

## METODIKA PRO PRAXI

Regionální předpověď výnosů pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě

Autoři: Miroslav Trnka, Petr Hlavinka, Jan Balek, Jan Meitner, Martin Možný, Petr Štěpánek, Pavel Zahradníček, Lenka Bartošová, Daniela Semerádová, Monika Bláhová, Lucie Kudláčková, Vojtěch Lukas, Zdeněk Žalud

## Poděkování:

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

Autoři: Miroslav Trnka, Petr Hlavinka, Jan Balek, Jan Meitner, Martin Možný, Petr Štěpánek, Lenka Bartošová, Daniela Semerádová, Monika Bláhová, Lucie Kudláčková, Vojtěch Lukas, Zdeněk Žalud

© Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav a Mendelova univerzita v Brně, 2018

ISBN 978-80-87902-27-1

# **Regionální předpověď výnosů plodin pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě**

**METODIKA PRO PRAXI**

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

**2018**

### **Regionální předpověď výnosů plodin pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě**

*Metodika popisuje způsob přípravy předpovědi výnosů klíčových plodin a současně se zabývá tím, jak jsou tyto předpovědi spolehlivé a jak mohou být využívány. Schopnost předpovídat výnosy plodin až 2 měsíce před sklizní na úrovni krajů a okresů sebou nese i nové možnosti reakce v oblasti zemědělského hospodaření. Metodika na konkrétních příkladech demonstruje, že výsledky předpovědi výnosů a zejména jejich odchylky od obvyklé výnosové hladiny jsou konzistentní a použitelné v praxi. V rámci této publikace jsou pak jako příklad prezentovány výsledky analýzy úspěšnosti předpovědi zpracovávané v reálném čase v roce 2018. Prezentovaný systém je plně funkční a využitelný i pro následující sezóny na portále [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz).*

### **Regional yield forecasting for improved decision making in the plant production**

*The methodology describes how to predict yields of key crops, and at the same time addresses reliability of the predictions and how these can be used. The ability to predict yield levels more than 2 months prior the harvest on the level of regions (NUTS3) and districts (LAU1) brings also new opportunities to mitigate impacts of adverse conditions. The methodology shows that the yield forecasts and yield anomalies in particular are consistent and usable in practices. In this methodology, the results of 2018 yield forecasts are presented as an example. The yield forecasting system for the Czech Republic is fully functional and is and will be available through [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz).*

### **Oponenti:**

Ing. Václav Hlaváček, CSc. – Agrární komora ČR

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.

## OBSAH

I.	Cíl metodiky.....	6
II.	Vlastní metodika.....	7
1.	Úvod .....	7
2.	Popis metod .....	8
2.1.	Možnosti predikce regionálních výnosů .....	8
2.1.	Popis prediktorů výnosů použitých v metodice .....	9
2.1.1.	Vegetační indexy.....	9
2.1.2.	Soil Water Index (SWI) .....	10
2.1.3.	Index ESI .....	12
2.1.4.	Využití odhadu obsahu půdní vláhy - SoilClim .....	13
2.2.	Metody vlastní predikce výnosů .....	19
2.2.1.	Neuronové sítě .....	19
2.2.1.1.	Příprava dat .....	20
2.2.1.2.	Trénování neuronových sítí .....	20
2.2.1.3.	Ansámbl modelů a určení spolehlivosti modelu .....	21
2.2.2.	Lineární model .....	21
2.2.3.	Ansámbl modelů a určení spolehlivosti modelu .....	22
3.	Výsledky a diskuse .....	24
3.1.	Předpověditelnost výnosů na úrovni krajů a okresů.....	24
3.2.	Předpověditelnost propadu výnosů v roce 2017 a 2018.....	28
3.3.	Popis webu výnosy-plodin.cz .....	31
3.4.	Síť zpravodajů v systému <a href="http://www.intersucho.cz">www.intersucho.cz</a> a výnosy plodin.cz .....	36
3.1.	Popis bonusové předpovědi agrometeorologických prvků a možnosti jejího získání .....	37
4.	Závěry .....	40
III.	Srovnání novosti postupů .....	41
IV.	Popis uplatnění certifikované metodiky .....	42
V.	Ekonomické aspekty .....	42
VI.	Seznam použité literatury.....	43
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice.....	44

## I. CÍL METODIKY

Cílem předkládané metodiky je nabídnout postup včasného odhadu výnosové úrovně u klíčových plodin a tím zlepšit rozhodovací procesy v zemědělském sektoru. Zároveň zvýšit ekonomickou a ekologickou efektivitu zemědělské produkce. Současně lze očekávat, že se zavedením systému včasné výstrahy v případě poklesu výnosů lze zvýšit celkovou stabilitu zemědělské produkce, zlepšit ekonomiku pěstování a zvýšením počtu korektních agrotechnických rozhodnutí přispět k dlouhodobé udržitelnosti hospodaření. Metodika, chce přispět i k vyšší konkurenceschopnosti tuzemského zemědělství v rámci EU a současně přispěje k redukci nežádoucích dopadů probíhající změny klimatu. V poslední řadě metodika umožní objektivně vymezit oblasti s výraznou variabilitou výnosu, kde je žádoucí investovat do stabilizačních opatření např. závlah nebo komplexních pozemkových úprav. Metodika je k dispozici primárně jako popis možností, které poskytuje portál výnosy-plodiny tj. [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz).

## II. VLASTNÍ METODIKA

### 1. Úvod

Potravinová bezpečnost zejména ve smyslu zajištění stability její produkce, představuje podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) závažný problém a byla jednou z nejvíce diskutovaných kapitol této obsáhlé zprávy (IPCC, WG II, 2014). Je zde mj. zdůrazněn význam definování správných priorit v agronomickém výzkumu, neboť právě od něj se 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, Gourdji et al., 2013 nebo Liu a Allan, 2013), a velkou neznámou je vazba mezi globálním oteplováním a variabilitou počasí (Huntingford et al., 2013). Nejnovější 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 k zvýšení výnosů o cca 7-15 % což je ale výrazně méně než požadovaný nárůst očekávané celosvětové potřeby tj. 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 bude zásadní. Nicméně i 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), ukázala, že i přes velké nejistoty v klimatických odhadech dojde ve střední Evropě k nárůstu frekvence sucha a s ním zčásti souvisejících tzv. horkých vln. Předkládaný projekt vychází z přesvědčení, že zatímco přijímání konkrétních opatření (jak operativních - krátkodobých tak strategických – středně až dlouhodobých) nelze v řadě případů centralizovat (a že tato musí být primárně zájemem a odpovědností jednotlivých subjektů), tak/ poskytování relevantních informací centralizováno být může (a dokonce musí) v co nejvyšší možné míře tak aby bylo předvídatelné, nezávislé, rychlé a přitom efektivní. Cílem předkládané metodiky je představit systém, schopný odhadovat výnosové parametry řadově 1-2 měsíce před sklizní pro všechny kraje a okresy v ČR a zejména pak sledovat vliv sucha na případnou redukci sklizně a tím kvantifikovat dopady suchých epizod.

Před vznikem portálu výnosy-plodiny, bylo obvyklou praxí zveřejňovat první odhady výnosů na základě sklizňového zpravodajství, které společně poskytuje Státní zemědělský intervenční fond, Český statistický úřad a Agrární komora. Tento systém vychází z údajů z již sklizených ploch na základě operativního šetření prováděného těmito organizacemi. Cílem předpovědi výnosů je využít faktu, že kondice vegetace, nedostatek vláhy a také zásoba vody v půdě jsou poměrně významnými faktory determinujícími výnos, a že je možné je využít k predikci výnosů několik týdnů až několik měsíců před termínem sklizně. Proto vznikem tohoto portálu nedochází ke zdvojování již existující informace ale naopak jejímu doplnění. Nově vytvořený systém současně přebírá informace SZIF a tak bude moci uživatel v reálném čase sledovat soulad či nesoulad predikcí založených na satelitních datech a matematických modelech a reálné sklizně.

Odhad výnosů je k dispozici od konce dubna na [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) a je kvantifikován pro jednotlivé kraje a u vybraných plodin i pro okresy.

Informační systém poskytuje informace 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 majitele/agronoma zemědělského podniku, který potřebuje informace pro operativní rozhodnutí. Vybrané informace pak jsou testovány v rozlišení větším tj. 250 m (vybraná data pro prognózu výnosů na úrovni půdních bloků) a 10 m v rámci pilotní farmy (spolupracující podnik). Díky pojetí systému získávají všichni uživatelé odpověď v jednom produktu, který poskytuje informace pro všechny úrovně územního členění (od lokalit o velikosti pozemku či katastrálních území, přes okresy, kraje až po celou ČR). V průběhu posledních let existuje v ČR monitoring meteorologického a půdního sucha na ČHMÚ (zejména pomocí analýzy měřených a interpretací výsledků modelu AVISO) a sucha zemědělského a jeho dopadů (CzechGlobe a MENDELU) s pomocí modelu SoilClim a družicových dat. Protože každý ze systémů vyniká v popisu suché epizody v určitém stadiu jejího vývoje je žádoucí a výhodné tyto systémy propojit. Získává se tak komplexní pohled na sucho – nejzávažnější faktor redukující výnos.

## 2. Popis metod

### 2.1. Možnosti predikce regionálních výnosů

V případě potřeby odhadu výnosů na lokální či regionální úrovni je možné využít klasické postupy hodnocení průběhu dané sezóny, jako je sledování vývoje agrometeorologických podmínek či pravidelné hodnocení stavu porostů a výnosotvorných prvků. V případě systematických predikcí výnosů lze využít statistické modely (např. regresní funkce) popisující vazby mezi podmínkami prostředí a výnosy v rámci dané prostorové jednotky. Podmínky prostředí mohou být kvantifikovány prostřednictvím jednotlivých relativně jednoduchých indikátorů (např. úhrn srážek, průměrná teplota vzduchu, výskyt vysokých teplot vzduchu) či jejich kombinací až po využití sofistikovaných agroklimatologických indexů a veličin (např. suma evapotranspirace, dostupnost půdní vláhy, počet dní se stresem suchem apod.) a jejich kombinací. V současné době jsou pro podobné účely stále častěji využívána data pořízená v rámci tzv. dálkového průzkumu Země (DPZ). Jedná se o snímání zemského povrchu pomocí senzorů nesených satelity, letouny, drony či jsou umístěny na různých plošinách. Pro potřeby predikce výnosů na regionální úrovni převažuje použití senzorů nesených satelity. Touto cestou je snímáno záření odražené či vyzařované povrchem. Tyto postupy přináší možnost prostorově kontinuálního snímání povrchu napříč velkými územními celky (od úrovně pozemků, regionů, států až po celosvětový pohled), v pravidelných intervalech a se známou historií měření. Pro kalibrace statistických funkcí využívaných pro predikce výnosů (podrobný popis v navazujících kapitolách) je třeba pracovat s jednotlivými možnými prediktory výnosů a současně je nutné znát za kalibrační období hodnoty samotných dosažených výnosů pro cílový region/regiony (např. Katastry, okresy, kraje). Pro účely predikcí prezentovaných v rámci portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) jsou využívány údaje o výnosech zemědělských plodin od roku 2000. Mj. se jedná o období, za které jsou dostupná data ze senzoru



MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) neseného družicí Terra, který pořizuje v denním kroku snímky povrchu Země v rozlišení 250m. Zdrojem dat o krajských výnosech kukuřice na siláž a na zrno, cukrové řepy, ovsa a žita ozimého byl Český statistický úřad (tzv. definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin). Zbývající údaje popisující výnosy pšenice ozimé, ječmene jarního a řepky ozimé na okresní a krajské úrovni pochází ze sklizňového zpravodajství Státního zemědělského intervenčního fondu, případně z dat Agrární komory ČR.

V obecné rovině je predikovatelnost výnosů, ať již na základě agroklimatických indikátorů, výstupů DPZ či jejich kombinace, známá z řady regionů světa. Současně je však nutná lokálně/regionálně specifická kalibrace dostupných metod pro zachycení lokálně specifických podmínek (pěstební technologie, načasování vývojových fází vegetace, zastoupení odrůd, apod.) a výsledků s vysokou spolehlivostí.

## 2.1. Popis prediktorů výnosů použitých v metodice

### 2.1.1. Vegetační indexy

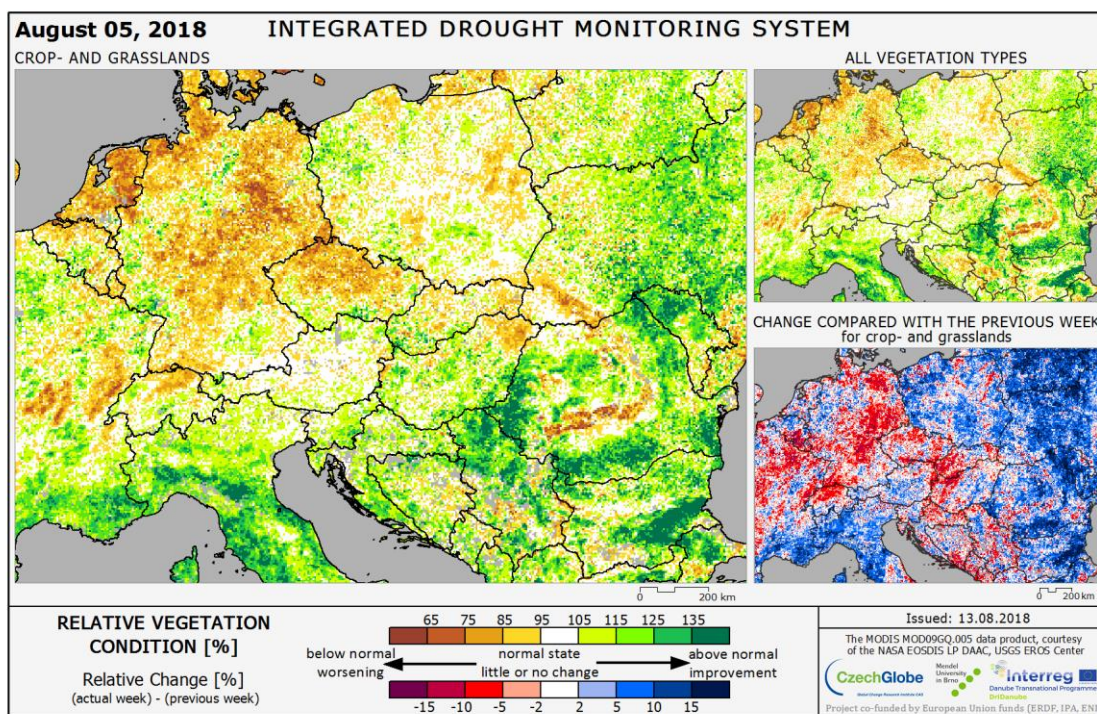
Klíčové informace o stavu a kondici vegetací získáváme pro účely našeho modelu z povrchové odrazivosti v červeném (Red) a blízce infračerveném (NIR) spektrálním pásmu, potřebném pro výpočet vegetačních indexů NDVI, EVI, EVI2 a dalších. Tyto vegetační indexy umožňují redukcí hodnot vstupních spektrálních pásem do jediné bezrozměrné veličiny. Nejčastěji využívaným vegetačním indexem je tzv. Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), který je vypočten z množství odraženého (Red) a (NIR) podle rovnice:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Pro uvedený index platí, že jeho hodnota roste s množstvím zelené biomasy (více vegetace = více NIR) a lepším stavem fotosyntetického aparátu (= méně Red), přičemž maximální hodnota je rovna 1. Tzv. Enhanced Vegetation Index (EVI) díky implementaci odrazivosti modrého pásma redukuje atmosférické vlivy a odpovídá ve větší míře strukturním změnám porostu, kdy vykazuje vyšší citlivost při plném zapojení a hustém porostu. Pro zajištění kompatibility výsledků mezi senzory bez záznamu odrazivosti v modré části spektra existuje modifikace indexu EVI kalkulovaná pouze z Red a NIR pod názvem EVI2, přičemž vykazuje srovnatelné funkční vlastnosti původního EVI indexu. Ve prospěch EVI2 hovoří navíc postupný pokrok ve vývoji atmosférických korekcí, které snižují citlivost na atmosférický aerosol. Pro účely predikce výnosů jsou využívány všechny tři indexy.

Průběh hodnot vegetačních indexů v průběhu roku kopíruje charakteristický vývoj vegetace a již na základě vizuálního hodnocení je možné z vykreslených křivek rozpoznat rozdíly v rámci stavu vegetace v letech a regionech (např. kondice vegetace v srpnu 2018, Obr. 2.1). Je zřejmé např. načasování počátku sezóny, termín dosažení hodnoty maximálního rozsahu zelené hmoty, nástup zralosti u polních plodin v rámci regionů a ročníků. Jako vstupní údaje pro statistické analýzy a modely predikce výnosů jsou často využívány prostorové průměry (plošné průměry za zahrnuté kraje) vegetačních

indexů pro území s daným využitím (např. ornou půdu). Do výpočtů předpovědí pro daný region tak např. vstupují páry hodnot vybraného vegetačního indexu (toho, který poskytuje v daném případě vyšší přesnost) pro konkrétní čas či průměr za delší období a skutečných výnosů



Obr. 2.1. Zachycuje kondici vegetace 5.8. 2018 založenou na odchylce indexu NDVI od obvyklého stavu (tj. Střední hodnoty indexu pro danou část fenologické sezóny v období 2000-2017). Mapa je agregována do gridu 5 km přičemž nativní rozlišení používané pro analýzu a výpočty je 250 m. Agregace umožňuje potlačit vliv střídání plodin na úrovni 250 m rozlišení.

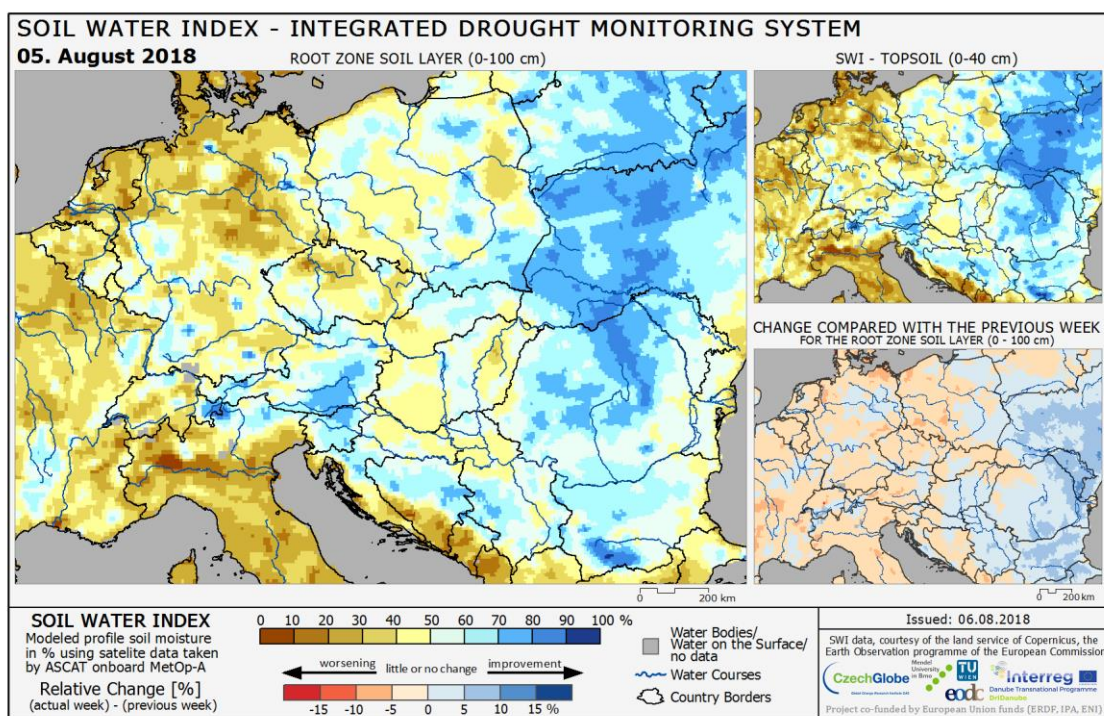
### 2.1.2. Soil Water Index (SWI)

Soil Water Index (SWI) neboli Index půdní vláhky kvantifikuje stav půdní vlhkosti v různých půdních hloubkách. Hodnota indexu je vypočtena na základě algoritmu založeného na infiltračním modelu popisujícím vztah mezi povrchovou vlhkostí půdy (SSM – Surface Soil Moisture) a vlhkostí v půdním profilu jako funkci času (Wagner et al., 1999). SWI je určen dle následujícího vztahu:

$$SWI(t_n) = \frac{\sum_i^n SSM(t_i) e^{-\frac{t_n - t_i}{T}}}{\sum_i^n e^{-\frac{t_n - t_i}{T}}} \quad \text{for } t_i \leq t_n$$

Ve kterém  $t_n$  je čas aktuálního měření,  $t_i$  jsou časy předcházejících měření. Časy jsou uváděny jako juliánské datum. Veškerá měření povrchové vlhkosti půdy provedená před  $t_n$  jsou sumarizována a exponenciálně vážena. Faktor  $T$  určuje, jak rychle se váhy stávají menšími a jak silně hodnoty povrchové

vlhkosti půdy naměřené v minulosti ovlivňují aktuální hodnoty SWI. Pokud je například hodnota  $T = 5$  a měření povrchové vlhkosti půdy bylo provedeno 10 dní před  $t_n$ , bude tomuto měření přiřazena váha  $e^{-10/5} = 0.135$ .  $T=20$  by vedlo ke zvýšení váhy na  $e^{-10/20} = 0.607$  [1]. Tato formulace představuje jednoduchý dvouvrstvý model vodní bilance. První vrstva je povrch půdy, snímatelný skaterometry v pásmu C. Druhá vrstva je pak částí půdního profilu směrem dolů od vrstvy povrchové. Druhá vrstva je chápána jako rezervoár, který je propojen s atmosférou pomocí první povrchové vrstvy. Podmínky vlhkosti v první vrstvě, která je v přímém kontaktu s atmosférou, jsou dočasně velmi dynamické. Se zvyšující se hloubkou půdního profilu u druhé vrstvy, se vliv této dočasné dynamiky snižuje s tím, jak obsah vody uložené v rezervoáru závisí na infiltraci vody dodané do první vrstvy během srážek. Proto je obsah vody v rezervoáru plně závislý na předchozí situaci půdní vláhly v první vrstvě a vývoji srážek. Působení srážek na stav půdní vláhly v rezervoáru je tedy postupné, což je vysvětleno exponenciální váhovou funkcí uvedenou výše. Poskytovaná informace je poměrně podrobná a odráží základní charakter zásobení půdní vláhou v regionálním měřítku Obr. 2.2.



Obr. 2.2. Zachycuje hodnotu SWI dne 5.8. 2018 (srovnej s Obr. 2.1 a 2.3), přičemž hodnoty ve žluté až hnědé škále zachycují nízké nasycení půdní vrstvy. Hlavní mapa zachycuje stav v horizontu 0-100 cm. Mapky na panelu vpravo poskytují informaci o nasycení vrstvy 0-40cm a změnu oproti předchozímu týdnu.

SSM využitě pro výpočet SWI je získáváno ze senzoru ASCAT na palubě družic MetOp-A a MetOp-B, pro výpočet jsou používány denní hodnoty. Výsledná denní data SWI jsou pak poskytována v rámci služby Copernicus [2]. Pro samotnou predikci jsou pak využity týdenní průměry SWI. Z výpočtu jsou vyřazeny oblasti vodních ploch, oblasti s permafrostem a sněhovou pokrývkou.

Pozn.

[1] [https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1\\_PUM\\_SWIV3-SWI10-SWI-TS\\_I2.60.pdf](https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/CGLOPS1_PUM_SWIV3-SWI10-SWI-TS_I2.60.pdf)



[2] <https://land.copernicus.eu/global/products/swi>

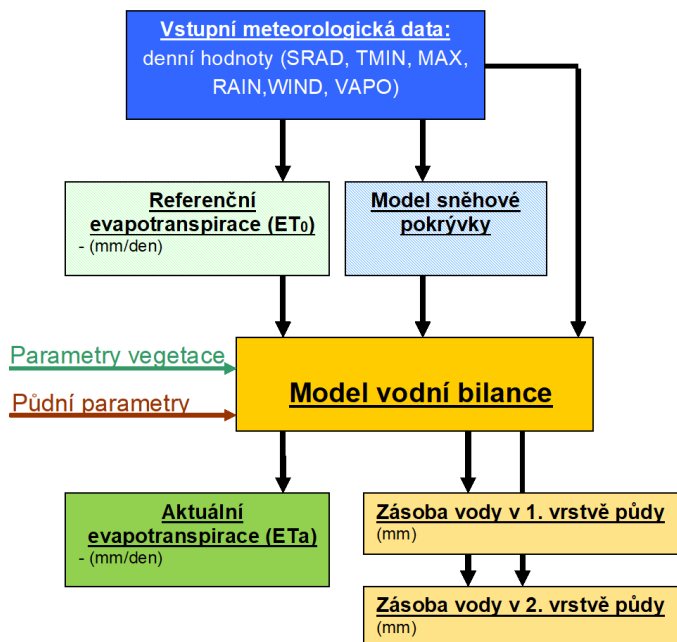
### 2.1.3. Index ESI

Index ESI (Evaporative Stress Index) vyjadřuje časovou standardizovanou anomálii poměru aktuální a referenční evapotranspirace ( $ET_a/ET_o$ ). Stanovení  $ET_a$  je provedeno pomocí diagnostického modelu ALEXI (Atmosphere–Land Exchange Inverse model), jehož jádro představuje dvouzdrojový (půda a porost) model energetické bilance.

U klasických prognostických  $ET_a$  modelů zásoba vody v půdě limituje  $ET_a$ , respektive poměr  $ET_a/ET_o$ , jenž následně ovlivňuje zásobu vody v půdě. Ta je navíc ovlivňována řadou dalších procesů jako např. infiltrace, povrchový a podpovrchový odtok/přítok či kapilární zdvih a perkolace (zpětnovazebný cyklus řešený systémem diferenciálních rovnic). To znamená, že pro správné modelování  $ET_a$  je zapotřebí správně simulovat zásobu vody v půdě, která je výsledkem řady vzájemně propojených procesů. Model ALEXI nevyžaduje znalost zásoby vody v půdě, ale namísto toho využívá měření povrchové teploty k řešení rovnice energetické bilance, a tedy i k určení  $ET_a$ . Hlavní koncept modelu ALEXI lze zjednodušeně popsat tak, že určujeme, **jaká by musela být  $ET_a$  při známém evaporačním požadavku atmosféry, aby teplota povrchu (půdy a porostu) odpovídala naměřeným hodnotám**. To znamená, že hodnota  $ET_a$  v daném čase, není závislá na hodnotě  $ET_a$  v čase předchozím, na rozdíl od prognostických modelů, kde chyby předchozích simulací ovlivňují výsledek simulace aktuální a můžou se tak následně v simulacích kumulovat. Kombinace prognostických modelů (jako např. SoilClim) s modely diagnostickými (jako např. ALEXI) lze využít k odhalení pro konkrétní podmínky neuvažovaných dodatečných zdrojů vodní bilance jako např. kapilární zdvih z hladiny podzemní vody, závlahy či (pod)povrchový přítok. Takováto fúze metod může být navíc rovněž využita k parametrizaci prognostických modelů. Zde je namístě podotknout, že model ALEXI, vzhledem k jeho fyzikálnímu založení, nevyžaduje jakoukoliv kalibraci, nicméně validace pomocí mikrometeorologických metod jako např. “eddy covariance” či hydrologických metod operujících na úrovni povodí je stále velmi žádoucí. Model ALEXI lze řešit na různých prostorových úrovních v závislosti na rozlišení měřených vstupů. Pro praktické účely se osvědčilo využití družicových měření povrchové teploty, které umožňují stanovení  $ET_a$  až na globální úrovni. V rámci předkládané metodiky byla pro model ALEXI zvolena povrchová teplota měřená sensory MODIS nesenými družicemi Aqua a Terra s prostorovým rozlišením 0,05° (tj. 5 km na rovníku). Další nezbytné vstupní data představují meteorologické proměnné ze 2 m nad povrchem (teplota, tlak a vlhkost vzduchu a rychlost větru), k čemuž byly využity klimatické reanalýzy CFSR (Climate Forecast System Reanalysis). Dodatečná data představuje albedo (MODIS-Terra - nutné pro stanovení prvků radiační bilance včetně toku tepla do půdy), a přibližná aerodynamická drsnost povrchu vycházející z výšky porostu (informace z mapy využití krajiny - <http://www.globallandcover.com/GLC30Download/index.aspx>).

Samotný index ESI je pak stanoven jako poměr  $ET_a/ET_o$  pouze za jasných dnů. Díky této poslední podmínce není zapotřebí data globální radiace, protože globální radiace pro bezoblačné dny lze poměrně spolehlivě stanovit ze zeměpisné šířky a nadmořské výšky. Navíc globální radiace je vstupní veličinou jak pro  $ET_a$  tak pro  $ET_o$ , a vzhledem že pro index ESI pracujeme s poměrem těchto dvou veličin, chyba určení globální radiace je téměř matematicky vyrušena. Následně jsou stanoveny dva základní typy kompozitů: - 4-týdenní a 12-týdenní představující průměr  $ET_a/ET_o$  za posledních 4 či 12 týdnů (Obr 2.3). Nakonec je index ESI vyjádřen jako časová standardizovaná anomálie  $ET_a/ET_o$  vzhledem k





Obr. 2.4. 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 vláhly, 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-Monteithe, který pro tento účel patří k nejpoužívanějším na světě:

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

kde  $\Delta$  je sklon tečny křivky vodních par pro danou teplotu ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  je denní suma radiační 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 ( $R_n - G$ ), 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:

$$ETa = ET_0 \cdot Kc \cdot Ks$$

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.

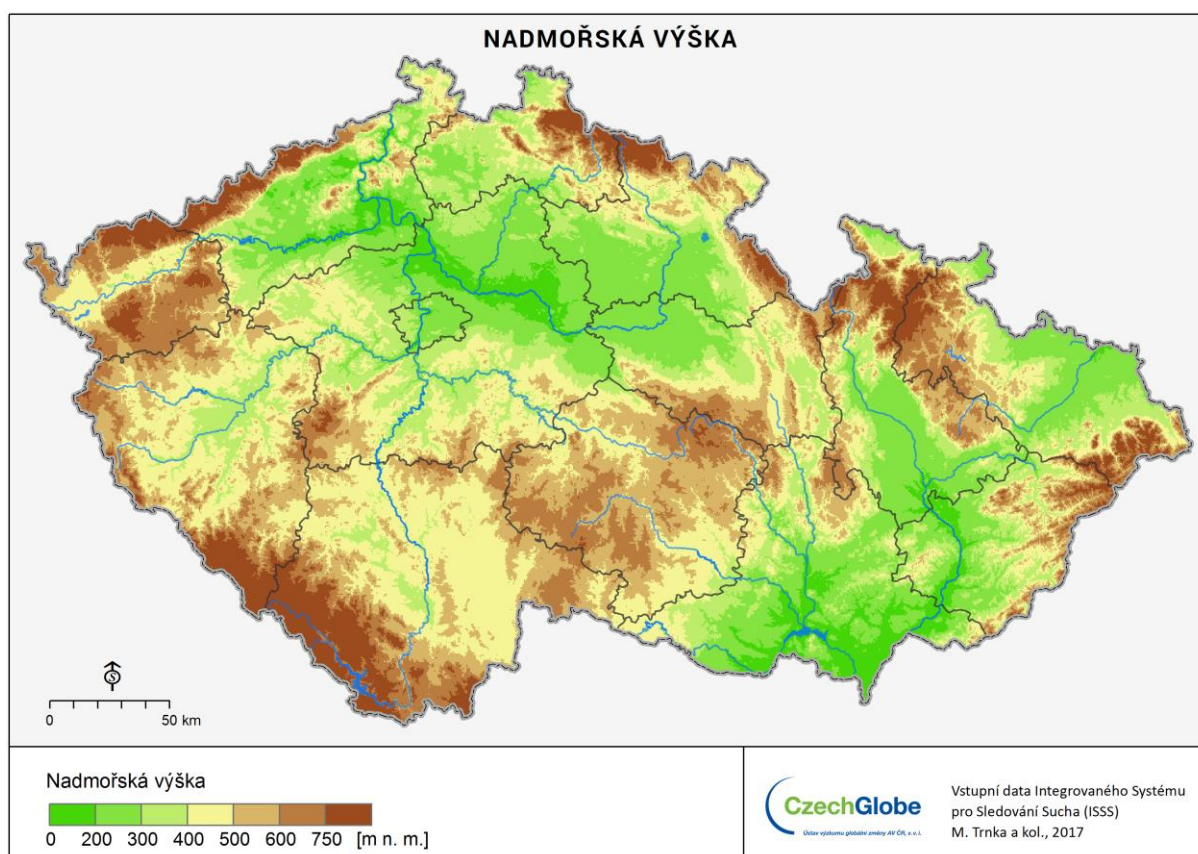
Použitý koncept odhadu obsahu půdní vláhy v rámci daných dvou vrstev vychází z bilančního přístupu, kdy se srážkovou vodou vždy nejprve plní svrchní vrstva půdy a v momentě, kdy je tato nasycena na úroveň polní vodní kapacity, dochází k dosycování hlubší druhé vrstvy. Pokud není svrchní vrstva nasycena 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.



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.

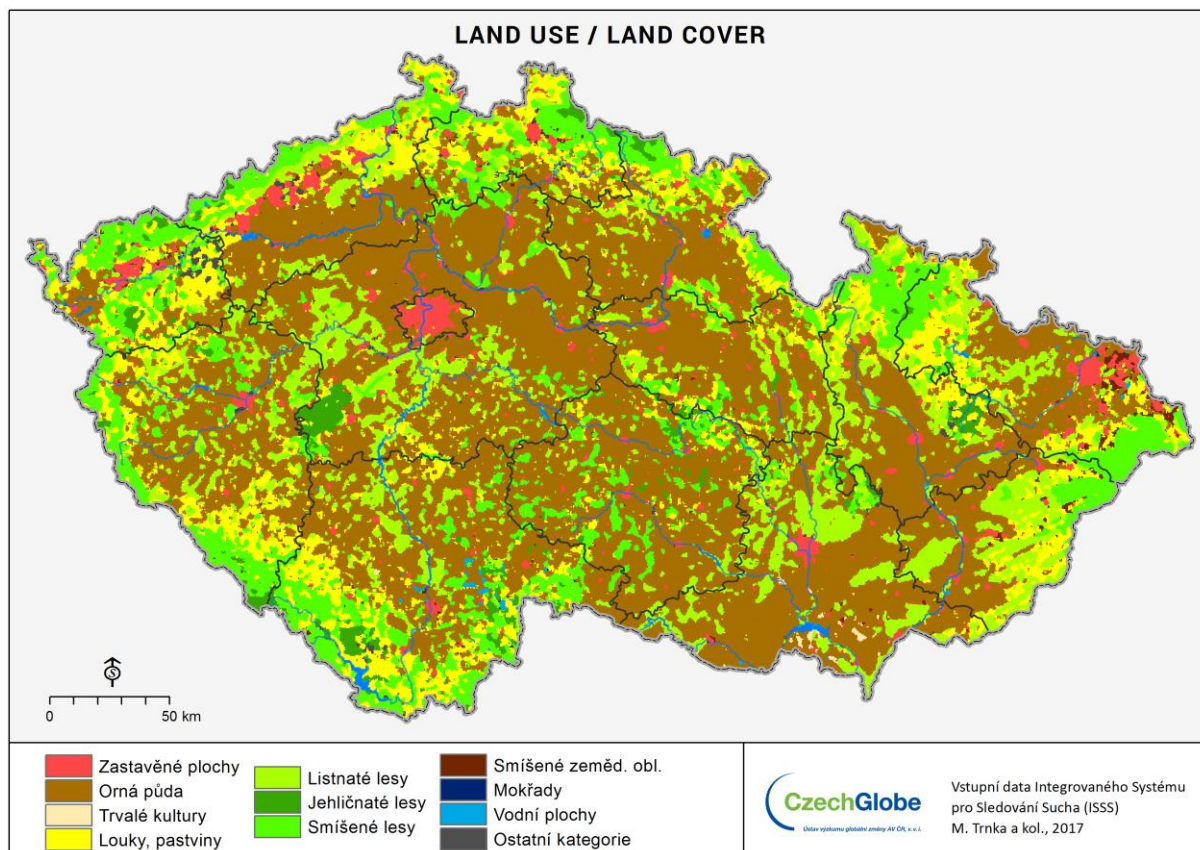
V prvním kroku byla přiřazena nadmořská výška. Pro rozšířený prostor Česka, Slovenska a části Rakouska byl použit výřez digitálního výškového modelu Evropy (EU-DEM). EU-DEM byl pořízen v rámci projektu GMES RDA (Copernicus programme) pod záštitou Evropské komise a DG Enterprise and Industry v rozlišení 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. 2.5).



Obr 2.5. Digitální model terénu použitý pro simulaci modelem SoilClim

Informace o krajiněm pokryvu a využití území vychází z dat CORINE Land Cover 2012 v rozlišení 100 m 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. 2.6)

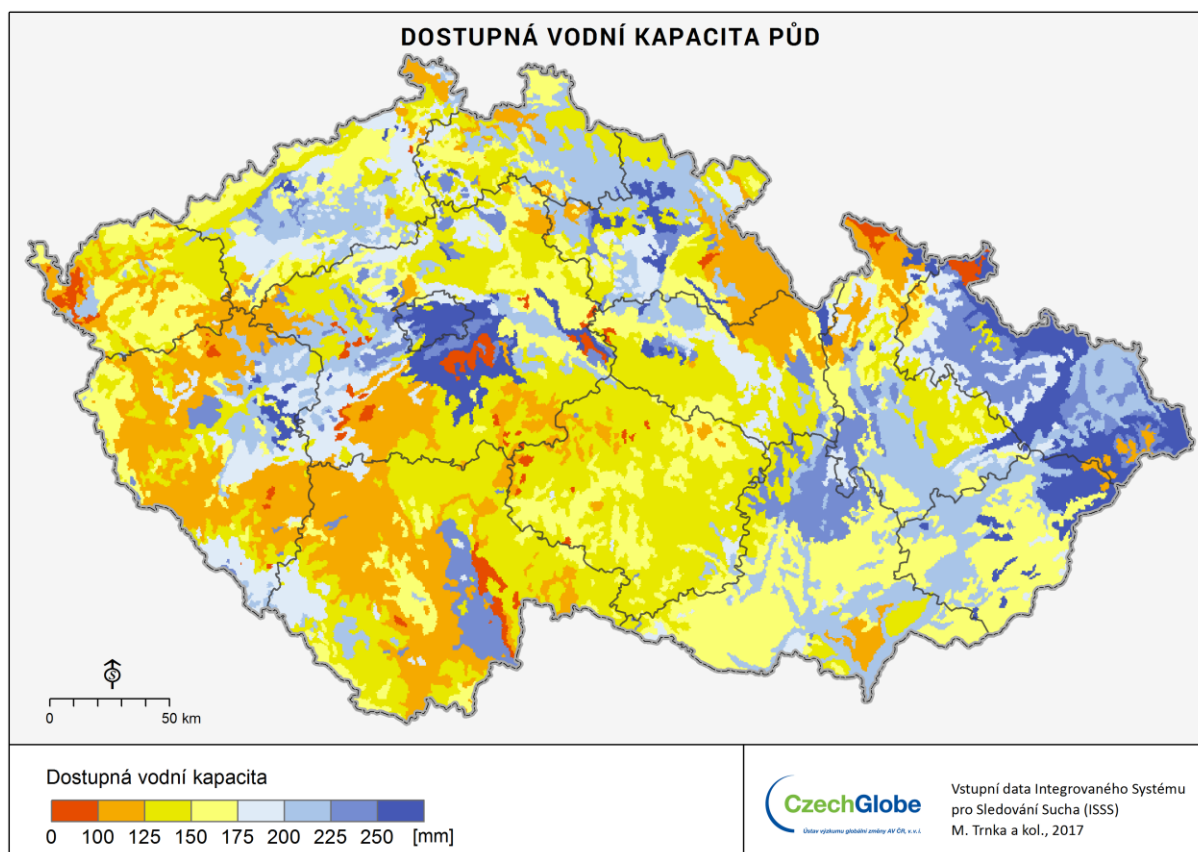




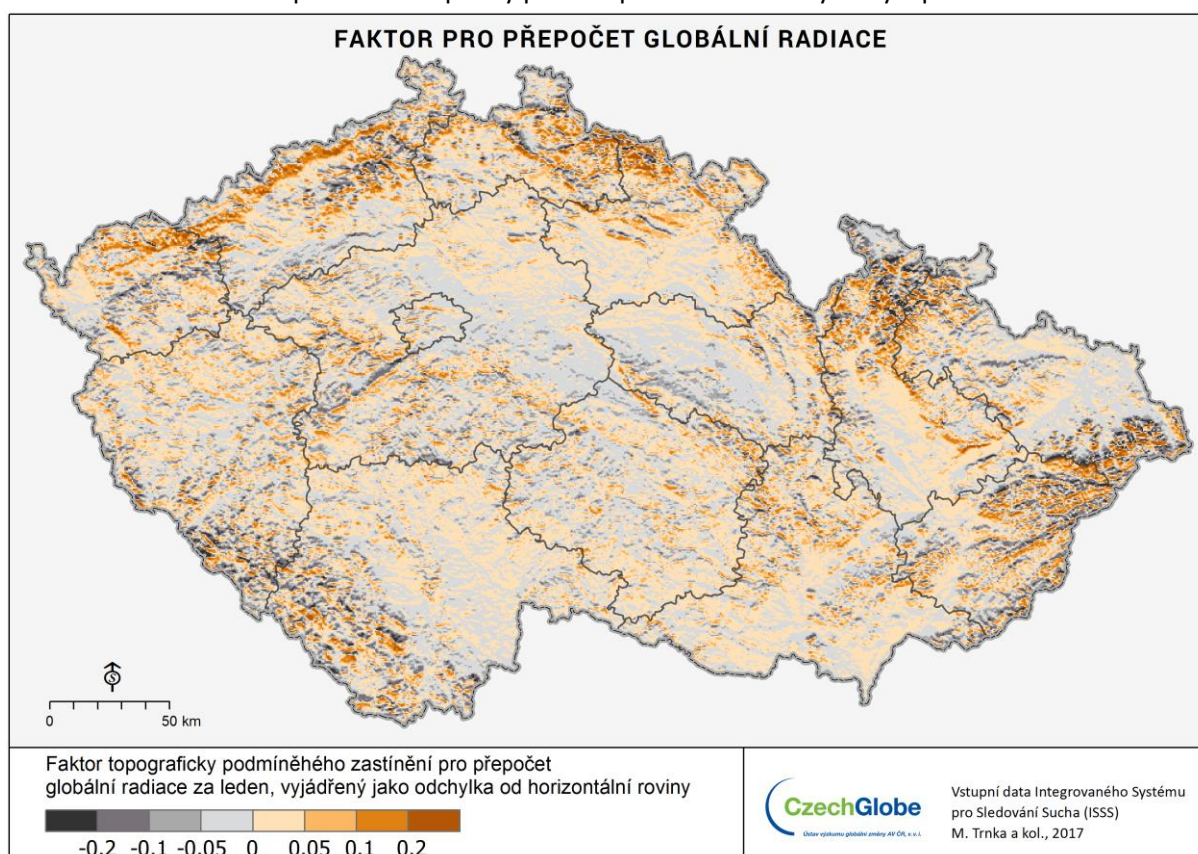
Obr 2.6. Zastoupení jednotlivých typů využití území pro prostorové simulace modelem SoilClim

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. 2.7).

Gridová data byla dále doplněna o topografický faktor zastínění, potřebný ke korekci při výpočtu globálního záření z doby slunečního svitu (příklad viz Obr. 2.8). Tento faktor zohledňuje poměry mezi přímým a difúzním zářením za bezoblačných podmínek. K jeho stanovení byl použit nástroj Solar Radiation 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. 2.7. Hodnota dostupné vodní kapacity použité pro odhad zásoby vody v půdě.



Obr. 2.8 Faktor topograficky podmíněného zastínění a změny úhrnu globální radiace v závislosti na expozici a sklonitosti gridu

Gridová data jsou následně agregována pouze pro ornou půdu a v případě predikce výnosů TTP pro gridy spadající do TTP dle Obr 2.6. Vybrané výstupy modelu SoilClim pak vstupují do predikčních modelů jako prediktory.

## 2.2. Metody vlastní predikce výnosů

V části 2.1. byly prezentovány biofyzikální parametry, které se v dané sezóně stávají prediktory výnosů (predikant) konkrétní plodiny v daném regionu. Těmito regiony byly buď okresy případně kraje a podrobnost rozlišení závisí na podrobnosti vstupních dat. Pro větší robustnost odhadu predikantu pracuje metodika výnosů-plodin s dvěma postupy odvozování funkčního vztahu mezi prediktory a predikantem, které jsou přestaveny v částech 2.2.1. a 2.2.2. a ty jsou následně použity v souhrnném modelovém ansámbly.

### 2.2.1. Neuronové sítě

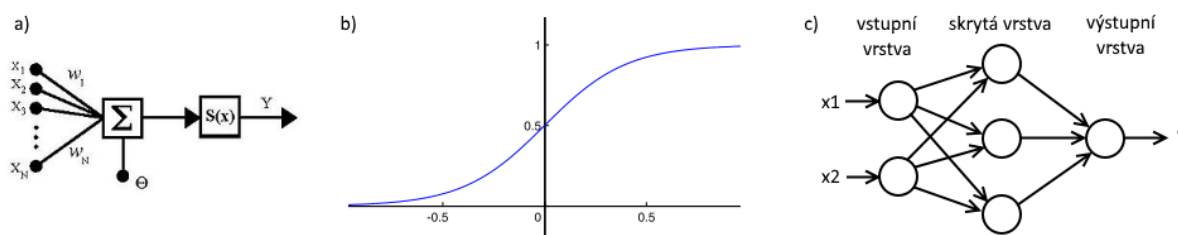
Umělá neuronová síť je jeden z výpočetních modelů používaných v umělé inteligenci. Jejím vzorem je chování odpovídajících biologických struktur. Skládá se z umělých (nebo také formálních) neuronů, jejichž předobrazem je biologický neuron. Neurony jsou vzájemně propojeny a navzájem si předávají signály a transformují je pomocí určitých přenosových funkcí. Neuron má libovolný počet vstupů, ale pouze jeden výstup. Jedním z nejpoužívanějších je model popsáný McCullochem a Pittsem:

$$Y = S\left(\sum_{i=1}^N (w_i x_i) + \Theta\right)$$

kde  $x_i$  jsou vstupy neuronu,  $w_i$  jsou synaptické váhy,  $\Theta$  je práh,  $S(x)$  je přenosová funkce neuronu (někdy nazývaná aktivační funkce) a  $Y$  je výstup neuronu. Nejpoužívanější přenosovou funkcí je sigmoidální funkce, ve tvaru:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-kx}}$$

Vzájemné propojení neuronů tvoří tzv. architekturu neuronové sítě (Obr 2.9). Nejpoužívanější architektura sítě je vícevrstvá neuronová síť, kde první vrstvu tvoří vstupní neurony, následuje jedna nebo více skrytých vrstev a poslední je výstupní vrstva



Obr. 2.9. Umělá neuronová síť: a) model neuronu, b) sigmoidální funkce, c) vícevrstvá architektura

Činnost neuronové sítě tvoří 2 fáze: fáze nastavování a fáze pracovní. Cílem fáze nastavování (nebo také učení) neuronové sítě je nastavení vah a prahů jednotlivých neuronů tak, aby síť prováděla požadovanou činnost. Neuronové síti jsou předkládány vzory. Na základě aktuálního nastavení je zjištěn skutečný výsledek. Ten se porovná s požadovaným výsledkem a určí se chyba. Poté se provede

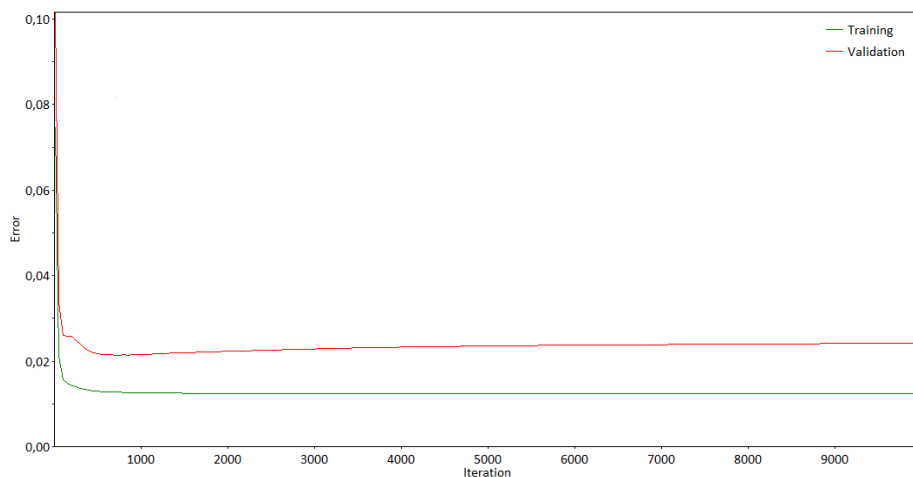
korekce hodnot vah a prahů tak, aby rozdíl mezi skutečným a požadovaným výstupem byl minimální. Toto se opakuje až do dosažení stanovené minimální chyby. Poté je síť nastavena. Ve fázi pracovní jsou síti předkládány vstupy a získány výstupy podle nastavení sítě.

### 2.2.1.1. Příprava dat

Pro predikci výnosů bylo zvoleno 40 potenciálních vstupních charakteristik, mezi nimiž byla zahrnuta meteorologická data, půdní vlhkost, vegetační indexy, ESI a SWI (viz. 2.1). Pro tyto charakteristiky byla pro roky 2000-2017 vygenerována data v týdenním kroku agregovaná na kraje a okresy ČR. Pro výslednou predikci bylo vybráno 12 charakteristik, pomocí nichž se dosahovalo nejlepších výsledků.

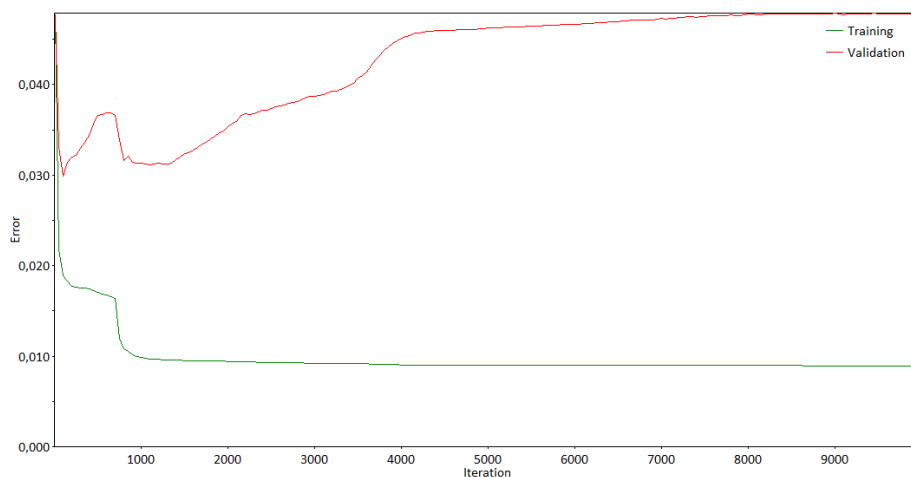
### 2.2.1.2. Trénování neuronových sítí

Predikce výnosů probíhá v týdenním kroku, počínaje 13. týdnem v roce. Pro každý týden v roce, každou plodinu a územní celky (okres nebo kraj) byly vytvořeny samostatné neuronové sítě. Každá síť řeší tedy jednu konkrétní úlohu, např. predikci výnosů pšenice ozimé pro kraje ve 20. týdnu. Jako vstupy byly použity kumulované hodnoty vybraných charakteristik, a to z dat, která jsou pro daný týden v roce už známá (např. pro predikci 20. týden jsou známy hodnoty pro 1. až 19. týden). Jako výstup byly použity hodnoty výnosů v daném roce. Takto vytvořené vzory byly předány neuronové síti, z toho  $\frac{3}{4}$  byly použity k naučení sítě a zbytek k otestování použitelnosti sítě a výsledky byly vyhodnoceny (např. 2.10-2.11).



Obr. 2.10. Uspokojivá predikční schopnost sítě (validační křivka kopíruje trénovací křivku)





Obr. 2.11 Špatná predikční schopnost sítě (sítě špatně predikuje neznámé vzory)

### 2.2.1.3. Ansámbl modelů a určení spolehlivosti modelu

Výhodou neuronových sítí je schopnost získat výsledky bez nutnosti znalosti vztahů mezi vstupy a výstupem (neuronová síť je v podstatě model vícenásobné nelineární regrese). Nicméně neznalost vztahu mezi vstupy a výstupy je i hlavní nevýhodou. To, že neuronová síť dává uspokojivé výsledky pro určitou sadu dat, ještě neznámá, že bude dávat uspokojivé výsledky pro jinou sadu dat. Navíc každá síť (hodnoty vah a prahů) je před začátkem fáze učení nastavena náhodně, takže žádné dvě sítě nejsou ve výsledku stejné a tudíž pro stejné vstupy nedávají stejné výstupy. Proto se v praxi používá ansámbl neuronových sítí, kdy je pro danou kolekci vzorů natrénováno více sítí, a predikovaná hodnota je získána kombinací výsledků jednotlivých sítí.

Pro predikci výnosů bylo pro každou variantu (okres/kraj, plodina, týden) trénováno 50 sítí a pro generování odhadu výnosů bylo vybráno 30 sítí s nejlepší predikční schopností. Výsledkem predikce je průměr, 5. a 95. percentil výsledků z vybraných 30-ti sítí.

### 2.2.2. Lineární model

Odhad výnosů plodin s využitím dat dálkového průzkumu Země (DPZ) probíhal v rámci území krajů a okresů České republiky za vegetační období 2000–2018. Jako prediktor byla použita data DPZ pocházející ze senzoru MODIS neseného družicí Terra (NASA), která jsou pro sledované území k dispozici v časové řadě od roku 2000. Z původních denních obrazových dat s globálním pokrytím v prostorovém rozlišení 250 m byla připravena týdenní data vegetačních indexů NDVI a EVI2 jako maxima za týden a agregována pouze pro ornou půdu dané územní jednotky.

Jako jeden z vhodných modelů se ukazuje jednorozměrná lineární regrese, protože byla k dispozici krátká časová řada skutečných výnosů (nekompletní data za roky 2000–2017) společně s vegetačními indexy a zároveň není nutné extrapolovat přes různé plodiny ani územní jednotky. Do výpočtů předpovědi pro danou územní jednotku vstupují páry hodnot vybraného vegetačního indexu a skutečného výnosu. Z týdenních dat se pro indikaci průběhu sezóny vybírají podle předem stanovených pravidel vhodná souvislá období (není vynechán žádný z týdnů mezi prvním a posledním z vybraných), za která se hodnoty z jednotlivých týdnů zprůměrují do jediné hodnoty. Výběr nejvhodnějšího období,

za které zjištěné hodnoty indexů nejlépe vypovídají o následné úrovni výnosů, je založen na porovnání prediktivní schopnosti všech možných lineárních modelů, přičemž konkrétní analýza byla provedena pomocí „leave-one-out“ postupu. V rámci tohoto přístupu jsou pro postupné predikce výnosů od roku 2000 do 2017 použity lineární modely, které byly odvozeny bez zařazení údaje o výnosu predikovaného roku. Pro období 2000–2017 byly pro všechny tři vegetační indexy spočítány relativní chyby všech modelů (podobně by bylo možné porovnávat jakoukoli jinou chybu nebo korelace), kde pro rok  $i$  označuje předpovídaný výnos a skutečný výnos:

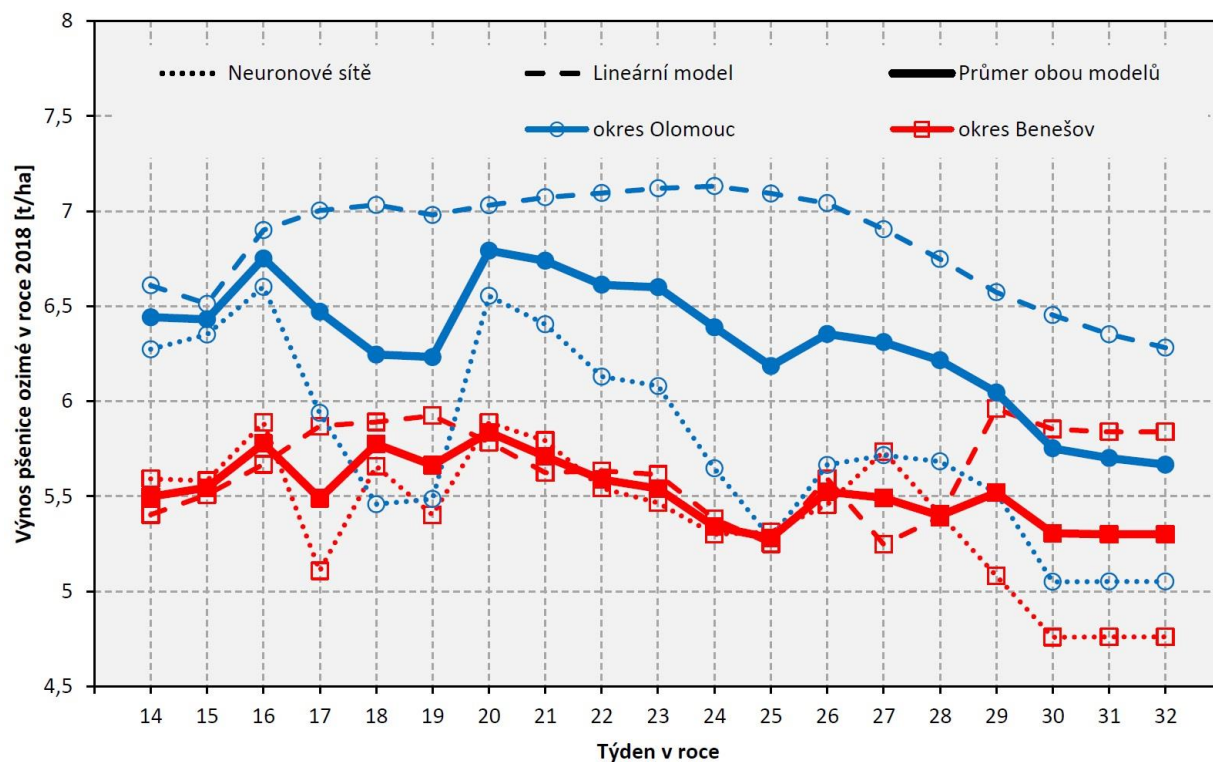
$$RE = \frac{\sum_{i=2000}^{2017} |x_i - \hat{x}_i|}{\sum_{i=2000}^{2017} \hat{x}_i}$$

Relativní chyba vypovídá o kvalitě daného modelu a předpověditelnosti výnosů. Podle nejmenší relativní chyby byl pro každou souvislou sadu týdenních dat indexů (od 13. do 35. týdne) nalezen nejvhodnější vegetační index a délka sledovaného období. Zjištěné vazby byly následně použity pro odhady výnosů plodin v roce 2018.

### 2.2.3. Ansámbl modelů a určení spolehlivosti modelu

Z důvodu vyvarování se velkých chyb v nějakém modelu, které se samozřejmě mohou objevit, je vhodné využívat více modelů a za finální odhad uvážit nějakou kombinaci těchto modelů jako jejich vážený průměr. V našem případě máme dva modely a jako finální předpověď výnosů je prezentován výsledek na základě nejlepšího lineárního modelu a průměru ansámblu neuronových sítí k danému datu, a to jako průměr těchto dvou modelů. Tedy oba modely mají váhu jednu polovinu.

Spolehlivost modelu měříme pomocí chyb. Rozhodli jsme se pro relativní chybu, ale bylo by možné použít jakýkoli jiný druh chyby. Pro lineární model je zajištěno klesání relativní chyby v průběhu sezóny za období do roku 2018, zatímco u neuronových sítí tomu tak zcela není, což je dáno konstrukcí modelu. Relativní chyba, jako ukazatel spolehlivosti modelu, je spočítána pro ansámbl dvou modelů stejně jako finální předpověď výnosů použitím modelů na výpočet výnosů zpětně pro roky 2000–2017.

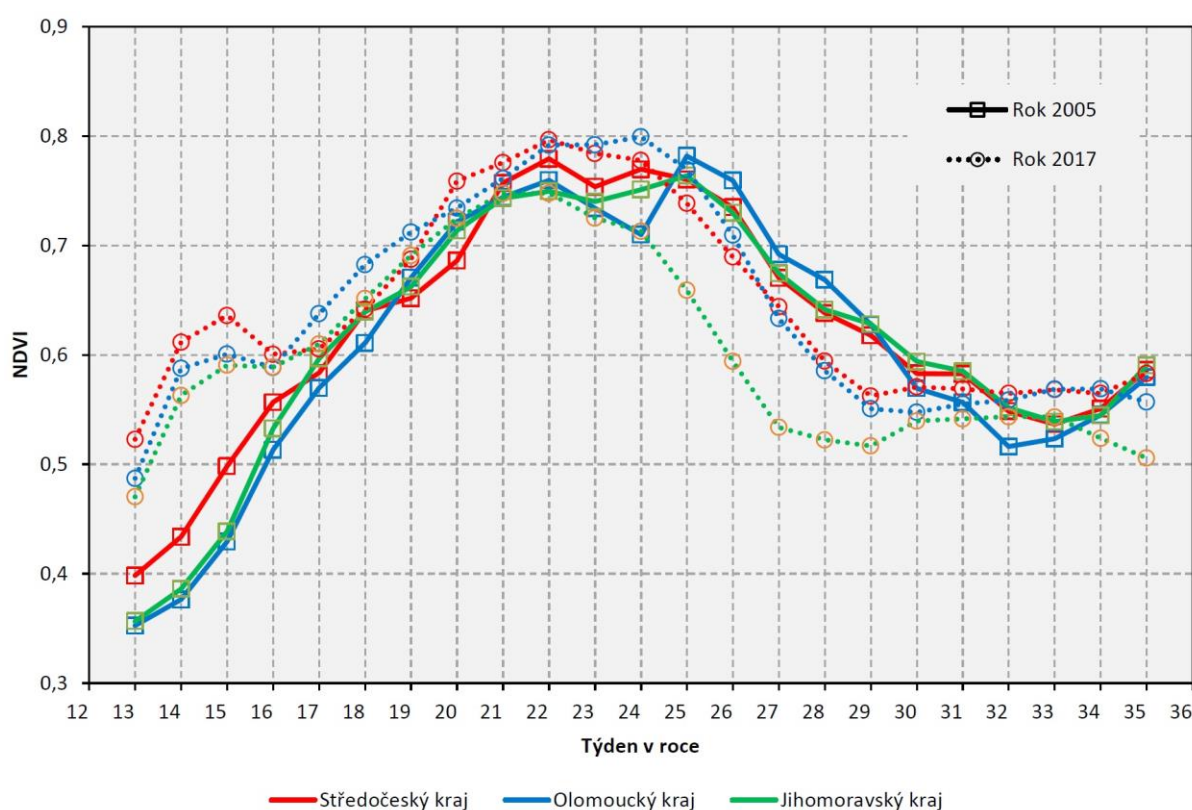


Obr. 2.13. Ukázka dvou vybraných okresů při průměrování neuronových sítí a lineárního modelu do výsledného odhadu výnosu pšenice ozimé v roce 2018.

### 3. Výsledky a diskuse

#### 3.1. Předpověditelnost výnosů na úrovni krajů a okresů

Průběh hodnot vegetačních indexů v průběhu roku kopíruje charakteristický vývoj vegetace a již na základě vizuálního hodnocení je možné z vykreslených křivek rozpoznat rozdíly v rámci stavu vegetace v letech a regionech. Je zřejmé např. načasování počátku sezóny, termín dosažení hodnoty maximálního rozsahu zelené hmoty, nástup zralosti u polních plodin či žloutnutí a opad listů u stromů v rámci regionů a ročníků. Příklady vývoje indexu NDVI pro ročníky 2005 a 2017 v kombinaci s údaji ze tří krajů ČR je v obr. 3.1. Takto je zachycena např. významná epizoda sucha na orné půdě Jihomoravského kraje v roce 2017, která se projevila nejen obecně nižšími hodnotami NDVI, ale zejména dřívějším nástupem letního poklesu v důsledku poklesu zastoupení zelené hmoty.



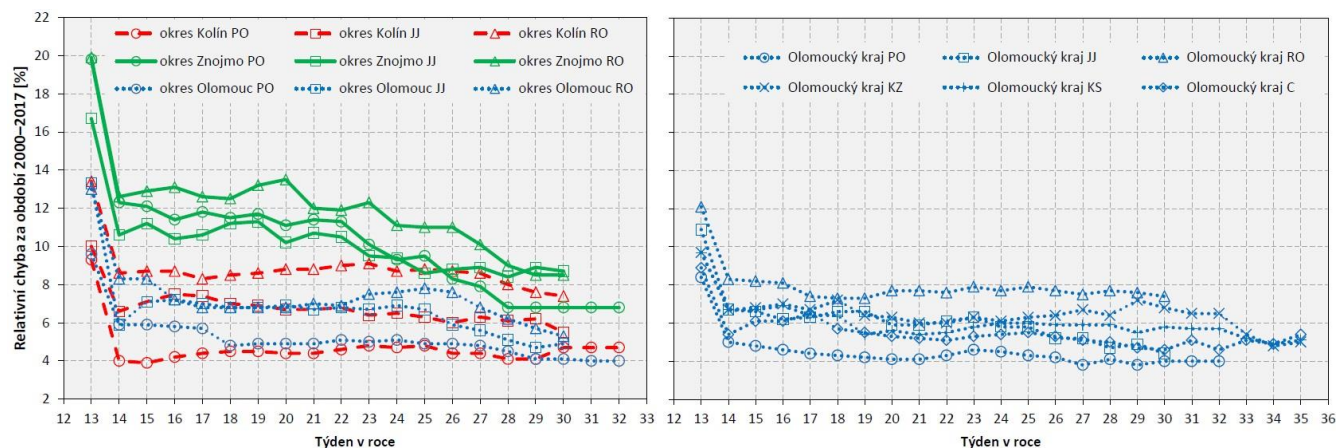
Obr 3.1. Ukázka průběhu hodnot NDVI v sezónách 2005 a 2017 pro tři vybrané kraje.

V krajích jsme zkoumali výnosy ječmene jarního (JJ), pšenice ozimé (PO), řepky ozimé (RO), kukuřice na siláž (KS), kukuřice na zrna (KZ), ovsa (O), žita ozimého (Z) a cukrové řepy (C). Vysoce spolu korelují výnosy KZ a KS, které mají Pearsonův korelační koeficient téměř 0,9 a s ostatními plodinami jinak nekorelují (Obr 3.2). Další velká korelace je mezi JJ a PO, taktéž téměř 0,9 a ostatní dvojice plodin (nepočítaje KZ a KS) pak už mají navzájem korelace okolo 0,7. K dispozici jsme měli téměř kompletní sadu výnosů od roku 2000 s výjimkou cukrové řepy, která se v některých krajích vůbec nepěstuje.



V okresech jsme pracovali pouze s ječmenem jarním (JJ), pšenicí ozimou (PO) a řepkou olejnou (RO). Korelace vycházeli podobně jako v krajích a v několika okresech nám chybělo velké množství výnosových údajů.

První relevantní odhady výnosů získáváme již v průběhu měsíce června. Výrazný pokles relativní chyby ansámblu obou modelů v průběhu sezóny nastává na přelomu června a července, přičemž odhady výnosů mohou být v dalším průběhu sezóny upřesňovány na základě zaznamenaných dat. Obecně platí, že čím delší úsek sezóny je k dispozici, tím je vazba prediktorů na výnosy těsnější. Nejvěrohodnější, nikoli nutně nejlepší odhad tedy máme na konci sezóny.



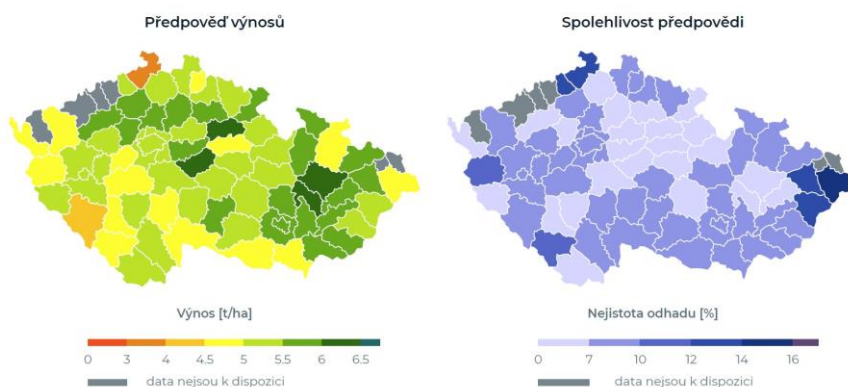
Obr. 3.2. Ukázka vývoje spolehlivosti ansámblu modelů pro tři vybrané okresy a jeden kraj od počátku odhadů v sezóně do posledního týdne, do kterého se uvažuje vývoj vegetačních indexů pro danou plodinu.

Obecně ke konci sezóny dobré výsledky vzhledem ke spolehlivosti modelů pro všechny sledované plodiny mají kraje VYS, OLK a JHC a například okresy BN, OC, OP, JE, RK, PV, HK a UO (Obr. 3.3.). Naopak pro všechny plodiny vychází velká relativní chyba v krajích KVK, ULK a LBK. Pro okresy vychází pro všechny tři plodiny špatně okresy DC, FM a VS a pro dvě plodiny ze tří například BE, CH, LI, PT a TC. Jsou území, na kterých vychází nějaká plodina velmi dobře a zároveň jiná velmi špatně. Například z krajů pro oves má nejmenší krajskou chybu ZLK (relativní chyba 4,1 %), ale naopak největší pro řepku (8,1 %). Podobně okres NB je dobrý pro jarní ječmen (5,3 %), ale špatný pro pšenici (10,9 %) nebo okres NA má nejmenší okresní chybu pro pšenici (3,6 %), ale velkou chybu pro ječmen (10,1 %). Konkrétně pro jednotlivé plodiny je spolehlivost následující. Pro cukrovku je nejspolehlivější odhad v HKK (4,9 %), zatímco nejhůře jsou na tom MSK a STC (6,6 a 6,7 %). Pro oves jsou malé chyby u JHC a ZLK (4,1 %), zatímco nejhorší jsou JHM, KVK, LBK a ULK (7–7,3 %). Pro žito je malá chyba u VYS (4,5 %) a špatně jsou na tom ZLK, ULK a KVK (7,7–8,2 %). Kukuřice na zrno vychází nejlépe v JHC a OLK (5 a 5,8 %) a nejhůře v PLK, LBK, ULK (8–8,9 %) a propad ve spolehlivosti je v KVK (16,9 %). Kukuřice na siláž dobře vychází v JHC a VYS (3,5 a 4 %) a špatně jsou na tom STC, KVK a ULK (6,1–6,7 %). Plodina pšenice ozimá (Obr. 3.3.) dobře vychází v OLK (4 %) a okresech NA, DO, ZR, PR a RK (3,6–3,9 %), opačně jsou na tom kraje LBK, JHM a KVK (6,6–7,7 %) a okresy ME, FM, PT, VS a DC (9,7–13 %). Pro ječmen vychází nejlépe kraje VYS a OLK (4,1 a 4,4 %) a okresy JE, BN, RK, PV a KO (3,5–4,9 %) a nejhůře kraje PLK, KVK a LBK (8,3–8,6 %) a okresy NA, BE, JN, SM, DO, CH a DC (10,1–14,2 %). A poslední sledovaná plodina řepka vychází dobře pro kraje HKK a STC (5,7 %) a okresy HK, JC, OC a BN (4,5–5,4 %) a naopak špatně pro kraje OLK, ULK, JHM a ZLK (7,4–8,1 %) a okresy UL, FM, TC, VS a DC (12,5–16 %). Veškeré údaje jsou k dispozici jako mapy generované portálem [www.vynosy-plodiny.cz](http://www.vynosy-plodiny.cz) a velikost chyby je udávána v %. Z tohoto pohledu je hodnocení

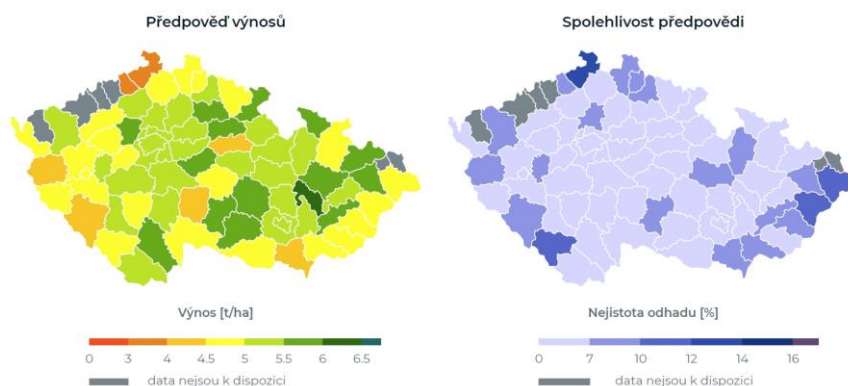
o velikosti chyby dáno účelem využití předpovědi, přičemž pro řadu rozhodnutí je velikost chyby naprosto přijatelná.



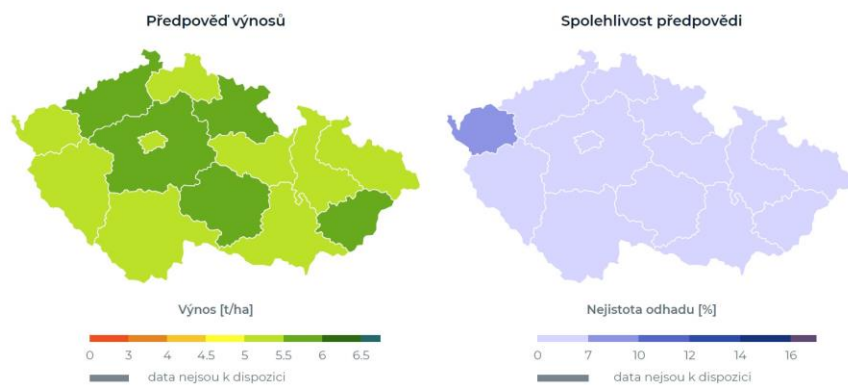
#### Mapy předpovědi výnosů pro Pšenice ozimá 2018 (k 22.6.)



#### Mapy předpovědi výnosů pro Pšenice ozimá 2018 (k 10.8.)



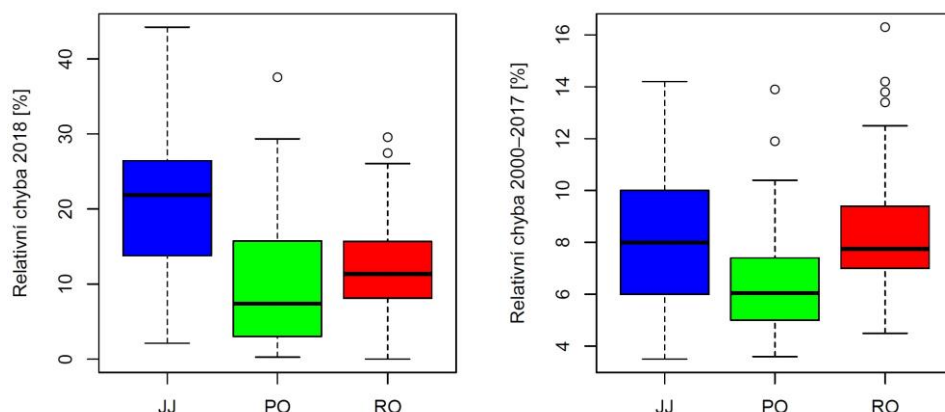
#### Mapy předpovědi výnosů pro Pšenice ozimá 2018 (k 10.8.)



Obr. 3.3. Mapy výnosů a spolehlivosti předpovědi pšenice ozimé pro okresy v průběhu sezóny k 22. 6. 2018 (a) a na konci sezóny k 10. 8. 2018 (b) a na konci sezóny pro kraje k 10. 8. 2018 (c).

Relativní chyby získané lineárním modelem v roce 2018 jsou jistě vyšší než spolehlivost modelu. Je to dáno tím, že se nejedná o agregaci za 17 let jako u spolehlivosti modelu a že rok 2018 nebyl svým

průběhem běžný. Proto i v roce 2018 byla ve finální prognóze dána lineárnímu modelu nulová váha. Srovnání okresních chyb v roce 2018 a spolehlivosti modelu ukazuje obrázek. 3.4 Z grafů je jasně vidět, že u okresních odhadů výnosů se největších chyb dopouštíme u JJ a nejmenších u PO, což přesně kopíruje výsledky spolehlivosti modelů.

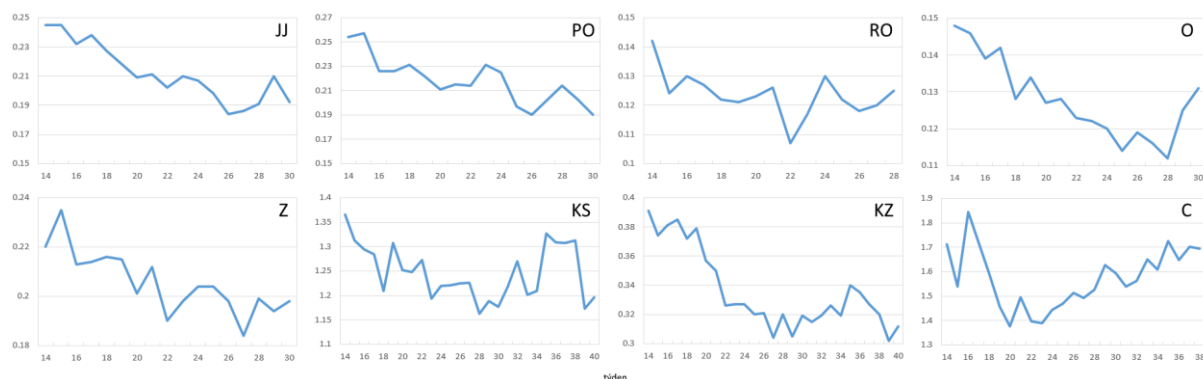


Obr. 3.4. Srovnání chyby modelů v roce 2018 a spolehlivosti modelů okresních výnosů pomocí krabicových grafů. JJ – jarní ječmen; PO – pšenice ozimá; RO – řepka olejná

Na základě dosažených výsledků je možné konstatovat, že i přes omezení obsažená v rámci prezentovaného postupu lze tímto způsobem získat relevantní a poměrně přesné údaje o předpokládaném vývoji podmínek pro růst a vývoj plodin a v konečném důsledku i předpokládaný výnos (Obr. 3.4). Jedním ze zdrojů nejistot, které jsou v prezentovaných odhadech obsaženy, je skutečnost, že použitá satelitní data zachycují stav veškeré vegetace na orné půdě v daném regionu, nikoli pouze danou plodinu. K takovému postupu bylo nutné přistoupit zejména z důvodu nedostupnosti informací o prostorové identifikaci půdních bloků s danou plodinou za víceletý časový úsek. Predikovaná úroveň výnosů odpovídá očekávanému plošnému průměru za dané území, přičemž situace v rámci podrobnějšího prostorového členění může být různá (pro části krajů, části okresů či samotnou úroveň pozemků). Důvodem je rozdílná produktivita konkrétních území, způsob hospodaření a vliv lokálně specifických povětrnostních podmínek v rámci dané sezóny. Prezentovaná spolehlivost předpovědi zohledňuje jednak přesnost vybraných metod v rámci hodnoceného území, jednak pravděpodobné rozpětí vlivu podmínek, které nastanou v následujícím období, tj. od aktuálního data vyhodnocení prediktorů. Pokud dojde k výskytu mimořádných podmínek, může být reálná spolehlivost předpovědi oproti uvedeným hodnotám snížena.

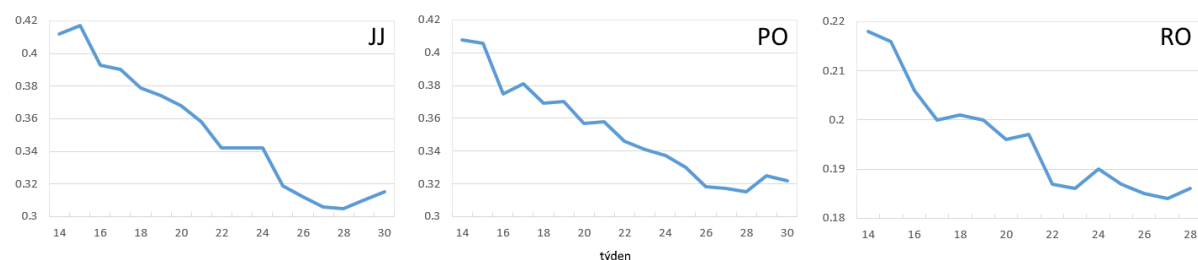
### 3.2. Předpověditelnost propadu výnosů v roce 2017 a 2018

U krajských výnosů jsou výsledky získané neuronovými sítěmi použitelné už od 14. týdne a to přesto, že se jedná o časnou část vegetační sezóny. Nicméně neuronové sítě si tam určité signály najdou, vysvětlená variabilita je obvykle více než 70% už od prvního týdne predikce. Navíc nejsou velké rozdíly v chybě predikce mezi jednotlivými kraji. Obr. 3.5 ukazuje průběh chyby odhadu pomocí neuronových sítí po týdnech, trend zlepšování odhadu není až tak zřejmý.



Obr. 3.5 Průměrná absolutní chyba odhadu výnosu [t/ha] pro kraje v jednotlivých týdnech predikce pro sledované plodiny: JJ (ječmen jarní), PO (pšenice ozimá), RO (řepka ozimá), O (oves), Z (žito ozimé), KS (kukuřice na siláž), KZ (kukuřice na zrno) a C (cukrová řepa)

U okresních výnosů dokáží neuronové predikovat výnosy s poměrně velkou úspěšností už od 14. týdne,  $R^2$  bývá nad 0,7. Nicméně v tomto případě je poměrně velký rozdíl mezi jednotlivými okresy. V některých okresech je predikce horší, a přestože je zde patrný trend zlepšování predikce, tak ani v posledních týdnech nedosahuje predikce v těchto okresech úspěšnosti jako v jiných okresech. Nicméně kromě predikce pšenice v okrese Děčín ( $R^2 < 0,2$ ) jsou výsledky přijatelné. Následující obrázek ukazuje průběh chyby odhadu pomocí neuronových sítí po týdnech, trend zlepšování odhadu je zde zřejmý (Obr. 3.6).

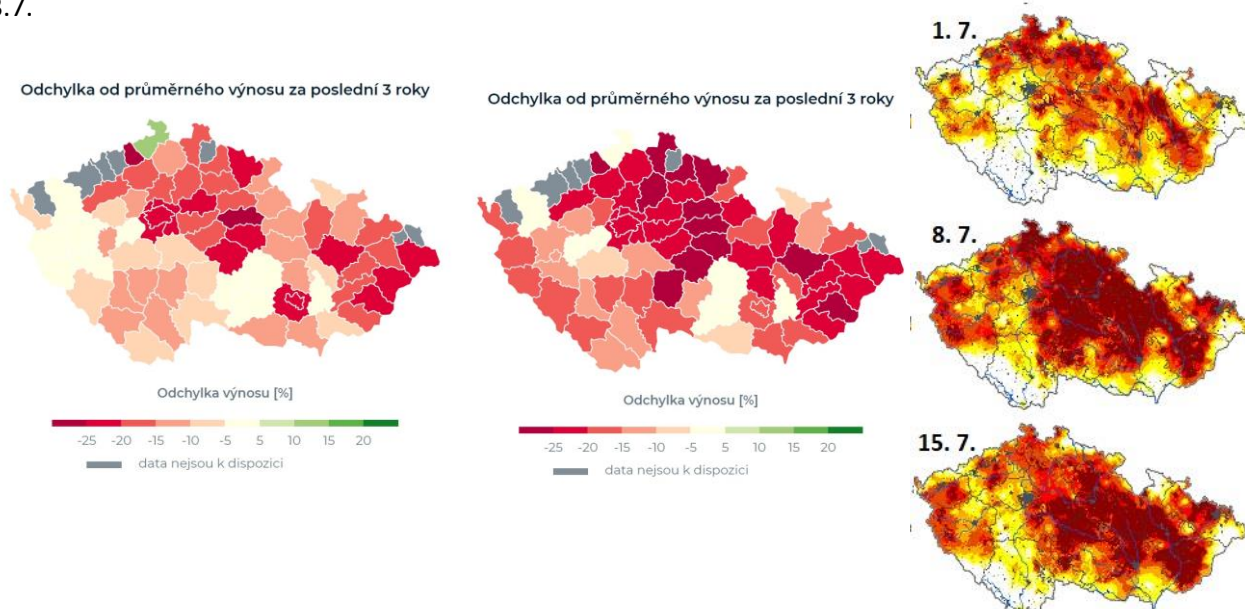


Obr. 3.6 Průměrná absolutní chyba odhadu výnosu [t/ha] pro okresy v jednotlivých týdnech predikce pro sledované plodiny: JJ (ječmen jarní), PO (pšenice ozimá), RO (řepka ozimá)

Na základě dosažených výsledků odhadů regionálních výnosů, které jsou relevantní v době 1–2 měsíce před sklizní, je možné tyto odhady využívat jako podklady v rámci včasného varování o předpokládaném poklesu výnosů konkrétních plodin v regionech, pro přípravu nutných opatření či pro nastavení obchodních strategií na různých úrovních. Vzhledem k tomu, že hlavní zdroj informace pro odhady výnosů nesou vegetační indexy, které odrážejí skutečnost o stavu zeleně, je nutné se ptát, jak rychle se informace o možném poklesu výnosů dostane do vegetace. Například při požáru vegetace je reakce vegetačního indexu okamžitá. Tyto okamžité záležitosti bývají

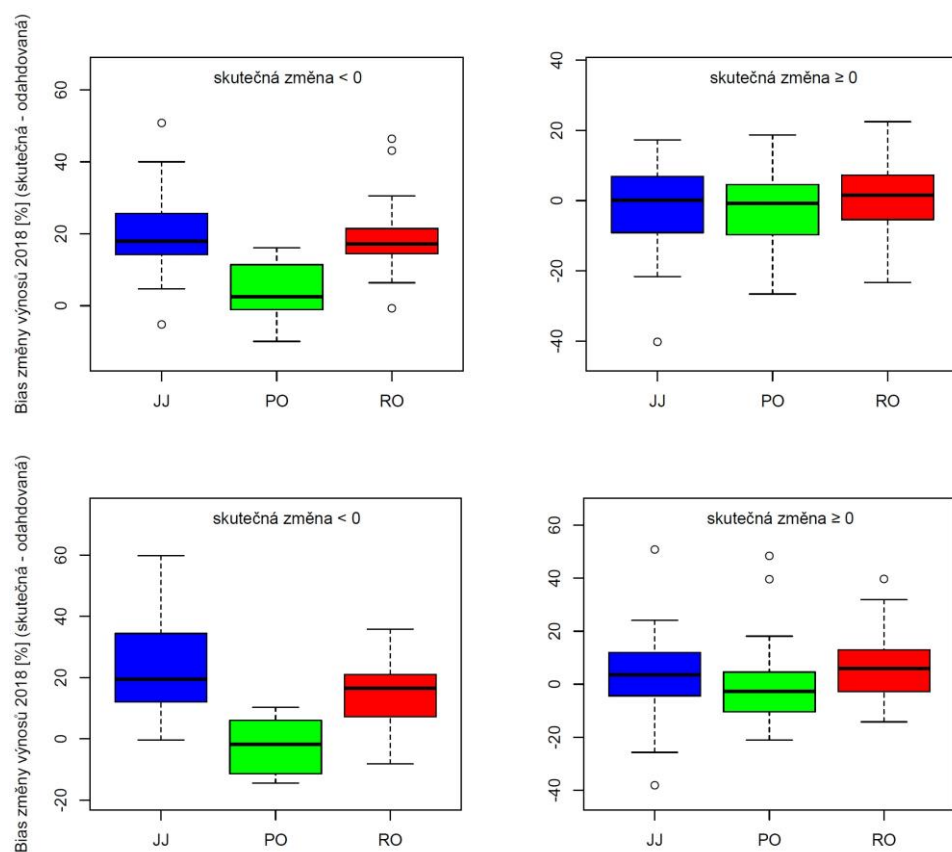


lokálního charakteru. Zatímco sucho, které je v posledních letech aktuálním tématem a je záležitostí nikoli pouze lokálního charakteru, se projeví na rostlinách až se zpožděním, tedy až rostliny budou ve stresu z nedostatku vody. Proto odhady snížení výnosů kvůli suchu udávají pokles s časovým posunem oproti epizodě sucha. Pokles výnosu počítáme oproti průměrnému výnosu za poslední tři roky. Nelze tedy v daném regionu hledat přímou vazbu mezi poklesem výnosů a aktuálním stavem sucha, protože nezáleží pouze na aktuálním vývoji v daném roce, ale i na stavu v předchozích letech. Nicméně nepřímá vazba je pozorovatelná, jak se lze přesvědčit na obrázku 3.7.



Obr. 3.7. Ukázka zpoždění u propadu výnosů pšenice ozimé (vlevo) v závislosti na vývoji sucha v roce 2018 (vpravo). Sucho se zhoršilo z 1. 7. na 8. 7. a zůstává velké i 15. 7. (a). Propad výnosů je patrný z 6. 7. (b) na 27. 7. (c).

V roce 2018 jsme viděli odhady možných propadů ve výnosech v první polovině června (Obr. 3.8). Konkrétně 1. 6. výrazný propad pro JJ, PO a mírný propad pro Z. Dále 8. 6. mírný propad pro O a 15. 6. výrazný propad pro RO a C a mírný propad pro KZ a KS. Je zde tedy vidět i různě rychlou reakci plodin na předchozí sucho. V další fázi sezóny se odhadovaný propad zmenšoval, avšak po letním suchu se po 20. 7. postupně u všech plodin očekával pokles výnosů až o více než 25 % oproti průměru za poslední tři roky. Nárůst v některých krajích pro některé plodiny byl maximálně do 5 %, výjimkou byl kraj JHC, ve kterém se pro KS očekával nárůst o více než 5 %. Porovnání se skutečnými propady je možné pomocí krabicových grafů rozdílů skutečné změny a odhadované změny výnosů okresních dat. Pokud v okrese letos nenastal propad ve výnosu, je změna odhadnuta dobře. Zatímco při skutečném nastání propadu výnosů mají modely tendenci propad zvětšovat, a to především pro JJ a méně výrazně pro RO.



Obr. 3.8. Krabicové grafy biasu skutečné změny a odhadované změny výnosů okresních dat 8. 6. 2018 (a) a na konci sezóny (b) rozdělené podle skutečné změny. Je možné pozorovat zhoršení předpovědi na konci sezóny pro JJ a zároveň zlepšení pro RO a PO oproti červnovému termínu.

### 3.3. Popis webu výnosy-plodin.cz

Portál Výnosy plodin je dostupný na adrese [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz). Portál v průběhu vegetační sezóny přináší v každém týdnu informace o prognóze výnosu ječmene jarního, pšenice ozimé, řepky ozimé, silážní kukuřice, kukuřice na zrna, cukrové řepy, ovesa a žita ozimého v České republice. Informace pro Českou republiku je poskytována na okresní a krajské úrovni.

Portál je rozdělen na část mapovou a grafickou. Úvodní část portálu je tvořena mapovou částí (Obr. 3.9). Na titulní straně portálu se v hlavičce nachází hlavní menu. Je zde k dispozici přepínání zobrazené lokality (výchozí nastavení je zobrazení České republiky), připravovány jsou také podklady pro zobrazení regionu střední Evropy). Dále může uživatel využít položku 'Menu', kde najde v sekcích 'Kontakt' (Obr. 3.10), 'O projektu' (Obr. 3.11) a 'Tým projektu' (Obr. 3.12) základní kontaktní informace, informace o projektu a jeho členech.



Obr. 3.9: Náhled na titulní stranu webových stránek [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz)

Česká republika

menu

## Kontakt

<p><b>Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.</b></p> <p>Bélidla 986/4a 603 00 Brno GPS: 49°11'13.200"N, 16°35'34.800"E</p> <p><a href="http://www.czechglobe.cz">www.czechglobe.cz</a> IČ: 86652079 DIČ: CZ86652079</p>	<p><b>Mendelova Univerzita v Brně</b></p> <p>Zemědělská 1665/1 603 00 Brno GPS: 49°11'13.200 N, 16°35'34.800</p> <p><a href="http://www.mendelu.cz">www.mendelu.cz</a> IČ: 67179843 DIČ: CZ67179843</p>	<p><b>Český hydrometeorologický ústav</b></p> <p>Na Šabatce 2050/77 43 06 Praha 412-Komofany GPS: 49.9881286N, 14.4050125E</p> <p><a href="http://portal.chmi.cz">portal.chmi.cz</a> IČ: 00020699 DIČ: CZ00020699</p>
---	---	---

<p><b>Miroslav Trnka</b></p> <p>koordinátor týmu VýnosyPlodin.cz</p> <p>Hlavní činnosti: aktuální stav vývoje výnosů podle predikcí systému VýnosyPlodin v ČR i střední Evropě, dále vztah mezi výskytem sucha a dopady do výnosů hlavních plodin</p>	<p><b>Martin Možný</b></p> <p>člen týmu</p> <p>Hlavní činnosti: vazby mezi agrometeorologickými podmínkami v minulosti včetně speciálních plodin (chmel, vinná réva).</p>
---	---

Obr. 3.10: Sekce 'Kontakt'

## O projektu

### KDO PRODUKT VYTVOŘIL A KDO HO PODPOŘIL?

**Autoři:** CzechGlobe-Ústav výzkumu globální změny AV ČR & Mendelova univerzita v Brně a síť spolupracovníků portálu intersucho.cz. Seznam autorů a jejich odbornosti naleznete zde.

**Za podpory:** Akademie věd České republiky a program Strategie AV21, Národní agentury pro zemědělský výzkum, Státního pozemkového úřadu, Agrární komory ČR a Státního zemědělského intervenčního fondu

### ODPOVĚDI NA HLAVNÍ OTÁZKY:

#### Proč předpovídáme výnos?

Abychom poskytli co nejlepší podklady pro správná rozhodnutí.


#### Z čeho vycházíme?

Z řady družicových snímků od roku 2000, které nám umožní vyhodnotit kondici vegetace na základě obsahu chlorofylu ve vazbě na okresní/krajské výnosy.


#### Pro koho je produkt určen?

Obr. 3.11.: Sekce 'O projektu'


### Tým projektu




**prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D.**  
Vedoucí projektu  
E-mail: miroslav.trnka@yfhoo.com  
+420 725 950 927




**prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.**  
Odborné dotazy  
E-mail: zalud@mendelu.cz  
+420 725 950 925




**doc. Ing. Petr Hlavinka, Ph.D.**  
Odborné dotazy  
E-mail: petr.hlavinka@mendelu.cz  
+420 736 640 793




**Dr. Ing. Martin Možný**  
E-mail: m.mozny@stetnec.cz  
+420 737 533 677




**Ing. Daniela Semerádová, Ph.D.**




**Ing. Vojtěch Lukáš, Ph.D.**  
Více informací ▾




**Mgr. Jan Meltner**




**Bc. Jan Balek**  
Více informací ▾



**Ing. Lenka Bartošová, Ph.D.**  
Více informací ▾



**Mgr. Monika Bláhová**  
Organizační dotazy  
E-mail: modlahova@gmail.com  
+420 602 835 481



**Mgr. Lucie Kudláčková**

Obr. 3.12. Sekce 'Tým projektu'

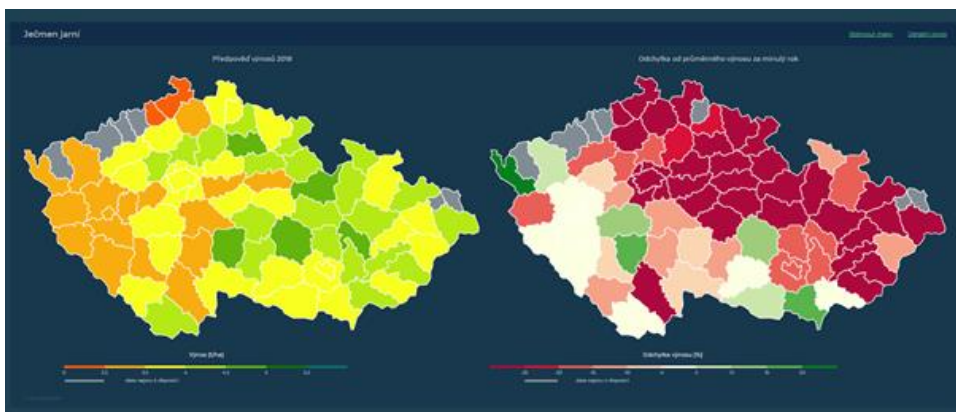
Hlavní část portálu je věnována prezentaci mapových podkladů odhadu výnosu jednotlivých plodin. Informace pro každou plodinu jsou vždy sdruženy do karty. Při přidání další plodiny, je zobrazena nová karta. V mapové části je několik důležitých ovládacích prvků (Obr. 3.13).





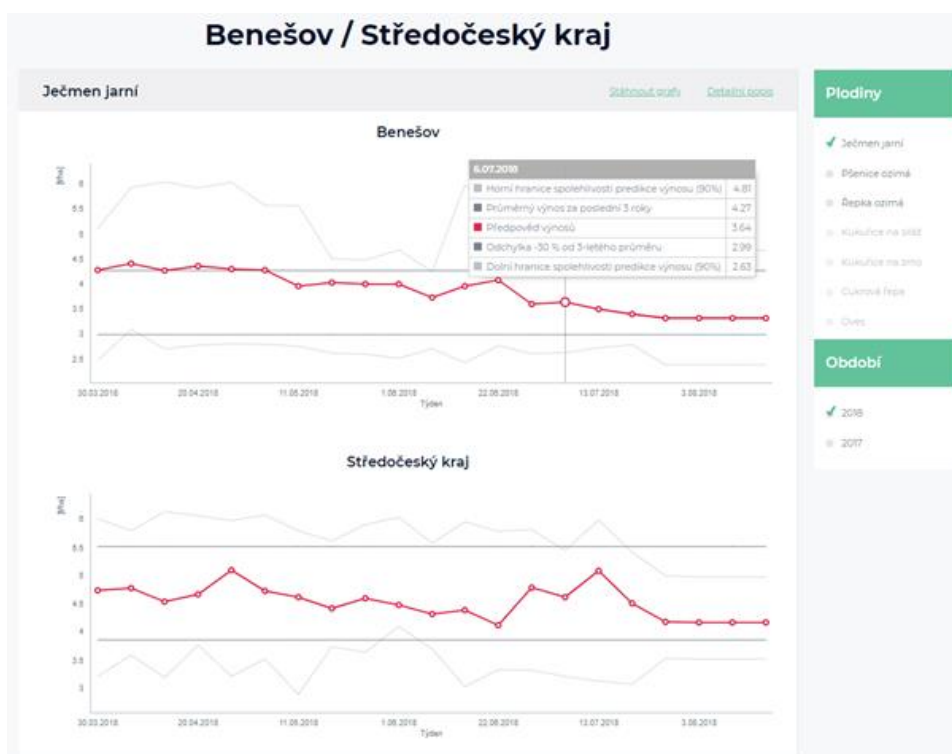
Obr. 3.13.: Detail mapové části portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz)

V levé části karty je vždy zobrazena hlavní mapa, která představuje v daném týdnu odhad výnosů v t/ha. V pravé části karty je pak možné kliknutím na miniatury dalších map přidat do zobrazení právě tuto mapu. V současné době jsou jako vedlejší mapy k dispozici mapy Spolehlivosti předpovědi, Odchylky výnosu od průměrného výnosu za minulý rok a od průměrného výnosu za poslední 3 roky. Tyto vedlejší mapy lze kliknutím zvětšit a opět zmenšit (Obr. 3.14). Mapové podklady je mezi sebou tedy možné porovnávat.



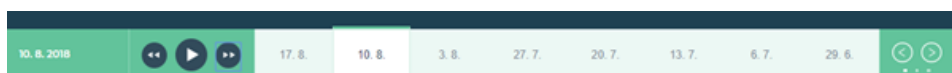
Obr. 3.14: Detail karty plodiny při zvětšení vedlejší mapy na portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz)

Hlavní mapa zobrazující odhad výnosů je interaktivní. Po najetí myši na vybraný region v mapě se zobrazí jeho název a po kliknutí je uživatel přesměrován do grafické části portálu (Obr. 3.15), kde může detailní informace o okrese najít v podobě interaktivního grafu. Informace v grafu je automaticky zobrazena jak pro vybraný okres, tak i pro příslušný kraj.



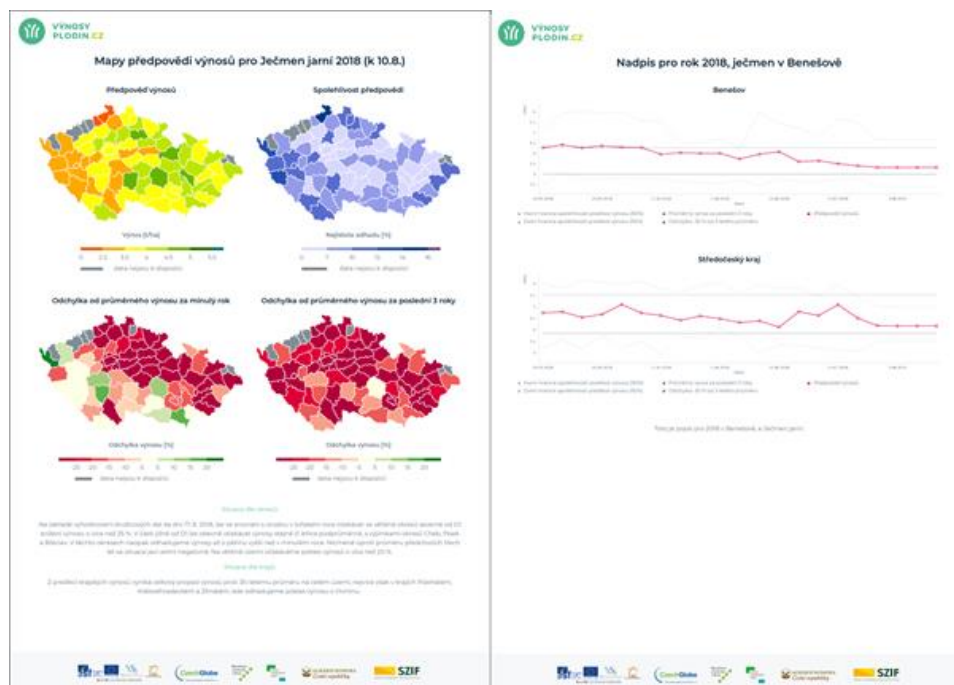
Obr. 3.15.: Grafická část portálu (<https://www.vynosy-plodin.cz/2018-ječmen-jarni/graf/benesov>)

Dalším důležitým ovládacím prvkem je lišta pro přepínání zobrazeného období a pro animaci vývoje v čase, která se nachází pod kartami zobrazených plodin (Obr. 3.16). Pomocí přepínačů je možné prohlížet si zobrazená data v jednotlivých týdnech, nebo přehrát animaci celého období a pozorovat vývoj v rámci sezony. Při přepnutí týdne nebo spuštění animace se mění zobrazení v hlavní mapě ale také u všech map vedlejších.



Obr. 3.16.: Panel pro přepínání týdnů a spuštění animace.

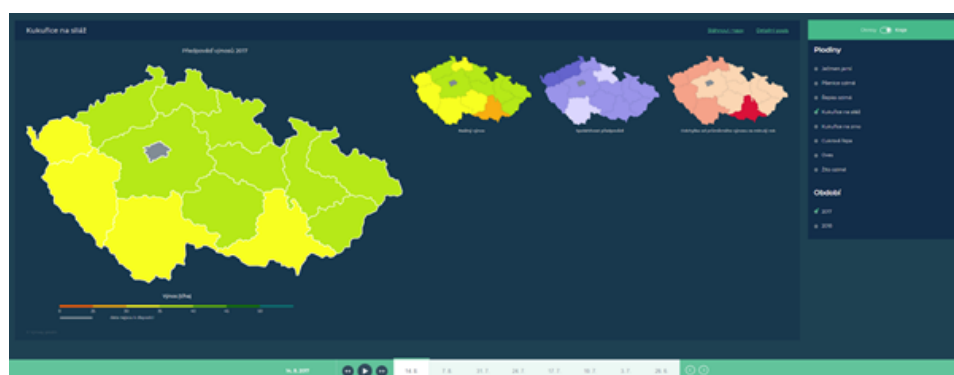
Na každé kartě plodiny je dále k dispozici možnost 'Stáhnout mapy' a 'Detailní popis' (stejně tak v grafické části 'Stáhnout grafy'). Při stahování je pro uživatele vygenerován výstup ve formátu pdf, kde jsou zobrazeny všechny dostupné mapy/ grafy pro zvolený týden a plodinu (v grafické části pro daný region). Do exportovaného pdf je také přidán dostupný textový komentář, který je zároveň dostupný i po kliknutí na možnost 'Detailní informace' příklad exportovaných souborů je zobrazen níže (Obr. 3.17)



Obr 3.17.: Příklad exportu mapových a grafických výstupů do formátu pdf na portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz)

Posledním ovládacím prvkem v mapové části portálu je panel pro výběr zobrazeného detailu regionu (krajská nebo okresní úroveň), zobrazené plodiny a období. Pro všechny plodiny je dostupné zobrazení na úrovni krajů. Na úrovni okresu je odhad výnosů a ostatní produkty dostupný pro ječmen jarní, pšenici ozimou a řepku ozimou.

Po přepnutí na jinou plodinu, je uživateli místo výchozí karty zobrazena vybraná plodina. Po přepnutí na jiné období je zobrazen záznam daného období, uživatel může opět vybírat jednotlivé plodiny a používat lištu pro navigaci v čase v daném období. Další příklad možného zobrazení s jiným nastavení je níže (Obr. 3.18).



Obr. 3.18: Zobrazení na portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) při použití jiného než výchozího nastavení výběru detailu zobrazení, plodiny a období

Předpověď výnosů mohou využít spolupracující experti z portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) či kolegové z veřejné správy. V neposlední řadě mohou být předpovědi použity také ostatními agronomy, novináři, studenty či širokou veřejností. Predikované mapy mohou poskytnout včasnou informaci o výši výnosu. V současné době portál obsahuje informace za sezony 2017, 2018 a v následujících letech bude

poskytovat v průběhu sezony vždy aktuální informace v každém týdnu, a to nejen pro úroveň České republiky.

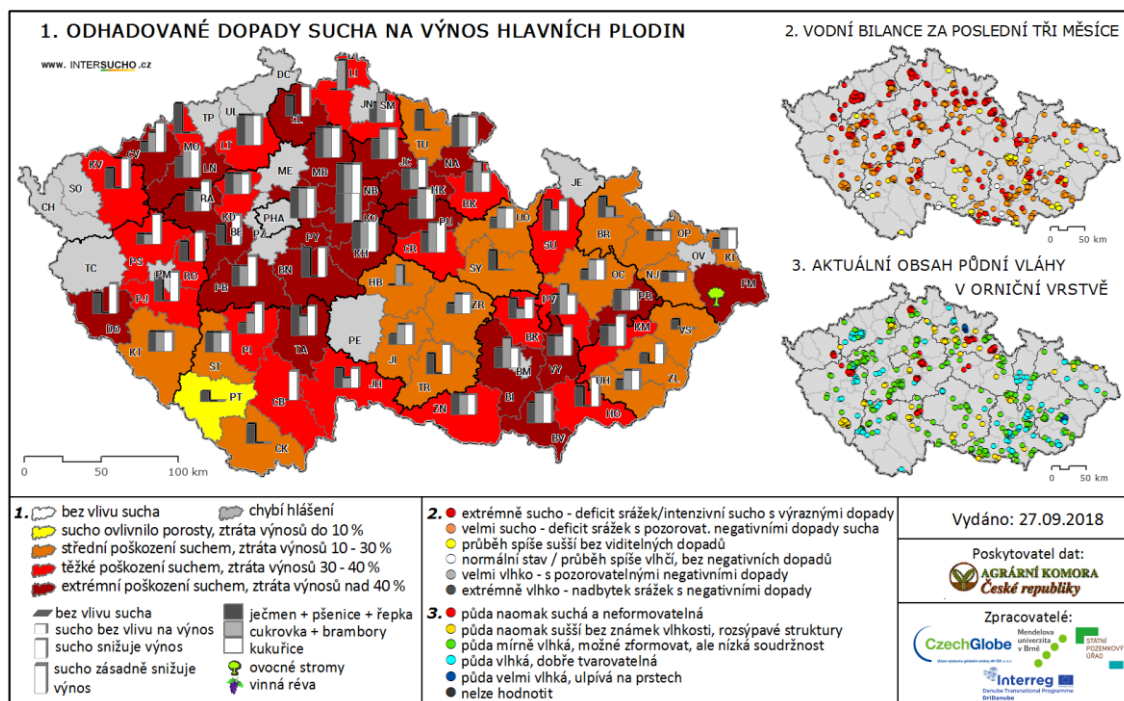
### **3.4. Systém zpravodajů v systému [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) a [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz)**

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). Tyto odhad zahrnují rovněž odhad výnosu resp. jeho propadu oproti předchozím 3 rokům. Mapa dopadů na zemědělství vzniká aktuálně díky spolupráci s cca 240 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/>). Aktuálně je pokryto cca 600 katastrálních území. 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 2018 byl průměrný počet zpravodajů v každém týdnu 230 z celkem 60-65 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 vláhry (obr. 3.19). Hlavní mapu pak přebírá přímo webový portál [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) a tak je umožněno pohodlné srovnání očekávané produkce na základě odhadu expertů a matematických modelů založených primárně na satelitních datech a zkušenosti z předešlých ročníků. Tato zpětná vazba umožňuje i úzké funkční propojení obou webových stránek.

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.



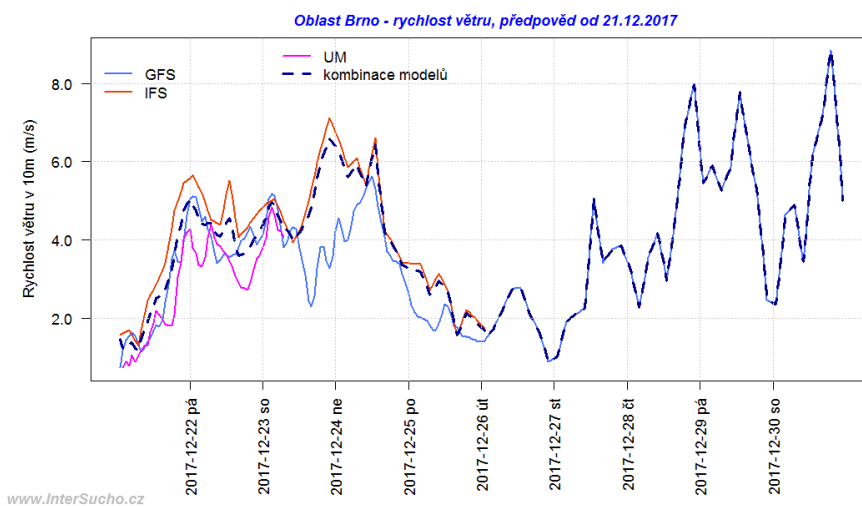
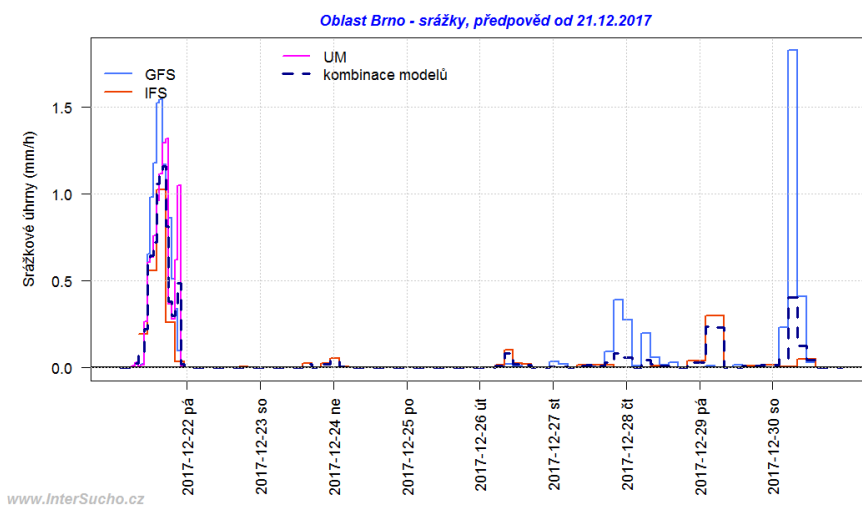
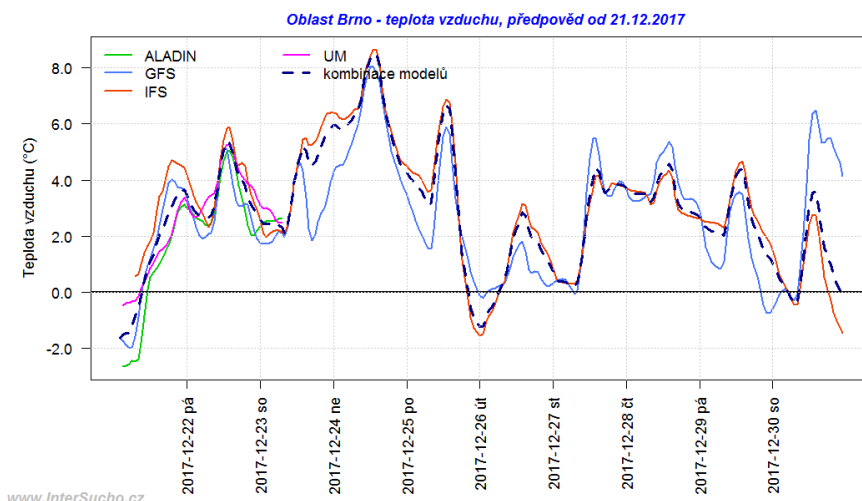
Obr. 3.19: Odhadované dopady sucha na pěstované plodiny a hodnocení vodní bilance, dle hodnocení expertních respondentů z 27. 9. 2018.

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

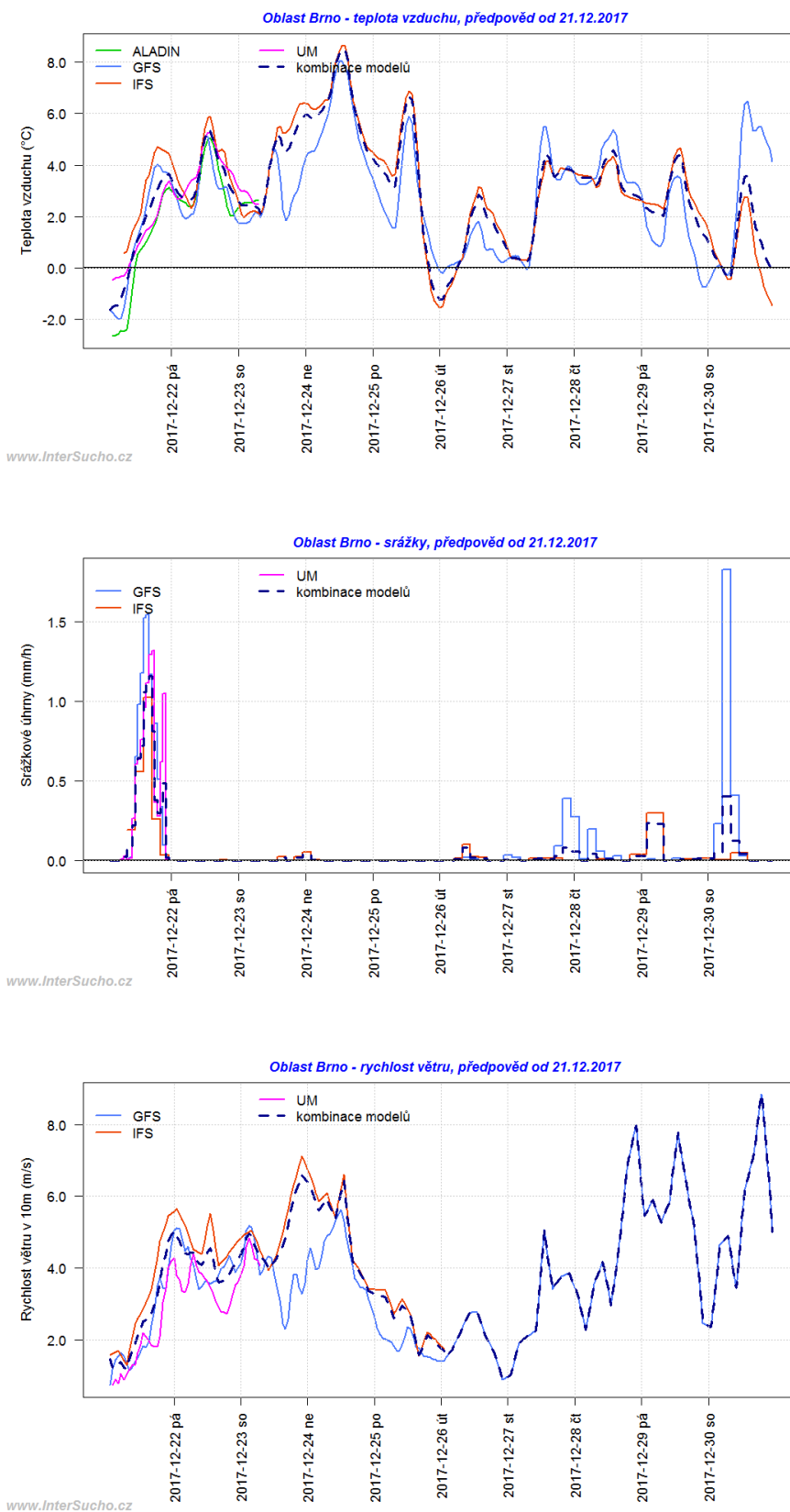
Pro respondenty webového portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) a nově i webu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) je připravována speciální bonusová předpověď. Jedná se o lokální předpověď meteorologických prvků, která je počítána v denním kroku pro srážky, průměrnou teplotu 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. 3.20). 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).

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

## 4. Závěry

Vytvoření systému, který nejen monitoruje, ale především předvídá velikost sklizně, identifikuje regionální rozdíly a především potenciální významné propady produkce může fungovat a reálně funguje jako nástroj včasné výstrahy. Propojením s webem intersucho, je současně možné včas extenzifikovat produkci, či modifikovat nákupní/prodejní strategii. Ostatně i průběh let 2017 a 2018 ukázal nutnost a potřebnost systému. Zemědělci nyní disponují systémem, který umožňuje zobrazit odhad produktivity a její změnu oproti předchozímu období a to prostorově v měřítku kraje a okresu. Díky podpoře projektu NAZV a Strategie AV21 došlo k postupnému propojování systému predikce výnosu a monitoringu sucha, což dokládá i tato metodika.

Je evidentní, že analýzy předpověditelnosti výnosů pomocí neuronových sítí či lineárních modelů vedou k podobným závěrům. Současně je zřejmá potřeba většího detailu odhadu výnosů s tím, že toho je technicky možné dosáhnout za předpokladu, že sběr výnosových dat pro účely ČSÚ či MZe budou formálně prováděny a zpřístupňovány např. pro území obcí s rozšířenou působností.

Hlavní doporučení získaná dvouletým provozem systému lze formulovat takto:

- Aktuální systém pro sledování výnosu umožňující užitečný odhad již od měsíce dubna;
- Prakticky využitelné předpovědi je možné nabízet i v relativně vysokém prostorovém rozlišení pokud jsou k dispozici výnosová data;
- Zásadní pro všechny uživatele je nespoléhat se pouze na interpretaci jediného z modelů, ale uvážit i spolehlivost předpovědi a také vzít v úvahu odhad respondentů;
- 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 vláh.



### III. SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Novost postupů prezentovaných touto metodikou spočívá jednak ve využití nikoliv jednoho ale celého soboru prediktorů a také dvou statistických metod pro odhad predikantu (výnosu) tj. neuronových sítí a lineárního modelu. Pro tyto účely jsou poprvé v kombinaci použity obě metody a současně představeny výsledky pro roky 2017 a 2018. Metodika je doplněna o základní popisy metod předpovědi výnosu s důrazem na přiblížení spolehlivosti předpovědi. Pomocí konkrétních příkladů je pak možné porovnat spolehlivost předpovědí založených na obou testovaných metodách. Díky spolupráci s webem [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) jsou hlášení respondentů přebírána tímto webem prezentovány spolu s odhady výnosů na základě zde popsaných metod

Řada faktorů (např. sucho ale i mrazové poškození) může způsobit značné škody na zemědělských plodinách. Důležitým aspektem zmírnění dopadů takových jevů je účinná metoda předpovědi vývoje produkce. Novost postupů prezentovaných touto metodikou spočívá v prezentování výsledků využití dostupných předpovědních modelů, včetně testování chyb předpovědí v podmínkách České republiky. Výsledky ukazují na praktickou využitelnost těchto předpovědí v zemědělství. Do současné doby neexistovala metodika, která by se návrhem předpovědí výnosů v této podobě zabývala. Prostřednictvím předkládané metodiky, jejímž hlavním cílem bylo nabídnout využití předpovědí výnosů na webu [www.vynosdy-plodin.cz](http://www.vynosdy-plodin.cz) se dostává do široké praxe nástroj, který může být využit k strategickému rozhodování jak v oblasti agrotechniky, tak i ekonomiky.

## 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 prognóza výnosů v současné době pro zlepšení efektivity rostlinné výroby a také snížení negativních dopadů nepříznivých let do ekonomicky podniků. Metodika je také určena pracovníkům státní správy, kteří sledují produkci klíčových plodin a případné propady/převisy produkce. Tyto informace mohou využít pro včasnou reakci v případě mimořádně nízké ale i vysoké úrody konkrétních komodit. Metodika a samotná prognóza výnosů je klíčovou informací pro stát z pohledu plánování dovozu či vývozu jednotlivých komodit. 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 predikčních systémů v zemědělství. Další navazující oblastí pak bezesporu bude testování využití předpovědi pro návrh konkrétních optimalizačních postupů v případě sucha, kde včasný odhad hrozících dopadů může sloužit podnikům pro aktivaci opatření v případě vyšší/nížší než očekávané produkce.

## V. EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické zhodnocení metodiky vyplývá z možnosti přístupu k předpovědím okresních a krajských výnosů, kde jsou k dispozici všem zájemcům. Aktivním zpravodajům, 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 minerálního hnojení, volby výsevu, termínu či způsobu fytosanitárních opatření či načasování a metodách 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. FAO, Rome
- Brázdil, R., Trnka, M., Řezníčková, L., Balek, J., Bartošová, L., Bičík, I., Cudlín, P., Čermák, P., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Farda, A., Hanel, M., Hladík, J., Hlavinka, P., Janský, B., Ježík, P., Klem, K., Kocum, J., Kolář, T., Kotyza, O., Kyncl, T., Krkošla Lorencová, E., Macků, J., Mikšovský, J., Možný, M., Muzikář, R., Novotný, I., Pártl, A., Pařil, P., Pokorný, R., Ryblíček, M., Semerádová, D., Soukalová, E., Stachoň, Z., Štěpánek, P., Štych, P., Tremel, P., Urban, O., Vačkář, D., Valášek, H., Vizina, A., Vlnas, R., Vopravil, J., Zahradníček, P., Žalud, Z., 2015. Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B. et al. (3 more authors) (2014) A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4, 287 - 291. ISSN 1758-678X
- Gourdji S.M.: et al 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.; 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
- Huntingford C. 2013, Climate projection: Refining global warming projections.. *Nature Climate Change*, 8, p704-705 (2013). <http://dx.doi.org/doi:10.1038/nclimate1964>
- 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. and R.P. Allan (2013) Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850-2100, *Environ. Res. Lett.*, 8, 034002, doi:10.1088/1748-9326/8/3/034002
- Rahmstorf S, Coumou D (2011) Increase of extreme events in a warming world. *Proc Natl Acad Sci USA* 108:17905–17909.
- Tomášek, M. (2000). *Půdy České republiky*. Praha: Český geologický ústav. 67 s. ISBN 80-7075-403-6.
- Trnka, M.; Kocmankova, E.; Balek, J.; Eitzinger, J.; Ruget, F.; Formayer, H.; Hlavinka, P.; Schaumberger, A.; Horakova, V.; Možný, M.; 2010, Simple snow cover model for agrometeorological applications. *Agric. For. Meteorol.* 150 1115–1127.
- Wagner, W., Lemoine, G., & Rott, H. (1999). A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data. *Remote Sensing of Environment*, 70, 191-207

## VII. SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

### Publikace JImp

- Bartošová, L., Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Balek, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Možný, M., Žalud, Z. 2016. Monitoring zemědělského sucha v České republice - průběh suché epizody v roce 2015. Listy cukrovarnické a řepařské: odborný časopis pro obor cukrovka-cukr-líh. 2016. sv. 132, č. 9-10, s. 280-284. ISSN 1210-3306.
- 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
- 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
- Trnka, M.; Kocmankova, E.; Balek, J.; Eitzinger, J.; Ruget, F.; Formayer, H.; Hlavinka, P.; Schaumberger, A.; Horakova, V.; Mozny, M.; 2010, Simple snow cover model for agrometeorological applications. Agric. For. Meteorol: 150 1115–1127.

### 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)

- 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:

Název:

Vydal: Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.

Zemědělská 1, 613 00 BRNO

1, vydání 2018

Vydáno bez jazykové úpravy

Metodika je poskytována bezplatně

Kontakt na autora: mirek\_trnka@yahoo.com