

## METODIKA PRO PRAXI

Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě

autoři: Miroslav Trnka, Petr Štěpánek, Filip Chuchma, Martin Možný, Lenka Bartošová, Petr Hlavinka, Jan Balek, Pavel Zahradníček, Petr Skalák, Aleš Farda, Daniela Semerádová, Jan Meitner, Monika Bláhová, Rostislav Fiala, Zdeněk Žalud

Poděkování:

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QJ1610072 „Systém pro monitoring a předpověď dopadů zemědělského sucha“.

Provoz předpovědi na portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) a poskytování předpovědí uživatelům zdarma je umožněno díky podpoře Akademie věd v rámci Strategie AV 21 a ve spolupráci se Státním pozemkovým úřadem.

ISBN : 978-80-87902-23-3

**© Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav a Mendelova univerzita v Brně, 2017**

ISBN 978-80-87902-23-3

Miroslav Trnka, Petr Štěpánek, Filip Chuchma, Martin Možný, Lenka Bartošová, Petr Hlavinka, Jan Balek, Pavel Zahradníček, Petr Skalák, Aleš Farda, Daniela Semerádová, Jan Meitner, Monika Bláhová, Rostislav Fiala, Zdeněk Žalud

# **Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě**

**METODIKA PRO PRAXI**

**Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky  
Český hydrometeorologický ústav  
Mendelova univerzita v Brně**

**2017**

### **Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě**

*Metodika popisuje způsob přípravy předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha a současně se zabývá tím, jak jsou tyto předpovědi spolehlivé a jak mohou být využívány. Schopnost předpovídat hodnoty půdní vlhkosti s výhledem až na 9 dní pomocí souboru modelů pro numerickou předpověď počasí sebou nese i nové možnosti reakce v oblasti zemědělství. S ohledem na poměrně vysokou míru předpověditelnosti jak půdní vlhkosti i intenzity sucha metodika představuje základní postupy, které je možné využít pro přijetí vhodných opatření od využití závlah po extenzifikaci produkce. V rámci této publikace jsou pak jako příklad prezentovány výsledky analýzy úspěšnosti předpovědi zpracovávané v reálném čase v roce 2017. Prezentovaný systém je plně funkční a využitelný i pro následující sezóny na portále [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz).*

### **System for monitoring and forecast of impacts of agricultural drought**

*The methodology describes how to predict soil moisture and drought intensity, and at the same time addresses reliability of the predictions and how these can be used. The ability to predict soil moisture values over a period of up to 9 days is presented through using ensemble of models for numerical weather forecasts. This method brings also new opportunities to mitigate impacts during drought events by farmers using such forecasting tools. With regard to the relatively high predictability of soil moisture and drought intensity, the methodology introduces the basic procedures and provides necessary information for the users. In this methodology, the results of 2017 drought event are presented as an example. The drought forecasting system for the Czech Republic is fully functional and is and will be available through [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz).*

#### **Oponenti:**

Ing. Pavel Růžek, CSc. - Výzkumný ústav rostlinné výroby v.v.i.

Ing. František Pavlík, Ph.D. – Státní pozemkový úřad

Metodika je určena především vědeckým pracovníkům, zemědělským podnikům, zemědělským poradcům a zástupcům veřejné správy.

Metodiku schválil Státní pozemkový úřad pod č.j. 2/2018-SPU/O

## OBSAH

I.	Cíl metodiky.....	6
II.	Vlastní metodika.....	6
1.	Úvod .....	6
2.	Popis metod .....	7
2.1.	Možnosti odhadu půdní vlhkosti pomocí modelových nástrojů .....	7
2.2.	Charakteristika modelu SoilClim .....	7
2.3.	Popis vstupních dat pro prostorové simulace modelem SoilClim .....	9
2.4.	Charakteristika modelu AVISO.....	13
2.5.	Používané modely numerické předpovědi počasí.....	18
3.	Výsledky a diskuse .....	20
3.1.	Úspěšnost metod numerické předpovědi počasí – hlavní prvky.....	20
3.2.	Hodnocení předpovědi meteorologických prvků z IFS-ECMWF vstupujících do modelu AVISO a SoilClim .....	24
3.3.	Úspěšnost modelů numerické předpovědi počasí při odhadu půdní vlhkosti .....	30
3.4.	Detailní vyhodnocení úspěšnosti předpovědi půdní vlhkosti vycházející z předpovědního modelu IFS – ECMWF .....	34
3.5.	Srovnání úspěšnosti předpovědi intenzity sucha (SoilClim) z 5 meteorologických předpovědních modelů .....	39
3.6.	Vyhodnocení předpovědi sucha během suché epizody roku 2017 .....	43
3.7.	Dopady sucha roku 2017 – zamyšlení nad využitím předpovědi .....	51
3.8.	Nejistota/spolehlivost předpovědi a její vyjádření na <a href="http://www.intersucho.cz">www.intersucho.cz</a> .....	55
3.9.	Jak využívat předpovědní nástroje na <a href="http://www.intersucho.cz">www.intersucho.cz</a> .....	56
3.10.	System zpráv v systému <a href="http://www.intersucho.cz">www.intersucho.cz</a> a bonusové předpovědi .....	57
3.11.	Popis bonusové předpovědi agrometeorologických prvků a možnosti jejího získání ...	59
4.	Závěry .....	61
IV.	Srovnání novosti postupů .....	62
V.	Popis uplatnění certifikované metodiky .....	63
VI.	Ekonomické aspekty .....	63
VII.	Seznam použité literatury.....	64
VIII.	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	65

## I. CÍL METODIKY

Cílem předkládané metodiky je pomocí předpovědi stavu půdní vlhkosti a intenzity sucha, zlepšit rozhodovací procesy v zemědělském sektoru a zvýšit ekonomickou a ekologickou efektivitu zemědělské produkce. Zavedením systému včasné výstrahy lze výrazně zvýšit úroveň a stabilitu zemědělské produkce, zlepšit ekonomiku pěstování a zvýšením počtu korektních agrotechnických rozhodnutí přispět k dlouhodobé udržitelnosti hospodaření. Metodika přispívá i k vyšší konkurenceschopnosti tuzemského zemědělství v rámci EU a současně přispěje k redukci nežádoucích dopadů probíhající změny klimatu. Metodika je k dispozici primárně jako popis možnosti, které poskytuje předpovědní část portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) tj. <http://www.intersucho.cz/cz/predpoved/>.

## II. VLASTNÍ METODIKA

### 1. Úvod

Potravinová bezpečnost zejména ve smyslu zajištění stability produkce, představuje podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) závažný problém a byla jednou z nejvíce diskutovaných kapitol jeho obsáhlé zprávy (IPCC, WG II, 2014). V ní byl mimo jiné zdůrazněn význam definování správných priorit v agronomickém výzkumu, neboť se od něj očekává nalezení postupů, kterými lidstvo bude schopné vyprodukovat dostatečné množství kvalitních potravin udržitelným způsobem při současném zvládnutí celé řady nepříznivých skutečností. Probíhající změna klimatu s trendem nárůstu teplot již po celém světě způsobuje nárůst četnosti a intenzity některých nepříznivých jevů (Rahmstorf a Coumo, 2011, Gourdjji et al., 2013 nebo Liu a Allan, 2013), a velkou neznámou je vazba mezi globálním oteplováním a variabilitou počasí (Huntingford et al., 2013). Dostupné odhady budoucí produktivity uvádí, že bez adaptačních opatření dojde ke snížení světové produkce u pšenice, rýže a kukuřice ve všech hlavních produkčních oblastech, pokud globální teplota naroste více než o +2 ° C (Challinor et al., 2014). Přijetí v současné době dostupných adaptačních opatření by pak vedlo ke zvýšení výnosů o cca 7-15 %, což je ale výrazně méně než požadovaný nárůst očekávané celosvětové potřeby tj. o 60-70 % (FAO, 2009). Evropské a potažmo české zemědělství patří mezi významné exportéry některých klíčových komodit a role EU na zajištění potravinové bezpečnosti je a zůstane zásadní.

Je nutné si uvědomit, že střeoevropské zemědělství je a bude ve stále větší míře vystaveno dopadům klimatické změny, které se projevují mj. změnou v četnosti a závažnosti sucha. Celoevropská pilotní studie (Trnka et al., 2014), kterou opublikoval prestižní časopis NATURE – Climate change ukázala, že i přes velké nejistoty v klimatických odhadech dojde ve střední Evropě k nárůstu frekvence sucha a s ním spojených dopadů. V takové situaci získává na významu systém včasného varování před rizikem sucha a v případě zvládnutí suché epizody i informace o očekávaném průběhu. V současné době existují v ČR dva systémy monitoringu sucha ([www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz); [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)), přičemž první se zaměřuje na sucho zemědělské a jeho dopady, zatímco druhý na sucho půdní a meteorologické a dopady se nezabývá. Tato metodika vychází z poznatků v obou systémech a přináší současně návod na využití předpovědi sucha poskytovanou společně na portálu intersucho. Zaplňuje tak citelnou mezeru v informacích dostupných jak veřejné správě, tak komerčnímu sektoru. Pro efektivní agrotechnická i obchodní rozhodnutí je žádoucí získávat předběžné odhady očekávaného vývoje agrometeorologických podmínek v době, kdy je ještě

možné na situaci reagovat. Předkládaná metodika obsahuje návod na použití nového nástroje pro předpověď sucha vycházející z 5 špičkových klimatických modelů a to s výhledem až na +9 a ve vybraných případech i 16 dní. Tato předpověď je k dispozici v mapové podobě v základním rozlišení 500 m (tj. 25 ha) a umožňuje, aby jedna mapová vrstva vyhověla v zásadě všem typům uživatelů od expertů ministerstev řešících např. dopady sucha na hospodaření jednotlivých regionů v rámci ČR až po manažera/agronoma zemědělského podniku, který potřebuje informace pro operativní rozhodnutí.

## 2. Popis metod

### 2.1. Možnosti odhadu půdní vlhkosti pomocí modelových nástrojů

Obecně lze informace o půdní vlhkosti a dostupnosti vody pro rostliny získat pomocí řady metod a různých principů. Ať již se jedná např. o gravimetrickou metodu (přepočtení hmotnosti odebraného vzorku půdy z dané hloubky před a po vysušení za definovaných podmínek), měření sacího tlaku půdy tenzometrem, či měření některou z tzv. nepřímých metod (např. měření dielektrických vlastností půdního prostředí), jde o postupy, které jsou vzhledem k jejich pracnosti, nákladnosti a náročnosti na vybavení vázány pouze na podmínky v rámci sledovaných lokalit. Tímto způsobem jsou získávány velmi cenné údaje, avšak díky výše uvedeným okolnostem není možné pomocí zmíněných metod provádět kontinuální měření v hustých sítích, které by byly dostatečně reprezentativní pro celé regiony, státy či kontinenty v potřebném rozlišení (např. Km až stovky metrů).

V případech, kdy je třeba mít informace o pravděpodobném obsahu půdní vláhy z míst, která nejsou vybavena měřicí technikou (od úrovně lokalit až po síť měření v rámci rozsáhlých regionů) mají svůj nezastupitelný význam modely půdní vlhkosti využívající strukturu matematických vzorců a definovaných vztahů popisující chování systému půda-vegetace-atmosféra. Tyto postupy jsou založeny na definování a kvantifikaci jednotlivých složek vodní bilance půdního profilu. Např. Allen et al. (1998) definuje vodní bilanci půdy pomocí následujícího vztahu (1):

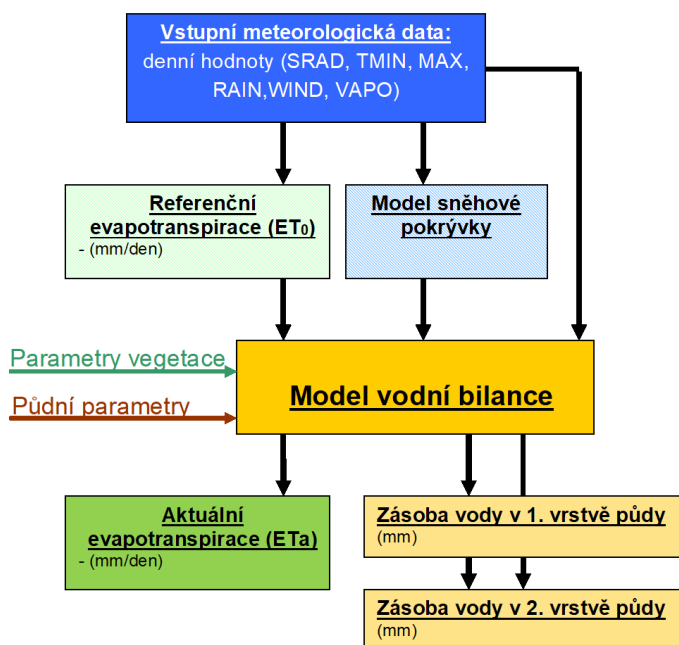
$$\Delta SW = P + I \pm RO + CR - DP \pm SF - ET \quad (2.1),$$

kdy změna obsahu půdní vláhy za sledované období ( $\Delta SW$ ) je výslednicí úhrnu srážek ( $P$ ), množství vody dodané prostřednictvím závlah ( $I$ ), bilance povrchového přítoku a odtoku ( $RO$ ), úhrnu dodané vody prostřednictvím kapilárního zdvihu ( $CR$ ), ztráty vody perkolací do hlubších vrstev ( $DP$ ), bilance podpovrchového přítoku a odtoku ( $SF$ ) a úhrnu evapotranspirace ( $ET$ ).

### 2.2. Charakteristika modelu SoilClim

Kvantifikace jednotlivých složek vodní bilance uvedených ve vzorci (2.1) je nezbytná pro řadu aplikací, ale i pro představu o chování studovaného systému za určitých podmínek. Za tímto účelem lze využít řady dostupných (přímých či nepřímých) metod měření nebo modelů.

Jedním z modelů, který je v rámci České republiky využíván pro kvantifikaci klíčových složek vodní bilance a zejména stavu půdní vlhkosti je model SoilClim, který byl vyvinut v rámci spolupráce Ústavu agrosystémů a bioklimatologie na Mendelově univerzitě v Brně s Ústavem výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. a dalšími pracovišti (Hlavinka et al., 2011). Tento software má modulární strukturu, přičemž klíčové části a jejich propojení je patrné ze schématu na Obr. 2.1.



Obr. 2.1. Struktura a propojení klíčových modulů modelu SoilClim (upraveno dle Hlavinka et al., 2011 a Brázdil et al., 2015).

Základním modulem je výpočet 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 by byl v ideální kondici a udržován na konstantní výšce 12 cm zajišťující určitou míru ventilace spolu s konstantní listovou plochou. Tento hypotetický travní porost je dále charakterizován odrazivostí slunečního záření 23 % a není nijak limitován dostupností půdní vláhy, živin a pod vlivem žádných jiných stresových faktorů, které by limitovaly jeho potenciální fyziologickou aktivitu definovanou mírou stomatální vodivosti (Allen et al., 1998). V rámci modelu SoilClim jsou konkrétní denní úhrny  $ET_0$  odvozeny na základě výpočtu dle Penman-Monteith (2.2), který pro tento účel patří k nejpoužívanějším na světě:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (2.2),$$

kde  $\Delta$  je sklon tečny křivky vodních par pro danou teplotu ( $\text{kPa}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $Rn$  je denní suma radiční bilance daného povrchu ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ ),  $G$  je denní suma toku energie do půdy ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$ ),  $\gamma$  je psychrometrická konstanta ( $\text{kPa}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $t$  je průměrná denní teplota vzduchu ( $^\circ\text{C}$ ),  $u_2$  je průměrná rychlost větru ve dvou metrech nad zemí ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $e_s$  je tlak nasycených vodních par ( $\text{kPa}$ ) a  $e_a$  je aktuální tlak vodních par ( $\text{kPa}$ ). Úroveň  $ET_0$  je přímo úměrně závislá na množství dostupné energie ( $Rn-G$ ), kde dominantní složku během růstové sezóny představuje energie přicházející ze Slunce, dále na denní teplotě vzduchu, rychlosti větru a v neposlední řadě velikosti sytostního doplnku ( $e_s - e_a$ ).



Evapotranspiraci konkrétního vegetačního povrchu (případně výpar z povrchu holé půdy) při zohlednění dostupnosti půdní vláhy nazýváme aktuální evapotranspirací (ETa) a můžeme ji vyjádřit např. dle vztahu (2.3):

$$ETa = ET_0 \cdot Kc \cdot Ks \quad (2.3)$$

kde Kc je koeficient popisující vlastnosti aktuálního povrchu vzhledem k referenčnímu travnímu porostu a Ks je koeficient vyjadřující dostupnost půdní vody pro evapotranspiraci. Kc parametr se v průběhu vegetační sezóny vyvíjí zejména na základě stavu listové plochy. Pro odvození pravděpodobných hodnot parametru Kc je v rámci modelu SoilClim definováno několik typů chování vegetačního pokryvu (Jarní polní plodina, ozimá polní plodina, trvalý travní porost, opadavé a stále zelené stromy apod.). Načasování nástupu jednotlivých vývojových fází a odpovídající dynamika vývoje Kc je pak v modelu definována pro konkrétní druhy plodin či odrůdy. Parametr Ks nabývá hodnot od 1 (v půdě je voda v dostatečném množství, stav se neprojevuje redukcí evapotranspirace) do 0 (v půdní vrstvě není pro rostliny dostupná žádná voda). Pokud půdní vlhkost klesne pod specifickou hranici, začne parametr Ks postupně klesat. Tento pokles redukuje hodnoty ETa a v určitém případě postupného vyčerpání půdní vláhy dochází až na dosažení tzv. trvalého bodu vadnutí (v tento moment již rostliny nejsou schopny překonat sací tlak půdy), Ks je rovna 0 a ETa je zastavena. Mezi specifika modelu SoilClim patří například zohlednění předpokládaného výskytu sněhové pokrývky, kdy voda vstupuje do půdy až v případě jejího tání (Trnka et al., 2010), či rozdělení půdního profilu na dvě vrstvy, jejichž hloubku může uživatel dle potřeby modifikovat. Jako vstupní proměnné model využívá denní meteorologické údaje (sumu slunečního záření – SRAD, maximální a minimální teplotu vzduchu – TMAX, TMIN, vlhkost vzduchu - VAPO, rychlost větru - WIND a úhrn srážek - RAIN). Mimoto je nutné ještě definovat půdní vlastnosti, tedy hloubku modelovaných vrstev (např. 1. vrstva 0-40 cm a 2. 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.

Použitý koncept odhadu obsahu půdní vláhy v rámci daných dvou vrstev vychází z bilančního přístupu, kdy se srážkovou vodou vždy nejprve plní svrchní vrstva půdy a v momentě, kdy je tato nasycena na úroveň polní vodní kapacity, dochází k dosycování hlubší druhé vrstvy. Pokud není svrchní vrstva nasycena na hodnotu polní vodní kapacity je dosycování hlubší vrstvy možné jen omezeně a pouze v případě dobré dostupnosti vody v horní vrstvě. Pokud jsou obě definované půdní vrstvy nasyceny na úroveň polní vodní kapacity a srážky i nadále převyšují odběr vody evapotranspirací, dochází ke ztrátě tohoto přebytku vody z půdního profilu vlivem perkolace.

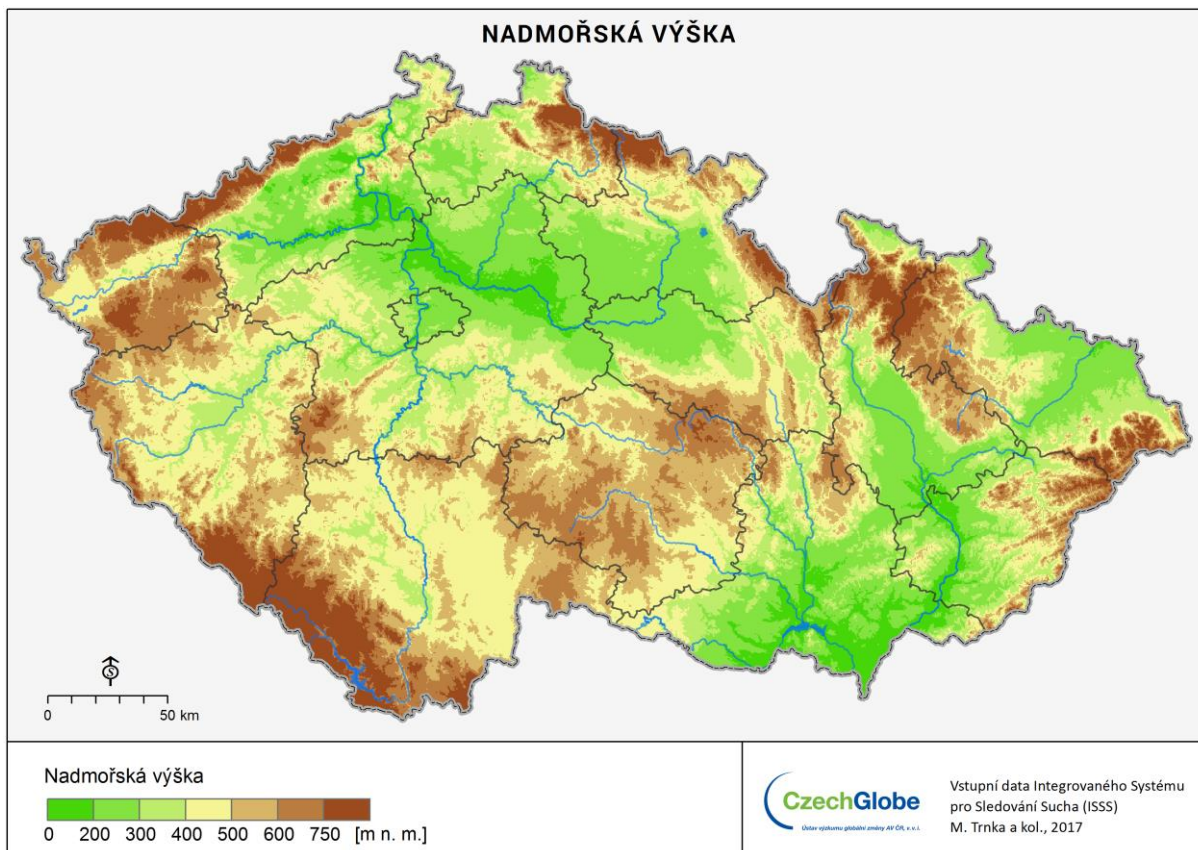
Mimoto je v rámci modelu započítán vliv intercepce, kdy určitá část srážkové a závlahové vody může být zachycena na nadzemní biomase porostu a nedopadne na povrch půdy. Voda v rámci intercepce se pak zpět do atmosféry dostává díky výparu, aniž by předtím byla v půdě či využita rostlinou. Tento úhrn bývá v rámci vodní bilance započítán jako součást evapotranspirace.

### 2.3. Popis vstupních dat pro prostorové simulace modelem SoilClim

Vstupní data jsou zpracována v prostředí GIS, kde bylo území České republiky, Slovenska a části Rakouska rozděleno sítí pravidelných buněk 500 x 500 m. Každá buňka nese jedinečný identifikátor, který dovoluje přenášet vstupní data z prostředí GIS do dalších aplikací, provádějících výpočetní operace, a zpět. Gridové buňky v prostoru představují matici, jejichž poloha je jednoznačně určena

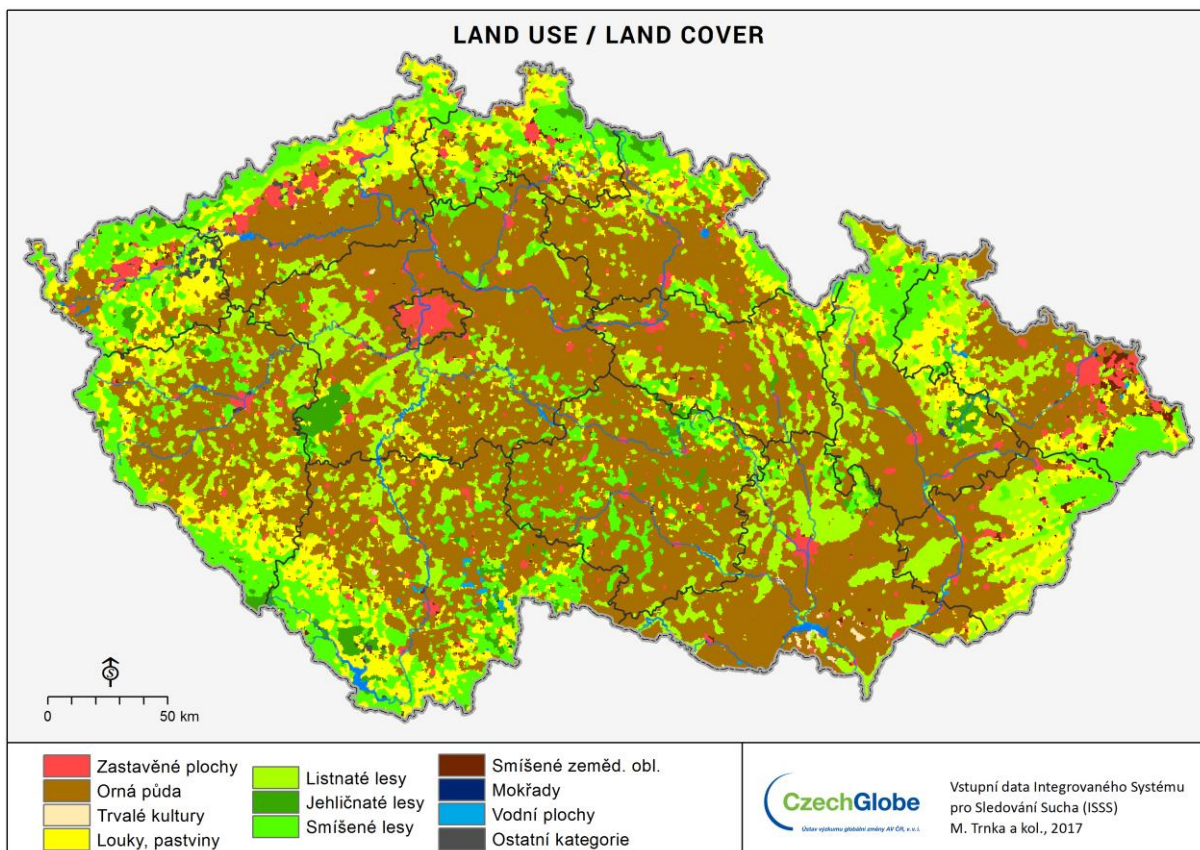
nejen řádkovým a sloupcovým indexem, ale i zeměpisnou šířkou a délkou, jež se vztahuje ke středu každé buňky. Informace ze vstupních vrstev byly přiřazeny jednotlivým buňkám na základě plošné reprezentace objektů zdrojových datových vrstev.

V prvním kroku byla přiřazena nadmořská výška. Pro rozšířený prostor České republiky, Slovenska a části Rakouska byl použit výřez digitálního výškového modelu Evropy (EU-DEM). EU-DEM byl pořízen v rámci projektu GMES RDA (Copernicus programme) pod záštitou Evropské komise a DG Enterprise and Industry v rozlišení 1 úhlová vteřina (přibližně 30 m) a projektován do souřadnicového systému ETRS89\_LAEA. Pro požadovaný geografický prostor byl výřez EU-DEM převzorkován podle základní gridové sítě na rozlišení 500 x 500 m a výsledná agregovaná hodnota nadmořské výšky byla vepsána do atributové tabulky gridových buněk (Obr. 2.2).



Obr 2.2. Digitální model terénu použitý pro simulaci modelem SoilClim

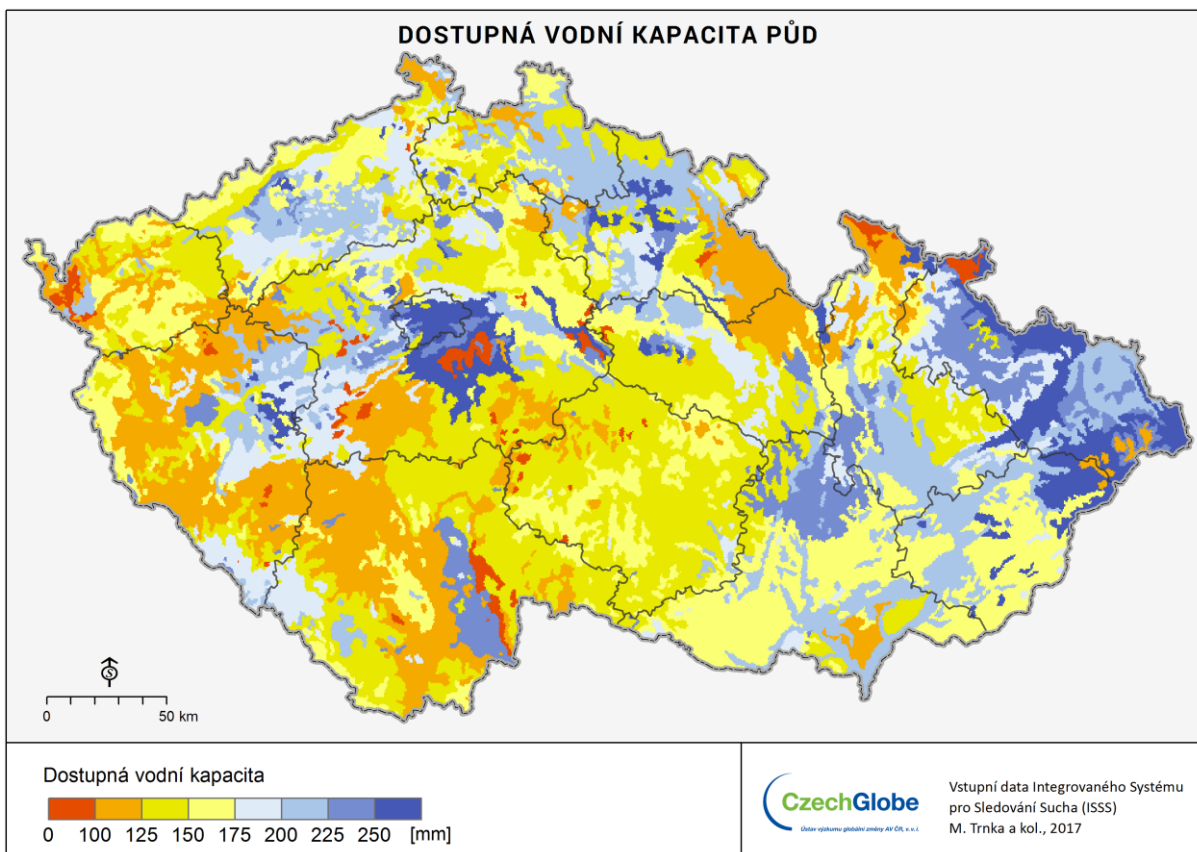
Informace o krajinném pokryvu a využití území vychází z dat CORINE Land Cover 2012 s prostorovou přesností 100 m a lepší. Dostupných 44 tříd bylo reklasifikováno do 13 hlavních kategorií: 1) zastavěná plocha, 2) městské zelené plochy, 3) orná půda, 4) trvalé kultury, 5) trvalé travní porosty, 6) listnaté lesy, 7) jehličnaté lesy, 8) smíšené lesy, 9) smíšené zemědělské oblasti, 10) křovinná vegetace, 11) holiny, 12) mokřady a 13) vodní plochy. Data byla opět převzorkována a hodnoty přiřazeny gridovým buňkám (obr. 2.3)



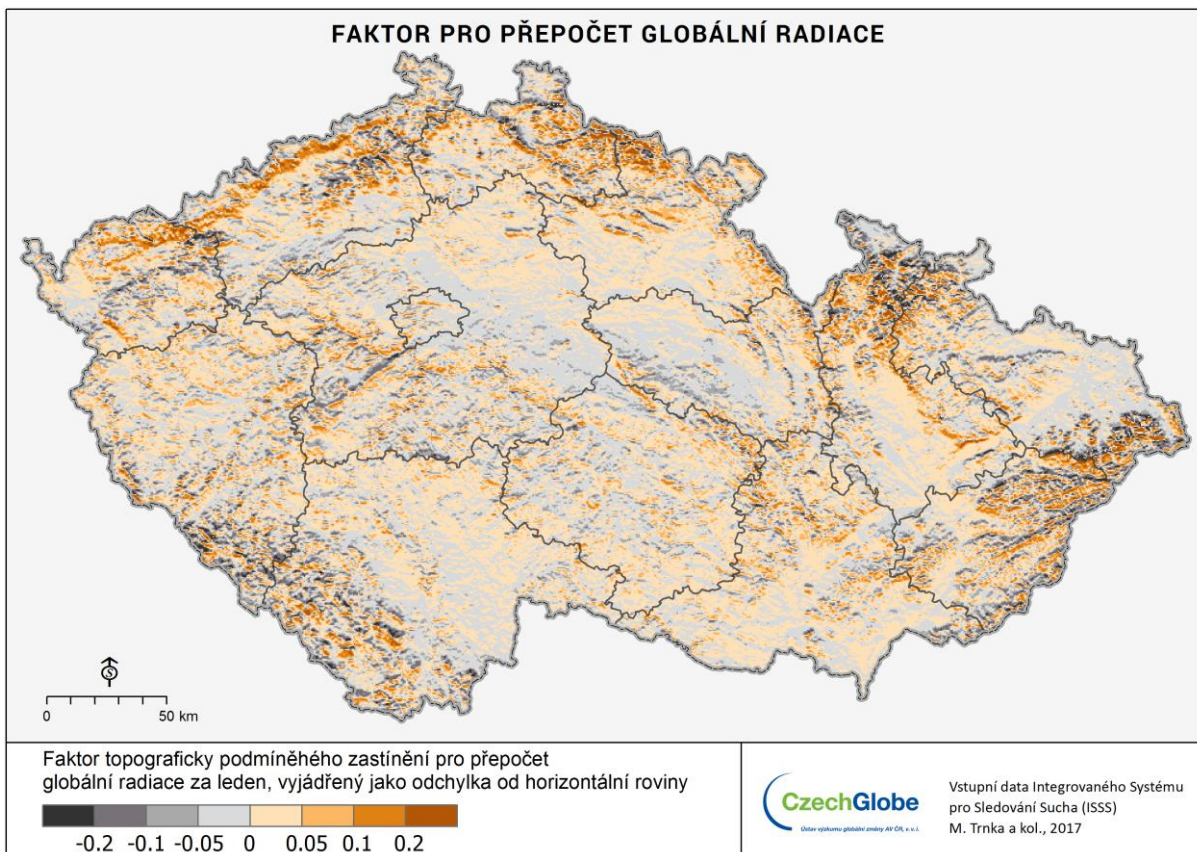
Obr. 2.3. Zastoupení jednotlivých typů využití území pro prostorové simulace modelem SoilClim

V dalším kroku následovala integrace půdní databáze do gridové sítě. Využita byla pedologická databáze Komplexního průzkumu půd - KPP (původně 1226 půdních sond) a digitální polygonová vrstva půdních typů 1:1 000 000 (Tomášek, 1995; Česká geologická služba, 2000). Česká půdní databáze byla kombinována s půdní mapou světa instituce ISRIC — World Soil Information, Wageningen, jež byla pak především využita pro prostor mimo území ČR. Tato databáze je založena na automatickém mapování půd, využívající kolekci půdních dat z půdních sond v kombinaci s volně dostupnými satelitními snímky, v rozlišení 1 km a 250 m. Z půdních vlastností byla extrahována především informace o využitelné vodní kapacitě půd. Hodnoty tohoto hydrolimitu na území přesahující hranice ČR byly korigovány pomocí databáze European Soil Database (ESDB) v2.0, European Commission and the European Soil Bureau Network (Obr. 2.4).

Gridová data byla dále doplněna o topografický faktor zastínění, potřebný ke korekci při výpočtu globálního záření z doby slunečního svitu (příklad viz. Obr. 2.5). Tento faktor zohledňuje poměry mezi přímým a difúzním zářením za bezoblačných podmínek. K jeho stanovení byl použit nástroj Solar Analyst v prostředí ArcGIS firmy ESRI, který umožňuje výpočet globální radiace z digitálního modelu terénu (DMR). Výpočet byl proveden pro každý měsíc v roce zvlášť, jednou se zohledněním topografických faktorů, tj. při analýze byly z DMR odvozeny sklonitost a orientace ke světovým stranám, podruhé byly tyto faktory nastaveny na nulu. Vzájemný poměr obou výsledných rastrů vypočítané globální radiace pak určuje topografický faktor zastínění.



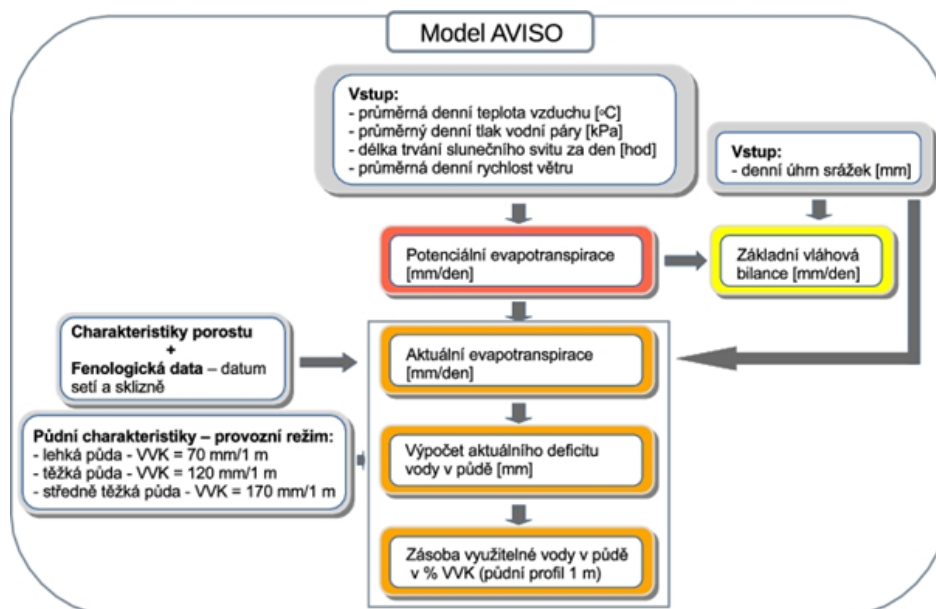
Obr. 2.4. Hodnota dostupné vodní kapacity použité pro odhad zásoby vody v půdě.



Obr. 2.5. Faktor topograficky podmíněného zastínění a změny úhrnu globální radiace v závislosti na expozici a sklonitosti gridu

## 2.4. Charakteristika modelu AVISO

Agrometeorologický model AVISO („Agrometeorologická výpočetní a informační soustava“) vznikl přibližně před 25 lety na brněnské pobočce Českého hydrometeorologického ústavu. Byl vyvinut dle anglického výpočetního modelu MORECS (“The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System“), verze I. a II. (Hough, Palmer, Weir, Lee, Barrie, 1997; Hough, Jones, 1997). Na pobočce ČHMÚ Brno je model od roku 1992 v operativním i režimovém provozu. V současné době je na ČHMÚ využíváno jeho výstupů k monitorování stavu a intenzity sucha v rámci Monitoringu sucha, převážně tedy z klimatologického hlediska. Základními zkoumanými veličinami (Obr. 2.6) jsou evapotranspirace (potenciální a aktuální), základní (klimatická) vláhová bilance a jako charakteristika prezentující stav vody v půdě je zde využito analýz hodnot zásoby využitelné vody v půdě.



Obr. 2.6 Schéma modelu AVISO

Potenciální evapotranspirace ET představuje celkové množství vody v mm, které se může vypařit z půdy (evaporace z půdy) a vegetačního krytu (transpirace rostlin) při současném optimálním nasycení půdního horizontu vodou a za konkrétních klimatických podmínek. V praxi to znamená, že hodnoty potenciální evapotranspirace jsou ovlivněny chodem a variabilitou základních meteorologických prvků (vyjadřují tak potenciál atmosféry odebírat vlhkost z vegetace a půdního krytu, která je maximálně dostupná). Nutno zdůraznit, že v přírodních podmínkách potenciální evapotranspirace převyšuje evapotranspiraci aktuální, a to hlavně v teplém půlroce, resp. ve vegetačním období, kdy je množství dostupné vody k vypařování nižší.

Fytometrické charakteristiky vypařujícího povrchu (u plodin např. plocha listoví, výška a efektivní výška plodiny, aerodynamická rezistence, rezistence plodiny apod.) jsou při výpočtu potenciální evapotranspirace po celý kalendářní rok nastaveny na maximální, resp. optimální hodnoty. Stejně je to u dalších charakteristik, mající vliv na výpar (albedo apod.).

Algoritmus modelu AVISO vychází z metodiky Penman-Monteith (výpočet evapotraspirace), navíc ale v sobě zahrnuje i některé prvky či postupy, které nejsou součástí základní a obecně používané rovnice pro výpočet potenciální evapotranspirace standardního travního porostu. Proto je lépe v tomto případě hovořit o evapotranspiraci travního porostu, počítané pomocí modifikované metody Penman-Monteith. Hodnoty evapotranspirace vypočtené modifikovanou metodou se částečně

budou blížit hodnotám aktuálním a budou poněkud nižší než hodnoty potenciální. Z toho mimo jiné vyplývá, že např. výsledná základní vláhová bilance potenciální (klimatická bilance) bude logicky na poněkud vyšší úrovni než za předpokladu základní vláhové bilance, počítané pomocí potenciální nebo referenční evapotranspirace. Jinými slovy, vláhová bilance bude vlhkově příznivější.

Úplná kombinovaná Penman-Monteithova rovnice pro určení evapotranspirace ET s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vyjádřením vlhkosti vzduchu pomocí tlaku vodní páry ve tvaru využívaného v modelu AVISO:

$$\lambda \cdot ET = \frac{\Delta \cdot (R_{ne} - G) + \frac{\rho \cdot c_p \cdot (E_s - E) \cdot \left(1 + \frac{[4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (273,16 + T_{scr})^3] \cdot r_a}{\rho \cdot c_p}\right)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right) \cdot \left(1 + \frac{[4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (273,16 + T_{scr})^3] \cdot r_a}{\rho \cdot c_p}\right)}$$

ET = intenzita evapotranspirace, tj. rychlost ztráty vody výparem [kg.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>].

$\Delta$  = skupenské (latentní) teplo výparné [J.kg<sup>-1</sup>],  $\Delta$  = 2465000 2,465 MJ.kg<sup>-1</sup>. V podstatě se nejedná přesně o konstantu, avšak malé změny  $\Delta$  lze vyjádřit jednoduchou rovnicí v závislosti na teplotě vzduchu. Do modelu nutno dosadit v jednotkách [J.kg<sup>-1</sup>].

$\Delta$  = sklon křivky napětí nasycené vodní páry při dané teplotě vzduchu [hPa. °C<sup>-1</sup>].

$\Delta'$  = obdobný význam jako u  $\Delta$ , pomocná proměnná při odvození teploty vypařujícího povrchu [hPa. °C<sup>-1</sup>].

$R_{ne}$  = radiační bilance na povrchu [W.m<sup>-2</sup>]. Položíme-li výchozí předpoklad shodnosti teploty vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m a teploty vypařujícího povrchu, potom platí  $R_n = R_{ne}$ .

G = tok tepla v půdě [W.m<sup>-2</sup>].

$\rho$  = hustota vzduchu [kg.m<sup>-3</sup>].

$c_p$  = měrné (specifické) teplo vzduchu při konstantním tlaku vzduchu a konstantní teplotě vzduchu 273,16 K [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>],  $c_p$  = 1004,6 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

$\Delta q$  = deficit specifické vlhkosti vzduchu na úrovni měření ve výšce 2 m [kg.kg<sup>-1</sup>].

$E_s$  = tlak nasycené vodní páry při teplotě vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa].

E = aktuální tlak vodní páry při teplotě vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa].

$\Delta$  = koeficient emisivity (vyzařování) vypařujícího povrchu [-],  $\Delta$  = 0,95.

$\sigma$  = Stefan-Boltzmannova konstanta [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>],  $\sigma$  = 5,675.10<sup>-8</sup> W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>.

$T_{scr}$  = teplota vzduchu měřená ve standardní výšce 2 m [°C].

$r_a$  = aerodynamická rezistence (odpor) [s.m<sup>-1</sup>].

$r_s$  = celková povrchová rezistence (odpor) plodiny a půdy [s.m<sup>-1</sup>].

$\gamma$  = psychrometrický koeficient (méně správně konstanta),  $\gamma$  = 0,66 pro teplotu vzduchu ve °C a tlak vodní páry v hPa nebo mb.

Výsledkem rovnice je intenzita evapotranspirace v [mm.s<sup>-1</sup>], pokud se konečný výsledek vynásobí počtem sekund za den, získáme hodnotu evapotranspirace ET v mm za den [mm.den<sup>-1</sup>].

Do problematiky evapotranspirace je v rámci modelu AVISO vzhledem k výše uvedené rovnici vnesena mírná odlišnost od původního vzorového modelu MORECS, kdy výpočet evapotranspirace probíhá taktéž v denním intervalu, avšak zvlášť pro denní a noční dobu. Výsledná hodnota evapotranspirace za den je pak obecně rovna jejich součtu:

$$ET = E_{\text{day}} + E_{\text{night}} \quad ET = E_{\text{day}} + E_{\text{night}} \quad (2.6)$$

Model AVISO předpokládá vstupy těchto meteorologických dat:

- průměrná denní teplota vzduchu [°C]
- průměrný denní tlak vodní páry [kPa]
- délka trvání slunečního svitu za den [hod],
- průměrná denní rychlost větru
- denní úhrn srážek [mm].

Při srovnání se standardními postupy výpočtu potenciální evapotranspirace metodikou Penman-Monteith má model AVISO následující specifika:

1. Algoritmus předpokládá přepočtení teploty vzduchu, měřené ve standardní výšce 2 m na úrovni meteorologické budky, na teplotu vypařujícího povrchu.
2. Radiační bilance je rozdělena na bilanci za denní a noční dobu. Na rozdíl od jiných výpočetních postupů se alespoň rámcově uvažuje s tokem tepla v půdě odděleně za denní a noční dobu. Při výpočtu za noční dobu se mimo jiné vychází z dlouhodobé průměrné tepelné kapacity půdy.
3. Odděleně se uvažuje vliv oblačnosti za denní a noční dobu.
4. Penman-Monteithova teorie vyžaduje znalost aerodynamické a celkové povrchové rezistence. Při výpočtu aerodynamické rezistence se dosazuje rychlost větru měřená v 10 m (standardní hladina pro měření rychlosti větru v síti klimatologických stanic ČHMÚ), nikoliv hodnota přepočítaná do standardní výšky měření v meteorologické budce. Toto je ve shodě s odvozením v modelu MORECS, přičemž vlastní přepočtení na standardní hladinu 2 m se děje až ve vlastní aplikaci. Celková povrchová rezistence, skládající se z rezistence holé půdy a travního porostu, je pro den jako celek v závěru počítána jako vážený průměr vypočítaných celkových povrchových rezistencí za denní a noční dobu.
5. Ångströmovy koeficienty v tzv. Ångströmově vzorci nejsou konstantní, ale nepatrně se mění v závislosti na zeměpisné šířce a na ročních obdobích.
6. Vybrané fyto-metrické charakteristiky travního porostu (index plochy listoví, výška a efektivní výška travního porostu) schematicky podléhají časovým změnám v průběhu roku. To platí i o koeficientu dynamické drsnosti, který je standardně roven 1/10 výšky travního porostu.
7. V průběhu roku se sledují časové změny albeda, a to v závislosti na indexu plochy listoví a vlhkosti svrchní části půdního horizontu.
8. Vybrané charakteristiky, které vstupují do výpočtu evapotranspirace travního porostu, se, pokud možno, počítají (latentní teplo výparné, hustota vzduchu a tlak vzduchu, psychrometrický koeficient).
9. Pro výpočet tlaku nasycené vodní páry se používá postup doporučený WMO, u nás publikovaný v rámci Národního klimatického programu ČR (Coufal, Langová, Míková, 1992). Algoritmus modelů nepoužívá zjednodušený postup podle Magnusova vzorce.

Vedle evaporačních, evapotranspiračních a bilančních charakteristik je jedním ze základních výstupů modelu AVISO aktuální vláhový deficit vyjádřený v mm, který charakterizuje množství využitelné vody v aktivním půdním profilu, chybějící do polní vodní kapacity. Odvozenou charakteristikou je pak zásoba využitelné vody v půdě v jednotkách mm nebo % využitelné vodní kapacity půdy. Rozumí se jí množství půdní vody, vyskytující se mezi základními půdními hydrolimity, a to mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí.

Obě výše uvedené agrometeorologické charakteristiky se počítají jednak pro standardní povrchy (holá půda a půda pokrytá travním porostem), jednak rámcově i pro další povrchy např. zemědělské plodiny (vojtěška, pšenice ozimá, obiloviny jarní, kukuřice, cukrovka, brambory, ovocné sady, vinice a chmel). Při aplikaci modelu pro zemědělské plodiny je nutné aplikovat fenologické údaje datum setí a sklizně, pro modelování odhadu růstových fází rostlin a z nich vycházejících koeficientů potřebných pro výpočet růstových fází rostlin a rozvoj kořenů. Princip výpočtu aktuální evapotranspirace jako výdeje složky ovlivňující míru deficitu pro různé povrchy včetně použitých koeficientů pracuje podobně jako u výše uvedeného modelu SoilClim.

Přístupnost vody pro rostliny je omezena půdním hydrolimitem označeným jako bod vadnutí. Určuje vlhkost půdy, kdy rostliny jsou trvale nedostatečně zásobeny půdní vodou, absorpce vody kořenovým systémem je podstatně nižší než intenzita transpirace a rostliny vadnou. Protože vadnutí rostlin probíhá v dosti širokém intervalu vlhkosti, udává se jako mezní limit spodní mez tohoto intervalu. Pod hodnotu bodu vadnutí se půda prostřednictvím evapotranspirace rostlin již prakticky nevysouší. Rostlinám k dispozici tedy není půdní voda určená pouze aktuální vlhkostí půdy, ale pouze voda určená jako rozdíl aktuální vlhkosti půdy a bodu vadnutí.

Druhým důležitým půdním hydrolimitem je retenční vodní kapacita (polní vodní kapacita). Specifikuje maximální množství zavěšené vody, které je půda schopna pojmout. Při této vlhkosti půdy jsou v půdě naplněny všechny kapilární póry. Při dalším zvlhčení půdy již voda může pronikat pouze do nekapilárních pórů; ty jsou schopny ji udržet jen krátkodobě a tato voda postupně protéká půdním profilem do spodních vrstev až případně do úrovně hladiny podzemní vody. Proto v půdě téměř vždy určitá část půdních pórů zůstává vyplněna vzduchem. Toto však není jevem negativním, protože většina rostlin ke svému vývoji potřebuje, aby právě určitá část půdních pórů zůstávala vyplněna pouze vzduchem.

Voda v půdě využitelná rostlinami je dána rozdílem půdních vlhkostí při retenční vodní kapacitě (polní vodní kapacitě) a při bodu vadnutí. Tento rozdíl se nazývá využitelná vodní kapacita půdy. Jedná se tedy o množství využitelné vody v půdě, které je k dispozici rostlinám. Je to jeden ze základních hydropedologických údajů, s kterými pracuje model AVISO. Může se rovněž uvádět v objemových procentech, avšak velmi často se udává v mm vodního sloupce vztáženého k určité hloubce půdního profilu (nejčastěji 1 m).

V případě výpočtu zásoby vody v půdě v modelu AVISO se jedná o zjednodušený dvouvrstevný model pohybu vody v půdě s jejím konstantním čerpáním v celém aktivním profilu, kterým se rozumí půdní profil do hloubky aktivního prokořenění. Základním a výchozím předpokladem je skutečnost, že dostupná voda se drží ve dvou tzv. zásobnících označených X a Y, které v každém okamžiku obsahují zásobu  $x$  [mm] a  $y$  [mm] půdní vody. Oba zásobníky jsou vzájemně od sebe odděleny bodem snížené dostupnosti (lentokapilárním bodem). Všechna voda  $x$  [mm] v prvním zásobníku X, je volně dostupná a je čerpána bez limitování půdními podmínkami, zatímco voda  $y$  [mm] v druhém zásobníku Y, se při snižování množství  $y$  [mm] čerpá stále obtížněji. Výdej vody je postupně omezován a evapotranspirace klesá pod svoji potenciální hodnotu. Maximální množství vody je v obou zásobnících určeno využitelnou vodní kapacitou půdy.

Voda se čerpá z půdy až do okamžiku úplného vyčerpání zásoby  $x$  [mm] svrchního zásobníku X. Po jeho odčerpání začíná odčerpávání množství  $y$  [mm] spodního zásobníku Y. Logicky se předpokládá, že srážky nejdříve doplňují zásobu  $x$  [mm] svrchního zásobníku X, zásoba  $y$  [mm] spodního zásobníku Y se obnovuje, až když je zásobník X plně dosycen srážkovou vodou. Na základě množství půdní vody v obou zásobnících, resp. na poměru množství  $x$  [mm] a  $y$  [mm] v obou zásobnících se určuje povrchový odpor plodiny, jehož správné definování je rozhodující pro uspokojivé výsledky určení deficitu vody v půdě. Model navíc rozlišuje hustě seté plodiny s plným zapojením, které úplně



nebo téměř úplně zachycují dopadající sluneční radiaci (povrchový odpor zůstává konstantní za předpokladu čerpání prvních 40 % z dostupné půdní vody, naopak výrazně vzrůstá, jestliže je všechna dostupná voda vyčerpána), a plodiny s neúplným zapojením (zejména v období časného růstu), kdy je třeba počítat i s příspěvkem evaporace z půdy mezi rostlinami.

Pokud se rozdíl mezi srážkami a evapotranspirací (evaporací) přičte k deficitu půdní vody z minulého dne, získá se současný (aktuální) deficit půdní vody, resp. deficit půdní vody aktuálního dne. Z něj pak lze přepočtem stanovit zásobu využitelné půdní vody jako její množství mezi oběma hlavními hydrolimity. Pro účely Monitoringu sucha se uvádí v % VVK. O srážkách se v modelu předpokládá, že velmi rychle naplní nejdříve zásobník X a potom zásobník Y. V případě, že oba zásobníky jsou maximálně naplněny, půda je nasycena na polní vodní kapacitu. Všechna přebytná srážková voda se potom považuje za „hydrologicky účinné (efektivní) srážky“. Zjednodušujícím kritériem je určitě také skutečnost, že v jednotlivých dnech se neuvažuje s podpovrchovým (hypodermickým) ani podzemním odtokem či přítokem.

Model AVISO je koncipován především pro analýzu nedostatku půdní vody s ohledem na klimatické podmínky a průběh meteorologických prvků. Vzhledem k účelu svého využití na ČHMÚ, v důsledku použitého výpočetního postupu a také s ohledem na potřebu jednotného srovnání oblastí v rámci ČR s dominantním zohledněním vlivu klimatických podmínek podléhá proces modelování a použitých výstupů určitému stupni zjednodušení a zobecnění.

Charakteristiky modelované pomocí Modelu AVISO a prezentované v rámci části Monitoringu sucha ČHMÚ jsou vláhová bilance, evapotranspirace (potenciální a aktuální) a zásoba využitelné vody v půdě v % VVK.

Vláhová bilance obecně jako jedna z charakteristik poukazující na zvýšenou pravděpodobnost možného výskytu sucha jednoduchým způsobem analyzuje vláhové poměry v krajině za určitý časový interval. Jedná se o vzájemný rozdíl mezi srážkami a potenciální evapotranspirací travního porostu. U základní vláhové bilance se při výpočtu potenciální hodnoty evapotranspirace neberou v úvahu vlhkostní podmínky podloží, tvořené půdním horizontem. V podstatě vyjadřuje vliv klimatických podmínek na bilanci (a taktéž na výpar) při současném potlačení všech ostatních činitelů, které výpar ovlivňují (půdní vlhkost apod.). Lze tedy hovořit o tzv. klimatické vláhové bilanci. Toto je nutno mít na zřeteli při případném vzájemném porovnávání základní vláhové bilance jednotlivých míst či oblastí.

Co se týká analýzy stavu vody v půdě, jedním ze základních výstupů modelu AVISO je používána zásoba půdní vody pod travním porostem v % využitelné vodní kapacity (VVK). S jejich pomocí je možno obecně zjednodušenou formou určovat množství půdní vody, které je v půdě obsaženo mezi základními půdními hydrolimity polní vodní kapacitou a bodem vadnutí. Jako vypařující povrch se pro zobecnění v tomto případě uvažuje travní porost a pro zjednodušení jsou počítány hodnoty pro 3 hlavní půdní druhy pro území ČR:

- lehká půda (písčítá - hlinitopísčítá), VVK = 70 mm/1 m
- těžká půda (jílovitohlinitá - jílovitá), VVK = 120 mm/1 m
- středně těžká půda (písčitohlinitá - hlinitá), VVK = 170 mm/1 m

V rámci výstupů Monitoringu sucha je tedy vlhkost půdy vyjádřena pomocí modelové (vypočítané) zásoby využitelné vody v půdě ve vrstvě 0-100 cm za předpokladu středně těžké půdy pokryté travním porostem. Toto zobecnění bylo zvoleno pro porovnání jednotlivých oblastí z hlediska obsahu vody v půdě v závislosti na různém vlivu měnících se meteorologických podmínek během roku v jednotlivých oblastech ČR a také z důvodu, že problematika vody v půdě je výrazně komplikována skutečností, že naše půdní poměry jsou velmi pestré a v naprosté většině případů

různorodé i jen v širším okolí klimatologických stanic, kde probíhá měření vstupních meteorologických prvků do modelu.

Výpočet modelu AVISO probíhá v denním kroku pro soubor 198 automatických klimatologických stanic staniční sítě ČHMÚ na základě vstupních meteorologických dat. Následně jsou modelovaná data agrometeorologických charakteristik z bodové sítě interpolována do plochy ČR a prezentována formou kategorizovaných map.

## 2.5. Používané modely numerické předpovědi počasí

### Numerická předpověď počasí a její aplikace

Rozvoj počítačové techniky a kosmonautiky se společně se snahou lépe předvídat živelné katastrofy na sklonku 20. století v meteorologii projevil rozvojem nových přístupů k předpovědi počasí. Od této doby hrají v předpovědi stále důležitější roli modelovací přístupy, které se zvyšující se přesností a spolehlivostí nahrazují starší, popisné metodologie předpovědi.

Základním nástrojem numerické předpovědi počasí je takzvaný numerický předpovědní model počasí. Jeho jádrem je soustava nelineárních parciálních diferenciálních rovnic, které v daném bodě nad zemským povrchem popisují probíhající fyzikální děje v atmosféře. Tyto rovnice nemají konvenční analytické řešení a musí se proto řešit metodami numerické matematiky. Tento způsob řešení dal jméno celému oboru.

Je zřejmé, že kapacita počítačů nestačí a ani nikdy nebude stačit na to, aby byly tyto děje popisovány kontinuálně a to jak v prostoru, tak i čase. Proto je nutné přistoupit ke kompromisům a stanovit prostorové a časové rozlišení modelu, případně jeho omezení na určitou geografickou oblast. Tento kompromis ovšem závisí nejen na dostupné výpočetní síle, ale také matematických formulací modelu. Potřeba mít dostatečně vysoké a smysluplné rozlišení modelu vede k tomu, že kvalitní numerické modely vyžadují pro svůj efektivní provoz dostatečně výkonné superpočítače a vzhledem s tím spojenými vysokými náklady jsou provozovány zejména velkými meteorologickými službami. Model předpovědi musí mít také v jejím počátku k dispozici informace o aktuálním stavu atmosféry. Z něj předpověď vychází a svými výpočty tento výchozí stav v jednotlivých časových krocích modifikuje: takto vzniká modelová předpověď. Je tedy velmi důležité, aby tato vstupní informace byla co nejpřesnější. Z těchto důvodů probíhá celosvětově v rámci meteorologických služeb ke sběru dat z měřících stanic, ale také například z radarů, sondáží atmosféry a zejména pomocí satelitního snímání zemského povrchu a oblačnosti. Zároveň je tato data třeba neustále kontrolovat: to dělají meteorologické služby, ale kontrola probíhá i v rámci modelů během takzvané asimilace dat.

Výsledkem výpočtů modelu jsou pak časové řady jednotlivých meteorologických prvků (např. teplota, srážky, radiace apod.) v pravidelné geometrické síti bodů na zemském povrchu i v předem definovaných výškových hladinách ve volné atmosféře. Zatímco časový krok výpočtů je velmi hustý (řádově jednotky minut), výsledky výpočtů jsou z technických důvodů poskytovány v hodinových či tříhodinových intervalech.

Vzhledem k tomu, že počasí nezná geografické hranice a jednotlivé atmosférické systémy putují po Zemi bez omezení, tvoří nejdůležitější skupinu modely globální, které popisují atmosféru na celém glóbu. Samotná atmosféra se ovšem ovlivňuje i s dalšími složkami klimatického systému Země, zejména se světovým oceánem, kryosférou reprezentovanou hlavně polárním zaledněním ale také pedosférou. Proto současné modely předpovědi počasí vyžadují pro svůj běh součinnost (tzv. spřažení) i s modely těchto složek. Výsledná předpověď počasí pak obsahuje nejen informace o atmosféře, ale také o vlnění na oceánu (vitální pro pobřežní státy) nebo rozsahu a charakteristice mořského ledu. Takto komplexní modely jsou velmi náročné, a proto se objevila potřeba vytvořit

jiný typ modelu, tzv. regionální model (v angličtině Limited Area Model). Ten se svými výpočty omezuje jen na určitou geografickou oblast (např. střední Evropa), kterou oproti globálnímu modelu je schopen vypočítat ve výrazně vyšším rozlišení. Vyšší rozlišení vede k přesnější předpovědi počasí, protože je schopno podchytit jemnější detaily zemského povrchu. V současné době je typické prostorové rozlišení globálních modelů v řádu 10-20km a u modelů regionálních 2-5km. Ani takto vysoké rozlišení ovšem není z důvodů nahodilosti a neurčitosti znalosti atmosférických podmínek v době startu předpovědi

Částečné řešení pak představují ansámblové systémy, které nejistotu zahrnují do svých počátečních podmínek. Výsledkem je pak ansámblová předpověď, která zohledňuje různé varianty možného budoucího počasí. Jejich přidaná hodnota spočívá právě například v tom, že lze usuzovat na procentuální pravděpodobnost výskytu určitého jevu. Tím mohou být vysoké nebo naopak velmi nízké teploty, případně období sucha či naopak mimořádných srážek. Cenou za to, že je možné provést tuto předpověď natolik rychle, aby měla ještě smysluplné uplatnění, je opět snížení prostorového rozlišení oproti základní tzv. deterministické předpovědi. V rámci finalizace předpovědi jsou pak zpracovávány oba typy předpovědi. Během této finalizace je třeba zvažovat i takzvané systematické chyby modelu, které se do předpovědi promítají z výše popsaných příčin: neznalost přesného stavu počasí v počátku, omezení dané rozlišením modelu či zjednodušení s matematickou formulací jednotlivých fyzikálních procesů v atmosféře.

V našem projektu využíváme globální numerické modely předpovědi počasí v jejich deterministických verzích. Ty se také často označují jako verze ve vysokém rozlišení („high resolution“) v kontrastu vůči ansámblovým předpovědím daného modelu, které jsou, jak plyne z výše vysvětlené teorie, v často podstatně nižším prostorovém rozlišení. Globální verze modelu jsou použity, protože oproti regionálním verzím poskytují předpovědi na delší dobu dopředu: typicky na více než 3 dny. V níže uvedeném seznamu je vyjmenována pětice používaných modelů sestupně seřazených podle váhy, kterou mají na celkovou z nich složenou předpověď (jedná se o vážený aritmetický průměr jednotlivých meteorologických prvků). Ke každému modelu je pak uvedeno příslušné meteorologické centrum, které je provozuje, frekvenci časových výstupů, které uvolňuje pro externí uživatele, prostorové rozlišení modelu a celková doba, na kterou jsou poskytovány jednotlivé předpovědi.

- Model Evropského centra pro střednědobou předpověď Integrated Forecasting System (ECMWF IFS) s prostorovým rozlišením 12 km, v 3h časových intervalech a na 9 dní dopředu.
- Model francouzské meteorologické služby Centre National de Recherches Météorologiques/ Météo France ARPÈGE (zkratka z Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) s prostorovým rozlišením v Evropě ~10km, v 1h časových intervalech na 4 dny dopředu.
- Model britské meteorologické služby United Kingdom Meteorological Office (UKMO) Unified Model s prostorovým rozlišením ~10km, v 1h časových intervalech na 6 dní dopředu.
- Model meteorologické služby Spojených států National Office for Ocean and Atmosphere (NOAA) Global Forecasting System (GFS) v prostorovém rozlišení 25km, v časových intervalech 3h a na 14 dní dopředu
- Model kanadské meteorologické služby Canadian Meteorological Centre (CMC) Global Earth Model (GEM) v prostorovém rozlišení 25km, v 3h časových intervalech a na 6 dní dopředu.

Existují i další globální numerické předpovědní modely provozované například japonskou, brazilskou či německou meteorologickou službou, ty však nejsou k dispozici v požadované časové frekvenci nebo jejich kvalita předpovědi není dostatečná pro území ČR.

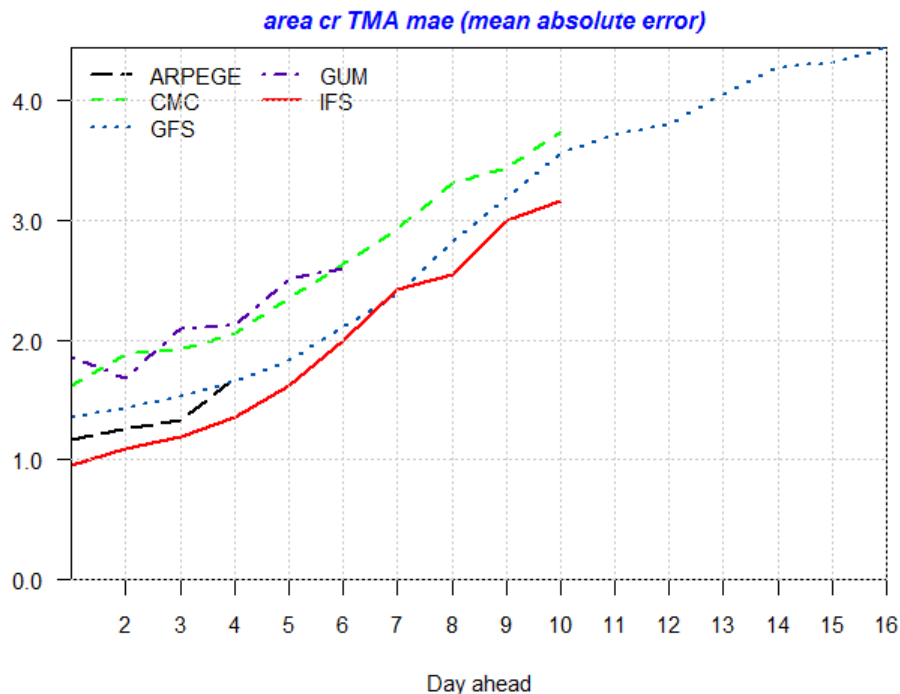
### 3. Výsledky a diskuse

#### 3.1. Úspěšnost metod numerické předpovědi počasí – hlavní prvky

Mezi hlavní prvky používané pro předpověď sucha na 9 dní dopředu pomocí modelu SoilClim ([www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)) patří maximální a minimální teplota vzduchu, srážkové úhrny, vlhkost vzduchu, rychlost větru a délka slunečního svitu. Úspěšnost předpovědi je hodnocena na základě porovnání předpovědí těchto prvků se skutečně naměřenými údaji získanými ze sítě meteorologických stanic. S délkou předpovědi stoupá její chyba a ta se liší i podle použitého předpovědního modelu a meteorologického prvku. Obecně k nejlépe předpověditelným meteorologickým prvkům patří teplota vzduchu. Problematické jsou naopak srážky, u kterých nepřesnost stoupá především v letních měsících za bouřkových situací, kdy současné numerické předpovědní modely nejsou schopny přesně určit místo a čas jejich výskytu. Mezi hůře předpověditelné prvky patří také vítr, který je značně lokální záležitostí. Délka slunečního svitu se hůře předpovídá za inverzních stavů (podzim až jaro), kdy se mohou vyskytnout značné rozdíly i mezi blízkými místy. Proto v systému intersucho.cz zpracováváme výstupy více předpovědních modelů, abychom tak byli schopni lépe pracovat s jejich spolehlivostí.

Jako vstup do modelu SoilClim vstupují denní hodnoty meteorologických prvků. Následující vyhodnocení bylo provedeno pro celou Českou republiku jako celek (prostorové průměry), aby byl stručně prezentován celkový potenciál jednotlivých modelů pro naši oblast. Vyhodnocení bylo provedeno pro období roku 2017.

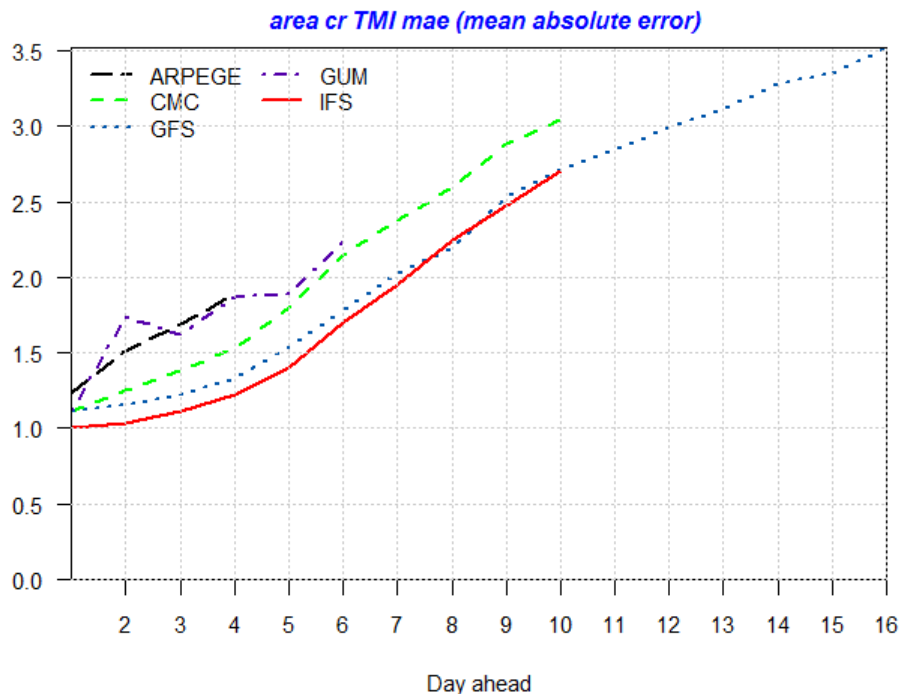
Z námi používaných předpovědních modelů nejlépe predikuje maximální teplotu vzduchu (Obr. 3.1) model IFS, který vykazuje chybu na první den dopředu pod 1°C. S rostoucí délkou předpovědi roste i jeho chyba. Na 9. den je chyba u modelu IFS okolo 3°C. Dobré výsledky dává i model ARPEGE a GFS. Horší predikce maximální teploty vzduchu pro Českou republiku poskytuje kanadský model CMC a britský GUM. Pro predikci na 4. den dopředu, ke které jsou k dispozici ještě všechny předpovědní modely, se chyba pohybuje od 1,3 do 2,1°C, tedy může být mezi modely značný rozdíl. Chyba není konzistentní, ale během roku se mění. Většina modelů podceňuje maximální teploty vzduchu v letních měsících. Tato chyba nastává především za velmi horkých dní, kdy teploty vzduchu překračují 30°C. Zde mohou modely podhodnotit předpověď až o 2-5°C, a to hlavně s ohledem na dané místo. Nejvíce podceňují předpověď maximálních teplot vzduchu ve městě, kde díky tepelnému ostrovu města stoupají teploty v rámci republiky nejvýše. Dále se vyskytuje větší chyba maxima teploty vzduchu v jarních měsících, kdy modely většinou podhodnocují teplotu vzduchu. Během zimních a podzimních měsíců odpovídají maximální teploty nejvíce realitě.



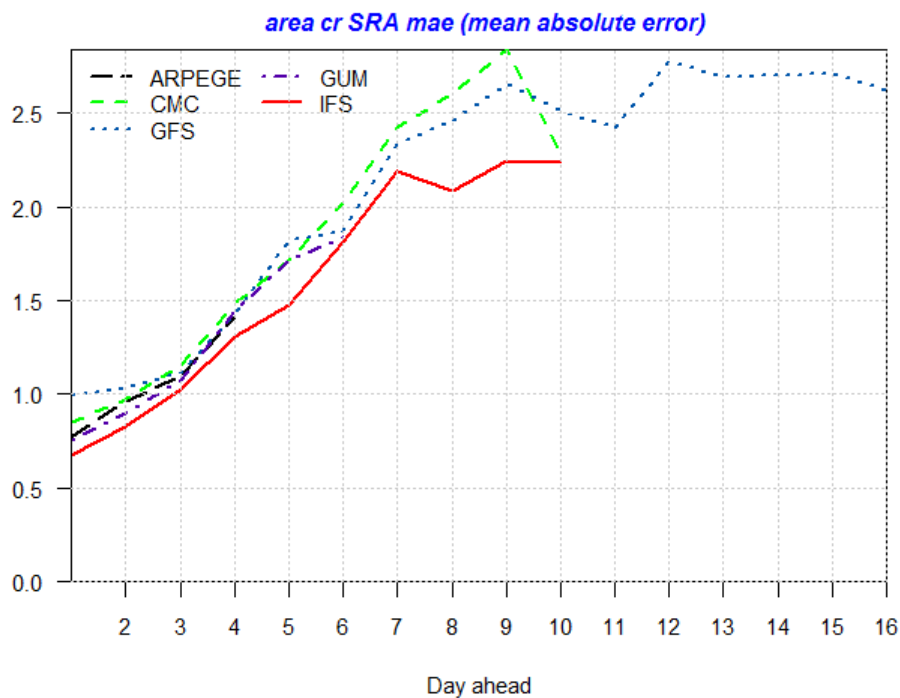
Obr. 3.1. Průměrná absolutní chyba (ve °C) jako rozdíl předpovězené a naměřené hodnoty maximální teploty vzduchu podle jednotlivých modelů predikovaná až na 16 dní dopředu.

Minimální teplotu vzduchu (Obr. 3.2) předpovídá nejlépe opět model IFS a za ním hned GFS. Jejich chyba na první den je okolo 1°C. Na 9. den mají oba modely velmi podobnou chybu a to jen okolo 2,5°C. V zimě je rozdíl mezi skutečností a predikcí na 9. den nejvyšší a to od 2,5 do 4,0°C v závislosti na použitém modelu. Opět zde vychází jako nejpřesnější model IFS a nejméně kvalitní na tento střednědobý výhled kanadský model CMC. Pokud vezmeme v potaz predikci na 4. den, kde jsou k dispozici všechny modely, tak celková chyba je relativně nízká a to pod 1,9°C. Největší rozdíl je zjištěn u GUM a ARPEGE, naopak nejvíce spolehnout se dá na IFS a GFS model. Každý model z fyzikální podstaty má chybu v jednotlivých sezónách rozdílnou. Obecně platí, že největší rozdíly jsou v zimních a letních měsících. V zimě dochází často k problematické předpovědi minimálních teplot v noci za vyjasnění a zároveň výskytu sněhové pokrývky. Například model GFS často predikuje extrémně nízké teploty vzduchu, které pak nejsou reálné. V zimě mají vliv na minimální teplotu i geografická specifika dané oblasti jako jsou různé mrazové kotliny, proto uživatel modelů musí předpokládat, že předpověď pro konkrétní daný bod nemusí za určitých meteorologických situací sedět, jelikož všechny lokální efekty nelze v předpovědi podchytit. V letních měsících naopak modely za velmi horkých dní více ochlazují vzduch v odpoledních a večerních hodinách než tomu bývá reálně.

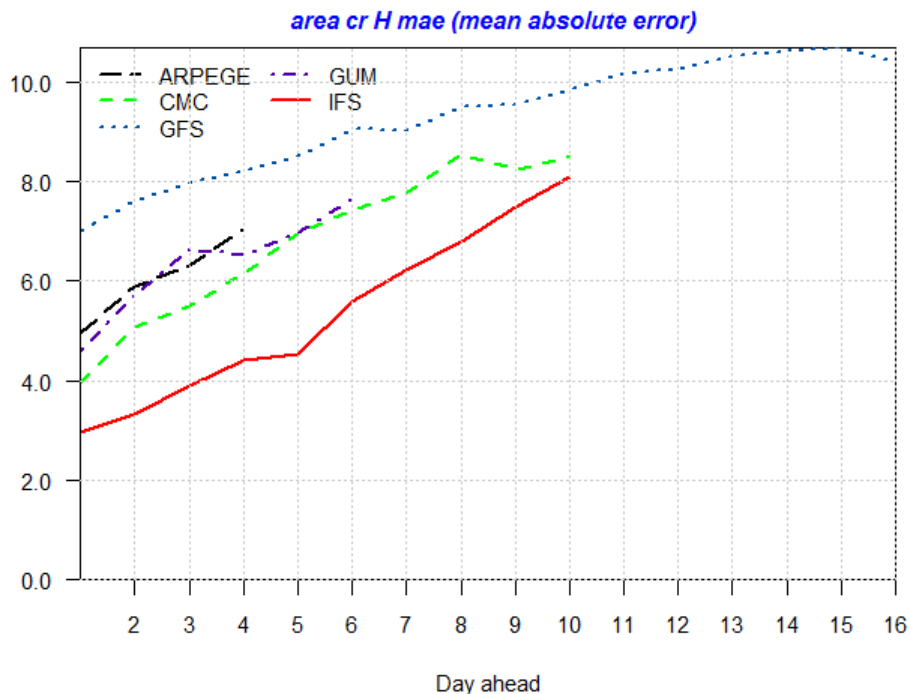
Velice důležitým prvkem pro kvalitní předpověď sucha a zásoby vody v půdě jsou srážkové úhrny (Obr. 3.3). Nejistota předpovědi zde významně vzrůstá s délkou předpovědi. Na den dopředu je rozdíl průměrné srážky a predikce okolo 0,5 mm. Na poslední den předpovědi (9. den) je tato chyba už více než 2,5 mm. Mezi modely překvapivě nejsou značné rozdíly. Na první dny dává nejspolehlivější predikce model IFS a nejméně přesný je GFS. Na +9. den je výrazně nejlepší IFS a nejhůře vychází kanadský model CMC. V letních měsících díky konvektivní činnosti je predikce srážek značně komplikovaná, proto není překvapení, že největší rozdíl mezi skutečností a predikcí se u všech modelů vyskytuje v létě. Naopak dobře vycházejí srážkové úhrny v zimních měsících.



Obr. 3.2. Průměrná absolutní chyba (ve °C) jako rozdíl předpovězených a naměřených hodnot pro minimální teplotu vzduchu podle jednotlivých modelů predikována až na 16 dní dopředu.



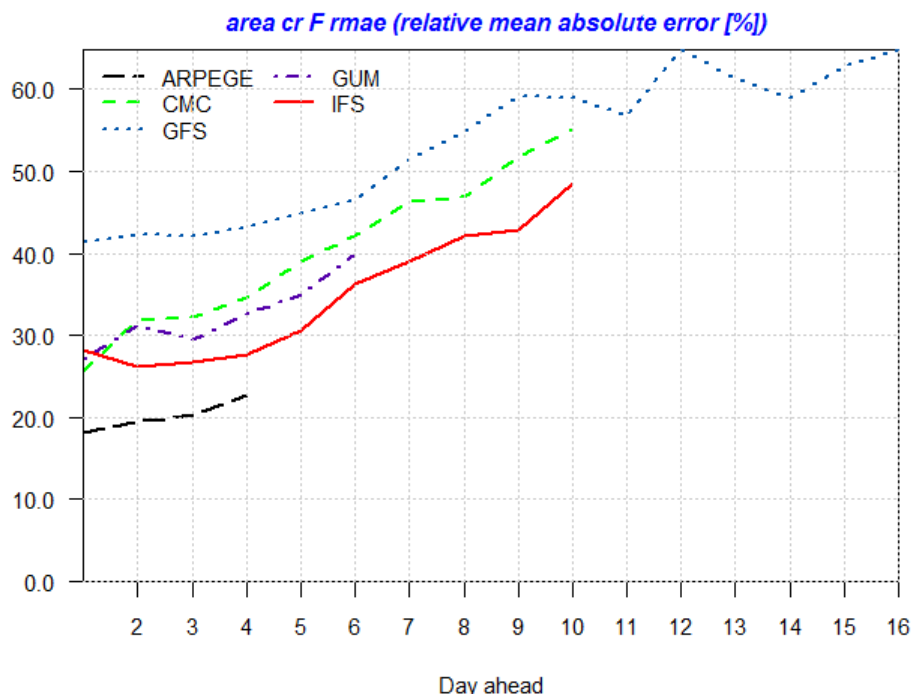
Obr. 3.3. Průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězených a naměřených) pro srážkové úhrny (mm) podle jednotlivých modelů predikována až na 16 dní dopředu.



Obr. 3.4. Průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězené a naměřené) pro vlhkost vzduchu (% relativní vlhkosti) podle jednotlivých modelů predikována až na 16 dní dopředu.

U vlhkosti vzduchu (Obr 3.4) se již začíná projevovat značný rozdíl mezi kvalitou jednotlivých předpovědních modelů, což se pak významně projevuje v predikci sucha. Nejbližše realitě je opět jako u ostatních prvků model IFS. Naopak velice špatně předpovídá vlhkost vzduchu model GFS. U něj je vidět, že hodnoty vlhkosti má mimo realitu České republiky. U modelu GFS je vidět, že výrazně přeceňuje vlhkosti vzduchu v první polovině roku, kdy předpovídá až o 10 % vyšší vlhkost vzduchu, než je reálné. Naopak v druhé půlce roku se začínají jeho čísla blížit realitě. Další modely jako je CMC, GUM a ARPEGE jsou svojí chybou mezi IFS a GFS. Většina modelů s výjimkou IFS má podobný problém jako GFS, kdy vlhkost přeceňuje během první polovinu roku, ale není to tak dramatické jako v případě již zmíněného GFS. Nejvíce problematickou sezónou v predikci vlhkosti vzduchu je tedy jaro, naopak na podzim je model nepřesnější.

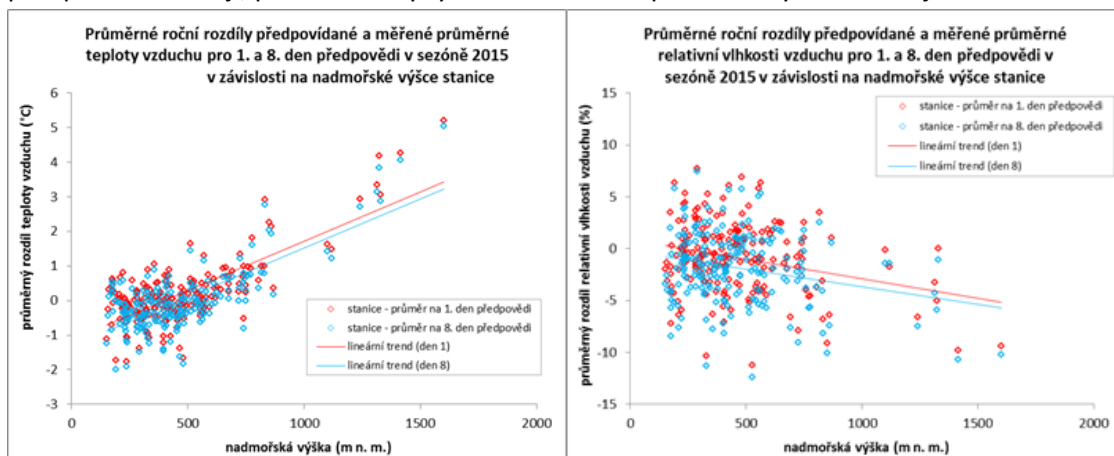
Rychlost větru (Obr. 3.5) patří mezi komplikované meteorologické prvky jak na vlastní měření, tak i na predikci. Průměrná chyba pro Českou republiku se pohybuje na první den od 20-40 % (0,4 – 1,0 m/s) a na poslední den od 45-60 % (1,1 – 1,4 m/s). Nejspolehlivější výstupy v tomto případě dává model ARPEGE, který je dostupný na první čtyři dny. Dále kvalitní predikce rychlosti větru zajišťuje IFS, GUM a CMC model. Americký GFS má největší chybovost. Většina modelů má tendenci vítr spíše nadhodnocovat. Větší rozdíly mezi predikcí a skutečností se vyskytují na podzim, naopak v letních měsících je předpověď nejpřesnější.



Obr. 3.5. Relativní průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězené a naměřené) pro rychlost větru (%) podle jednotlivých modelů predikována až na 16 dní dopředu.

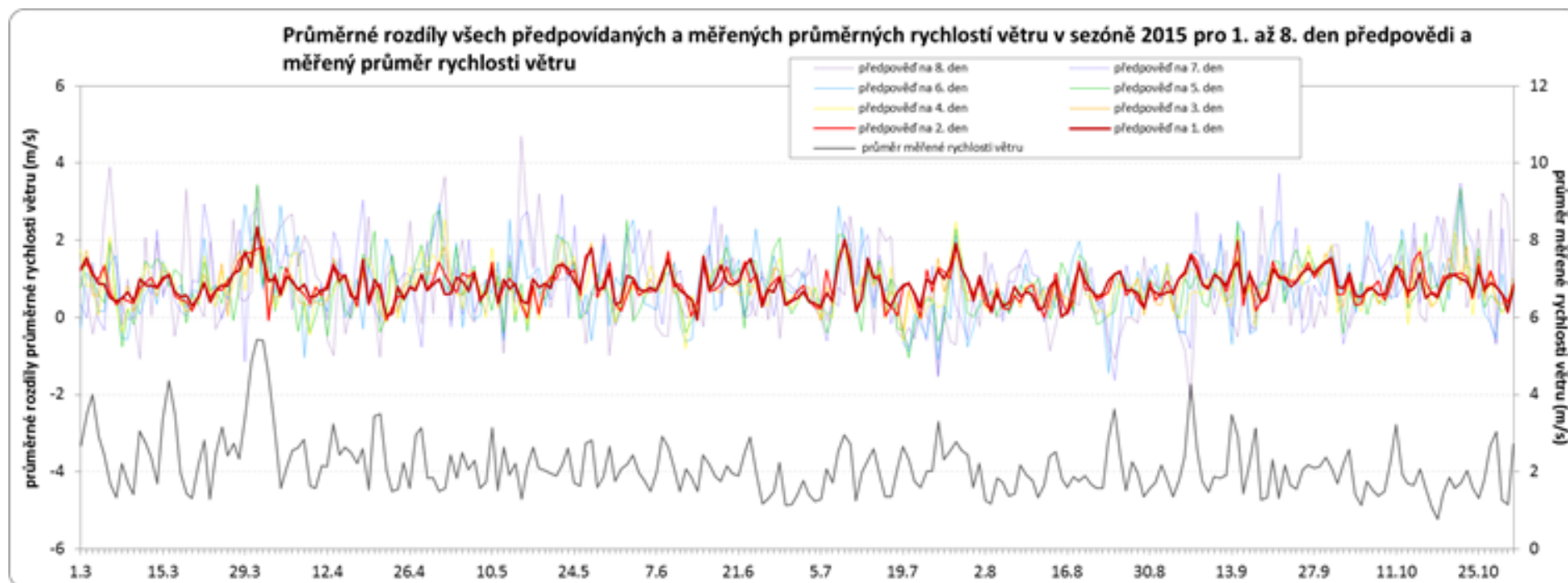
### 3.2. Hodnocení předpovědi meteorologických prvků z IFS-ECMWF vstupujících do modelu AVISO a SoilClim

Detailnější analýza předpovědních dat byla provedena na příkladu nejlepšího modelu ansámbu v případě modelu IFS-ECMWF. Jeho výsledky se ukázaly v první řadě poměrně výraznou systematickou chybou způsobenou odlišnou orografií předpovědního modelu proti realitě (Obr. 3.6). Nejvýraznější závislost odchylek na nadmořské výšce vykazuje teplota vzduchu a dále pak rychlost větru, kde ovšem hraje velkou roli i okolí stanice – otevřenost krajiny. Ostatní prvky mají závislost na nadmořské výšce menší. Hlavně proto, že střídání kladných a záporných odchylek během sezóny díky proměnlivosti vlhkosti vzduchu a úhrnu srážek. Přesto, že se absolutní odchylky s délkou předpovědi zvětšují, průměrné chyby za celou sezónu pro všechny stanice se jen málo liší od nuly.



Obr. 3.6. Průměrné roční rozdíly předpovídané a měřené průměrné teploty (vlevo) a relativní vlhkosti vzduchu (vpravo) pro 1. (červeně) a 8. den (modře) předpovědi v roce 2015 v závislosti na nadmořské výšce



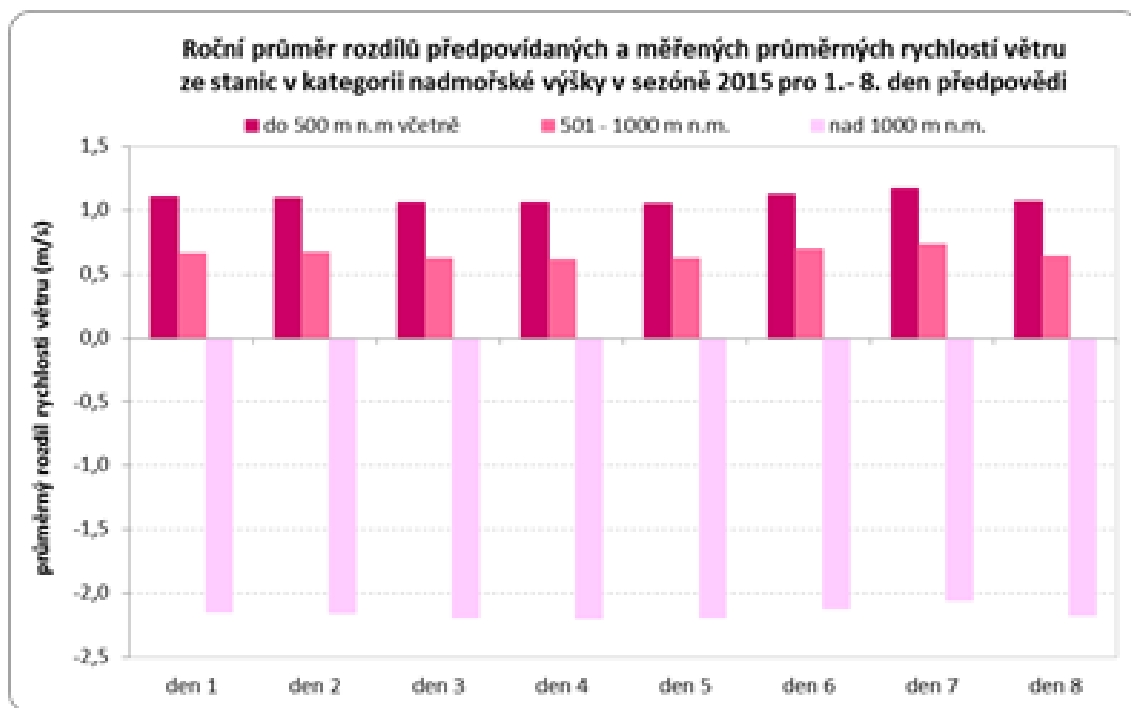


Obr. 3.7. Průměrné rozdíly předpovídaných a měřených průměrných rychlostí větru pro 1. a 8. den předpovědi v roce 2015 ve srovnání s měřenou průměrnou rychlostí větru

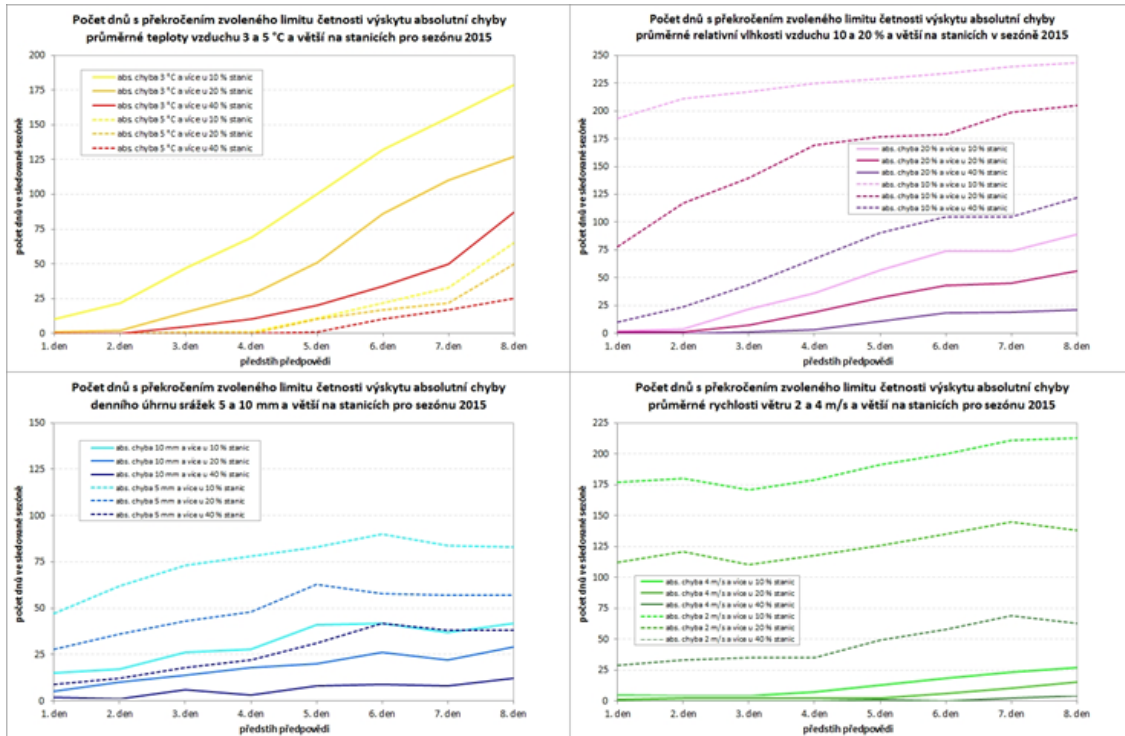
U teploty vzduchu platí, že průměrné odchylky se pohybují mezi +1 a -1 °C, samozřejmě, že se v určitých situacích objeví i extrémní hodnoty rozdílů, to platí ale jen pro extrémní situace a pro délku předpovědi 6 a více dnů. Vlhkost vzduchu je pak velmi variabilní prvek s vysokou citlivostí na lokální podmínky, kdy se zvyšuje četnost případů podhodnocení předpovědního modelu s rostoucí nadmořskou výškou lokality.

Bližší rozbory odhalily specifická chování prvků pro skupiny stanic podle nadmořské výšky nebo typu počasí. Například suma globálního záření je systematicky podhodnocována za jasných dnů v letních měsících až o 12 %, rychlost větru ve vyšších nadmořských výškách je podhodnocována nejvíce při větrném počasí (Obr. 3.7 a 3.8).

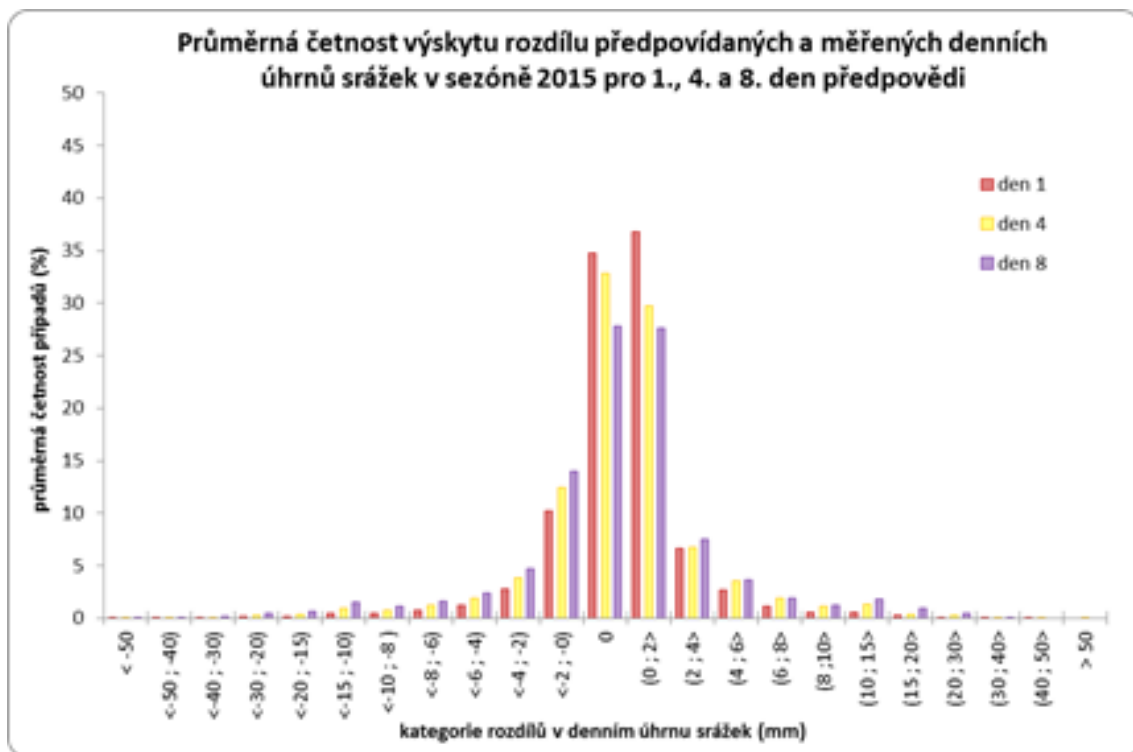
Při analýze detailních výstupů (Obr. 3.9) a histogramů (Obr. 3.10) předvolených kategorií odchylek je patrné, jak časté jsou určité chyby a jak se vyvíjejí s předstihem předpovědi. Největší konzistenci mají předpovědi rychlosti větru, četnosti odchylek v předpovědi na 1. a 8. den jsou výrazné jen u malých odchylek. Úhrny srážek mají nejčastější odchylky v kategorii 0 až 2 mm, ale pouze díky velké četnosti případů beze srážek. Naopak ukázkou problematiky předpovědi úhrnu srážek může být rozpětí maximální odchylky od měření během celé sezóny nebo počet stanic s odchylkou v daný den kdy jsou v důsledku chybné předpovědi srážek přítomny velmi výrazné rozdíly v hodnotách.



Obr. 3.8. Roční průměr rozdílů předpovídáných a měřených průměrných rychlostí větru pro různé nadmořské výšky v roce 2015 pro 1. až 8. den předpovědi



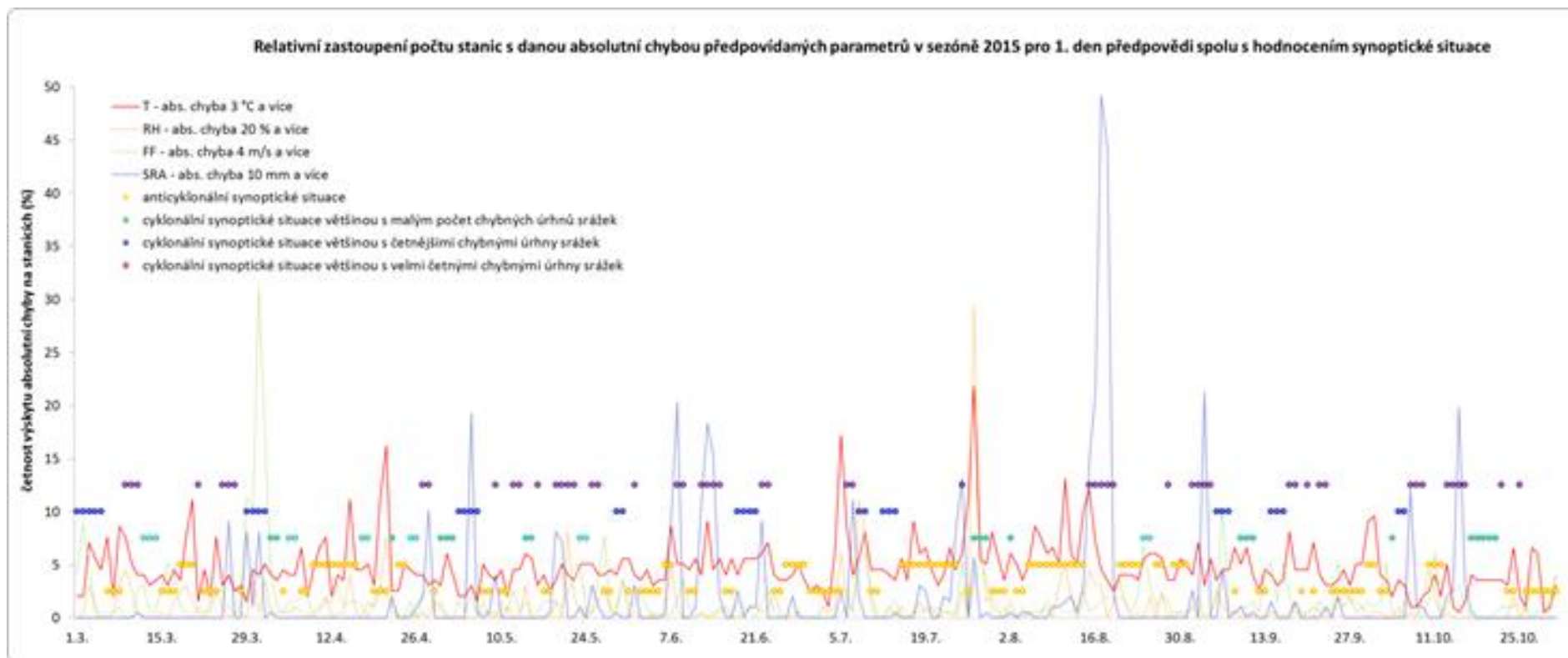
Obr. 3.9. Počet dnů s překročením zvoleného limitu četnosti výskytu dané absolutní chyby u jednotlivých prvků (teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, úhrn srážek a průměrná rychlost větru) v roce 2015



Obr. 3.10 Průměrná četnost výskytů rozdílů předpovídaných a měřených denních úhrnů srážek pro 1., 4. a 8. den předpovědi v roce 2015

Průměrné odchylky denních úhrnů srážek ukazují trend vyššího nadhodnocení srážek v nižších polohách a podhodnocování úhrnů srážek ve vyšších polohách, což je dáno vlastnostmi předpovědního modelu. Sledování odchylek parametrů po jednotlivých dnech v sezóně spolu se synoptickou typizací (Obr. 3.11) může být vodítkem, při jakých situacích lze předpokládat velké odchylky předpovědi. Podle četnosti odchylek ve srážkových úhrnech byly synoptické situace kategorizovány a výsledky celkem pochopitelně ukazují na největší problémy při cyklonálních a dynamických typech počasí u předpovědi srážkových úhrnů. Při bouřkových situacích může docházet k výraznému podhodnocení srážkových úhrnů v předpovědi a také k nepřesné lokalizaci intenzivních srážkových událostí. Naopak např. největší četnosti výrazných odchylek u teploty vzduchu jsou typické při anticyklonálních typech počasí.

Z výsledků je zřejmé, že za účelem využití předpovědi meteorologických prvků ve výpočtu agroklimatických charakteristik, je nutná vhodná korekce systematických chyb předpovědi a následně je možné data střednědobé předpovědi využít. Nejproblematictější prvek jsou jednoznačně srážky, kdy vzhledem jejich prostorové a časové variabilitě a obecně mnohem horší předpověditelnosti, hlavně tedy v době výskytu konvektivních bouřek, je jejich odhad v rámci střednědobé předpovědi za určitých situací značně obtížný.

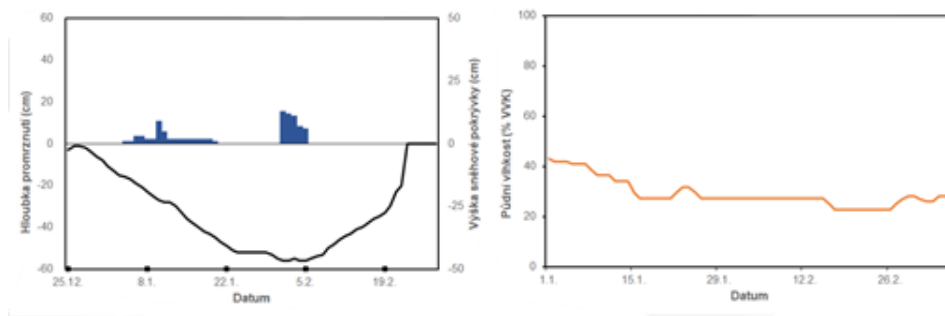


Obr. 3.11. Příklad relativního zastoupení počtu stanic s danou absolutní chybou předpovídaných parametrů v roce 2015 pro 1. den předpovědi spolu s charakteristikou synoptické situace

### 3.3. Úspěšnost modelů numerické předpovědi počasí při odhadu půdní vlhkosti

V kapitole 3.1 byla popsána úspěšnost a chyby numerických předpovědních modelů pro základní meteorologické prvky vstupující do výpočtu předpovědi sucha. Až následná kombinace jednotlivých prvků ukáže skutečnou spolehlivost daného numerického předpovědního modelu. Pro hodnocení půdního sucha je potřeba vyhodnotit zásoby vody v profilu do dostatečné hloubky až 100 cm. Při povrchu půdy dochází k největšímu kolísání obsahu vody, se zvětšující se hloubkou půdy výkyvy klesají.

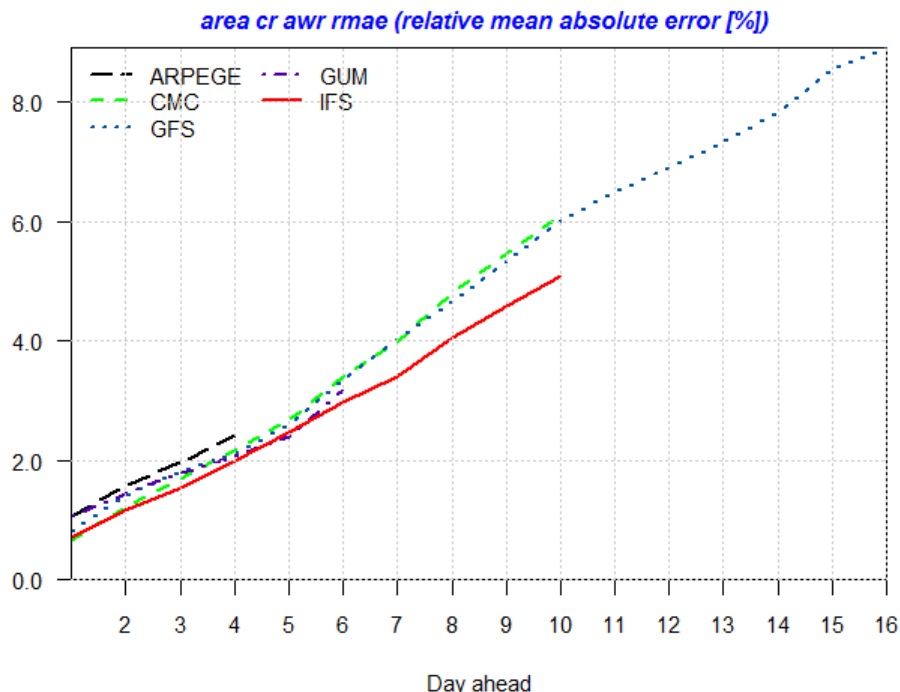
U všech modelů simulujících půdní vlhkost je důležitá zpětná vazba se skutečně měřenými hodnotami půdní vlhkosti. Nejedná se jenom o jarní a letní měsíce, kde díky vysokému výparu a srážkám je kolísání obsahu vody v půdě nejvyšší, ale i o zimní měsíce. Pokud například dojde k promrznutí půdy, nedochází k infiltraci srážek do půdy a tím ke zvýšení obsahu vody i v hlubších vrstvách půdy. Na obrázku 3.12. je ukázán průběh promrznutí půdy, výšky sněhové pokrývky a průměrné vlhkosti půdy ve vrstvě 0-40 cm v zimním období 2016-17 na stanici Brod nad Dyjí. Díky promrznutí půdy až do hloubky 58 cm nedošlo k infiltraci srážek do hlubších vrstev a průměrná vlhkost půdy ve vrstvě 0-40 cm se nezvýšila, ale naopak klesla.



Obr. 3.12. Průběh hloubky promrznutí, výšky sněhové pokrývky a průměrné vlhkosti půdy ve vrstvě 0-40 cm na stanici Brod nad Dyjí v zimním období 2016-2017

Úspěšnost předpovědi je hodnocena na základě porovnání skutečného stavu, jak vychází z modelu SoilClim, a předpovědí, kdy do modelu SoilClim vstupují meteorologické prvky z numerických předpovědních modelů. Výstupy z předpovědních modelů jsou před použitím podrobeny bias korekci - tedy odstranění chyby modelu za použití kvantilové metody. Opět s ohledem na přehledné vyjádření je následující srovnání provedeno pro celou republiku (prostorová hodnota spočítaná z map - interpolovaných údajů), a pro právě uplynulý rok 2017.

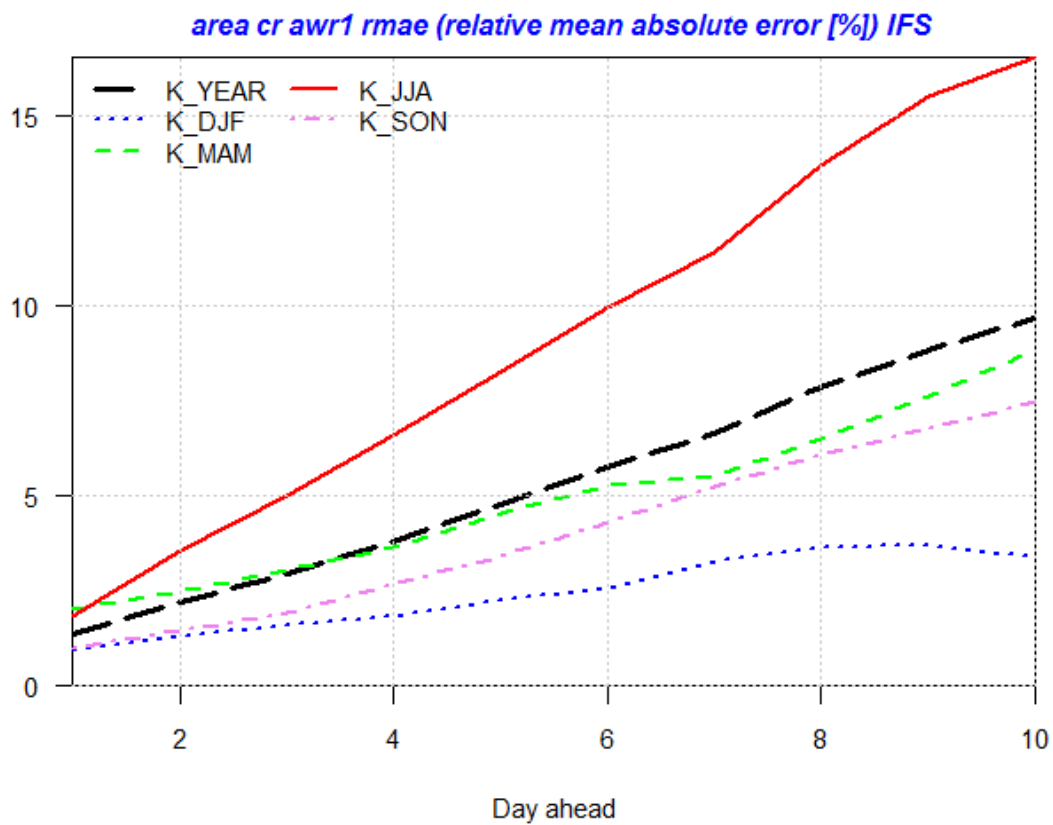
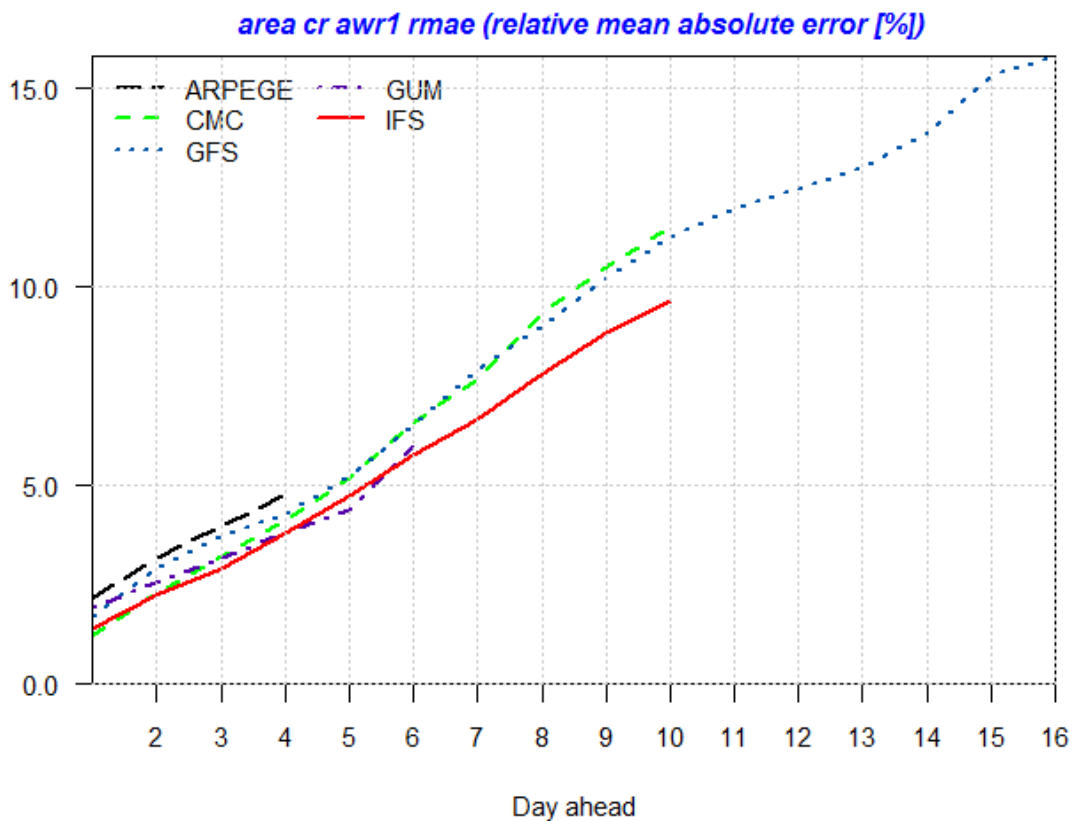
Kvalitu modelu zde hodnotíme jako relativní rozdíl v procentech oproti skutečnosti, a to ve třech půdních profilech (Obr. 3.13-3.15). V celkovém horizontu 0-100 cm jsou rozdíly mezi modely na první čtyři dny předpovědi velice malé. Jako nejlepší se jeví model IFS s chybou okolo 0,5 % na první den a 2 % na čtvrtý den. Ve střednědobém výhledu na 9 dní dopředu se modely už začínají lišit. Model IFS si drží stále nejlepší výsledky s chybou okolo 4,7 %. Ostatní dva dlouhodobější modely CMC a GFS mají průměrný rozdíl 5,5 % od skutečnosti. Většina modelů má tendenci spíše nadhodnocovat půdní vlhkost, a to významněji na 5. až 9. den dopředu. Všechny modely dávají největší rozdíl od reality v letních měsících. Naopak nejmenší odchylky půdní vlhkosti se vyskytují v zimě, kdy vlhkost nejméně kolísá. V létě naopak díky konvekci a lokálním bouřkám se půdní vlhkost hůře predikuje. Průměrná chyba ze všech modelů na 4. den dopředu je v létě 3,2 % a v zimě jen 1,2 %. Ve výhledu na 9. den dopředu roste rozdíl mezi skutečností a predikcí průměrně na 9,2 % v létě a jen 2,5 % v zimě. Na podzim je predikce méně přesná než v jarních měsících.



Obr. 3.13. Relativní průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězené a naměřené) pro půdní vlhkost v profilu 0-100 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu

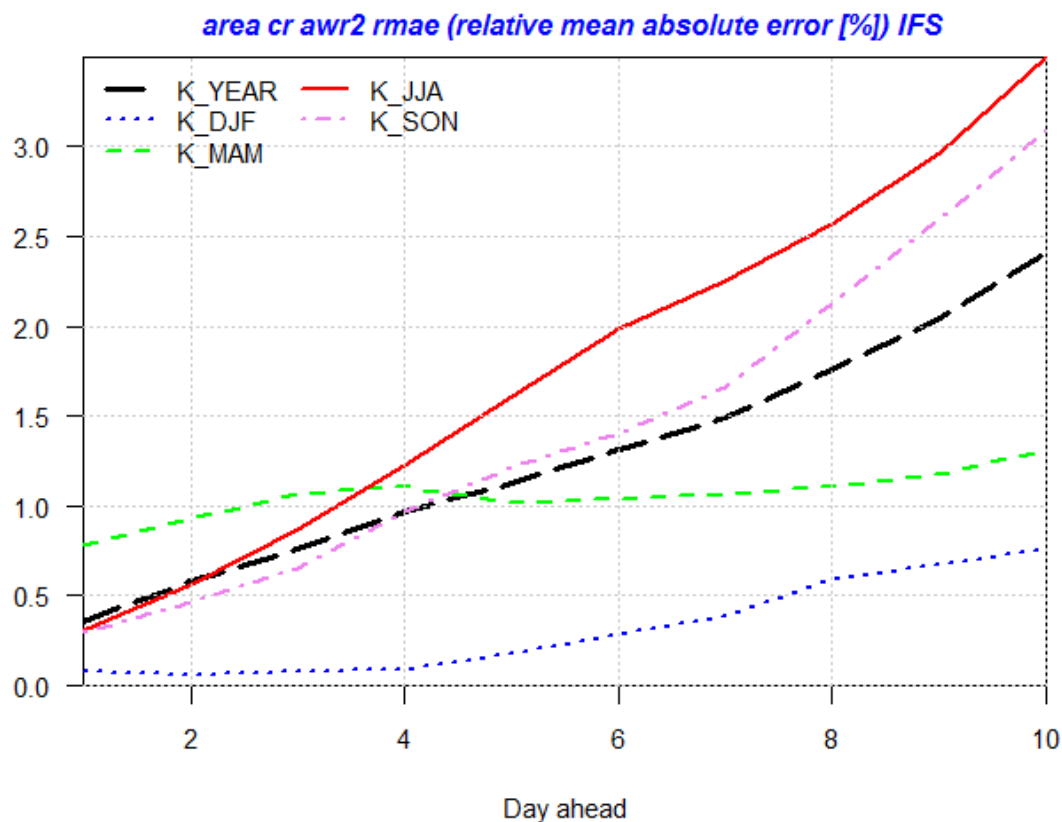
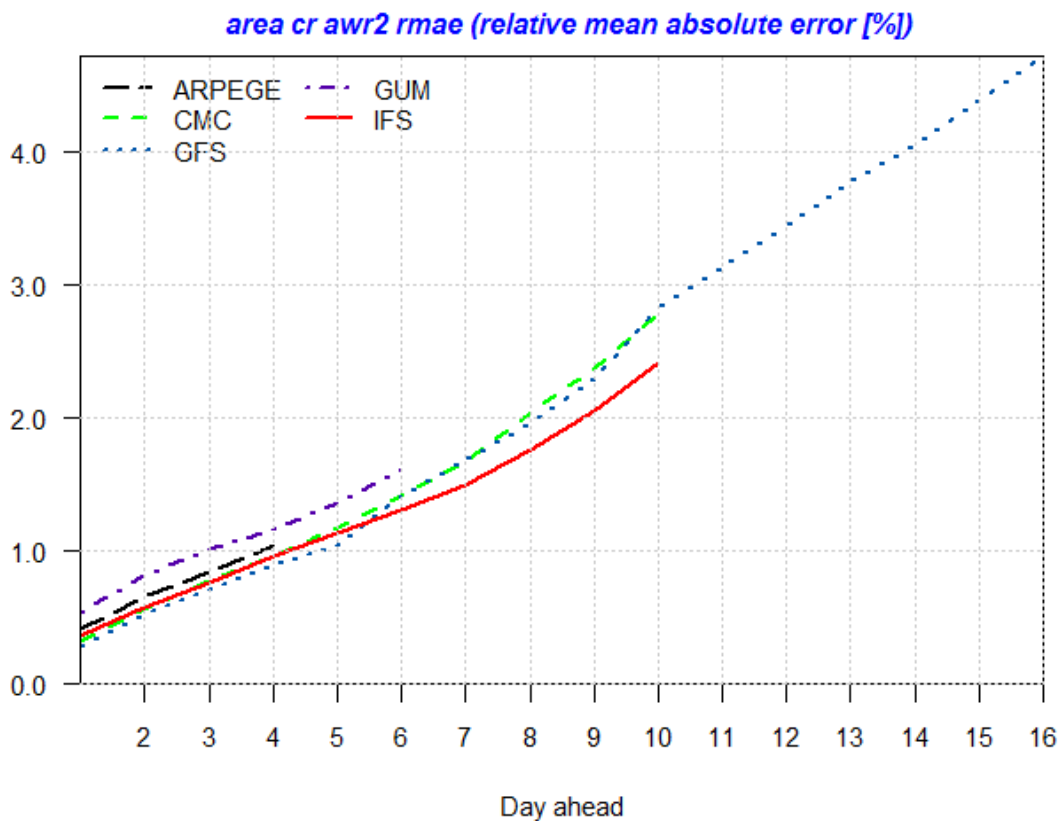
Rozdílné výsledky dostáváme pro jednotlivé vrstvy. K větší chybě predikce dochází u půdní vlhkosti ve svrchní vrstvě do 40 cm (Obr. 3.14). Je to dáno větší nejistotou srážek, které mají na tuto vrstvu výrazný vliv. Na první den předpovědi má nejspolehlivější výsledky model CMC (1,2 %) a pak IFS (1,4 %). Naopak ARPEGE je nejhorší s chybou přes 2 %. Na 4. den jsou nejlepší ve shodě modely GUM a IFS s chybou 3,8 %. Největší rozdíl s realitou si drží stále model ARPEGE (4,7 %). V předpovědi na 9 dní dopředu, kde jsou k dispozici pouze 3 modely, má nejlepší výsledky IFS (8,8 %). CMC a GFS mají podobnou chybu přes 10 %. U této svrchní vrstvy platí stejně jako v celém profilu, že nejméně přesné předpovědi jsou během léta. Naopak co je rozdílné, tak že nejmenší chyba ve vrstvě 0-40 cm se nevyskytuje v zimě jako v celém profilu, ale na podzim.

Hlubší profil 40-100 cm (Obr.3.15) je na predikce vývoje sucha podstatně snadnější s ohledem na nižší výkyvy a dává tak kvalitnější výsledky. Na první den je tu chyba jen do 0,5 % a nejlépe vychází překvapivě model GFS. Na 4. den má stále nejpřesnější předpověď půdní vlhkosti ve vrstvě 40-100 cm model GFS s chybou 0,9 %. Nejhorší vychází GUM s rozdílem 1,2 %. V delším výhledu na 9 dní dopředu již dává nejkvalitnější výsledky model IFS (2,0 %), CFS a CMC jsou za ním s chybou okolo 2,3 %. Na první čtyři dny je předpověď hlubšího profilu 40-100 cm nejméně přesná na jaře, ale pro delší období 5-9 dní je to opět v létě.



Obr. 3.14. Relativní průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězené a naměřené) pro půdní vlhkost v profilu 0-40 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu (nahore) a relativní chyba modelu IFS v jednotlivých sezónách na 10 dní dopředu (dole, YEAR – rok, DJF – zima, MAM – jaro, JJA – léto, SON – podzim)





Obr. 3.15. Relativní průměrná absolutní chyba (rozdíl předpovězené a naměřené) pro půdní vlhkost v profilu 40-100 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu (nahore) a relativní průměrná absolutní chyba modelu IFS v jednotlivých sezónách na 10 dní dopředu (dole, YEAR – rok, DJF – zima, MAM – jaro, JJA - léto, SON - podzim)

### 3.4. Detailní vyhodnocení úspěšnosti předpovědi půdní vlhkosti vycházející z předpovědního modelu IFS – ECMWF

Na základě předpovědních dat byla experimentálně zpětně spočítána předpověď půdní vlhkosti pro roky 2014 až 2016 (s využitím modelu AVISO) a pak také průběžně počítány předpovědi v roce 2017 (Obr. 3.16). Databáze vstupních dat tedy pro každý výpočetní den obsahuje sadu měřených dat na staniční síti ČHMÚ a sadu dat, která je výstupem z předpovědních modelů. Pro testování byly použity střednědobá předpovědní data v letech 2014 – 2015 na 8 dní dopředu a v období 2016 – 2017 na 9 dní dopředu. V denním kroku jsou agroklimatologické charakteristiky počítány z měřených dat a vzhledem k nutnosti kontinuálního bilancování změny zásoby vody v půdě jsou vždy k výpočetnímu dni přidána předpovědní data na x dnů dopředu a spočítán vývoj agroklimatických charakteristik na základě předpovědí.

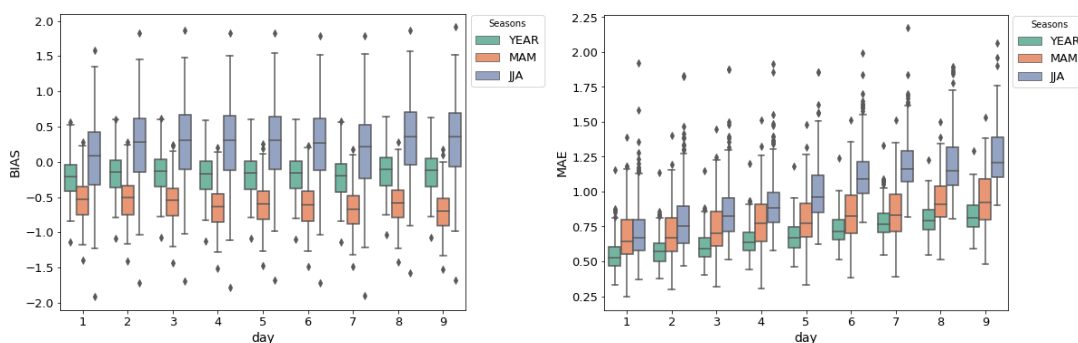


Obr. 3.16 Schéma denního zpracování předpovědních dat modelem AVISO

Pro určení stavu zásoby vody v půdě je potřeba stanovit deficitní složku, kterou plní v modelu AVISO výpar. Primárně a pro obecné hodnocení se využívá potenciální evapotranspirace (Obr. 3.17). Na její hodnotu nemá vliv srážkový úhrn a vychází z ostatních vstupních meteorologických prvků s primárním vlivem teploty vzduchu. Z hodnocení průměrných rozdílů hodnot potenciální evapotranspirace počítané z měřených a předpovědních dat, je zřejmý nárůst odchylky předpovědi s každým předpovědním dnem. Tyto rozdíly jsou pro rok a jarní období nízké, výraznější rozdíly hlavně pro předpovědi pro 6 den a více jsou patrné v letním období. Kdy dle hodnocení biasu předpovědi obecně výpar nadhodnocují. V jarních měsících je naopak předpověď potenciální evapotranspirace v průměru podhodnocena.

Vzhledem k zobecnění půdních a porostních podmínek v rámci používaných výpočtů modelu AVISO pro Monitoring sucha ČHMÚ (viz. metodika AVISO uvedena výše) zůstávají ve výpočtu předpovědi zásoby vody v půdě proměnnou s nejvyšší mírou nejistoty srážky (Obr. 3.18).

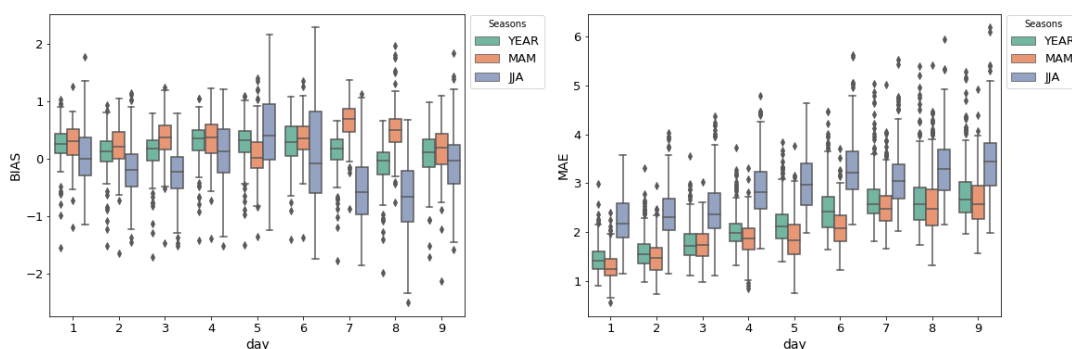
Rozdíly mezi reálnými daty srážek a předpovědí jsou v průměru logicky nejvyšší v letním období vzhledem k obtížnému stanovení množství srážek při výskytu konvektivních bouřek na více dnů dopředu. Rozdíly rostou s délkou předpovědi do cca 6. dne, pro 7. až 9. den předpovědi pak zůstávají relativně konstantní, nicméně dochází v průměru k mírnému podhodnocení předpovědi srážek. Hlavně to platí pro 7. a 8. den předpovědi. Menší průměrné odchylky pak panují v ročním hodnocení a také na jaře. V jarním období pak obecně v průměru předpovědní model srážky spíše nadhodnocuje. Odchylky předpovědi úhrnu srážek proti reálným naměřeným datům musí mít logicky vliv na stanovení vývoje a míry doplňování zásob vody v půdě. Stejně tak se projevuje i vliv správného určení míry odběru vody formou evapotranspirace.



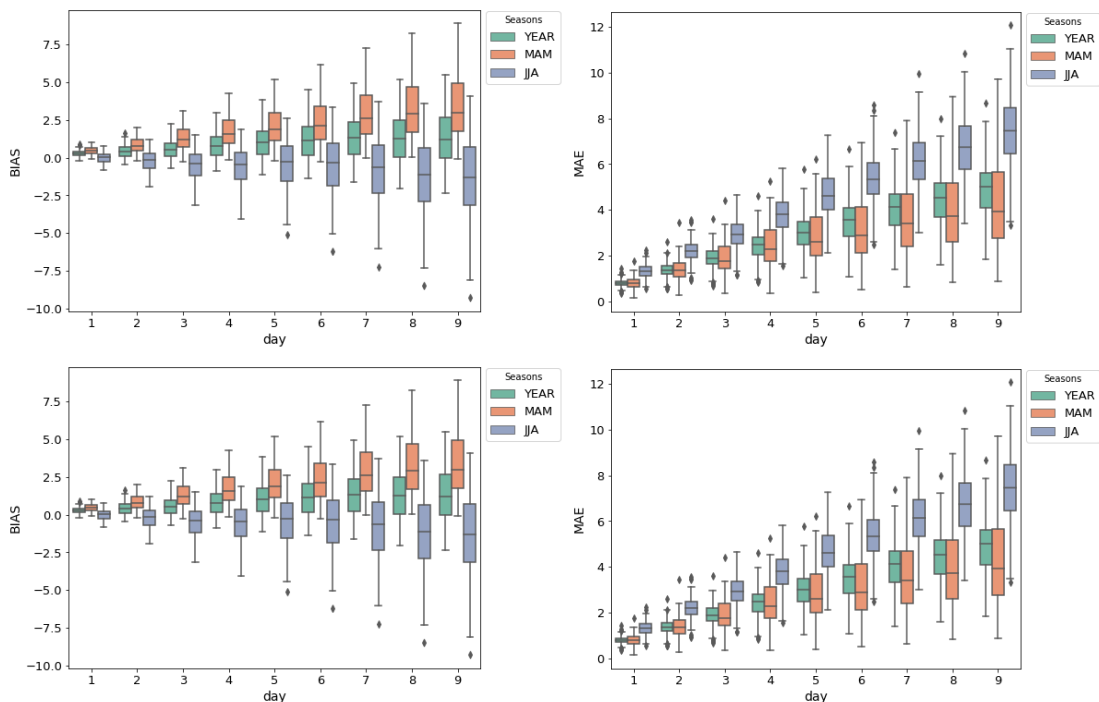
Obr. 3.17 Denní úhrny potenciální evapotranspirace - průměrné hodnoty biasu (systematická chyba) a MAE (průměrná absolutní odchylka) v mm mezi daty vypočtenými z předpovědi a z měření pro jednotlivé dny předpovědi (1. až 9. den předpovědi) v hodnocených sezónách (YEAR – rok, MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen). Výsledky z roku 2017.

Předpověď stavu vody se počítá z výchozího aktuálního stavu v daný výpočetní den a následuje v denním kroku bilancování odběru a dodávky vody do půdy na základě výpočtu modelu z předpovědních dat (Obr. 3.19). Výsledkem je, že s délkou předpovědi narůstají průměrné hodnoty odchylky hodnot z předpovědi od hodnot reálných. Ve zjednodušené formě se průměrné denní rozdíly zásoby využitelné vody v půdě pohybují v letním období pro 9. den předpovědi kolem 7 % VVK. V jarním období a v celém roce jsou pak průměrné rozdíly nižší. Z analýzy biasu je pak zřejmé, že předpověď má tendenci v jarních měsících hodnoty zásoby vody navyšovat než je reálný stav, v letních pak jsou hodnoty nižší, než jsou počítané z reálných dat.

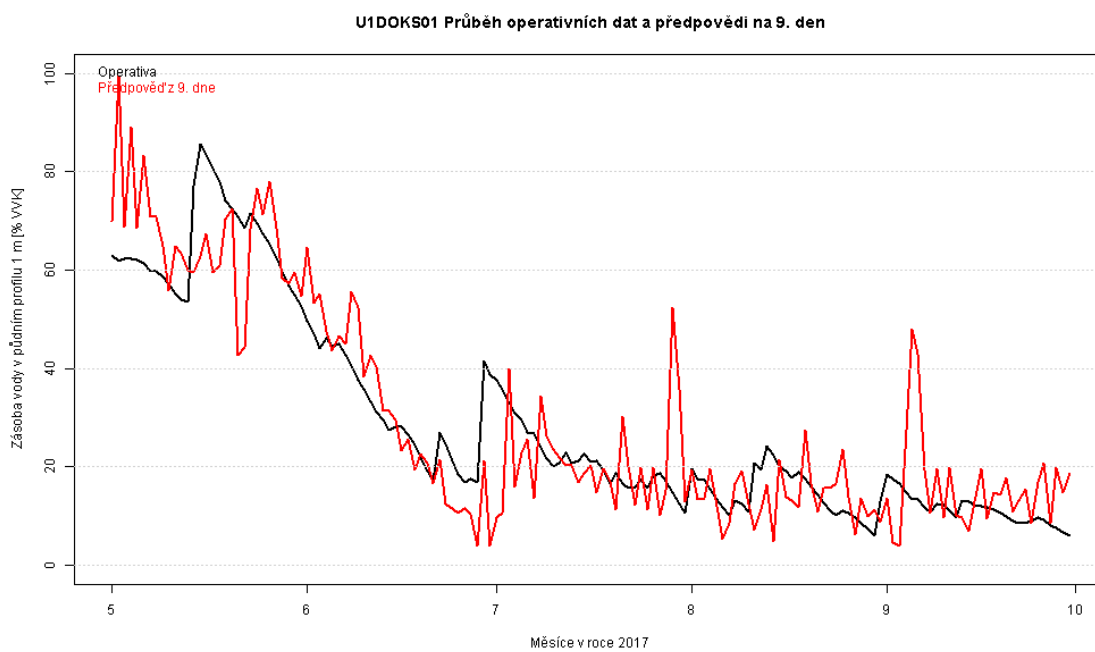
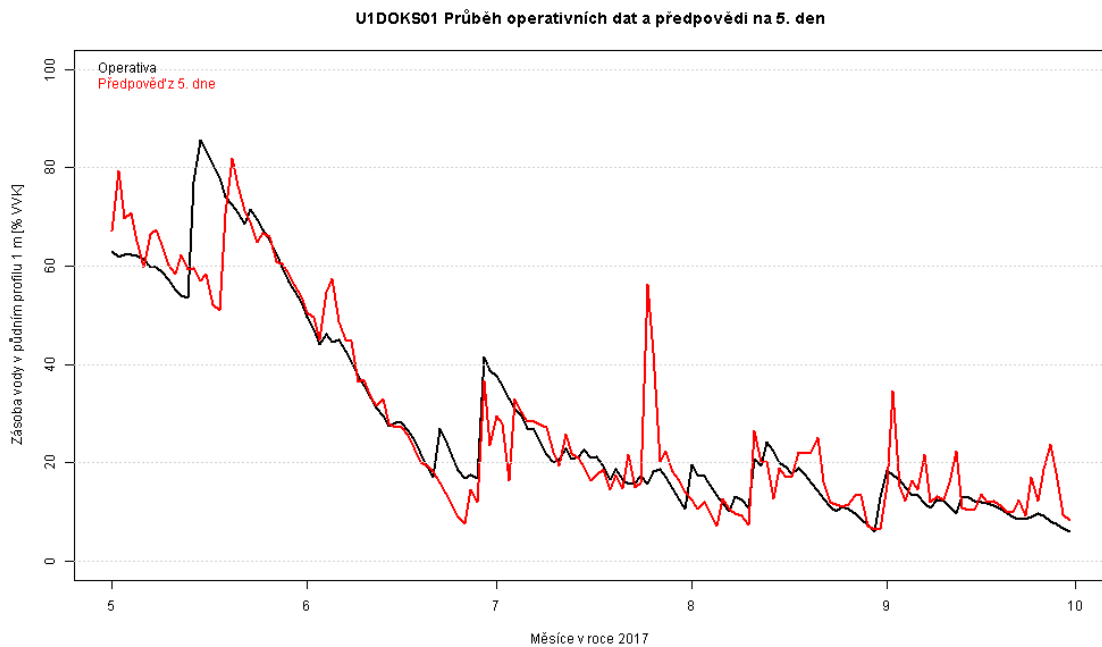
Příklad průběhu změny zásoby vody v půdním profilu na stanici Doksany dle operativních a předpovědních dat předkládají grafy na Obr. 3.20 a 3.21. Patrné je, že při dynamickém charakteru počasí se výsledky výpočtu z předpovědních dat od měřených mohou i výrazně lišit. Velký vliv na zásobu vody v půdě mají srážky, které jsou jak z hlediska úhrnu, tak z hlediska času a lokality výskytu u některých typů povětrnostních situací obtížně předpověditelné. Na grafech to lze pozorovat rozchodem výsledků modelu pro operativní a předpovědní data. Z tohoto důvodu je více než vhodné pro optimální střednědobou predikci vývoje zásoby vody v půdě využívat ansámblu modelů. To má v optimálním případě za následek zlepšení odhadu srážek, které jsou pro správné stanovení deficitu vody v půdě a bilanci vody v krajině zásadní.



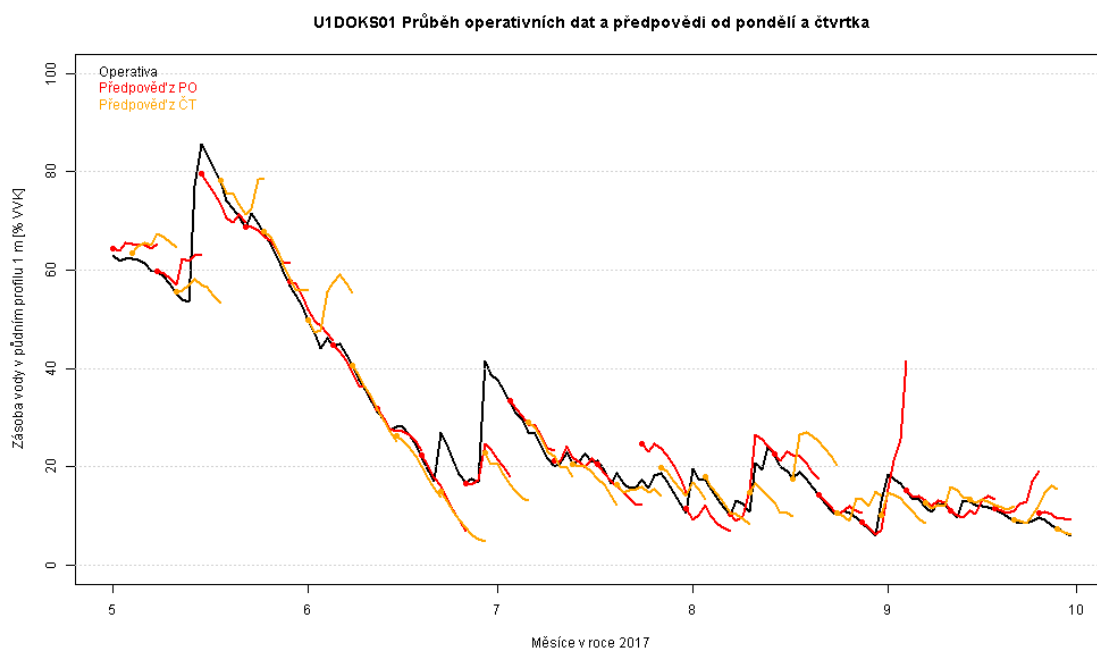
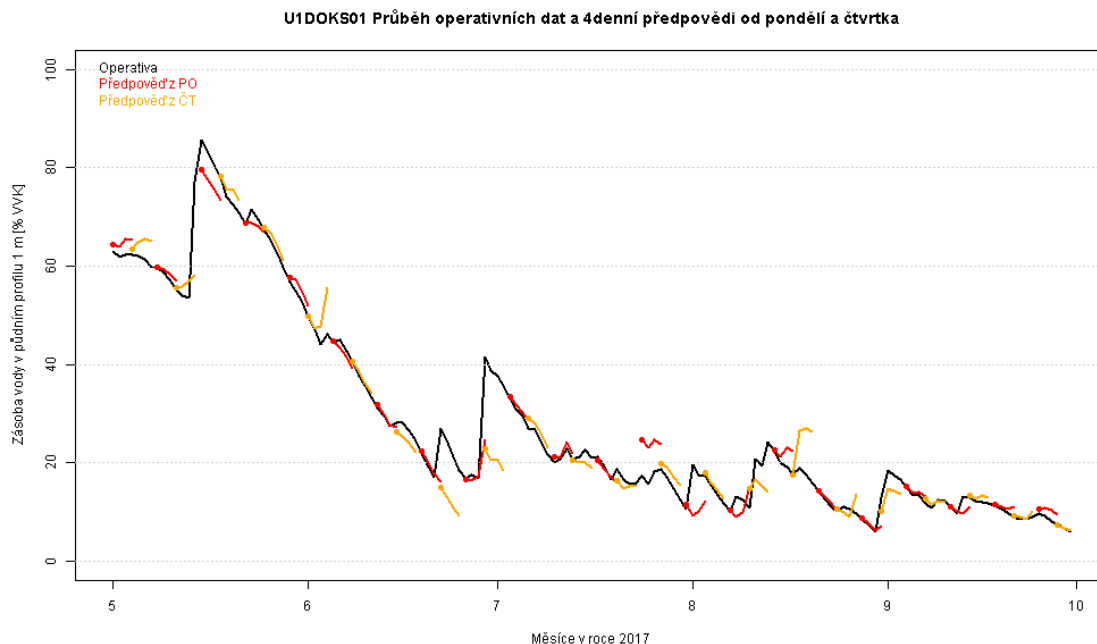
Obr. 3.18 Denní úhrny srážek - průměrné hodnoty biasu (systematická chyba) a MAE (průměrná absolutní odchylka) v mm mezi daty předpovědními a měřenými pro jednotlivé dny předpovědi (1. až 9. den předpovědi) v hodnocených sezónách (YEAR – rok, MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen). Výsledky z roku 2017.



Obr. 3.19 Denní hodnoty zásoby využitelné vody v půdě (modelová středně těžká půda s VVK 170mm/1 m profilu) - průměrné hodnoty biasu (systematická chyba) a MAE (průměrná absolutní odchylka) % VVK mezi daty vypočtenými z předpovědi a z měření pro jednotlivé dny předpovědi (1. až 9. den předpovědi) v hodnocených sezónách (YEAR – rok, MAM – březen až květen, JJA – červen až srpen). Výsledky z roku 2017.



Obr. 3.20 Průběh hodnot zásoby využitelné vody v půdě (modelová středně těžká půda s VVK 170mm/1 m profilu) – operativní (na základě měření) a předpovědní data pro 5. (nahore) a 9. (dole) den předpovědi na stanici Doksany (střední Čechy)



*Obr. 3.21 Průběh v pravidelném kroku vytvářených operativních (na základě měření) hodnot zásoby využitelné vody v půdě (modelová středně těžká půda s VVK 170mm/1 m profilu) a předpovědí na 4 dny (nahore) a 9 dní (dole) z pondělí a ze čtvrtka na stanici Doksany (střední Čechy)*

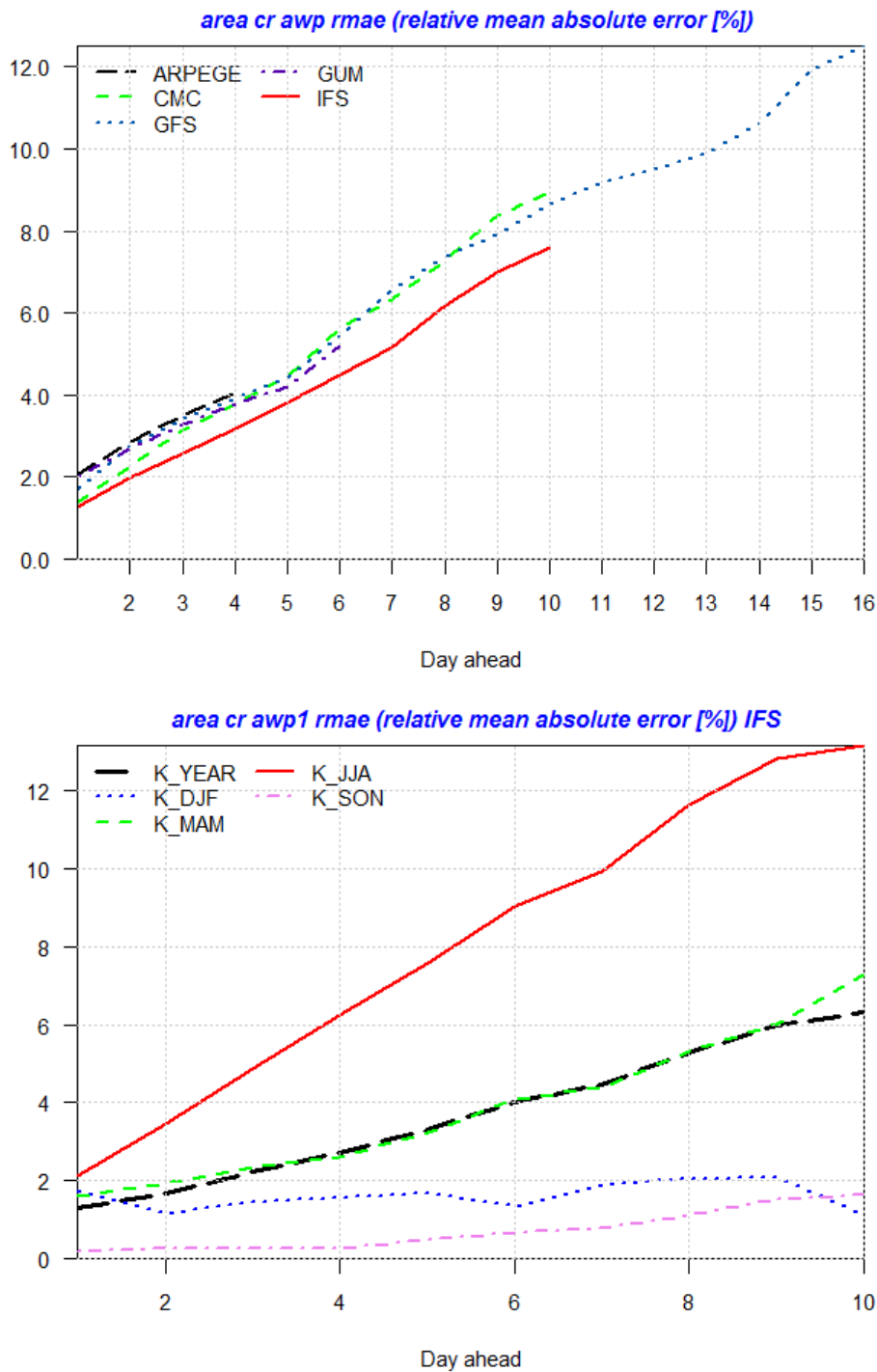
### 3.5. Srovnání úspěšnosti předpovědi intenzity sucha (SoilClim) z 5 meteorologických předpovědních modelů

Intenzita sucha informuje o obsahu vody v půdě vztažené vůči dlouhodobému průměru a je dělena do 6 kategorií. Vyhodnocení úspěšnosti předpovědi je kvantifikováno jako procentuální rozdíl průměrné dosažené kategorie sucha v České republice a té předpovězené. Predikce je opět pro 3 půdní profily a to celkový 0-100 cm a pak svrchní a hlubší vrstvu (Obr 3.22-24). Stejně jako u půdní vlhkosti, tak nejmenší chyba v intenzitě sucha je ve vrstvě 40-100 cm, kde jsou výkyvy obsahu vody nejmenší. Naopak ve vrstvě 0-40 cm jsou výkyvy obsahu vody nejvyšší a především v letním období je nepřesnost modelů ve vyjádření intenzity sucha vyšší než u profilu 0-100 cm.

V celkovém profilu 0-100 cm (Obr. 3.22) má nej přesnější předpověď intenzity sucha na první den model IFS a CMC s chybou okolo 1,3 %. Naopak nejméně přesný je Arpege a GUM. Na 4. den dopředu je už samotně nejspolehlivější model IFS s chybou 3,1 %. Na 9 dní dopředu je spolehlivost modelu IFS skoro 93 %. Další dva GFS a CMC jen lehce zaostávají. Zákonitost jestli modely většinou sucho přeceňují nebo podceňují, zde nalezena nebyla, liší se to individuálně a to i podle sezóny. Jde spíše o náhodnou fluktuaci. Stejně jako v predikci půdní vlhkosti, tak i zde je nejproblematičtější predikce v létě a na jaře, kdy intenzita nejvíce kolísá a výkyvy obsahu vody v půdě jsou nejvyšší.

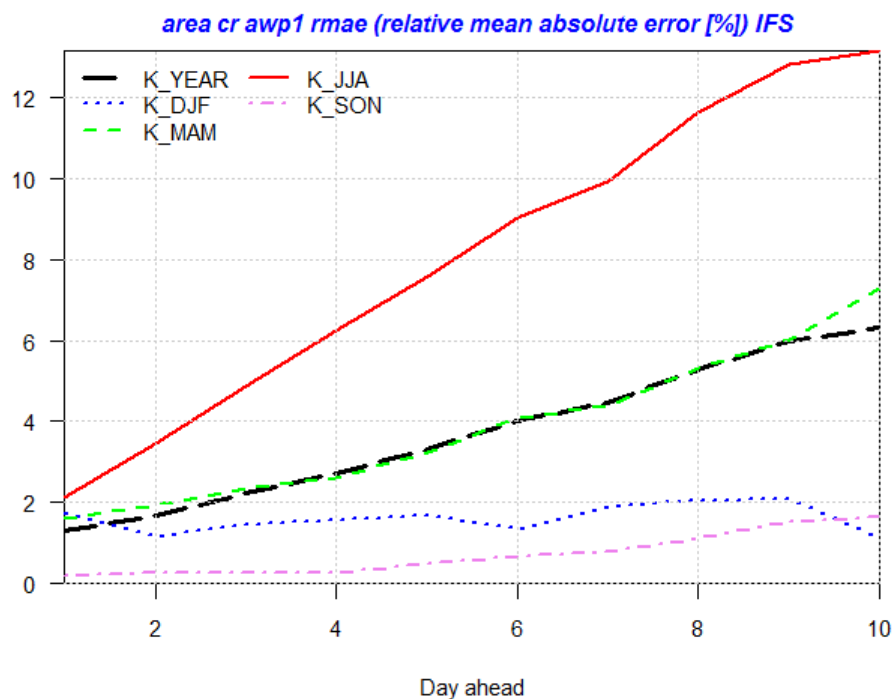
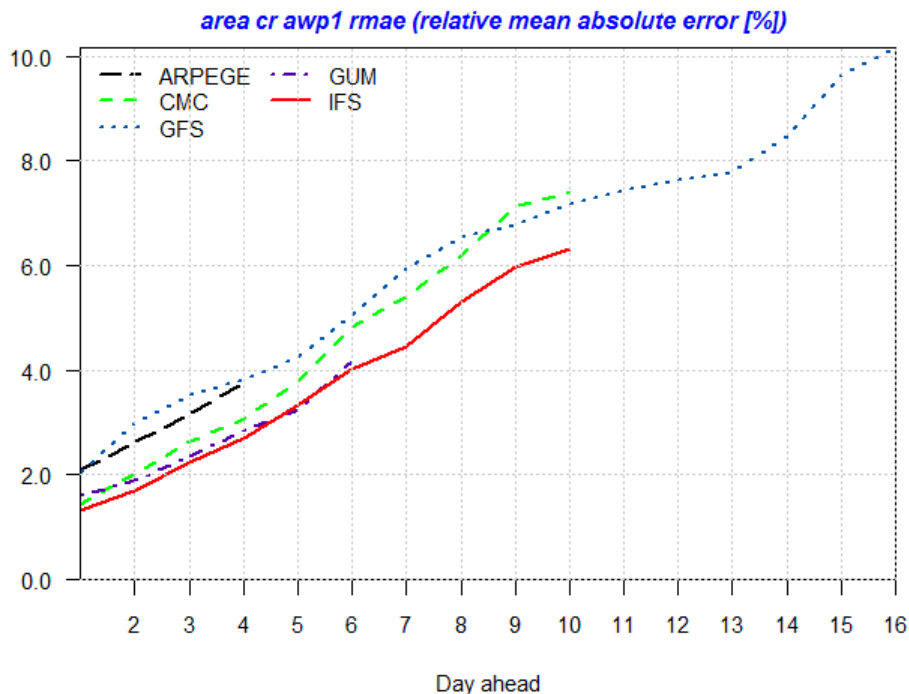
V profilu 0-40 cm (Obr. 3.23) je průměrná spolehlivost všech modelů na první den vyšší než 98 %. Na čtyři a devět dní dopředu je průměrná úspěšnost modelů o trochu vyšší než u celého horizontu 0-100 cm. Na první den je nejlepší model IFS a CMC. Model IFS si pak drží vysokou úspěšnost po další předpovědní dny, naopak u CMC chyba významněji vzrůstá. Velice kvalitní předpověď na první čtyři dny poskytuje model GUM a to na úrovni IFS modelu. Ve svrchní vrstvě klesá kvalita modelu s dobou předpovědi nejvíce v letních měsících. Například model IFS má úspěšnost v létě na 9 dní dopředu kolem 88 %. Oproti tomu na jaře je to 95 % a v zimě dokonce 98 %.

Podobně jako u půdní vlhkosti, tak i zde je v profilu 40-100 cm (Obr. 3.24) díky menšímu kolísání obsahu vody v půdě předpověď velmi spolehlivá. Na první den je úspěšnost 99 %, na čtvrtý den předpovědi okolo 98 % a delší výhled na devět dní 96 %. Zde produkují kvalitní předpověď všechny dlouhé modely - IFS, GFS a CMC. Naopak nejméně úspěšný je model GUM, který byl naopak velmi kvalitní ve svrchní vrstvě. Na první čtyři dny je nejméně spolehlivá předpověď na jaře. Na delší období je to už klasicky v letních měsících. Například úspěšnost modelu IFS v profilu 40-100 cm je na devátý den v létě 91 %.

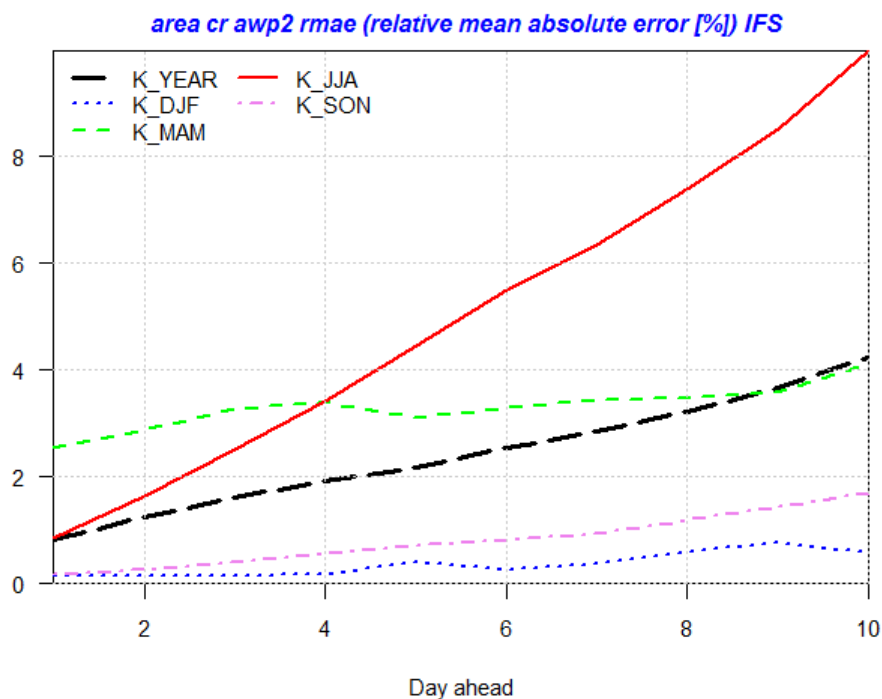
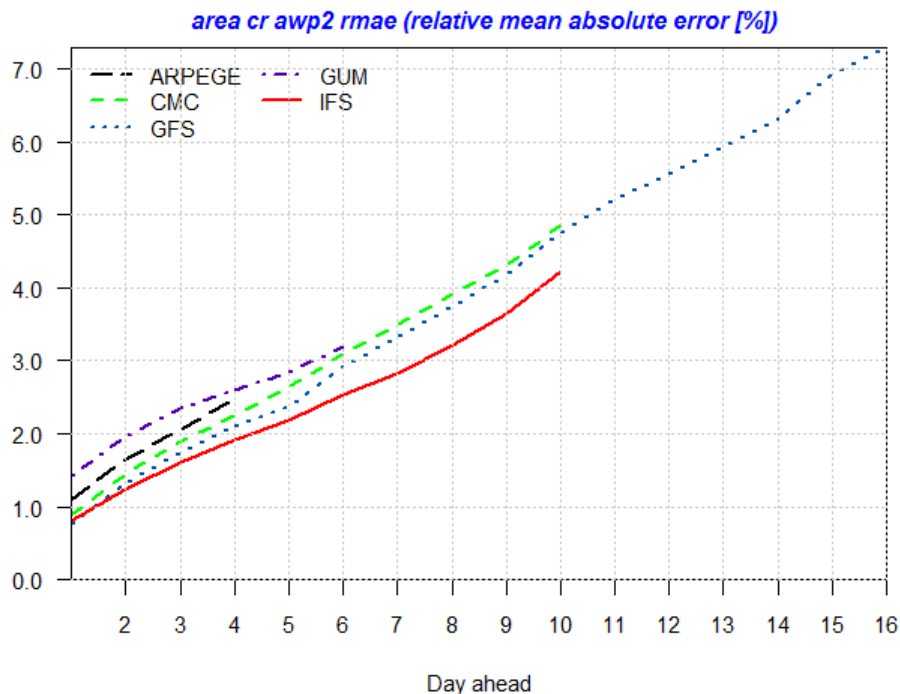


Obr. 3.22. Relativní průměrná absolutní chyba předpovědi (rozdíl dosažené a předpovězené hodnoty) pro intenzitu sucha v profilu 0-100 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu (nahore) a relativní průměrná absolutní chyba modelu IFS v jednotlivých sezónách na 10 dní dopředu (dole, YEAR – rok, DJF – zima, MAM – jaro, JJA - léto, SON - podzim)





Obr. 3 23. Relativní průměrná absolutní chyba předpovědi (rozdíl dosažené a předpovězené hodnoty) pro intenzitu sucha v profilu 0-40 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu (nahore) a relativní chyba modelu IFS podle v jednotlivých sezónách na 10 dní dopředu (dole)

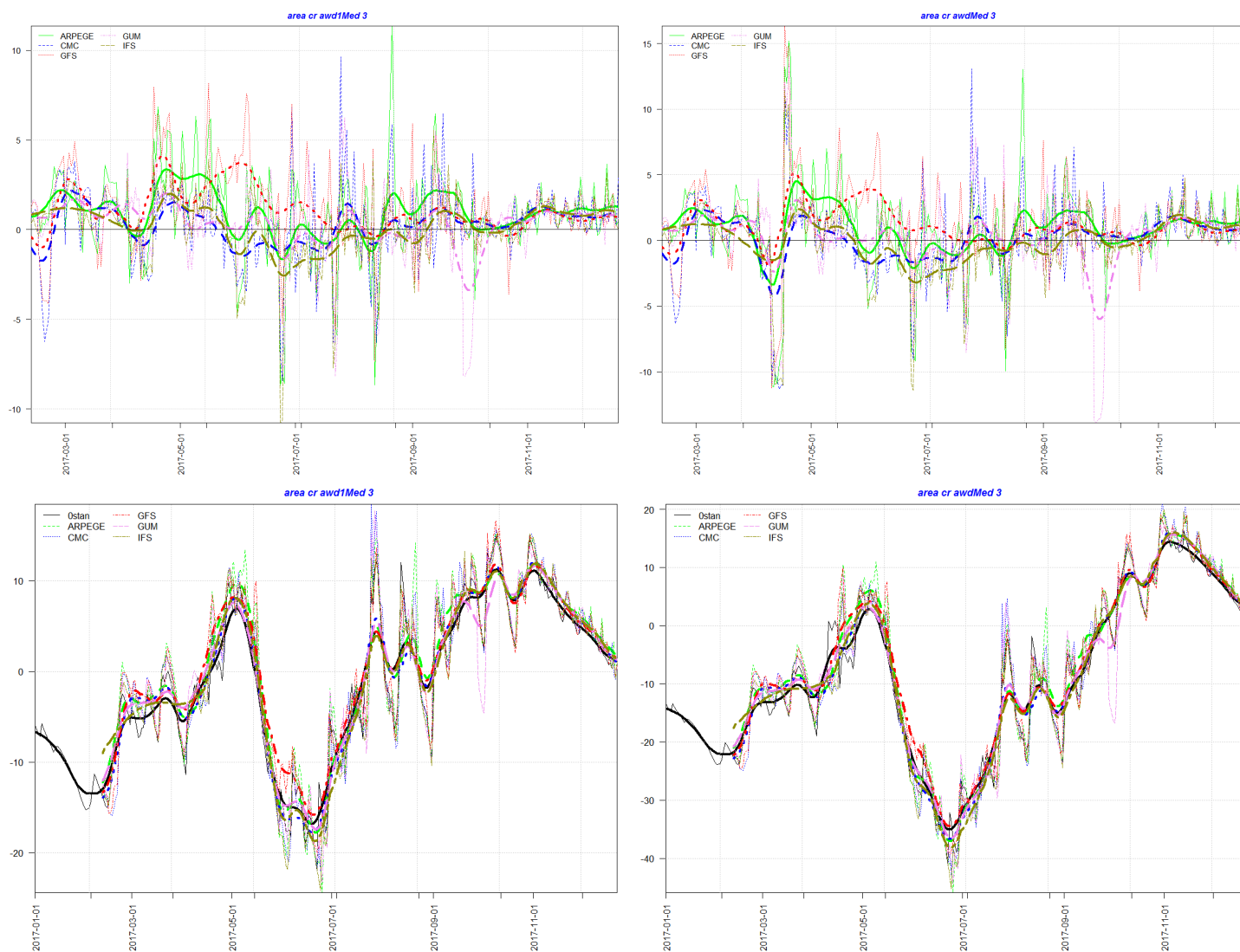


Obr. 3.24. Relativní průměrná absolutní chyba předpovědi (rozdíl dosažené a předpovězené hodnoty) pro intenzitu sucha v profilu 40-100 cm podle jednotlivých modelů predikovaných až na 16 dní dopředu (nahore) a relativní chyba modelu IFS podle v jednotlivých sezónách na 10 dní dopředu (dole)

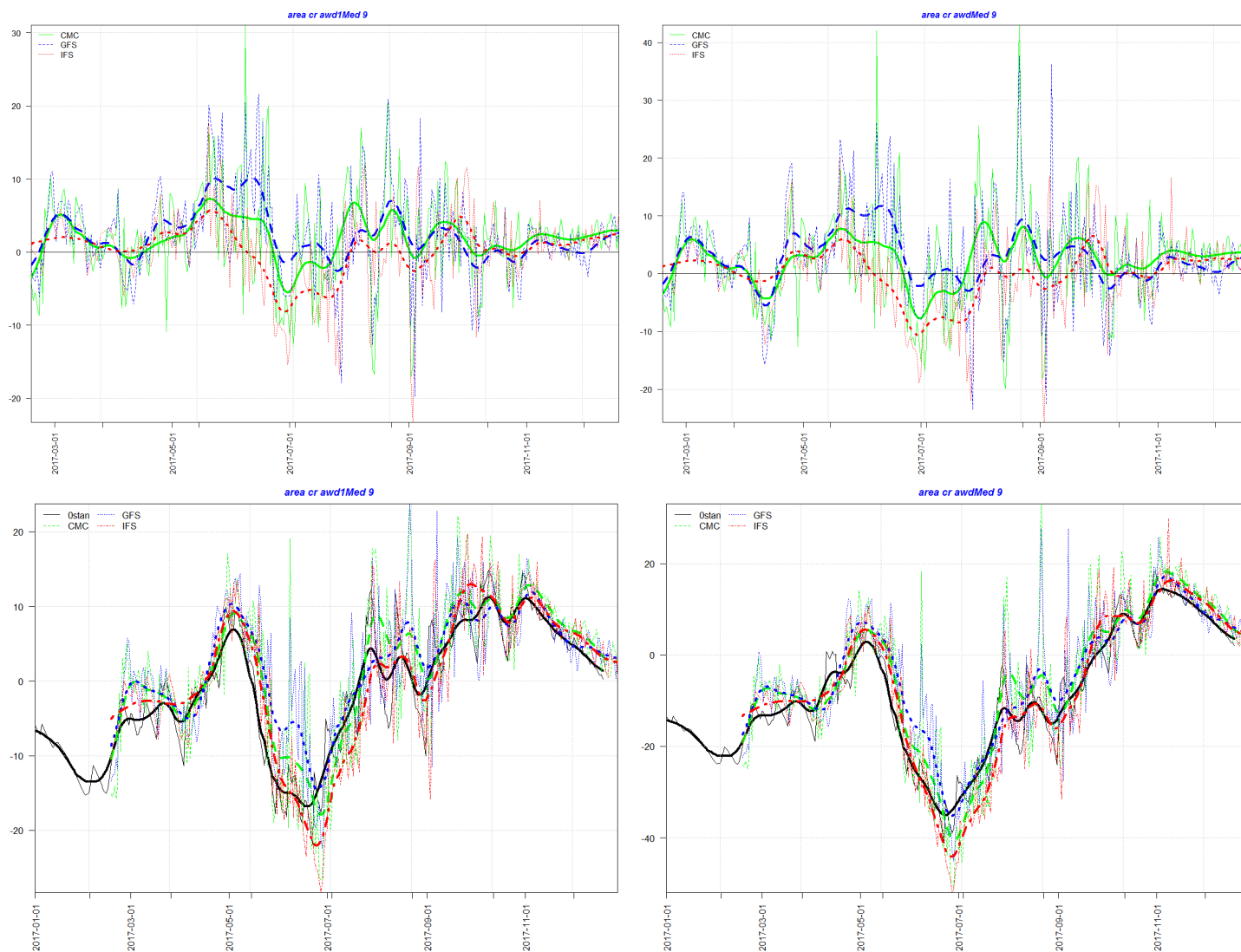
### 3.6. Vyhodnocení předpovědi sucha během suché epizody roku 2017

Porovnání úspěšnosti předpovědi sucha v roce 2017 mezi modely je nepochybně klíčovým vodítkem pro rozhodování o preferování předpovědi toho či onoho modelu. Ačkoliv lze u každého z modelů vysledovat jisté regionální rozdíly platí, že model IFS z Centra pro střednědobou předpověď počasí v anglickém Readingu je dlouhodobě nejspolehlivějším předpovědním modelem a uživatelé by mu tak měli přisuzovat větší váhu. Současně část 3.5 jasně ukazuje, že největší nejistotu v předpovědi najdeme v období léta (červen-srpen), což souvisí jednak s výskytem konvektivních srážek výrazně lokálního charakteru a současně s tím, že letní srážkové úhrny jsou nejvyšší a proto dokáží významněji ovlivnit obsah půdní vláhly. Nicméně spolehlivost předpovědi sucha je vysoká a je výrazně vyšší než spolehlivost předpovědi základních meteorologických proměnných. To je dáno primárně poměrně značným objemu srážek nebo množství energie, které jsou zapotřebí ke změně stavu půdy. Rok 2017 lze považovat za ideální z pohledu testování úspěšnosti modelů a jejich přínosu. Sucho totiž bylo výrazně regionální a suchá epizoda se skládala z několika etap. Proto by se případné chyby v předpovědi měly projevit i na národní úrovni jako výrazný pokles spolehlivosti předpovědi. Obr. 3.25 zachycuje jednak odchylku předpovědi deficitu vláhly ve vrstvách od 0-40 cm a 0-100 cm od reality při předpovědi na 3 dny v průběhu roku 2017. Je zachycena relativní odchylka s ohledem na následně pozorovanou skutečnost (horní panel) tak průběh absolutních hodnot (dolní panel). Je evidentní, že průměrná chyba předpovědi nepřekročila v denním kroku 15 mm a v 10 denním průměru 3 mm deficitu v povrchové vrstvě a podobné hodnoty bylo dosaženo i v celém profilu. U 9-denní předpovědi (Obr. 3.26) je situace podobná u modelu IFS, který vykazuje výrazně lepší výsledky než CMC a GFS modely. Z průběhu ročních hodnot deficitu půdní vlhkosti vyplývá, že předpovědní modely i v horizontu 9 dní korektně předvíдалy zhoršení i zlepšení stavu. Zajímavým poznatkem je že v předpovědi modely (zvláště IFS) předvíдалy větší pokles zásoby vody v půdě, než ke kterému došlo v období vrcholu suché epizody. Tento aspekt je nutné uvážit při interpretaci předpovědi a spíše kalkulovat s tím, že předpovědi modelu IFS mají mírnou tendenci nadhodnocovat míru zhoršení situace v horizontu 9 dnů.

Pokud zhodnotíme schopnost systému korektně předpovědět intenzitu sucha, je zřejmé, že přesnost v horizontu 3 dnů je velmi vysoká, což dokumentují výsledky předpovědi v porovnání se skutečným stavem z klíčových dnů letošní sezóny. Ať již se jednalo o 1.4., 27.5. 24.6. nebo 29.7. modelová předpověď spolehlivě zachytila proporce jednotlivých intenzit sucha. To dokládají histogramy 3.27a-e. Pro předpověď na 6 a 9 dní je spolehlivost relativně vysoká, s výjimkou 24.6., kdy všechny modely odhadovaly výrazný nárůst výskytu kategorie S5, což souviselo s jiným chováním frontálního systému než předpokládali všechny ostatní modely. Tato situace naznačuje, že i různorodý ansámbl předpovědních modelů není absolutní pojistkou před výrazným přeceněním nebo podceněním situace v případě, že je předpověď používána na více než 5 dní dopředu. V horizontu 3 dní je však předpověď velmi spolehlivá. Ovšem jak ukazuje příklad 24.6. za určité situace může dojít k relativně velké odchylce již v případě předpovědi na 3 dny (Obr. 3.28). Analýza úspěšnosti předpovědi během roku 2017 však ukazuje značný potenciál a v zásadě vysokou míru spolehlivosti, kterou předpověď sucha poskytuje i fakt, že soubor různorodých předpovědních modelů poskytuje lepší předpověď, než jednotlivé modely nezávisle na sobě.

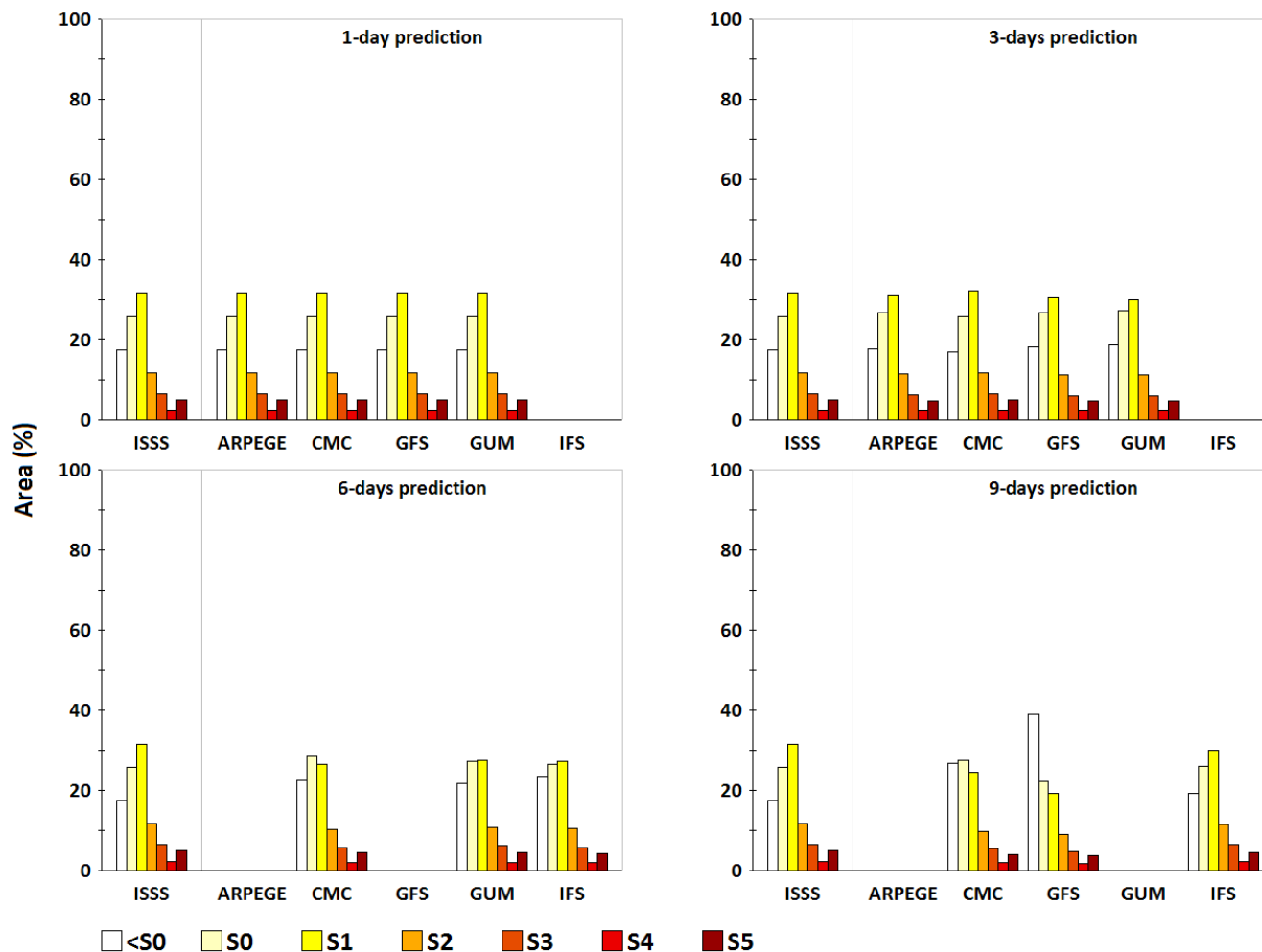


Obr. 3.25. Denní (slabé linie) a 10-denní (silné line) odchylka deficitu půdní vláhy v rozsahu 0-40 cm (vlevo) a 0-100 cm (vpravo) vyjádřená jako absolutní odchylka v mm od skutečného stavu (nahore) a průběh absolutních hodnot skutečného a předpovídaného deficitu (dole). Předpověď na +3 dny.



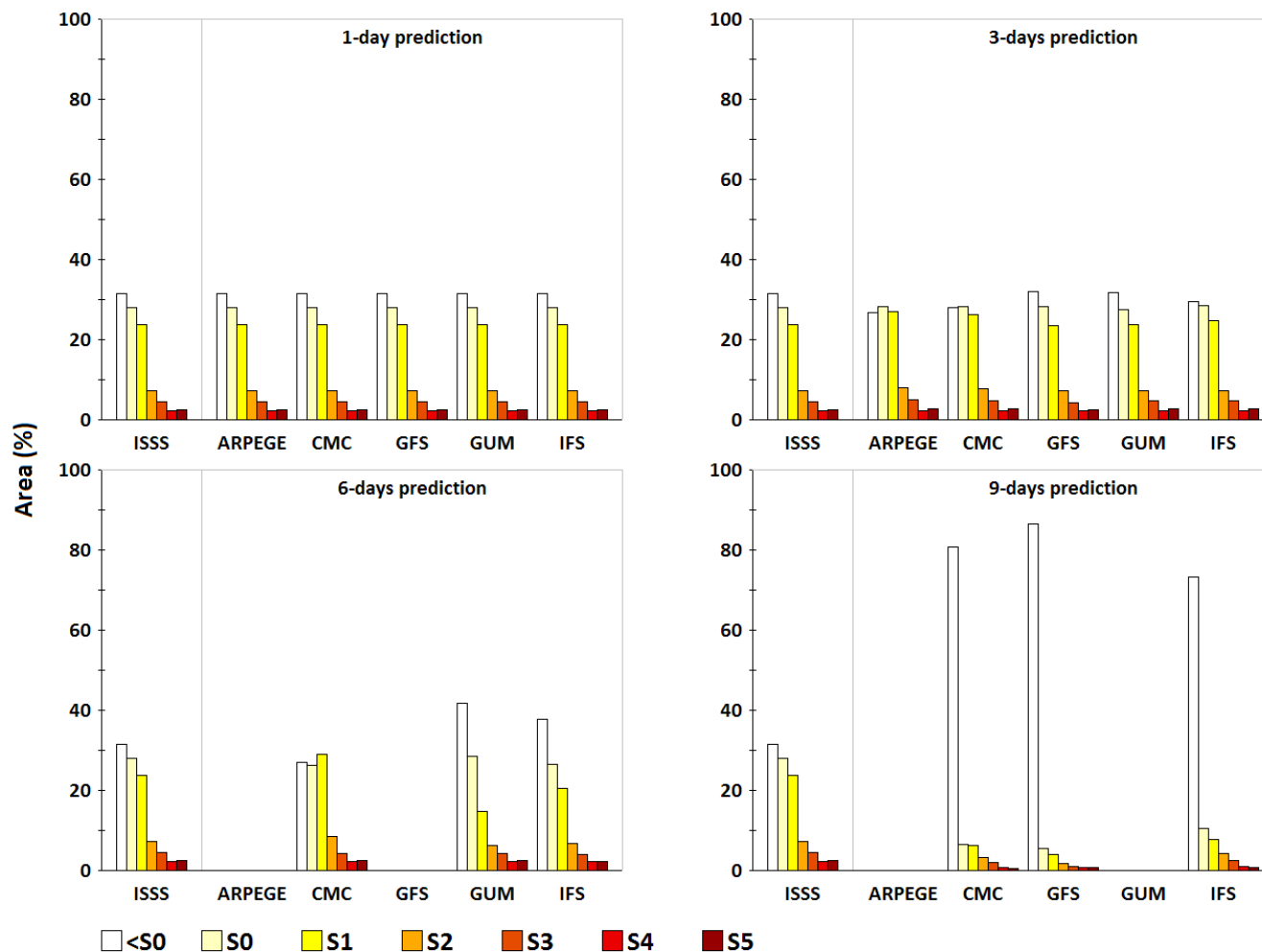
Obr. 3.26. Denní (slabé linie) a 10-denní (silné linie) odchylka deficitu půdní vláhy v rozsahu 0-40 cm (vlevo) a 0-100 cm (vpravo) vyjádřená jako absolutní odchylka v mm od skutečného stavu (nahore) a průběh absolutních hodnot skutečného a předpovídaného deficitu (dole). Předpověď na +9 dnů.

2017\_04\_01



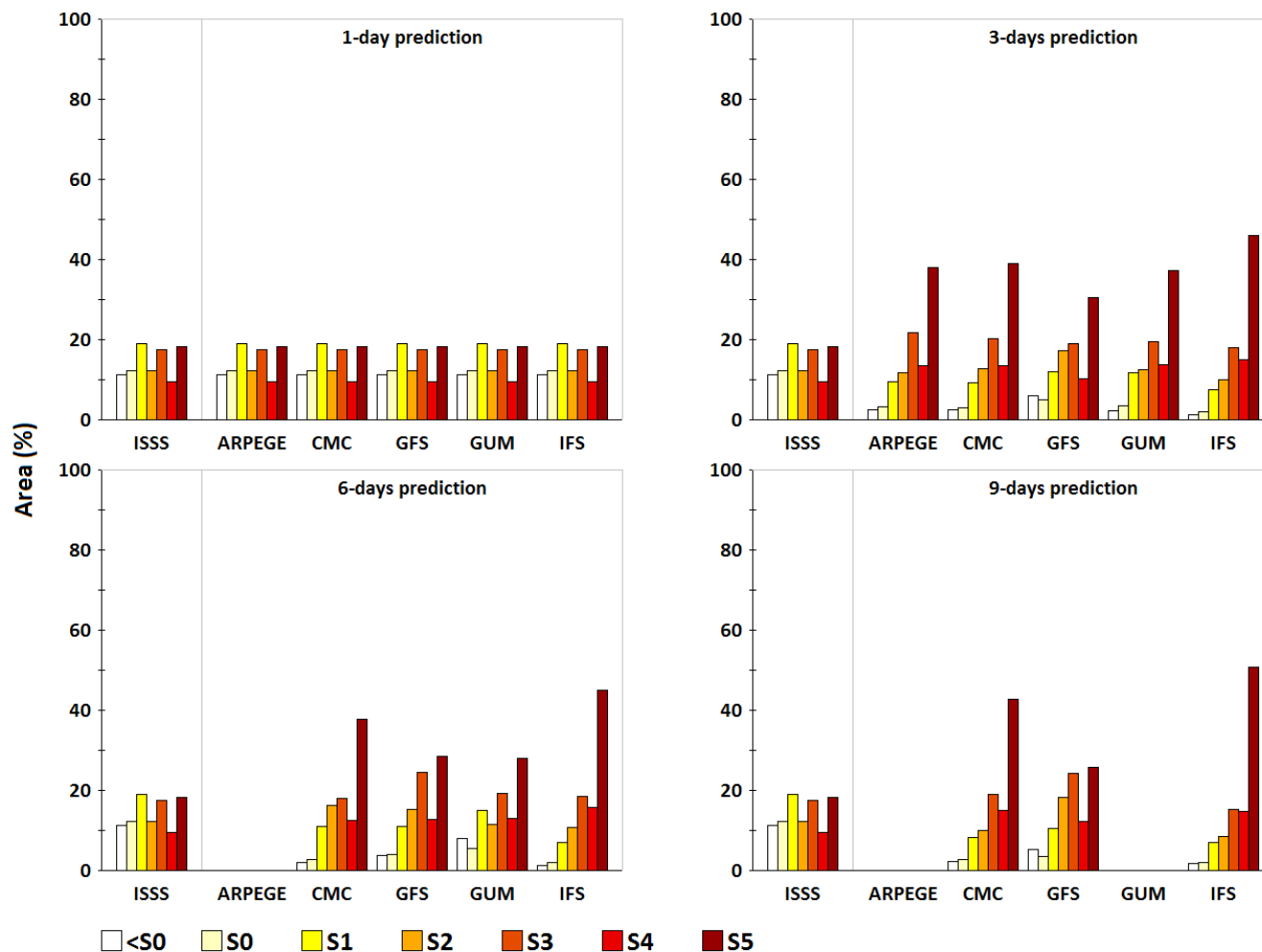
Obr. 3.27a. Rozdělení kategorií intenzity sucha v celém profilu (Tabulka 3.1) pro skutečnost (ISSS) a předpovídaná situace pro 5 modelů předpovědi počasí na 1, 3, 6 a 9 dní. Graf zachycuje zastoupení kategorií na území ČR dne 1.4. 2017 na základě skutečnosti a předpovědi.

2017\_05\_27



Obr. 3.27b. Rozdělení kategorií intenzity sucha v celém profilu (Tabulka 3.1) pro skutečnost (ISSS) a předpovídaná situace pro 5 modelů předpovědi počasí na 1, 3, 6 a 9 dní. Graf zachycuje zastoupení kategorií na území ČR dne 27.5. 2017 na základě skutečnosti a předpovědi.

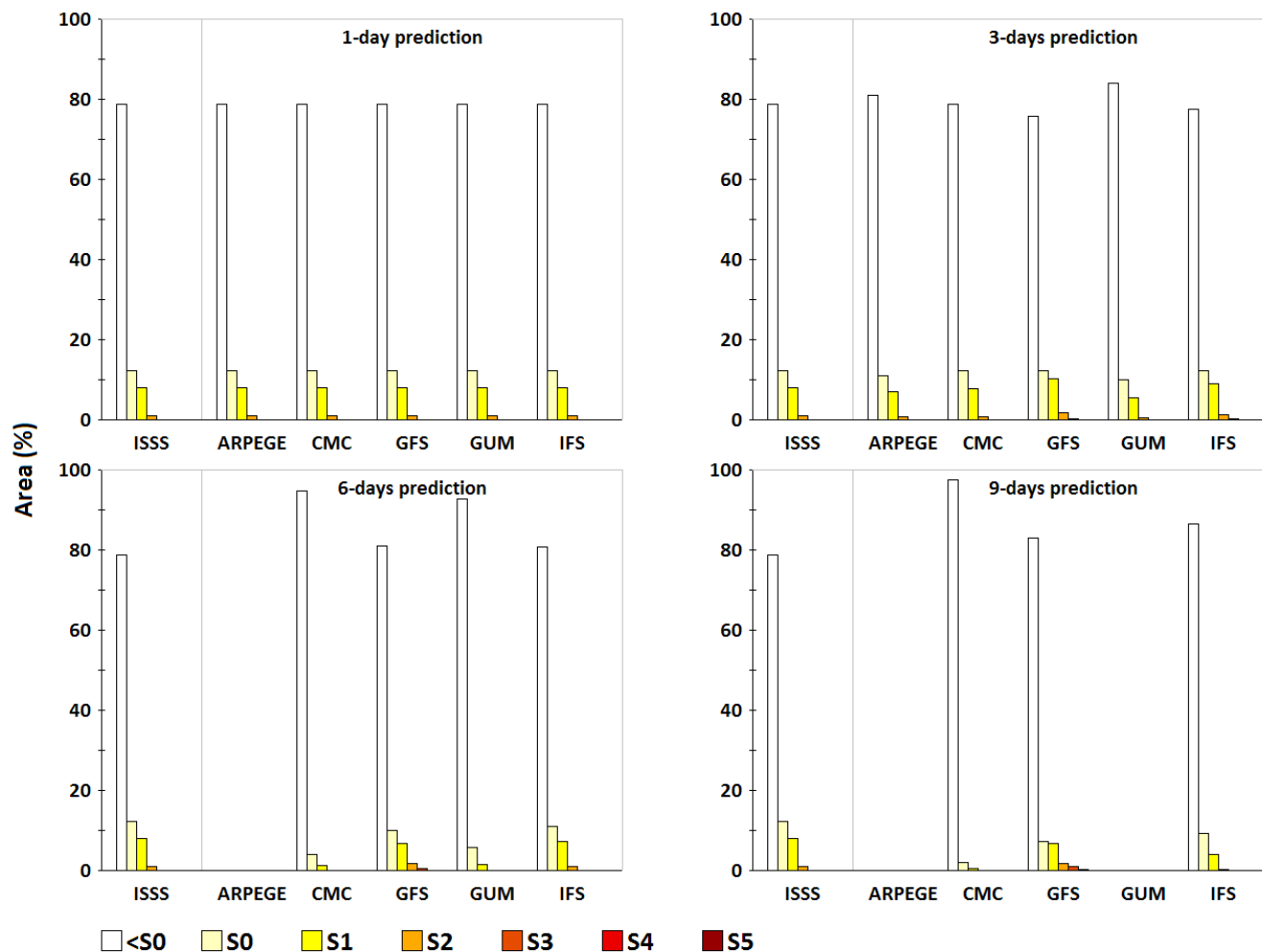
2017\_06\_24



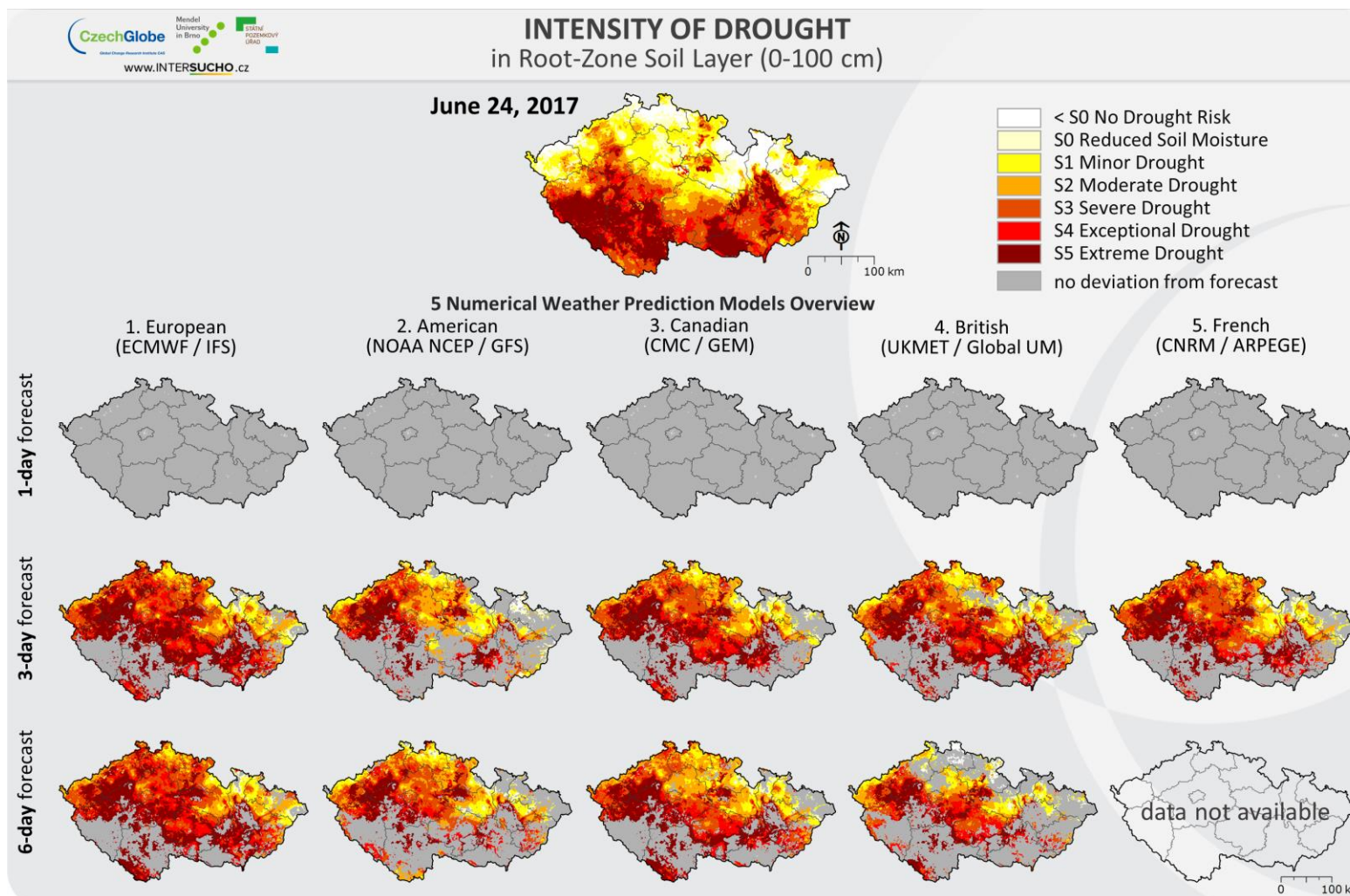
Obr. 3.27c. Rozdělení kategorií intenzity sucha v celém profilu (Tabulka 3.1) pro skutečnost (ISSS) a předpovídaná situace pro 5 modelů předpovědi počasí na 1, 3, 6 a 9 dní. Graf zachycuje zastoupení kategorií na území ČR dne 24.6. 2017 na základě skutečnosti a předpovědi.



2017\_07\_29



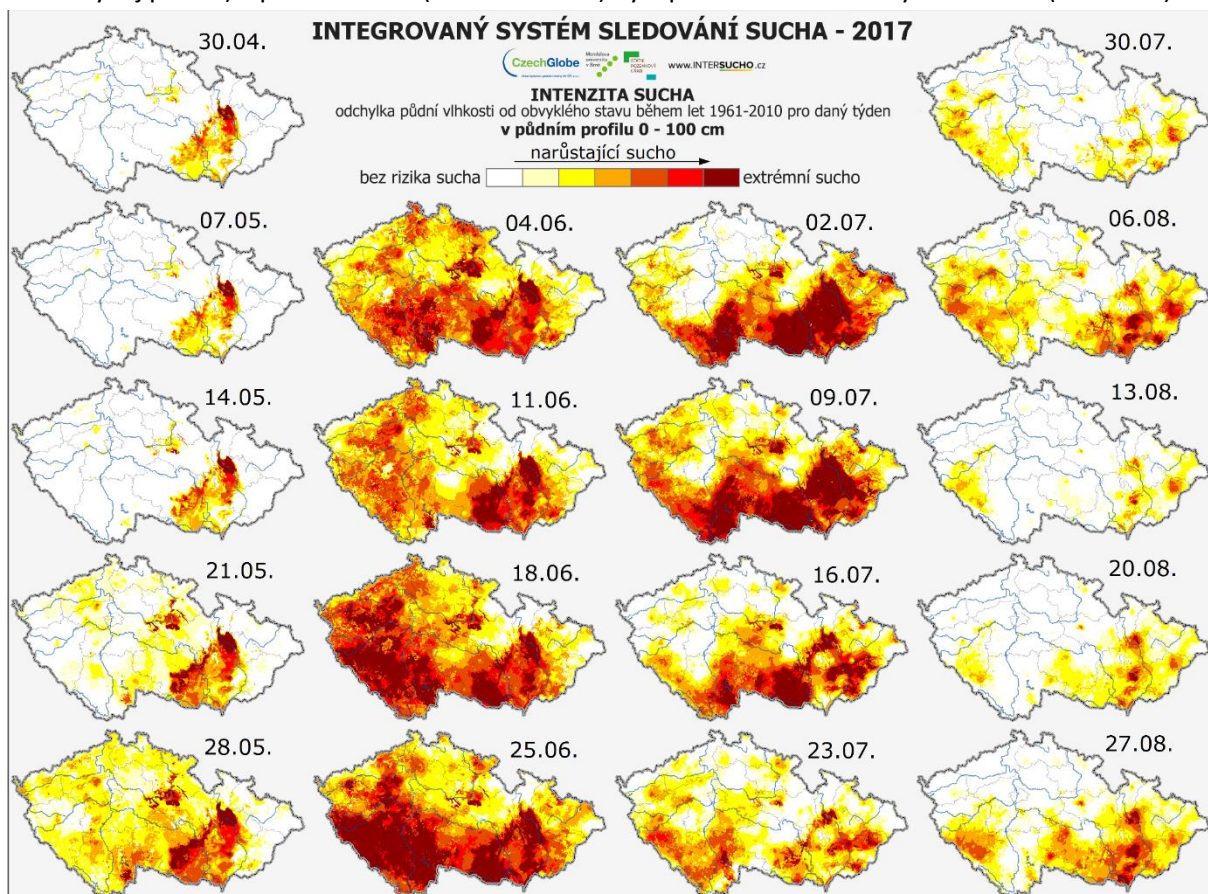
Obr. 3.27d. Rozdělení kategorií intenzity sucha v celém profilu (Tabulka 3.1) pro skutečnost (ISSS) a předpovídaná situace pro 5 modelů předpovědi počasí na 1, 3, 6 a 9 dní. Graf zachycuje zastoupení kategorií na území ČR dne 29.7. 2017 na základě skutečnosti a předpovědi.



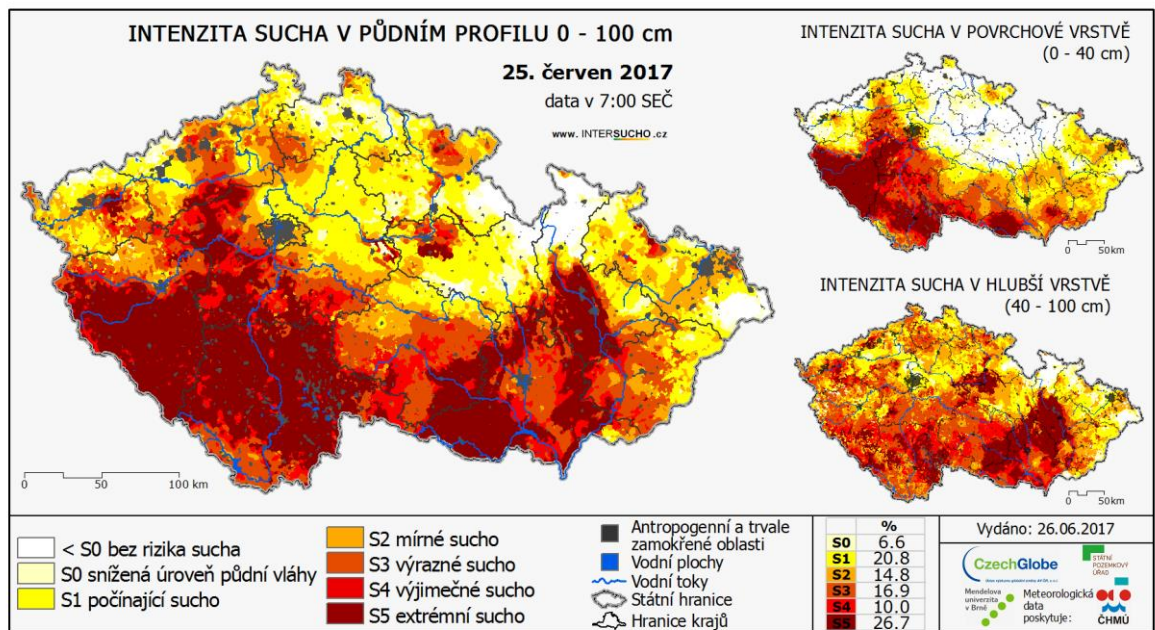
Obr. 3.28. Ukázka odchylky předpovědi od skutečnosti na příkladu intenzity sucha v nejhorší den roku 2017 z pohledu úspěšnosti předpovědi. Je zde zřetelně patrné „selhání“ předpovědi u všech modelů ansámblu, které nekorektně předvídalý počasí beze srážek na 25.6. , ty však zasáhly severní 2/3 území a způsobily výrazné nadhodnocení intenzity sucha .

### 3.7. Dopady sucha roku 2017 – zamyšlení nad využitím předpovědi

Od počátku roku 2017 se vyskytovalo zemědělské sucho na území jižní Moravy a zasahovalo i na počátku května cca 10 % zemědělské půdy v ČR (obr. 3.29., tab. 3.1). Vzhledem k nepříznivým meteorologickým podmínkám došlo od konce dubna k postupnému výraznému plošnému rozšíření území postiženého suchem, které kulminovalo 25. 6. (obr. 3.30), kdy se výrazné až extrémní sucho vyskytovalo na 54 % území. 42 % území bylo postiženo mírným suchem (i tento stav má dopad na růst a vývoj plodin) a pouze na 4 % (horské oblasti) byla půdní vlhkost v obvyklém stavu (obr. 3.31).



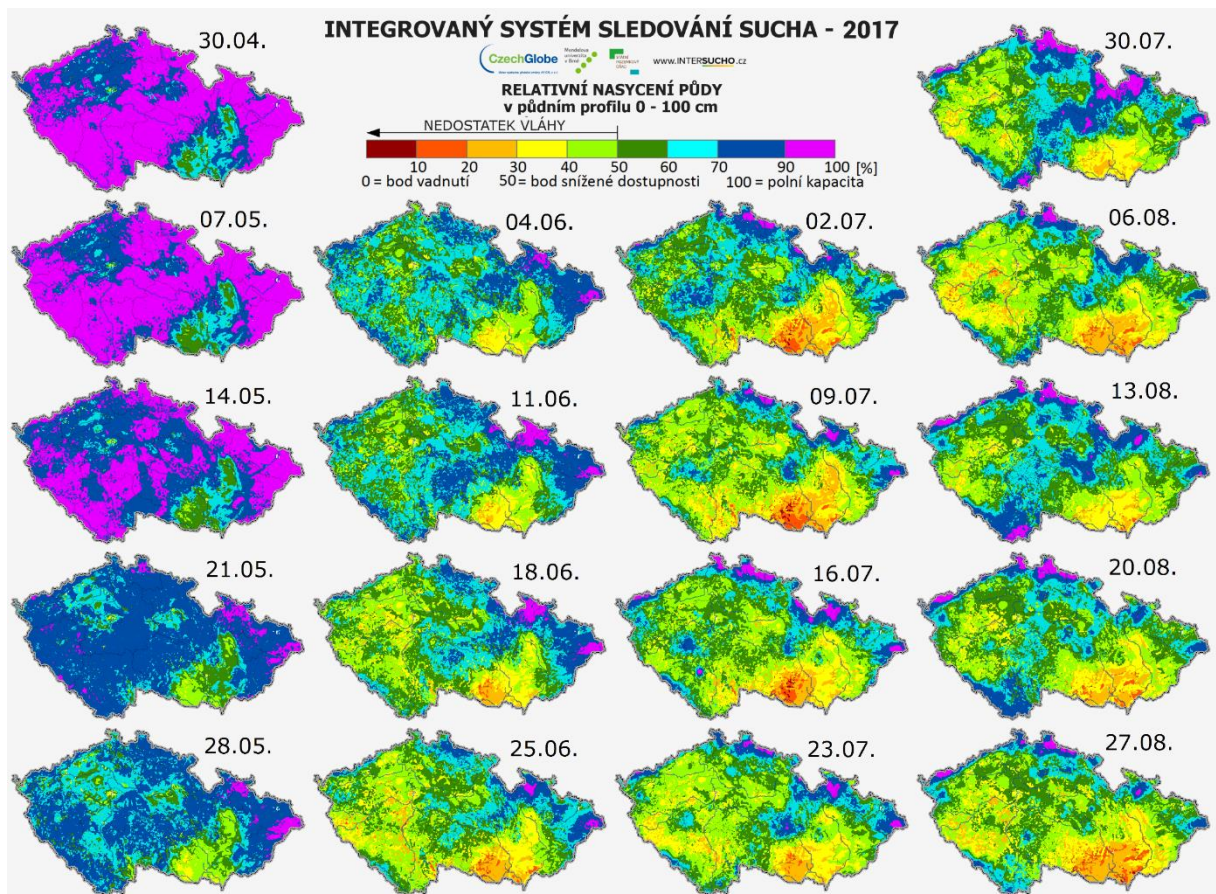
Obr. 3.29. Časový průběh sucha (zpracováno v gridu 500 x 500m) 30. 4. – 27.8 2017 v čtrnáctidenním resp. týdenním kroku ve vrstvě 0,0 – 1,0 m.



Obr. 3.30. Nejvyšší zasažení ČR zemědělských suchem k 25. 6. 2017.

Tab. 3.1. Vysvětlení škály intenzity sucha, která je využívána systémem intersucho.cz.

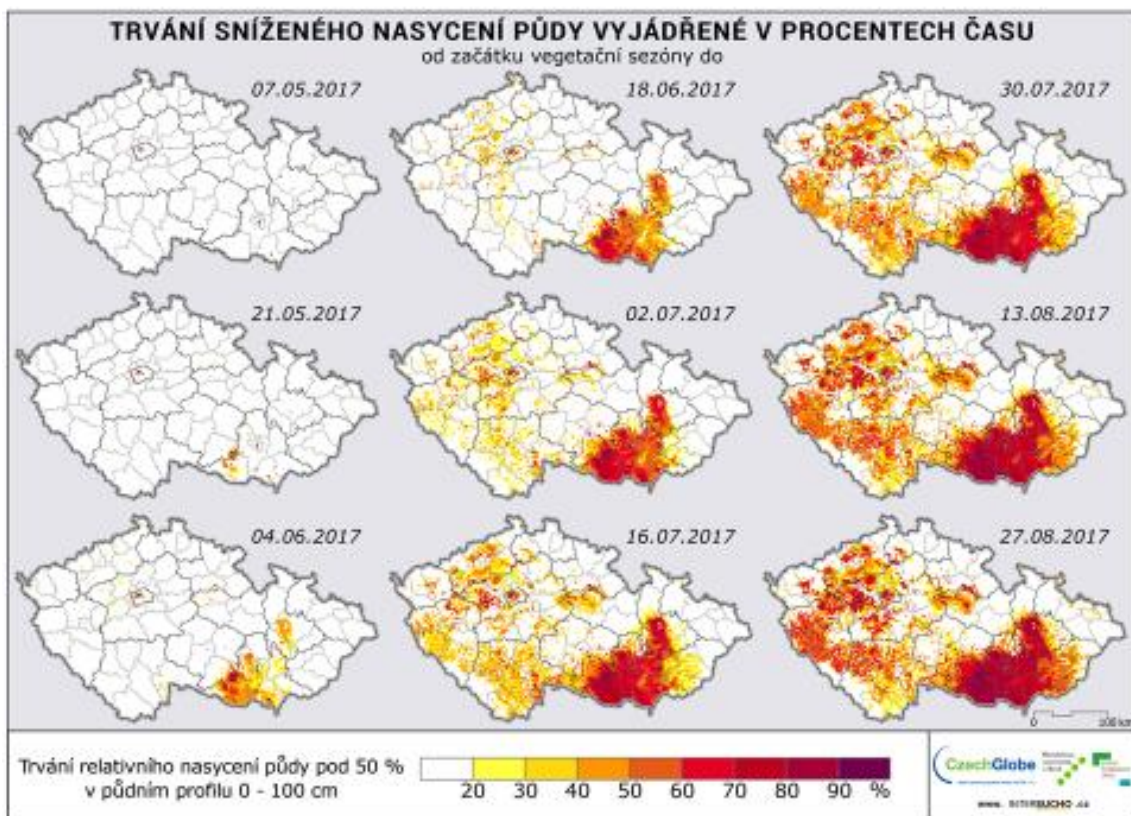
Kategorie	Popis	
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhý je větší než hodnota 30. percentilu	
S0 – snížená úroveň půdní vláhý	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah dostupné půdní vláhý v intervalu 20.-30. percentilu.	
S1 – počínající sucho	Snížená úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 5-10 let. Obsah dostupné půdní vláhý v intervalu 10.-20. percentilu.	
S2 – výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 10-20 let. Obsah dostupné půdní vláhý v intervalu 5.-10. percentilu.	
S3 – velmi výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 20-50 let. Obsah dostupné půdní vláhý v intervalu 2.-5. percentilu.	
S4 – výjimečné sucho	Půdní vlhkost dosahuje neobvykle nízkých hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 50-100 let. Obsah dostupné půdní vláhý v intervalu 1.-2. percentilu.	
S5 – extrémní sucho	Extrémně nízká půdní vlhkost, která se v daném období v průměru opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně nasycení půdy je nižší než 50% po více než 1 měsíc.	



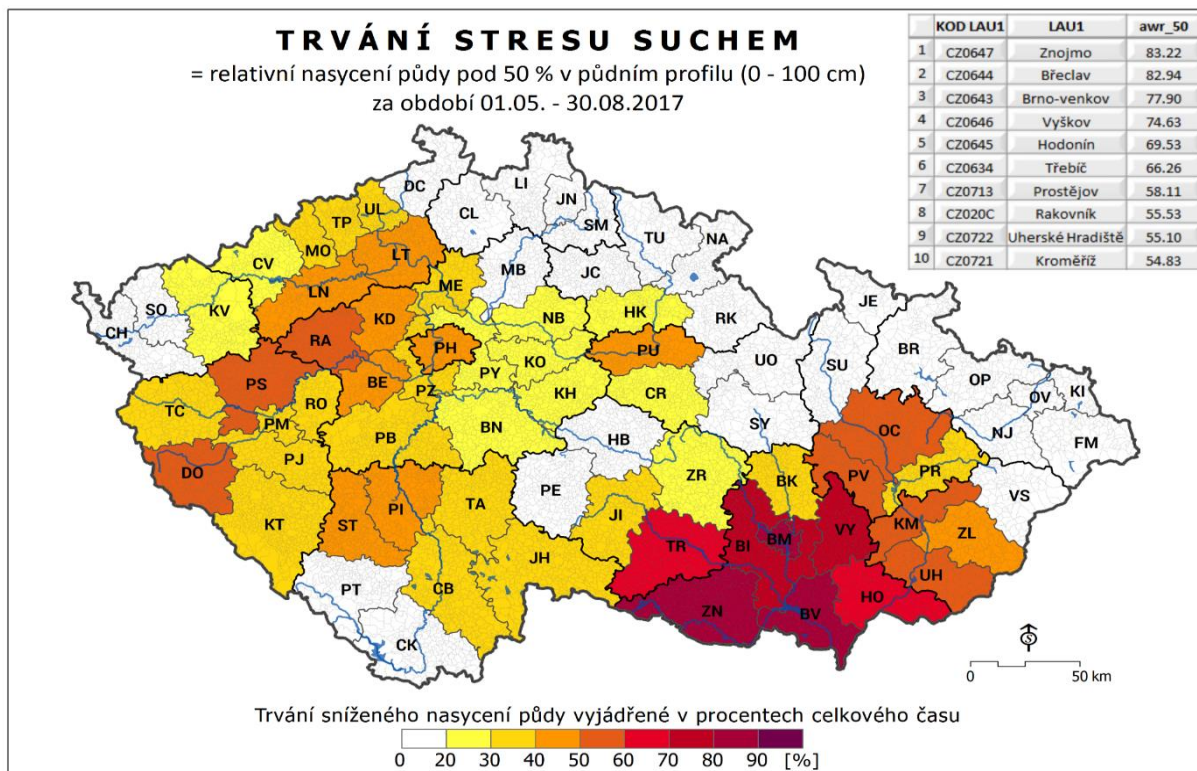
Obr. 3.31 Relativní nasycení půdy ve vrstvě 0,0–1,0 m (zpracováno v gridu 500x500 m) v období 30. 4. – 27. 8. 2017.

Pro snížení výnosu a poškození suchem není důležitý okamžitý krátkodobý stres, který zemědělské porosty dokáží obvykle ustát. Vlastní poškození a snížení výnosu je reakcí na stres dlouhodobý. Z tohoto důvodu je nutné posuzovat aktuální stav a také předpověď z pohledu dlouhodobého výskytu stresových podmínek (obr. 3.32). Pro tyto účely lze využít např. parametr trvání sníženého nasycení půdy vyjádřený v procentech času od začátku vegetační sezóny, který je na [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) k dispozici. Tento parametr znamená jak dlouho trvalo relativní nasycení půdy pod 50 % (stav bodu snížené dostupnosti, kdy obsah vody má již dopad na výnos) a je doporučeno tento parametr vzít v úvahu v případě vyhodnocování předpovědi. Typicky v roce 2017 bylo možné odhadovat míru dopadů suché epizody kombinací informace o délce trvání stresu do data předpovědi a předpovědi pro příštích 9 dní.

Stejně tak bylo možné již na konci měsíce dubna pomocí klimatologické předpovědi odhadovat nepříznivou prognózu pro oblast jižní Moravy protože nasycení půdy vodou na počátku vegetačního období (viz. Obr. 3.31.) bylo výrazně pod obvyklými hodnotami (viz. Obr. 3.32). Předpověď ale i informaci o průběhu sucha je pak možné agregovat např. na úroveň okresů (Obr. 3.33.) a použít pak pro předpověď výnosů, což bude předmětem navazující metodiky.



Obr. 3.32. Vymezení lokalit s dlouhodobým výskytem (působením) sucha. Jedná se o trvání sníženého nasycení půdy pod 50 %, které je vyjádřené v procentech času pro vrstvu 0,0–1,0 m od 7.5. – 27.8.2017.

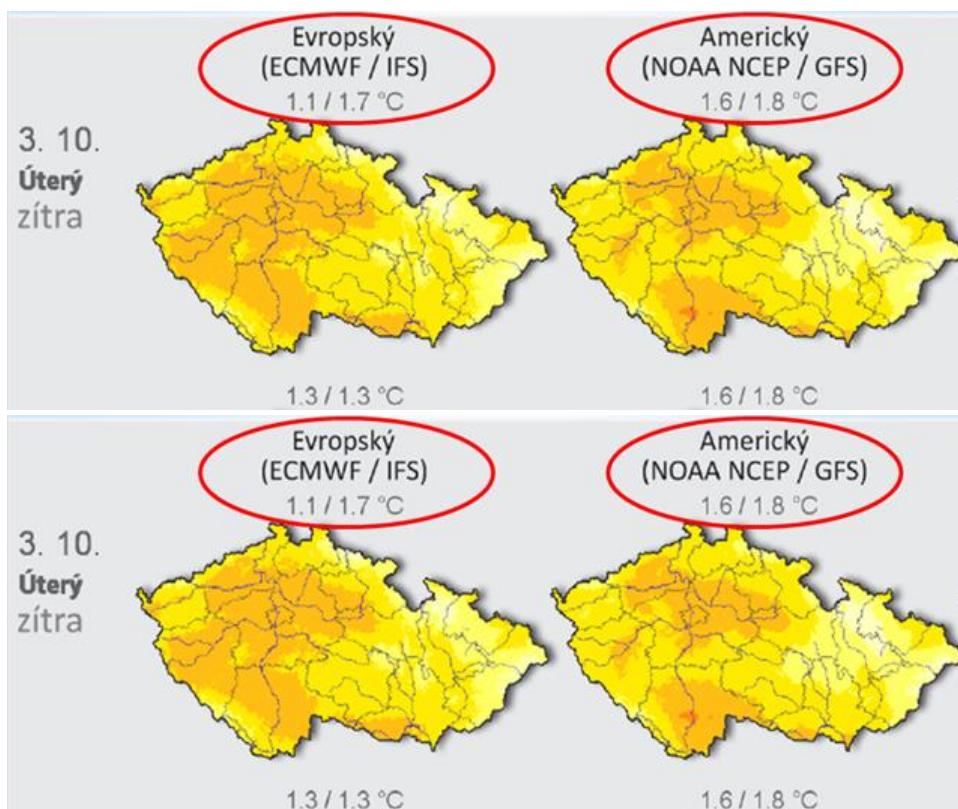


Obr. 3.33. Ukázka agregované informace pro sucho z roku 2017. Mapa zachycuje rozdělení okresů podle doby působení dlouhodobého sucha.

### 3.8. Nejistota/spolehlivost předpovědi a její vyjádření na [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

Každý numerický předpovědní model je dobrý v jiných aspektech a může i během roku fungovat kvalitativně rozdílně. Proto je nutné modely pravidelně verifikovat, tedy kontrolovat jejich kvalitu. Uživatel se běžně k této informaci nedostane, ale na portále [intersucho.cz](http://intersucho.cz) je velikost chyby jednotlivých modelů pro jednotlivou délku předpovědi k dispozici. Tím uživatel získá komplexní informaci a může se rozhodnout, kterému z modelů na následující období bude nejvíce důvěřovat. Jak fungují jednotlivé modely z dlouhodobého hlediska bylo popsáno v kapitole 3.1 až 3.3. Jednoznačně lze konstatovat, že nej kvalitnějším numerickým předpovědním modelem je IFS model evropského centra pro střednědobou předpověď (ECMWF). Další čtyři modely GFS, CMC, ARPEGE a GUM jsou kvalitativně na stejné úrovni, a každý je lepší nebo horší v jiných parametrech.

V předpovědních mapách na portálu [intersucho.cz](http://intersucho.cz) jsou v záhlaví každé mapy zobrazeny dvě informace o spolehlivosti daného modelu. První číslo znamená chybu za poslední 3 týdny (obrázek 3.34). Druhé číslo ukazuje rozdíl mezi skutečností a předpovědí za poslední týden. Jelikož uživatel se potřebuje rozhodnout, kterému modelu věřit na nejbližší dny, je pro něj důležitá právě informace o kvalitě modelu z posledního krátkého období. Úspěšnost předpovědi také záleží na mezidenní fluktuaci (změnách) předpovídaného prvku. Například u obsahu vody v půdě je úspěšnost větší v zimním období a v hlubší vrstvě 40-100 cm, než v letním období a vrstvě 0-40 cm. Na obsah vody v půdě během první části vegetačního období má výrazný vliv výše vytvořené zásoby vláhly během zimního období. Pokud chybí, lze s vysokou pravděpodobností očekávat sucho.



Obr. 3.34. Ukázka zobrazení velikosti chyby jednotlivých numerických předpovědních modelů za poslední 3 týdny/1 týden v předpovědních mapách na portále [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

### 3.9. Jak využívat předpovědní nástroje na [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

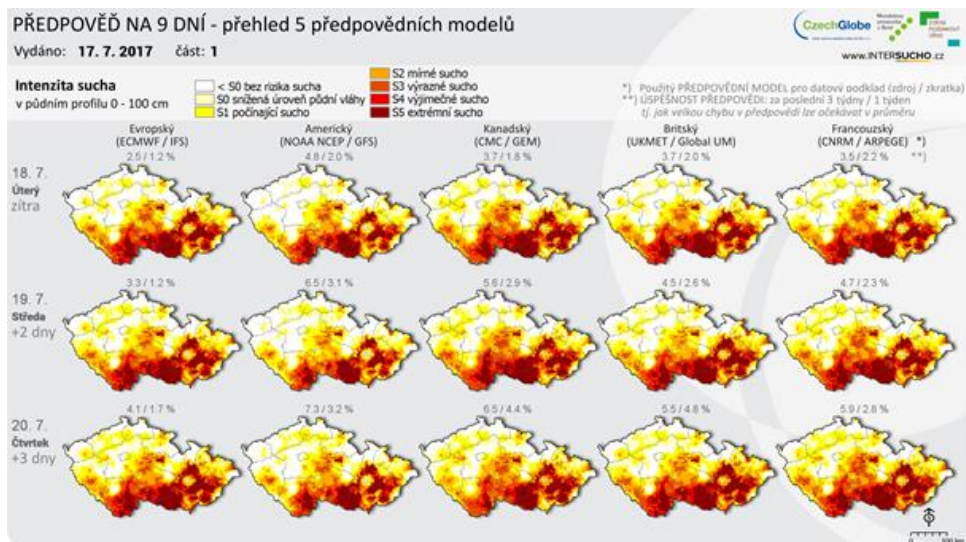
Na portále [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) uživatel nalezne odkaz zvaný „Předpovědi“ (Obr. 3.35). Ty jsou pak dále děleny na dvě základní sekce. Jedna se týká předpovědi sucha a druhá agrometeorologické předpovědi. V první sekci uživatelé naleznou předpověď intenzity sucha, poté nasycení půdy vodou a dlouhodobou předpověď. Relativní nasycení půdy (0-100%) informuje o obsahu vody v půdě a intenzita sucha (0-5) o obsahu vody v půdě vztažené vůči dlouhodobému průměru (1961-2010). V sekci agrometeorologická předpověď je standardně pro všechny uživatele k dispozici předpověď kumulativních srážek. To znamená, že srážkové úhrny za každý den jsou načítány a za předpovědní období je ukázáno kolik spadne srážek v daném místě. Poté jsou k dispozici bonusové předpovědi denních úhrnů srážek, maximálních a minimálních teplot vzduchu. Tyto předpovědi jsou poskytovány zdarma, ale pouze pro uživatele, kteří jsou zaregistrováni a pravidelně vyplňují dotazník (respondenti). Je to tzv. odměna za spolupráci s daným portálem a pomoc s verifikací výstupů.



Obrázek 3.35. Struktura předpovědi na portále [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

Předpověď je grafická forma map (Obr. 3.36). Ty jsou zobrazeny na tzv. „layoutu“. Předpověď je shodně dělána z pěti numerických předpovědních modelů na devět dní dopředu (pouze u modelů, které mají tak dlouhou předpověď). Každý předpovědní prvek je tedy zobrazen na třech layoutech. Tedy tři dny předpovědi z pěti modelů na jednom obrázku. Zcela nalevo je datum, na který je daný prvek předpovídán. V záhlaví nad mapami je název modelu. Nad každou mapou je pak zobrazena chyba jednotlivých modelů za poslední 3 týdny/1týden (viz. kapitola 3.8). Stejně předpovědní mapy fungují a jsou k dispozici i pro Slovensko.





Obrázek 3.36. Ukázka předpovědního „layoutu“ na portále [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) ukazující vývoj intenzity sucha na další tři dny podle pěti numerických předpovědních modelů.

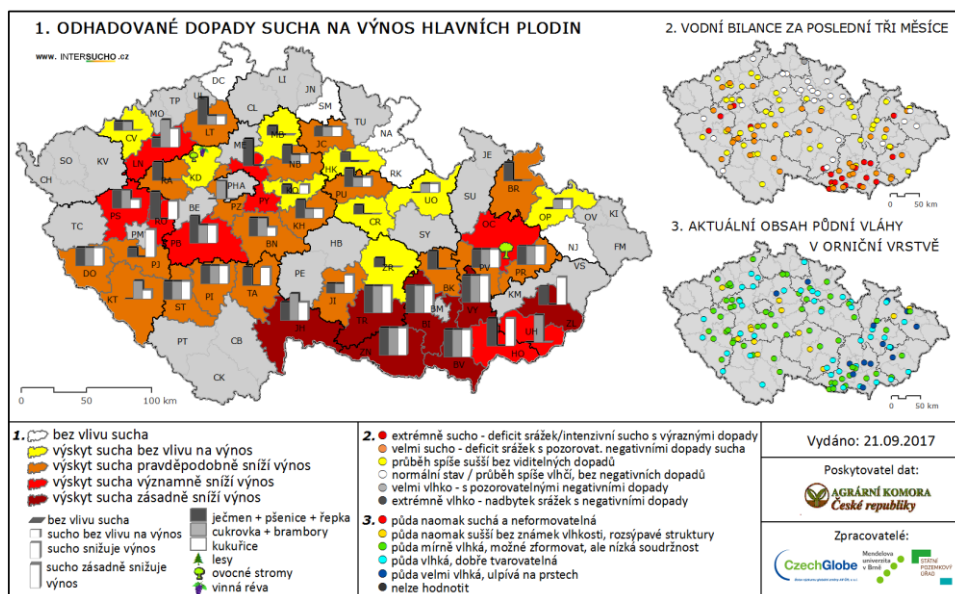
Další bonusovou předpovědí jsou grafy pro zvolené body či plochy. Tomu je věnována více kapitola 3.10. Kromě grafického zobrazení předpovědi je k dispozici i textová předpověď na další týden. Ta je sestavena zkušeným meteorologem. Předpověď je sestavena pro potřeby zemědělců se zaměřením na problematiku sucha. Jedná se o popis počasí pomocí základních agrometeorologických prvků a také předpokládaný vývoj sucha.

### 3.10. Systém zpravodajů v systému [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) a bonusové předpovědi

V rámci Integrovaného Systému Sledování Sucha jsou mimo ostatní ukazatele průběhu sucha monitorovány také konkrétní dopady sucha na krajinu, konkrétně na zemědělské plodiny (v menší míře pak na ovocné dřeviny a lesní porosty). Výstupem je mapa „Dopady na zemědělství“, která je v týdenním kroku publikována na webových stránkách [intersucho.cz](http://www.intersucho.cz).

Mapa dopadů na zemědělství vzniká aktuálně (rok 2017) díky spolupráci s cca 150 zemědělci (a dále vinaři, ovocnáři i lesníky), kteří v týdenním kroku dokumentují dopady sucha na právě pěstované plodiny či obhospodařované porosty s pomocí online dotazníku (<http://www.intersucho.cz/cz/dotaznik/>). Tito expertní hodnotitelé byli a průběžně jsou, jednak nominováni Agrární komorou České republiky, ale významnou část tvoří také zemědělci, kteří jsou do monitoringu zemědělského sucha zapojeni z vlastní iniciativy. Většinu hodnotitelů (cca 90%) v současné době tvoří právě zemědělci, kteří dokumentují dopady sucha na zemědělské plodiny, ve značně menší míře jsou zapojeni hodnotitelé ovocných dřevin a révy vinné, malé procento (cca 1-2%) pak zastupují respondenti hodnotící dopady sucha na lesní porosty. Pomocí dotazníku hodnotitelé informují, jaká je aktuální a dlouhodobá půdní vlhkost na jejich lokalitách a jaké snížení výnosů díky výskytu sucha očekávají, případně jaké snížení po sklizni zaznamenali. Pokles výnosu je odstupňován jako procentuální propad od průměru, který byl dosažen během posledních tří let a stanovuje se pro ozimé a jarní obilniny, ozimou řepku, brambory, cukrovou řepu a kukuřici (Bartošová et al., 2016).

V roce 2017 byl průměrný počet zpravodajů v každém týdnu 130-150 z celkem 45-50 okresů České republiky. Výslednou mapou jsou produkty dokumentující dopady sucha na pěstované plodiny a dále respondenty hodnocená vodní bilance za poslední 3 měsíce a aktuální odhad půdní vláhly (obr. 3.37).



Obr. 3.37: Odhadované dopady sucha na pěstované plodiny a hodnocení vodní bilance, dle hodnocení expertních respondentů z 21. 9. 2017.

Výstupem jsou dále konkrétní a věcné popisy od jednotlivých respondentů, kteří pomocí komentářového pole v dotazníku doplňují informace, které v reálném čase pozorují na svých lokalitách. Během vegetační sezóny je dalším cenným materiálem fotografická dokumentace. Jak komentáře, tak fotografie jsou publikovány online na webových stránkách.

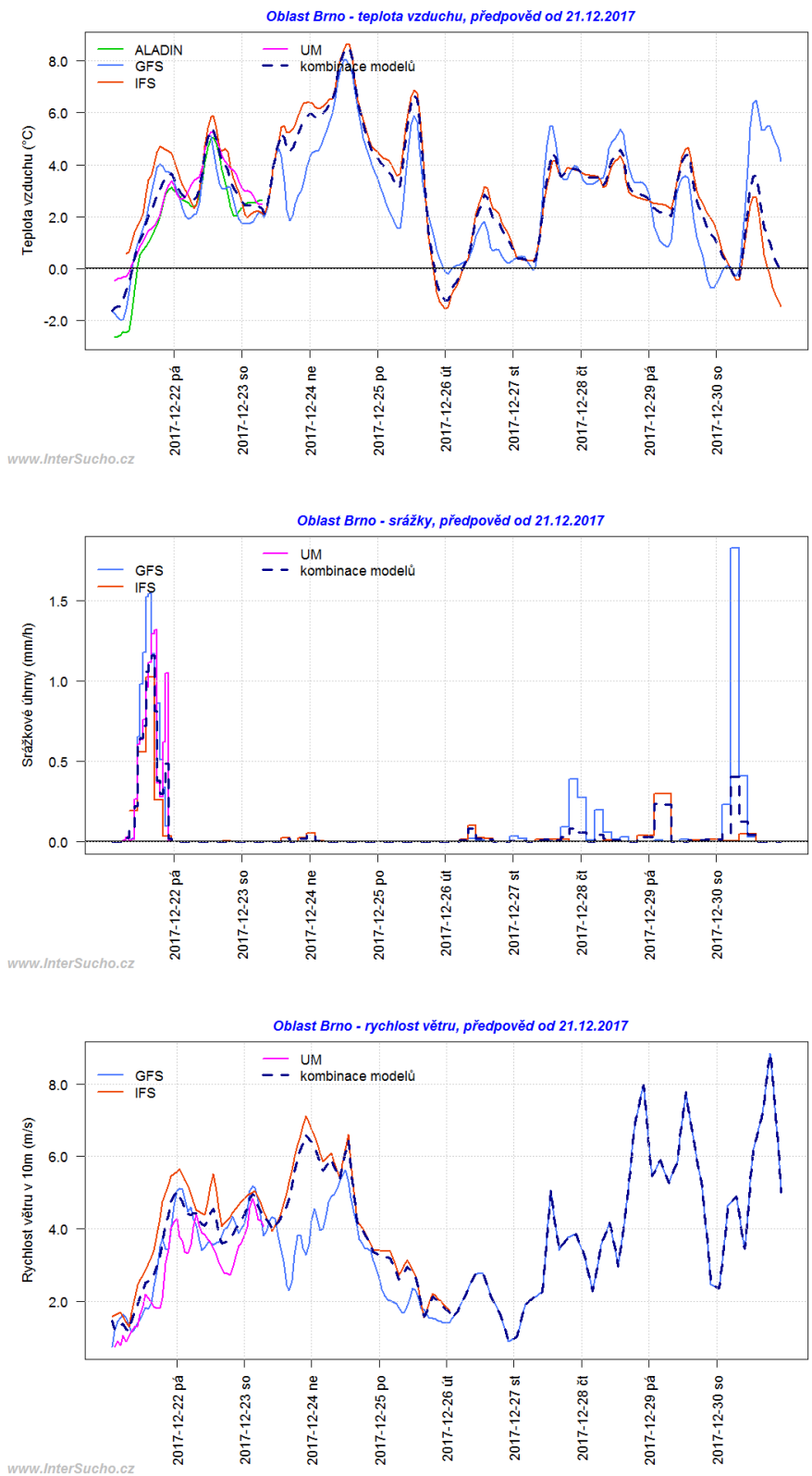
Pro expertní hodnotitele je v denním kroku připravována bonusová předpověď, která je přístupná pouze aktivním respondentům. Po odeslání dotazníku je uživatelům po dobu 10-ti dní volně přístupná předpověď srážkových úhrnů a maximálních a minimálních teplot pro celé území České republiky. Předpověď je připravována a také zobrazována na základě celkem 5-ti předpovědních modelů a umožňuje tak uživatelům porovnávat pravděpodobnost předpovědi, což se v současné době postupně stává standardem při poskytování meteorologických předpovědí. Součástí předpovědi je také dvouměsíční prognóza intenzity sucha.

### 3.11. Popis bonusové předpovědi agrometeorologických prvků a možnosti jejího získání

Pro respondenty webového portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) (viz kapitola 3.10) je od léta 2017 připravována speciální bonusová předpověď. Jedná se o lokální předpověď meteorologických prvků, která je počítána v denním kroku pro srážky, průměrnou teplotu vzduchu, rychlost větru a relativní vlhkost na následujících 10 dní dopředu. Lokace, pro které jsou předpovědi připravovány, jsou odvozeny od katastrálních území, pro které respondenti hodnotí aktuální dopady sucha na plodiny. Předpovědi jsou denně automaticky odesílány na emailové adresy respondentů a to právě těm, kteří jsou aktivně a pravidelně zapojeni do sběru dat dopadů sucha na plodiny. Pro získání lokální předpovědi a její každodenní aktualizace je proto nutné zapojit se do monitorování a pravidelně v týdenním režimu s reportováním pokračovat bez výrazného přerušení kontinuity (4 a více týdnů) sběru dat.

Předpověď je připravována a zobrazována jako grafický výstup s využitím několika modelů: ALADIN, GFS, IFS, UM a kombinace těchto modelů (obr. 3.38). Na rozdíl od modelu SoilClim, který pracuje v denním kroku, v tomto případě zpracováváme hodinového předpovědi. Z tohoto faktu plyne i jiný výběr modelů pro bonusovou předpověď v porovnání s předpověďmi intenzity sucha. Zpracování modelů mj. zahrnuje tzv. bias korekci (tedy odstranění chyby modelu). Jedná se např. o chybu plynoucí z rozdílné modelové a skutečné orografie (model v mnoha ohledech představuje zjednodušení skutečnosti).

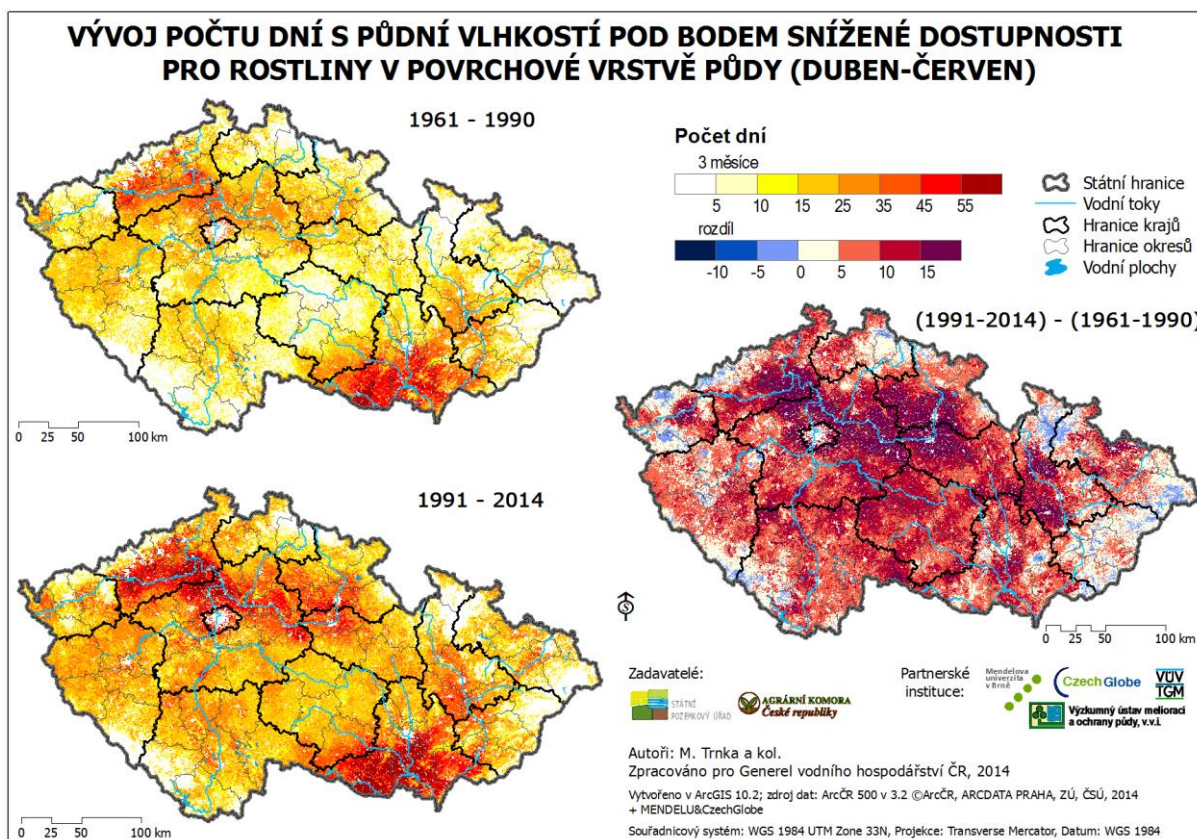
Technicky systém funguje tak, že jednotlivé modely jsou zpracovány v hodinovém kroku do jednotlivých map, ze kterých se potom pro dané lokality (popř. oblasti) odečítají potřebné hodnoty. Toto zpracování je výpočetně, a tedy i časově, velmi náročné, předpovědi jsou tedy k dispozici až po poledni. Výpočty jsou prováděny každý den po celý rok včetně víkendů, svátku atp. Díky vytvořeným mapám je systém velmi flexibilní a seznamy s lokalitami, pro které se předpovídá, je možné kdykoli snadno upravit.



Obr. 3.38 Lokální bonusová předpověď pro teplotu vzduchu, hodinové srážkové úhrny a rychlost větru pro oblasti Brno ze dne 21. 12. 2017.

#### 4. Závěry

Vytvoření systému, který kromě monitoringu aktuálního stavu poskytuje předpovědní data a může tedy fungovat jako nástroj včasné výstrahy v případě výskytu sucha a realizuje jedno z doporučení Generelu vodního hospodářství krajiny ČR (Trnka a kol., 2015). Ostatně i průběh sucha roku 2017 ukázal, že zasaženy byly nejvíce ty regiony, které Generel označuje jako nejvíce ohrožené oblasti (Obr. 4.1). Generel mj. navrhnul uvážit možnosti stabilizace produkce právě aktivním využitím moderních metod agrometeorologické předpovědi. Zemědělci i lesníci nyní disponují systémem, který umožňuje zobrazit odhad zásoby vody v půdě s pomocí modelů SoilClim a AVISO s tím, že prostorově podrobnější předpověď poskytuje model SoilClim, který je zaměřen na uživatele z řad široké zemědělské a lesnické veřejnosti zatímco model AVISO slouží Českému hydrometeorologickému ústavu jako ústavu pro nezávislý monitoring stavu z pohledu veřejné správy. Nicméně díky projektu NAZV dochází k postupnému propojování obou systémů, což dokládá i tato metodika.



Mapa 4.1: Počet dní s výskytem nedostatku vláhy na území ČR. (Dle Generelu vodního hospodářství krajiny ČR. (Trnka et al., 2015).

Je evidentní, že analýzy předpověditelnosti půdní vlhkosti ať již modelem SoilClim tak nezávislé provedené odhady pro model AVISO vedou k podobným závěrům. Současně je evidentní potřeba vzniku portálu nabízejícího podrobnější agrometeorologické předpovědi s maximálním využitím datového potenciálu, který ČR má.

Hlavní doporučení lze formulovat takto:

- Aktuální systémy pro sledování půdní vlhkosti umožňují odhadnout vývoj půdní vlhkosti s vysokou spolehlivostí i z pohledu předpovědi počasí na dlouhou dobu tj. 9 dní;

- Prakticky využitelné předpovědi je možné nabízet i v relativně vysokém prostorovém rozlišení;
- Zásadní pro všechny uživatele je nespolehat se pouze na interpretaci jediného z předpovědních modelů, ale uvážit celý soubor (aktuálně 5 předpovědních modelů), které jsou v systému <http://www.intersucho.cz/cz/predpoved/> nabízeny a využívat i průběžně aktualizovaných údajů o míře chyby v uplynulém týdnu resp. 3 týdnech;
- Zemědělský podnik (zejména hospodařící ve zvláště ohrožených oblastech Obr. 4.1) by měl mít pro aktuální sezónu variantní řešení postupu v případě výskytu sucha s využitím předpovědi, která může přispět k lepšímu rozhodování v klíčových fázích zemědělského roku (např. setí, příprava půdy ale i sklizeň či termíny hnojení či fyto-sanitárních zásahů);
- Podnik registrovaný v systému zpravodajů <http://www.intersucho.cz/cz/dotaznik/> získává přístup k detailní hodinové předpovědi hlavních agrometeorologických proměnných v hodinovém kroku, což umožňuje maximálně využít vhodného počasí z pohledu efektivity zásahu a také např. z pohledu šetření půdní vláhy.

### III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost postupů prezentovaných touto metodikou spočívá ve využití nikoliv jednoho ale celého souboru (ansámblu) numerických předpovědních modelů pro odhad půdní vlhkosti a intenzity sucha a také předpovědi sucha zdarma a v denním kroku. Pro tyto účely jsou poprvé v kombinaci použity dva modely půdní vlhkosti (SoilClim a AVISO) a současně představeny výsledky pro epizodu roku 2017. Metodika je doplněna o základní popisy metod předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha, zejména pak s důrazem na spolehlivost předpovědi. Protože tyto příklady zahrnují nejen půdní vlhkost a intenzitu sucha, ale také základní meteorologické prvky tj. teplotu, srážky, sluneční záření, vlhkost vzduchu a rychlost větru, je metodika využitelná i pro pochopení širších souvislostí při aplikaci meteorologických předpovědí na úrovni zemědělského podniku. Pomocí konkrétních příkladů je pak možné porovnat spolehlivost předpovědí založených na 5 modelech numerické předpovědi počasí, ale také např. sezónnost ve vývoji spolehlivosti. Díky detailnímu popisu je možné získat i návod pro zapojení se do sítě aktivních zpravodajů systému intersucho a díky němu získat přístup k detailnější agrometeorologické předpovědi.

Sucho může způsobit značné škody na zemědělských plodinách. Důležitým aspektem zmírnění dopadů sucha je účinná metoda předpovědi vývoje aktuálních epizod sucha. Novost postupů prezentovaných touto metodikou spočívá v prezentování výsledků využití dostupných předpovědních modelů počasí pro odhad obsahu vody v půdě s využitím modelu SoilClim a AVISO, včetně testování chyb předpovědí v podmínkách České republiky. Výsledky ukazují na praktickou využitelnost těchto předpovědí v zemědělství. V současné době neexistuje metodika, která by se návrhem předpovědí sucha zabývala.

## IV. POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Metodika bude využita jak na úrovni podniků, tak na úrovni strategického řízení celého sektoru rostlinné výroby. Je primárně určena agronomům pro lepší pochopení a využití možností, které poskytuje předpověď sucha v současné době pro zlepšení efektivity rostlinné výroby a také snížení celkové zátěže životního prostředí díky optimalizaci pěstebních zásahů. Metodika je také určena pracovníkům státní správy, kteří sledují analýzy výskytu sucha a předpovědi jeho dalšího vývoje. Tyto informace mohou využít pro plánování aktivit a opatření v období nedostatku vody a sucha, včetně tvorby krizových a regulačních plánů v případě delších sušších období. Dále může posloužit jako vhodný materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením nebo jako podklad pro zemědělské poradce. Její ambicí je přispět k vyšší profesionalitě při využívání produktů předpovědi sucha. Další navazující oblastí pak bezesporu bude testování využití předpovědi pro návrh konkrétních optimalizačních postupů v případě sucha, kde právě výhled půdní vlhkosti a intenzity sucha na více než týden přináší spektrum možných opatření od intenzifikace s využitím závlah až po extenzifikaci či odklad plánovaných polních operací. Agronom může dlouhodobou předpověď také využít k operativní alternaci plodin v rámci osevního postupu podle dosavadního a očekávaného průběhu sezóny či pro volbu optimálního způsobu zpracování půdy či adaptaci systému ochrany rostlin nebo hnojení.

## V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické zhodnocení metodiky vyplývá z možnosti denního přístupu k předpovědím půdní vlhkosti a intenzity sucha v denním kroku na serveru [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), kde jsou k dispozici všem zájemcům zdarma. To je mj. umožněno spoluprací týmu intersucha podporovaného prostředky Strategie AV21 a Státního pozemkového úřadu. Aktivním zpravodajům serveru [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), kteří poskytují informace o pozorovaných dopadech sucha jsou pak poskytovány detailní předpovědi pro konkrétní lokalitu. Tyto informace jsou ekonomicky využitelné pro lepší rozhodování v případě epizody sucha, ale také v cílenějším rozhodování o nezbytných polních operacích např. aplikaci minerálních hnojiv, volby výsevu, termínu či způsobu fyto-sanitárních opatření či načasování a způsob zpracování půdy. Ve všech případech se jedná o významné informace, které mohou z hlediska podniků přispět k jejich rentabilitě, ale současně mohou zvýšit celkovou efektivitu výše zmíněných operací a tím přispět ke snížení zátěže, kterou zemědělská produkce představuje pro životní prostředí.

## VI. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 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.
- Bartošová L., a kol., 2016, Monitoring zemědělského sucha a jeho uživatelé a zpravodajové, Půdní a zemědělské sucho - Sborník příspěvků z mezinárodní konference, Kutná Hora 28.–29. duben 2016, 34-40.
- Gourdji S M, Sibley A M and Lobell D B 2013 Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections *Environ. Res. Lett.* 8 024041
- Hlavinka, P.; Trnka, M.; Balek, J.; Semerádová, D.; Hayes, M.; Svoboda, M.; Eitzinger, J.; Možný, M.; Fischer, M.; Hunt, E.; Žalud, Z. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management* 98(8): 1249-1261, 2011
- Hough, M., Jones, R. J., 1997: The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 - an overview. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1997, 1(2), p. 227-239.
- Hough, M., Palmer, S., Weir, A., Lee, M., Barrie, I., 1997: The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS version 2.0. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell 1997, 82 p.
- Huntingford, C.; Jones, P. D.; Livina, V. N.; Lenton, T. M. & Cox, P. M. (2013) No increase in global temperature variability despite changing regional patterns *Nature*, 500, 327-330.
- Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N (2014a) A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4, 287–291.
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp
- Liu C, Allan RP. Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850–2100. *Environ Res Lett.* 2013;8: 34002.
- Rahmstorf, S. and D. Coumou, 2011: Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 5pp. doi:10.1073/pnas.1101766108.
- Trnka, M. a kol. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nat. Clim. Change* 4, 637–643 (2014).



## VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

### Publikace JImp

1. Hlavinka, P.; Trnka, M.; Balek, J.; Semerádová, D.; Hayes, M.; Svoboda, M.; Eitzinger, J.; Možný, M.; Fischer, M.; Hunter, E.; Žalud, Z. Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management* 98(8): 1249-1261, 2011
2. Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., 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. *J. Agric. Sci.* 151, 787–812. doi:10.1017/S0021859612000767
3. 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. *Clim. Res.* 65, 175–192. doi:10.3354/cr01339
4. Kolář, P., Trnka, M., Brázdil, R., Hlavinka, P., 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*. 2014, Volume 117, Issue 3-4, pp 707-721
5. Možný, M., Trnka, M., Žalud, Z., Hlavinka, P., Nekovar, J., Potop, V., Virag, M., 2012. Use of a soil moisture network for drought monitoring in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology* 01, 107(1):99-111. DOI: 10.1007/s00704-011-0460-6
6. 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. Soil moisture trends in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology* 35(13): 3733-3747, 2015
7. 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. Drivers of soil drying in the Czech Republic between 1961 and 2012. *International Journal of Climatology* 35(9): 2664-2675, 2015
8. Trnka, M.; Balek, J.; Štěpánek, P.; Zahradníček, P.; Možný, M.; Eitzinger, J.; Žalud, Z.; Formayer, H.; Turňa, M.; Nejedlík, P.; Semerádová, D.; Hlavinka, P.; Brázdil, R. Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014. *Climate Research* 70: 143-160, 2016

### Kapitola v knize (D)

Trnka, M.; Brázdil, R.; Vizina, A.; Dobrovolný, P.; Mikšovský, J.; Štěpánek, P.; Hlavinka, P.; Řezníčková, L.; Žalud, Z. Droughts and Drought Management in the Czech Republic in a Changing Climate. In Wilhite, D.; Pulwarty, R. S. (Eds): *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*, p. 461-480. ISBN 9781138035645, 2017

### Článek ve sborníku (D)

1. Možný, M., Hájková, L., Tolasz, R. Influence of snow cover on soil moisture and frost dynamics in winter of 2016–2017 in Czech Republic. *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Snow an ecological phenomenon Smolenice, Slovakia, 19th – 21st September 2017* (in print).
2. Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Balek, J., Možný, M., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Hayes, M., Eitzinger, J., Žalud, Z. Drought monitor for the Czech Republic - [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds): *Mendel a bioklimatologie*. Brno, 3. – 5. 9. 2014, ISBN 978-80-210-6983-1

Autoři: Miroslav Trnka, Petr Štěpánek, Filip Chuchma, Martin Možný, Lenka Bartošová, Petr Hlavinka, Jan Balek, Pavel Zahradníček, Petr Skalák, Aleš Farda, Daniela Semerádová, Jan Meitner, Monika Bláhová, Rostislav Fiala, Zdeněk Žalud

Název: Využití předpovědi půdní vlhkosti a intenzity sucha pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě

Vydal: Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.  
Bělidla 986/4, Brno 603 00

Tisk: reklamní studio REIS Brno

Náklad: 200 ks,  
1, vydání 2018

Vydáno bez jazykové úpravy  
Metodika je poskytována bezplatně

Kontakt na autora: mirek\_trnka@yahoo.com