradníček, P., Balek, J., Semerádová, D., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Eitzinger, J., Wardlow, B., Svoboda, M., Hayes, M., Žalud, Z. (2015a): Soil moisture trends in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology*, on-line. DOI: 10.1002/joc.4242.
- Trnka, M., Brázdil, R., Olesen, J. E., Eitzinger, J., Zahradníček, P., Kocmánková, E., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Možný, M., Bartošová, L., Hlavinka, P., Semerádová, D., Valášek, H., Havlíček, M., Horáková, V., Fischer, M., Žalud, Z. (2012): Could the changes in regional crop yields be a pointer of climatic change? *Agricultural and Forest Meteorology*, 166–167, 62–71.
- Trnka, M., Drbal, K., Dumbrovský, M., Novotný, I., Žalud, Z. (2015b): *Generel vodního hospodářství krajiny České republiky — analytická část studie. Státní pozemkový úřad, Praha*, 97 s.
- Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z., Wilhite, D. (2009a): Developing a regional drought climatology for the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 29, 863–883.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Hlavinka, P., Dubrovský, M., Semerádová, D., Štěpánek, P., Thaler, S., Žalud, Z., Možný, M., Formayer, H. (2009b): Climate-driven changes of production regions in Central Europe. *Plant and Soil*, 55, 257–266.
- Trnka, M., Eitzinger, J., Semerádová, D., Hlavinka, P., Balek, J., Dubrovský, M., Kubu, G., Štěpánek, P., Thaler, S., Možný, M., Žalud, Z. (2011b): Expected changes in agroclimatic conditions in Central Europe. *Climatic Change*, 108, 261–289.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Balek, J., Možný, M., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Hayes, M., Eitzinger, J., Žalud, Z. (2014b): Drought monitor for the Czech Republic — [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz). In: Rožnovský, J., Litschmann, T., eds.: *Mendel a bioklimatologie*. Brno, 3.–5. 9. 2014. Masarykova univerzita, Brno, 630–638.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. (2007): Agricultural drought and spring barley yields in the Czech Republic. *Plant, Soil and Environment*, 53, 306–316.
- Trnka, M., Kersebaum, K. C., Eitzinger, J., Hayes, M., Hlavinka, P., Svoboda, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Wardlow, B., Pokorný, E., Možný, M., Wilhite, D., Žalud, Z. (2013): Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States. *Climatic Change*, 120, 405–418.
- Trnka, M., Kocmánková, E., Balek, J., Eitzinger, J., Ruget, F., Formayer, H., Hlavinka, P., Schaumberger, A., Horáková, V., Možný, M., Žalud, Z. (2010): Simple snow cover model for agrometeorological applications. *Agriculture and Forest Meteorology*, 150, 1115–1127.
- Trnka, M., Rötter, R. P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Žalud, Z., Semenov, M. A. (2014c): Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4, 637–643.
- Trnka, M., Schaumberger, A., Formayer, H., Eitzinger, J., Hlavinka, P., Semerádová, D., Dubrovský, M., Možný, M., Thaler, S., Žalud, Z. (2011c): Evaluating drought risk for permanent grasslands under present and future climate conditions. *Procedia Environmental Sciences*, 3, 50–57.
- Trnka, M., Žalud, Z., Eitzinger, J., Dubrovský, M. (2005): Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulae. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131, 54–76.
- Truhlář, A., Hrdina, K., Hejnic, J., Martínek, J. (1973): *Rukověť humanistického básnictví*



- v Čechách a na Moravě 4 (N-Ř). Academia, Praha, 392 s.
- Tutsch, F. (1914): Die älteste Chronik Römerstadts und ihr Verfasser. In: XVI. Jahresbericht der Landesoberrealschule zu Römerstadt, Römerstadt, 4–47.
- Ugwitz, A. (1902): Paměti městečka Chropině. Zvláštní otisk z „Hlasů z Hané“. Nákladem vlastním, Prostějov, 25 s.
- Urban, J. (2000): Role of dead trees and biotic harmful agents in decline of European black pine. *Zprávy lesnického výzkumu*, 45, 10–13.
- Urban, J. F. (1997): Písmák jižního Plzeňska Václav Jan Mašek. Pro ObÚ Řenče Granát Horní Bříza, 178 s.
- Václavek, M. (1881): Dějiny města Vsetína a okresu vsackého. Nákladem vlastním, Brno, 350 s.
- van der Schrier, G., Barichivich, J., Briffa, K. R., Jones, P. D. (2013): A scPDSI-based global data set of dry and wet spells for 1901–2009. *Journal of Geophysical Research, Atmosphere*, 118, 4025–4048.
- van der Schrier, G., Briffa, K. R., Jones, P. D., Osborn, T. J. (2006): Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*, 19, 2818–2834.
- van der Schrier, G., Efthymiadis, D., Briffa, K. R., Jones, P. D. (2007): European Alpine moisture variability 1800–2003. *International Journal of Climatology*, 27, 415–427.
- van Engelen, A. F. V., Ijnsen, F., Buisman, J., van der Schrier, G. (2009): Precipitation indices Low Countries. In: Young, G., McCarroll, D., eds.: *Poster Abstracts of the Millennium Milestone Meeting 3, Cala Millor, Mallorca, 3–5 March 2009*, 62–63.
- Vanasche, J. (2011): Sap flow dynamics in sessile oak during drought stress events in the Czech Republic: 1976–1977 and 2007–2008. Ph.D. thesis. Universiteit Gent, Faculteit Bioingenieurswetenschappen, Academiejaar 2010–2011, 67 s.
- VaV (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. *Technické shrnutí výsledků projektu VaV — SP/1a6/108/07 v letech 2007–2011*. Český hydrometeorologický ústav, Praha, 67 s.
- Vávra, J. (1899): Paměti královského města Berouna. Nákladem Emanuela Hojky, Beroun, 426 s.
- Venäläinen, A., Korhonen, N., Koutsias, N., Xystrakis, F., Urbietta, I. R., Moreno, J. M. (2014): Temporal variations and change of forest fire danger in Europe in 1960–2012. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1477–1490.
- Verbík, A. (1982): *Kronika rodiny Fuksovy*. Blok, Brno, 109 s.
- Veselý, E. (1949a): Profesor Augustin o suchu. *Meteorologické zprávy*, 3, 28–31.
- Veselý, E. (1949b): Jak vzniká sucho. *Meteorologické zprávy*, 3, 31.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I. (2010): A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index — SPEI. *Journal of Climate*, 23, 1696–1718.
- Vinař, J., Kyncl, J., Růžička, P., Žák, J. (2005): *Historické krovy II. — průzkumy a opravy*. Grada, Praha, 301 s.
- Vitásek, F. (1942): K otázce nejsušší oblasti na Moravě. *Sborník České společnosti zeměpisné*, 47, 132.
- Vítoslavský, J. (1992): Vývoj meteorologického zabezpečení závlahového provozu v České republice. *Meteorologické zprávy*, 46, 115–117.
- Vítoslavský, J., Kohut, M. (1999): Agrometeorologická výpočetní a informační soustava — možnosti jejího využití. *Meteorologické zprávy*, 52, 119–125.
- Vizina, A., Hanel, M., Kašpárek, L., Horáček, S., Vlnas, R. (2014a): Udržitelné využívání vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny. *Průběžná zpráva úkolu TA0102508 za rok 2014*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 48 s.
- Vizina, A., Hanel, M., Melišová, E. (2014b): Analýza propagace sucha pomocí generátorů počasí. *Vodní hospodářství*, 56, 5–11.
- Vizina, A., Kašpárek, L., Hanel, M. (2013): Inventarizace literatury a podkladů o hodnocení sucha a jeho dopadů na vodní zdroje a hospodářství v České republice. *Závěrečná zpráva úkolu*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 69 s.
- Vlček, J. (1994): Zhodnocení počasí v roce 1992 na Spálovsku. *Oderské vrchy*, 9, 46–47.
- Vlček, J. (2001): Průběh počasí v roce 2000 v oblasti Oderských vrchů. *Oderské vrchy*, 16, 41–42.
- Vlnas, R. (2015): Pozorované změny složek hydrologické bilance z hlediska využitelných vodních zdrojů. *Vodní hospodářství — Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 56, v tisku.
- Vlnas, R., ed. (2013): *Návrh stanovení indikátorů hydrologického sucha*. Příloha Metodiky pro stanovení mezních hodnot indikátorů hydrologického

- sucha. Závěrečná zpráva projektu „Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR“ (VG 20102014038). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Česká zemědělská univerzita v Praze, 121 s.
- Vlnas, R., Havlíček, V., Tremel, P., Kašpárek, L. (2013): Návrh systému monitoringu a hodnocení hydrologického sucha. In: Odborný seminář Sucho a jak mu čelit. Sborník abstraktů. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav, Praha, 10–14.
- Vlnas, R., Novický, O., Kašpárek, L., Hanslík, E., Vizina, A., Fiala, T., Šimek, P., Brzánková, J., Ledvinka, O., Kourková, H. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 162 s.
- Vogel, A. (2000): Hevlín — od pravěku do roku 2000. Obec Hevlín, 304 s.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M. (1994): Flow duration curves I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120, 485–504.
- Vogeltanz, J., Ohlídal, J., eds. (2011): František Václav Felíř. Letopis 1723–1756. Argo, Praha, 474 s.
- Vogt, J. V., Niemeyer, S., Somma, F., Beaudin, I., Viau, A. A. (2000): Drought monitoring from space. In: Vogt, J. V., Somma, F., eds.: *Drought and drought mitigation in Europe*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 167–183.
- Vogt, J. V., Somma, F., eds. (2000): *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Advances in Natural and Technological Hazards Research. Kluwer, Dordrecht, 336 s.
- Vojáček, P. J. (1930–31): Ves Mladá podle záznamů ve farní pamětnici a jiných pramenů. *Boleslavan*, 5, 144–156.
- von Storch, H., Zwiers, F. W. (2001): *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, Cambridge, 484 s.
- Vopravil, J., Khel, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jacko, K., Rožnovský, J., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J., Kvítek, T., Novák, P., Fučík, P., Čermák, P., Janků, J., Pírková, I., Papaj, V., Banýřová, J. (2010): Půda a její hodnocení v ČR. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 148 s.
- Vorel, Č. (1937a): Sucha na území Československé republiky v posledních desetiletích. *Práce a studie, sešit 22*. Státní ústavy hydrologický a hydrotechnický T. G. Masaryka, Praha, 14 s.
- Vorel, Č. (1937b): Sucha na území Československé republiky v posledních desetiletích. *Zprávy veřejné služby technické*, 19, 245–249.
- Vrba, L. (1936): K otázce závlah v údolí řeky Moravy. In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: *Vodní hospodářství v době sucha*. Tiskem Noviny v Brně, Brno, 42–44.
- Vrbka, J. (1941): *Dějiny obce Nákla na Moravě*. Nákladem vlastním, Loštice, 411 s.
- Vyskoč, P., Vizina, A., Kašpárek, L., Pícek, J., Brabec, J., Nováková, H., Filippi, R. (2010): *Výhledová studie potřeb a zdrojů vody v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe*. Studie. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 362 s.
- Výsledky vodoměrných pozorování na českých řekách v roce 1888. Nákladem technické kanceláře rady zemědělské, Praha 1890.
- Walawender, A. (1932): *Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 1450–1586*. Część I: *Zjawiska meteorologiczne i pomory*. Część II. *Kronika klęsk elementarnych*. *Badania z Dziejów Społecznych i Gospodarczych*, Lwów, 112 a 299 s.
- Wan, Z., Wang, P., Li, X. (2004): Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 61–72.
- Wang, L., Qu, J. J. (2007): NMDI, a normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 34, L20405.
- Wang, L., Qu, J. J. (2009): Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3, 237–247.
- Wang, Y. M., Lean, J. L., Sheeley, N. R. (2005): Modeling the Sun's magnetic field and irradiance since 1713. *The Astrophysical Journal*, 625, 522–538.
- Wastl, C., Schunk, C., Leuchner, M., Pezzatti, G. B., Menzel, A. (2012): Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology*, 162–163, 1–13.

- Weber, P., Bugmann, H., Rigling, A. (2007): Radial growth responses to drought of *Pinus sylvestris* and *Quercus pubescens* in an inner-Alpine dry valley. *Journal of Vegetation Science*, 18, 777–792.
- Weber von Ebenhof, A. Ritter (1894): Project der K. K. Österr. Regierung für die Regulierung der March in der Reichsgrenzstrecke gegen Ungarn (von der Morawka-Mündung bei Rohatetz bis zur Einmündung in die Donau bei Theben). Spielhagen & Schurich, Wien, 110 s.
- Weghorst, K. (1996): The Reclamation Drought Index: Guidelines and practical applications. In: Bathala, C., ed.: North American Water and Environment Congress & Destructive Water. American Society of Civil Engineers, New York, NY, 637–642.
- Wells, N., Goddard, S., Hayes, M. (2004): A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*, 17, 2335–2351.
- Welzl, H. (1910): Brüner Chronik des Peter Freiherrn v. Forgatsch. *Zeitschrift des Deutschen Vereines für die Geschichte Mährens und Schlesiens*, 14, 264–308.
- Wetter, O., Pfister, C. (2013): An underestimated record breaking event — why summer 1540 was likely warmer than 2003. *Climate of the Past*, 9, 41–56.
- Wetter, O., Pfister, C., Werner, J. P., Zorita, E., Wagner, S., Seneviratne, S. I., Herget, J., Grünwald, U., Luterbacher, J., Alcoforado, M.-J., Barriendos, M., Bieber, U., Brázdil, R., Burmeister, K. H., Camenisch, C., Contino, A., Dobrovolný, P., Glaser, R., Himmelsbach, I., Kiss, A., Kotyza, O., Labbé, T., Limanówka, D., Lützenburger, L., Nordli, Ø., Pribyl, K., Retsö, D., Riemann, D., Rohr, C., Siegfried, W., Söderberg, J., Spring, J.-L. (2014): The year-long unprecedented European heat and drought of 1540 — a worst case. *Climatic Change*, 125, 349–363.
- Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., Jones, P. D. (1984): On the average of value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201–213.
- Wilhite, D. A., Glantz, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10, 111–120.
- Wilhite, D. A., Hayes, M. J., Knutson, C., Smith, K. H. (2000): Planning for drought: moving from crisis to risk management. *Journal of the American Water Resources Association*, 36, 697–710.
- Wilhite, D. A., Svoboda, M., Hayes, M. J. (2007): Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Journal of Water Resources Management*, 5, 763–774.
- Wilhite, D. A., Vanyarkho, O. (2000): Drought: Pervasive impacts of a creeping phenomenon. In: Wilhite, D. A., ed.: Drought: A Global Assessment. Routledge Publishers, London, 245–255.
- Wilkinson, S., Davies, W. J. (2002): ABA-based chemical signalling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell & Environment*, 25, 195–210.
- Wilks, D. S. (2006): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Second edition. Academic Press, Amsterdam, 627 s.
- Wilson, R. J. S., Luckman, B. H., Esper, J. (2005): A 500 year dendroclimatic reconstruction of spring–summer precipitation from the lower Bavarian Forest region, Germany. *International Journal of Climatology*, 25, 611–630.
- Wilson, R., Miles, D., Loader, N. J., Melvin, T., Cunningham, L., Cooper, R., Briffa, K. (2012): A millennial long March–July precipitation reconstruction for southern-central England. *Climate Dynamics*, 40, 997–1017.
- Wilson, R., Topham, J. (2004): Violins and climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 77, 9–24.
- Wimmer, R. (2001): Osobní sdělení. Wien.
- Winklerová, J., Jeleček, L., Kabrda, J., Bičík, I. (2008): Databáze LUCC Czechia. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- Winter, Z. (1899): O životě na vysokých školách pražských knihy dvoje. *Kulturní obraz XV. a XVI. století*. Nákladem Matice české a jubilejního fondu Královské české společnosti nauk, Praha, 614 s.
- WMO (1974): *International Glossary of Hydrology*. World Meteorological Organization, Geneva, 393 s.
- Wolkan, R., ed. (1890): Eine unbekannte Chronik von Joachimsthal. *Erzgebirgszeitung*, 11, 11–13, 37–39, 84–86, 222–224.
- Wood, A. J. (2005): Eco-physiological adaptations to limited water environments. In: Jenks, M. A., Hasegawa, P. M., eds.: *Plant Abiotic Stress*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 1–13.
- Woodward, F. I., Lomas, M. R., Kelly, C. K. (2004): Global climate and the distribution of



- plant biomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B — Biological Sciences*, 359, 1465–1476.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., Wen, F. (2007): Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27, 65–79.
- Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J., Huang, Y. (2010): Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. *Molecular Plant*, 3, 469–490.
- Yevjevich, V. (1967): An objective approach to definition and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology paper No. 23. Colorado State University, Fort Collins*, 43 s.
- Zahradníček, P., Trnka, M., Brázdil, R., Možný, M., Štěpánek, P., Hlavinka, P., Žalud, Z., Malý, A., Semerádová, D., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Řezníčková, L. (2014): The extreme drought episode of August 2011–May 2012 in the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, on-line. DOI: 10.1002/joc.4211.
- Zajíčková, L., Nádraská, M., Matoušek, P. (2011): The effect of drought on stem volume changes of Norway spruce. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 42, 119–126.
- Zalberg, E. A. (1976): *Statističeskije metody prognoza jestesvennogo režima gruntovykh vod. Něždra, Leningrad*, 101 s.
- Zalberg, E. A. (1980): *Režim i balans gruntovykh vod zony izbytnogo uvlažněnija. Něždra, Leningrad*, 207 s.
- Zaoral, R. (1936): Jsou skutečně regulace a meliorace příčinou sucha? In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: *Vodní hospodářství v době sucha. Tiskem Noviny v Brně, Brno*, 44–49.
- Zaporozec, A. (1980): Drought and groundwater levels in northern Wisconsin. *Geoscience Wisconsin, Vol. 5. University of Wisconsin, Madison*, 92 s.
- Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds. (1936): *Vodní hospodářství v době sucha. Tiskem Noviny v Brně, Brno*, 54 s.
- Zavadil, J., Smolík, L., eds. (1947): *Hospodaření vodou v našich nejsušších oblastech. Časové otázky zemědělské 74. Nákladem Zemského poradního sboru zemědělského ZNV v Brně, Brno*, 180 s.
- Zawadzki, J., Kędzior, M. A. (2014): Statistical analysis of soil moisture content changes in Central Europe using GLDAS database over three past decades. *Central European Journal of Geosciences*, 6, 344–353.
- Zemek, P., ed. (2004): *Bartoškova kronika. Muzeum J. A. Komenského v Uherském Brodě, Uherské Hradiště*, 336 s.
- Zhang, J., Nguyen, H. T., Blum, A. (1999): Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 50, 291–302.
- Zhou, J., Tung, K. K. (2013): Deducing multidecadal anthropogenic global warming trends using multiple regression analysis. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70, 3–8.
- Zilynskyj, B., ed. (1984): *Letopis měšťana Nového Města pražského z let 1492 až 1539. Pražský sborník historický*, 17, 52–89.
- Zuber, R., Holouš, J., Spurný, F., Šprincová, S., Šula, B., Nekvasil, J. (1966): *Jesenicko v období feudalismu do roku 1848. Profil, Ostrava*, 539 s.
- Žalud, Z., ed. (2009): *Změna klimatu a české zemědělství — dopady a adaptace. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, Brno*, 154 s.

# ARCHIVNÍ PRAMENY

- Ann. Hradistienses:** Jan František Corvinus, *Notata de civitate Hradistio in Moravia [1258–1724]*. Ed. Fišer, 1920, 86–126.
- Baier:** Andreas Baier, *Manual-Chronik [1179–1594]*. Ed. Gradl, 1884, 71–177.
- Bartoškova kron.:** Bartoškova kronika s opisem kroniky jeho předchůdce Jana Kúdelky [(1240) 1453–1584]. Ed. Zemek, 2004, 14–163.
- Beckovský:** Jan Beckovský, *Poselkyně starých příběhův českých [1526–1715]*. Ed. Rezek, 1879.
- Bezděka:** F. V. Bezděky vlastní rukou psaný popis Písku, zejména hradeb a bran, silnic, kostelův, špitálu, soch, radnice, krajského úřadu, děkanství (s pořadem děkanů), vsi Putimě, mostu kamenného, dvorův Purkratického, špitálského a Bud, škol v Písku a Semicích, gymnasia, lesův, mlýnův, pivovárův, panství Píseckého, cechův, nejstarších měšťanův (až do 18. století), výpisy z matrik, povodně, malé vody, povětrnost, cena obilí, ryby v Otavě, obyvatelstvo. Státní okresní archiv Písek, fond Archiv města Písek, inv. č. 446, kniha č. 446.
- Bínové z Praskoles:** Paměti rodiny Bínů z Praskoles u Telče. Ed. Tiray, 1907, 138–142.
- Březan I:** Václav Březan, *Život Viléma z Rožmberka*. Padesátní letopis, to jest poznamenání některých věcí pamětihodných pana Viléma z Rožmberka za padesáte a sedm let zběhlých, počítajíc od času narození téhož pána až do léta Kristova 1592. Ed. Pánek, 1985, 10–372.
- Budv. hist.:** Výpisy Bohuslava Balbína z deperditního spisu *Budvicensis historiae compendium [1462–1658]*. Ed. Šimák, 1913, 5–14.
- Bydžovský:** Marek Bydžovský z Florentina, *Prima pars annalium seu corum, quae sub Ferdinando rege Bohemiae contigerunt a Me Beat Fides [=M(arcus) B(ydzowinus) A F(lorentino)] collecta. Altera pars annalium seu eorum, quae sub Maximiliano rege Bohemiae contigerunt, a Me Beat Alma Fides collecta. Rudolphus rex Bohemiae*. Ed. Kolár, 1987, 1–241, 253–270.
- Ceregetti:** Josef Ceregetti, *Historia chrudimská (1771–1789)*. Regionální muzeum v Chrudimi, přír. č. 25967. Viz také Pavlík, 1996, 1–7.
- Čapek:** Zápisky Josefa Čapka z Jeseníka, Kříneckého poddaného. Ed. Hojsák, 1904, 186–187.
- Čížek:** Čížek, J. J.: *Kniha pamětní města Opočna*. In: *Ze starých zápisův. Drobné črty z historie opočenského lidu v 17. a 18. století*, 4–17.
- Čupík:** *Kronika Jana Čupíka z Olešnice*. Ed. *Paměti starých písmáků moravských*, 1916, 5–32.
- DAzV:** Daniel Adam z Veleslavína, *Kalendář Historický. To jest krátké poznamenání všech dnuov jednoho každého měsíce přes celý rok. K nim přidány jsou některé paměti hodné Historiae o rozličných příhodách a proměnách, jak národuov jiných a zemí v Světě, tak také a obzvláště národu i Království Českého z hodnověrných Kronik. S pilnosti sebráno, vytištěno a vydáno prací a nákladem M. Daniele Adama z Veleslavína. Vytlačeno v Starém Městě Pražském. Leta posledního věku: MDXC [1590, 2. doplněné vydání]*. Oblastní muzeum Litoměřice, inv. č. SV 14142.
- de Crescenti:** *Neu Feld und Ackerbau darinen ordentlich begriffen, wie man aus rechten Grund der Natur, auch langwierigen Erfahrungen in 15. Bücher beschrieben welcher gestalt jedes Landgut bevor ab der Acker und Fruchtfeldt der Landsrat gelegenheit bey rechter Zeit auffß beste zubestellenund mit allerhand Feldarbeit recht zuversorgen. Demnach was massen allerley lift und Fruchtgarten von fremder als gemein bekannter art Obsbäumen zupflantzen und mit Geländern und Betten Grund und Bodens bequemlichkeit nach anzurichten auch in Bau und wesen zuerhalten. Mehr wie und an welchem ort nach jeder Landschaft art und Gelegenheit Weinwachs zu zeugen mit gebürlicher Arbeit jeder Zeit Jars vernünfftig zu warten. Neben eingeführter vollkommener Kellermeisterei wie alles und jedes Getränk nach nottrufft geschicklich zu versehen. Ferners wie alles grosses und kleines Federvieh auff einem Meyerhof glücklich zu zielen und aufzubringen Krancken aber mit zeitiger Hülff zuvorkommen. Deßgleichen wie das Gesinde bei guter Gesundheit zuerhalten in Kranken aber ohne besuchender Apotecken vermittelst guter Haußartzneyen von Kräutern und gebrännten Wassern schleunig zu Curiren und endtlich wie auch Brunnen allerley art Eisternen zumachen Wasser darinn zuführen und daselbig*

zubewahren auch was ein fleisiger Meyer oder Bawer in jedem Monat durch das gantze Jar für Arbeit zuthun und außzurichten. Erstlich durch den hochgelehrten Herrn Petrum de Crescentiis beschrieben jetzt aber durch einen hochgelehrten deß Feldbaues wol erfahren Herrn der Artzney Doctore in unser Teursche Orthographie Sprach na Tag gebracht, Auch mit andern vielen namhafften Sachen und nützlichen Lehren deren ordentliche Verzeichnuß am folgenden Blat zuersehen gemehret und gebessert Sampt einem vollkommenen Register und Figuren durchauß gezieret vor nie getruckt worden. Getruckt zu Franckfurt am Mayn 1583. Moravský zemský archiv Brno, fond G 21 Sbíрка starých tisků 1469–1807, 1860, inv. č. 160, stará sign. II/117.

**Denkbuch Kreamsler:** Denkbuch der Stadt Kreamsler. Státní okresní archiv Kroměříž, fond B-a 1 Archiv města Kroměříž, inv. č. 30.

**Diarium Hradisko I:** Diaria kanonie Klášterní Hradisko 1693–1783. Moravský zemský archiv Brno, fond E 55 Premonstráti Hradisko, sign. II–12 (rok 1718), II–17 (rok 1726), II–29 (rok 1751).

**Diarium Stará Voda I:** Diarium piaristické koleje Stará Voda 1690–1719. Zemský archiv Opava — pobočka Olomouc, Sbíрка rukopisů Metropolitní kapituly Olomouc, CO 632.

**Diarium Stará Voda II:** Diarium piaristické koleje Stará Voda z let 1719–1798. Zemský archiv Opava — pobočka Olomouc, Sbíрка rukopisů Metropolitní kapituly Olomouc, CO 633.

**Dlask:** Josef Dlask, Paměti. Ed. Kutnar, 1941, 17–98.

**Dobrušský anonym II:** Zápis z r. 1590 anonymního dobrušského letopisce, dochovaný v opisu v tzv. Roštlapilově pamětní knize děkanství dobrušského. Ed. Šůla, 1967, 285.

**Dremsa:** Paměti Filipa Ignáce Dremsy (1752–1807, 1845). Ed. Martínková, 2005, 35–125.

**Engelhart:** Pankraz Engelhart, Cronica memorial von Eger [1134–1561]. Ed. Gradl, 1884, 3–70.

**Fabricius:** Georgii Fabricii Chemnicensis Rerum Misnicarum libri VII. Electorum Saxoniae lib. I. Marchionum Misnensium lib. I. Annalium urbis Misnae libri III. Siffridi Misnensis presbyteri Epitomes lib. II. Omnia nunc recens edita. Lipsiae [1569]. Curante Ernesto Voegelino. Cum privilegio. Sächsische Landesbibliothek — Staats- und Universitätsbibliothek Dresden, sign. VW/93/135, stará sign. L 4.

**Fedrzal:** Zápis bysterského občana a písmáka Vincence Fedrzela [1479–1882]. In: Bobek, 1989.

**Felíř I:** František Václav Felíř, Krátký leto-pis devíti-letý totiž roku 1723, 1724, 1725, 1726, 1727, 1728, 1729, 1730, 1731. Eds. Vogeltanz, Ohlidal, 2011, 43–115.

**Felíř II:** František Václav Felíř, Krátké poznamenání co se přihodilo od příchodí Jeho Knížecí Milosti (tit. ple.) knížete Kristiána z Lobkovic. Léta 1743–1748. Eds. Vogeltanz, Ohlidal, 2011, 239–330.

**Forgatsch:** Peter Freiherrn v. Forgatsch, Brünner Chronik. Ed. Welzl, 1910, 265–308.

**FRB:** Fontes rerum Bohemicarum — Prameny dějin českých. Praha, 1873 sq.

**Frynta:** Zápisky písmáka Jana Frynty z Třebechovic. Ed. Robek, 1978b, 139–141.

**Gedenkbuch der Familie Chladek:** Auszug aus dem Gedenkbuch der Familie Chladek. I. Anhang. Auszüge aus Familien-Gedenk-Büchern, Inschriften. Ed. Kopřiva, 1856, 295–300.

**Hájek:** Václav Hájek z Libočan, Kronika Česká Cum gracia et Privilegio Regie Maiestatis. Vytištěno v Menším Městě Pražském prací a mistrovstvím opatrných mužuo Severýna Mladšího měšténina Starého Města Pražského u Ondřeje Kubše z Ziepuov. Leta Božího Tisícího Piatistého XXXXI. Tu středu po svatém Lukáši evangelistu [19 octobri 1541]. Oblastní muzeum v Litoměřicích, inv. č. SV 14.148.

**Haura:** Hieronymus Haura, Miscellanea iucundocuriosa in quibus continentur variae descriptiones, versus, carmina, elogia, epitaphia, vaticinia, illuminationes, declarationes, pugnae, conflictus, notata de bellis et diversis temporibus, casus laetofatales, contingentia in monasterio Sancti Thomae, processiones et devotiones ad Thaumaturgam, varii eventus in Moravia, Bohemia, et adjacentibus regionibus, Brunae et aliis civitatibus, ac aliae iucundae, et utiles annotationes et reflexiones ... Quae omnia diligenter annotavit, laboriose conscripsit Pater Hieronymus Haura, Boemus Moldavo-Teynensis, Ord. Erem. D. P. Augustini, Brunae in Exempto Monasterio S. Thomae Professus ... T. I–III. Moravská zemská knihovna Brno, sign. A19–A21.

**Hausner:** Šimon Hausner, Tägliche Witterungs-Beobachtungen des Buchlowitzer Pfarrer Simon Hausner von Jahren 1803 bis 1831 excl. Moravský zemský archiv Brno, fond G 138 Rodinný archiv Berchtoldů (1202) 1494–1945, inv. č. 851.

**Hausperský:** Jan Nepomuk Hausperský z Fanalu, Annalen von Mähren vom Jahre 1767 bis 1790. Archiv města Brna, fond Sbíрка rukopisů Antonína Bedřicha Mitrovského, inv. č. A 232. Viz také



- opisy (převážně od J. Janoše) uložené v Moravském zemském archivu Brno, fond G 10 Sběrka rukopisů Zemského archivu, inv. č. 981/1.
- Hein:** Karel Bernard Hein, *Diarium Inchoatum et Conscriptum a me Patre Carolo Hein Parocho novo Hodnicensi*. Moravský zemský archiv Brno, fond E 44 Křížovníci Znojmo, inv. č. 726, 728.
- Historia collegii:** *Historia collegii Clatoviensis societas Jesu ab anno MDCCXXXV*. In: Peters, 1946.
- Hüttel:** *Das Memoratief Simon Hüttels, malers zu Trautnaw etc., und eine Chronik über die Entstehung Trautenaus und der Nachbarödörfer [1484–1601]*. Ed. Schlesinger, 1881.
- Chlebeček:** Jan Chlebeček, *Paměti* (před rokem 1849). Státní okresní archiv Chrudim, fond Sběrka rukopisů, inv. č. 6.
- Chron. Römerstadt:** *Chronik von Römerstadt*. Ed. Anonym, 1937.
- Izaiáš:** Drobné přípisky kněze Izaiáše Camilla Vodňanského k novoutrakvistickým kázáním (tzv. Benešovská sbírka). In: Hrejsa, 1917, 199.
- Jahrbücher Breslau III:** Nikolaus Pol, *Jahrbücher der Stadt Breslau*. Band III. [1516–1554]. Ed. Büsching, 1819.
- Jahrbücher Breslau IV:** Nikolaus Pol, *Jahrbücher der Stadt Breslau*. Band IV. [1555–1599]. Eds. Büsching, Kunisch, 1823.
- Jakeš Přerovský I:** Knižka o povětrí země České, kteréž zvláštním a zázračným způsobem mocí Boží po všech krajích Království toho léta 1612, měsíce prasince [sic!] dne 28. totiž den památný Mládátek prošlo. Na zámcích, tvrzích, dvořích, domích, staveních, v městech, v městečkách, ve vseh, v lesích, zahradách znamenitých škod nadělala. Sepsaná od kněze Víta Iakeší [sic!] Přerovského, služebníka církevního v Tuklatech předloženého [sic!]. ... Vytiskeno v Starém Městě Pražském u Matěje Pardubského léta 1613. Národní knihovna ČR v Praze, sign. 54 D 170 (přivázáno).
- Jakeš Přerovský II:** Kázání dvoje: první z kněh třetích královských z kapitoly sedmnácté a osmnácté. Druhé: z knihy o prorocství Joele proroka Božího kapitoly první, v kterýchž se obsahuje a vypravuje o přepuštění a uvedení náramného sucha, hladu, hmyzně škodlivé směsice na zemi Judskou a Izraelskou roku tohoto přítomného 1615 jedno v neděli 12. a druhé v neděli 13. učiněné, od kazatele Slova Božího v Tuklatech zřízeného, v Praze, u Daniele Karla z Karlšpergka, 1615.
- Jakeš Přerovský III:** Kázání o zadržování a vyvozování neb vylévání dešťův na zemi. Vytiskeno v slavném Novém Městě Pražském u Daniele Karla z Karlšpergka. Léta Páně: M. DC. XV. [1615].
- Jakob Kleins Chron.:** *Jakob Kleins Chronik der Jahre 1713 bis 1752*. In: Treixler, 1932.
- Jan Pihert:** Pamětní kniha Jana Piherta, rolníka v Domašicích, započatá r. 1839. Ed. Robek, 1979, s. 35–50.
- Jančík:** *Lejstřík na rozličné památky Josefa Jančíka*. Ed. Bartošíková, 1996, 50–58.
- JanzK:** Jan z Kunovic, *Denní meteorologická pozorování zapsaná ve wroclawském exempláři Stoefflerových efemerid (Stoeffler, 1531)*. Eds. Brázdil, Kotyza, 1996, 123–157.
- Kněžoveský:** *Letopisecké záznamy Václava Kněžoveského v Knize pamětní města Slaný (1578–1620)*. Ed. Peters, 1898, 18–56.
- Knihy Olomouc:** *Kronikářské záznamy, týkající se Olomouce v letech 1709–1750*. Státní okresní archiv Olomouc, fond Archiv města Olomouc, Knihy, inv. č. 5707, sign. 1743.
- Kolísková:** *Kronika Anny Koliskové z Jakubovic, do jejíž rukou se kronika dostala, zapsala si tyto poznámky*. Ed. Robek, 1978b, 167–173.
- Korka:** *Paměti Pavla Korky z Korkyně [1522–1602]*. Roudnická lobkovická knihovna deponovaná na zámku v Nelahozevsi, sign. VI. Fg 54.
- Kosmas:** *Cosmae Pragensis Chronica Boemorum*. Ed. Bretholz, 1923.
- Kratschner:** *Kronika pekaře Jonáše Kratschnera z let 1468–1670 a jeho pokračovatelů v letech 1672–1676, 1725–1728*. Ed. Mareš, 1922.
- Kraus:** Lukáš Kraus, *Anály starobrněnského kláštera [1826–1832]*. Moravský zemský archiv Brno, fond E 4 Augustiniáni Staré Brno 1233–1948 (1950), sign. 41 I/31.
- Kreybich I:** *Meteorologische Beobachtungen vom Jahre 1808 in Schüttenitz nahe bei Leitmeritz gemacht von Fr. Jac. H. Kreybich*. Archiv Akademie věd České republiky, inv. č. 775 (stará sign. VI C 8, č. 10).
- Kreybich II:** *Meteorologische Beobachtungen nebst berechneten Tabellen vom Jahre 1809 in Schüttenitz 1/2 Stunde NO von Leitmeritz beobachtet von Franz Jac. Hein. Kreybich Phil. Doct. Canonic. zu Leitmeritz und Pfarrer zu Schüttenitz für die Prager oekonomische Gesellschaft*. Archiv Akademie věd České republiky, inv. č. 776 (stará sign. VI C 8, č. 11).
- Kreybich III:** *Meteorologische Beobachtungen vom Jahre 1811 für die K. k. ökonomisch-patriotische Gesellschaft in Schüttenitz beobachtet von Fr. Jac. Hr. Kreybich Phil. Doct. Canonic. zu Leitmeritz*

und Pfarrer zu Schüttenitz für die Prager oekonomische Gesellschaft. Archiv Akademie věd České republiky, inv. č. 778 (stará sign. VI C 8, č. 13).

**Kriesche:** Meisters Hans Kriesches Chronik der Stadt Böhmisch-Leippa bis zum Jahre 1621 [1171–1621]. Ed. Bienert, s.a. Státní okresní archiv Česká Lípa, fond Sbíрка rukopisů, karton č. 3.

**Kron. Bystřice n. P.:** Kronika města Bystřice nad Pernštejnem. Ed. Paměti starých písmáků moravských, 1916, 63–99.

**Kron. Flesarů:** Kronika rodiny Flesarů z let 1423–1923. In: Flesar, 2013.

**Kron. Frenštátu:** Nejstarší kronika města Frenštátu pod Radhoštěm [1585–1809]. Ed. Strnadel, 1950.

**Kron. Fulneku:** Kronika města Fulneku (Notizen über die Entstehung und Schicksale der Stadt Fulnek bis zum Jahre 1806). Moravský zemský archiv Brno, fond G 13 Sbíрка Historického spolku Brno 1306–1923, inv. č. 199.

**Kron. Hradiště:** Pamětní kniha pro obec Hradiště na Rokycansku (1834–1895). Ed. Cironis, 1995, 10–54.

**Kron. Chvalatic:** Kronika obce Chvalatice 1945–1976. Státní okresní archiv Znojmo, fond Místní národní výbor Chvalatice, inv. č. 113, sign. K-I 5.

**Kron. Jalubí:** Kronika obce Jalubí. Státní okresní archiv Uherské Hradiště, fond MNV Jalubí, I: 1. svazek 1924–1947, inv. č. 1; II: 2. svazek 1948–1962, inv. č. 3; III: 3. svazek 1963–1972, inv. č. 4; IV: 4. svazek 1973–1994, nezpracováno.

**Kron. Jihlavy:** Kronika města Jihlavy 1500–1577. Moravský zemský archiv Brno, fond G 11 Sbíрка rukopisů Františkova muzea Brno 1300–1899, inv. č. 872, rkp. č. 767.

**Kron. Knora:** Kronika Josefa Knora z Dolan. Ed. Robek, 1957–58, 100–104, 146–151, 195–200.

**Kron. Konorzova:** Kronika France Konorzy a jeho pokračovatelů. Eds. Indra, Turek, 1946, 259–317.

**Kron. Kučerova:** Kronika Dominika Kučery. Státní okresní archiv Blansko, fond Archiv města Boskovice, inv. č. 109.

**Kron. Milešovic:** Obecní kronika Milešovice 1921–1965. Obecní knihovna Milešovice, přírůstkové číslo 2181.

**Kron. Mladočova:** Mladočov — školní (obecná škola) kronika (č. 180) — 1806–1930. Státní okresní archiv Svitavy, Mezifondový soubor kronik, KR 266.

**Kron. Podolských:** Kronika Podolských, která byla počata r. 1571 drahotušským radním písařem Janem Podolským a v níž pokračovali do r. 1615 jeho syn Matěj Sabina, do r. 1619 radní písař Bartoš Vodička a zápisem k r. 1683 jí ukon-

čil písař Jan Konorza. Eds. Indra, Turek, 1946, 227–259.

**Kron. rod. Fuksovy:** Kronika rodiny Fuksovy. Ed. Verbík, 1982, 39–92.

**Kron. rod. Pitasovy:** Kronikářské zápisky rodiny Pitasovy z Bohdašína (Vršovka). Ed. Robek, 1976, 46–49.

**Kron. Sáňků:** Knížka pro paměť. Kronika rodiny Sáňků z Doubravice nad Svitavou a z Rájce-Jestřebí. Soukromá sbírka.

**Kron. Sebranic:** Kronika obce Sebranice. Státní okresní archiv Blansko, fond Archiv obce Sebranice, inv. č. 12.

**Kron. Urbaníka a Hořínka:** Kronika rychtářů Urbaníka a Hořínka z Velké Bystřice. Ed. Roubic, 1987, s. 223–238.

**Kron. Vranečky:** Kronika Jana Vranečky (1725–1848). SOkA Vsetín, fond Archiv obce Zašová, nesignováno.

**Kron. Vsetína:** Pavlík, R., 1960: Kronika města Vsetína z let 1850–1930. Strojopis. Státní okresní archiv Vsetín, fond Archiv města Vsetín 1674–1945 (1960), inv. č. 134.

**Křeček:** Kronika Václava Křečka z Dobrušky. Ed. Robek, 1978b, 5–108.

**Kuchemeister:** Historische Aufzeichnungen aus J. 1552 und 1616 vom Schulmeister Christoph Kuchemeister in Königswalder Schöppenbuch. Ed. Richter, 1940, 172–173.

**Langer:** Johann Josef Langer, Anmerkungen deren besonderen Begebenheiten, die Bey Römerstadt und der Herschaft Janowitz seit derer Entstehung, bis auf Jetzige Zeiten sich zu getragen werden, 1355–1811. Ed. Tutsch, 1914, 7–43.

**Lauttner:** Paměti plzeňského měšťana Jana Lauttnera (1330–1788). Knihovna Západočeského muzea v Plzni, sign. 513 A 2.

**Lehmann:** Witterungs-Geschichte. Auszug aus den Titl: Lesenwürdige Sammlungen der hinterlegten Jahrgängen. Von Anton Lehmann Lehrer in Neuland. Abgeschrieben durch Joseph Meißner. Státní okresní archiv Česká Lípa, fond Sbíрка rukopisů, sign. 13/3.

**Let. hradištsko-opatovické:** Let. hradištsko-opatovické (Annales Gradicenses-Opatovienses). Ed. FRB, II, 282–303.

**Let. měšťana NMP:** Letopis měšťana Nového Města pražského z let 1492–1539. Ed. Zilynskyj, 1984, 57–87.

**Leupold:** Martin Leupold von Löwenthal, Chronik der königlichen Stadt Iglau (1402–1607). Ed. d'Elvert, 1861.

- Liber memorabilium:** Liber memorabilium (Pamětní kniha Chrudim 1745–1748). Státní okresní archiv Chrudim, fond Archiv města Chrudim, inv. č. 335.
- Lidový kronikář:** Zápisky neznámého lidového kronikáře z Vamberka na předešlé knihy Edelbertusa Nymburského. Ed. Robek, 1976, 117–120.
- Locatelli I:** Josephus Locatelli, Babylon Bohemiae ab anno 1780 usque ad annum 1790. Ed. Podlaha, 1905.
- Lukotka I:** Kronika Josefa Lukotky (1903–1911). Státní okresní archiv Vsetín, fond Archiv města Vsetín 1674–1945 (1960), inv. č. 132.
- Lukotka III:** Kronika Josefa Lukotky (1915–1918). Státní okresní archiv Vsetín, fond Archiv města Vsetín 1674–1945 (1960), inv. č. 133.
- Lukotka IV:** Kronika Josefa Lukotky (1918–1923). Státní okresní archiv Vsetín, fond Archiv města Vsetín 1674–1945 (1960), inv. č. 133b.
- Luňák:** Josef Luňák, Historiky boleslavské z let 1825–1876. Ed. Kamper, 1927–28, 241–257; 1928–29, 156–163, 199–206, 257–275.
- Lupáč:** Rerum Boemiarum Ephemeris sive Kalendarium historicum. Ex reconditis veterum annalium monumentis crutum. Authore M. Procopio Lupacio [de] Hlavaczov aeo, Pragensi. Opus nunc primum in lucem editum, una cum coronide ac locuplere personarum et rerum memorabilium indice. In idem kalendarium. Eruta dum patriae monumenta Lupacius edit, et bonus est civis, doctus et historicus. Suscitatur, amplificatur, manifestatur, promovetur, ornatur, maiorem patriam, tempora, gesta, duces. M. Bern. Sturmii. Pragae, Anno M.D.LXXXIII [1584]. Moravský zemský archiv Brno, fond G 21 Sběrka starých tisků, inv. č. 526, sign. III/160.
- Lůžek:** Kronikářské zápisky Jana Lůžka, učitele ve Vorasicích a Hřivicích. Ed. Robek, 1979, 114–124.
- Mašek:** Pamětní knížka, v které jsou mnohé hlavnější události, jež se skutečně staly, pro památku zaznamenány ode mne Václava Maška, sedláka ze vsi Vodokrta v létu Páně 1809im. Ed. Urban, 1997, 35–56.
- Matěj Pihert:** Pamětní kniha Matěje Piherta z Netluk čp. 29. Ed. Robek, 1979, 59–86.
- Mathesius:** Johann Mathesius, Chronica der kayserlichen freyen Bergstadt Sanct Jo[a]chimsthal der zuvor die Conradsgrün genent war [1516–1562]. Anhang in Johann Mathesius, Sarepta oder Bergpostill. Sampt der Jo[a]chimsztalischen kurzen Chroniken. Psalm. CXLVIII. Berg und Thalloberden HLRRN. Nürnberg, MDLII [1562]. Moravská zemská knihovna Brno, sign. L.VIII.187.
- Matuška:** Paměti některé od líta [sic!] 1586 ode mne Matyáše [Matušky] z Topolčan do kalendářů v krátce poznamenány jsou byly a nyní z kalendářů vypsáné, v kterémžto létu 1586 sem znamenal, že se v zemi této Moravské proměny mimo první líta [sic!] počaly [1586–1601]. Ed. Ondrůj, 1977, 171–175.
- Mikšovic:** Chronica civitatis Launensis in Boemia auctore Paulo Mikssowicz servo consulari [1490–1631]. Státní okresní archiv Louny, fond Archiv města Louny — kroniky, sign. Ch 1.
- Mnich sázavský:** Mnich sázavský, Chronicon (Monachi Sazaviensis Continuatio Cosmae). Ed. FRB, II, s. 238–269.
- Novákoví:** Kronika Martina a Františka Nováka z Dřínova u Zlonic [1770–1840]. Ed. Robek, 1974, 95–148.
- Novoměstské kroniky II:** Novoměstské kroniky: Kronika Kunstmüllerova, Kronika Chládkova, Kronika Čejkova, Kronika Kopřivova a mnohé roztroušené listiny. Ed. Trnka, 1912, 3–222.
- Novotný:** Jan Novotný z Poděbrad, Knížka poznamenání pamětíhodných [ch] věcí. Ed. Robek, 1978a, 165–172.
- Paběrky z Rožnova:** Josef Lucián Ondřej Kramoliš, Paběrky z dějou městečka Rožnova. Moravský zemský archiv Brno, fond G 11 Sběrka rukopisů Františkova muzea Brno 1300–1899, inv. č. 90.
- Památky rozličné:** Památky rozličné událostí z let 1135–1838. Státní okresní archiv Vsetín, fond Archiv města Vsetín, sign. 129a.
- Paměti Brodských:** Raudnitzer Denkwürdigkeiten vom J[ahre] 1718 bis 1781 aus dem Tagebuche einer Raudnitzer Bür[ger] Wen[zels] Nik[olaus] Brodsky abgeschrieben. Roudnická lobkowiczská knihovna — Zámek Nelahozeves, sign. VI Ef 26. Ed. Kopicčka, Kotyza, 2009, 143–212.
- Paměti Cítolib:** Kniha pamětí obce Cítoliby. Ed. Robek, 1979, 51–53.
- Paměti Chlumčan:** Obec Chlumčany. Pamětní kniha 1838–1845. Ed. Robek, 1979, 14–23.
- Paměti Kadaně:** Paměti města Kadaně. In: Stocklów, 1890.
- Paměti Lukšika:** Pamětní knížka Františka Lukšika. Státní okresní archiv Blansko, fond Archiv obce Voděrady, inv. č. 114.
- Paměti Mráčka:** Pamětní kniha Antonína Mráčka, púllánika z Nedakonice čp. 16, z let 1859–1866. Státní okresní archiv Uherské Hradiště, fond Archiv obce Nedakonice, inv. č. 12a.



- Paměti P. Svobody:** Pamětní knížka Petra Svobody z Tišnova. Ed. Rypáček, 1914, 201–214.
- Paměti rod. Jílků:** Kniha pamětní, totižto na psaní všelijakých věcí, které se někdy staly [1699–1799 (1828)]. Státní okresní archiv Litoměřice se sídlem v Lovosicích, fond Archiv města Roudnice nad Labem, Kniha památní (1695) 1699–1899, kronika č. 184. Eds. Kopička, Kotyza, 2009, 213–225.
- Paměti Rumíšků:** Paměti Rumíšků z Javorníka. Ed. Paměti starých písmáků moravských, 1916, s. 95–99.
- Paměti Solnice:** Starožitné paměti pro město Solnici. Ed. Robek, 1976, s. 21–45.
- Paměti Varnsdorfu:** Pamětní zápisy z Varnsdorfu. In: Palme, 1913.
- Pamětní kniha Heřmanovic:** Pamětní kniha obce Heřmanovice. Státní okresní archiv Bruntál, fond obce Heřmanovice, nestr.
- Pamětní kniha Hlinska:** Památní kniha školy hlínecké [1833–1849]. In: Adámek, 1908a.
- Pamětní kniha Hlíny:** Pamětní kniha obce Hlína II [1933–1986]. Státní okresní archiv Brno-venkov, fond C 26 Archiv obce Hlína, inv. č. 3.
- Pamětní kniha Litoměřic:** Kniha pamětní litoměřických městských písařů 1570–1607. Státní okresní archiv Litoměřice, fond Archiv města Litoměřice, sign. IV B 1a.
- Pamětní kniha mašovská:** Pamětní kniha mašovská (1836–1858). Ed. Šimáková, 1923, 61–72, 103–109.
- Pamětní kniha Plzně:** Kniha pamětní města Plzně od roku 775 do roku 1870, založená a sestavená Martinem Hruškou, městským archivářem. Ed. Koráb, 1883.
- Pamětní kniha rudá:** Pamětní kniha rudá [1628–1735]. Státní okresní archiv Chrudim, fond Archiv města Chrudim, inv. č. 333.
- Pamětní kniha Svitávky:** Pamětní kniha městečka Svitávky. Ed. Lipka, 1904, 26–32, 66–74.
- Pamětní kniha Tržku:** Pamětní kniha obce Tržku [1746–1963]. Státní okresní archiv Svitavy, Mezioborový soubor kronik, KR 71.
- Pamětní kniha Velvar:** Pamětní kniha města Velvar [1561–1801]. Státní okresní archiv Kladno, fond Archiv města Velvary, inv. č. 5.
- Paprocký:** Bartoloměj Paprocký z Hlohol a z Paprocké vůle. Ut apis ex amarissimis floribus, et asperri-  
mis spinis, mel suavissimum ac lenissimum colligit, sic exturpibus ac sceleratis fabulis, utcunque decerpi potest aliquid utilitatis. Cum consensu illustrissimi ac reverendissimi principii d. d. Zbignaei Berkae de Duba et Lippa, archiep. Prag. leg. nati tanquam supremi correctoris. Datováno v slavném Starém Městě pražském, v impressí dědice Jana Šumana, v pátek po památce Roze-  
slání svatých apoštolův, jinak 19. dne Julii, léta od Narození Syna Božího tisícího šestistého druhého. Kniha I.: Posloupnost knížat a králův českých, biskupův i arcibiskupův pražských a o klášteřích v Království českém [380 s.] (Paprocký, I). Kniha V.: O počátku a dávnosti měst v Království českém [265 s.] (Paprocký, II).
- Partlicius:** Calendarium perpetuum oeconomicum. Kalendář každoroční hospodářský, obsahující v sobě: I. Kalendář starý i nový vedle [sic!] jistého srovnání s jeho případnostmi. II. Dvanácte měsíců vypsání vedle běhu světél nebeských; item, správa, jak by se měl člověk kterého dne a měsíce chovati a co působiti; item, paměti historické. III. Dnů měsíčních a svátečních způsob hodin a života některých svatých lidí vypsání. IV. Roku čtyry částky s jich případnostmi a posloupnost let od počátku světa, aneb rejstřík historický. Nota. Na konci jsou přidání jarmarkové některých měst a městeček v Království českém i v okolních krajinách slavnějších, handlovním lidem ku pohodlí nemalému sloužící. Od Mistra Simeona Partlicia Třestského. [1618]. Moravská zemská knihovna Brno, sign. ST1–323.188.
- Pejšek:** Anton Pejšek ze Zlončic, Zápisy z let 1839–1844. Ed. Robek, 1958a, III/33–III/40.
- Pelargus:** De ternario paenarum, quibus affligit, affligit et afflicturus scelera nostra praemonet Deus, elegiae tres cum appendice ad lectorem authore Nicolao Pelargo Raconaeo. Praegae apud haeredem Schumanianum 1598. In: Truhlář et al., 1973, 137.
- Philomates:** O hrozném a velikém suchu zdržení dešťů a odtud následujícím nedostatku vody, jakéhož sucha žádný z lidí nynějších, ode sta let i výšeji, starých nepamatuje. Kázání učiněné v kostele domaželském (sic!). Nyní pak kvůli pobožných křesťanů k probuzení lidu Božího, k horlivému pokání a modlitbám svatým vůbec vydané. Odemne (sic!) kněze Daniele staršího Philomatesa, služebníka Slova Páně v Domaželicích (sic!), Notariusu Řádu kněžstva Páně evangelitského v podkrají (sic!) Holomouckém. Vytiště-

- no v Holomouci (sic!) u Jiříka Handle. Léta Páně 1616. Městská knihovna Praha, sign. 35 D 19.
- Pilát:** Paměti Jana Piláta Rakovnického z Jenštejna [1575–1605]. Ed. Dvorský, 1972, 161–172.
- Plachý:** M. Šimon Plachý z Třebnice, Paměti Plzeňské od nejstarší doby až do roku 1604 [1292–1604]. Ed. Strnad, 1883, 3–223.
- Podpory:** Přírodní katastrofy, podpory, přehledy podaných přihlášek (dle okresů), 1943 (I, II). Moravský zemský archiv Brno, fond B 40 Zemský úřad Brno, všeobecná registratura — III. manipulace (1886) 1936–1945, inv. č. 1108, sign. V-13a.
- Poznámky z Klementina:** Poznámky z Klementinských pozorování 1775–1839. Překlad Hlaváč, 1977.
- Požáry a záplavy:** Požáry, záplavy 1904–1905. Moravský zemský archiv Brno, fond B 13 Moravské místodržitelství — presidium 1850–1918, inv. č. 523, sign. 1/19.
- Pražák:** Kronika Františka Pražáka ze Starých Ouhořic. Ed. Robek, 1959, V/1–V/8.
- Přeměna přírody:** Přeměna přírody 1951–1954. Moravský zemský archiv Brno, fond B 124 Krajský národní výbor v Brně, I. a II. manipulace — dodatky, Krajská plánovací komise, inv. č. 193–194, sign. 127.
- Přípisky:** Přípisky v Historickém kalendáři Veleslavínově. Ed. Písecký, 1913, 134–146.
- Rambek:** Klíč od deště aneb Nová píseň v čas sucha. Prosba a klíč od deště, též za odvrácení hladu, moru, vojny i jiné potřeby celého křesťanstva ke cti Pánu Bohu Hospodáři Nebeskému, jež on v své moci má, též dešťové nejsvětější Panně Marii Matce Boží Vyšehradské a svatým patronům českým na den svatého Václava léta 1678, když po velikém suchu spadla z nebe ponejprv vděčná vlaha, na poděkování toho i posavad trvajících božího dobrodiní od Václava Šťastného Františka Rambeka, měštěnána N[ového] M[ěsta] P[ražského] k zpívání přihotovený. J[iž po] druhé vytištěný v Starém Městě Pražském u Daniele Michálka léta 1679. Ed. Novotný, 1940, 38–42.
- RDR II:** Registra dvoru ranského [1613–1623]. Státní okresní archiv Louny, fond Archiv města Louny, sign. I E 26.
- Reimchronik:** Reimchronik eines Iglauer Bürgers. Ed. Feifalik, 1859, 29–44.
- Rosacius:** Tempestates praecedentis et votum secundorum auspiciorum ineuntis anni ad ... d. Venceslaum seniorum Crocinum a Drahoeblyo, primatem, et d. Melchiorem Haldium a Neunpergko, senatore in Antiqua Urbe Pragensi patronos reipub. literariae observandos, scriptum a M. Adamo Rosacio. Anno Domini ineunte 1591. Praegae excudebat Iohannes Schuman. In: Truhlář et al., 1973, 350–351.
- RŠ:** Registra špitální. Iste liber pro hospitali et curia allodiali deputatus initium sui cepit post exustam hanc urbem etc. [1517–1543]. Státní okresní archiv Louny, fond Archiv města Louny, sign. I E 10.
- RVŠ III:** Registra zádušní, to jest vydání na potřeby dvorské a špitální na opatrování kněží, žákův a čeledi etc. [1586–1604]. Státní okresní archiv Louny, fond Archiv města Louny, sign. I E 36.
- RVŠ IV:** Registra zádušní, to jest vydání na potřeby dvorské a špitální na opatrování kněží, žákův a čeledi etc. [1605–1622]. Státní okresní archiv Louny, fond Archiv města Louny, sign. I E 37.
- Schmidt:** Anton Gottfried Schmidt, Die meteorologischen Aufzeichnungen [1500–1761]. In: Katzerowsky, 1887.
- Schober:** Der Pfarrer Jakob Schober, Chronica der Freyen Bergstadt in S. Joachimsthal, vom 1516. Jahr an, biss zu ende des 1617. Jahrs. Sampt einer Auslegung des CXXXIII. Psalms Johann Mathesii; Ecce florent valles cum Evangelio. Ed. Wolkan, 1890.
- Schůze pléna ZNR:** 12. zasedání Moravskoslezského národního výboru v Brně dne 16. prosince 1947. Moravský zemský archiv Brno, fond B 280 Zemský národní výbor Brno, Volené orgány a sekretariát, 1945–1948, inv. č. 12 Zápisy z 12. schůze pléna ZNR, orig., 16-19/12, 1947.
- Schück:** Josef Schück, Berechnung über jährliche Ausgabe und Einnahme. Vom Jahre 1793. Ed. Bachmann, 1911, 110–131, 254–281.
- SLČ:** Staří letopisové čeští od roku 1378 do 1527 čili pokračování v kronikách Přibíka Pulkavy a Beneše z Hořovic z rukopisů starých vydané. Ed. Palacký, 1941.
- Smrčka:** Řehoř Smrčka, Poznamenání některých pamětí od léta Páně 1587 [1587–1604]. Národní muzeum Praha, sign. IV C 23.
- Sovka:** Pamětihodné příhody zapisované v letech 1835–1864 Francem Sovkou z Radvanic. Eds. Baďura a redaktor, 1906, 100–106.
- Spillar:** Pamětní kniha učitele Františka Tomáše Spillara z Plzeňska z let 1771–1907 s přípisem jeho pokračovatele k r. 1844. Státní oblastní archiv Litoměřice — pobočka Žitenice, fond Velkostatek Mimoň — Stráž pod Rálskem, inv. č. 72.
- Státní podpora:** Požadavky na státní podporu při živelních pohromách. Moravský zemský archiv

- Brno, fond B 124 Krajský národní výbor v Brně, všeobecná registratura, IV. manipulace, 1959–1960, inv. č. 256, sign. zem/204/1-3 Rostlinná výroba všeobecně.
- Stepling:** *Observationes baro-scopicae, thermo-scopicae, hyeto-metricae ad anum 1752 factae per Jos. Stepling, Soc. Jesu Sacerdotem, Caesareo-Regium Studii Philosophici Pragensis Directorem, et lectae in concessu Philosophico X. Calendarum Junii, Anno 1753 celebrato.*
- Středovský:** *Kronika Jana Středovského z let 1432–1601.* Ed. Dudík, 1858.
- Špaček:** *Zápisky Šimona Špačka z Přerova [1764–1797].* Ed. Lapáček, 2003, 36–47.
- Šronský et Dusílek:** *Kronikářské zápisky Jana Šronského a Josefa Dusílka.* Ed. Robek, 1976, 103–115.
- Štelcar:** *Jan Štelcar Želetavský ze Želetavy: Kniha Duchovní o velikých skutcích Pána Boha všemohoucího: Rozličnými hystoriemi starými i novými ozdobená. V níž se obsahuje vysvětlení: Mohouli Čarodějníci a Čarodějnice sami od sebe Povětrí, Kroupy, Bouře, Hromobití vzbuditi a vyvésti. Z Písem Svatých, Učitelův Křesťanských i Pohanských sepsaná a nyní v nově vydaná. Od kněze Jana Štelcara Želetavského z Želetavy, toho času Faráře v Městečku Mnichovicích. Létha Páně: MDLXXXVIII. (Vytištěna a dokonána jest Kniha tato v Starém Městě Pražském u Jana Jitčinského [sic!] v Outerý den památný Nalezení S[vatého] Kříže).* Moravská zemská knihovna Brno, sign. 25363.
- Štěpán:** *Paměti Antonína Štěpána (1769–1794).* Ed. Martínková, 2005, 127–156.
- Švandovy paměti:** *Švandovy paměti.* Ed. Adámek, 1908, 54–69.
- Tadroví:** *Kronika Františka a Josefa Tadrů z Hostína [1790–1839].* Ed. Robek, 1974, 20–52.
- Theatrum Europaeum:** *Theatrum Europaeum, Oder Außführliche und Warhafftige Beschreibung aller und jeder denckwürdiger Geschichten, so sich hin und wider in der Welt, fürnämlich aber in Europa und Teutschen Landen ..., I. Band–XXI. Band [1617–1718].* Wolfgang Hoffmann, Franckfurt am Mayn, 1635 sq.
- Třč. Beneš Minorita:** *Kronika tak řečeného Beneše Minority a její pokračování (Chronicon quod dicitur Benessii Minoritae et Continuationes).* Ed. Dušek, 1968.
- Vavák:** *Paměti Františka J. Vaváka, souseda a rychtáře milčického z let 1770–1816.* Ed. Skopec, 1907–1938; Jonášová, 2009, 43–420.
- Vítek:** *Pamětní kniha obce Mašov, sepsaná rychtářem Václavem Vítkem [1824–1850].* In: Prokop, 1907.
- Vorlíček:** *Zápisky chalupníka Josefa Vorlíčka z Hostína.* Ed. Robek, 1958b, IV/22–IV/34.
- Vrbas:** *Paměti Jiřího Vrbasa z Písečného.* Ed. *Paměti starých písmáků moravských*, 1916, 33–62.
- Wald-Urbarium:** *Wald-Urbarium über samentliche obrigkeitliche Waldungen auf der Herrschaft Teltsch, Studein, Scheletau, anfangend vom 1770 [1770–1813, 1849].* Moravský zemský archiv Brno, fond F 238 Ústřední správa Podstatských-Lichtenštejnů v Telči (1400)–1948, inv. č. 36, kniha 37.
- Wenzl Čížek:** *Knížka rozličných pamětních věcí, které se v Panotejnici staly za časů našich, to jest od dne 13. června 1832.* Wenzl Čížek, mistr sedlářský [1832–1861]. Ed. Robek, 1979, 24–32.
- Z kněh pamětních starých:** *Z kněh pamětních starých města Litoměřic sepsaných od městského písaře Jana od Hradu a jeho následovníků [1500–1565, 1595].* Ed. Smetana, 1978, 124–139.
- Zápisky rod. Kantorků:** *Zápisky rodiny Kantorků.* In: Dobeš, 1945, díl III.
- Zápisník Houserů:** *Zápisky rodiny Houserů z České Skalice [1667–1823].* In: Schreiber, 1909.
- Zápisy Simona:** *Zápisy a výpisy Adolfa Simona v Kronice městyse Kunvaldu.* Ed. Simon, 1949, s 46–48.
- Záznam v právním rukopise:** *Letopisecké záznamy v litoměřickém právním rukopise ze 14. stol. označený nově „Das Magdeburger Recht“ [1426–1574].* Státní okresní archiv Litoměřice, fond Archiv města Litoměřice, st. sign. 12.
- Žabonius:** *Přípisky M. Jakuba Žabonia z Vyšetína ke kalendáři z roku 1616.* Zámek Nelahozeves — RLK, sign. VII. Ad. 120/kalendář na r. 1616.
- Žalanský:** *O sedmi ranách Božích těžkých a velikých, které mezi jinými válku českou předešly a hlásaly a které s právem Podromi a Classica, totiž, předchůdcové a hlasatelé války české, slouti mohou Traktátů sedm. 1. O hřímání a hromobití. 2. O povodních. 3. O země třesení. 4. O bouřlivém povětrí. 5. O suchu. 6. O drahu a hladu. 7. O válce, metle Boží nejtěžší a smutném nepohodlí jejím.* Sepsaných od kněze Havla Žalanského, služebníka Božího Slova u s[vatého] Jiljí v Novém Městě Pražském u Daniele Karla z Karlspergka. Léta M.DC.XX [1620]. Moravská zemská knihovna Brno, sign. 25.256.



---

# INTERNETOVÉ ZDROJE

<http://archivnimapy.cuzk.cz>  
<http://data.giss.nasa.gov/modelforce/strataer/>  
<http://edo.jrc.ec.europa.eu>  
<http://hydro.chmi.cz/hpps/index.php>  
[http://hydro.chmi.cz/hpps\\_pzv.php](http://hydro.chmi.cz/hpps_pzv.php)  
<http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1573>  
<http://lasp.colorado.edu/home/sorce/data/tsi-data/>  
<http://portal.chmi.cz>  
<http://solarisheppa.geomar.de/cmip5>  
<http://statistiky.vumop.cz>  
<http://vegdril.unl.edu/>  
<http://www.cecilia-eu.org/>  
[http://www.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P10\\_0\\_Aktualni\\_situace/  
P10\\_4\\_SUCHO&last=false](http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P10_0_Aktualni_situace/P10_4_SUCHO&last=false)  
[http://www.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/  
P4\\_1\\_12\\_Typizace\\_situaci&last=false](http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&last=false)  
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/nao/>  
<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi/>  
[http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](http://www.earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php)  
<http://www.ensembles-eu.org/>  
<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>  
<http://www.firebrno.cz>  
<http://www.intersucho.cz>  
<http://www.lucc.ic.cz>  
<http://www.meteoalarm.eu>  
<http://www.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>  
<http://www.pik-potsdam.de/~mmalte/rcps/>  
<http://www.sucho.eu>  
<http://www.svol.cz/aktuality/chradnuti-smrku-v-oblasti-severni-a-stredni-moravy/>  
<http://www.vumop.cz/>  
[http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC\\_Geographical\\_center\\_of\\_Czech\\_Republic\\_Cihost](http://www.waymarking.com/waymarks/WMCCEPC_Geographical_center_of_Czech_Republic_Cihost)  
<https://earth.esa.int/web/guest/data-access>  
<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar4-sysr-spm.pdf>  
<https://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/czech/ar5-wg1-spm.pdf>

---

# SUMMARY

## **DROUGHT IN THE CZECH LANDS: PAST, PRESENT AND FUTURE**

This book was conceived by its editors around 2011 and came into being through research collaboration within the funded “Interdrought” project (<http://www.intersucho.cz>), finalized in its current form in 2015. Its findings are based on large and robust datasets and represent the work of several authors from various university, research and practice teams in a number of disciplines. It aims to reach and inform decision-makers, scientists, students and the general public, primarily in the Czech Republic. However, all the figures and tables have been provided with bilingual captions (Czech/English) to make the information accessible to a wider international readership. This summary will briefly describe the objectives and the structure of the book, and then review its key results and conclusions in abbreviated form. The interested English-speaking reader is advised to contact the editors and/or to take advantage of the large body of references for additional information or explanations.

Drought may be defined as a negative deviation from the climatic water balance in a specific area over a given time interval. While the principal cause of all drought is lack of precipitation over time, higher air temperature, intense global radiation, low relative humidity and higher wind-speeds increase evapotranspiration (see e.g. Allen et al., 1998) and may thus contribute significantly to drought creation. According to Lloyd-Hughes (2013), a universal definition of drought must take into account the supply of water in the soil, the actual need for water, and its management. However, to date no comprehensive and generally accepted definition of drought has been coined, with such matters largely standing where they did 30 years ago (Wilhite and Glantz, 1985).

Depending on time-scale and impacts, drought is usually divided into four categories: meteorological, hydrological, agricultural and socio-economic (Heim, 2002; Dai, 2011b). Meteorological drought is signalled by indicators based on meteorological variables and its identification precedes the onset of

specific impacts. Agricultural drought is manifested by lack of water for plant growth and lasts from several weeks to 6–9 months. Within this time-span, both agricultural crops and forests may be affected. Hydrological drought is characterized by a lack of water in rivers, reservoirs or aquifers but, in the same way as socio-economic drought, becomes apparent after a relatively longer period of time (from several months to years). Socio-economic drought usually accompanies the signs of hydrological drought, but expands to include situations in which drought starts to impact upon large segments of society beyond of the already-mentioned sectors of agriculture (and forestry) and water management. Lack of water may negatively affect tourism, industrial production (due to lack of process water), electricity generation (lack of water for the production itself, in hydroelectric power stations, or lack of water needed for cooling), population (lack of drinking water, possibly agricultural products) and subsequently the whole economy and society. While meteorological drought is relatively easy to assess by means of measurements, indicators or more sophisticated models, judgements of drought episodes in the pre-instrumental period are usually based on the occurrence of significant drought impacts, identifiable in documentary sources (e.g. low crop yields, low stream flows, socio-economic problems) or proxy data (e.g. narrow widths of tree rings indicating dry periods). Drought has important implications for many aspects of human society and affects its supporting activities. Several studies have warned of the growing risk of drought in Central Europe (e.g. Brázdil et al., 2009b). The risk appears particularly acute when climate change and its impacts are considered, as drought will almost certainly be one of the fundamental problems to beset the region through anthropogenically-enhanced future climate change (Trnka et al., 2011; Eitzinger et al., 2013; Trnka, 2014).

This book is an attempt to compile a comprehensive analysis of drought and its impacts in the

Czech Republic, past, present and future. This is ambitious; it is an unusually broad topic, perhaps beyond the scope of a single book. However, the authors have tried to gather together existing scientific knowledge that can, in turn, become a springboard for continuing reorientation and further research into drought and its impacts. The importance of drought as a research subject is confirmed by the fact that drought is the second most important hydrometeorological extreme (after flood) in the Czech Republic, and beyond, with significant economic impacts (Brázdil et al., 2007a). The book starts with a general introduction. Chapter 2 provides an overview of current knowledge of drought in the Czech Republic, based on previously-published academic contributions. Chapter 3 focuses on the data and methods required to study drought – among them information about temperature and precipitation series based on instrumental measurements as a basis for the calculation of basic drought indices. It also reviews the hydrological measurements that underpin preparation of hydrological drought indices and describes the documentary/archival data that have been employed to glean information on drought in the pre-instrumental period. The chapter also covers the dendrochronological data that may be used to study drought, as well as various indices of drought based on remote sensing methods. Chapter 4, the most exhaustively approached part of the book, first provides an analysis of drought in the Czech Lands based on drought indices calculated for the period of instrumental observations. However, it also takes into account the intensity of droughts based on a detailed model of soil moisture and provides a combined 500-year drought chronology for the Czech Lands derived from documentary and instrumental data. In addition, an oak ring-width dendrochronology demonstrates its use in the study of drought episodes in the long-term, going back to the 8th century CE. Analysis of synoptic causes of drought and the influence of selected drought forcings forms part of Chapter 5, together with detailed analysis of changes in land use with respect to keeping water in the landscape. Chapter 6 addresses selected impacts of drought on agriculture, forestry and water management in the Czech Republic. Chapter 7 describes the consequences of several projected pathways for future emission scenarios in the light of burgeoning greenhouse gases, not only in terms of future drought frequency and severity, but also of drought impacts on certain

sectors of the national economy. This chapter also considers adaptation options. The last chapter summarizes the main findings of the book.

The book builds upon several decades of research and data collection that have enabled the creation of an extensive chronology of drought episodes and analysis of their long-term fluctuations, frequency, intensity, duration and synoptic causes. Equal attention is paid to the consequences of drought episodes for agriculture, forestry and water management. The main results may be summarized as follows:

a) During the 1961–2012 period, for which instrumental data were available from the highest number of meteorological stations, we note a trend towards increased drought occurrence at most stations. These tendencies were not only disclosed by various drought indices but also appeared in estimated soil moisture anomalies. This increase in drought may well be attributable to rising temperatures, global radiation and decreasing air humidity, combined with stasis of precipitation totals. The most alarming trend appeared to be progressive decrease of water reserves in the soil in the critical months for agricultural and forest production (i.e. May and June). This explains increased variability of soil moisture content in the summer months.

b) Analysis of long-term drought fluctuations (1805–2012) is based on monthly series of drought indices based on 1- and 12-month Standardized Precipitation Evaporation Indices (SPEI-1 and SPEI-12) together with Palmer Z-index (Z-index) and Palmer Drought Severity Index (PDSI). All four of these indices indicated a significant trend towards increased dryness in spring. Indices representing long-term anomaly of water balance (SPEI-12 and PDSI) showed the same result for the whole year and summer, and to a lesser extent for autumn. No conclusive drying trends were noted for winter, but in some regions a trend toward increased wetness was evident. The drying trends have been driven by a major air temperature increase, leading to higher potential evapotranspiration (and therefore to a major shift in the climatological water balance).

c) Analysis of long-term fluctuations of drought episodes in the Czech Republic was made possible by a combined drought chronology compiled from documentary sources for the pre-instrumental period as well as drought indices calculated for the instrumental period. Utilization of dendroclimatic data as a part of such a combined chronology is proving difficult at present, due to the complicated



relationships between the actual occurrence of drought and oak tree-ring chronology. Based on current knowledge, it was possible to estimate the frequencies of dry years over the territory of the Czech Republic between 1501 and 2012. Viewed in terms of fifty-year periods, the greatest number of years with dry episodes were recorded between 1951 and 2000 (26), followed by the periods 1751–1800 (25), 1701–1750 and 1801–1850 (24), with the lowest rate of dry years observed between 1651 and 1700 (16) and 1551–1600 (19).

d) The available data provided convincing evidence that several extraordinary episodes of drought have occurred in the region on the course of the last few centuries. Among those were episodes before the instrumental period (especially in the years 1534, 1536, 1540, 1590, 1616, 1718, 1719, 1726, 1746, 1790), as well as droughts that could be mapped using instrumental records (especially in 1808, 1809, 1811, 1826, 1834, 1842, 1863, 1868, 1904, 1911, 1921, 1947, 1953, 1959, 1992, 2000, 2003, 2007 and 2012). These dry episodes had significant impacts on the daily life of the population and, in many cases, manifested as, for example, considerable increases in food prices followed by the adoption of emergency measures. However, for all the effort that went into the research, analyses were hampered by the relatively short lengths of the data series and limited spatial (and temporal) density of data in some parts of the record. However, for the first time, this book provides a comprehensive overview of the incidence of episodes of drought, taking advantage of several newly-available data series. The results show conclusively that, despite relatively wide variability in drought frequency, a trend towards increasing drought intensity may be identified.

e) Although the study has not yet been able to make full use of dendroclimatic data for drought reconstruction, this has provided a unique tool for investigating the variability of drought throughout the 761–2010 period. It has therefore become possible partially to extend the drought chronology for almost 750 years. The dendroclimatic data indicated a greater frequency of years with minimal increments (possibly caused by occurrence of a dry season) at the end of the 9th century, in the late 12th and early 13th centuries, in the mid-17th century and at the beginning of the 19th century. Conversely, a lower number of years with low growth appeared for the end of the 11th century, the second half of the 14th century and first half of the 18th century. A lower number of years with low growth was also

noted towards the end of the study period, but these dendroclimatic data are influenced by anthropogenic factors that may well reduce sensitivity to a lack of moisture (e.g. the influence of increased CO<sub>2</sub> and/or nitrogen availability). The most extreme years emerged as 945, 1142 and 1653.

f) Analysis of the synoptic conditions during dry episodes prevalent in the 1850–2010 period showed that the incidence of drought between April and September in the Czech Republic (and its neighbouring areas) was associated with the influence of the Azores anticyclone, with a ridge of high pressure extending from it into Central Europe. This ridge is less marked in April and May and is conversely very significant in September. Low air pressure during these drought episodes appeared in the region of the North Atlantic, Scandinavia and the Eastern Mediterranean. The pressure distribution between April and September generally favours the prevailing anticyclonic character of the weather in Central Europe, with above-mean temperatures and below-mean rainfall, essential preconditions for the occurrence of drought.

g) The results of drought attribution based on short-term and long-term drought indices (1883–2010) demonstrated a crucial anthropogenic effect. Rising temperatures generated by the increase in greenhouse gas (GHG) concentrations was shown to be the leading cause of increasing drought frequency in recent decades. Also noteworthy were the results suggesting possible consequences of volcanic activity, with a tendency towards drier conditions in periods following major volcanic eruptions; further, solar activity and Multidecadal Atlantic Oscillation had no significant effects. It is therefore obvious that considerable changes in the hydrological balance of the territory of the Czech Republic manifested, for example, in the form of lower soil moisture content in some seasons, may clearly be attributed to ongoing global changes. Projected global temperature increases could therefore have highly negative consequences.

h) Human activity in the landscape of the Czech Lands had led to a major shift in patterns of land use. This in turn has had both overall and regional impacts on the amount of water in the landscape and its rate of runoff. This trend has been particularly significant in the floodplains of major rivers artificially straightened for transport and other purposes. Further, large numbers of land reclamation projects have been undertaken to obtain new arable land or provide space for building,

forcing change especially in waterlogged zones and dramatically reducing the extent of natural floodplain forests. On the other hand, significant volumes of water have been retained by extensive damming projects, greatly reducing the occurrence of low flow on the major rivers.

i) Technological advances in agriculture have significantly increased production levels, so the effects of drought episodes should not, therefore, constitute a direct threat to the country's food security. However, in the last 20 years, a disturbing trend toward increased sensitivity of food production to the higher occurrence of drought has been noted. Forestry, in particular, suffers in these circumstances. An increased risk of forest fires was found, which together with higher incidence of vegetation stress (frequently caused by drought) could lead to alterations in traditional management principles. Despite the fact that drought events are not particularly attractive to the media and remain absent from public debate, adaptations to drought are widespread on the part of the Czech population. This indicates that the problem of drought and its impacts might be of more concern (or might be perceived as so) to society than media coverage would suggest.

j) The projections of climate change in Central Europe presented here indicate a risk of prolonged and intense drought episodes, particularly in the period from April to September. These would have major impacts on the agriculture, forestry and water management sectors. They would adversely influence the stability of agricultural production, the growth of wood, and the flow of rivers – and with the latter, water provisions. The expectation that such drought episodes will occur, more extreme than previously, leads to the conclusion that severe impacts (e.g. large and significant declines in agricultural and forestry production, extensive forest fires and/or regional scarcity of water resources) may well become reality. It should be noted that, in the Czech Republic, these phenomena have occurred (in relation to drought) only to a limited extent in recent decades.

In the light of the trends identified and projections of future conditions, it should be noted that drought is not a problem related to only the Czech Republic or Central Europe. In fact, Central Europe is only one of several regions in which drought frequency is expected to rise (e.g. Stocker et al., 2013), while surface runoff is likely to decrease (Davie, 2013). An increase in the frequency of natural disasters has already been

recorded, appearing in insurance company data (e.g. Munich Re, 2015). These indicate that, if the number of natural disasters in the 1980–2014 period (for which the most complete data are available) is addressed, then the decades from 1995 to 2014 suffered more than twice as many natural disasters compared to the 1980s (1980–1989). During the 1980–2014 period the number of natural disasters arising out of climatic factors (including drought) also doubled. Moreover, recent episodes of drought, as have occurred in Russia (2010), the US (2011–2012), China (2013) and Brazil (2014), always ranked among the top ten events incurring the highest recorded damage in any given year. The economic consequences of major drought events even proved comparable with the devastating effects of earthquakes and tropical storms in financial terms (Munich Re, 2015).

The results of the research that went into this book point to the fact that Czech society will have to be prepared to deal with episodes of drought in practically all regions of the country. The data also show that the areas in which the frequency and intensity of drought episodes may be the highest have at the same time relatively low adaptive capacity (e.g. due to lower availability of natural and economic resources). This is especially true for regions in the south-east (south Moravia) and north-west (north-west Bohemia) of the country. Measures targeted on reducing the vulnerability of the territory to drought should be considered across the country, but should also take other hydrometeorological risks into account. That such matters will have to be addressed urgently will become inevitable as ongoing global climate change in Central Europe will lead not only to the increase in the frequency and severity of droughts highlighted here, but also in other hydrometeorological extremes such as, for example, floods and flash floods (Stocker et al., eds., 2013). For this reason, it is essential that adaptation measures be conceived that would prepare approaches to the increasing risk of drought and flood. Situations in which minimizing vulnerability in a given area to one type of extreme event compromises resilience to another type of extreme should be considered part of such an adaptation paradigm.

In order to address negative climate trends and growing exposure of the area to major drought event(s), it is necessary to raise the awareness of administrative bodies, especially the regional and central government authorities, and prepare specific plans for application in the event of drought. Given

the nature of drought and the fact that during the drought episode itself only little can be done to limit damage, it is essential to work systematically towards enhancing the capacity of individual businesses, communities and entire sectors successfully to withstand drought episodes. Such measures include:

- systematically improving the retention capacity of the soil and landscape as a whole;
- optimizing of crop structure and crop/cultivar diversification, including appropriate utilisation of soil tillage and other agricultural technology;
- focus on the selection of tree species and forest types resilient to drought (and also to other known climate risks);
- raising awareness among the population, promoting and supporting individual responsibility (e.g. the economical use of water resources and the possession of various individual water storage systems);
- systematic preparation for the economic consequences of drought episodes during “good” years (e.g. creation of a trust or fund for the uninsurable risks inherent in agriculture);
- preparation of specific, direct and practical drought plans with clearly defined fields of responsibility, and updating them regularly;
- the early detection of the drought onset with the intention of taking appropriate and timely action, with the emphasis on minimizing direct physical loss and maximum awareness of those most potentially affected. Unprofessional, uninformed or inappropriate politically motivated approaches at all levels of management may result in proliferation of potential damage.

Overall, it is important to improve spatial and temporal information about the current state of drought and of forecasting the likely development any given drought event. Especially in the case of agriculture, the existence of early- and mid-term seasonal forecasts is seen as crucial in order to

mitigate the negative trend of increasing dependence of any given sector on climatic conditions. In many ways, the need to develop monitoring and forecasting tools applies to forestry and water management as much as it does to other sectors of the national economy beyond the scope of this book, among them energy production and tourism.

There is no doubt that the risk of drought and its impacts will continue to require systematic attention on the part of researchers and policy-makers alike in the coming years, not only in the Czech Republic but throughout Central Europe. Collaboration with neighbouring states is not only economically sensible, it is essential. A current example may be found in the establishment of a networked monitoring and warning system for agricultural drought in Central Europe (<http://www.intersucho.cz>), which could in future be integrated with systems that monitor meteorological and hydrological drought and its impacts. Close collaboration is needed not only in the field of drought monitoring, but also in preparation of drought plans in the meantime. This is not only because the exchange of experience is economical and efficient, but especially since measures taken in the event of drought may have consequences for neighbouring regions and areas.

This book is, in our view, an example of drought research as it should be conducted in the future and indicates directions for further research. Successful approaches to future drought events will be difficult without the proper tools for drought monitoring and forecasting, as well as in the absence of an understanding of the causes and consequences of past events. Such research should be conducted in collaboration between a number of various disciplines (e.g. climatology, historical climatology, bioclimatology, hydrology, environmental economics, and others) and institutions (academia, universities, meteorological and hydrological services, state administrations and other stakeholders) and should be adequately supported.



RUDOLF BRÁZDIL, MIROSLAV TRNKA A KOLEKTIV

**SUCHO V ČESKÝCH ZEMÍCH: MINULOST,  
SOUČASNOST, BUDOUCNOST**

Publikováno Centrem výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno  
Vydáno v rámci projektu „Vytvoření interdisciplinárního vědeckého týmu se zaměřením  
na výzkum sucha“ (CZ.1.07/2.3.00/20.0248)

První vydání 2015

Vytištěno UNIpress spol. s.r.o., Svobodova 1431, 511 01 Turnov

ISBN 978-80-87902-11-0