

PŘÍČINY, HISTORIE A OČEKÁVANÝ
VÝVOJ SUCHÝCH EPIZOD
CO JE SUCHO, JEHO PŘÍČINY A DŮSLEDKY

NEJNOVĚJŠÍ POZNATKY O SOUVISEJÍCÍCH
ADAPTACÍCH S CÍLEM UDRŽENÍ KONKURENČNÍ
SCHOPNOSTI V ROSTLINNÉ VÝROBĚ

 **AGRÁRNÍ KOMORA**
České republiky



„Ve městě se tomu říká
krásné počasí.
Na venkově sucho.“

Valeriu Butulescu

Publikace Agrární komory České republiky

ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO V ČESKÉ REPUBLICĚ

– vývoj, dopady
a adaptace

Autorský kolektiv
prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.,
prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D.,
doc. Ing. Petr Hlavinka, Ph.D. a kolektiv

ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO V ČESKÉ REPUBLICĚ

– vývoj, dopady a adaptace

Autorský kolektiv:

prof. Ing. **Zdeněk Žalud**, Ph.D, prof. Ing. Mgr. **Miroslav Trnka**, Ph.D.,
doc. Ing. **Petr Hlavinka**, Ph.D.

Spoluautoři:

Mgr. **Monika Bláhová**, prof. RNDr. **Petr Dobrovolný**, CSc., doc. Ing. **Karel Klem**, Ph. D., Mgr. **Lucie Kudláčková**,
Ing. **Helena Kusá**, Ph.D., Dr. Ing. **Martin Možný**, Ing. **Gabriela Mühlbachová**, Ph.D.,
Ing. **František Pavlík**, Ph.D., Ing. **Pavel Růžek**, CSc., Mgr. **Petr Štěpánek**, Ph.D.,
Ing. **Jan Vopravil**, Ph.D., Mgr. **Pavel Zahradníček**, Ph.D.



Autorská pracoviště:

Český hydrometeorologický ústav,
Masarykova univerzita, Geografický ústav,
Mendelova univerzita v Brně,
Státní pozemkový úřad,
Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.,
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.,
Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i.

Vydala:

Agrární komora České republiky



Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: 731 652 466, 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz

www.eagri.cz



Publikace byla vytvořena pouze za finanční podpory
Ministerstva zemědělství ČR
(dotační titul 9.F.e. Regionální přenos informací,
Rozhodnutí reg. č. 1629/2019-14150Re)

ISBN 978-80-88351-02-3

Dotisk knihy byl finančně podpořen Akademií věd ČR,
programem Strategie AV21 – Přírodní hrozby.

Oponent knihy: Ing. **Václav Hlaváček**, CSc.

Praha, duben 2020

OBSAH

Předmluva	5
1. Shrnutí historických suchých epizod s důrazem na 20. století do současnosti	6
2. Příčiny zemědělského sucha	13
2.1. Pozorované klimatické trendy	13
2.2. Klimatická změna	16
2.2.1. Skleníkový efekt – Fyzikální podstata působení radiačně aktivních (skleníkových) plynů	17
2.2.2. Radiačně aktivní plyny	17
2.3. Zemědělská krajina a její náchylnost k suchu	22
3. Očekávaný vývoj zemědělského sucha v průběhu 21. století	32
4. Monitoring, krátkodobá a střednědobá předpověď zemědělského sucha	39
4.1. Meteorologická měření jako podklad pro monitoring zemědělského sucha	39
4.2. Intersucho.cz	43
4.2.1. Monitorovací funkce	44
4.2.2. Předpovědní funkce	49
4.2.3. Pokročilé produkty a jejich využití	53
4.2.4. Jak se zapojit do monitoringu a jaké jsou benefity pro zpravodaje	57
4.2.5. Slovensko a střední Evropa	62
5. Dopady zemědělského sucha	66
5.1. Dopady sucha na výnosy polních plodin	70
5.2. Hydrologické a socio-ekonomické sucho	74
5.3. Dopady sucha na nebezpečí požárů	75

6. Adaptace na zemědělské sucho	78
6.1. Adaptace zemědělské krajiny prostřednictvím pozemkových úprav	78
6.1.1. Proces pozemkových úprav	78
6.1.2. Současný stav komplexních pozemkových úprav v ČR	82
6.2. Adaptace v oblasti plodin a odrůd	82
6.2.1. Využití šlechtění	82
6.2.2. Změna skladby pěstovaných plodin	87
6.3. Adaptace v oblasti agrotechniky	88
6.3.1. Vhodné plodiny a meziplodiny pro efektivní využití půdní vláh	88
6.3.2. Inovace postupů ve zpracování půdy	90
6.3.3. Výživa a hnojení rostlin při různém zpracování půdy	94
6.3.4. Inovované postupy při zakládání porostů polních plodin	99
6.4. Analýza závlahového potenciálu	103
6.4.1. Dostupnost vodních zdrojů pro závlahy	103
6.4.2. Pěstování polních plodin pod závlahou	104
6.4.3. Agronomická a agrotechnická rizika při závlaze pěstovaných plodin	104
6.5. Strategická opatření v rámci sektoru	106
7. Závěr: Shrnutí současného stavu, vývoje a možností adaptací	111

Poděkování:

Výzkum, který umožnil získání informací zveřejněných v publikaci „Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace“, byl podpořen několika projekty zaměřenými na základní i aplikovaný výzkum:

- AV ČR programu Strategie AV21 s názvem „Přírodní hrozby“
- Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, projekt č. EF16_019/0000797 s názvem „SustES - Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“ (CZ.02. 1. 01/0.0/0.0/16_019/0 000797)
- Ministerstvo zemědělství České republiky, institucionální podpora výzkumného záměru č. MZe-RO0418
- Ministerstvo zemědělství, institucionální podpora výzkumného záměru č. MZe-RO0218
- Ministerstvo zemědělství České republiky, projekt NAZV č. QK1910197 s názvem „Strategie minimalizace dopadu sucha na udržitelnou produkci a sladovnickou kvalitu ječmene“
- Ministerstvo zemědělství, projekt NAZV č. QK1910338 s názvem „Agrometeorologický systém včasné výstrahy biotických a abiotických rizik“

PŘEDMLUVA

Vědecké důkazy, že se mění klima a přibývá suchých epizod, jsou jednoznačné a zcela přesvědčivé. A to i v regionu střední Evropy. Co se nad jejich výskytem a úbytkem vody zamyslet zdravým selským rozumem podpořeným nespornými fakty? Vzpomínáte na zimy se sněhem? Víte, že v současnosti přibližně na výskyt 10 nových rekordů s vyššími teplotami připadá jeden s nízkými? Že jarní práce začínají čím dál dříve? Podívejte se kolem sebe, tam kde tekly ještě před pár lety potůčky, jsou často jen zarostlé rýhy. A proč máme sucho? Mění se klima, roste teplota, tím se zvyšuje výpar a spotřeba vody rostlinami. Takže i proto máme sušší epizody i při normálních srážkách. A stav naší krajiny a půdy suchu na mnoha místech napomáhá. Dá se s tím něco dělat?

Cílem předkládané publikace je srozumitelným způsobem popsat příčiny sucha, jeho monitoring, předpověď a především soubor opatření vedoucí k adaptaci na jeho dopady. Čtenář v knize najde odpovědi na otázky typu: Je současné sucho v kontextu času výjimečné? Jak se mění trendy v řadách teplot, srážek a výskytu sucha od doby co máme v rukou teploměry? Budou suché roky častější? Hodně se diskutuje měnící se klima. Jaká je jeho podstata? Popsali jsme ji tak, aby byla srozumitelná každému, kdo pracuje v přírodě. A vlastně i tomu kdo se v ní nepohybuje. Široké diskuze se vedou nad otázkou, zda má ČR krajinu, která klimatické změně odolává snadno, či spíše její charakter a způsob našeho hospodaření zvyšuje citlivost k dopadům změny klimatu? Jak se klima a zemědělské sucho bude dále vyvíjet? S jakými strategickými informacemi máme v našich podnicích pracovat?

Velká část publikace se věnuje monitoringu zemědělského sucha a lze ji chápat jako návod na porozumění a především využívání portálu www.intersucho.cz. Tento web vznikl jako monitorovací a předpovědní systém pro zemědělské sucho a je využíván pro ce-

lou řadu dalších aktivit napomáhajících boji českého zemědělství se suchem. Sucho je však jen jedním, ne jediným dopadem měnícího se klimatu, a pokud Vás tyto dopady zajímají, navštivte web www.klimatickazzmena.cz, z něhož rovněž čerpaly vybrané kapitoly předkládané knihy. Naše kniha Vás srozumitelně nasměřuje k dalšímu informačního webu o působení (nejen) sucha na výnosy (www.vynosy-plodin.cz), dotkne se problematiky hydrologického sucha zaměřeného na využití povrchových a podzemních vod a dokonce i doposud podceňovaného nebezpečí, které však se suchem tvoří neoddělitelnou dvojici, a to je vzrůstající nebezpečí požárů.

A na závěr knihy to nejdůležitější. Jak se před suchem, či dopadům sucha bránit? Říkáme tomu adaptace a ty jsou rozebrány na úrovni krajiny i pozemku. Tedy v prostředí, kde se naši zemědělci pohybují, které je jejich pracovním prostorem a současně základním výrobním prostředkem. Jednotlivé kapitoly se budou věnovat úpravě krajiny, ale i plodinové a odrudové skladbě, půdě, agrotechnickým postupům jako nejefektivnějšímu způsobu vypořádání se s dopady sucha, či využití závlah. Kniha končí zamyšlením se nad strategickými opatřeními v sektoru zemědělství vedoucím alespoň k částečné eliminaci sucha a jeho dopadů.

Věříme, že užitečné informace v této publikaci nalezne každý zástupce mikropodniku, malého a středního podniku působícího v odvětví zemědělské prvovýroby i zpracování zemědělských produktů a jejich uvádění na trh, koho zajímá tak složitá problematika jako je propojení měnícího se klimatu a naší zemědělské krajiny.

V Brně 10. 10. 2019

Autorský kolektiv

1. SHRNUÍ HISTORICKÝCH SUCHÝCH EPIZOD S DŮRAZEM NA 20. STOLETÍ DO SOUČASNOSTI

Na jaře roku 1121 bylo podle Kosmovy kroniky v Čechách takové sucho, že na polích uschly plodiny. Výskyt sucha s jeho negativními dopady na zemědělské činnosti i úrodu provázejí české země od nepaměti. Po staletí lidé považovali sucho i jiné extrémní projevy počasí a podnebí za jevy nadpřirozené, za projev Boží vůle. Snaha pochopit podstatu těchto jevů s cílem předejít škodám či alespoň minimalizovat ztráty má daleko kratší historii. V suchém roce 1842 napsal F. X. J. Mašek: „*Není v tom ani zakletí krajín, ani náhoda, ani položení peřinky pod hlavu umřelého příčinou; není to ani trest Boží, ani lidský. Kde to vše zcela přirozeně, a vše jest tak pochopitelné, že tento celý pochod přírody každý, kdo zdravý soud má, co nejnadněji nahlídne.*“ (Mašek, 1842). Dnes, ve druhé dekádě 21. století, již víme o suchu a jeho příčinách mnohé. Stále nám však působí značné obtíže a velké materiální škody nejenom v zemědělství. Se suchem musíme počítat i do budoucna. Tím spíše, že frekvence a intenzita sucha i jiných extrémních projevů počasí a podnebí jsou zesilovány současnou globální změnou klimatu.

Cílem této úvodní kapitoly je na vybraných příkladech z historie zmínit nejvýznamnější případy sucha v českých zemích včetně typických škod způsobených suchem v zemědělství. Dále pak ukázat, jakým způsobem se naši předkové snažili se suchem a jeho dopady vyrovnat. V neposlední řadě text zmiňuje, jak se postupně vyvíjely názory na výskyt sucha a jeho příčiny.

Údaje o nejstarších případech zemědělského sucha před začátkem přístrojových měření a pozorování je možné získat z tzv. dokumentárních pramenů, které tvoří datovou základnu historické klimatologie. Jejím cílem je především rekonstruovat klima či sestavovat chronologie tzv. hydrometeorologických extrémů (vedle sucha např. povodní nebo vichřic). Avšak neméně důležitý je fakt, že z dokumentárních pramenů lze studovat také charakter a rozsah škod, které extrémy způsobily v přírodě i ve společnosti.

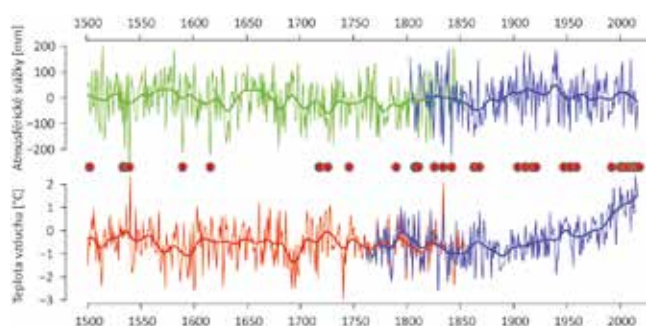
Jako dokumentární prameny označujeme především prameny vyprávěcí povahy, jako jsou kroniky, osobní deníky či historické kalendáře. Tvoří je však i v minulosti četné církevní prameny, denní záznamy počasí a nověji například novinové zprávy. Jejich shromažďováním

a interpretací lze mj. sestavit chronologii výskytu sucha v českých zemích za posledních téměř tisíc let. S ohledem na zaměření a omezený rozsah této publikace se následující text týká pouze vybraných případů sucha. Avšak ani pro ně nemohou být uvedené informace vyčerpávající. Pro podrobný a úplný seznam událostí, výčet dokumentárních pramenů a jejich charakteristiku, popisy průběhu počasí vybraných let, jakož i informace k jiným kategoriím sucha lze čtenáře odkázat na již dříve publikované práce Brázdila a Kotyzy (2000), Brázdila et al. (2007a, 2013 b) a především na monografii Brázdila a Trnky, eds. (2015), která představuje v současnosti nejkomplexnější pohled na problematiku sucha v ČR. Popisy událostí s přímým či nepřímým vztahem k zemědělství, uvedené v následujících odstavcích, z těchto publikací čerpají.

Z hlediska množství a kvality dokumentárních pramenů můžeme naši chronologii výskytu sucha před počátkem přístrojových měření rozdělit na dvě části. Před rokem 1500 máme k dispozici informace z omezeného počtu dochovaných dokumentárních pramenů a ty jsou poměrně stručné. Týkají se celkem 36 suchých „roků“, které se vyskytly především v Praze a v okolí či obecně v Čechách. Jejich konkrétní seznam uvádějí Brázdil a Trnka, eds. (2015). Již v tomto období sucho negativně ovlivňovalo především zemědělské aktivity či úrodu, proto také přímé negativní dopady v zemědělství jsou zmíněny u devatenácti případů a téměř výhradně se jedná o sucho, které se vyskytlo během vegetační sezóny, tedy na jaře a v létě. Za vůbec nejstarší zprávu o zemědělském suchu lze považovat tu z roku 1121, která je uvedena na počátku této kapitoly. Zprávy před r. 1500 nejčastěji zmiňují neúrodu v důsledku sucha. Například v roce 1262 bylo velmi suché a horké jaro i léto. V důsledku toho ozimy i jařiny zašly, byla neúroda ovoce i vinných hroznů. Následovala tuhá zima a po ní v r. 1263 vysoké ceny a hlad nejen v Čechách, ale i na Moravě (Brázdil a Kotyza 1995).

Nejstarší zprávy týkající se sucha před r. 1500 jsou především odrazem omezeného množství dochovaných dokumentárních pramenů, a tedy nedovolují činit jakékoliv závěry o skutečném počtu suchých epizod a o jejich rozsahu a intenzitě. Díky vynálezu knihtisku Johannem Gutenbergem v polovině patnáctého století i obecnému

rozvoji vzdělanosti v době renesance jsou dokumentární prameny po r. 1500 četnější a podrobnější. To umožňuje jejich objektivní analýzu a kvantifikaci výskytu sucha jakož i jiných druhů extrémů. Z pramenných materiálů si lze vytvořit poměrně reálnou představu o kolísání epizod sucha za posledních 500 roků na úrovni měsíců. Zprávy často dovolují studovat průběh suchých epizod i jejich dopady na průběh zemědělských prací či na kvalitu a velikost úrody. Je z nich však možné také sledovat vývoj názorů na hlavní příčiny sucha a ukázat postupné formování prvních vědeckých poznatků o suchu. Vybrané extrémně suché roky přehledně uvádí Obr. 1 a příklady, které se přímo dotýkaly zemědělství, jsou zmíněny v chronologickém pořadí dále. Vybrané suché roky jsou na Obr. 1 doplněny rekonstrukcí průměrných ročních úhrnů srážek a teplot vzduchu a názorně ukazují, jak nízké úhrny srážek či vysoké teploty, případně obojí, podmiňovaly téměř vždy výskyt sucha v českých zemích. Je zajímavé, že dokumentární prameny nezmiňují výrazně suchý rok v relativně dlouhém intervalu druhé poloviny 17. století, které zhruba odpovídá období tzv. Maunderova minima sluneční aktivity (1645–1715). To bylo jednou z příčin relativně chladného a vlhkého podnebí typického pro jednu z fází tzv. malé doby ledové v českých zemích.



Obr. 1 Výskyt suchých roků v českých zemích od r. 1500 zmíněných v následujícím textu (červené kroužky) doplněný kolísáním průměrných ročních úhrnů srážek a průměrných ročních teplot v českých zemích. Srážky (zeleně) i teploty (červeně) před r. 1854 jsou rekonstruovány na základě dokumentárních pramenů a jsou vyjádřeny jako odchylky od průměru 1961–1990. Modře jsou znázorněny měřené srážky resp. teploty vzduchu.

Také v dokumentárních pramenech po r. 1500 je sucho často zmiňováno jako hlavní příčina špatné úrody a následných problémů tehdejších obyvatel českých zemí. Jako příklad lze citovat zápis ze Starých letopisů českých k **roku 1503**: „*Toho roku bylo na polích veliké sucho, které začalo na sv. Filipa a Jakuba [1. května], a od toho dne nepršelo tři měsíce. Pro to sucho bylo obilí i píce velmi drahé; strych pšenice podle pražské míry byl za čtyřicet grošů, věrtel piva kopu míšeňskou*“ (SLČ). Na počátku 16. století lidé chápali sucho jako trest boží seslaný za jejich hříchy

a k bohu se obraceli s prosbou o nápravu. K suchu roku 1503 pokračujícímu v letních měsících stejný zdroj uvádí: „*Téhož roku před památkou Mistra Jana Husa [5. července] uložili kněží a páni podobojí v Praze půst, aby Pán Bůh ráčil seslat déšť. Ale římská strana se nechtěla postit ani světit tento svátek, a tak někteří z nich, kteří bydleli v Praze, šli ten den na Hrad nebo na Malou stranu, a tam jedli maso. A Bůh také žádný déšť neseslal, když se k němu modlili tak nesvorně a nejednotně*“ (SLČ).

Dokumentární prameny se ve většině případů vztahují ke konkrétním událostem resp. rokům. Z jejich četnějšího výskytu lze usuzovat i na dlouhodobější suchá období. K takovým patřila ve střední Evropě velmi pravděpodobně třetí dekáda 16. století, kdy převládal teplý kontinentální charakter podnebí. Během této dekády zmiňují dokumentární prameny tři roky, ve kterých sucho negativně ovlivnilo průběh zemědělských prací či úrodu. **Roku 1534** bylo především extrémně suché léto s nedostatkem krmiva pro dobytek (Obr. 2) a nízkými vodními stavy na Labi a Vltavě. Prameny však zmiňují dobrou úrodu obilí a také ovoce, stejně jako vinných hroznů s dobrým vínem (Leupold; *Z kněh pamětních starých*). Ve Slezsku nemohly mlít vodní mlýny a nastal hlad, rovněž na Lužici byl nedostatek obilí a krmiva pro dobytek a vodní mlýny zde nepracovaly (Walawender, 1932). Suché léto zaznamenaly prameny také v Německu a Švýcarsku. Také **roku 1536** bylo velmi suché léto a mnoho dobrého vína (Bydžovský). Dobrou úrodu ovoce a ořechů, ale také drahotu obilí po špatné úrodě zmiňuje chebský kronikář (Engelhart). Dostatek dobrého vína byl také v Litoměřicích, naopak na Moravě byla úroda vína špatná.



Obr. 2 Sklizeň sena na dobové ilustraci (de Crescenti, 1583). Nedostatek píce pro dobytek v důsledku sucha mohl znamenat počátek řetězce negativních jevů, které mohly v minulosti vyústit až v hladomor

K nejsušším za posledních 500 roků nejenom v českých zemích, ale i v řadě dalších zemí Evropy, náležel svojí intenzitou i trváním **rok 1540**. Podle denních záznamů Jana z Kunovic byl bezprostřední příčinou nedostatek srážek a převládající teplé a slunečné počasí v jarních měsících (Janžek). Následovalo horké a suché léto, které způsobilo neúrodu zeleniny a řepy například na Jihlavsku. Dražota obilí a zeleniny byla v Uherském Brodě. Naopak

prameny z Chebu hovoří o suchém roce, v němž setí a polní práce byly možné až na jeho konci (Engelhart). Žně oproti jiným rokům začaly nezvykle brzy, avšak úroda obilovin byla hodnocena různě podle místa. Rok 1540 byl v Čechách dále charakterizován hojnou úrodou mimořádně dobrého vína. V okolních zemích způsobil horký a suchý rok nedostatek potravin ve Wroclawi, další prameny zmiňují neúrodu, drahotu a hlad v Čechách, Slezsku i Lužici, neúrodu obilovin v okolí Salzburgu, mnoho vína, ale nedostatek zahradních produktů byl v Míšni.

Velmi četné zprávy o suchu a jeho následcích obdobného charakteru lze najít v dokumentárních pramenech také k roku **1590**, který byl v českých zemích teplý a suchý s nedostatkem zvláště letních srážek. Celá řada pramenů zmiňuje neúrodu obilovin, nedostatek vody, pro který nemohly mlít mlýny. Následkem byla drahota a nedostatek potravin, které dopadly především na chudší vrstvy obyvatel, mnozí pak zemřeli hladem. Například v okolí Trutnova bylo obilí dováženo ze Slezska. Prameny dále zmiňují časně žně ovsa, nedostatek otavy a vyschlou půdu, která ztěžovala setí na podzim. Sucho ale působilo i ztráty na rybách či lovné zvěři. Stejně jako v roce 1540 bylo suché a teplé počasí roku 1590 příznivé pro dobrou úrodu výtečného vína na mnoha místech. Jako příklad lze zmínit pramen z Litoměřic (*Pamětní kniha Litoměřic*).

Výjimečné sucho postihlo české země také **roku 1616** a jeho primární příčinou bylo dlouhé bezsrážkové období, které začalo již na konci března a trvalo místy až do konce září. Výsledkem sucha bylo špatné osení a málo ovoce na stromech (*Žabonius*), jinde se neurodily obilniny a další plodiny, byl nedostatek sena, musela se kupovat voda pro dobytek a nastala drahota. Také se jezdilo daleko mlít (*Kron. Fulneku*). Obdobné problémy (neúrodu obilí, nedostatek krmiva, mření dobytka a následnou drahotu) zmiňují prameny z řady míst v českých zemích.

V dokumentárních pramenech z českých zemí z konce 16. a počátku 17. století lze nalézt vedle vlastních popisů konkrétních událostí také církevní literaturu v podobě kázání, která názorně dokládají tehdejší nazírání na extrémní projevy počasí a podnebí. Kněz Daniel Philomates starší z Domaželic označil sucho roku 1616 dokonce jako stoleté (*Philomates*) a zmiňuje ho přímo v názvu svého kázání vydaného v září 1616: „O hrozném a velikém suchu zdržení dešťů a odtud následujícím nedostatku vody, jakéhož sucha žádný z lidí nynějších, ode sta let i výšeji, starých nepamatuje“ (Obr. 3). Kněz již v úvodu zmiňuje, že „*Bůh podle svého spravedlivého soudu hroznou pokutou nás navštívil, sucho veliké dopustil, déšť nad obyčej zdržel, odkudž obilíčka i jiných všechněch úrod, trav i trav umenšení, nemoci nebezpečné i jiné rozličné zlé a žalostivé bídý se vlekou...*“.

První ze tří částí kázání má název „Kdo jest ten tak mocný pán, jenž déšť zdržuje a vody odnímá“ a v této

části odmítá jiné vysvětlení příčiny sucha: „*Někteří lidé domnívají se, že to náhodou a treffuňkem samo od sebe se děje... Jiní smýšlejí, že to pochází od oučinku hvězd, zle proti sobě patřících, a praví, že musí některý rok suchý býti... Mnoho jest i těch, kteříž toto všeckno dáblu a čarodějníkům přisuzují...*“ Výsledkem jeho úvah je potom: „*pozůstává již tehdy to jedinké, abychom my nynější sucho, neúrodu obilíčka i jiné neřesti, z nedostatku vody, na nás již přišlé, a deště se valící, za obzvláštní jistou a zřetelnou pokutu Boží poznávali a říkali: Prst Boží jest toto...*“



Obr. 3 Titulní strana kázání kněze Daniela staršího Philomata z roku 1616 (předmět ze sbírek Národního muzea v Praze)

Druhá část kázání „Pro které příčiny to [Bůh] činí“ uvádí pět důvodů: potupa slova Božího, modloslužebnictví, nevděk („že lidé Panu Bohu za déšť a vodu neděkují, když jí dostatek mají“), přestupování Božího přikázání a zlé užívání Božích darů. Třetí část kázání „Jakými prostředky zase dosti vody a deště dosáhnouti můžeme“ nakonec dává návod věřícím poplatný době: opravdové pokání, upřímné modlení a polepšení se v životě s vyvarováním se všech neřestí.

K suchu roku 1616 se vztahuje také spis protestantského kněze Havla Žalanského vydaný v roce 1620 (*Žalanský*). Část věnovaná suchu s názvem „O suchu, metle Boží

smutné a záhubné“ je členěna do sedmi kratších kapitol. V úvodu zmiňuje sucho z r. 1616 a další extrémy počasí jako výsledek „pokuty Boží“, která „předěšla“ porušování Božích přikázání v souvislosti s povstáním českých stavů proti císaři v letech 1618–1620 (doslovná citace viz *Brázdil a Trnka eds., 2015*). V jednotlivých částech spisu autor odpovídá na otázky kdo a proč je původcem sucha, jak je sucho lidem škodlivé, jaké hříchy jsou suchem trestány, jaké jsou účinky sucha a co zlého přináší. Odpovědi jsou v intencích obdobně zaměřených náboženských textů a své kázání o suchu končí Žalanský doporučením „Kterak se v čas sucha, neúrody, i v jiných těžkostech chovati máme“: modlit se k Bohu, aby sucho a jiné nečasy odvrátil; oslavovat Boha; vyvarovat se vlastních hříchů.

Obdobné nazírání na problém sucha a jeho příčiny lze najít v církevní literatuře během 18. století. Velmi četné jsou prameny k dvojici suchých **roků 1718 a 1719**. Jejich hlavní příčinou bylo především teplé počasí a dlouhá období s nízkými srážkami, které spadly pouze v ojedinělých bouřkách. Charakter škod na zemědělských plodinách i negativní dopady na tehdejší společnost jsou obdobné jako u výše uvedených případů. O intenzitě sucha vypovídají zprávy o vyschnutí větších vodních toků Dyje na Břeclavsku či Bečvy u Přerova. Velké sucho 1718 na území současného Maďarska bylo podnětem pro pronásledování čarodějnic, které byly obviňovány z vyvolání sucha (*Brázdil et al., 2008a*). V řadě oblastí nebylo kde mlít a zrno se jedlo i jen sešrotované. Pro neúrodu obilí byl v září vydán zákaz vývozu obilí z Čech, který ale neplatil pro Moravu a Slezsko. V Uherském Hradišti se konala ve dnech 28–30. srpna 1719 prosebná procesí za déšť kvůli panujícímu velkému suchu a nedostatku vody na mletí ve vodních mlýnech (*Ann. Hradistienses*).

Kvůli suchu v roce 1726 se podle zprávy z Litoměřic konalo prosebné procesí a třetí den po něm přšelo (*Schmidt*). Sucho bylo doprovázeno horkým počasím od května do září a s tím může opět souviset úroda dobrého vína, které bylo podle soudobých zpráv lepší než r. 1718.

Rozsah i charakter škod během velkého sucha roku 1746 dobře ilustruje pramen z Nového Města na Moravě: „*Ten celý rok tak sucho bylo, že celé léto od jara nepršelo, taky krom žita na jarním obilí žádná ouroda nebyla, a o mletí zle bylo, nikde se mlet nemohlo třeba 6 i 7 mil [45 i 52 km] do mlejna vozili, neb vyschly všecky studnice, ani lidé ani dobytek neměli co pít. ...*“ (*Gedenkbuch der Familie Chladek*). Dne 9. července v Praze konala procesí za vprošení deště a podle záznamů člena augustiniánského řádu v Brně Hieronyma Haury (*Haura*) se konaly v brněnském kostele sv. Jakuba dne 17. července modlitby za déšť. Navíc dne 8. srpna vyšlo od sv. Jakuba ke kostelu sv. Tomáše prosebné procesí za déšť. K tomuto suchému roku se jako zajímavost váže tzv. chronogram. Jedná se o záznam události, ve kterém jsou vybraná písmena interpretována jako římské číslice, ze kterých lze sestavit

letopočet popisované události. Latinský zápis *Personat heV! tulstIs VoX: SVCCIs aret aDeMptIs / Noster ager stIVnt fontes, herbaeqVe, feraeqVe* v českém překladu zní: „*Rozléhá se, ó běda ti, takový hlas: Sucho vysušuje, vyjídá naše pole, prameny žízní i rostliny a zvěř*“ (*Haura*). Součet zvýrazněných římských číslic udává letopočet suchého roku 1746, tedy V + I + I + V + X + V + C + C + I + D + M + I + I + I + V + V + V. Obdobný charakter mají četné zprávy o suchu v roce 1790 zahrnující mj. veřejné modlitby a procesí za déšť v dubnu, květnu i v červnu na řadě míst v českých zemích.

Jistou představu o tom, jak lidé nahlíželi na problém sucha a jak hodnotili jeho dopady na různé zemědělské činnosti v polovině 19. století, si lze učinit z kapitoly nazvané „O suchu“ publikované v práci kněze Václava Krolmuse (*Krolmus 1845*): „*Po mokřých létech přichází suchá léta a po suchých opět mokrá, jakž nám to příběhové Čeští dokazují, čehož i sami zkušenosti jsme. O suchém létě jest nedostatek veliký na travách a na píce pro dobytek. Trávy na pastvištatech vyhoří, na paloucích se spálí, země veškerá žízní. Obilí více sype, zrno jádrné, námelné a zdravé, ale však skrovné jest. Šupinka tenká, pročež se mň votrub, ale více mouky namele.... Víno a ovoce bývá sladší. Na suchoparech ze stromů spadne. V suchých letech bylo a jest zle o melivo; kde měl hospodář semleti, když potokové vyschly a rybníků nebylo? pročež musili Čechové na řeky veliké, na Labe, na Lzeru, na Ohři, na Mži a t. d. 6 ba i 7 hodin cesty se obracet. Z mlejna jednoho na druhý jezdit, když semleti nemohli, na 10 i 15 dní na mlejně s dobytkem dlíti a platiti než semleti. Hospodářství doma hynulo. V krajích lidé na polohách rovných okolo Bezna, Chorušic, Mšena, Březovic na písčitych krajinách a jinde více, kdež vody čisté ani kalové, ani pro sebe ani pro skot neměli, na 2 i 4 hodiny cesty vzdáli každého dne ve voznicích voziti, aneb stáda svá ku nápoji k potokům a pramenům honiti. Za těchto dnů vele suchých na vsích a městečkách, když se ohně Boží zňali, domy, dvory a lesy plamenem hořely, občané se na ně bolestně dívali; aneb drnem čili hlínou aneb řezankou zasejpalí, nebo vody ku hašení neměli... V suchém létě skot, jenž zaprášené trávy požíval, na opar se rozstonał...“*

Příčiny výskytu sucha chápáné pouze jako projev vůle Boží se postupně mění a sucho začíná být chápáno též jako přírodní jev. Tak Krolmus stručně popisuje i možná opatření ke zmírnění následků sucha: „*V suchém létě jezme a sázejme to, co sobě sucho oblibuje, a v suchu lépe roste. Potřebujeli se při sadbě zalezváni častého, nadělejme louží a kališťat skrovných, v nichž nám voda na jaře nachystaná, přes léto vydrží.*“ Především tedy již přiznává aktivní roli člověku: „*Člověče přičiň se, a Bůh ti požehná*“. Postupně se tak vytvářejí předpoklady pro formování prvních vědeckých poznatků o suchu.

Názory na sucho a příčiny jeho vzniku oproštěné od náboženských představ se u nás začínají objevovat

ve 40. letech 19. století. Publikované práce byly často přímou reakcí na konkrétní suchou periodu a pokoušejí se o objasnění fyzikálních příčin sucha, které často hledají v atmosférických dějích. Jako příklad můžeme zmínit článek F. X. J. Maška z r. 1842 citovaný v úvodu této kapitoly. Stejný autor již v r. 1840 v časopise *Vlastimil* formuluje fyzikální podstatu koloběhu vody v přírodě: „*Míním tu přesvědčenu býti, že příčina dotčeného v přírodě úkazu v zákonech vypařování vod záleží; pak ve schopnosti vzduchu, tyto páry až do nasycení sobě připojovati a vázati; konečně ale ve schopnosti těchto par, z tvaru povětrného ochlazením opět ve stav kapalné tekutosti neb vody přecházeti.*“

Zřejmě pod vlivem suchého roku 1893 František Augustin, první profesor meteorologie na pražské univerzitě, publikoval práci „*Sucha v Čechách v době od roku 962–1893*“, ve které popsal fyzikální podstatu procesů vedoucích vzniku srážek a sucha (Augustin, 1894).

Ve 20. století vyvolalo zvýšenou pozornost laické i odborné veřejnosti o problematiku sucha období 1932–1935. Vedle vzniku řady odborných statí (blíže viz *Brázdil a Trnka, eds. 2015*) je možné zmínit definici sucha profesora Vysoké školy zemědělské v Brně Václava Nováka (Novák 1936). Pro naši současnost může být poučné, že autor sucho dělí na „nezaviněné“, tedy meteorologické, a dále na sucho „zaviněné“, které je podle autora „*zjev vyvolaný ve větším či menším rozsahu lidským zásahem, ať je to agrikultura nebo ať technické zásahy, porušující soulad biologických hodnot v přírodě, zvláště poměr lesních ploch k polním, lučním a p.*“

Naše nejdelší souvislá teplotní řada z Prahy-Klementina začíná rokem 1775 a nejdelší souvislá řada měření srážek z Brna je k dispozici od r. 1803. Za počátek instrumentálního období lze tedy považovat první dekádu 19. století, od které můžeme kvantifikovat výskyt sucha a jeho intenzitu pomocí různých tzv. indexů sucha (např. kapitola 2.1) a objektivně vymezovat trvání suchých období. Tuto objektivní klasifikaci lze dále doplnit popisem meteorologických podmínek či převládajícím charakterem proudění nad střední Evropou (tzv. synoptickou situací). K nejextrémnějším a detailně charakterizovaným suchým epizodám v 19. století řadí *Brázdil a Trnka, eds. (2015)* především roky 1808, 1809, 1811, 1826, 1834, 1842, 1863, 1868. Ve 20. století se pak jednalo o roky 1904, 1911, 1917, 1921, 1947, 1953 a 1954, 1959, 1992. I v těchto novějších případech mohou údaje z dokumentárních pramenů i nadále vhodně dokreslovat charakter a rozsah škod způsobených suchem nejenom v zemědělství. Umožňují nám to mj. nové typy dokumentárních pramenů, jako jsou například záznamy finančně ekonomického charakteru či první vědecké práce. Avšak i klasické kronikářské záznamy z 19. a 20. století nás mohou zpravovat zvláště o prostorovém rozsahu i regionálních či místních dopadech sucha. Každému městu a obci s právem trhu

v českých zemích bylo totiž v roce 1835 uloženo vést kroniku. Obdobně po vzniku Československa bylo v roce 1920 uzákoněno založit a vést pamětní knihu všem samosprávným obcím.

Mimořádně bohaté záznamy z řady lokalit tak existují např. k suchu 1947. Sucho tohoto roku sehrálo velmi významnou roli i v oblasti společensko-politické. Odmítnutí tzv. Marshallova plánu čs. vládou a následná pomoc dodávkami obilí z SSSR tvořily podstatnou část mozaiky událostí, které pak vedly k únoru 1948 a následnému politickému vývoji v tehdejší Československu.

Předchozí odstavce měly mimo jiné také ukázat, že v podmínkách střední Evropy se sucho řadí společně s povodněmi či vichřicemi k nejvýznamnějším tzv. hydrometeorologickým extrémům. Tyto obecně představují významné odchylky od „normálního“ či běžného průběhu počasí. Ze své podstaty se vyskytují spíše vzácně, avšak po staletí byly a jsou i nyní součástí našeho životního prostředí. Naši předkové s nimi museli počítat a různým způsobem se s nimi snažili vypořádat.

V důsledku značné proměnlivosti počasí a podnebí mírných zeměpisných šířek může být výskyt extrémů projevem tzv. vnitřní variability klimatického systému. To znamená, že nemusejí mít jednoznačnou příčinu. Mohou být výsledkem do jisté míry chaotické povahy atmosférických dějů a lze na ně pohlížet jako na přirozenou součást počasí a podnebí dané oblasti.

Frekvence výskytu a intenzita extrémů se však může významně měnit v důsledku změny klimatu. O změně klimatu hovoříme v případě významné změny faktorů, které klima vytvářejí, jako jsou například množství slunečního záření, vulkanická činnost či chemické složení atmosféry. V takové situaci se nacházíme nyní, v probíhající globální změně klimatu. Především v důsledku zvýšené koncentrace skleníkových plynů a následnému zesílení přirozeného skleníkového efektu se podle poslední zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) velmi pravděpodobně zvyšuje také frekvence a intenzita extrémů, jako je sucho (Stocker *et al.*, eds, 2013).

V novém miléniu postihla sucha české zemědělství v letech 2000, 2003, 2007, 2012, 2015, 2018 a sucho přetrvává i v r. 2019. Zvýšená četnost těchto suchých roků, jejich intenzita i plošný rozsah tak mají charakter sucha dlouhodobého, k jehož výraznému zmírnění již nepostačuje ani výskyt chladnějších a deštivějších období (např. květen 2019). Sucho i jeho negativní dopady se kumulují, začínají se projevovat např. i poklesem mělkých podzemních vod a problém sucha se dostává do centra pozornosti celé společnosti. Podle dosavadních poznatků dochází k postupnému snižování zásob půdní vlhkosti (Trnka *et al.*, 2015a) a riziko výskytu sucha je v současnosti nejvyšší za posledních 130 roků (Brázdil *et al.*, 2009 b). V porovnání

ní s normálovým obdobím 1961–1990 byly podle údajů Českého hydrometeorologického ústavu od roku 2011 všechny měsíce vyjma července, září a října srážkově deficitní a v červnu roku 2019 již celkový deficit představoval 318 mm srážek.

Postupem času se bohužel stále více ukazuje, že problém sucha (obdobně jako v globálním měřítku problém oteplování Země) stojí pouze na počátku řetězce celé řady následných procesů, které vyvolává. Procesů, které mají v naprosté většině případů negativní dopady na naše životní podmínky a o kterých zatím často jen tušíme a které rozhodně nemají a nebudou mít jednoduchá řešení. Příkladem budiž současný (srpen 2019) problém přemnožení hlodavců a hledání způsobu, jak mu čelit.

Stále více si ověřujeme, že naše vyspělá společnost není na přírodních podmínkách závislá méně než naši předkové, spíše naopak. Nezbývá, než se na zvýšené riziko sucha adaptovat a zmírňovat jeho negativní dopady. K tomu, jakým způsobem toho dosáhnout, by měla napomoci také odborná, věcná a racionální diskuse, ke které by chtěla přispět i tato publikace. Také proto, že odborné a racionální diskuse nad příčinami současné změny klimatu se v české kotlině často nedostává. V suchém roce 1842 F. X. J. Mašek napsal: „*Předsudky, pověry a neumělost sprostého lidu v přírodoskumu, zvláště v zákonech, dle kterých se rozličné úkazy a změny v povětrném oboru země dějí, jsou větší, nežli jsme až posud se domýšleli.*“ Necht laskavý čtenář posoudí, do jaké míry má uvedený citát platnost i v současnosti.

Literatura:

- Augustin, F. (1894): Sucha v Čechách v době od roku 962–1893. A. Reinwart, Praha, 37 s.
- Brázdil, R., Kirchner, K., Březina, L., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Halášová, O., Hostýnek, J., Chromá, K., Janderková, J., Kaláb, Z., Keprtová, K., Kotyza, O., Krejčí, O., Kunc, J., Lacina, J., Lepka, Z., Létal, A., Macková, J., Máčka, Z., Mulíček, O., Roštinský, P., Řehánek, T., Seidenglanz, D., Semerádová, D., Sokol, Z., Soukalová, E., Štekl, J., Trnka, M., Valášek, H., Věžník, A., Voženílek, V., Žalud, Z. (2007a): Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita, Český hydrometeorologický ústav, Ústav Geoniky Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno — Praha — Ostrava, 432 s.
- Brázdil, R., Kiss, A., Luterbacher, J., Valášek, H. (2008a): Weather patterns in eastern Slovakia 1717–1730, based on records from Breslau meteorological network. *International Journal of Climatology*, 28, 1639–1651.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (1995): History of Weather and Climate in the Czech Lands I (Period 1000–1500). *Zürcher Geographische Schriften* 62, Zürich, 260 s.
- Brázdil, R., Kotyza, O. (2000): History of Weather and Climate in the Czech Lands IV. Utilisation of Economic Sources for the Study of Climate Fluctuation at Louny and Surroundings in the Fifteenth–Seventeenth Centuries. Masaryk University, Brno, 350 s.
- Brázdil, R., Kotyza, O., Dobrovolný, P., Řezníčková, L., Valášek, H. (2013 b): Climate of the Sixteenth Century in the Czech Lands. Masaryk University, Brno, 286 s.
- Brázdil, R., Trnka, M., eds. (2015) Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost (Drought in the Czech Lands: Past, Present and Future). Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno, 400 s.
- Krolmus, W. (1845): Kronyka čili dějepis všech povodní posloupných let, suchých i mokrých, úrodných a neúrodných na obilí, ovoce a vína, hladů, morů a jiných pohrom v Království Českém. Tiskem Karla Wetterla, Praha, 261 s.
- Mašek, F. X. J. (1840): Hlavní příčiny, proč nyní více suchých než mokrých let míváme. *Vlastimil — Přítel osvěty a zábavy*, 2, 249–253.
- Mašek, F. X. J. (1842): Příčiny panujícího sucha, a prostředky, jimiž potřebné vláhy opět vydobýti můžeme. *Květy*, 64, 255, 259–260.
- Novák, V. (1936): K otázce sucha a hospodaření vodou v zemědělství. In: Zavadil, J., Bartoš, J., Jůva, K., eds.: *Vodní hospodářství v době sucha*. Tiskem Noviny v Brně, Brno, 23–30.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M., eds. (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 s.
- Walawender, A. (1932): Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 1450–1586. Część I: Zjawiska meteorologiczne i pomory. Część II. Kronika klęsk elementarnych. *Badania z Dziejów Społecznych i Gospodarczych*, Lwów, 112 a 299 s.

Prameny:

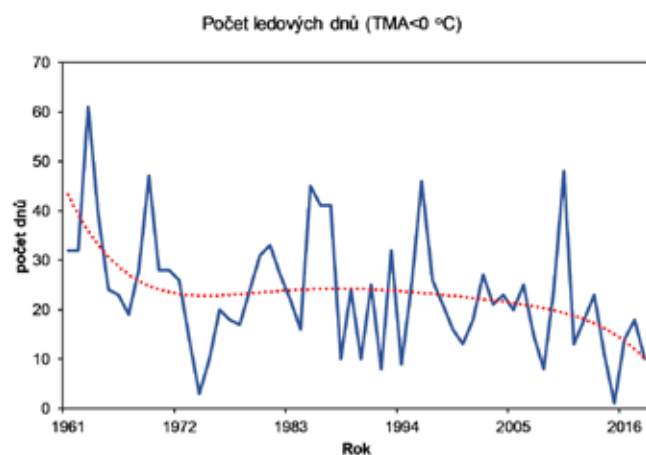
- Ann. Hradistienses: Jan František Corvinus, *Notata de civitate Hradistio in Moravia [1258–1724]*. Ed. Fišer, 1920, 86–126.
- Bydžovský: Marek Bydžovský z Florentina, *Prima pars annalium seu corum, quae sub Ferdinando rege Bohemiae contigerunt a Me Beat Fides [=M(arcus) B(ydzowinus) A F(lorentino)] collecta. Altera pars annalium seu eorum, quae sub Maximiliano rege Bohemiae contigerunt, a Me Beat Alma Fides collecta. Rudolphus rex Bohemiae*. Ed. Kolár, 1987, 1–241, 253–270.
- Engelhart: Pankraz Engelhart, *Cronica memorial von Eger [1134–1561]*. Ed. Gradl, 1884, 3–70.
- Gedenkbuch der Familie Chladek: *Auszug aus dem Gedenkbuch der Familie Chladek. I. Anhang. Auszüge aus Familien-Gedenk-Büchern, Inschriften*. Ed. Kopřiva, 1856, 295–300.
- Haura: Hieronymus Haura, *Miscellanea iucundo-curiosa in quibus continentur variae descriptiones, versus, carmina, elogias, epitaphia, vaticinia, illuminationes, declarationes, pugnae, conflictus, notata de bellis et diversis temporibus, casus laeto-fatales, contingentia in monasterio Sancti Thomae, processiones et devotiones ad Thaumaturgam, varii eventus in Moravia, Bohemia, et adjacentibus regionibus, Brunae et aliis civitatibus, ac aliae iucundae, et utiles annotationes et reflexiones... Quae omnia diligenter annotavit, laboriose conscripsit Pater Hieronymus Haura, Boemus Moldavo-Teynensis, Ord. Erem. D. P. Augustini, Brunae in Exempto Monasterio S. Thomae Professus... T. I–III*. Moravská zemská knihovna Brno, sign. A19–A21.
- JanzK: Jan z Kunovic, *Denní meteorologická pozorování zapsaná ve wroclawském exempláři Stoefflerových efemerid (Stoeffler, 1531)*. Eds. Brázdil, Kotyza, 1996, 123–157.
- Kron. Fulneku: *Kronika města Fulneku (Notizen über die Entstehung und Schicksale der Stadt Fulnek bis zum Jahre 1806)*. Moravský zemský archiv Brno, fond G 13 Sbirka Historického spolku Brno 1306–1923, inv. č. 199.
- Leupold: Martin Leupold von Löwenthal, *Chronik der königlichen Stadt Iglau (1402–1607)*. Ed. d'Elvert, 1861.
- Pamětní kniha Litoměřic: *Kniha pamětní litoměřických městských písařů 1570–1607*. Státní okresní archiv Litoměřice, fond Archiv města Litoměřice, sign. IV B 1a.
- Philomates: *O hrozném a velikém suchu zdržení dešťů a odtud následujícím nedostatku vody, jakéhož sucha žádný z lidí nynějších, ode sta let i výšeji, starých nepamatuje. Kázání učiněné v kostele domaželském (sic!). Nyní pak kvůli pobožných křesťanů k probuzení lidu Božího, k horlivému pokání a modlitbám svatým vůbec vydané. Odemne (sic!) kněze Daniele staršího Philomatesa, služebníka Slova Páně v Domaželicích (sic!), Notariusu Řádu kněžstva Páně evangelického v podkrají (sic!) Holomouckém. Vytisknuto v Holomouci (sic!) u Jiříka Handle. Léta Páně 1616*. Městská knihovna Praha, sign. 35 D 19.
- Schmidt: Anton Gottfried Schmidt, *Die meteorologischen Aufzeichnungen [1500–1761]*. In: Katzerowsky, 1887.
- SLČ: *Staří letopisové čeští od roku 1378 do 1527 čili pokračování v kronikách Přibíka Pulkravy a Beneše z Hořovic z rukopisů starých vydané*. Ed. Palacký, 1941.
- Z kněh pamětních starých: *Z kněh pamětních starých města Litoměřic sepsaných od městského písaře Jana od Hradu a jeho následovníků [1500–1565, 1595]*. Ed. Smetana, 1978, 124–139.
- Žabonius: *Přípisky M. Jakuba Žabonia z Vyšetína ke kalendáři z roku 1616*. Zámek Nelahozeves – RLK, sign. VII. Ad. 120/kalendář na r. 1616.
- Žalanský: *O sedmi ranách Božích těžkých a velikých, které mezi jinými válku českou předešly a hlásaly a které s právem Podromi a Classica, totiž, předchůdcové a hlasatelé války české, slouti mohou Traktátů sedm. 1. O hřímání a hromobití. 2. O povodních. 3. O země třesení. 4. O bouřlivém povětří. 5. O suchu. 6. O drahu a hladu. 7. O válce, metle Boží nejtěžší a smutném nepohodlí jejím*. Sepsaných od kněze Havla Žalanského, služebníka Božího Slova u s[vatého] Jiljí v Novém Městě Pražském u Daniele Karla z Karlspergka. Léta M.DC.XX [1620]. Moravská zemská knihovna Brno, sign. 25.256.

2. PŘÍČINY ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA

2. 1. Pozorované klimatické trendy

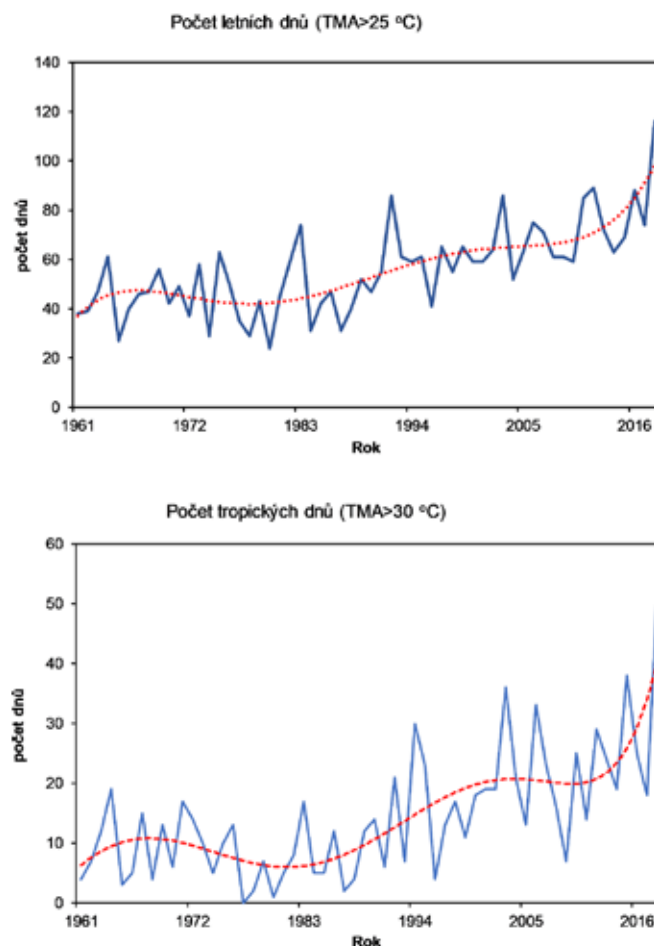
O počasí se zajímáme všichni, ale málokdo přemýšlí o dlouhodobých změnách podnebí, dokud se nesetká s neobvyklým či dokonce extrémním průběhem počasí. Je třeba si na základě předchozí kapitoly uvědomit, že se na našem území obyvatelé čas od času setkávali v historii s neobvyklými vpády horkého či velmi chladného vzduchu, s vlhkými nebo naopak suchými periodami. V poslední době díky změně klimatu jsou extrémnější projevy počasí mnohem častější. Například v roce 2018 zažívala střední a severní Evropa neobvyklou vlnu veder. Velmi dlouhé období s tropickými dny u nás a s letními dny v severní Evropě. V roce 2019 došlo k přepisování rekordních maximálních teplot v západní Evropě. Poprvé v historii během tenisového turnaje ve Wimbledonu nepršelo...

Velmi výrazně je patrný **růst teploty vzduchu**. V zimních měsících ubývá počet dnů s teplotou pod nulou (Obr. 4). Například zatímco v 70. letech minulého století se obvykle vyskytovalo v nížinách (pod 400 m n. m.) kolem 50 ledových dnů (max. teploty pod 0 °C), v současnosti pouze kolem 14 dnů.



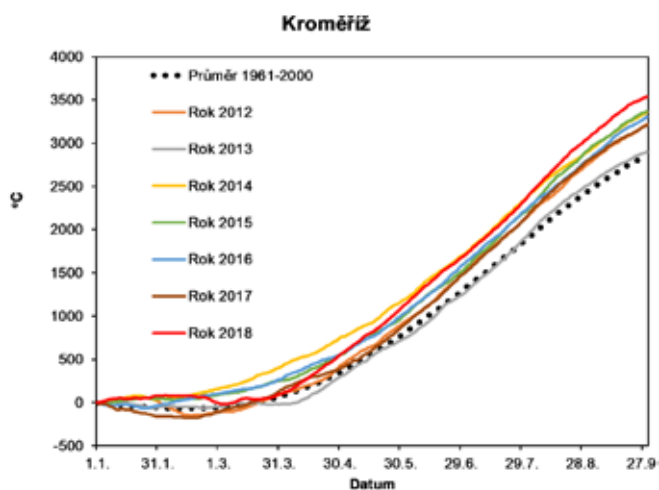
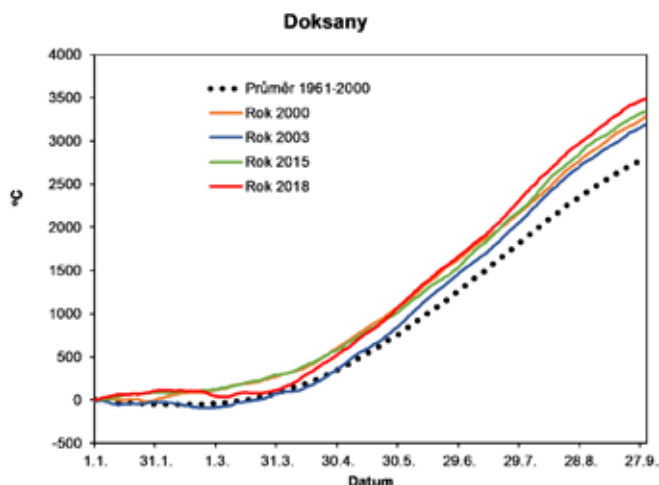
Obr. 4 Kolísání počtu ledových dnů v nížinách v letech 1961–2018

Velmi výrazně narůstají maximální teploty vzduchu. V současnosti se vyskytuje 3x více letních dnů (max. teploty nad 25 °C) a tropických dnů (max. teploty nad 30 °C) než bylo dříve obvyklé (Obr. 5).



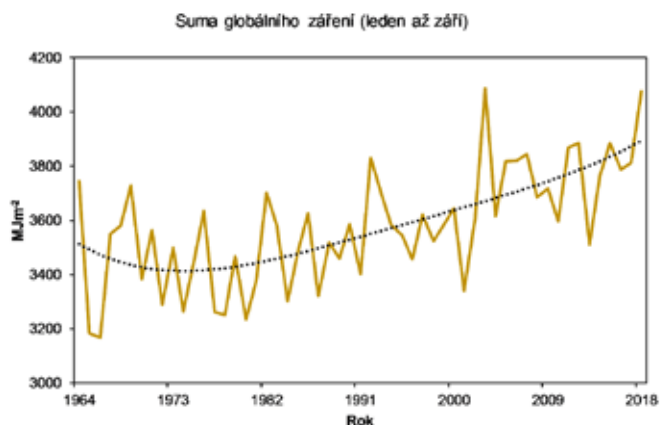
Obr. 5 Kolísání počtu letních a tropických dnů v nížinách v letech 1961–2018

Růst teplot dokumentují kumulativní součty teplot vzduchu v lednu až září 2012–2018 v Doksanech (Polabí) a Kroměříži (Haná). Ve srovnání s dlouhodobým průměrem 1961–2000 byly všechny roky (s výjimkou roku 2013) teplotně nadprůměrné (Obr. 6).

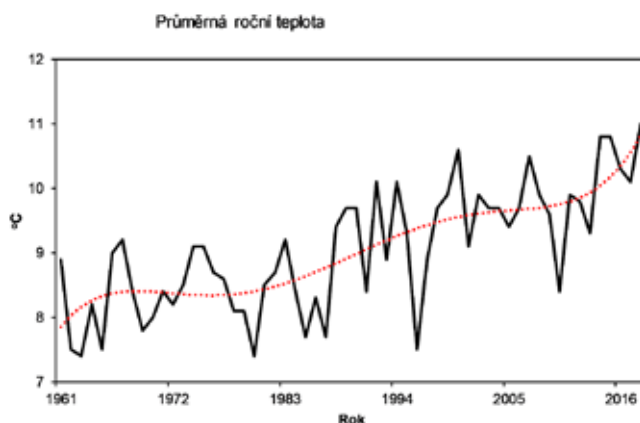


Obr. 6 Kumulativní součty teplot 2012 až 2018 ve srovnání s dlouhodobým průměrem

Růst teplot vzduchu koresponduje s růstem **množství dopadajícího přímého slunečního záření** (Obr. 7). Doba trvání slunečního svitu se zvyšuje a klesá oblačnost.

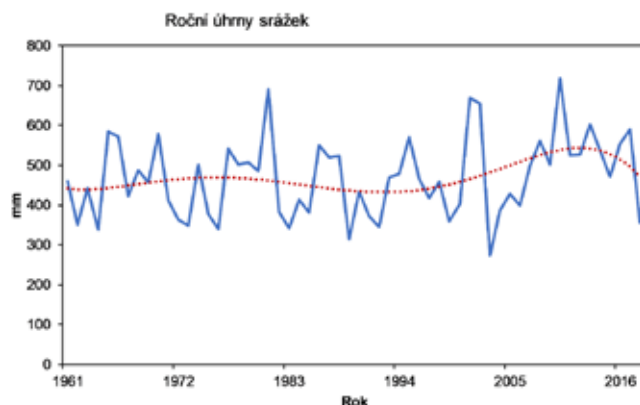


Obr. 7 Suma globálního záření za leden až září v nížinách v letech 1961–2018



Obr. 8 Kolísání průměrné roční teploty v nížinách v letech 1961–2018

Průměrná roční teplota vzduchu je v současnosti vyšší o 1,8 °C než v 70. letech. Teplota má rostoucí trend 0,4 °C za desetiletí (Obr. 8). **Roční úhrny srážek** ale nevykazují statisticky významný trend a stagnují (Obr. 9). Díky tomu, že roste teplota vzduchu a množství srážek se nemění, tak nám roste výpar z krajiny a díky tomu chybí více vody v krajině a epizody sucha se stávají častější a intenzivnější.

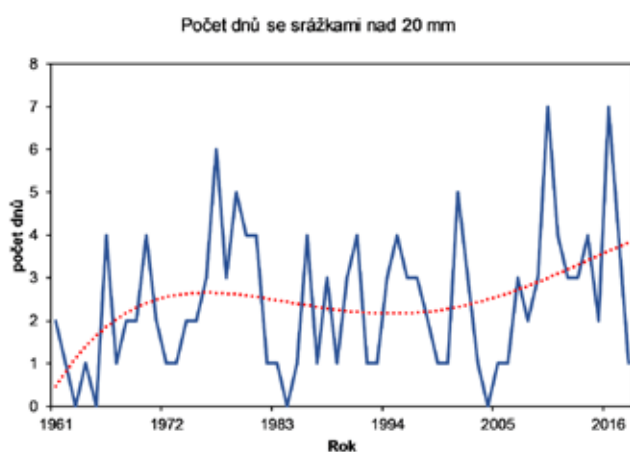


Obr. 9 Kolísání ročních úhrnů srážek v nížinách v letech 1961–2018

Mnohem teplejší zimy než tomu bylo v minulosti, způsobují **úbytek počtu dnů se sněhovou pokrývkou** nejen v nížinách (Obr. 10). Častěji nám tedy v zimě vypadávají srážky ve formě deště místo tak potřebného sněhu. Ten totiž mnohem lépe dokáže doplnit vláhu v půdním profilu a také podzemní vody než dešťové srážky. To způsobuje pokles „zásoby zimní vláhy“ a díky tomu je začátek vegetační sezóny více zranitelný vůči suchu než tomu bylo v minulosti. Zatímco celkový počet dnů se srážkami se nezvyšuje, rostou počty dnů se srážkami nad 20 mm (Obr. 11). Celkové úhrny srážek stagnují, ale srážky padají více ve formě přivalových srážek.

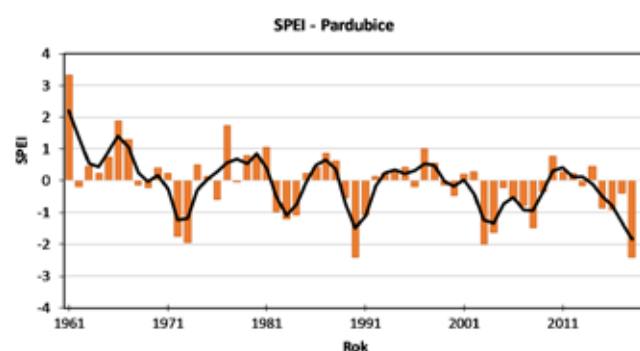
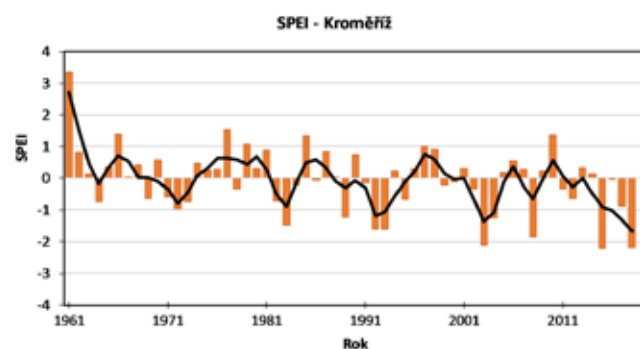
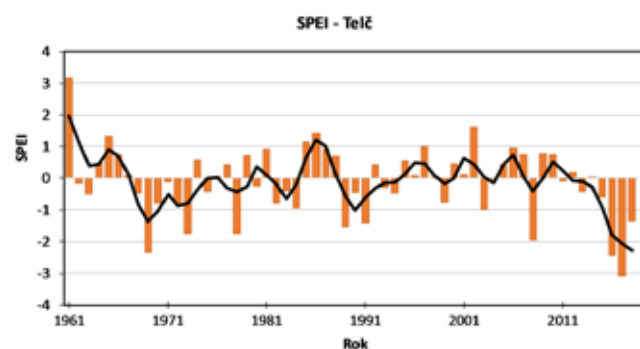
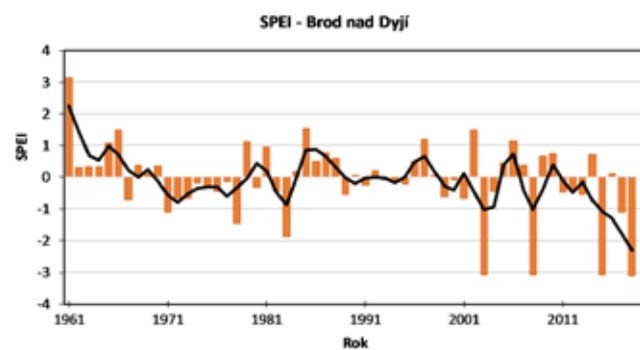


Obr. 10 Kolísání počtu dnů se sněhovou pokrývkou v nížinách v letech 1961–2018



Obr. 11 Kolísání počtu dnů se srážkami nad 20 mm v nížinách v letech 1961–2018

Ke kvantifikaci sucha se používá celá řada indexů, velmi často je používán Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI), který porovnává rozdíl srážek a potenciální evapotranspirace (= výparu z povrchu nasyceného vodou) vůči dlouhodobému průměru. Sucho je reprezentováno zápornými hodnotami, čímž jsou indexy SPEI nižší, tím je sucho intenzivnější. Na všech stanicích u nás lze pozorovat nárůst sucha v posledních letech (Obr. 12).



Obr. 12 Kolísání indexu sucha 12měsíčního SPEI v Brodě nad Dyjí, Telči, Kroměříži a Pardubicích v letech 1961–2018

Na území České republiky pozorujeme nárůst teploty vzduchu, slunečního záření, výparu a sucha, celková suma srážek zůstává stejná a roste četnost příválových srážek, naopak klesá množství dnů se sněhovou pokrývkou hlavně v nížinách a tím klesá „zásoba zimní vláhy“ a zvyšuje se riziko výskytu sucha v jarním období.

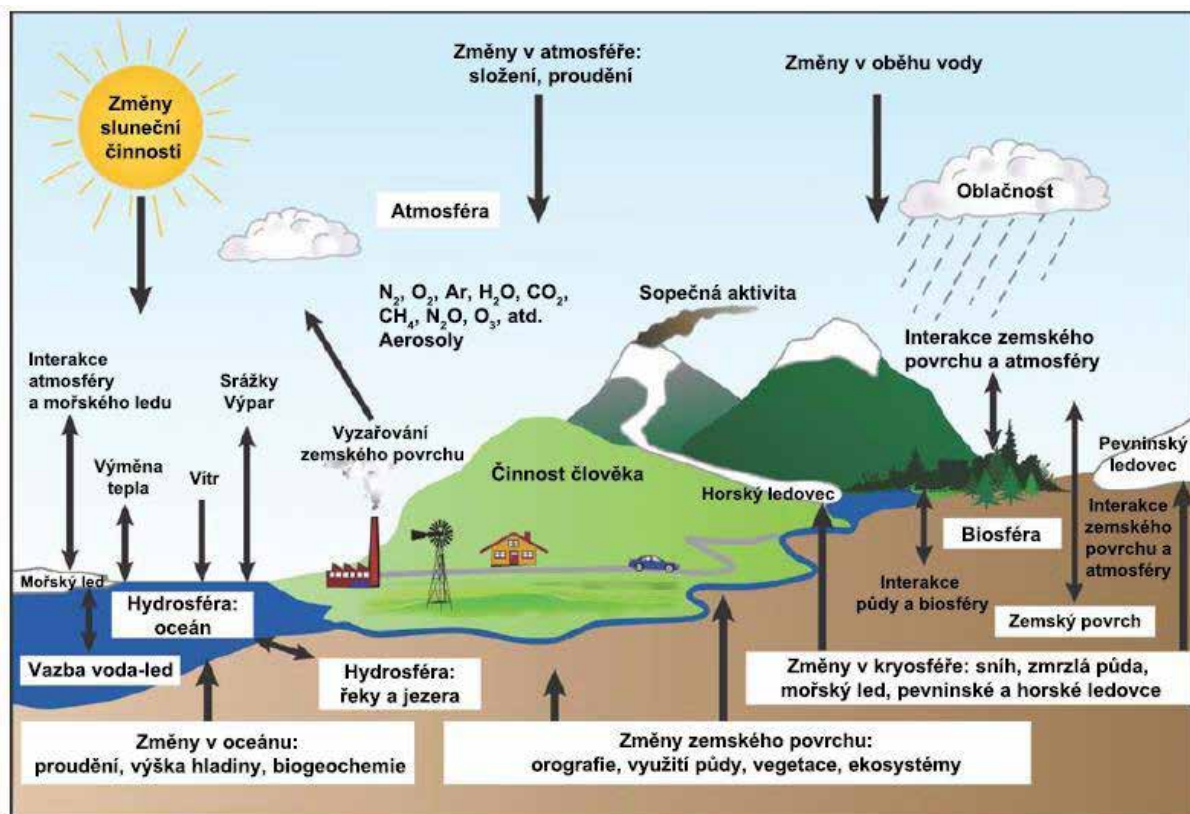
2. 2. Klimatická změna

Pokud bychom si udělali analýzu článků v novinách či internetových médiích o stavu, ale hlavně minulém či budoucím vývoji naší přírody, dominovaly by ty, které zmiňují klimatickou změnu. Její dopady na témata jako je biodiverzita, polní plodiny, ale i další témata, jako jsou domácí či invazivní rostliny, choroby a škůdci, horské i polární ledovce a zvláště výskyt sucha, útočí na čtenáře ze všech stran. Co to vlastně je klimatická změna? Abychom si to objasnili, je nutné si připomenout co to je klima. Jedná se o dlouhodobý stav (desítky, stovky let) meteorologických prvků na daném místě. Jestli dnes prší nebo svítí slunce, jestli je tento týden vlhký nebo suchý, to klima neovlivní. Tyto jevy souvisí s počasím, kterému se věnuje věda s názvem meteorologie. Pod pojmem počasí se na daném místě rozumí aktuální stav atmosféry charakterizovaný souborem vybraných meteorologických prvků (teplota vzduchu, oblačnost, tlak vzduchu, vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, apod.), zatímco podnebí je na stejném místě dlouhodobý (alespoň třicetiletý) průměr stejných meteorologických prvků. Hlavní rozdíl mezi počasím a podnebí je tedy v čase. Obecně platí, že klima (podnebí) na naší planetě je výsledkem vzájemné interakce řady faktorů. Ty lze z velmi hrubého měřítka rozdělit na extraterestrické (mimozemské) jako je např. sluneční záření či změny parametrů orbity Země, dále terestrické (vlastnosti zemského povrchu jako je jeho typ, dále

rozložení pevnin a oceánů, sopečná činnost, přítomnost a druh vegetace, mořské proudy apod.) a antropogenní (např. emise skleníkových plynů, urbanizace).

Ale co se stane, když začneme právě v těch dlouhodobých řadách vymezujících podnebí nacházet trendy, které jsou prokázány v předchozí kapitole? Jinými slovy se na určitém místě, regionu, či celé planetě zvyšuje teplota nebo výpar nebo se mění rozložení srážek atd. A navíc tyto trendy trvají řádově desítky let a v žádném případě se již nedá hovořit o náhodném výkyvu. Pak je na místě se zamyslet, jaké jsou příčiny. Některý faktor se prostě začal měnit a jeho vliv se přenáší do změn v klimatickém systému. Logicky tyto změny mohou být podmíněny faktorem mimo vliv člověka. Ano klima se mění od doby co naše planeta je planetou a inteligentní člověk byl teprve hříčkou budoucnosti. Existovaly a existují změny v parametrech oběžné dráhy Země kolem slunce a náklonu zemskou osy, které byly a nadále mohou být např. příčinou střídání dob ledových a meziledových (mimořádně v jedné době meziledové právě nyní žijeme) a klima rozhodně ovlivňují. Stejně tak existují mnohem kratší, celkem pravidelné cykly sluneční aktivity např. mezi velmi známý patří 11letý, ale jsou i cykly kratší (např. přibližně 2letý) a velmi pravděpodobně i delší než jedno století.

Jsou i další jevy po slunečním záření ovlivňující klima jako epizodní výbuchy sopek, či projevy globálních kli-



Obr. 13 Schéma základní části klimatického systému Země (zdroj: Le Treut et al., 2007 upraveno in Solomon et al., 2007)

matických oscilací jako je severoatlantická, známé el-Niño v oblasti Tichého oceánu, či Atlantská multidekádo-ová oscilace s periodicitou cca 70let. Poměrně složitými statistickými vztahy byly všechny tyto potenciální příčiny posouzeny (Brázdil a Trnka, eds. 2015) a současně vyloučeny jako možný viník současných trendů na našem území. Příčina těchto trendů totiž, jak ukázala zmíněná studie, ale také desítky jiných nezávislých analýz spočívá ve faktoru, který jsme si nechali nakonec. Jde o nárůst obsahu tzv. skleníkových plynů v atmosféře (odborně radiačně aktivní plyny), které posilují jinak blahodárny skleníkový efekt do hodnot potenciálně ohrožujících lidskou existenci. Tedy příčinou měnícího se klimatu a spouštěčem všech problémů, které přináší je změna koncentrace několika plynů, které mají schopnost popouštět záření Slunce a částečně pohlcovat záření Země. Jak to funguje a proč se jejich koncentrace v atmosféře zvyšuje?

2. 2. 1. Skleníkový efekt – Fyzikální podstata působení radiačně aktivních (skleníkových) plynů

Pro pochopení celého procesu, je nutné si uvědomit, že naše planeta přijímá od Slunce energii (tzv. krátkovlnná radiace) a sama do vesmíru energii všesměrově vyzařuje (tzv. dlouhovlnná radiace). Pojem krátkovlnná a dlouhovlnná vychází z toho, že teplejší Slunce vyzařuje kratší vlnové délky, než chladnější Země. Obecně na povrchu teplejší těleso vždy vyzařuje kratší vlnové délky než těleso s nižší povrchovou teplotou. Viditelné záření patří mezi krátkovlnné záření. Např. pokud zapálíme třeba dřevo, zvýší se jeho teplota a začne vysílat i krátkovlnné záření = světlo. Podstatnější informace je, že bilance obou toků (výdej ze Země a příjem ze Slunce) za rok musí být vyrovnaná, neboť v opačném případě by se planeta zahřívala (bilance je kladná – více planeta přijme, než vydá), či ochlazovala (bilance je záporná – více planeta vydá, než pohltí). Pokud bilance nebude vyrovnaná, dochází postupně k jejímu srovnání a je otázka, jaká bude její výsledná bilanční teplota. Vyrovnaná teplota je i na jiných planetách co mají podobně jako Země atmosféru např. Mars (bilance vyrovnaná při průměrné teplotě $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$) nebo Venuše (bilance vyrovnaná při průměrné teplotě $464\text{ }^{\circ}\text{C}$). Průměrná teplota naší planety je v současnosti těsně pod $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Už rozumíte? Ano to je teplota, která na rozdíl od teplot na Marsu a Venuši umožňuje život. Tato teplota je tedy i důsledkem schopnosti některých plynů pohlcovat v atmosféře dlouhovlnnou radiaci vyzařovanou zemským povrchem. Pokud by plyny obsažené v atmosféře neměly schopnost zachycovat dlouhovlnnou radiaci, byla by teplota na naší planetě výrazně nižší (asi $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Přirozená přítomnost tohoto procesu je tedy pro výskyt života velmi pozitivní. Tento jev vyvolává analogii s podmínkami ve skleníku (proto se lidově nazývá skleníkový efekt atmosféry), i když je nutné mít na zřeteli, že skutečný skleník si udržuje teplo převážně díky zabránění ztrát tepla turbulentním a konvekčním přenosem (díky sklu se nemísí teplý vzduch ve skleníku s chladnějším mimo něj). Základní

teorie problematiky pozorované a očekávané změny klimatu tedy vychází z porušení vyrovnané radiační bilance systému Země – vesmír způsobené zesílením tohoto tzv. skleníkového jevu prostřednictvím zvýšené koncentrace skleníkových plynů.

Vysvětlení pojmu „změna klimatu“ znamená v současném pojetí změnu klimatu v průběhu času, způsobenou činností člověka, kdežto za „změny klimatu“ jsou označovány změny z pohledu dlouhodobého – např. přirozené střídání dob ledových a meziledových. Stejně tak je nutné rozumět pojmu „variabilita klimatu“, která pokud nevykazuje žádný trend, je zcela přirozeným jevem. Vždyť pro dva libovolné roky (či měsíce, dekády, dny apod.) na jednom místě neexistují shodné klimatické charakteristiky. Nebo máte pocit, že přesně před rokem jste měli tento den u Vás naprosto stejné počasí? Stejně tak několik chladných či teplých let není možné považovat za změnu klimatu. Skutečně teprve stoupající (resp. klesající) statistické trendy dlouholetých řad v rozsahu desítek let dokazující posun v klimatických charakteristikách je nutné považovat za signál měnícího se klimatu.

2. 2. 2. Radiačně aktivní plyny

Atmosféra naší planety je tvořena směsicí plynů, která se nazývá vzduch. Prakticky 99,9 % suché atmosféry je tvořeno dusíkem (N_2) a to 78 obj. %, dále kyslíkem (O_2) 21 % a argonem 0,9 %, zbylé množství je tvořeno řadou plynů často stopového výskytu. Složení atmosféry se cca do 90–100 km nad zemským povrchem až na výjimky např. koncentrace ozónu (O_3) nemění. Kromě součástí vzduchu nacházíme v atmosféře řadu tzv. příměsí ať již tuhého (např. prach, pyl), kapalného (voda, slabé kyseliny) či plynného (oxidy síry, dusíku, tisíce chemických látek syntetického původu) skupenství. Některé z těchto plynů ať již tvořící vzduch či příměsí, jak již bylo vysvětleno, mají schopnost pohlcovat zemské záření a tím udržovat nezbytnou energii, čímž zabezpečují nejen teplotu vhodnou pro živé organismy, ale ovlivňují pohyb vzduchu či fázové přeměny vody. Nejdůležitějším tzv. skleníkovým či radiačně aktivním plynem je vodní pára. Ta je součástí koloběhu vody, do atmosféry se dostává vypařováním ze zemského povrchu. Lidská činnost vodní páru však do atmosféry nepřidává. Na druhé straně teplejší vzduch může absorbovat mnohem více vodní páry, což při současném trendu zvyšování teploty vzduchu vede k vyššímu množství výparu resp. obsahu vodní páry v atmosféře, a tedy i k zesílení skleníkového efektu s důsledkem dalšího zvyšování teploty. Nelinearita této vazby a existence dalších, negativních zpětných vazeb však zajišťují, že se teplota na Zemi při tomto procesu nemůže zvyšovat lavinovitě a nemůže samovolně narůst na libovolně vysoké hodnoty (např. Metelka, Tolazs 2009).

Mezi skleníkové plyny, jejichž koncentrace v atmosféře díky činnosti člověka roste, patří:

OXID UHLIČITÝ (CO_2) – je přirozeně se vyskytující plyn, který nevyhnutelně vzniká spalováním každého materiálu organického původu tedy i fosilních paliv, dnes hlavního zdroje energie. Tímto způsobem se do atmosféry uvolňují zásoby uhlíku miliony let ukládané do litosféry (půdy). Kromě spalování fosilních paliv je významné i odlesňování, kdy uhlík běžně vázaný především v lesní biomase zůstává ve formě CO_2 v atmosféře. Fotosyntéza rostlin totiž odstraňuje oxid uhlíčitý (a tím i uhlík) z atmosféry a ukládá ho do vegetace. Další zdroje, jako je jeho produkce při výrobě cementu a železa či přirozené uvolňování při výbuchu sopek, tvoří jeho minoritní podíl. Změnu koncentraci CO_2 v historii znázorňuje Obr. 14.

FREONY (chlorflorkarbyny) – jsou to uměle vytvořené látky a i přes jejich nepatrnou (stopovou) atmosférickou koncentraci patří díky své vysoké schopnosti pohlcovat dlouhovlnnou radiaci mezi velmi silné skleníkové plyny. Významné jsou čtyři druhy fluorovaných plynů, které byly vyvinuty speciálně pro použití v průmyslu: částečně fluorované uhlovodíky (HFC), zcela fluorované uhlovodíky (PFC), fluorid sírový (SF_6) a fluorid dusitý. Tyto plyny nemohou mít delší historii, neboť neexistovaly do poloviny 20. století.

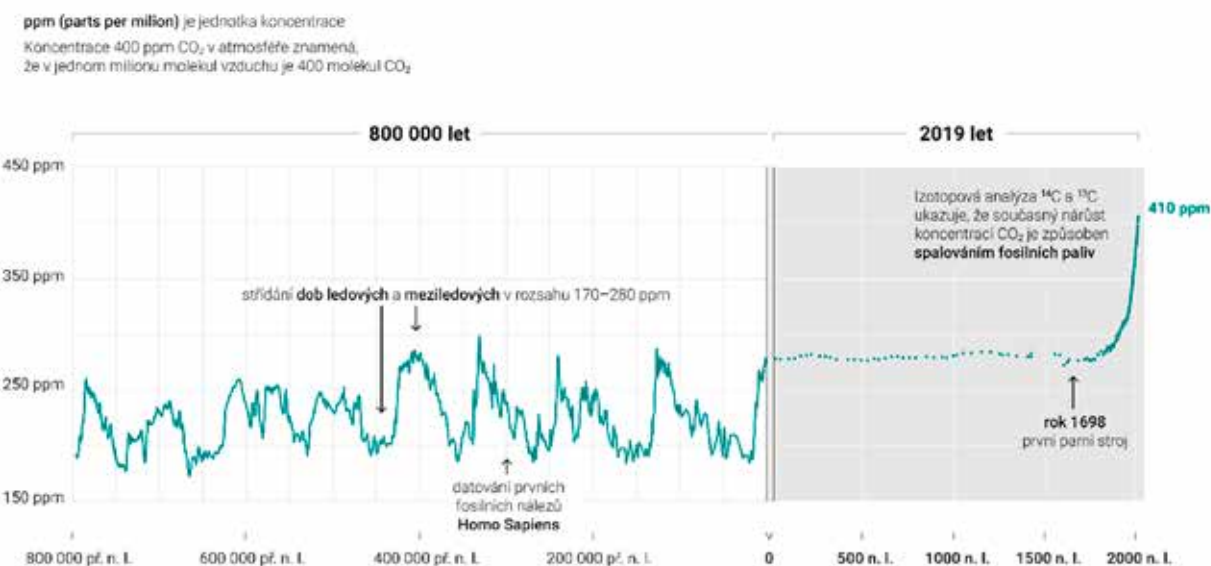
METAN (CH_4) – je uvolňován především při anaerobním pěstování rýže, úniky zemního plynu při těžbě ropy a uhlí, ale i digestivními pochody přežvýkavců. Významné je i samovolné uvolňování ze dna oceánů, které je značným nebezpečím v souvislosti s oteplením vody a zvýšením hladiny oceánů, kdy roste tlak na dno oceánů, kde jsou velké zásoby metanu. Obsah metanu se více než zdvojnásobil od předindustriální doby. Otázkou a velkým rizikem zůstává postupné potenciální uvolňování metanu z mořského dna z důvodu zahřívání vody oceánů, kdy teplejší voda může uvolnit jeho sublimáty (tzv. hydráty metanu). Metan v atmosféře zachycuje dlouhovlnnou zemskou radiaci asi 21x účinněji než CO_2 . Doba jeho životnosti v ovzduší je od 10 do 15 let.

OXID DUSNÝ (N_2O) – jeho zdrojem jsou opět fosilní paliva a tedy spalovací procesy, ale i automobilová doprava a procesy denitrifikace ze zemědělských půd a hnojiv (přehled emisí skleníkových plynů podle odvětví viz Obr. 15 a pro ČR Obr. 16, Obr. 17). Při absorpci zemské radiace je N_2O 310x účinnější než CO_2 . Od počátku průmyslové revoluce vzrostla koncentrace oxidu dusného v atmosféře přibližně o 16 %.

Změna klimatu a její příčiny již nejsou předmětem vážného vědeckého sporu. Téměř tři desetiletí tisíce vědců z celého světa přinášejí vědecké poznatky o změně kli-

VÝVOJ KONCENTRACE CO_2 V ATMOSFÉŘE

Dnešní koncentrace CO_2 dosahují hodnot, které na Zemi nebyly za celou dobu existence lidstva



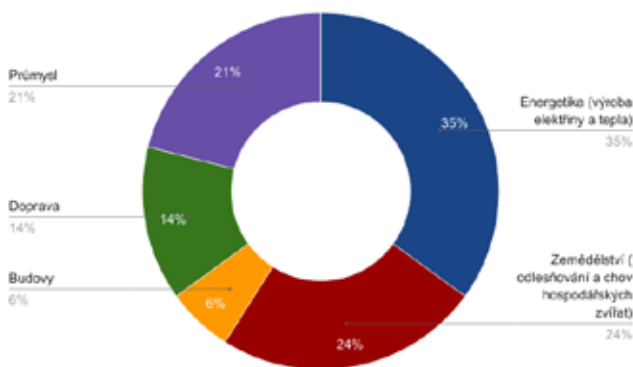
Hodnoty koncentrace CO_2 pocházejí z analýzy ledovcových vrtů EPICA v Antarktidě a z přímých měření na Mauna Loa, Hawaii
zdroj dat: NOAA – Národní úřad pro oceán a atmosféru Ministerstva obchodu Spojených států amerických

faktaoklimatu.cz

Obr. 14 Koncentrace oxidu uhlíčitého za posledních 800 000 let (zdroj: <https://faktaoklimatu.cz>)

matu a jejím environmentálním a socioekonomickým dopadu prostřednictvím Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC). Podle IPCC (vznik 1988) je vliv člověka na klimatický systém nezpochybnitelný a je zřejmý ze zvyšujících se koncentrací skleníkových plynů v atmosféře a pozorovaného oteplování. Vazba mezi tímto nárůstem a zvyšováním teploty Země je dobře známa. Výstupem činnosti IPCC jsou zprávy (vydávány v intervalu 5–6 let, první v roce 1990, poslední byla v roce 2015 šestá zpráva, v roce 2018 byla vydána tzv. Zvláštní varovná zpráva IPCC), kde jsou publikovány dosažené vědecké závěry o příčinách změny klimatu, jeho budoucím vývoji, dopadech a adaptacích.

Globální produkce skleníkových plynů podle ekonomických sektorů



Obr. 15 Celosvětový přehled emisí skleníkových plynů podle odvětví. Budovy = stavebnictví
(zdroj: U.S: Environmental Protection Agency)

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ

Celkové emise ČR za rok 2016



Obr. 16 Emise skleníkových plynů v ČR pro rok 2016
(zdroj: <https://faktaoklimatu.cz>)

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ

Celkové emise ČR za rok 2016



*CO₂eq je energeticky ekvivalentní jednotka skleníkových plynů, která umožňuje srovnání emisí různých skleníkových plynů (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC a SF₆) na základě jejich globálního potenciálu (GWP) přepočteného na CO₂, což by mělo stejný dopad na klima.

zdroj: Ústřední statistický úřad ČR, Český statistický úřad

Obr. 17 Emise skleníkových plynů v ČR pro rok 2016 – detailně. CO₂eq znamená, že jsou do celkových emisí započteny i další skleníkové plyny podle účinnosti. Např. molekula metanu je 21x účinnější v zachycování dlouhověného záření jak molekula oxidu uhličitého
(zdroj: <https://faktaoklimatu.cz>)

I když ČR nepatří v absolutních číslech mezi významné evropské emitenty (Obr. 18) je nutné zdůraznit, že v přepočtu na obyvatele je Česká republika 4. největším emitentem EU a má 2x vyšší emise na obyvatele než srovnatelně velké Švédsko (cca 10 mil. obyvatel).

- V oblastech bez přístupu k bezpečné pitné vodě bude do roku 2025 žít až 1,8 miliardy lidí.
- Emise metanu z chovu přežvýkavců se oproti roku 1961 zvýšily 1,7krát.
- Spotřeba vody na zavlažování se od roku 1961 zdvojnásobila.

Tato fakta vycházejí z celosvětových dat. Řada negativních trendů, pokud jde o nárůst emisí či spotřebu hnojiv, není trendem v ČR. Nicméně z doposud řečeného je zřejmé, že primární příčinou klimatické změny je poměrně razantní nárůst emisí skleníkových plynů, z nichž dominantní roli hraje oxid uhličitý. Proto je zásadní je snížit a není divu, že EU reaguje poměrně energicky a jejím cílem je v oblasti snižování emisí skleníkových plynů, energie z obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti. **Cílem je**

do roku 2020:

- 20% snížení emisí skleníkových plynů (oproti úrovním roku 1990).
- 20% podíl energie z obnovitelných zdrojů v rámci spotřeby energie.
- orientační cíl zlepšit energetickou účinnost o 20 % v porovnání s prognózou budoucí spotřeby energie.

do roku 2030:

- přinejmenším 40% snížení emisí skleníkových plynů (oproti úrovním z roku 1990).
- přinejmenším 27% podíl energie z obnovitelných zdrojů v rámci spotřeby energie závazný na úrovni EU.
- orientační cíl zlepšit energetickou účinnost alespoň o 27 % v porovnání s prognózou budoucí spotřeby energie, v roce 2020 bude tento cíl přezkoumán s ohledem na hodnotu 30 % pro EU22.

do roku 2050:

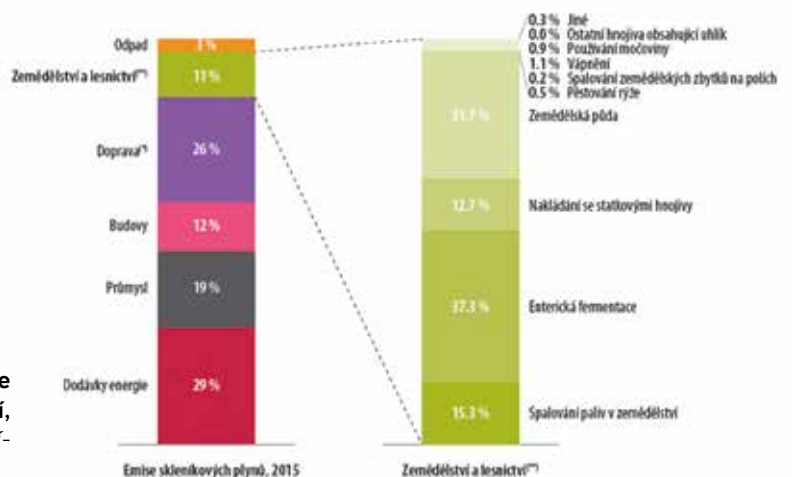
- EU má v úmyslu snížit emise skleníkových plynů v EU v porovnání s rokem 1990 o 80 až 95 %.

Cíle jsou to ambiciózní, ale jaká je realita? Podle závěrů Eurostatu (5/2018) pouze v sedmi z 28 států Evropské unie v roce 2017 ve srovnání s 2016 emise poklesly, ve zbytku zemí, včetně České republiky, byl naopak zaznamenán nárůst. Vůbec největší „přírůstek“ má na svědomí Malta, kde se množství emisí skleníkových plynů, vypuštěných do ovzduší, zvedlo meziročně o 12 %. Na dalších místech následují například Estonsko (11 %), Bulharsko (8,3 %), Španělsko (7,4 %), Portugalsko (7,3 %) a Maďarsko (7 %). V České republice se podle Eurostatu množství emisí skleníkových plynů meziročně zvýšilo o 3 %. To sice znamená také zřetelný nárůst, ovšem zároveň nejmenší ze skupiny 21 zemí EU, v nichž emise rostly.

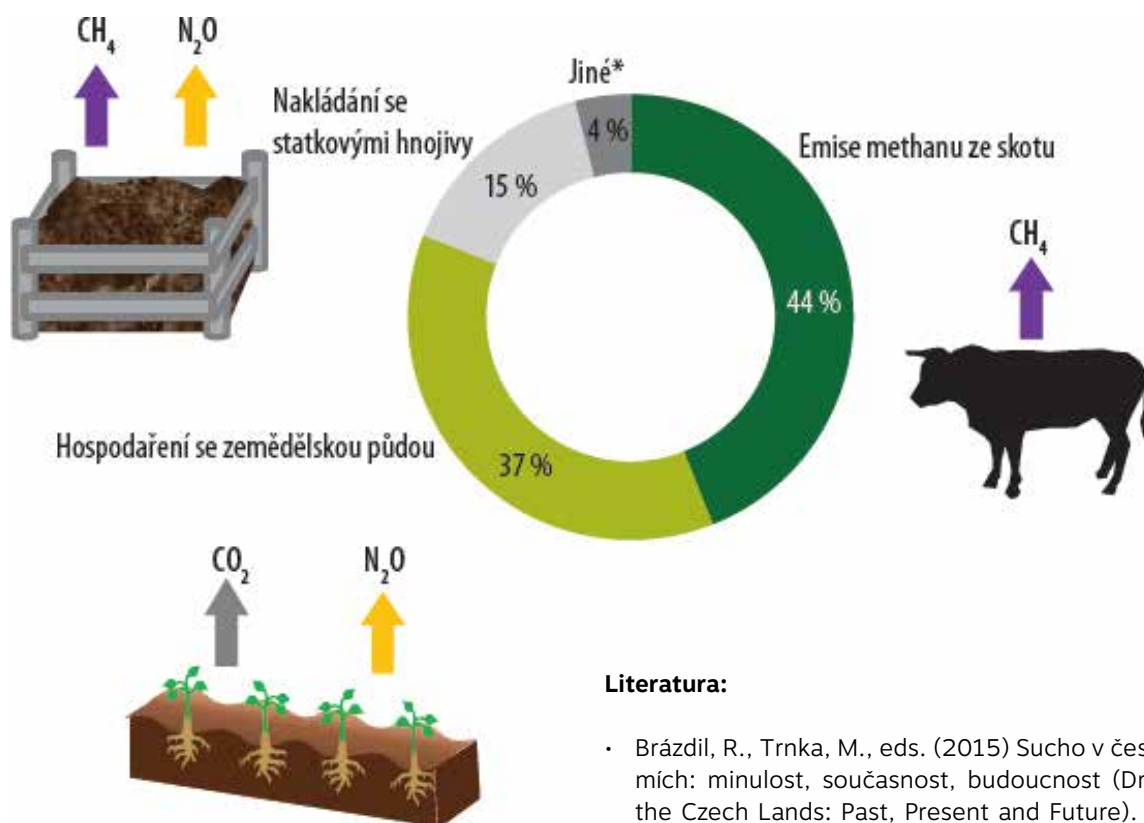
Jedinými zeměmi, kde množství emisí naopak v tomto období pokleslo, jsou Finsko (-5,9 %), Dánsko (-5,8 %), Velká Británie (-3,2 %), Irsko (-2,9 %), Belgie (-2,4 %), Litva (-0,7%) a Německo (-0,2 %). Zvláště v případě Německa, které už před lety vyhlásilo ambiciózní plán „energetické změny“ a přechodu na obnovitelné zdroje energie, se ale očekával mnohem razantnější pokles objemu vypouštěných skleníkových plynů.

Skleníkovým plynem, který je vypouštěn v největším množství, je oxid uhličitý (CO₂), který tvoří přibližně 80 % celkových emisí skleníkových plynů v EU, následuje metan (CH₄) s 11 %, oxid dusný (N₂O) s 6 % a fluorované plyny s 3 %.

Zemědělské emise skleníkových plynů obsahují zejména oxid dusný a metan, což jsou silnější skleníkové plyny než CO₂. Emise pocházejí zejména z trávicího procesu skotu a z obdělávání zemědělské půdy (Obr. 19, Obr. 20).



Obr. 19 Emise skleníkových plynů v EU v roce 2015 podle odvětví se zaměřením na zemědělství, (zdroj: EEA greenhouse gas – data viewer – Skleníkové plyny v EHP – přehled údajů, EEA, 2017)



Obr. 20 Struktura vypouštění skleníkových plynů ze zemědělství v EU 2015 podle zdroje, se zaměřením na zemědělství (zdroj: EEA greenhouse gas – data viewer – Skleníkové plyny v EHP – přehled údajů, EEA, 2017)

Jedinou oblastí, v níž ani EU nepočítá s výrazným omezením emisí, zůstává právě zemědělství. To se dnes podílí na produkci skleníkových plynů, zejména metanu, zhruba 15 %. „Zemědělství produkuje emise ponejvíce při chovu dobytka. A těžko si lze představit, že bychom dobytek vybíjeli kvůli skleníkovým plynům,“ řekl už dříve Artur Runge Metzger z generálního ředitelství pro klima při Evropské komisi. Pokud by navíc měli zemědělci snížit množství emisí třeba přechodem na jiné formy zemědělské produkce, lidé by museli zásadně změnit své stravovací návyky. „A to se nedá příliš předpokládat,“ uvedl Metzger.

Ve všech ostatních oborech lidské činnosti by ale měly podle něj emise skleníkových plynů výrazně poklesnout. Poslední statistika Eurostatu však autorům tohoto ambiciózního plánu nedává příliš důvodů k optimismu. I když investice do obnovitelných zdrojů a chytrých technologií skutečně rostou, v mnoha zemích EU nestačí k zastavení či výraznému snížení produkce emisí, kopírujících současný hospodářský růst.

Literatura:

- Brázdil, R., Trnka, M., eds. (2015) Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost (Drought in the Czech Lands: Past, Present and Future). Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno, 400 s.
- Metelka, L., Tolasz, R. (2009) Klimatické změny: fakta bez mýtů. Centrum pro otázky životního prostředí, Praha, 35 s.

2. 3. Zemědělská krajina a její náchylnost k suchu

Zemědělské sucho je důsledek interakce mezi klimatem a půdním prostředím. Půda dokáže v sobě pojmout obrovské množství vody a její význam v koloběhu vody je s nástupem klimatických extrémů stále rostoucí. Zemědělská půda zadrží více vody než většinou chudší půdy lesní, které sice nejsou schopny vodu zadržet dlouhodoběji, dokáží jí však rychle propouštět do hlubších vrstev a přispívají tak k doplňování podzemních vod. Zemědělská krajina doznala během staletí podstatných změn, kdy především uplynulá desetiletí změnila její ráz, a výrazně ovlivnila schopnost plnit produkční i mimoprodukční funkce. Následující odstavce se zvláště zaměří na měnící se hydrologické aspekty půdy, které úzce souvisí s projevy zemědělského sucha. Zahrnují také nejnovější poznatky výzkumu v tomto vědním oboru zaměřené na území ČR.

Historický vývoj zemědělské krajiny a hospodaření na půdě

Lidé od nepaměti měnili a měnili tvář krajiny, zemědělskou nevyjímaje. Retrospektivně bychom se v této kapitole zaměřili na „úzké“ období 19. a 20. století a zmínili

zde vývoj zemědělské krajiny i hospodaření na půdě, respektive změny, které měly/mají dopad na půdu a zemědělské sucho v současnosti. Mnohé změny jsou logické, vyžadované dobou, potřebami společnosti i ekonomickými aspekty. Často se však zapomíná na fakt, že půda by měla uživit i naše potomky a není možné jenom z ní brát, ale je nutné též do ní investovat a hospodařit tak s vizí dlouhodobé udržitelnosti. Klimatické extrémní posledních let a důležitost stavu půdy při odolnosti půdy vůči zemědělskému suchu tento fakt jen potvrzují.

Vlastnictví zemědělské půdy

Významná změna měnící charakter zemědělské krajiny proběhla během druhé světové války. Před ní byla krajina rozdělena nespočtem malých políček odlišných zemědělských kultur a půda byla hodnotným majetkem, který přinášel zisk a zabezpečoval obživu nejen dalším generacím hospodařících zemědělců. Zemědělská činnost byla dělena mezi rostlinnou a živočišnou výrobu a koloběh živin i organických látek tak byl v rámci subjektu víceméně uzavřený. Poválečné znárodnění zemědělské půdy a scelování pozemků vedlo k zásadní změně vzhledu a funkčnosti zemědělské krajiny (Obr. 21, Obr. 22).



Obr. 21. Změna charakteru zemědělské krajiny na příkladu Kyjovska v okrese Hodonín (vlevo 50. léta 20. století před scelováním pozemků, vpravo současnost)



Obr. 22 Současný satelitní pohled na jižní Moravu sousedící s regionem Niederösterreich v Rakousku

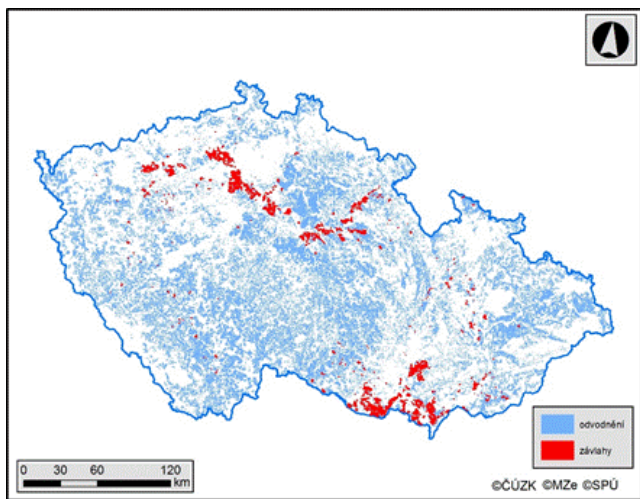
Změna fragmentace krajiny posílila projevy degradačních faktorů akcelerací jejich příčin (delší svahy, změna pestrosti osevních postupů, mikroklimatu apod.). V současnosti je valná většina pozemků propachtována (>74 %, stav k roku 2018), zpřetrhány jsou vazby mezi vlastníkem a půdou a v rámci

Evropské unie (EU) má Česká republika (ČR) jedny z největších dílů půdních bloků (DPB). Přes snahu Ministerstva zemědělství (MZe) o podporu fragmentace omezením velikosti ploch s jednou plodinou je stále složité zajistit ochranu takto rozsáhlých ploch například před vodní erozí. Mnohé půdy jsou

tímto degradačním procesem natolik narušeny, že ztratily přirozenou schopnost zadržovat vodu a toto poškození se projevuje horšími výnosy v klimaticky extrémních letech s vysokými teplotami a nízkým úhrnem srážek.

Meliorace zemědělské krajiny

Meliorace mají obecně za cíl zlepšení půdních podmínek produkčně horších stanovišť a patří do nich nejen odvodnění, ale také závlahy, úprava nevhodné půdní reakce, nebo třeba protierozní ochrana. V ČR je odvodněno cca 25 % zemědělských půd a oproti cca 4 % plochy vybudovaných závlah se jedná o dominantní meliorační zásah (Obr. 23).



Obr. 23 Rozsah vybudovaných závlahových a odvodňovacích systémů

Odvodnění se nejvíce budovalo v letech 1935–1940 a 1965–1985. Především druhé období nebylo omezeno vlastnickými vztahy a tak převládala systematická plošná drenáž (Obr. 24).



Obr. 24 Ukázka systému drénů a regulace toků na lokalitě Železná u Smolova (okres Domažlice)

Funkční odvodnění změnilo ráz krajiny a umožnilo intenzifikaci zemědělské výroby a také zvýšení produkce. Snaha o odvodnění pozemků byla dána nejen nutností zajistit jejich dostupnost pro mechanizaci, ale vycházela z poznatků předků, že v chladnějším klimatu konce 19. a první poloviny 20. století, byly největší problémy s propady výnosů v nadprůměrně vlhkých letech. V takových poskytovaly odvodněné pozemky stabilnější produkci. Na druhou stranu však změna krajiny spojená s odvodněním urychlila odtok vody z ní a mnohdy poškodila ekologické funkce půd s negativními dopady na celou zemědělskou krajinu (Obr. 25). Odvodnění má v zemědělské krajině své místo, a to zvláště v chladnějším klimatu, které

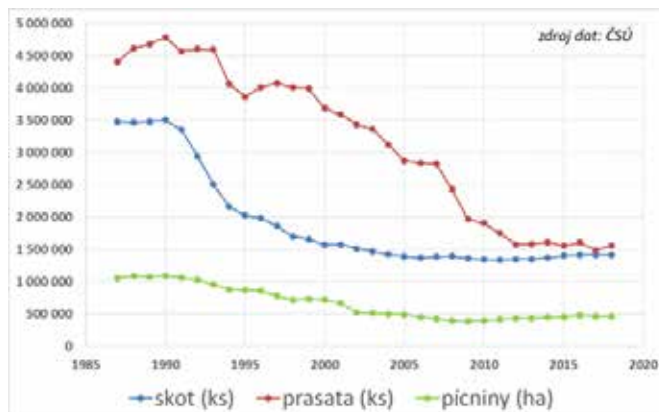
panovalo v ČR do počátku 90. let, ale mnohdy byly bohužel odvodněny i lokality nevhodné a často cenné z pohledu druhové diverzity či lokálních vodních zdrojů. Přes snahu o možnost regulace odvodnění, či jeho revitalizaci však lze funkční odvodnění zařadit k aspektům přispívajícím k projevům zemědělského sucha posledních let.



Obr. 25 Příklad narovnění meandrujícího toku Farského potoka v rámci provedeného odvodnění (stav v 50. letech 20. století, modře znázorněn současný narovnaný tok potoka)

Změna skladby zemědělské výroby

Obr. 26 dokumentuje změny ve skladbě zemědělské výroby. Především, i když nejen, díky ekonomickým vlivům klesly mezi hodnocenými lety stavy hospodářských zvířat a v mnohých oblastech se v současnosti hospodaří bez živočišné výroby. S vymizením této složky hospodaření poklesly zákonitě také plochy víceletých pícnin a množství vyprodukovaných statkových hnojiv. Tyto změny v důsledku negativně ovlivnily půdu a retenci a infiltraci vody, neboť negativně působí na fyzikální stav půdy, biologické oživení i stabilitu půdní struktury. Takto poškozená půda pak opět přispívá k akceleraci negativ zemědělského sucha.



Obr. 26 Změna skladby vybraných ukazatelů rostlinné a živočišné produkce

Zábory zemědělských půd

Tab. 1 Úbytek zemědělského půdního fondu (ZPF) na území ČR od 2007 (zdroj: situační a výhledové zprávy MZe – Půda)

Rok	Výměra ZPF celkem k 31.12. [ha]	Meziroční úbytek [ha]
2017	4 205 288	3 086
2016	4 208 374	3 561
2015	4 211 935	3 686
2014	4 215 621	2 544
2013	4 218 165	6 224
2012	4 224 389	4 778
2011	4 229 167	4 334
2010	4 233 501	5 474
2009	4 238 975	5 111
2008	4 244 086	5 093
2007	4 249 179	5 227
2006	4 254 406	

(zdroj: situační a výhledové zprávy MZe – Půda)

Za posledních sto let se zemědělská obhospodařovaná produkční plocha (především orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty) snížila o 1,6 mil. ha. V roce 1918 se zemědělsky hospodařilo na 5,1 mil. ha. V roce 2017 činila obhospodařovaná zemědělská půda jen 3,5 mil. ha (ČSÚ, 2018). Celkem tedy došlo k úbytku o 1,6 mil. ha. Ze zprávy MZe (MZe, 2018) dále vyplývá, že od roku 1999 do roku 2017 celkem denně ubylo v průměru 11 ha a to převážně v důsledku záboru půdy pro nezemědělské účely zvláště pro lesní pozemky, minoritně pro zástavbu.

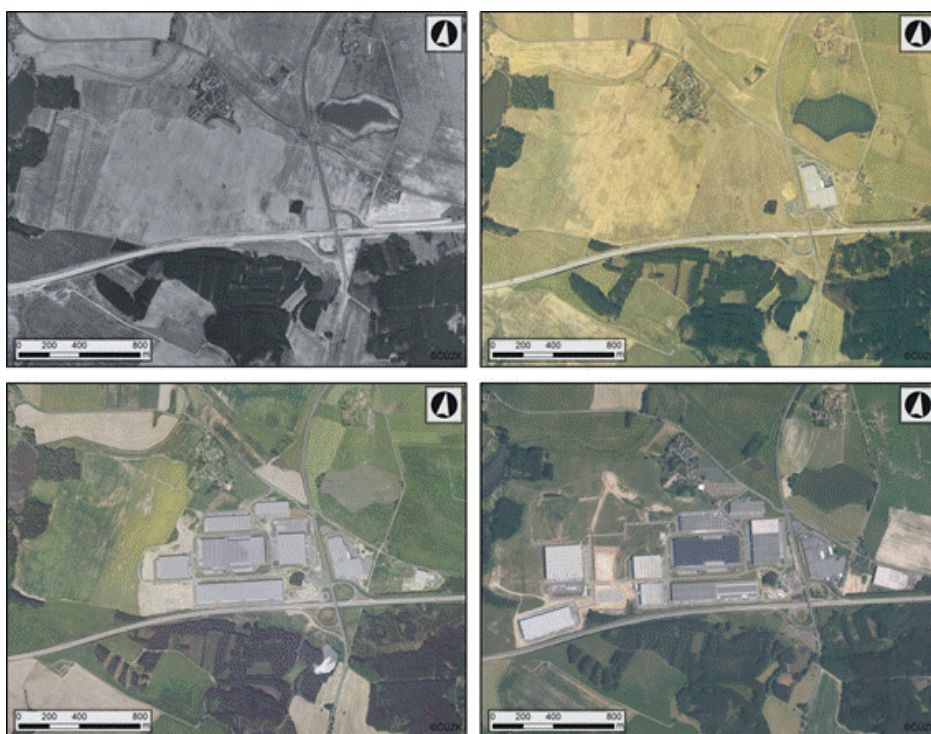
Zábor půdy pro zástavbu je vážným degradačním faktorem, který způsobuje úplnou a trvalou ztrátu schopnosti půdy plnit své produkční i ekologické funkce. Při výběru pozemků pro výstavbu jsou často prioritní zcela jiná hlediska než kvalita půdy, která bude znehodnocena jejím zábo-rem pro nezemědělské využití. Skrývka ornice a její převoz na jiné místo řeší tento problém jen velmi omezeně (Vopravil et al., 2010). Tab. 1 ilustruje úbytek

zemědělského půdního fondu (= zemědělská půda + rybníky + nezemědělská půda potřebná k zajištění zemědělské výroby, závlahové nádrže apod.). Pozitivem je snižování záboru v posledních letech.

Snižující se plocha zemědělské půdy sebou přináší dva problémy – snížení celkové retenční kapacity zemědělských půd i zrychlený povrchový odtok vody ze zastavěných lokalit. Oba faktory přispívají k projevům zemědělského sucha, kdy nejsme v zemědělské krajině schopni vodu zadržet, naopak často vytváříme velké nepropustné plochy a umělé odtokové erozní linie. Příklad rozšiřování zástavby je zachycen na Obr. 27.

Současný stav půdy – obecné dopady na zemědělské sucho

V roce 2016 byl Ministerstvem zemědělství zadán dvouletý funkční úkol zabývající se popisem změn vlastností zemědělských půd. Cílem hodnocení bylo zajištění podkladů pro strategické dokumenty státní správy směřující k optimalizaci produkčních a mimoprodukčních funkcí orné půdy opírající se o zjištěné trendy. Retrospektivní monitoring půd byl proveden na reprezentativním souboru 171 párových sond, kdy pro popis historického stavu půd byla využita databáze Komplexního průzkumu půd (KPP). Opakované odběry sond a analýzy vzorků provedené po cca 40 letech zjistily alarmující negativní změny především ve vybraných fyzikálních parametrech půdy, a to jak v orničním, tak podorničním horizontu. Utužení

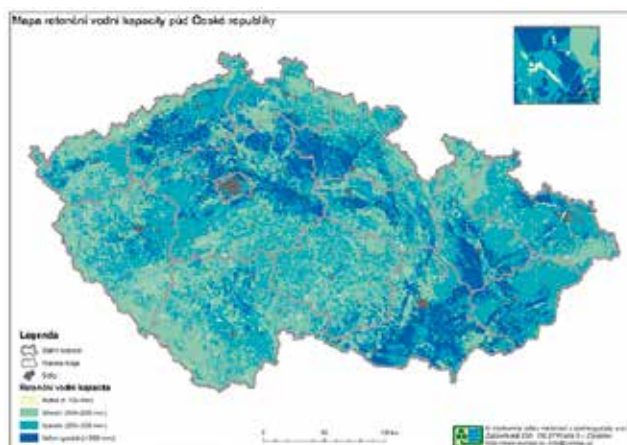


Obr. 27 Rozšiřování zástavby poblíž dálnice D5 (k. ú. Ostrov u Tachova) – zleva doprava roky 1998, 2005, 2008 a 2018

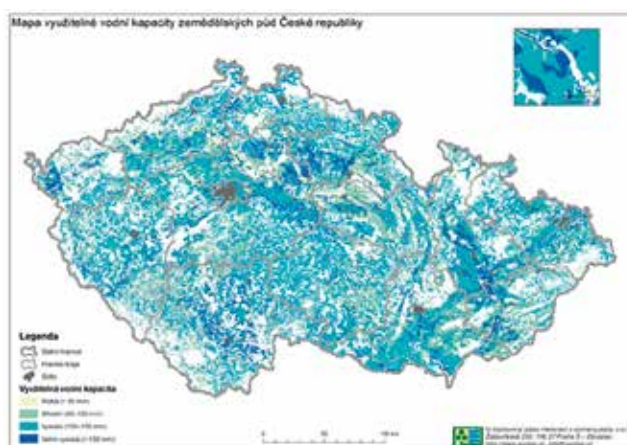
půdy negativně ovlivňuje koloběhy prvků a látek, změna vzdušných parametrů půdy negativně působí na růst plodin i biologické oživení. V současné době dlouhodobých bezsrážkových period je však zásadní negativní dopad na vsak (infiltraci), respektive zadržení (retenci) vody, kdy se i hluboká půda chová díky nepropustné vrstvě v profilu jako půda mělká s omezeným retenčním prostorem. Zvýšení obsahu jemných pórů na úkor pórů hrubších omezuje vstup vody do půdy a její transport profilem do větších hloubek, stejně jako její dostupnost pro rostliny. V případě přívalových srážek je tak podpořen povrchový odtok a v důsledku také eroze půdy. Bohužel k nápravě negativního stavu fyzikálních parametrů už nepomáhá ani průběh zim. Změna klimatu přináší na naše území mírné zimy, kdy je půda před zimou suchá a díky vyšším teplotám navíc nepromrzá do potřebných hloubek a nedochází k roztrhání utužených horizontů působením mrazu. Rozsáhlé lány zemědělské půdy navíc sebou přináší možnost využití těžké zemědělské mechanizace, která při nevhodném využívání (např. absenci přístupu využití kolejových řádků, či neodpovídajícího měrného tlaku v pneumatikách) přispívá k dalšímu zhoršování současného stavu.

Retenční schopnost krajiny

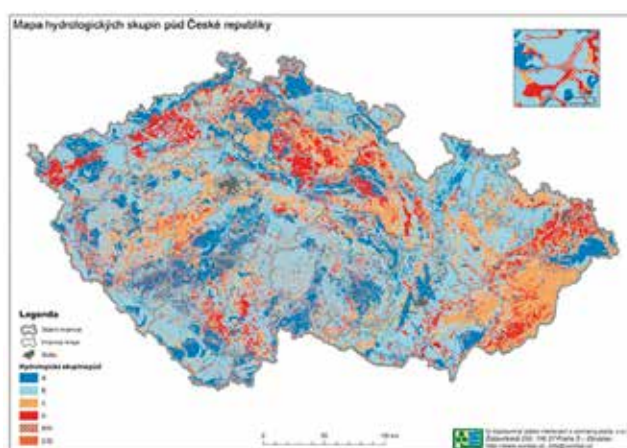
Mnohé půdy v ČR jsou odkázány pouze na dotaci vody z atmosférických srážek, a tak je o zachování kapacity i dostupnosti vody v ní potřeba pečovat. Množství vody, které je půda schopná dlouhodobě zadržet (=retenční vodní kapacita, RVK) v sobě zahrnuje vodu rostlinám dostupnou (=využitelná vodní kapacita, VVK) i nedostupnou (=pod bodem vadnutí). Kvalitní černozem je při optimálním stavu schopná zadržet až 360 l/m³, degradace půdy však retenční prostor snižuje (eroze, dehumifikace, acidifikace, utužení – tvorba nepropustných vrstev) a mění poměr dostupné a nedostupné vody (utužení a změna poměru pórů). V roce 2018 byly publikovány nové mapy vybraných hydrologických funkcí půdy odrážející aktuální stav zemědělské krajiny ČR. Jedná se o mapy retenční vodní kapacity (Obr. 28), využitelné vodní kapacity (Obr. 29) a mapu hydrologických skupin půd (Obr. 30). Další degradace půdy může přinést nežádoucí změny a dopady během klimatických extrémů, kdy je potřeba podpořit přirozenou schopnost půdy k plnění hydrologických funkcí půdy.



Obr. 28 Mapa retenční vodní kapacity půd v ČR



Obr. 29 Mapa využitelné vodní kapacity zemědělských půd v ČR



Obr. 30 Mapa hydrologických skupin půd v ČR

Eroze a její vliv na snížení retenčního prostoru půdy

Erozi lze označit za přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdního povrchu, transportu půdních částic a jejich následnému usazování. V rámci základního členění se eroze rozlišuje na erozi normální (geologickou) a zrychlenou. Normální eroze neustále přetváří reliéf území, je přirozená a probíhá pozvolně. Tento proces je z hlediska délky lidského života prakticky nepozorovatelný a je v souladu s půdotvorným procesem. Jejím působením byly mimo jiné vytvářeny i takové přírodní útvary, jejichž krása a unikátnost významně obohacuje naši krajinu. Problém však nastává v případě zrychlené eroze. Tímto pojmem označujeme proces eroze urychlený zemědělskou či jinou lidskou činností narušující povrch půdy. Zrychlená eroze odnáší půdní částice v takovém rozsahu, že již nemohou být nahrazeny přirozeným půdotvorným procesem (Fulajtár a Janský, 2001).

Eroze půdy je zapříčiněna vícero činiteli, proto rozlišujeme erozi vodní, větrnou, sněhovou, ledovcovou a gravitační. Dlouhodobým působením eroze jsou přetvářeny kvantitativní a kvalitativní vlastnosti půd. Kvantitativní změny spočívají zejména ve snižování hloubky půdního profilu a v závažných případech i ve snižování rozlohy půd. Erozí jsou půdy ochuzovány o svou nejurodnější část – ornici. Pěstované plodiny tak nemají dostatečnou hloubku orniční vrstvy, což se projevuje u rostlin v prokořenění, příjmu živin a následném růstu. Do změn kvalitativních parametrů pak řadíme degradaci fyzikálních, chemických i fyzikálně-chemických vlastností půd:

- zrnitostní složení – nejjemnější půdní částice jsou vlivem působení činitelů odnášeny a dochází ke zvýšení obsahu frakcí s větší velikostí částic (nejčastěji šterkovitost)
- struktura půdy – dochází ke změně uspořádání půdních částic tzv. agregátů, které se stávají méně odolné.
- objemová hmotnost – změny objemové hmotnosti půdy nastávají v důsledku ztráty nejjemnějších půdních částic a promícháním jednotlivých půdních horizontů při zpracování.
- pórovitost – snížením množství pórů dochází k omezení infiltrace povrchové vody do půdy a výměně půdního vzduchu.
- vodní kapacita – úzce souvisí se změnou zrnitostního složení, kdy erodované půdy ztrácejí schopnost zadržet v půdním profilu vodu ze srážek.
- změna obsahu živin v půdě – erozí dochází nejčastěji k vyplavování živin do povrchových a podzemních vod.
- organická hmota, humusové látky – jsou vázány na

nejjemnější půdní frakce, a tak vlivem eroze dochází k plošnému snižování obsahu organických látek.

- přípravky na ochranu rostlin – tyto prostředky jsou mobilní (v prostředí pohyblivé) a dochází k jejich znehodnocení a nežádoucím sekundárním účinkům s odtokem a erodovanými půdními částicemi.

Vlivem dlouhodobého působení eroze dochází k výrazným ztrátám na produkci. Je uváděno, že na slabě erodovaných půdách jsou výnosy sníženy přibližně o 15–20 %, na středně erodovaných půdách 40–50 % a na silně erodovaných půdách až o 75 % (Novotný a kol., 2017). Tyto ztráty jsou způsobeny jak samotným zhoršením kvalitativních a kvantitativních vlastností půdy, tak i přímými škodami v důsledku ztrát osiv a vzcházejících rostlin. Výsledkem je negativní ekonomický dopad na uživatele půdy, který dále musí zvyšovat vnější vstupy do půdy s cílem udržet požadovanou úrodnost a zisk.

Ke škodám však nedochází pouze na daném pozemku. Transportované půdní částice a na ně vázané látky znečišťují další okolní prostředí. Typickým příkladem v případě vodní eroze je zanášení akumulčních prostorů nádrží a vodních zdrojů, snižování průtočné kapacity koryt, zakalení povrchových vod, zhoršení prostředí pro vodní organismy a zvýšení nákladů na těžbu sedimentů. Tyto sedimenty, pokud obsahují organické látky, se bez přístupu kyslíku rozkládají a uvolňuje se metan tedy významný skleníkový plyn. V době velkých průtoků je umocněna povodňová situace, kdy může dojít i k poškození zástavby obcí a technické infrastruktury. V případě větrné eroze jde především o znečišťování ovzduší a škody v důsledku navátí ornice. (Janeček a kol., 2012).

Vodní eroze

Vodní erozi označujeme jako komplexní proces, zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. Vodní eroze v České republice ohrožuje v současnosti okolo 60 % výměry orné půdy. Na její vznik má největší vliv sklonitost pozemku v kombinaci s délkou pozemku po spádnicí. Mezi další faktory významně ovlivňující míru vodní eroze patří vegetační pokryv, vlastnosti půdy a její náchylnost k erozi, uplatněná protierozní opatření a v neposlední řadě i četnost výskytu přívalových srážek. Nejčastěji se s vodní erozí můžeme setkat od května do září, kdy se vyskytne téměř 97 % všech erozně nebezpečných dešťů. Proto by v těchto měsících měl být kladen silný důraz na ochranu povrchu půdy, zejména vegetačním pokryvem. S nebezpečím výskytu vodní eroze je nutné počítat i v zimě, resp. v jarním období, které je spojené s táním sněhu. Z tohoto pohledu je obzvláště rizikové rychlé tání nově napadlého sněhu na rozmrazující půdu (Janeček a kol., 2008).

Vodní eroze se obvykle z hlediska jejího rozsahu působení dělí na erozi plošnou a erozi výmolvou. Přechod mezi nimi je pozvolný a souvisí s přeměnou plošného odtoku vody na odtok soustředěný. Dalším znakem eroze dokládajícím její vznik a průběh na pozemku je proces ukládání (Obr. 31) erodovaných a transportovaných půdních částic (Vopravil a kol., 2010).

Plošná eroze – typickým znakem je rozrušování a rovnoměrný smyv půdních částic po celé ploše, čímž dochází k plošnému odtoku a postupnému snižování mocnosti půdy. Plošná eroze má silné selektivní působení, kdy jsou vyplavovány především jemnozrnné frakce půdy. Na první pohled nezanechává plošná eroze na povrchu půdy viditelné stopy, lze ji však zjistit z akumulovaného jemnozrnného materiálu zpravidla v dolních částech svahů (např. vpichovou či kopanou sondou). Dalším znakem plošné eroze může být i nestejněmorné vzcházení zasetých plodin v důsledku rozdílné vlhkosti.

Výmolvá eroze – spočívá v postupném soustřeďování plošného odtoku a následném vytváření mělkých, postupně se prohlubujících zářezů. Výmolvá eroze je typická pro dlouhé svažité pozemky a členitý terén. Podle intenzity ji dále dělíme na rýžkovou, brázdovou, rýhovou, výmolvou a stržovou.



Obr. 31 Akumulace erodované půdy na úpatí svahu

Větrná eroze

Větrná eroze je ovlivněna z převážné části meteorologickými a půdními poměry a v zásadě se může vyskytovat po celý rok. Její plošný rozsah v podmínkách České republiky je okolo 10 % rozlohy zemědělských půd. Nejškodlivější bývá na jaře po suché, sněhem chudé zimě. Vítr v tomto období strhává velice snadno z polí bez vegetace vyschlou ornici. Riziko výskytu větrné eroze se zvyšuje i v podzimním období, kdy je mnoho zemědělských pozemků znovu bez vegetačního pokryvu. Z meteorologických faktorů ovlivňuje nejvíce větrnou erozi rychlost a směr větru, doba jeho působení a četnost výskytu. Mezi další faktory patří i množ-

ství a forma atmosférických srážek nebo výpar ovlivněný teplotou. S rostoucí velikostí půdních částic roste i potřebná rychlost větru, aby k odnosu daných částic došlo. Z toho vyplývá, že nejvíce jsou větrnou erozí ohroženy půdní částice s nejmenšími rozměry. Při rychlosti 5 m/s může vítr unášet částice o velikosti 0,25 mm, při rychlosti 9 m/s o velikosti 0,75 mm a při rychlostech 12 m/s částičky až o velikosti 1,25 mm (Kučera a kol., 2017).

Míru větrné eroze je možné výrazně ovlivnit stavem půdního povrchu, kdy se zvyšující se drsností reliéfu povrchu dochází ke zpomalujícímu účinku větru. Nejlepší ochranu však poskytuje vegetační kryt. Ten snižuje rychlost větru při povrchu půdy, absorbuje jeho značnou část kinetické energie a chrání půdní částice před přímým nárazem větrného proudu. Uvolňování půdy je možné ovlivnit agrotechnickými termíny a způsoby zpracování. Při přípravě půdy za suchého období dochází k uvolňování půdních částic i při povětrnostních podmínkách, které za normálních okolností větrnou erozi nepůsobí. Dalším důležitým faktorem je délka nechráněného pozemku. Čím je delší pozemek ve směru působení větru, tím je uvolňován větší počet půdních částic. Přerušením délky pozemku se snižuje intenzita odnosu půdy. Pro přerušení jsou vhodné ochranné lesní pásy či jiné typy poloproduktivních větrolamů. Nejúčinnějším typem je výsadba složená z jedné či dvou řad stromů doplněná o keřové patro (Khel a kol., 2017).

Význam zemědělské půdy v boji proti suchu (praktické ukázky z měření simulátorem deště apod. na stav půdy a zadržení vody v jejím profilu apod.)

Technologie, u kterých byl prokázán efekt šetrného způsobu hospodaření s půdou, se označují jako tzv. půdoochranné. Jedním z hlavních nástrojů k ověření protierozního efektu a míry infiltrace vody do půdy vůči povrchovému odtoku slouží polní simulátor deště vyvinutý na Výzkumném ústavu meliorací a ochrany půdy (Obr. 32).



Obr. 32 Ukázka ze simulace polním simulátorem deště

Princip měření simulátorem deště spočívá v rozstříku vody na jasně definovanou a ohraničenou plochu 21 m², kdy trysky ve zvoleném režimu postříkují plochu po celou dobu měření. Režim postřiku probíhá při první simulaci po dobu 30 minut na přirozeně suchou půdu, po níž následuje 15minutová technologická pauza. Následně se přistupuje k druhé 15minutové simulaci na půdu vlhkou, které má představovat snížené infiltrační schopnosti v důsledku předchozího nasycení. Intenzita simulované srážky byla volena na podkladě doporučení Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), založeného na průměrné intenzitě přívalem srážky v České republice, tedy 1,2 mm/min. Pro ověřování účinnosti protierozních opatření je dbáno, aby byly zvoleny jednotné a standardizované podmínky na všech pokusných variantách. Ověřování během sezóny probíhá opakovaně, tak aby se zachytil efekt zpracování půdy a většina růstových fází plodiny.

Technologie přímého setí do nezpracované půdy

Velice příznivé výsledky z hlediska omezení ztráty půdy a povrchového odtoku (Tab. 2) byly prokázány u technologie přímého setí do nezpracované půdy. Jejím cílem je na co možná nejkratší dobu nechat půdu bez vegetačního pokryvu. Kombinace podrcené slámy jako mulče

a rychlého založení porostu meziplodiny lze považovat za vhodnou z hlediska ochrany půdy i v letním období, kdy je ještě stále vysoká pravděpodobnost výskytu přívalem dešťů. Před nebo během zpracování strniště předplodiny je vhodné aplikovat i minerální hnojiva. Správně založený porost meziplodiny chrání půdu nejen před erozí (snížení ztráty půdy oproti konvenčnímu zpracování o 65 %), ale též povrchovou vrstvu půdy před narušováním půdní struktury v době podzimních dešťů. Pokud panují v období zimy silnější mrazy, dochází poměrně rychle k umrtvení nadzemí biomasy meziplodiny. Bohužel vzhledem ke klimatickým změnám na mnoha místech k přemrznutí meziplodiny nedojde, a pak je nezbytné použít některý ze schválených herbicidních přípravků. Pokud byla meziplodina správně založena, tvoří ještě v době setí jařin (duben, květen) hustý pokryv povrchu půdy. V této době se nedoporučuje porost kypřit a organickou hmotu zapravovat (platí na sklonitých pozemcích, kde je velká pravděpodobnost eroze). Tímto zásahem by se výrazně snížil protierozní účinek technologie. Pro zasetí hlavní plodiny je nezbytné využít bezorebný secí stroj. Využití technologie přímého setí do vymrzající meziplodiny je efektivní protierozní opatření především při pěstování kukuřice (Hůla a kol., 2003).

Tab. 2 Průměrné množství povrchového odtoku u ověřovaných technologií polním simulátorem deště dosažené na hnědozemích lokalitě Jevíčko

Posuzovaná technologie	Průměrný povrchový odtok v I. termínu simulace	Průměrný povrchový odtok ve II. termínu simulace	Průměrný povrchový odtok ve III. termínu simulace	Průměr za všechny simulace	Relativně ke konvenční orbě
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
Konvenční varianta – orba (široký řádek)	8,9	7,8	6,5	7,7	100
Konvenční varianta – orba (úzký řádek)	8,8	7,8	6,0	7,5	97,4
Setí do strniště ozimého žita (široký řádek)	4,5	3,9	3,6	4,0	51,8
Setí do strniště ozimého žita (úzký řádek)	4,7	4,0	5,7	4,8	62,3
Strip-till do ozimého žita jarní	2,9	3,7	1,4	2,6	33,8
Strip-till do ozimého žita podzimní	3,3	4,8	5,1	4,4	57,1

Technologie pásového zpracování půdy

V posledních letech ověřování simulátorem deště byly velice příznivé výsledky ztráty půdy a míry infiltrace povrchové vody zaznamenány i u technologie pásového zpracování půdy též nazývané strip-till (Obr. 33). Postup agrotechnických operací je podobný jako u předešlé technologie přímého setí. Zásadním rozdílem této technologie je zpracování půdy v pásech, tedy místě potřebném pro růst plodiny a aplikaci potřebných živin. Takto zpracovaný pás s šíří odpovídající danému druhu cílové plodiny dokáže poskytnout vhodné podmínky pro vývoj kořenového systému a výživu nadzemní části rostliny. Samotné stěny zpracovaného pásu jsou v celé hloubce profilu neutužené, protože k jejich kypření nedochází díky kontaktu s pracovními nástroji. Mírné utužení nastává pouze na dně pásu, kde se pracovní nástroj – dláto opírá o dno drážky. Tento stav je ovšem logický a nevyhnutelný. Díky tomu není zásadně omezena infiltrace vody do hlubších vrstev půdy. Optimální je, pokud samotný tvar zpracované půdy v pásu je konvexní (vypouklý) a tvoří



Obr. 33 Pásové zpracování půdy strojem ECO-Tiller

tzv. hrůbek. Povrchová voda má pak tendenci směřovat do nezpracované části, kde mírní povrchový odtok rostlinné zbytků meziplodin. Voda má tak delší čas infiltrovat (Obr. 34). Pokud by tvar zpracovávaného pásu byl již od počátku v rovině, postupným sesedáním by se vytvořil konkávní (vydutý) tvar směrem do země, který by v případě nástupu povrchového odtoku působil pro vodu jako kolektor (Kincl a kol., 2017). Přítomnost rostlinných zbytků v nezpracovaném meziřadí je žádoucí, protože bez nich by cíleného protierozního efektu nebylo dosaženo (snížení ztráty půdy oproti konvenčnímu zpracování o 69 %). Mezi nejčastěji používané meziplodiny a předplodiny se řadí svazenka vrtičolistá, žito ozimé a hořčí-

ce setá, i když u ní jsou některé odrůdy díky kořenovým výměškům nevhodné. Termínově může být technologie pásového zpracování provedena v jarním i podzimním období. O termínu provedení by měla rozhodovat vhodnost půdně-klimatických podmínek. Setí do zpracovaných pásků se opět provádí bezorebným secím strojem s přesným navigačním systémem (Šedek a kol., 2018).

Závěrem lze konstatovat, že na stejné lokalitě, půdě a plodině lze jen s využitím jiného managementu snížit vodní erozi až o více než 90 % a snížit odtok vody z pozemku až o více než 60 %. Další poznatky k technologii strip-till a využití meziplodin z jiného úhlu pohledu jsou v kapitole 6. 3.



Obr. 34 Profil pásu při podzimním zpracování – voda stéká do nezpracované části

Literatura:

- Český statistický úřad (2018): České zemědělství očima statistiky 1918-2017. ČSÚ, Praha. Č. j. CSU-01076/2018-54. 85 s.
- Hůla J. a kol. (2003): Agrotechnická protierozní opatření, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 48 s.
- Kincl D. a kol. (2017): Kukuřice bez eroze. Úroda, Praha, 41-45.
- Šedek A. a kol. (2018): ECO TILLER stroj pro pásové zpracování půdy od společnosti P & L, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 27 s.
- Fulajtár E., Janský L. (2001): Vodná erózia pôdy a protierozná ochrana, Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava, 308 s.
- Janeček M. a kol. (2008): Základy erodologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 164 s.
- Janeček M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před vodní erozí, Česká zemědělská univerzita, Praha, 117 s.

- Khel a kol. (2017): Metodika hodnocení účinnosti a realizace větrolamů v krajině jako nástroj pro ochranu půdy ohrožené větrnou erozí, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 211 s.
- Kučera J. a kol. (2017): Hodnocení rizika větrné eroze v zemědělské krajině na příkladu k. ú. Micmanice, Úroda, 12, Troubsko, 127-132.
- Ministerstvo zemědělství (2018): Situační a výhledová zpráva půda. Praha, 146 s. ISBN 978-80-7434-476-3.
- Novotný I. a kol. (2017): Příručka ochrany proti vodní erozi. 3. aktualizované vydání, Ministerstvo zemědělství, Praha, 86 s.
- Vopravil J. a kol. (2010): Půda a její hodnocení v ČR – díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 148 s.

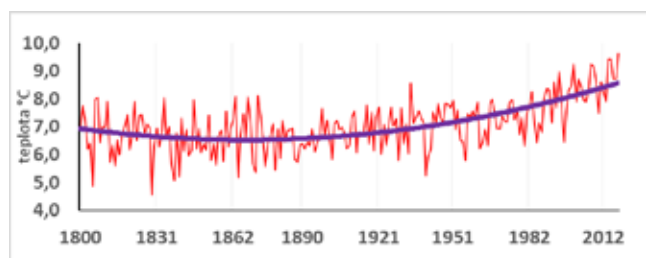
3. OČEKÁVANÝ VÝVOJ ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA V PRŮBĚHU 21. STOLETÍ

O budoucnosti se často poučíme v minulosti. Pro posuzování sucha jsou klíčové dva meteorologické prvky (teplota a srážky) a pokud se podíváme do minulosti na jejich vývoj, můžeme pozorovat pro ČR růst teplot (Obr. 35) a stagnaci srážek (Obr. 36). Detailně se vývoji meteorologických prvků za posledních cca padesát let věnuje kapitola 2. 1. Zde si připomeňme oba prvky v časové řadě od počátku měření meteorologickými přístroji.

Průměrná roční teplota vzduchu

V České republice probíhá měření teplotních charakteristik od 18. století v pražském Klementinu (teplota od r. 1775 a srážky od r. 1805). Z těchto a dalších naměřených či rekonstruovaných dat lze vyvodit základní trendy pro území ČR (Obr. 35).

Co se týče průměrných teplot vzduchu, tak po nárůstu průměrné teploty v druhé polovině 18. století nastal mírný pokles průměrných teplot, který se začal obracet k postupnému nárůstu od konce 19. století. Ten probíhá doposud, kdy při krátkém zpomalení v polovině 20. století se nárůst od osmdesátých let významně zrychlil, a akcelerace nárůstu přichází v posledních letech, které jsou nejteplejší od doby, co máme k dispozici teploměry. S tímto hlavním trendem víceméně souvisí také změna sezónních chodů teplot.

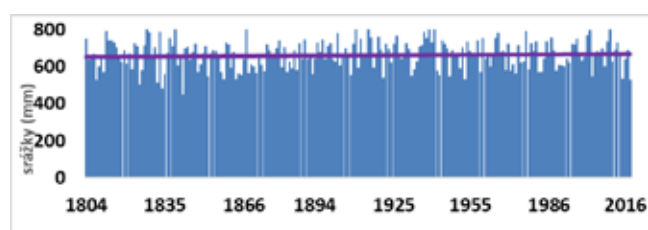


Obr. 35 Průběh průměrných ročních teplot vzduchu (°C) v období 1800–2018, průměr pro území ČR

Z Obr. 35 je zřejmá kumulace teplých let v 21. století s tím, že nejteplejším rokem byl rok 2018 s průměrnou roční teplotou 9,6 °C. Nejchladnějším rokem byl 1829 s teplotou 4,6 °C.

Průměrné roční srážky

Co se týče srážek (Obr. 36), které jsou od roku 1804 měřeny v Klementinu a později na více stanicích, tak v uvedeném období nemají patrný výrazný dlouhodobý trend, pouze od padesátých let 20. století je patrný velmi mírný trend poklesu ročních srážek. Pro srážky je ale charakteristická výrazná meziroční proměnlivost srážkových úhrnů, kdy nejnižší hodnoty jsou pod 500 mm a nejvyšší nad 800 mm.



Obr. 36 Průběh ročních úhrnů srážek (mm) v období 1804–2018, průměr pro území ČR

Průběh průměrných ročních úhrnů srážek na území ČR v období 1804–2018 vykazuje velmi vysokou meziroční proměnlivost. Průměrné roční srážkové úhrny se v posledním padesátiletí velmi nevýrazně zvýšily (o méně než 2 %/desetiletí). Průměrný roční úhrn srážek na území ČR byl 662 mm, srážkově nejbohatším z hlediska celého území ČR byl rok 1939 (846 mm), srážkově nejchudším rok 1842 (444 mm).

A jak se bude klima a sucho vyvíjet v budoucnu? Na to se pokusíme odpovědět na následujících stranách.

Vývoj sucha v 21. století

Základem pro odpověď na otázku jak se bude dále vyvíjet sucho je zpracování výhledu vývoje klimatu pomocí tzv. scénářů změny klimatu. Tedy pro určité budoucí roky např. 2030, 2050, 2080 popsat změnu teploty, srážek i dalších meteorologických prvků a z nich odvodit vývoj počtu a intenzity suchých period. K popisu vývoje klimatu slouží takzvané Globální cirkulační modely (GCM), což jsou produkty světových klimatických center, na jejichž základě se klimatické scénáře vytváří. Tyto scénáře jsou zpracovány ve čtvrcích pro celou planetu a pokrývají i území ČR. Výsledky nejpoužívanějších GCM pro ČR mů-

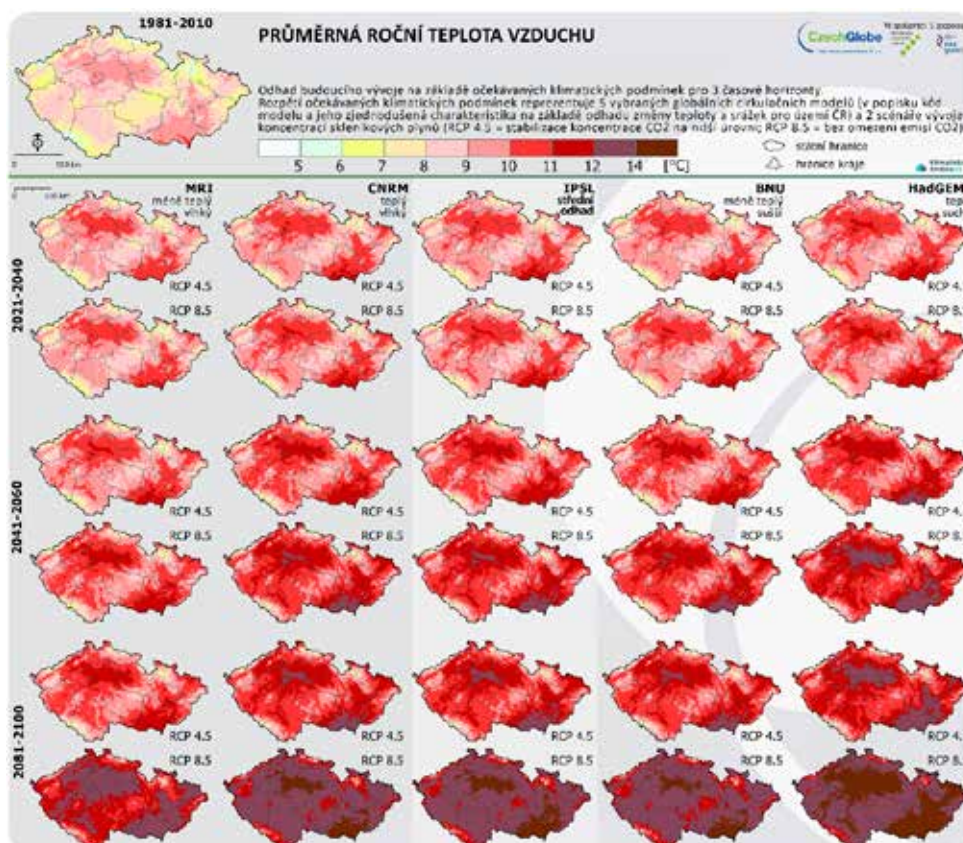
žete najít na portálu www.klimatickazmena.cz (Obr. 37), který byl pro odbornou veřejnost dokončen Ústavem výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. a Mendelovou univerzitou v Brně s podporou Norských fondů v roce 2017. Obecně platí, že současné klimatické scénáře pro Evropu vykazují pro střednědobý výhled (2030) nárůst teploty pro celé území stejně jako pro všechna roční období. V letním období se nárůst teploty projevuje především na jihu Evropy (zejména jižní poloostrov), zatímco na severu směrem ke Skandinávii se dají očekávat spíše teplejší zimy. V oblasti střední Evropy a České republiky lze pozorovat nárůst jarních a letních teplot více než zimních a podzimních. Z pohledu srážek je situace obdobná z pohledu změny severojižního gradientu, kdy na severu Evropy je očekáváno spíše více srážek (od 60 rovnoběžky severněji) a na jihu (od 40 rovnoběžky jižněji) méně. Střední Evropa ležící v pásmu střídání obou vlivů, což bude přinášet velmi srážkově nevyrovnaná období.

To, co je pro popis vývoje klimatu důležité, je fakt, že pro projekci jeho vývoje a dopadů není zpracován jen jeden, ale několik světově uznávaných GCM, neboť sázka na jediný z nich, logicky nemusí být dobrá volba. Některý ukazuje klimatickou budoucnost jako sušší, jiný vlhčí, nebo teplejší resp. chladnější. Námi zvolené modely pro uvedený portál se skutečně ve svých výstupech liší a představují možnou variabilitu očekávaných podmínek.

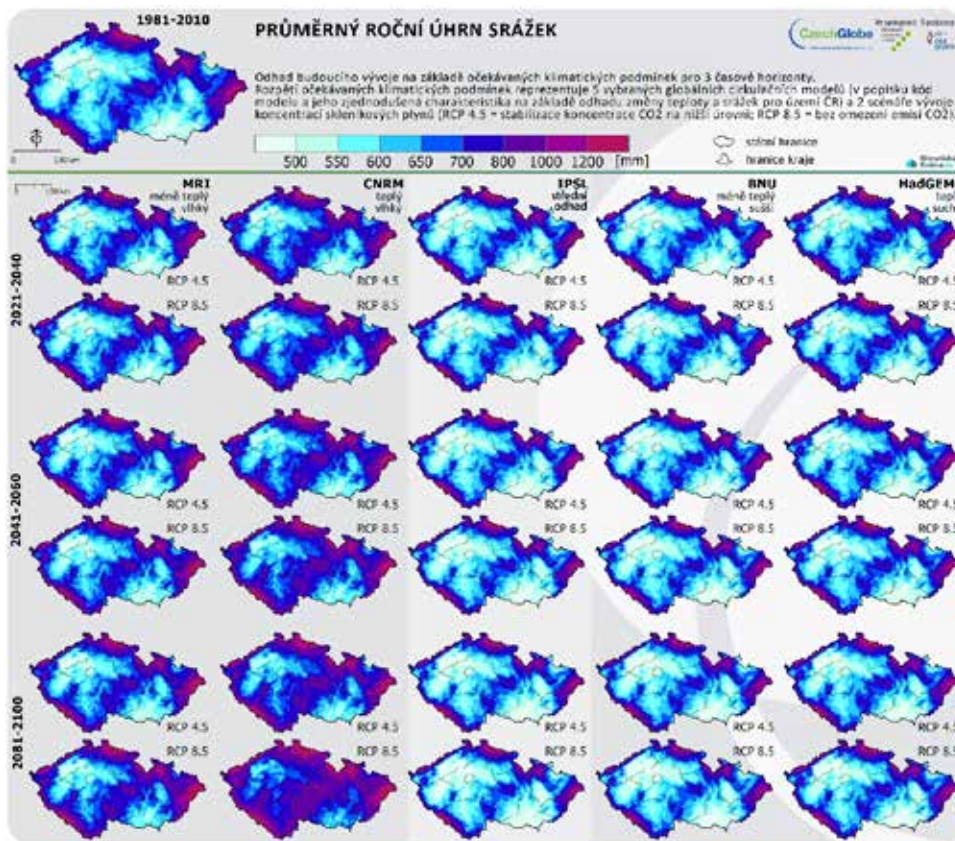


Obr. 37 Úvodní stránka portálu www.klimatickazmena.cz, který zobrazuje vývoj sucha, ale i dalších parametrů v oblasti zemědělství, lesnictví, krajiny, klimatu a vodního režimu pro ČR v průběhu 21. století

Uživatel pak vidí, s jakou mírou nejistoty je dobré pracovat při případných plánovaných adaptačních opatřeních, případně pro jaké ukazatele se shodují všechny modely a pro které se o něco více rozcházejí. Pro náš portál jich využíváme celkem pět. Jedině tento přístup, tedy s využitím několika špičkových modelů, nám může dát představu o možném vývoji klimatu.



Obr. 38 Průměrná roční teplota vzduchu na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)



Obr. 39 Průměrný roční úhrn srážek na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)

Použité klimatické scénáře pro popis vývoje klimatu jsou:

- CRNM (verze IPSL-CM5A-MR) – země původu: Francie; model reprezentující medián (střední hodnota, kdy 50 % hodnot je nad a 50 % hodnot je pod) všech testovaných GCM nejlépe.
- HadGEM (verze HadGEM2-ES) – země původu: Velká Británie; model reprezentující výraznější změnu rozložení srážek v našem regionu (úbytek letních a podzimních srážek a nárůst jarních srážek).
- CNRM (verze CNRM-CM5) – země původu: Francie; model s podobnou změnou teplot jako HadGEM, ale nárůstem srážek ve všech měsících zejména na jaře a na podzim
- BNU (verze BNU-ESM) – země původu: Čína; reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a redukci srážek ve všech měsících kromě léta.
- MRI (verze MRI-CGCM3) – země původu: Japonsko; reprezentuje GCM modely předpovídající pro naše území relativně nižší nárůst teplot a nárůst srážek s výjimkou konce léta a podzimu.

Kromě toho, v souladu se světovými trendy, je zpracována kombinace těchto scénářů se scénáři vývoje emisí. Jejich prognóza je vyjádřena přepočtem navýšení W/m^2 tzv. RCP (Radiation Concentration Pathway) scénářů označených právě podle zvýšeného ozáření na m^2 zkratkami RCP 2,6, 4,5 a 8,5. Tedy zvýšení ozáření o 2,6, 4,5 a 8,5 W/m^2 ve srovnání s rokem 1750. To znamená, že reagují na míru produkce emisí lidskou činností a představují výhled situace pro vysoké emise skleníkových plynů (které se do ovzduší dostávají například spalováním fosilních paliv). RCP 8,5 je stav, kdy společnost bude nadále pokračovat s uvolňováním emisí do atmosféry. Dále se nabízí možnost podívat se na vývoj podle o něco více optimistického scénáře RCP 4,5, který naznačuje více uvědomělé směřování společnosti, kdy dojde ke snížení produkce emisí. A třetí cesta popisuje tzv. nízké emise, jejíž následování by znamenalo značné změny v produkci emisí oxidu uhličitého RCP = 2,6 (pozn. jedná se o emisní scénář, na kterém se shodli státníci na klimatickém summitu v Paříži v prosinci 2015). Pro znalce jen konstatování, tyto scénáře nahradily dřívější přístup, založený na předpokladu nárůstu emisí radiačně aktivních plynů v atmosféře označované jako A1F, A1T, A1B, A2, B1, B2.

Vývoj sucha je odrazem vývoje teploty. Jak je vidět na Obr. 38 není scénář, který by předpokládal, že teplota

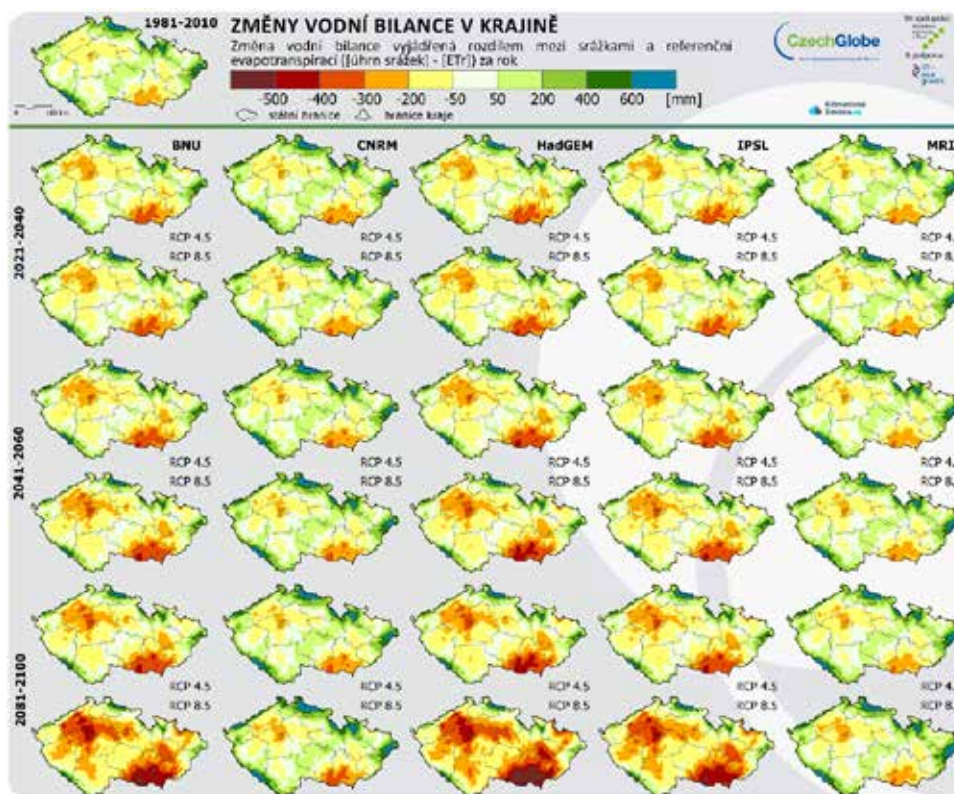
bude klesat. I pro bližící se první časové období (2030) jsou teploty výrazně vyšší (červenější). Emise určující tento nárůst jsou již vypuštěny ve vzduchu a nárůst teplot z posledních let tedy bude pokračovat. Nejpesimističtější vývoj dávají logicky scénáře s RCP 8,5, kdy je nárůst teploty v porovnání se současným stavem vyšší ke konci století až o 4 °C. Pro vyšší přehlednost neuvádíme nejnižší a současně nejoptimističtější emisní scénář RCP 2,6, který však většina vědců při současné úrovni poznání považuje za nereálný a nedosažitelný. Druhý, pro zemědělství a výskyt sucha, klíčový parametr je množství srážek (Obr. 39). Ten se v souladu s Obr. 36 nebude ani v budoucnosti příliš měnit a obavy můžeme mít spíše z přílišné variability (rozkolísanosti a rozložení) srážek než z jejich nedostatku.

Jak již bylo zmíněno, roční úhrny srážek na našem území s vysokou pravděpodobností nebudou v 21. století podléhat vzestupným či sestupným trendům. Primární otázkou pro hospodaření v krajině spíše zůstává změna jejich rozložení v průběhu roku, což je faktor z pohledu vegetace zcela zásadní. Vždyť rok s nadnormálními srážkami, ve kterém se ale vyskytly povodně, může ve skutečnosti být rokem se závažnými dopady sucha. A naopak pokud jsou srážky vhodně rozloženy, nemusí znamenat podnormálně srážkový rok výrazný problém v omezení produkční funkce krajiny a výnosů polních plodin. Např. čistě statis-

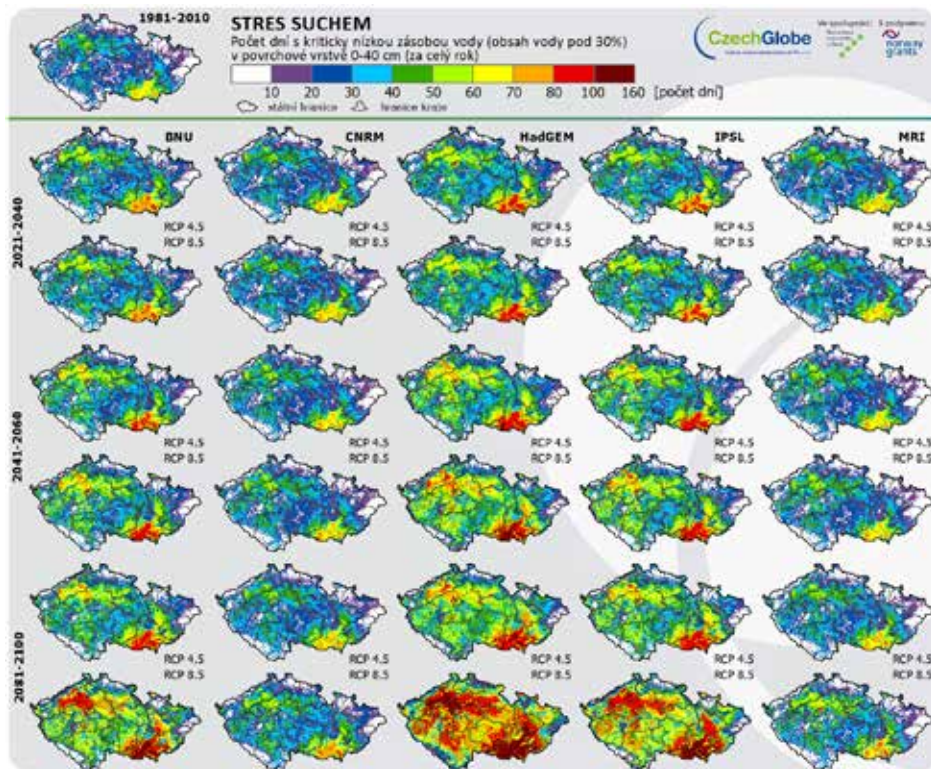
ticky byl rok 2014 co do srážek úplně normální. Fakticky v tomto roce byla dvě sucha a dvě povodně. To normální rozhodně není. Ostatně tradiční a průměrné rozdělení srážek na území ČR pro roční období je následující: zima 15 %, jaro 25 %, léto 40 %, podzim 20 % celkového ročního úhrnu.

Optický dojem z přebytku srážek v zimě je skutečně zavádějící, naopak srážkové úhrny v létě ovlivněné bouřkami spojenými s intenzivními srážkami jsou příčinou vysokých letních úhrnů. Zpět k budoucímu vývoji srážek. ČR je přesně na předělu dvou částí Evropy, kdy v jižních částech by srážky měly klesat a v severní Evropě se spíše zvyšovat. V této souvislosti lze očekávat, že v oblasti České republiky by měly srážky celkově velmi mírně narůstat v zimě, mírně růst na jaře (i proto, že část bouřek se přesouvá do jarního období) a mírně klesat v létě a na podzim budou změny zcela nevýznamné. I z toho pohledu je zřejmé, že u srážek bude nejvýznamnější změna v charakteru zimy, kdy sněhové srážky budou díky vyšším teplotám nahrazeny srážkami dešťovými.

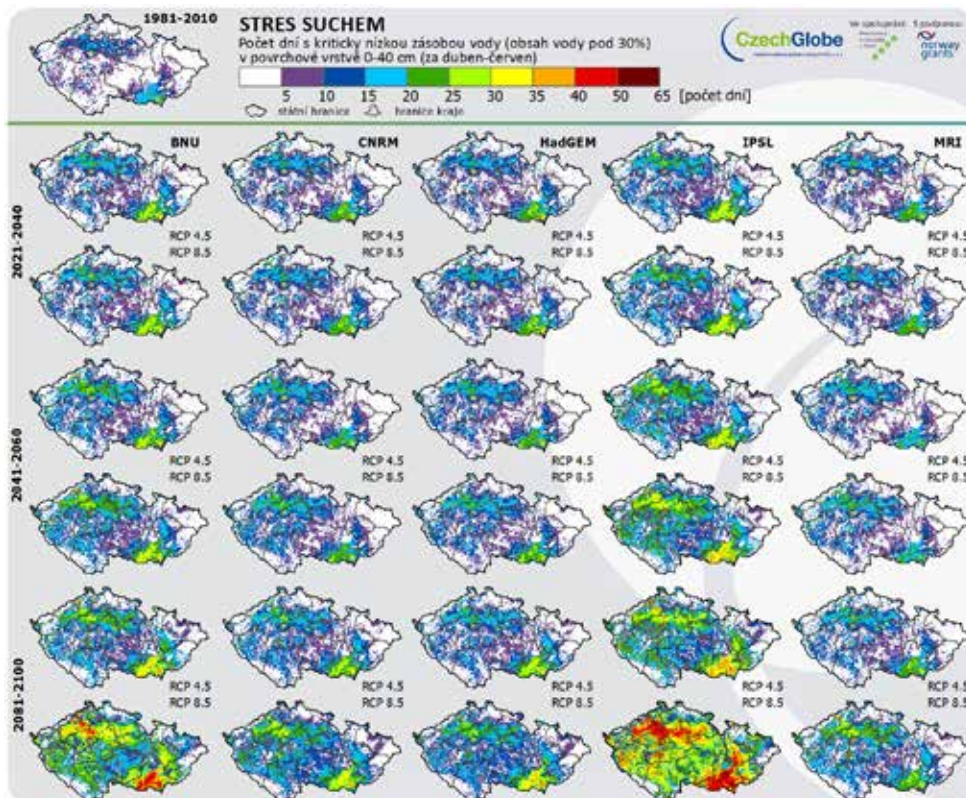
Kombinace vyšší teploty a stejného množství srážek však povede k navyšování výparu a s pravděpodobností rovnající se jistotě bude intenzita suchých epizod narůstat a oblasti zasažené suchem se zvětšovat (Obr. 40).



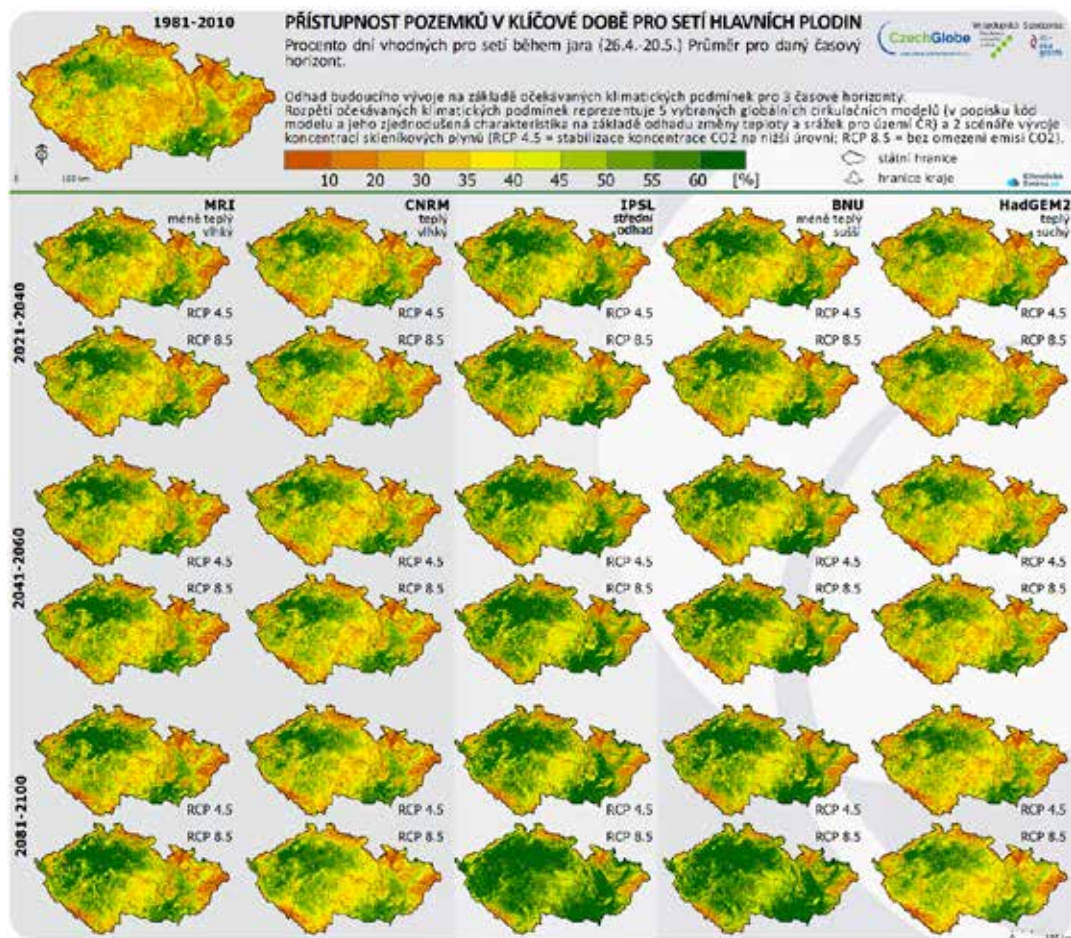
Obr. 40 Změny vodní bilance (území postihované suchem) na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)



Obr. 42 Stres suchem v povrchové vrstvě 0–40 cm půdy na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty pro celý rok. Současný stav (průměr 1981–2010) počtu dní s kriticky nízkým obsahem vody ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)



Obr. 43 Stres suchem v povrchové vrstvě 0–40 cm půdy na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty pro duben až červen. Současný stav (průměr 1981–2010) počtu dní s kriticky nízkým obsahem vody ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)



Obr. 44 Procento vhodných dnů k setí hlavních plodin během jarního období na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: www.klimatickazmena.cz)

4. MONITORING, KRÁTKODOBÁ A STŘEDNĚDOBÁ PŘEDPOVĚĎ ZEMĚDĚLSKÉHO SUCHA

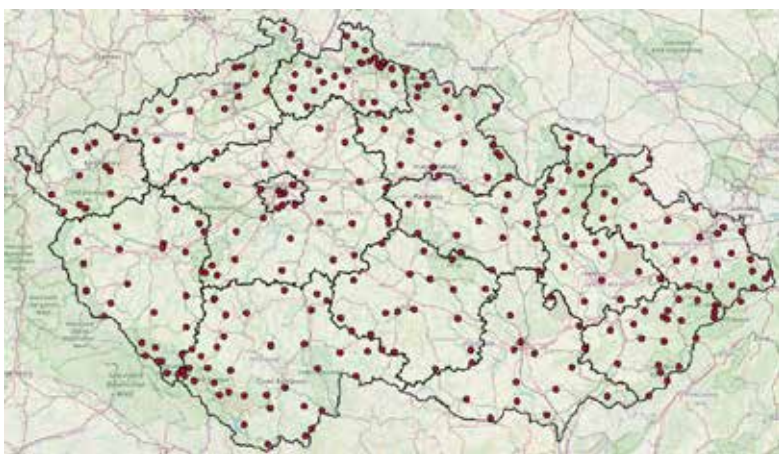
4. 1. Meteorologická měření jako podklad pro monitoring zemědělského sucha

Před nástupem meteorologických měření se o počasí mnoho nevědělo. V historii lidé bojovali s extrémním počasím často za pomoci pověr, jak podrobně popisuje kapitola 1. Za nepříznivé počasí mohly například čarodějnice, takže mnoho osob kvůli tomu končilo upálením na hranici. Později bouřky zaháněli zvoněním zvonů zvoníci, kterým se říkalo pulsanti, krupobití zaklánači mraků a sucho zaháněla procesí modlení. Objevovali se lidé, kterým se říkalo proroci povětrnosti, a živili se prodejem předpovědí počasí. Bohužel počasí nejde předpovídat pouze očima, nosem, či sluchem.

Úspěch zemědělců byl, je a bude na počasí do značné míry závislý. Zemědělci patřili mezi první provozovatele sítě meteorologických stanic na našem území. Záznamy o měřeních byly posílány ve formě korespondenčních lístků Zemědělské radě pro království české. Význam meteorologických měření si samotní zemědělci dobře uvědomovali. Není proto náhodou, že se například před 150 lety v rámci nově vzniklé střední zemědělské školy v Roudnici nad Labem zavedla pravidelná meteorologická měření. Po vzniku ČR se síť meteorologických stanic značně rozšířila a byla řízena Ústavem pro zemědělskou meteorologii v Praze. V době německé okupace byla síť stanic začleněna pod Ústřední meteorologický ústav. Pokračovatelem této sítě je státní Český hydro-meteorologický ústav (ČHMÚ).

Základními vstupními údaji pro modelování obsahu vody v půdě jsou denní meteorologická měření ze sítě 204 automatizovaných stanic ČHMÚ měřící teploty a vlhkosti vzduchu, množství srážek, rychlost větru a sluneční záření (Obr. 45). Jedná se o stanice dodržující jednotnou metodiku pozorování doporučenou Světovou meteorologickou službou (WMO), včetně výběru a kalibrace čidel. Provoz sítě zajišťují vyškolení pracovníci ČHMÚ, kteří zajišťují její kontinuální provoz, včetně průběžných kontrol a ukládání dat.

Měření teploty a vlhkosti vzduchu (obsahu vodní páry ve vzduchu) se neprovádí na slunci, ale ve stínu a nemělo by být ovlivněno povrchy, které jsou poblíž. Asfaltová silnice se rozpálí mnohem více než půda. ČHMÚ provádí měření snímači umístěnými pod radičním krytem, který nahradil původní meteorologickou budku, ve výšce 2 m nad krátce sestřiženým travnatým porostem (Obr. 46). Kryt je bílé barvy s žaluziemi, které slouží k ochraně čidel před přímým slunečním zářením a zároveň jeho konstrukce umožňuje proudění vzduchu. Měření teploty vzduchu se provádí kontinuálně odporovým snímačem Pt100, měření vlhkosti vzduchu kapacitním snímačem Vaisala HUMICAP. Kromě okamžitých hodnot teploty a vlhkosti jsou zaznamenávány průměrné denní hodnoty, maxima a minima.



Obr. 45 Síť meteorologických stanic ČHMÚ poskytující základní vstupní meteorologická data pro výpočet vodní bilance

Měření dešťových srážek se provádí jednodušším člunkovým srážkoměrem, nebo srážkoměrem váhovým, umístěným ve výšce 1 m nad zemí (Obr. 47). Nevýhodou člunkového srážkoměru je, že s rostoucí intenzitou srážek se zvyšuje chyba měření. Váhový srážkoměr dokáže měřit srážky přesněji a to i celoročně, včetně sněhových srážek. Množství srážek spadlých za určitou dobu se udává v milimetrech, 1 mm srážek odpovídá 1 l vody na 1 m².



Obr. 46 Měření teploty a vlhkosti vzduchu pod radiačním krytem



Obr. 47 Měření srážek váhovým (vlevo) a člunkovým srážkoměrem (vpravo)

K měření rychlosti větru se využívá miskový anemometr, nebo ultrasonický snímač (Obr. 48). Oba snímače jsou umístěny 10 m nad zemí na dostatečně volném stanovišti, aby se vyloučil vliv blízkých budov či stromů. U miskového anemometru se otáčejí misky na ramenech, tím rychleji, čím je rychlost vyšší. Ultrasonické měření je založeno na měření doby průchodu ultrazvuku mezi jednotlivými rameny.



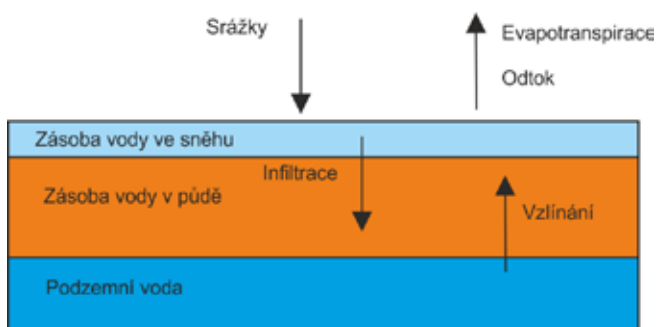
Obr. 48 Měření rychlosti větru miskovým a ultrasonickým anemometrem

Pro **měření slunečního záření** se používají slunoměry, registrující délku slunečního svitu, nebo pyranometry pro měření přímého slunečního záření (Obr. 49).



Obr. 49 Měření slunečního záření pyranometry kdy vlevo s krytem je pro měření difúzního slunečního záření, vpravo pro měření globálního (přímého + difúzního) záření a slunoměrem (uprostřed) pro počet hodin slunečního svitu

Vodní bilance se stanovuje pro určité území, kde bilančuje zásoby vody. V zemědělské krajině jde zjednodušeně o rozdíl spadlých srážek a ztráty vody evapotranspirací (výparem) a odtokem (Obr. 50).



Obr. 50 Schéma vodní bilance

Evapotranspirace (výpar) je důležitým procesem ve vodním cyklu, protože je zodpovědná za 15 % vodní páry atmosféry. Bez ní by se nemohly vytvářet mraky a srážky by nikdy nespadly. Evapotranspirace je kombinovaný název pro současně probíhající procesy evaporace (výpar z půdy, vodních ploch, ledu a sněhu) a transpirace (výpar z rostlin). Voda je nezbytná pro rostliny, ale pouze malé množství vody absorbované kořeny se používá pro růst a metabolismus. Většinu vody rostliny ztrácí transpirací a minoritně gutací (vylučováním vody na okrajích listů). Transpirace umožňuje zásobování všech částí rostliny vodou a minerálními živinami, zabraňuje přehřívání listů a je nezbytná pro fotosyntézu. Pokud zemědělec má k dispozici údaje o evapotranspiraci a spadlých srážkách, může odhadnout nároky na vodu u konkrétní plodiny a případně stanovit výši závlahy.

Existuje celá řada faktorů, které ovlivňují evapotranspiraci:

- Teplota – s rostoucí teplotou se zvyšuje rychlost evapotranspirace.
- Vlhkost – s vyšší vlhkostí vzduchu rychlost evapotranspirace klesá.
- Rychlost větru – s rostoucí rychlostí větru se zvyšuje evapotranspirace.
- Sluneční záření – s rostoucím zářením se zvyšuje rychlost evapotranspirace.
- Dostupnost vody – nedostatek vody způsobuje pokles evapotranspirace.
- Typ půdy – ovlivňuje dostupnost vody pro rostliny a tím i rychlost evapotranspirace.
- Druh rostliny – některé rostliny, jako například kaktusy šetří vodu a evapotranspiraci potlačují. Naopak stromy a plodiny mohou uvolňovat velké množství vodní páry.

Půdní vlhkost a její dostupnost je velmi důležitým faktorem ovlivňujícím výnosy plodin a kvalitu sklizně. Fakticky se jedná o primární indikátor zemědělského sucha. Příliš nízká půdní vlhkost může vést ke ztrátě výnosu a v krajním případě i smrti rostlin. Voda se udržuje v půdě působením povrchového napětí, které přitahuje molekuly vody k půdním částicím. Čím menší jsou částice půdy, tím mají více povrchové plochy a větší schopnost zadržet vodu v půdě. Množství vody, kterou může půda zadržet a její dostupnost rostlinám závisí na typu půdy. Nejmenší schopnost zadržet vodu mají lehké písčité půdy tvořené velkými částicemi, naopak nejvyšší těžké jílovité půdy. Objemový obsah vody je množství vody zadržené v půdě vyjádřené v procentech z celkového objemu.

Po vydatnější celodenní dešti mohou být všechny póry naplněny vodou a dojde k nasycení půdy. Již během deště začíná voda odtékat působením gravitace a po čase dojde k rovnovážnému stavu, nazývaném polní vodní kapacita (PVK), kdy půda obsahuje veškerou vodu, kterou lze udržet povrchovým napětím. Díky výparu a deficitu srážek může obsah vody klesnout do bodu, nazývaném bod vadnutí (BV), kdy rostliny již nedokážou vodu čerpat kořeny a dochází k procesu vadnutí a případně jejich trvalému poškození. Využitelná vodní kapacita půd (VVK) je rozdíl PVK a BV. Nejnižší hodnotu VVK mají velmi lehké půdy (do 5 % VVK), u ostatních půd hodnoty kolísají podle obsahu částic prachu, jílů a písku od 8 do 20 % VVK.

Monitoring vody v půdě a evapotranspirace

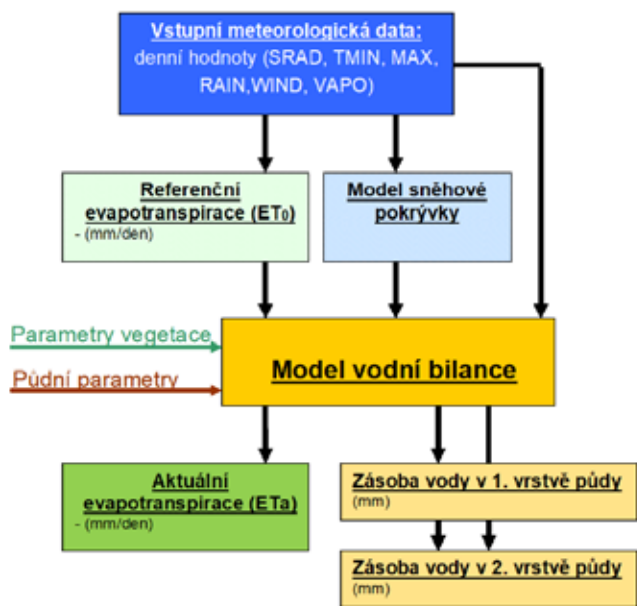
Základním pilířem monitoringu sucha využívaným v ČR a této publikaci je model vodní bilance SoilClim, který počítá aktuální evapotranspiraci a modeluje zásobu vody ve dvou vrstvách půdy v denním kroku (Obr. 51). SoilClim byl vyvinut jako modifikace přístupu FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) a pro podmínky České republiky byl kalibrován a validován Hlavinkou *et al.* (2011).

Vstupními daty do modelu jsou denní data o teplotě a vlhkosti vzduchu, rychlosti větru, srážkách a slunečním zářením ze sítě automatizovaných stanic ČHMÚ.

V první fázi se počítá referenční evapotranspirace, jedná se o evapotranspiraci hypotetického travního porostu (zapojený porost o výšce 12 cm s odrazivostí slunečního záření 23 %), který má k dispozici půdní vláhu a živiny. Dále se modeluje sněhová pokrývka, která může významně ovlivnit zásoby vody v půdě v době tání (Trnka *et al.*, 2010).

V druhé fázi probíhá samotný výpočet vodní bilance, který bere do úvahy skutečnou ztrátu vody evapotranspirací, spadlé srážky, ztráty vody odtokem a infiltrací vody do půdy. Půdní profil je v modelu SoilClim rozdělen do 2 vrstev přičemž svrchní vrstva zahrnuje prvních 40 cm půdního profilu (tj. ornice a přilehlá podorniční vrstva) a druhá pak vrstvu půdy od hloubky 40 cm do maximální hloubky kořenění (maximálně však do 1 metru). Obsah vody v půdě v obou vrstvách je vyjádřen buď jako míra nasycení půdního profilu v % nebo jako obsah půdní vláhy v mm.

Aktuální evapotranspirace se počítá pro konkrétní povrch z referenční evapotranspirace. Zohledňuje důsledky změn výšky porostu či odrazivosti (albeda) povrchu v průběhu sezóny a dostupnost vody pro plodiny. V rámci modelu SoilClim je definováno několik typů chování vegetačního pokryvu (jarní polní plodina, ozimá polní plodina, trvalý travní porost, opadavé a stále zelené stromy apod.). 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.



Obr. 51 Struktura a propojení klíčových modulů modelu SoilClim

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, kdy voda putuje dolů malými mezerami mezi horninami a částicemi půdy.

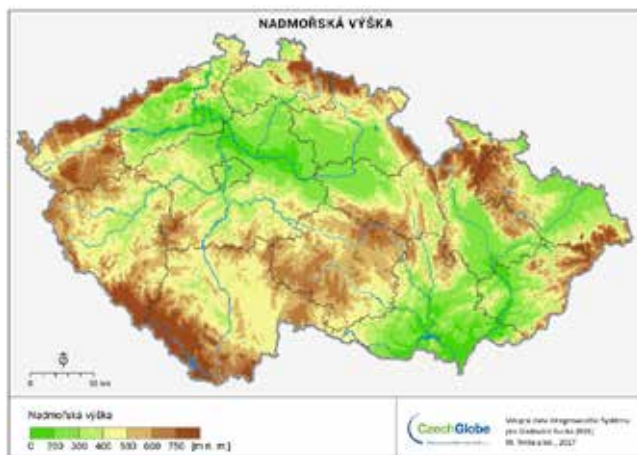
Mimoto je v rámci modelu započítán vliv intercepce, kdy určitá část srážkové a závlahové vody může být zachycena na nadzemní biomase porostu a nedopadne na povrch půdy. Většina vody v rámci intercepce se pak zpět do atmosféry dostává díky výparu, aniž by předtím byla v půdě či využita rostlinou. Tento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

Prostorová interpolace v modelu vodní bilance SoilClim

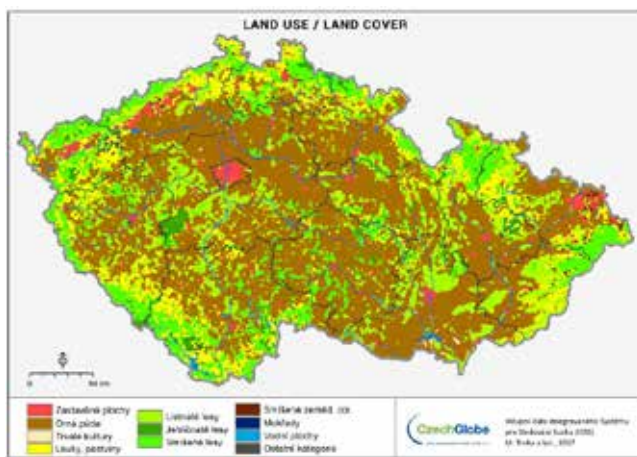
Prostorová interpolace slouží obecně k odhadu hodnot určitého jevu či jeho intenzity v libovolném místě území, pro něž existují známé hodnoty tohoto jevu pouze v určitých lokalitách, jako jsou meteorologické stanice. Zatímco u většiny modelů používaných u nás i ve světě se interpolují pouze výsledky do vyššího rozlišení, v modelu SoilClim probíhají všechny výpočty přímo v 500 metrovém rozlišení. Při výpočtech se berou do úvahy informace

z digitálního modelu terénu, krajinného pokryvu a využití území, půdní databáze a svažitosti terénu ČR ve velmi vysokém rozlišení (Obr. 52, Obr. 53 a Obr. 54).

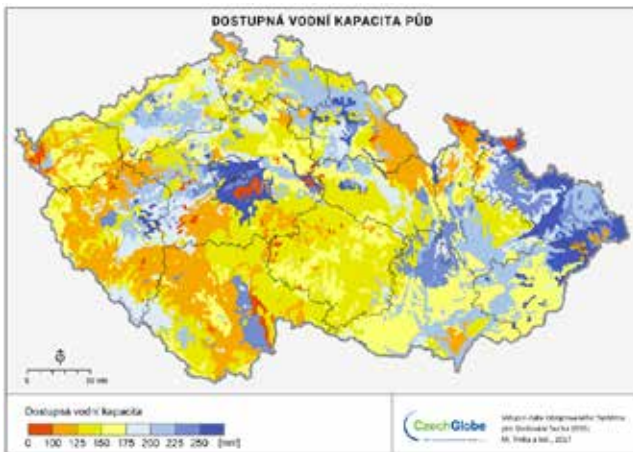
Model v první fázi výpočtu interpoluje jednotlivé meteorologické prvky z 206 meteorologických stanic do gridové sítě s rozlišením 500 x 500 m a interpolace zohledňuje nejen nadmořskou výšku, ale i sklon a orientaci terénu. Poté jsou pro každý grid spočítány hodnoty nejprve referenční, pak aktuální evapotranspirace a obsah vody ve dvou vrstvách (0–40 a 40–100 cm), který je vyjádřen v % VVK.



Obr. 52 Digitální model terénu použitý pro simulaci modelem SoilClim



Obr. 53 Zastoupení jednotlivých typů využití území pro prostorové simulace



Obr. 54 Hodnota dostupné vodní kapacity použité pro odhad zásoby vody v půdě

Interpretace dat

Modelová vlhkost půdy ve dvou vrstvách (0–40 a 40–100 cm) může být vyjádřena:

- odchylkou od dlouhodobého průměru v daný čas na daném místě. Tímto způsobem lze určit intenzitu sucha v půdě. Tento přístup je využíván na základní mapě www.intersucho.cz.
- v % VVK. V tomto případě ukazuje na míru nasycení půdy vodou využitelnou pro rostliny se zohledněním typu půdy na daném území (gridu). I tuto informaci lze najít hned jako další mapu na výše zmíněném portálu.

Problémy při interpretaci výsledků

- mapy s vlhkostmi půdy vyjádřenými v % VVK vyjadřují „obsah vody“ a jsou rozdílné od map odchylek od dlouhodobého průměru ukazující „extremitu“ daného jevu.
- extremitu hodnot ovlivňuje typický roční chod vlhkosti (maximum v zimním období a minimum v létě) a nadmořská výška.
- prostorové rozložení srážek při přívalových deštích je značně „místně proměnlivé“, velmi často záleží, z jaké strany vzduch proudí vzhledem k pohořím, zda jde o „návětrí či závětrí“.

Literatura:

- Allen, R.G. et al. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome
- Hlavinka, P. et al. (2011). Development and evaluation of the SoilClim model for water balance and soil climate estimates. *Agricultural Water Management*, 98.8, p. 1249–1261.
- Trnka, M. et al. (2010). Simple snow cover model for agrometeorological applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150. 7–8, p. 1115–1127.

4. 2. Intersucho.cz

Projekt Intersucho (www.intersucho.cz) byl inspirován potřebou vytvořit monitorovací a předpovědní systém zemědělského sucha, který by poskytoval informace jak odborné veřejnosti včetně pracovníků v zemědělské prvovýrobě, stejně jako orgánům státní správy. Předlohou byl systém používaný ve Spojených státech amerických, který však nemohl být na naše podmínky aplikován. Přeci jen se obě země zásadně liší, a to nejen ve své velikosti. Každopádně vědečtí pracovníci NDMC (National Drought Mitigation Center – University of Nebraska) tvořící skupinu kolem prof. Donalda A. Wilhita a Dr. Michaela Hayese významně pomohli vzniku českého systému a do současnosti působí jako konzultanti při vývoji nových modulů. V době vzniku jeho první verze v roce 2012 existovala již poměrně intenzivní spolupráce mezi Agrární komorou ČR a týmem z Mendelovy univerzity v Brně a Ústavem výzkumu globální změny AV ČR, který stojí za vývojem, zprovozněním a využíváním systému. V předchozí větě je skryto konstatování, že to byli i samotní zemědělci, kteří takovýto produkt podporovali a přímo vyžadovali. Na druhé straně k jeho spuštění byly nutné nemalé finanční prostředky pro zajištění podrobných půdních, výškopisných, land-use a meteorologických údajů, které byly zajištěny formou soutěže u poskytovatelů vědeckých grantů se zaměřením na aplikovaný výzkum. V současné době se jedná o poměrně rozsáhlý systém, který poskytuje v rozlišení 500 x 500 m informace o výskytu zemědělského sucha a k jeho monitoringu využívá nejen metod matematického modelování, ale i přímé pozorování, satelitní snímky a stovky do systému zapojených expertů hodnotící lokální výskyt sucha a jeho dopady na výnosy polních plodin. O systém již projevil zájem také řada evropských států. Od roku 2015 poskytujeme zcela stejné informační a předpovědní služby pro Slovensko a od roku 2017 se postupně systém rozšiřuje do dalších osmi evropských zemí.

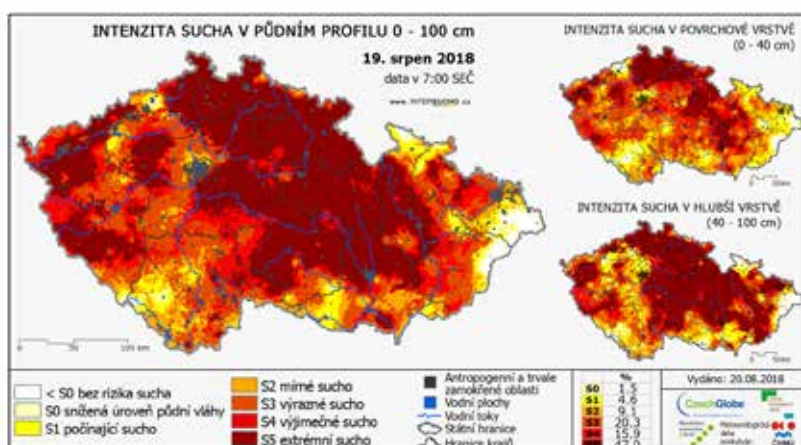
4. 2. 1. Monitorovací funkce

Tak, jako se obecně sucho dělí dle příčin a projevů na základní kategorie, kdy zemědělské sucho je jednou z nich (dále meteorologické, hydrologické a socioekonomické sucho), i v rámci této kategorie můžeme specifika epizod hodnotit z různých úhlů pohledu (např. pro různé cílové plodiny) a na základě řady indikátorů. Protože se velmi těžko hledá jeden univerzální indikátor, který by byl schopen postihnout veškeré aspekty zemědělského sucha v kontextu pestré škály plodin či podmínek jednotlivých území, je daná situace v rámci monitoringu řešena zpracováním celé sady indikátorů na základě různých diagnostických metod. Výhodou je jednak možnost volby vhodného indikátoru pro hodnocení dané situace, dále možnost komplexního posuzování a v neposlední řadě i kontrola v případě využití nezávislých metod. Mezi základní produkty, které jsou využívány k monitorovací funkci na portálu intersucho.cz, patří tzv. „Intenzita sucha“. Jedná se o ukazatel, který vychází z modelového odhadu půdní vlhkosti na základě podrobných meteorologických dat (s využitím modelu SoilClim viz kapitola 4.1) v daném území (Česká republika je pro tyto účely rozdělena na čtverce o velikosti 500 x 500 m, což platí i pro ostatní indikátory v této kapitole). Půdní vlhkost je odhadnuta pro dané datum a následně je vyhodnocena mimořádnost tohoto údaje vzhledem k podmínkám, které nastaly v tomto konkrétním území během hodnocené části roku za 50 let od roku 1961 do 2010. Získaná hodnota vyjadřuje pravděpodobnost opakování daného obsahu půdní vláhy v daný den a je použita pro přiřazení odpovídající intenzity sucha (S0–S5) podle škály uvedené v rámci Obr. 55.

Kategorie	Popis	
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhy je větší než hodnota 30. percentilu	
S0 – snížená úroveň půdní vláhy	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah dostupné půdní vláhy 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 vláhy 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 vláhy 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 vláhy 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 vláhy 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. 55 Stupnice intenzity sucha a barevná škála použitá v rámci portálu intersucho.cz

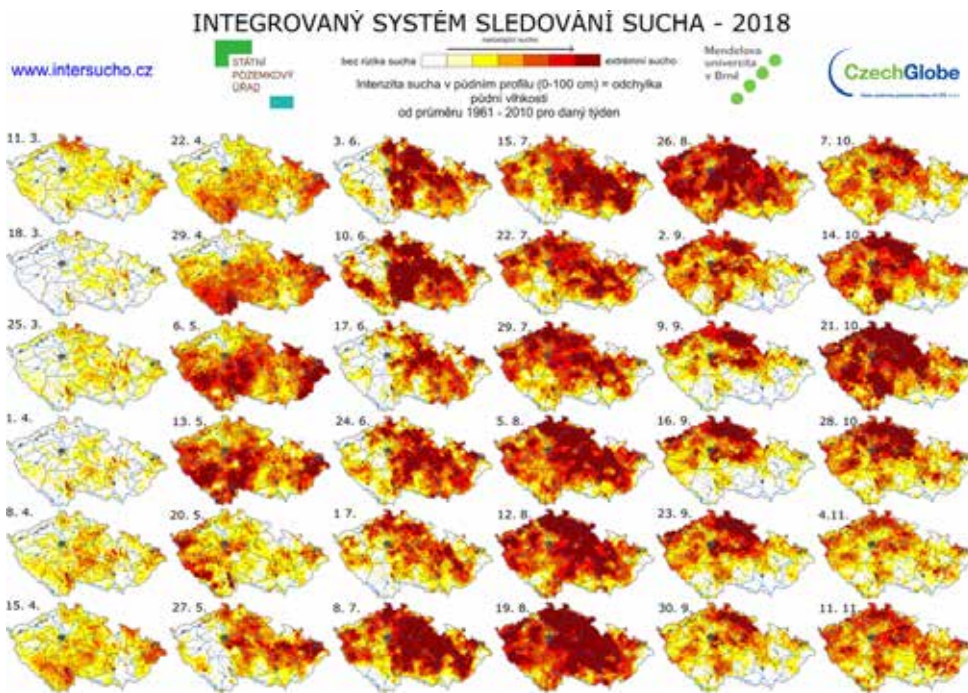
Ačkoli je vhodné danou epizodu sucha hodnotit na základě více indikátorů, patří intenzita sucha pro půdní vrstvu 0–100 cm mezi nejčastěji prezentované produkty. Pro podrobnější zhodnocení situace však lze intenzitu sucha hodnotit i ve dvou dílčích vrstvách půdy (0–40 cm a 40–100 cm), což umožňuje lépe identifikovat lokalizaci deficitu v rámci půdního profilu. Vizuální příklad vyhodnocení intenzity sucha pro různé hloubky půdy na území České republiky z průběhu suché epizody v létě roku 2018 uvádí Obr. 56. Kromě mapového znázornění na Obr. 56 obsahuje i vyhodnocení procenta zasaženého území jednotlivými kategoriemi intenzity sucha v profilu 0–100 cm. Kromě map zachycujících situaci k danému momentu (nejčastěji v pravidelném týdenním kroku), je časový vývoj rozsahu zasaženého území v čase na úvodní straně portálu intersucho.cz prezentován pomocí grafu (Obr. 58), který kromě vývoje za uplynulé období uvádí i výhled na následující dny na základě dostupné předpovědi počasí.



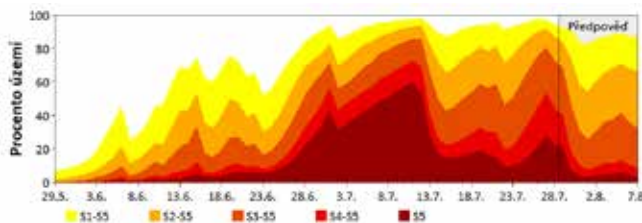
Obr. 56 Intenzita sucha v různých hloubkách půdního profilu vyhodnocená pro Českou republiku pro 19. 8. 2018. Tabulka vpravo dole zachycuje procento zasaženého území danou intenzitou sucha v profilu 0–100 cm

(zdroj: www.intersucho.cz)

Pro lepší představu časového vývoje sucha je na portálu intersucho.cz možnost animace jednotlivých týdnů, demonstrující změnu intenzity sucha za libovolně dlouhý čas od roku 2012. Příklad z velmi suchého roku 2018, kde vyniká extrémně suché období v průběhu srpna, je na Obr. 57.



Obr. 57 Časový průběh výskytu sucha v mimořádně suchém roce 2018 (zdroj: www.intersucho.cz)



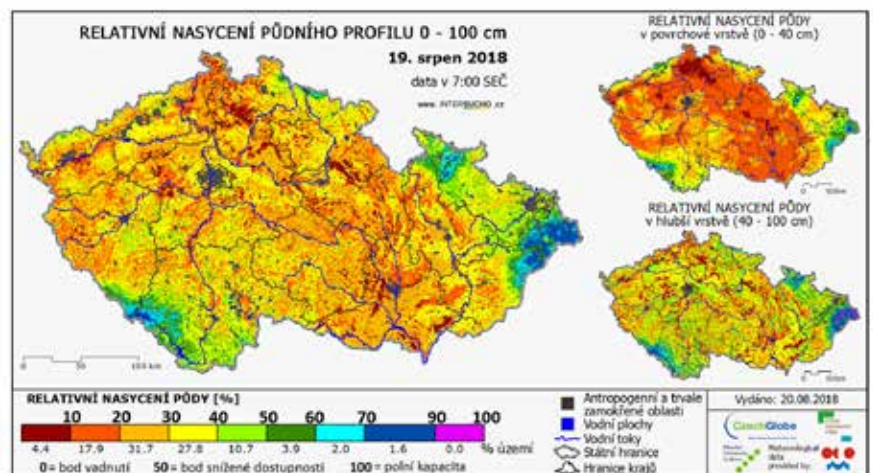
Obr. 58 Vývoj rozlohy území ČR zasažené danými intenzitami sucha pro období květen až červenec 2019 s odhadovaným vývojem na základě předpovědi počasí na dny z přelomu července a srpna 2019 (zdroj: www.intersucho.cz)

Kvantifikace intenzity sucha vychází z hodnocení mimořádnosti nasycení půdního profilu vodou nicméně i samotná hodnota nasycení půdy v daný termín je velmi cenným indikátorem půdního či zemědělského sucha. V rámci pravidelného monitoringu na www.intersucho.cz je k dispozici tzv. relativní nasycení půdy které uvádí, z kolika procent je naplněna využitelná vodní kapacita půdy v rámci definovaných vrstev půdního profilu (0–100 cm, 0–40 cm a 40–100 cm). Dosažení tzv. bodu vadnutí, tj. situace kdy již rostliny prakticky nedokážou

kořeny přijímat vláhu z dané vrstvy půdy, odpovídá hodnota 0 % relativního nasycení půdy. Pokud je půda z hlediska své využitelné vodní kapacity (schopnost pojmout a zadržet vodu) vláhou zcela naplněna, odpovídá tato situace 100 % relativního nasycení. Pokud se pak hodnoty dostanou pod 50 %, znamená to, že vlhkost je pod bodem snížené dostupnosti, kdy rostliny sice dokážou čerpat vodu z půdy, nicméně ta je již hůře dostupná (tím hůře čím je nižší vlhkost) a plodiny mohou trpět suchem. Samotná využitelná vodní kapacita půdy se pak mění zejména dle půdního druhu a hloubky profilu. Z logiky věci vyplývá,

že schopnost půdy eliminovat epizody sucha či vytvářet stabilnější vláhové poměry pro plodiny pak významně závisí na její retenční schopnosti. V případě produktů [intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) týkajících se půdní vlhkosti, je faktor různé využitelné kapacity půd v rámci jednotlivých území napříč Českou republikou zohledněn díky specifikaci půdních vlastností pro dílčí čtverce 500 x 500 m. Příklad relativního nasycení půdy napříč Českou republikou k 19. 8. 2018 pro různé půdní hloubky zachycuje Obr. 59 (včetně údaje, kolik procent území spadá do dané kategorie z hlediska profilu 0–100 cm).

Díky vysokému prostorovému rozlišení vstupních dat (meteorologická i půdní) a procedur výpočtů modelu půdní vlhkosti, kdy jsou údaje o zásobě vody v půdě



Obr. 59 Relativní nasycení půdy napříč Českou republikou k 19. 8. 2018 pro hloubky 0–100cm (velká mapa), 0–40 cm a 40–100 cm (malé mapy) (zdroj: www.intersucho.cz)

Stav v neděli 28.07.2019, 7:00

OKRES ZNOJMO

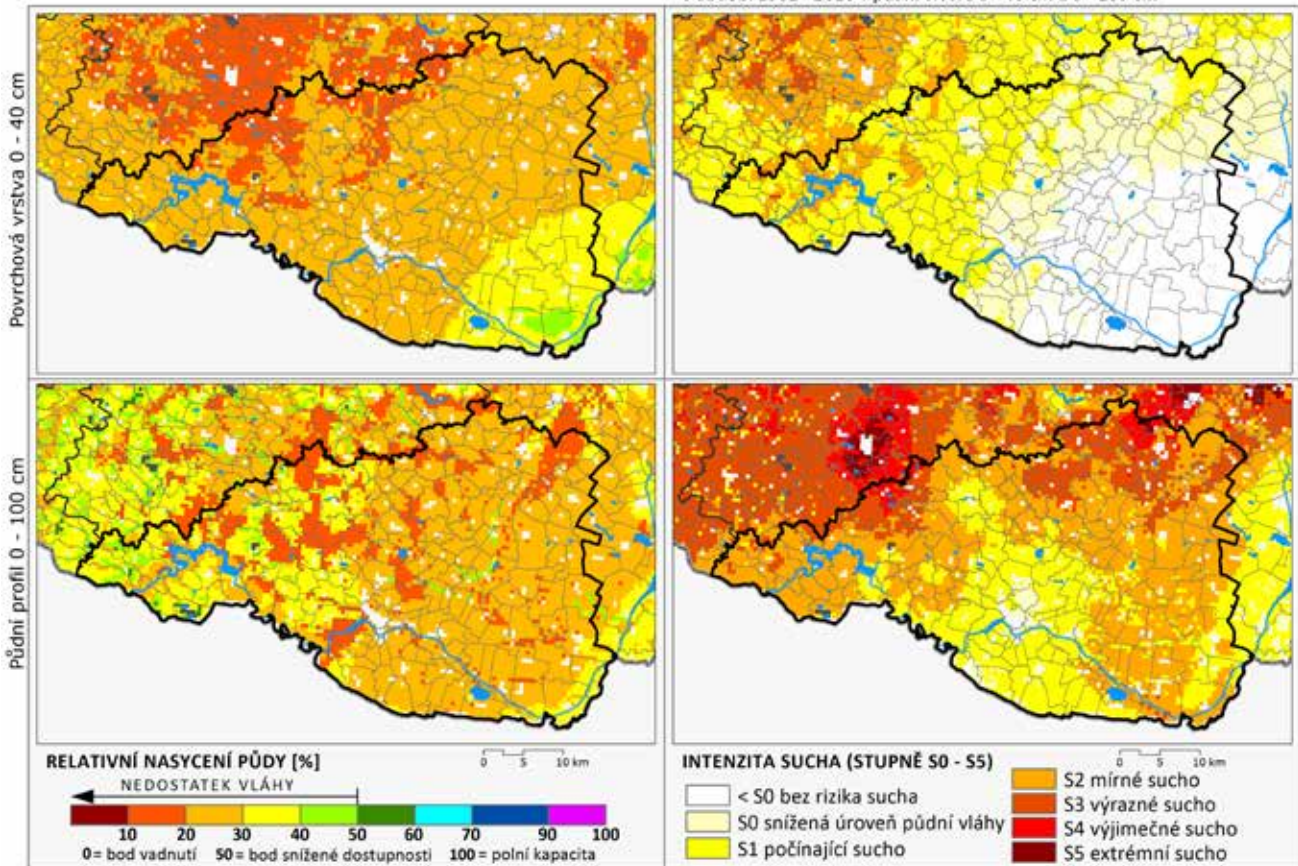


RELATIVNÍ NASYCENÍ PŮDY

Na kolik procent je nasycena půdní vrstva 0 - 40 cm a 0 - 100 cm

INTENZITA SUCHA

Odchyłka půdní vlhkosti (vyjádřena stupněm sucha) od obvyklého stavu v období 1961 - 2010 v půdní vrstvě 0 - 40 cm a 0 - 100 cm



Obr. 60 Relativní nasycení půdy (mapy vlevo) a intenzita sucha (mapy vpravo) pro orniční vrstvu 0–40 cm (horní mapy) i celý půdní profil od 0–100 cm (dolní mapy). Černá znázorňuje hranice okresu a šedé linky hranice katastrálních území (zdroj: www.intersucho.cz)

odhadovány pro jednotlivé čtverce 500 x 500 m napříč celou Českou republikou, jsou v rámci monitoringu pravidelně (v týdenním kroku) připravovány i detailní mapy situace v jednotlivých okresech. Příklad pro okres Znojmo z 28. 7. 2019 je uveden na Obr. 60, který zachycuje situaci jak z hlediska relativního nasycení půdy (mapy vlevo), tak intenzity sucha (mapy vpravo) a dále pro orniční vrstvu 0–40 cm (horní mapy) i celý profil od 0–100 cm (dolní mapy). Dané mapy jsou produkovány ve vysokém grafickém rozlišení a je možné je po stažení do PC dále zvětšovat. Díky tomu je možné hodnotit situaci až na úrovni katastrálních území.

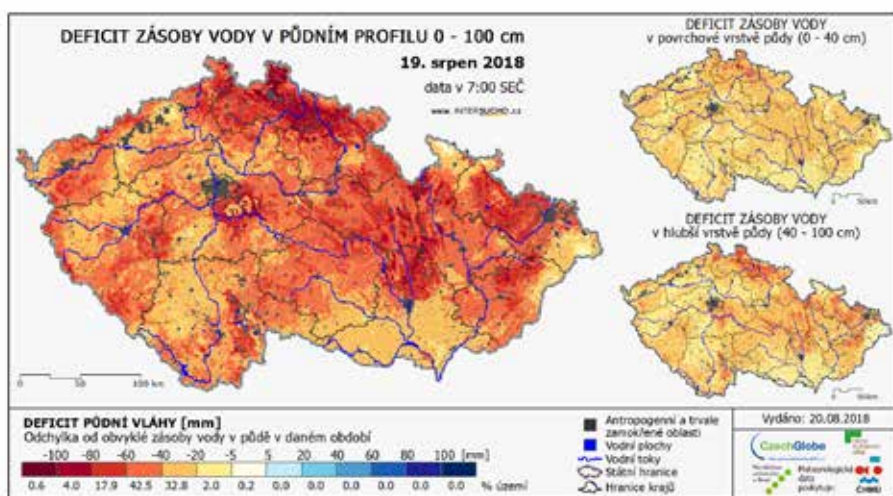
Pro správné pochopení konkrétní situace a epizody sucha je vhodné kombinovat alespoň dva výše uvedené indikátory, protože samotný vysoký stupeň intenzity sucha nemusí znamenat sníženou dostupnost půdní vláhý pro plodiny. Jedná se například o situace, kdy je ve vyšších polohách nebo chladnějším částech roku vyhodnocena mírně nižší, ale v porovnání se zbytkem republiky, či jinou částí roku, stále vysoká relativní vlhkost půdy, jako vý-

jimečná situace a přiřazen vyšší stupeň intenzity sucha. V takových případech se jedná spíše o informaci, že je v daném regionu a čase situace sice neobvyklá, ale nemusí docházet k doprovodným negativním dopadům sucha. Současně dochází k případům, kdy při velmi nízkých hodnotách relativního nasycení půdy není indikován zvýšený stupeň intenzity sucha. Může jít o situace kdy je vegetace stresována zhoršenou dostupností vláhý, nicméně se v daném regionu a části roku jedná o obvyklou situaci. Samozřejmě nastávají i situace kdy při vysokých relativních vlhkostech není logicky z hlediska intenzity sucha indikováno a při nízkých relativních vlhkostech sucho indikováno je. Jedná o případy, kdy s vysvětlením a interpretací jednotlivých map a produktů nebývají problémy.

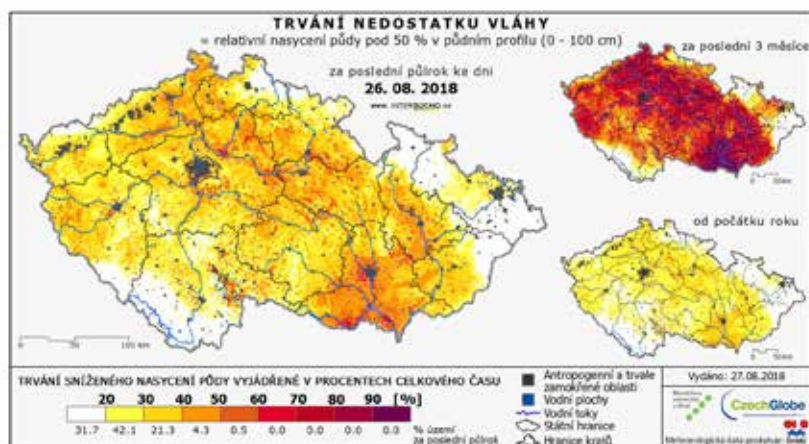
Z hlediska srozumitelnosti, nejen pro zástupce zemědělské praxe, je cenným zdrojem informací indikátor hodnotící deficit zásoby vody v půdním profilu (Obr. 61). Mezi přednosti tohoto monitorovacího produktu patří fakt, že je vyjádřen v milimetrech vodního sloupce, což je veličina, kterou v případě srážek většina agronomů v denním

kroku měří. Vykreslené mapy uvádějí, kolik mm vodního sloupce v půdě chybí k tomu, aby byla nasycená alespoň na obvyklé hodnoty (vzhledem k období 1961–2010) pro daný region a část roku. Tato informace opět vychází z odhadů modelu SoilClim a je uvedena za celý profil 0–100 cm, i pro dílčí vrstvy 0–40 cm a 40–100 cm. Díky tomu lze tedy zjistit, zda je deficit rovnoměrný v půdním profilu nebo zda je situace zhoršena jen v jedné z vrstev, což může nastat různým způsobem. Může se jednat např. o důsledek postupného vysychání půdy s rozvojem kořenů nebo naopak jen dílčím dosycováním půdního profilu apod. Současně je třeba upozornit na fakt, že daný indikátor nevypovídá o deficitu v rámci hladiny podzemních vod.

Z hlediska vlivu půdního sucha na pěstované plodiny (tedy zemědělského sucha) není důležitá jen intenzita sucha či nasycení půdy v daný moment, ale velmi významnou roli hraje i načasování této situace vzhledem k citlivým fázím růstu a trvání daného deficitu. Takový údaj lze získat pro libovolné období seskládáním dílčích map pomocí softwaru na zpracování prostorových dat, nicméně standardně je v rámci monitoringu intersucha pravidelně připravováno v týdenním kroku vyhodnocení trvání nedostatku vláhy (s relativním nasycením pod 50 %) za uplynulé tři měsíce, uplynulý půlrok a od začátku daného kalendářního roku (viz ukázka na Obr. 62 se situací z konce srpna 2018).



Obr. 61 Deficit vodního sloupce (v mm), který v daných hloubkách půdního profilu chybí k tomu, aby byla půda nasycená alespoň na obvyklé hodnoty (vzhledem k období 1961–2010) pro daný region a část roku. Příklad je uveden k 19. 8. 2018 (zdroj: www.intersucho.cz)



Obr. 62 Vyhodnocení trvání nedostatku vláhy v půdě k datu 26. 8. 2018 jako procento času s relativním nasycením půdy (v profilu 0–100 cm) pod 50 % za poslední půlrok, poslední tři měsíce a od počátku kalendářního roku (zdroj: www.intersucho.cz)

Kromě indikátorů dostupnosti vody v půdě či anomaly dané situace jsou z praktického hlediska důležité zejména dopady na jednotlivé části agroekosystémů. Pravidelný monitoring očekávaných či pozorovaných dopadů epizod sucha na výnosy nejvýznamnějších polních plodin na základě dotazníkového šetření od zpravodajů portálu intersucho.cz je v rámci fungování monitoringu sbírán napříč celou ČR a po zpracování zveřejňován v týdenním kroku na záložce „Dopady na zemědělství“ (podrobněji viz kapitola 4. 2. 4). Mezi výhody tohoto přístupu lze zařadit i skutečnost, že takto vzniklá indikace je nezávislou metodou vzhledem k předchozím produktům. Kombinování na sobě nezávislých indikátorů je důležité pro získání komplexního, objektivního a robustního hodnocení situací.

Další metodou, která je nezávislá jak na pozemních meteorologických měřeních, tak i na síti zpravodajů, je hodnocení sucha pomocí tzv. dálkového průzkumu Země se zaměřením na snímání stavu vegetace za využití satelitní techniky. Obecně existuje celá řada senzorů, satelitních systémů, ale také konkrétních indikátorů, které mohou být na základě těchto technologií využity pro hodnocení stavu povrchů. V rámci portálu intersucho.cz je v týdenním kroku hodnocena na záložce „Dopady na vegetaci“ tzv. relativní kondice vegetace (Obr. 63) pro polní plodiny, trvalé travní porosty a veškerou vegetaci. Daný indikátor je založen na měření vegetací odraženého záření na daném území. K tomuto účelu je v tomto případě

využíván senzor MODIS nesený družicí s polární drahou letu Terra (provozovaná americkým úřadem NASA), která v pravidelných intervalech prolétá nad naším územím. Z měření senzoru MODIS jsou k tomuto účelu vyhodnocovány vybrané části spektra odraženého záření, které prokazatelně souvisí se stavem fotosyntetického aparátu a s množstvím nadzemní zelené biomasy. Takto naměřené hodnoty lze přepočítat do podoby tzv. vegetačních indexů, které jsou schopny charakterizovat stav porostů. Na základě řady výzkumných studií bylo potvrzeno, že za využití těchto indexů lze predikovat výnosy, či hodnotit produktivitu území apod. V případě relativní kondice vegetace jsou získané údaje ze senzoru MODIS pro potřeby mapování intersucho.cz například územím ČR sloučeny z původních 250 x 250 m na čtverce o velikosti 5 x 5 km. U trvalých kultur tj. vinic a sadů zůstávají odhady v původním 250 m rozlišení. V těchto čtvercích je pak vyhodnocováno z kolika procent odpovídá aktuální hodnota vegetačního indexu (konkrétně je použit index NDVI) obvyklé hodnotě tohoto indexu v daném čtverci a části roku. Obvyklé hodnoty jsou odvozeny na základě měření senzorem MODIS od roku 2000. Využívá se zde hypotézy, že pokud je vegetace stresována nedostatkem půdní vláhy

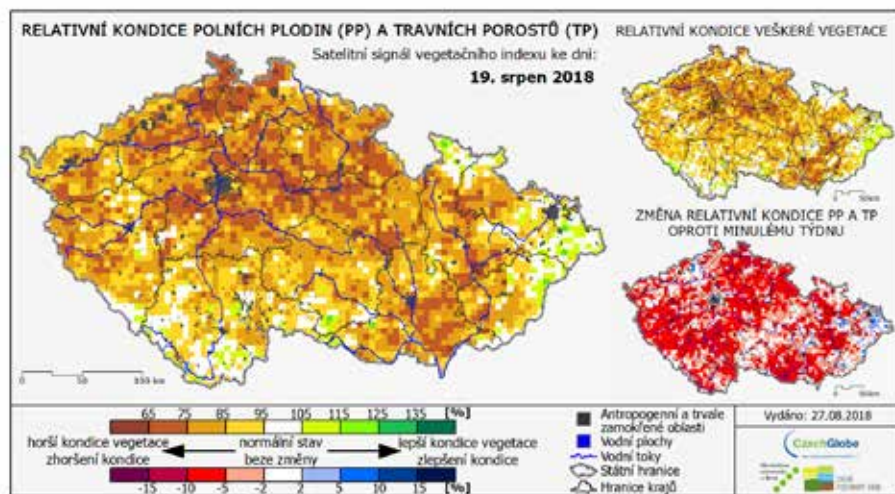
ší teploty vzduchu (rozdílný termín nástupu fenologických fází včetně odumírání listové plochy), vliv chorob a škůdců apod.

Rok 2018 byl z pohledu družice Terra skutečně učebnicovým (Obr. 64). Prakticky nejteplejší duben (+5,4 °C od normálu 1961–1990) od vynálezu teploměrů způsobil bouřlivý nástup vegetace (zelené= dubnové týdny). Předčasné vyčerpání vody vegetací, další teplé měsíce a k tomu srážkově podnormální vegetační období způsobilo dramatický pokles kondice vegetace v srpnu (hnědé srpnové týdny) a následný velmi teplý přelom října a listopadu s dostatečnými srážkami především na Moravě a Slezsku opětovný bouřlivý vývoj vegetace a intenzivním nárůstem biomasy.

Pro praktickou využitelnost monitoringu je významným aspektem časový interval s dostupností nových map, který by měl být co nejbližší tzv. reálnému času. V případě portálu intersucho.cz jsou některé produkty aktualizovány každý den (předpověď počasí a návazné výstupy viz následující kapitola). Dalším významným aspektem je srozumitelnost a uživatelská přátelkost ovládacího rozhraní, které umožní snadný výběr, ovládání

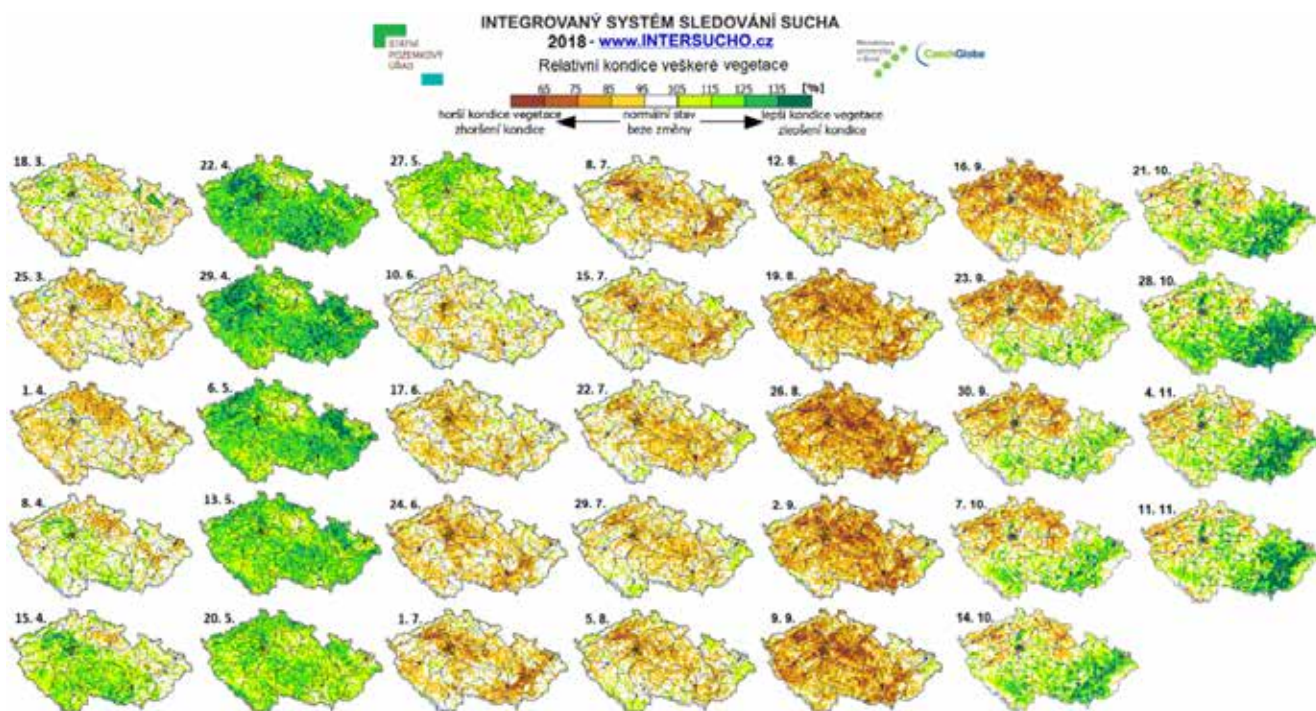
a vyhledávání indikátorů a situací. V případě intersucho.cz je toto řešeno zejména prostřednictvím intuitivního ovládacího panelu, pomocí kterého lze jednoduše listovat historií hlavních indikátorů. Pro vyhledávání konkrétních situací slouží i archiv map, který je dostupný v nabídce „menu“ na záložce „MAPY“ (nebo <https://www.intersucho.cz/cz/mapy/>), kde lze dohledat i případy z minulých let, případně další mapové produkty, které nejsou dostupné v rámci záložek na hlavní liště úvodní stránky portálu. Jedná se například o indikátor zásoby vody v půdě dostupné pro rostliny, který je kvantifikován v mm vodního sloupce. Kromě pravidelně připravovaných indikátorů, které jsou následně zveřejňovány na webu monitoringu, je v případě potřeby pro

detailní analýzu konkrétní epizody možné na základě poptávky odvodit specifické hodnocení dané situace (časově, obsahově).



Obr. 63 Příklad vyhodnocení relativní kondice vegetace polních plodin a travních porostů (hlavní mapa), relativní kondice veškeré vegetace (menší horní mapa) a změna relativní kondice vegetace polních plodin a travních porostů oproti minulému týdnu (menší dolní mapa) k 19. 8. 2018 (zdroj: www.intersucho.cz)

v průběhu epizody sucha, projeví se toto právě na stavu fotosyntetického aparátu a následně i na množství zelené biomasy. Současně je však třeba nezapomínat na fakt, že horší či lepší relativní kondice vegetace může souviset i s jiným faktorem, než jen dostupností vody. Jedná se např. časnější počátek jarní vegetace (vyšší hodnoty relativní kondice vegetace na jaře) či pozdější start jarní vegetace (nižší hodnoty relativní kondice vegetace) či působení dalších faktorů jako jsou např. vyš-



Obr. 64 Vývoj relativní kondice polních plodin a travních porostů během suchého roku 2018

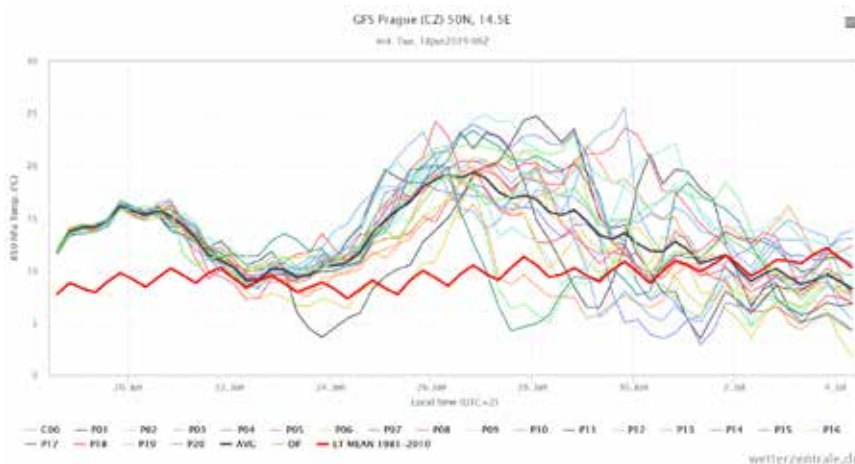
4. 2. 2. Předpovědní funkce

Portál www.intersucho.cz není jen záležitost monitoringu sucha, ale i předpovědi sucha a počasí.

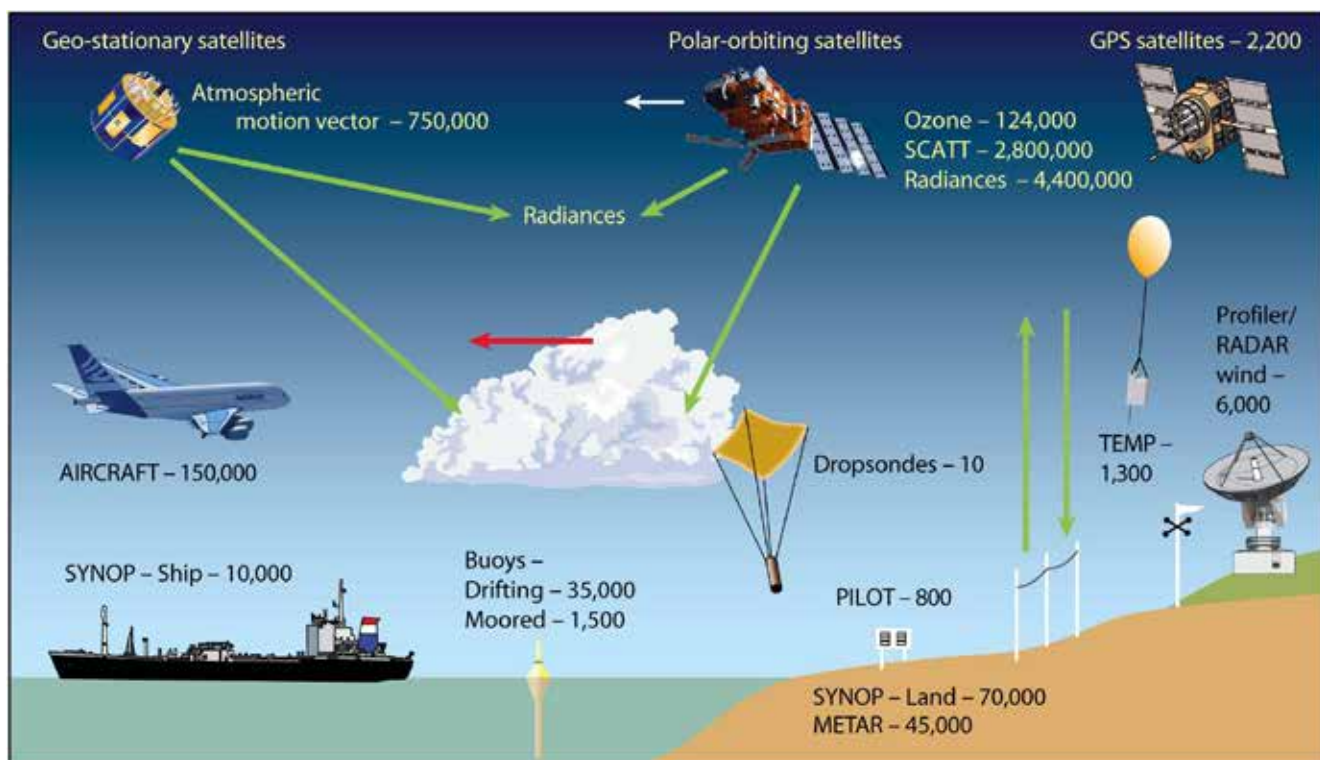
Rozvoj počítačové techniky a kosmonautiky společně se snahou lépe předpovídat živelné katastrofy se v meteorologii na sklonku 20. století projevily rozvojem nových přístupů k předpovědi počasí. Od této doby hraje v předpovědích stále důležitější roli použití modelů, které se zvyšující se přesností a spolehlivostí nahrazují starší, popisné metodologie předpovědi. Základním nástrojem numerické předpovědi počasí je takzvaný numerický předpovědní model. 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.

V předpovědi počasí panuje značná nejistota, a proto se v praxi nespolehnáme pouze na výstupy jednoho modelu. V současné meteorologii existují dva základní přístupy k použití modelů. Jeden je deterministický, který předpo-

kládá, že se počasí bude vyvíjet pouze jedním směrem. Druhým je předpověď ensemblová (skupinová), která uvažuje různé možné vývoje počasí za daných podmínek (Obr. 65). Medián (tedy střed) z těchto několika větví reprezentuje nejpravděpodobnější předpověď. Ensemblová předpověď se používá především v předpovědi počasí na více dní dopředu, typicky 10–15 (střednědobá předpověď). Každý individuální numerický předpovědní model (ty se počítají v různých centrech po celém světě) má svoje výhody a nevýhody, které jsou dané jeho fyzikálními nastavením a naladěním parametrů. To znamená, že za určitých meteorologických situací může předpovídat



Obr. 65 Ensemblová předpověď počasí z numerického předpovědního modelu GFS (zdroj: www.wetterzentrale.de)



Obr. 66 Vstupní meteorologická data pro numerické předpovědní modely (zdroj: ECMWF; <https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation/observations>)

lépe než jiný model anebo je přesnější v určitém meteorologickém prvku, ale poskytuje naopak slabší výsledky za jiných situací nebo u jiného prvku. Jako příklad můžeme uvést americký model GFS (Global Forecast System), který například v létě nadhodnocuje srážky v bouřkových situacích, což je to dáno tím, že díky svému nastavení předpovídá více vzdušné vlhkosti. Proto je náš koncept založen na více modelech a tím se chyby v konečném výstupu eliminují. Kromě toho ještě navíc každý model statisticky korigujeme (opravujeme jeho chyby typické pouze pro naše území) na základě skutečných (naměřených) dat ze stanic a neustále vyhodnocujeme aktuální úspěšnost jednotlivých modelů.

V projektu www.intersucho.cz využíváme globální numerické modely předpovědi počasí v jejich deterministických verzích. Globální verze modelů upřednostňujeme z důvodu, že oproti regionálním verzím poskytují předpovědi počasí na delší dobu dopředu – typicky na více než 5 dní, ale mají naproti tomu menší prostorové rozlišení v porovnání s regionálními modely. To je dáno tím, že i když jsou k výpočtům používány super-počítače, děje v atmosféře jsou tak složité, že je potřeba určitých zjednodušení oproti realitě (např. zmíněným menším prostorovým rozlišením). Proto je nutné přistoupit ke kompromisům a stanovit určité prostorové a časové rozlišení modelu, případně (u regionálních modelů) jeho omezení na určitou geografickou oblast. Tento kompromis ovšem závisí nejen na dostupné výpočetní síle, ale také na mate-

maticko-fyzikálních formulacích modelu. Potřeba dostatečně vysokého rozlišení modelu (časového i prostorového) vede k tomu, že kvalitní numerické modely vyžadují pro svůj efektivní provoz velmi výkonné superpočítače a s ohledem na s tím spojené vysoké náklady jsou provozovány zejména velkými meteorologickými službami.

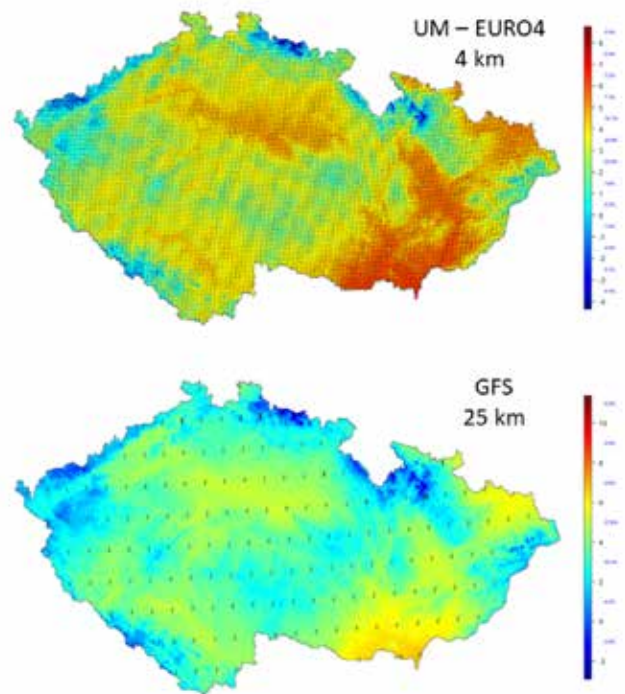
Model předpovědi musí také mít v jejím počátku k dispozici informace o aktuálním stavu atmosféry. Z něj předpověď vychází a svými výpočty tento výchozí stav v jednotlivých časových krocích dále modeluje do podoby předpovědi. Je velmi důležité, aby tyto vstupní informace byly co nejpřesnější a bylo jich co nejvíce. Z těchto důvodů probíhá celosvětově v rámci meteorologických služeb ke sběru dat z měřících pozemních stanic, ale také například z radarů, sondáží atmosféry a zejména pomocí satelitního snímání zemského povrchu a oblačnosti (Obr. 66). Zároveň je potřeba tato data neustále kontrolovat: to provádějí především jednotlivé meteorologické služby, ale kontrola probíhá i v rámci modelování 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 uživatelům z technických důvodů poskytovány v hodinových či tříhodinových intervalech.

Pro potřeby předpovědi počasí pro monitoring sucha bylo nakonec zvoleno 5 numerických předpovědních modelů, které patří ve světě k těm nejlepším a zároveň mají dostatečnou délku předpovědi. Modely se liší ve svém prostorovém rozlišení a délce předpovědi. Obecně platí, že čím delší předpověď, tak má model horší prostorovou vazbu. Předpověď pro monitoring sucha je omezena na maximální délku 9 dnů, kdy je ještě spolehlivost modelů přijatelná. Na delší období by bylo nutné zpracovávat jiné typy modelů (ensemblové členy jednotlivých modelů), což by výrazně zatížilo výpočetní kapacitu a předpověď by byla k dispozici až v pozdější čas a ztrácela by svoji relevanci. Nejlepší prostorové rozlišení má v našem výběru francouzský model ARPEGE (10 km), ale jeho předpověď je k dispozici pouze na 4 dny dopředu. Naopak nejhrubší prostorové rozlišení poskytuje americký model GFS a kanadský GEM (oba 25 km), ale na druhé straně dávají nejdelší předpovědi. Např. model GFS předpovídá počasí až na 16 dní dopředu. Jak vypadá rozdíl v rozlišení modelů, ukazuje Obr. 67. Zde jsme záměrně zvolili jako ukázkou regionální model britské meteorologické služby UM-EURO4, který má vysoké rozlišení (4 km) a oproti tomu americký model GFS (25 km). Je zde vidět, jak model s hustým pokrytím dokáže podstatně lépe postihnout regionální rozdíly. Bohužel takto prostorově podrobný model pak není možné spočítat na delší období, a proto je pro monitoring sucha nevyužitelný a je používána jeho globální verze. Modely ECMWF IFS a GLOBAL UM jsou placené, naopak ostatní modely lze zatím používat zdarma. Obecně platí, že modely za poplatek dávají kvalitnější výsledky.

Seznam použitých modelů:

- Model IFS Evropského centra pro střednědobou předpověď Integrated Forecasting System (ECMWF) s prostorovým rozlišením 12 km, v 3 h časových intervalech a na 10 dní dopředu.
- Model ARPÈGE francouzské meteorologické služby Centre National de Recherches Météorologiques/ Météo France (zkratka z Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) s prostorovým rozlišením v Evropě ~10 km, v 1 h časových intervalech na 4 dny dopředu.
- Model Unified Model (GLOBAL UM) britské meteorologické služby United Kingdom Meteorological Office (UKMO) s prostorovým rozlišením ~10 km, v 1 h časových intervalech na 6 dní dopředu.
- Model Global Forecasting System (GFS) meteorologické služby Spojených států National Office for Ocean and Atmosphere (NOAA) v prostorovém rozlišení 25 km, v časových intervalech 3 h a na 16 dní dopředu.
- Model Global Earth Model (GEM) kanadské meteorologické služby Canadian Meteorological Centre (CMC)

v prostorovém rozlišení 25 km, v 3 h časových intervalech a na 10 dní dopředu.

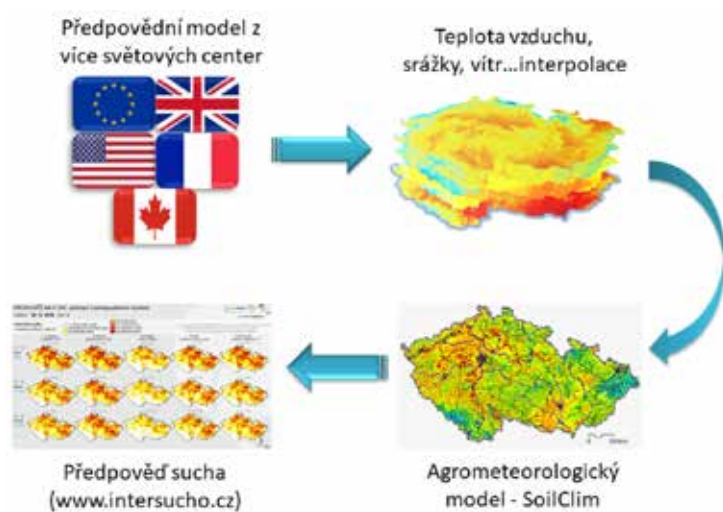


Obr. 67 Ukázka rozdílu rozlišení dvou numerických předpovědních modelů – regionálního a globálního

Numerické předpovědní modely nedokážou vždy zcela správně popsat lokální podmínky a různá geografická specifika dané oblasti. Je proto nutné je na základě historických dat, což jsou starší předpovědi a měření na meteorologických stanicích, pro dané místo korigovat. V prvním kroku se zjišťuje, jaká je systematická odchylka od skutečnosti. Ta je pak následně statistickými metodami odstraněna. Teprve takto opravené výstupy předpovědního modelu pokračují do dalšího zpracování (Obr. 68).

Aby došlo k odstranění problému s rozdílným prostorovým rozlišením modelů a zároveň, abychom lépe navázali na prováděný monitoring sucha (vycházející ze staničních měření), tak jsou výstupy jednotlivých modelů prostorově interpolovány do jednotného rozlišení 500×500 m, jak lze vidět například na Obr. 67. Interpolace je prováděna s ohledem na geografické parametry, jako je např. nadmořská výška či sklonitost terénu.

Takto připravené rastrové vrstvy předpovědních dat slouží jako vstup do modelu půdní vlhkosti. Mezi hlavní prvky používané pro předpověď sucha na 9 dní dopředu pomocí modelu SoilClim (www.intersucho.cz) patří maximální a minimální teplota vzduchu, srážkové úhrny, vlhkost vzduchu, rychlost větru a délka slunečního svitu.



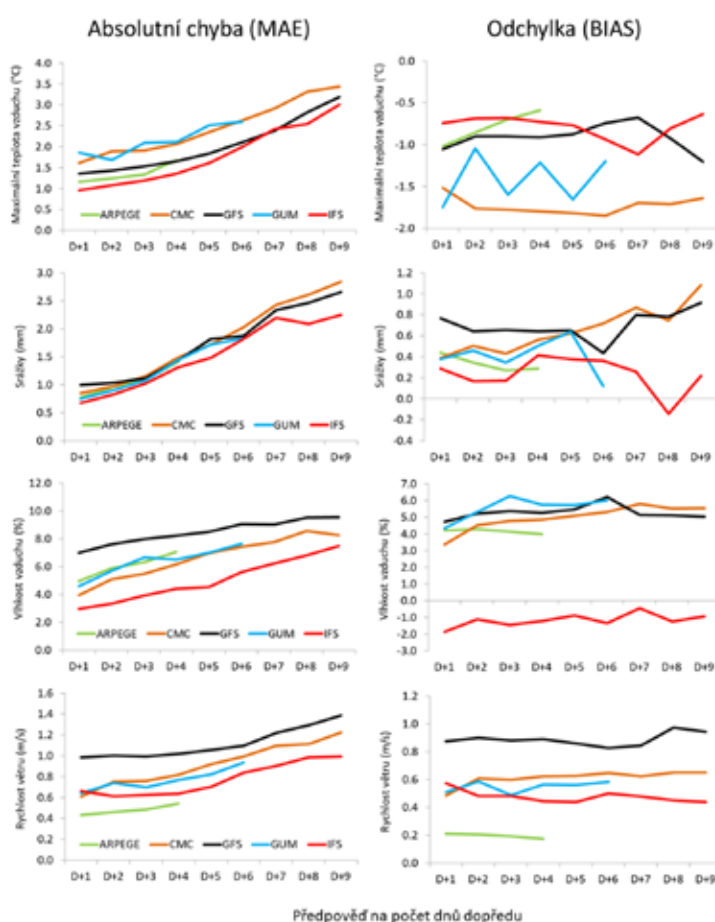
Obr. 68 Schéma přípravy předpovědi sucha pro portál www.intersucho.cz

Úspěšnost předpovědi je hodnocena na základě porovnání předpovědi těchto prvků se skutečně naměřenými údaji získanými ze sítě meteorologických stanic (Obr. 69). S délkou časového výhledu 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. U maximálních teplot vzduchu mají všechny modely tendenci předpovídat nižší hodnoty a to hlavně v jarních a letních měsících, které jsou pro monitoring sucha nejdůležitější. To by znamenalo, že by modely dávaly (bez opravy jejich chyby) tendenci k pomalejšímu vysušování.

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 výskytu srážek. Celkově modely nadhodnocují množství srážek spadlých na celé území České republiky. Mezi hůře předpověditelné prvky patří také rychlost větru, která je značně ovlivněna specifickými místními podmínkami. Předpovědní modely mají celkem značnou kladnou odchylku, kdy predikují o 0,5 až 1 m/s vyšší rychlosti než jsou ty skutečně změřené na stanicích. To je způsobeno tím, že modely nemají v sobě zahrnutou takovou drsnost povrchu (překážky), jaké se reálně vyskytují v okolí stanic. Proto ale nakonec rychlosti větru podle modelů budou pravděpodobně reálnější pro predikci sucha než skutečná měření. Délka slunečního svitu se hůře předpovídá za inverzních stavů (podzim až jaro), kdy se mohou vyskytnout

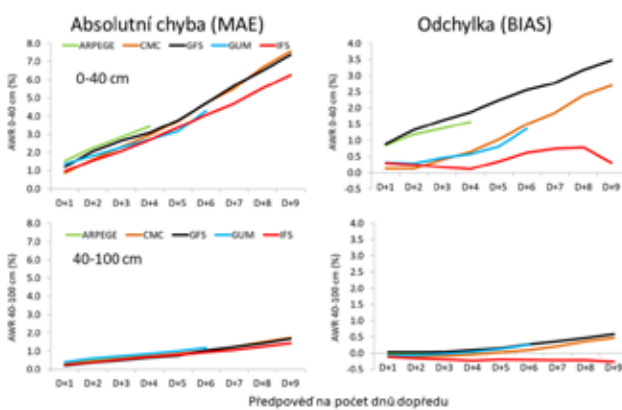
značné rozdíly i mezi blízkými místy. U vlhkosti vzduchu se již začíná projevovat značný rozdíl mezi kvalitou jednotlivých předpovědních modelů, což se pak významně projevuje v predikci sucha. Nejbližší realitě je opět jako u ostatních prvků model IFS. Naopak velice špatně předpovídá vlhkost vzduchu model GFS. U něj je vidět, že hodnoty vlhkosti pro území České republiky se značně liší od reality. Kromě modelu IFS mají podobný problém i ostatní modely, kdy jsou výrazně vlhčí než je skutečnost. To platí především pro první polovinu roku, tedy pro zemědělsky nejdůležitější období.

Tyto vybrané meteorologické prvky poté vstupují do výpočtu půdního sucha. Teprve až jejich kombinace může spolehlivě ukázat, které numerické předpovědní modely jsou nejvhodnější. Jako ukazatel sucha byla pro vyhodnocení zvolena relativní půdní vlhkost (AWR) ve dvou horizontech (Obr. 70).

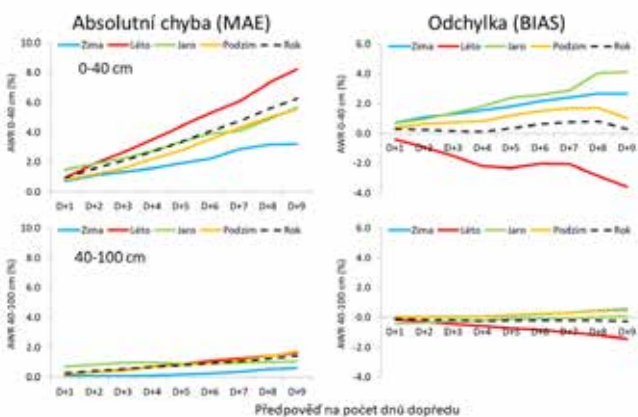


Obr. 69 Průměrná absolutní chyba (vlevo) a systematická odchylka (vpravo) předpovězené a naměřené hodnoty pro maximální teplotu vzduchu, srážky, vlhkost vzduchu a rychlost větru podle jednotlivých modelů až na 9 dní dopředu

Zde se ukazuje, že kvalita předpovědi se zde významně liší. Přízemní vrstva do 40 cm je více citlivá a vykazuje větší odchylky od reality, což je dáno hlavně nejistotou ve srážkách. Chyba je zde až 5x vyšší, ale i přesto je na třetí den absolutní rozdíl od reality okolo 2,5 % a u hlubších vrstev (40–100 cm) jen 0,5 %. Většina modelů má tendenci předpovídat vlhčí půdní profil než ve skutečnosti. Jako nejspolehlivější model se ukazuje IFS (od ECMWF) který dává nejnižší chybu, což potvrzuje i výsledky u jednotlivých meteorologických prvků.



Obr. 70 Průměrná absolutní chyba (vlevo) a systematická odchylka (vpravo) předpovězené a naměřené hodnoty pro relativní půdní vlhkost (AWR) v horizontu 0–40 cm (nahore) a 40–100 cm (dole) podle jednotlivých modelů až na 9 dní dopředu



Obr. 71 Průměrná absolutní chyba (vlevo) a systematická odchylka (vpravo) předpovězené a naměřené hodnoty pro relativní půdní vlhkost (AWR) v horizontu 0–40 cm (nahore) a 40–100 cm (dole) podle jednotlivých sezón až na 9 dní dopředu na základě numerického předpovědního modelu ECMWF IFS

4. 2. 3. Pokročilé produkty a jejich využití

Výstupy numerických předpovědí lze používat pro vytváření nastavbových produktů (typicky navázat na monitoring nebo jakoukoli analýzu současného stavu). Tyto produkty mohou být ve formě např. grafického charakteru anebo také jako další speciální dostupné produkty. Grafické produkty bývají v rámci interucho.cz pravidelně zveřejňovány a pomáhají uživatelům udělat si jednoduše obrázek o vývoji na další dny, a to dokonce včetně možné nejistoty předpovědi.

Mezi graficky pokročilý produkt lze považovat sdružený mapový výstup s předpovědí počasí pro různé prvky a indexy sucha. Na portále www.intersucho.cz je lze najít pod odkazem „Předpovědi“. 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. Základním principem je zobrazení předpovědi ze všech pěti používaných předpovědních modelů (Obr. 72). Mapové podklady jsou děleny na tři samostatné výstupy podle délky předpovědi (1–3. den, 4–6. den, 7–9. den). Aby se uživatel mohl lépe rozhodnout, které předpovědi bude více věřit, tak jsou v záhlaví každé mapy zobrazeny dvě informace o spolehlivosti daného modelu. První číslo znamená chybu za poslední 3 týdny. Druhé číslo ukazuje rozdíl mezi skutečností a předpovědí za poslední týden.

PŘEDPOVĚĎ NA 9 DNÍ - přehled 5 předpovědních modelů

Vydáno: 11. 7. 2019 část: 1

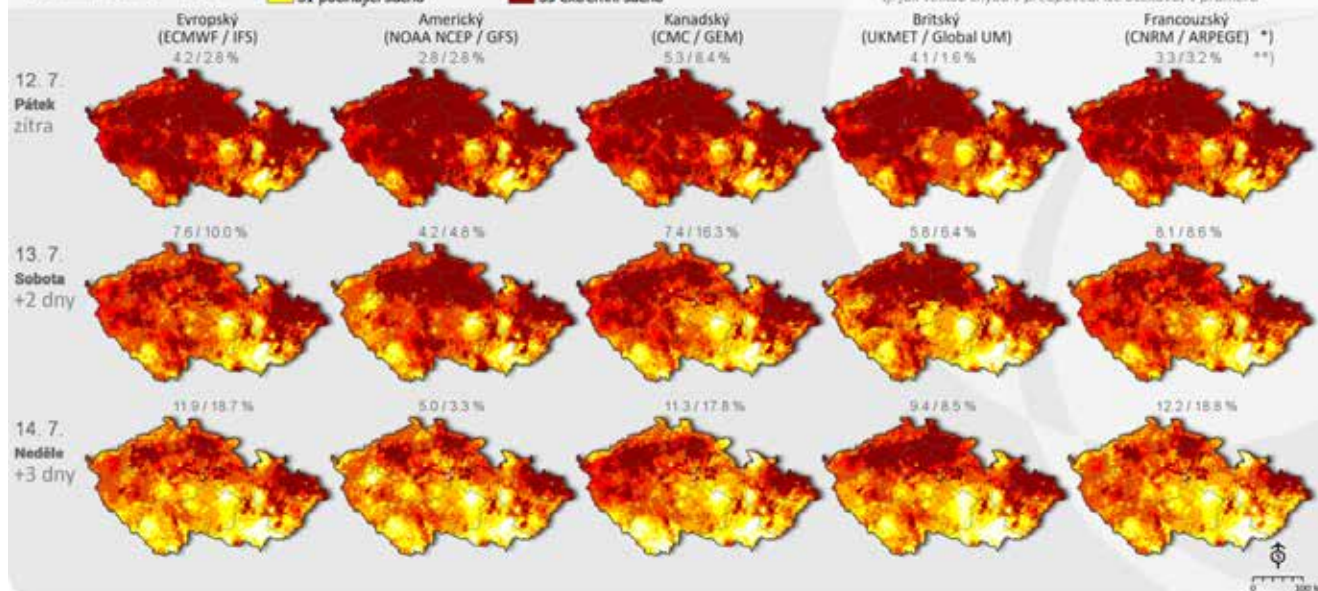


Intenzita sucha

v půdním profilu 0 - 100 cm



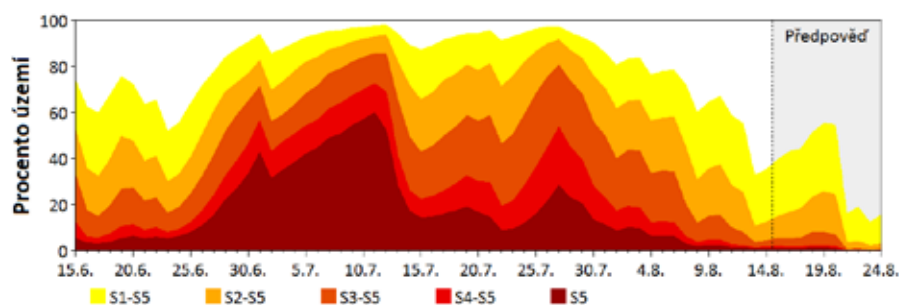
*) Použitý PŘEDPOVĚDNÍ MODEL pro datový odklad (zdroj / zkratka)
 **) ÚSPĚŠNOST PŘEDPOVĚDI: za poslední 3 týdny / 1 týden
 tj. jak velkou chybu v předpovědi lze očekávat v průměru



Obr. 72 Ukázka předpovědního „grafického stylu“ na portále www.intersucho.cz předpovídající vývoj intenzity sucha na další tři dny podle pěti numerických předpovědních modelů

Důležitou informací je i procento území zasažené suchem a to pro jednotlivé kategorie. Přes geostatistické metody jsou plochy spočítány pro aktuální situaci. Vzhledem k nutnosti znát celkový vývoj i na další dny, je podle nejlepšího numerického předpovědního modelu IFS (od ECMWF) počítána a každý den aktualizována plocha se suchem rovněž na dalších 10 dnů dopředu (Obr. 73).

tě. Dále 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 (zpětnou vazbu).

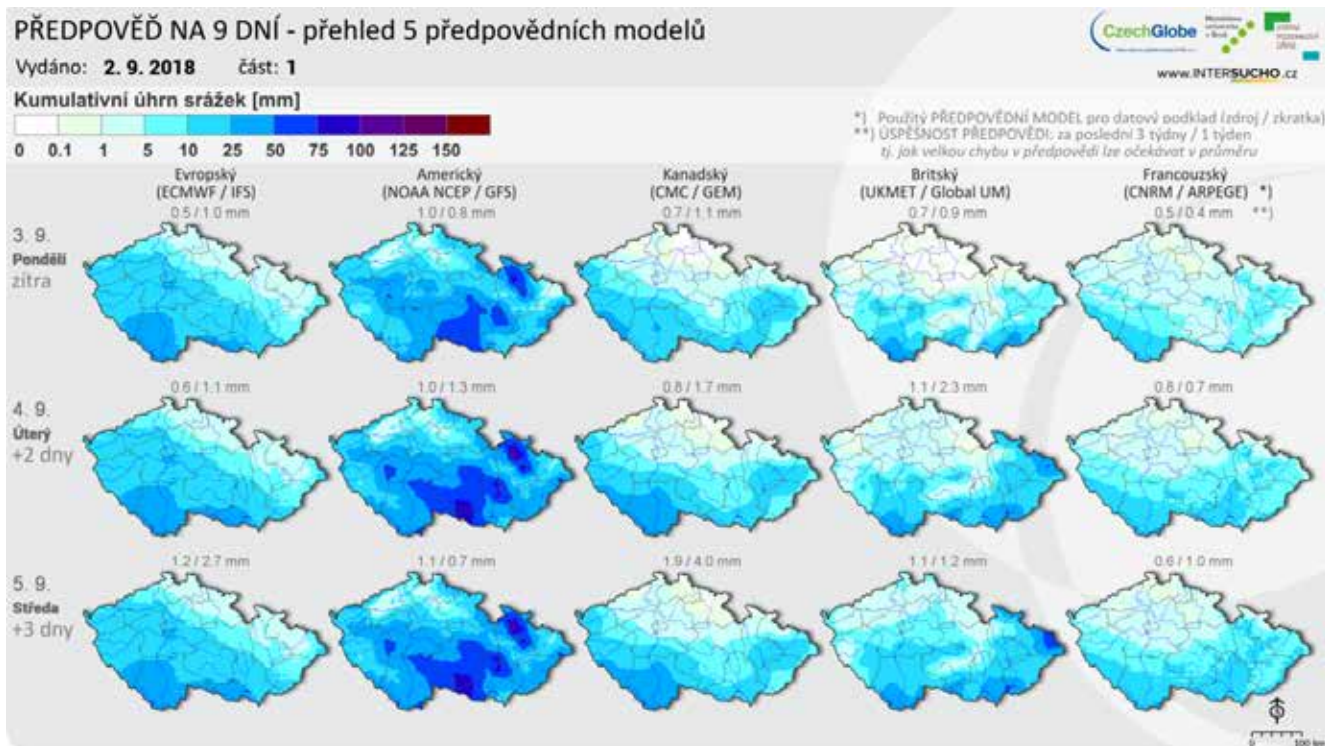


Obr. 73 Procento území zasaženo různými kategoriemi sucha za poslední 2 měsíce a předpověď na dalších 10 dní podle numerického předpovědního modelu ECMWF IFS

V sekci agrometeorologická předpověď je standardně pro všechny uživatele k dispozici předpověď kumulativních srážek (Obr. 74). To znamená, že srážkové úhrny za několik dní jsou sečeny a následně za dané předpovídané období je prezentováno, kolik spadne srážek v daném mís-

Uživatelé stránek www.intersucho.cz mají kromě grafických výstupů k dispozici textovou předpověď počasí se zaměřením na vývoj sucha na dalších 14 dnů. Tu předkládá zkušený meteorolog a aktualizuje se jednou za týden. Poté každý den probíhá aktualizace grafických výstupů, takže uživatel má stále čerstvé informace. Na 9 dní dopředu vychází předpověď již z popsaných 5 numerických předpovědních modelů. Na celých 14 dnů je pak používán

hlavně výstup z modelu GFS ensemble (Obr. 75), který predikuje 19 možných vývojů počasí a jejich mediánová hodnota se považuje za nejspolehlivější předpověď. Díky tomu, že uživatel či meteorolog má k dispozici všechny varianty, může popsat i nejistotu, která je s předpovědi spjata. Ta se liší podle aktuální synoptické situace, zohledňující tlakový útvar ovlivňující počasí nad naším územím. Pokud je vývoj většiny členů ensamble na určité období

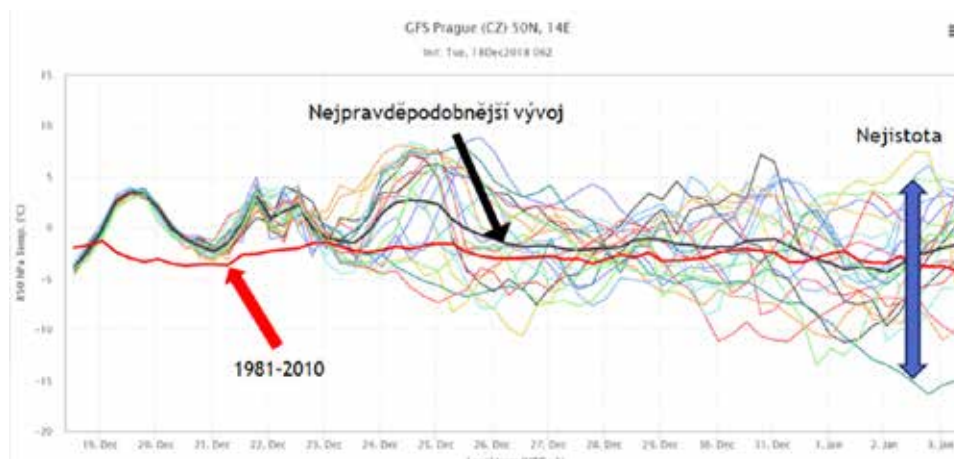


Obr. 74 Ukázka předpovědního „grafického stylu“ na portále www.intersucho.cz předpovídající kumulativní úhrn srážek na další tři dny podle pěti numerických předpovědních modelů

konzistentní, tak lze očekávat, že takové počasí s velkou pravděpodobností nastane, zemědělec se na ni může více spolehnout a zvolit adekvátní např. agrotechnologické postupy. Naopak pokud jsou velké rozdíly v predikovaném vývoji počasí, podle různých členů modelu, tak lze považovat předpověď za méně stabilní a předpokládá se, že s časem bude ještě docházet k jejímu zpřesňování.

V posledních letech výrazně roste poptávka po dlouhodobých předpovědích, které pokrývají minimálně následující měsíc, ale v lepším případě celou sezónu. Znalost vývoje počasí na delší období je dosti důležitá zejména pro zemědělce a energetiky. Proto sezónní předpověď prošla za posledních 20 let velkou proměnou. Od čistě akademického a výzkumného zájmu po rutinní provoz ve velkých světových meteorologických centrech. Ty se zaměřují na poskytnutí statistického odhadu průběhu počasí na měsíc nebo dokonce sezónu dopředu. Tato předpověď stojí na rozhraní mezi konvekční předpovědí počasí a predikcí klimatu. Ze sezónní předpovědi se uživatel nedozví, jak bude vypadat počasí v konkrétní den a místě, ale dostane informaci, jestli následující období bude vlhčí či sušší nebo teplejší či chladnější než je obvyklé pro danou dobu. To je možné díky znalosti fungování některých složek klimatického systému, které reagují opožděně a jsou

tedy velmi dobře předpověditelné (např. oceán, kryosféra atd.) – pokud vykazují určitý stabilní signál, tak pak mají i jasně daný vliv na vývoj atmosféry.

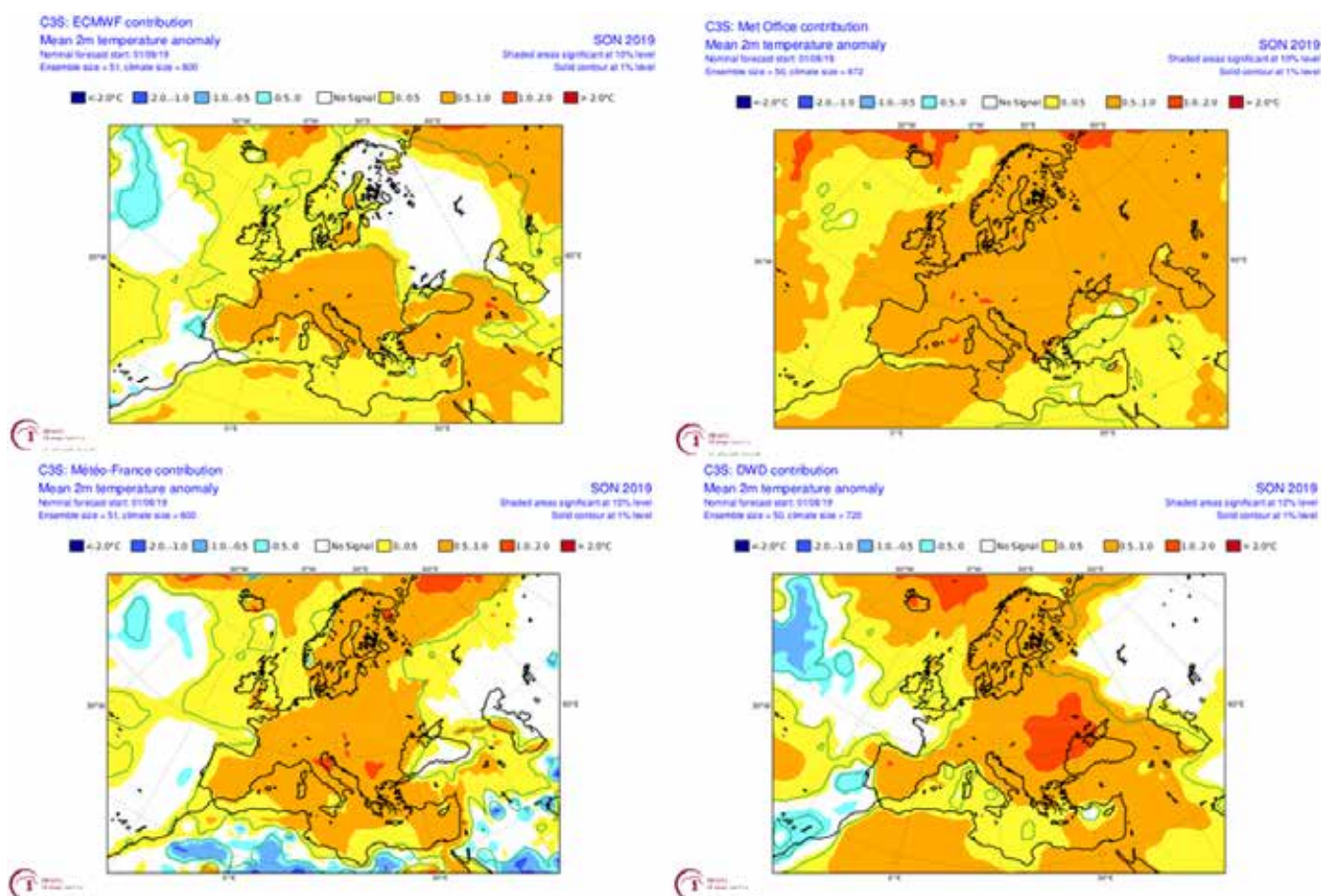


Obr. 75 Střednědobý výhled teploty vzduchu na hladině 850 hPa podle modelu GFS ensemble pro Prahu (zdroj: www.wetterzentrale.de; upraveno)

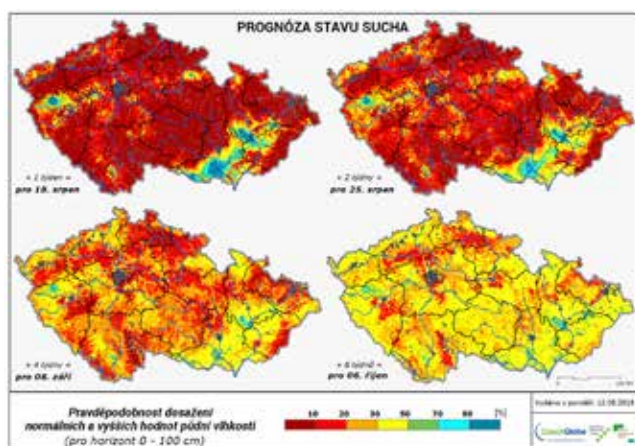
Evropská organizace Copernicus (<http://copernicus.gov.cz/>), která je podporována Evropskou unií se v jednom ze svých vědeckých úkolů snaží posunout vývoj v sezónních předpovědích dopředu. V první kroku shromažďuje výstupy velkých meteorologických center a zpřístupňuje jejich informaci veřejnosti a poskytuje je jako vstupní data dalším vědeckým komunitám. Hlavními dodavateli těchto sezónních předpovědí jsou Evropské centrum pro střednědobou předpověď ECMWF, britská meteorologická služba MetOffice, francouzská meteorologická služba Météo-France a nově i německá povětrnostní služba DWD a výzkumná organizace Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC). Každý z modelů těchto center simuluje procesy v zemském systému mírně odlišným způsobem, což vede i k různým typům chyb produktu. Díky kombinaci výsledků těchto modelů lze některé tyto chyby eliminovat a výsledný C3S multi-systém, který se v rámci projektu Copernicus vyvinul, dává menší chybu než jednotlivé nejlepší modely

(<https://climate.copernicus.eu/seasonal-forecasts>). Jelikož jde stále o relativně nové produkty a spolehlivost je nižší, tak je doporučeno pro laickou veřejnost se soustředit hlavně na odhad vývoje teploty vzduchu (Obr. 76). Jako problematické může být se soustředit na výhled srážek, jelikož ty jsou natolik variabilní, že modely nedávají většinou žádný věrohodný (stabilní) signál.

Dlouhodobou prognózu lze najít i na stránkách www.intersucho.cz. Ta se na základě statisticko-pravděpodobnostního modelu snaží odhadnout, s jakou pravděpodobností dojde v určitém časovém horizontu k dosažení normálních či vyšší hodnot půdní vlhkosti. Jako vstup do modelu slouží aktuální situace a pro budoucí vývoj je brán průběh počasí v daném období, který byl pozorován v minulosti. Základní prognóza se poskytuje na 2 měsíce dopředu (Obr. 77), rozšířená poté i na 6 měsíců dopředu.



Obr. 76 Sezónní předpověď odchylky teploty vzduchu ve 2 m nad zemí na podzim 2019 podle čtyř předpovědních center – ECMWF (nahore vlevo), MetOffice (nahore vpravo), Météo-France (dole vlevo) a DWD (dole vpravo)



Obr. 77 Pravděpodobnost dosažení normálních a vyšších hodnot půdní vlhkosti (horizont 0–100 cm) v dalších 2 měsících (zdroj: www.intersucho.cz)

4. 2. 4. Jak se zapojit do monitoringu a jaké jsou benefity pro zpravodaje

V rámci monitoringu sucha na portálu www.intersucho.cz využíváme kromě modelu vodní bilance SoilClim a satelitních dat také spolupráci s velkou skupinou expertů z oblasti zemědělství a příbuzných oborů. Tito experti, nebo také zpravodajové, podávají pravidelná hlášení o tom, jak hodnotí situaci půdní vláhy a případných dopadů sucha na plodiny. Jedná se o expertní subjektivní posouzení založené na odhadu samotného reportéra, které stojí v rámci monitoringu vedle ostatních metod, jako je modelování či využití satelitních dat. Toto hlášení je reportéry poskytováno přímo z jejich lokality a v pravidelném týdenním kroku. Jedná se o velice aktuální a o praxi opřenou informaci, která v případě krizových situací může usnadnit jejich řešení. Současně jde o způsob jak korigovat informaci o suchu v místech, kde se odhad portálu www.intersucho.cz rozchází s realitou. Subjektivní zprávy jsou verifikovány s ohledem na nejbližší okolní experty a údaje z meteorologických stanic a následně jsou vyneseny do map (Obr. 86 a Obr. 87).

Pro zájemce o zapojení se do monitoringu sucha na portálu intersucho.cz je postup velice jednoduchý. Online dotazník je dostupný přímo na stránkách (zde: www.intersucho.cz/dotaznik). Tyto dotazníky jsou zpravodaji vyplňovány v každém týdnu a následně vyhodnoceny. Samotné vyplnění jednoduchého dotazníku je velice uživatelsky příjemné a nevyžaduje žádné další vybavení, přístroje nebo senzory pro měření půdní vláhy. Reportéři poskytují pouze odborný odhad o tom, v jakém stavu se nachází jejich lokalita na základě jejich vlastní zkušenosti.

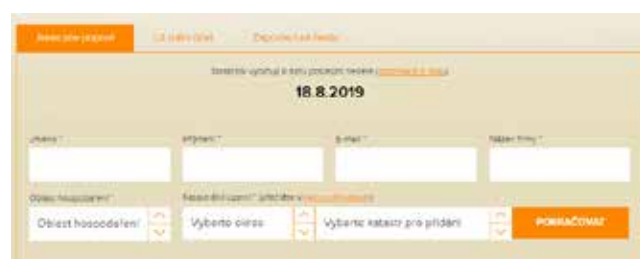
Pro přístup k dotazníku je v české části k dispozici odkaz „Monitorujte sucho“ (znázorněno na obrázku níže –

Obr. 78). Po kliknutí na odkaz se zobrazí přímo stránka dotazníku.



Obr. 78 Odkaz na stránku dotazníku (modře), (zdroj: intersucho.cz)

Samotný dotazník má několik částí. Pokud vyplňuje reportér dotazník poprvé, bude vyzván k vyplnění hlavičky dotazníku (Obr. 79). Tuto část dotazníku vyplní každý reportér pouze jednou a při dalším hlášení se k ní již nevrací. Tyto informace zůstanou uloženy v rámci uživatelského účtu. Pro vyplnění hlavičky je třeba zadat základní kontaktní údaje, zvolit si také, pro jakou oblast hlášení podávat (zemědělství, ovocnářství a vinařství, lesnictví či školkařství). Důležitou částí je volba území, pro které chce hodnocení dotazníku odeslat. Hodnocení se vždy vztahuje ke katastrálnímu území nebo územím. K jednomu dotazníku je možné přidat libovolný počet katastrálních území.



Obr. 79 Hlavička dotazníku pro první vyplnění

Dotazník odeslaný pro tuto skupinu katastrů obsahuje stejné hodnocení pro všechny připojené katastry. Pokud chce uživatel popsat větší území s určitou rozmanitostí (část území je na příklad suší, s jinými půdními vlastnostmi a jiným chodem počasí) je třeba toto území rozdělit podle katastrů a popsat je pomocí více než jednoho dotazníku. Jeden dotazník tak může charakterizovat situaci v katastrálních územích s mírnějším průběhem sucha a jeho dopady. Další dotazník pak popíše situaci v katastrech, kde reportér pozoruje extrémní situaci a očekává významný vliv na výnos. Vyplnění a odeslání dotazníku není časově náročné a není třeba se obávat hodnotit různé skupiny katastrálních území.

Po vyplnění hlavičky následuje samotné tělo dotazníku, rozdělené do několika částí. První část dotazníku je zaměřena na aktuální stav půdní vláhly (Obr. 80). Tuto část dotazníku tvoří tři otázky – hodnocení aktuální půdní vláhly v povrchové vrstvě půdy do 20 cm, hodnocení vodní bilance za poslední 3 měsíce a hodnocení změny oproti předcházejícímu týdnu. U každé otázky je připravena velice popisná škála, ze které reportér pouze vybere možnost, která nejlépe odpovídá tomu, co pozoruje na hodnocené lokalitě. Pro zodpovězení této části dotazníku není třeba půdní vláhlu měřit za pomoci nákladných zařízení či senzorů. Na otázky je možné jednoduše odpovědět na základě posouzení pohledem, popřípadě hmatem (například posoudit, zda je půda prашná nebo je v dlani formovatelná a dobře nasycená vodou).



Obr. 80 Otázky na půdní vláhlu

Čtvrtá otázka dotazníku se zaměřuje na posouzení map portálu intersucho.cz (Obr. 81). Pro každý okres a jeho katastrální území najdete přímo u této otázky odkaz na příslušnou mapu intenzity sucha a relativního nasycení půdy. Mapa se k této otázce připojí automaticky na základě reportérem vybraných katastrů (a okresů, do kterých náleží), pro které chce hodnocení zasílat. V otázce žádáme reportéra o hodnocení toho, jak tato mapa (nebo mapy) odpovídají stavu, který pozoruje na dané lokalitě. Výběr odpovědi je opět umožněn jednoduchou škálou od 1 do 5, kde hodnocení odpovídá školnímu známkování. Pokud tedy reportér zvolí možnost 1, pak mapa velice dobře odpovídá skutečnosti. Pokud naopak zvolí možnost 5, mapa jeho pozorování neodpovídá a není pro něj užitečným podkladem. Při výběru možností 4 nebo 5 je navíc možnost přidat pod otázku komentář k tomu, jakým způsobem se pozorování od mapy odlišuje. Je vhodné hlášení o tomto komentář doplnit.



Obr. 81 Hodnocení map portálu Intersucho

Další část dotazníku je tvořena sérií tak zvaných dopadových otázek. V těchto otázkách jsou respondenti žádáni o posouzení dopadů sucha na sledované plodiny. Hodnocení dopadů sucha je vždy vztaženo k velikosti výnosu. Výběr odpovědi v dotazníku vždy udává očekávané snížení výnosu zapříčiněné suchem s tím, že snížení výnosu by mělo být posouzeno oproti tříletému průměru. Při odpovědi je tedy třeba se vždy zamyslet nad stavem a výnosy za poslední tři roky a následně posoudit vážnost aktuální situace.

I u této skupiny otázek se hodnotí pomocí jednoduché škály (Obr. 82). Tato škála je stejná pro všechny dopadové otázky (hodnocené plodiny). Vždy se jedná o 6stupňovou škálu, doplněnou o možnost danou plodinu nehodnotit (pokud ji reportér nepěstuje nebo z nějakého důvodu nechce komentovat). U všech otázek v dotazníku platí, že se odpovědi reportérů ukládají a v případě, že se situace nemění, není třeba při příštím vyplňování dotazníku odpovídat znovu.

U každé dopadové otázky je tedy možné vybírat jednu z následujících odpovědí:

- 0 žádný vliv sucha, porost je optimální.
- 1 žádný vliv sucha, ale porosty jsou horší z jiných důvodů.
- 2 sucho ovlivnilo výnos porostu, ale výrazné ztráty neočekáváme, ztráta výnosů do 10 %.
- 3 střední úroveň poškození, očekáváme výrazné snížení výnosů, ztráta výnosů do 10–30 %.
- 4 těžké poškození výnosu, výnos na 10letém minimu, ztráta výnosů do 30–40 %.
- 5 porosty extrémně poškozené suchem, ztráta výnosů nad 40 %.



Obr. 82 Příklad otázky pro hodnocení dopadů sucha na plodiny

Pokud pro některou z plodin zvolí reportér možnost 1 (žádný vliv sucha, ale porosty jsou horší z jiných důvodů), dostane také doplňující otázku (Obr. 83) na příčinu poškození porostů. Reportér zde může vybrat z několika možností (choroby, hmyz, hlodavci, ptáci, vyzimování, agrotechnická chyba, krupobití, povodeň nebo záplava, poléhání a jiné) a přidat také hodnocení o očekávaném procentuálním snížení výnosu.

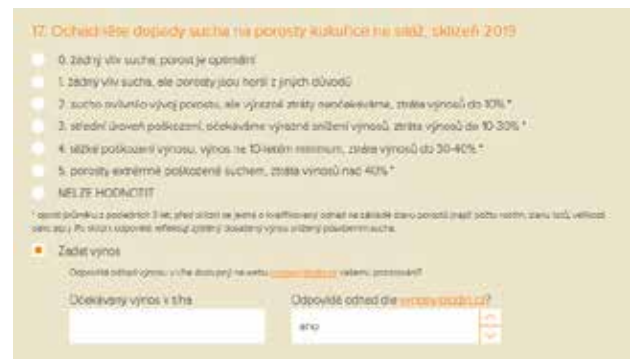


Obr. 83 Doplňující otázka pro zadání příčiny poškození

V rámci dotazníku pro oblast zemědělství je možné aktuálně hodnotit následující plodiny: pšenice ozimá, ječmen ozimý, žito ozimé, ječmen jarní, oves, řepka ozimá, slunečnice, mák setý, chmel, cukrová řepa, brambory, kukuřice na zrno, kukuřice na siláž, vojtěška, jeteloviny a trvalé travní porosty. Reportéři z tohoto seznamu hodnotí pouze plodiny, které si vyberou nebo jsou schopni

posoudit. U zbývajících stačí vybrat možnost „nelze hodnotit“ a pro danou sezonu se pak k otázce nemusejí znova vracet. Pokud tedy například reportér sleduje pouze pšenici, kukuřici a trvalé travní porosty, vyplňuje v každém týdnu hlášení pouze pro tyto tři plodiny a další otázky přeskakuje. Na začátku další vegetační sezony (kdy často dochází k obměně pěstovaných plodin) pak vyplní dotazník znovu celý a tím ho pro danou sezonu nastaví.

U vybraných plodin (pšenice ozimá, žito ozimé, ječmen jarní, oves, řepka ozimá, cukrová řepa, kukuřice na zrno a kukuřice na siláž) je také možné zadat očekávaný výnos pro danou sezonu a posoudit zda tomuto očekávání také odpovídá výnos odhadovaný na portálu www.vynosy-plodin.cz (Obr. 84).



Obr. 84 Možnost hodnocení výnosů

Poslední částí dotazníku je pak pole pro poznámky. Zde je prostor pro jakékoliv připomínky, doplňující informace nebo postřehy (Obr. 85). Je zde možné také sdílet i případná data z měření (na příklad ze srážkoměrů či měření půdní vláh), pokud je má reportér k dispozici. Stejně tak uvítáme i detailnější komentáře k vývoji situace pro jednotlivé plodiny, či konkrétní pozorování na lokalitě reportéra. Po zadání komentáře (volitelné) je pak možné vyplněný dotazník odeslat.



Obr. 85 Pole pro poznámky a tlačítko pro odeslání dotazníku

Po odeslání prvního dotazníku je reportér na intersucho.cz automaticky zaregistrován a je mu založen uživatelský účet. Na emailovou adresu zadanou do hlavičky dotazníku, v jeho úvodu, je mu zasláno heslo. Toto heslo není možné změnit a pomocí něj a emailové adresy se při příštím vyplnění dotazníku přihlašuje. V případě zapomenutého hesla je možné si jej nechat znovu zaslat. Po registraci zasiláme společně s heslem také informační zprávu, ve které je princip fungování dotazníků a obsahu portálu intersucho.cz ještě jednou shrnut. V každém týdnu pak od týmu našeho portálu reportéři obdrží krátký email s výzvou k vyplnění dotazníku. Přímo v této zprávě je také odkaz na dotazník a aktuální okresní mapy.

Dotazníky jsou na každém týdnu k dispozici od pondělního rána (4:30 hod) až do čtvrtěčního poledne (12:00 hod). Poté je sběr dotazníků pro daný týden ukončen a data jsou zpracována. Na základě zpracovaných data pak v každém týdnu vzniká mapa „Dopady na zemědělství“, která je publikována na portálu intersucho.cz (Obr. 86).

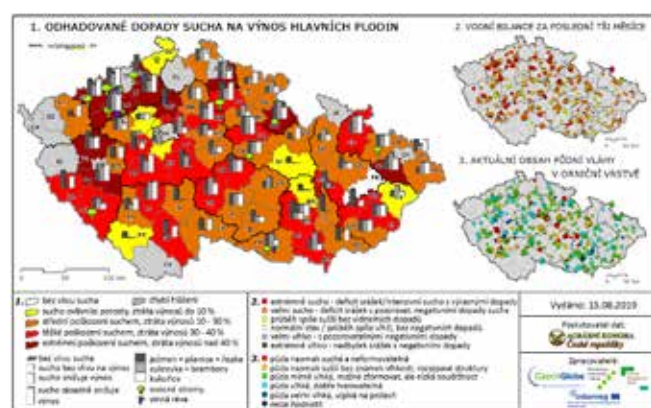


Obr. 86 Mapa dopadů sucha na zemědělství na portálu intersucho.cz

Mapa je k dispozici také ke stažení (Obr. 87). Součástí mapy jsou 3 mapová pole. V hlavní mapě, která odpovídá mapě zobrazené na intersucho.cz, jsou znázorněny kombinované výsledky dopadových otázek (všech hodnocených plodin). Výsledky dotazníků jsou sruženy dle okresů. Barva okresu ukazuje průměrnou hodnotu okresu, kdy je průměr počítán z nejvyšších hodnot bez ohledu na plodinu (z hlášení každého reportéra je vybrán nejzávažnější hlášený dopad sucha a z těchto hodnot je spočítán průměr). Sloupcové grafy v jednotlivých okresech pak ukazují průměrné dopady na jednotlivé skupiny

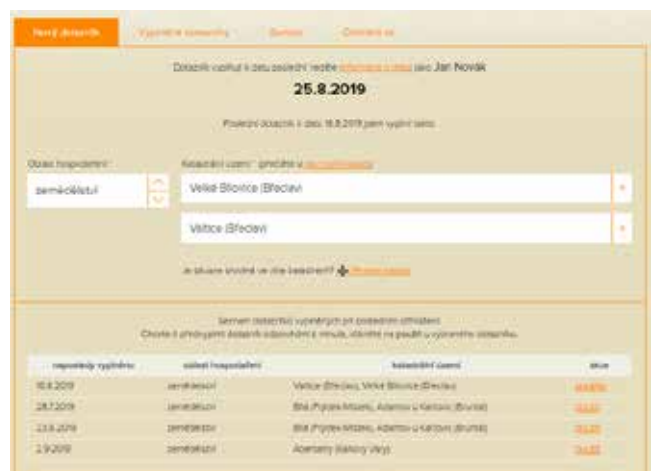
ny plodin – obilniny, okopaniny a kukuřici. Vyšší sloupec grafu představuje větší dopady sucha na výnos. Pokud je navíc v okrese ikona ovocného stromu či vinného hroznu, je zde hlášen i dopad sucha do oblastí ovocnářství nebo vinařství.

Další dvě mapová pole ukazují hlášení reportérů o vodní bilanci za poslední 3 měsíce (Obr. 87 malá mapa č. 2 vpravo nahoře) a o aktuálním stavu půdní vláhry (Obr. 87 malá mapa č. 3 vpravo dole). Tyto mapy jednotlivě znázorňují informaci o půdní vláhře pro všechna katastrální území, pro která bylo v daném týdnu odesláno hlášení.



Obr. 87 Mapa dopadů sucha na zemědělství (zdroj: intersucho.cz)

Při dalším vyplnění dotazníku se již reportér přihlásí k vytvořenému účtu a nemusí znovu vyplňovat hlavičku dotazníku. Na svém uživatelském účtu najde připravený dotazník, tak jak jej vyplnil při poslední návštěvě a také další v minulosti vyplněné dotazníky (Obr. 88). Mimo přehled dotazníků zde najde také odpovídající okresní mapy intenzity sucha a relativního nasycení půdy.



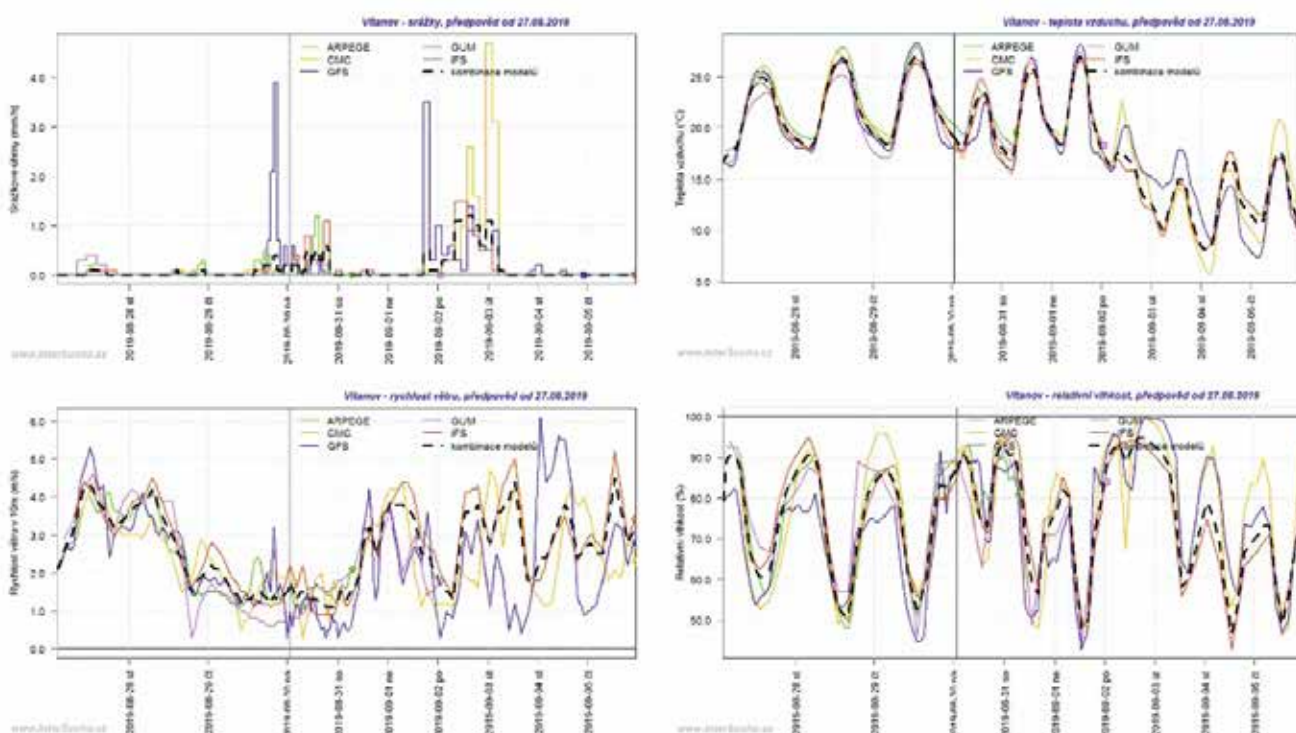
Obr. 88 Přehled účtu reportéra při opětovném přihlášení

Vedle přehledu dotazníků zde najde také bonusové předpovědi portálu intersucho.cz. Jedná se o předpovědi přístupné pouze reportérům, kteří odeslali v daném týdnu hlášení. Odeslaným dotazníkem se odemkne přístup k bonusovým předpovědním mapám denních úhrnů srážek, maximální denní teploty a minimální teploty. Tyto předpovědi jsou přístupné buď přímo z uživatelského účtu, nebo v části portálu věnované předpovědím (Obr. 89). K dispozici je vždy desetidenní varianta předpovědi dle nejspolehlivějšího modelu, stejně jako varianta s pěti modely.

Dalším a nejvíce oceňovaným bonusem pro aktivní zpravodaje jsou denně aktualizované předpovědi počasí, přímo pro vybrané katastrální území. Tyto předpovědi jsou zasílány reportérům denně (po případě ve vybrané dny v týdnu) přímo na jejich emailovou adresu. Jedná se o hodinové předpovědi teplot, srážek, rychlosti větru a relativní vlhkosti vzduchu. Předpovědi jsou 10denní v podobě grafů, vytvořených přímo pro zpravodajem vybraná konkrétní katastrální území (Obr. 90). Jedná se opět o bonus pouze pro aktivní zpravodaje, kteří odesílají pravidelná hlášení.

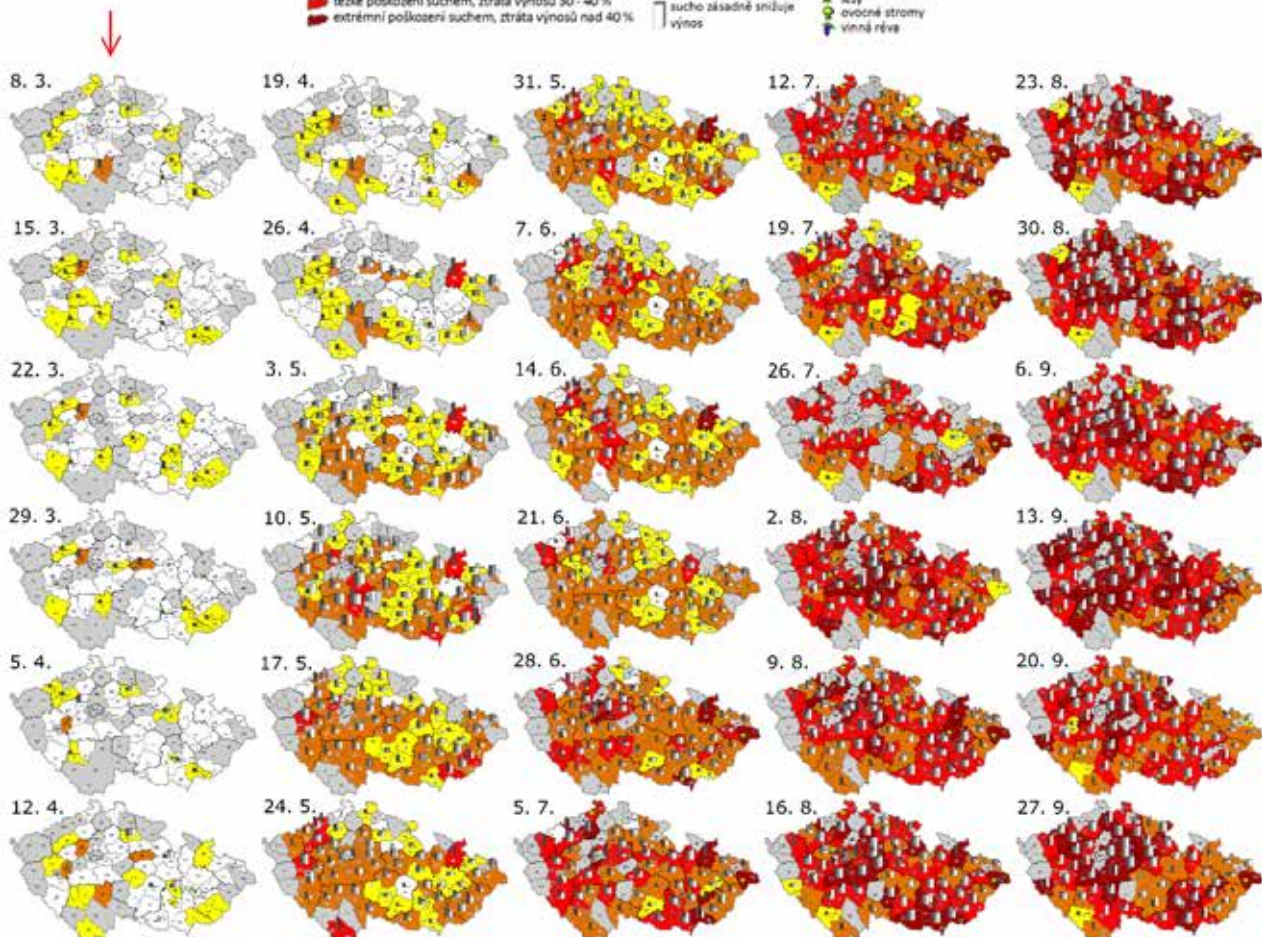


Obr. 89 Bonusové předpovědi aktivované po vyplnění dotazníku



Obr. 90 Ukázka detailní předpovědi pro teplotu, srážky, rychlost větru a relativní vlhkost vzduchu

ODHADOVANÉ DOPADY SUCHA NA VÝNOS HLAVNÍCH PLODIN



Obr. 91 Dopady sucha na výnosy v čase (od 8. 3. do 27. 9. 2018) podle expertů zapojených do systému www.intersucho.cz

Posouzení dopadů (Obr. 91) z roku 2018 jasně dokumentuje význam zapojení expertů. Postupně „červenající“ se území dokazuje vliv narůstajícího zemědělského sucha (např. Obr. 57 či Obr. 64) na výnosy polních plodin. Jedná se o nezávislý pilíř hodnocení výskytu a dopadů sucha, který s předcházejícími přístupy a to modelováním vodní bilance a využitím satelitu Terra prokazuje časoprostorové působení sucha na zemědělskou produkci.

4. 2. 5. Slovensko a střední Evropa

Využití dostupných metod monitoringu zemědělského sucha není omezeno jen na území ČR. Jejich aplikace v dalších regionech je závislá zejména na dostupnosti potřebných vstupních dat, dále na náročnosti procedury přípravy indikátorů, poptávce a přínosu pro uživatele v ČR, případně v zahraničí. Odvozované ukazatele stavu sucha v okolních zemích nemusí sloužit jen uživatelům z da-

ných regionů, ale přinášejí i cenné informace o aktuálním vývoji tamní situace zástupcům zemědělského sektoru v ČR, které mohou být využity např. v rámci obchodních strategií v průběhu daného ročníku.

Díky spolupráci týmu intersucho.cz se zástupci Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) jsou na portálu intersucho.sk (nebo pod záložkou „SLOVENSKO“ na intersucho.cz) dostupné indikátory zemědělského sucha ve srovnatelném rozsahu jako pro Českou republiku. Jedná se o Intenzitu sucha (náhled uživatelského rozhraní včetně ukázky situace z hlediska tohoto indikátoru k 28. 7. 2019 zachycuje Obr. 92), Deficit, Nesycení půdy či Kumulovaný stres ve stejném rozlišení 500 x 500 m, které jsou založeny na stejném modelu půdní vlhkosti (SoilClim) a využívají měření ze sítě meteorologických stanic. Pro území Slovenska je rovněž zpracovávána relativní kondice vegetace na základě měření senzoru MODIS neseného družicí Terra

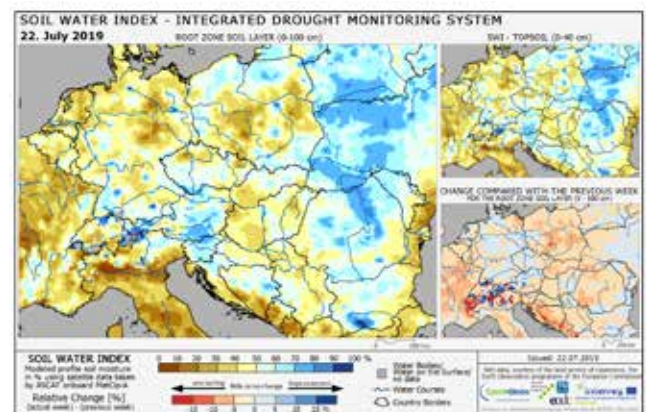
(provozován americkým úřadem NASA), kdy finální produkt je na webu intersucho.sk pro uživatele dostupný v rozlišení 5 x 5 km. Údaje o půdní vlhkosti jsou pro SR dostupné od roku 2015, výsledky relativní kondice vegetace na základě satelitního snímání jsou pak dostupné od roku 2016.

Kromě Slovenska jsou v rámci intersucho.cz hodnoceny a uživatelům zpřístupňovány prostorové ukazatele zemědělského sucha také pro všechny zbývající okolní země prostřednictvím rozšířeného území střední Evropy. Vzhledem k nedostupnosti údajů z kompletní a dostatečně husté sítě pozemních meteorologických stanic napříč tak rozsáhlým územím, se většina ukazatelů opírá o satelitní snímky. Jedná se o typický příklad, kde se dá využít jedna z největších předností satelitní techniky resp. takto nesených senzorů, kdy je jednotnou metodikou sledováno rozsáhlé území na úrovni kontinentů. O zásobě vody v půdě vypovídá Index půdní vláhny (ukázka je uvedena na Obr. 93), o dostupnosti a využívání vody vegetací informuje ukazatel Vodní stres (Obr. 94) a o dopadech průběhu podmínek daného ročníku, včetně případného výskytu sucha, na stav fotosyntetického aparátu a množství zelené biomasy vypovídá opět Relativní kondice vegetace (popis viz kapitola 4. 2. 1), která je dostupná na záložce „Dopady na vegetaci“. V posledním uvedeném případě se jedná o analogii produktu, který je využíván i pro území České republiky s tím rozdílem, že v tomto případě je do mapy zahrnuto území střední Evropy. Všechny uvedené ukazatele jsou dostupné v základním náhledu, tedy přes příslušné záložky uživatelského rozhraní a to v týdenním kroku. Přes tlačítko Stáhnout mapu lze získat podrobnější mapy (např. pro dílčí půdní vrstvy) a ve vyšším grafickém rozlišení.

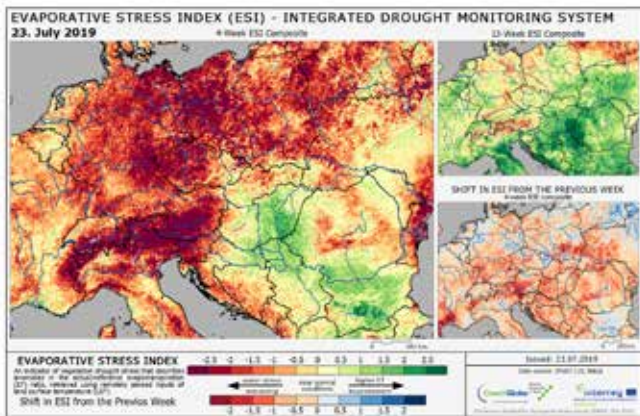


Obr. 92 Zobrazená intenzita sucha pro území Slovenska ke dni 28. 7. 2019 v rámci základního uživatelského rozhraní (zdroj: www.intersucho.sk)

Hodnoty indexu půdní vláhny (ukázka Obr. 93) jsou vypočteny na základě algoritmu založeného na infiltračním modelu, který popisuje vztah mezi povrchovou vlhkostí půdy a vlhkostí v půdním profilu jako funkci času. Dostupnost vody pro vegetaci vzhledem k jejím aktuálním potřebám vyjadřuje index vodního stresu ESI, který je založen na modelu energetické bilance povrchu ALEXI a opírá se o zjištěné povrchové teploty měřené opět např. pomocí senzoru MODIS neseného satelity Terra a Aqua. ESI je stanoven jako poměr tzv. aktuální (ETa) k referenční evapotranspiraci (ETO). Jedná se o poměr vody, která je za daný časový úsek vypařována nebo transpirována vegetací z povrchu (ETa) a množství, které by ve formě evapotranspirace odcházelo z daného území v případě, že by zde byl standardizovaný travnatý povrch, který by byl ideálně zásoben vodou (ETO). V případě prezentované formy ESI indexu se jedná o hodnoty vyjádřené jako standardizované anomálie poměru ETa/ETO vzhledem k referenčnímu období, které začíná rokem 2001 a končí k poslednímu dni předcházejícího roku. Většina hodnot ESI se tedy obvykle pohybuje v rozmezí -3,5 až 3,5, kde záporné hodnoty indikují sníženou ETa (např. stres suchem), hodnoty okolo nuly stav normální, a kladné hodnoty nadprůměrnou ETa a tedy např. vysokou zásobu vody v půdě či fenologickou anomálii (např. časnější příchod jara). Protože zdrojem dat je výše uvedený senzor MODIS, lze vyhodnocení opět realizovat pomocí družicového systému a získávat tak data napříč regiony či dokonce kontinenty.



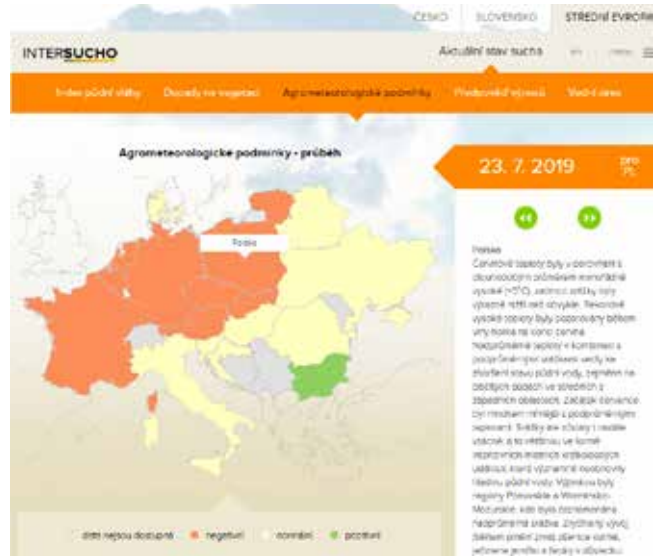
Obr. 93 Sada map pro Index půdní vláhny ke dni 22. 7. 2019 odvozená na základě měření senzoru ASCAT neseného satelitem MetOp-A. Hlavní mapa zobrazuje půdní vlhkost pro půdní profil 0–100 cm (hodnoty ve žluté až hnědé škále zachycují nízké nasycení půdní vrstvy). Pravá horní mapa zachycuje Index půdní vláhny pro vrstvu 0–40 cm a pravá dolní mapa změnu v půdním profilu oproti předchozímu týdnu, (zdroj: www.intersucho.cz)



Obr. 94 Hodnota indexu ESI ke dni 23. 7. 2019 (hodnoty oranžové až červené zachycují stav, kdy aktuální evapotranspirace dosahuje výrazně suboptimálních hodnot). Hlavní mapa zachycuje stav ve 4týdenním okně. Mapky na panelu vpravo poskytují informaci o 12týdenním okně (horní mapka) a změně oproti předchozímu týdnu (dolní mapka), (zdroj: www.intersucho.cz)

Obecně platí, že stres suchem se projevuje mnohem dříve poklesem ETa a tedy i ESI, než v poklesu listové plochy či relativní kondice vegetace. Proto je index ESI citlivějším ukazatelem začínajícího stresu suchem, než je tomu u hodnocení vegetačních indexů. Získané hodnoty ESI i relativní kondice vegetace v průběhu vegetační sezóny umožňují získat představu o načasování a případné závažnosti epizody sucha a částečně i o předpokládaném rozsahu škod v jednotlivých regionech v okolních zemích. Z uvedené indikace byly např. patrné předpokládané škody v Rakousku či Německu v průběhu epizody 2018, které se projevily reálným poklesem výnosů.

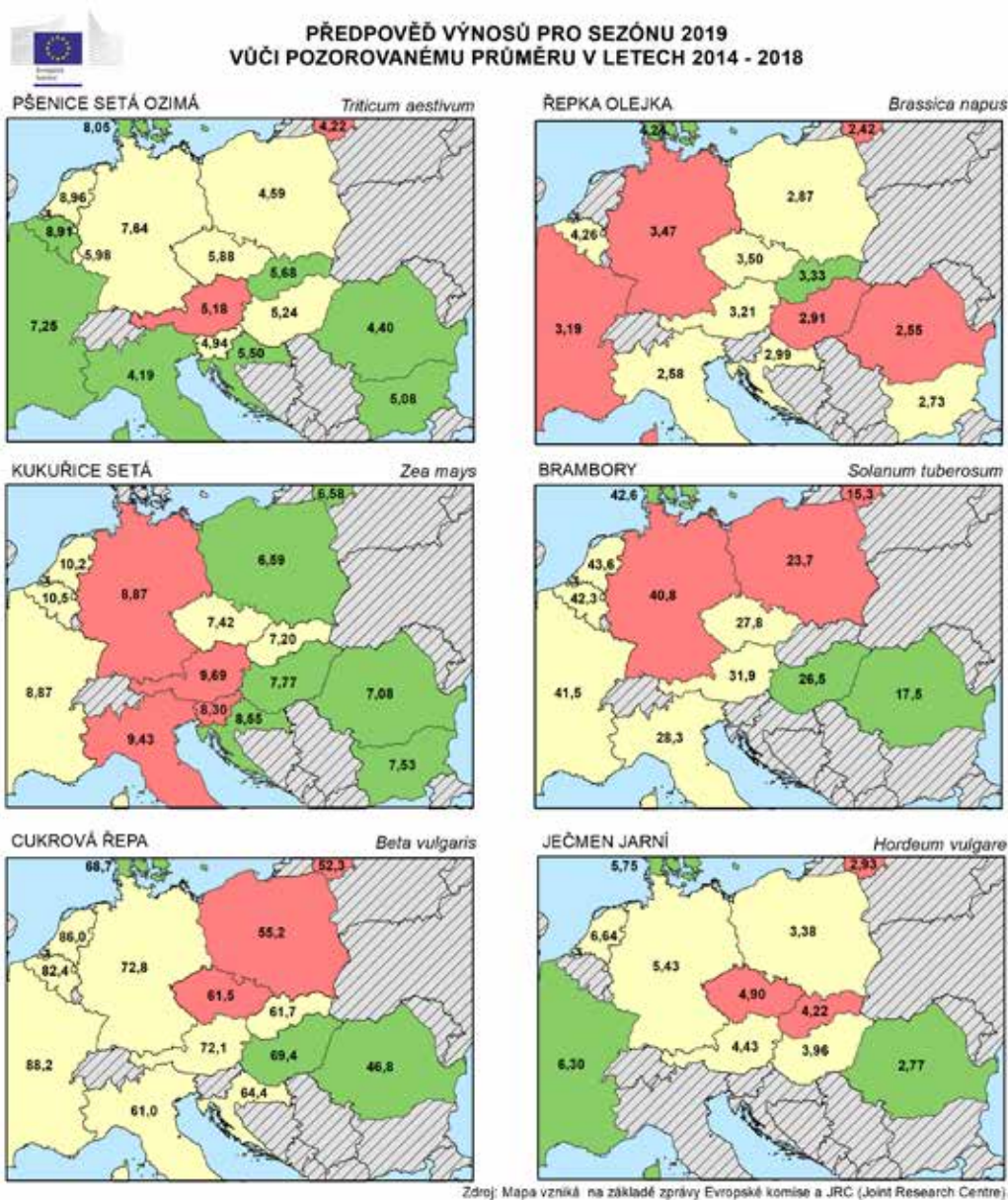
Dalšími produkty (k dispozici v rámci monitoringu sucha střední Evropy pro uživatele portálu intersucho.cz) jsou hodnocení Agrometeorologických podmínek jednotlivých států (Obr. 95) a Předpověď výnosů (Obr. 96 a Obr. 97), které lze najít na příslušných záložkách základního zobrazení webového portálu. V obou případech se jedná o podklady, které jsou pro české uživatele přebírány na základě zprávy Evropské komise a centra JRC (Joint Research Centre). V případě indikace agrometeorologických podmínek, lze text o situaci v jednotlivých státech otevírat interaktivně v rámci uživatelského rozhraní, lze však rovněž stáhnout i podrobnější mapu a textový popis všech hodnocených států.



Obr. 95 Ukázka zobrazení Agrometeorologických podmínek vybraných států Evropy k 23. 7. 2019 v rámci uživatelského rozhraní intersucho.cz se zvoleným popisem (pomocí umístění kurzoru myši) pro Polsko



Obr. 96 Ukázka zobrazení předpovědi výnosů pšenice ozimé ve vybraných státech Evropy k 23. 7. 2019 v rámci uživatelského rozhraní intersucho.cz. Po stažení podrobnější mapy lze získat předpovědi i pro další polní plodiny (viz Obr. 97)



Předpověď výnosů pro 2019 vůči průměru 2014 - 2018:

- Data nejsou dostupná
- Nižší výnos (< - 4%)
- Srovnatelný výnos
- Vyšší výnos (> 4%)

Odhadované výnosy sezóny 2019 jsou vyjádřeny v t/ha.

Vydáno: 22. 07. 2019

Mapa vzniká díky podpoře mezinárodního projektu DniDanube, který je spolufinancován Evropskou unií (ERDF, IPA).

Obr. 97 Ukázka předpovědi výnosů významných polních plodin pro sezónu 2019 vydaná k 22. 7. 2019 na základě pravidelné zprávy Evropské komise a centra JRC (zdroj: intersucho.cz)

ho (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C, Obr. 98), ale i hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 10 °C) vegetačního období. Velké vegetační období bude v nižších polohách začínat již počátkem března a končit v poslední dekádě října. Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivní růst a především vývoj plodin tak, že budeme stále častěji pozorovat dřívější vzházení a nástupy dalších fenofází včetně fyziologické zralosti. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2050 mohlo být uspíšeno v nižších polohách (do 400 m n. m.) o 10–14 dnů, ve vyšších o 15–20 dnů. Zrychluje se dosažení teplotních sum jako podmínka dosažení jednotlivých fenologických fází. Na rozdíl od jiných sektorů (např. stavebnictví) není dřívější zahájení vegetačních období vždy pozitivní. Časně se vyvíjející vegetace, především v oblasti vinohradnictví a ovocnářství, je vystavena vyššímu riziku vpádů studeného vzduchu (advekční mrazíky) nebo radiačnímu ochlazení. Na základě ubývajících vlhkostí půdy, což je způsobeno jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce, ale také právě dřívější aktivitou vegetace a vyšší potřebou vláhy na transpiraci, dochází a bude docházet k častějšímu výskytu jarního sucha. Sucho v období jara bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke zvýšení neproduktivní evaporace, ale i k zesílení vzestupných konvekčních proudů a mění se rozložení srážek (mírný nárůst) v tomto pro rostliny klíčovém období. Právě časný začátek jara v kombinaci se suchem povede k pěstování suchovzdornějších odrůd či přímo plodin (čirok, proso, bér) stejně jako vyšší výsadbě teplomilných odrůd vinné révy, zvláště pak odrůd červených, a to i přes riziko jarních mrazíků.

V kontextu přezimování a následné jarní aktivity chorob a škůdců je nutné zmínit jarní kumulaci abiotických a biotických stresů. Je zřejmé, že suchem či mrazíky oslabené a poškozené porosty jsou následně snazším cílem veškerých patogenů. Snižuje se nejen odolnost samotných plodin či dřevin, ale i účinnost ochranných prostředků jako jsou např. fungicidy a insekticidy. V jarním období očekáváme mírný nárůst srážek. Tyto srážky mohou často přinášet intenzivní erozi a lokální povodně. Ani nepřekvapí informace od zemědělských pojišťoven, které na základě pojistného plnění dokladují jednoznačný posun výskytu krupobití právě směrem k jarním měsícům, kdy tradiční červenec a srpen vystřídal květen a červen.

V letním období jsou dopady spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změny jejich rozložení (obdobně jako v jarním období více přívalů) a výskytem hydrometeorologických extrémů. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků, znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Zvyšující se počet letních

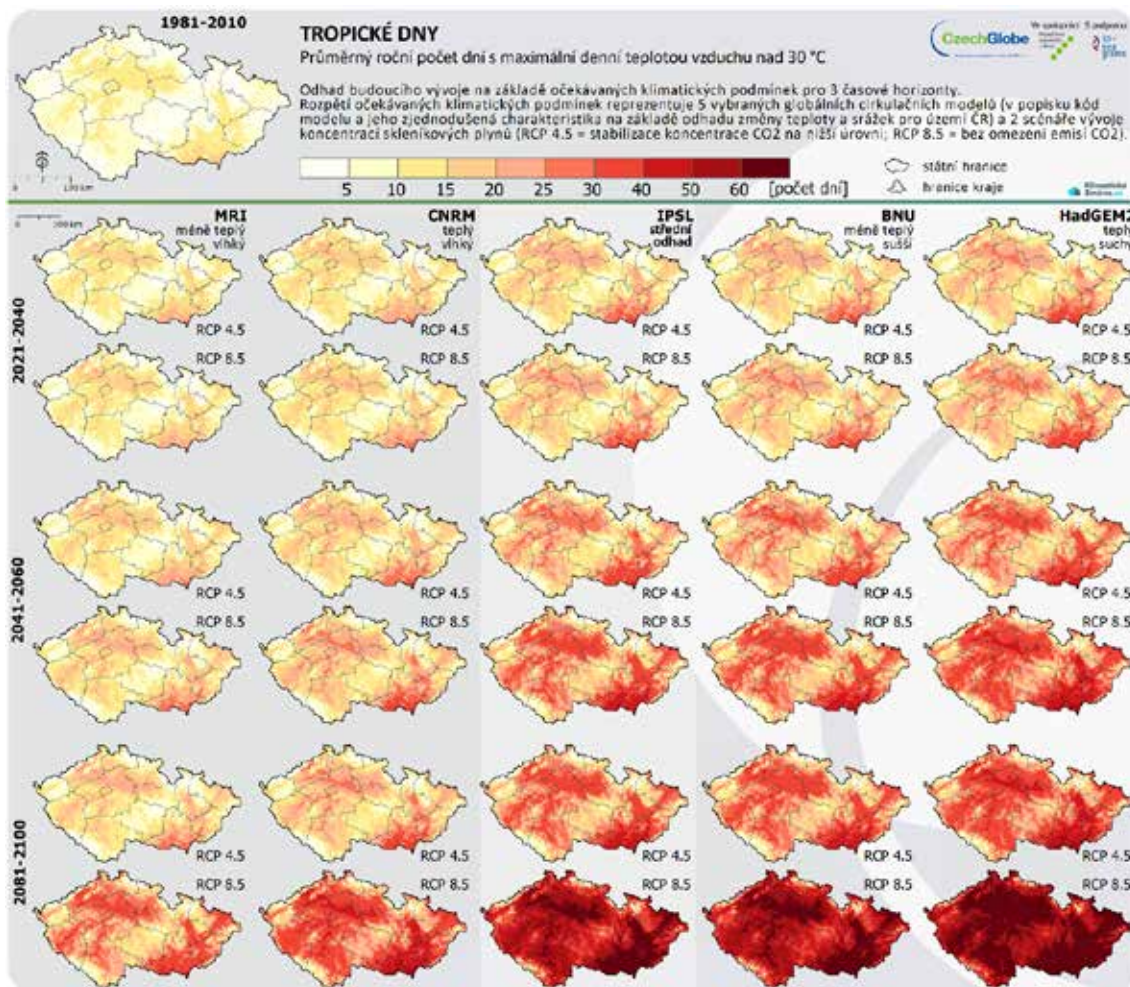
a tropických dnů (Obr. 99) a s nimi spojených horkých vln ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy.

Mimochodem tropické dny jsou kritické dny, které způsobují diskomfort hospodářským zvířatům. Např. je prokázána negativní vazba mezi výskytem extrémně vysokých teplot a hmotnostními přírůsty, dojivosti u krav, výskytu mastitid, ale i jejich reprodukci. Tyto klimatické podmínky jsou ale mimořádně nepříznivé i pro akvakulturu a tak i tradiční způsoby chovu ryb nepochybně budou a často již jsou výrazně ovlivněny.

Vzpomínáte na rok 2015? Tehdy se na Jižní Moravě vyskytlo až 45 tropických dní (= den, kdy maximální teplota přesáhne 30 °C). Tento pro současné klima extrémní počet bude kolem roku 2050 běžnou hodnotou.

Půdní vláha se však díky klimatickým podmínkám snižuje a obdobně jako v období jarním pozorujeme a budeme konfrontováni i v létě s nárůstem zemědělského (agronomického) sucha, jehož definice je spojena s půdní vlhkostí. Prakticky se jedná o nedostatek vláhy pro rostliny. Dopady sucha na plodiny budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Jednou z příčin budou i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a nižší stavy vodních nádrží, které by byly potenciálním zdrojem pro závlahy. Právě v době jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody. Odhlédneme-li od neutěšeného současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě závlahy, které posunou zemědělské podniky postihované suchem z červených čísel. Samozřejmostí se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách vzhledem k množství vody uvažovat nelze. Závlahám se věnujeme v samostatné kapitole 6. 4.

Právě intenzivní srážky související s vyšší variabilitou podnebí (v extrémech půjde o střídání suchých epizod x povodní) budou na konci jarního, ale především v letním období příčinou problémů se sklizní, které se mohou vyskytnout prakticky na celém území České republiky. Časné jaro a teplé léto jsou příčinou posunu chorob a škůdců do vyšších nadmořských výšek, ale především vznikne u škůdců časový prostor pro navýšení počtu generací. Např. v lesnictví není problém přirozený výskyt lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*), ale jeho masivní rozšíření včetně navýšení počtu generací způsobené teplým počasím a výskytem sucha, který oslabuje dřeviny podléhající následnému kumulativnímu stresu.



Obr. 99 Průměrný roční počet tropických dní (s maximální denní teplotou nad 30 °C) na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Blížší popis v záhlaví obrázku (zdroj: klimatickazmena.cz)

Podzimní období je významné z pohledu sklizně některých plodin (např. některé ovoce, vinná réva, kukuřice na zrno, cukrová řepa) a zakládání porostů ozimých obilnin. Pokud se zamyslíme nad změnou klimatu a dopady do zemědělství, jedná se o roční období, které bude relativně nejméně ovlivněno. Ani klimatické scénáře nepředpokládají významnou změnu srážek. Zvyšující teplota způsobí, že část podzimu se stane v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období, a pokud nedojde k náhlému zlomu a rychlému nástupu zimy neumožňující proces otužování vedoucí k získání mrazuvzdornosti, prodlouží se v jeho rámci počet dnů umožňující růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu projevuje spíše mírným, i když nevýznamným, nárůstem srážek, které však na rozdíl od letních nemají přívalový charakter. Zvýšení teploty sice vyvolá vyšší výpar, ale dopady už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový vliv jako v období jarním a časně letním. Jedinou vážnou výjimkou a problémem podzimu bude aperiodický výskyt sucha v období září–říjen, který může ovlivnit vzházení ozimů a jejich počáteční růst včetně dvou pro zemědělství eko-

nomicky klíčových plodin – pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) a řepky ozimé (*Brassica napus*).

V zimních měsících pozorujeme a nadále lze očekávat zvláště ve středních a nižších polohách úbytek trvání sněhové pokrývky, což zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (pokles teploty vzduchu pod bod mrazu a současně absentuje sněhová pokrývky) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněny izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových (teplota celodenně pod 0 °C) i arktických (teplota celodenně pod -10 °C) dní, nelze jejich výskyt vyloučit. A v této souvislosti je nutné podotknout, že již 5 cm sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývky prakticky eliminuje účinky i silných mrazů. Především u ozimé pšenice, ozimého ječmene a řepky ozimé je možné pozorovat regionální postižení, kdy buď voda v rostlině zamrzne, zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva či zamrzne voda v půdě, následně dojde k jejímu pohybu a poškození kořenového systému

či při častějším střídání vyšších a nižších teplot k vytahování rostlin. Délka trvání sněhové pokrývky je indikátorem naznačujícím možnosti pěstování (a zejména úspěšného přezimování) klíčových plodin, jakými jsou v současnosti pšenice ozimá či řepka ozimá. Současně je vhodným indikátorem signalizujícím charakter počasí v zimním období, a to jak z pohledu teplot, tak z pohledu srážek. Mezi léty 1961–1990 a 1991–2014 se počet dní se sněhovou pokrývkou dramaticky snížil na prakticky celém území, ale zvláště v nadmořských výškách nad 400 m n. m. Kromě toho, že v zimním období jsou patrné poklesy srážkových úhrnů (např. Krkonoše, Českomoravská Vysočina, Beskydy až o 20 %), přichází díky vyšším teplotám více srážek ve formě kapalné než pevné, což způsobuje nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce a nedostatek vody, který by se měl ze sněhu uvolnit na začátku vegetačního období. Brzký a často razantní nástup jara způsobuje a bude způsobovat jarní povodně a rychlý odtok našimi napřímenými řekami do sousedních států. Všechny tyto zimní důsledky změny klimatu lze v posledních letech pozorovat nejen v zemědělsky intenzivních oblastech, např. v Polabí, na Rakovnicku či na jižní a střední Moravě. Zima beze sněhu či s kratší dobou trvání a samotnou nižší výškou sněhové pokrývky se stává prvním předpokladem jarního sucha. Přesto lze zimní období díky nižším teplotám a minimální evapotranspiraci (výparu) považovat za období vodnosti. A právě toto období vodnosti je nutné využít k akumulaci zimních srážek a zamezení jejího odtoku. Slovo akumulace nabývá na stejném a v nižších polohách i na podstatnějším významu než slovo retence. Zcela zásadní aspekt má zvýšení teploty a změny skupenství srážek na doplnění zásob podzemních vod, které jsou v ČR využívány jako voda pitná (cca 55 % celkové spotřeby). Kromě zhoršení struktury půdy a změny v rozložení srážek směrem k vyšší intenzitě je to právě charakter zim, které rozhodují o doplnění zdrojů mělkých podzemních vod. Tento proces probíhá z naprosté většiny v období zimních měsíců, neboť po zahájení vegetačního období spotřebují z půdy vodu kořenovým systémem pro svůj růst a vývoj rostliny a do podzemních rezervoárů se tak voda již nedostane.

Na závěr kapitoly o časoprostorových dopadech změny klimatu a sucha si jako její shrnutí představme **SWOT** (**S**trengths = silné stránky, **W**eaknesses slabé stránky, **O**pportunities = příležitosti a **T**hreats = hrozby) analýzu v oblasti zemědělství v závislosti na nadmořské výšce.

Méně než 400 m n. m.

- Silné stránky – kvalitní půdy, silná zemědělská tradice, vhodné podmínky pro agroturistiku.
- Slabé stránky – nedostatek srážek, silná větrná a vodní eroze, závlahové systémy na hranici životnosti, zanášení vodních nádrží sedimenty a eutrofizaci vod spláchnutými živinami, malý počet mokřadů a vodních nádrží či ploch, malá výsadba větrolamů.

- Příležitosti – delší vegetační sezóna, možnosti rozšíření pěstování teplomilných plodin a odrůd, zavedení kapkových resp. mikrozávlah, větší podíl trvalých kultur a plodin s vyšší přidanou hodnotou.
- Hrozby – vysoká variabilita výnosů, narůstající sucho, absence sněhové pokrývky, výskyt silných holomrazů, ničící jarní mrazy, výskyt invazivních chorob a škůdců, vyšší počet letních dní s dopadem na fenologii a výnos polních plodin, vyšší počet tropických dní s dopadem na zdraví a živočišnou výrobu, snížení hladin vodních ploch a omezení průtoků řek s dopadem na chov ryb, vyšší riziko požárů, frustrace ze zemědělských výsledků a riziko opuštění půdy, zvýšení nezaměstnanosti.

400–800 m n. m.

- Silné stránky – relativní dostatek srážek, pro ozimy důležitý výskyt sněhové pokrývky, nižší výskyt vln veder.
- Slabé stránky – méně kvalitní půda, vodní i větrná eroze.
- Příležitosti – delší vegetační sezóna, zvýšení výnosů polních plodin, možnosti rozšíření pěstování teplomilných plodin a odrůd, zvýšení obsahu organických látek v ornici a zlepšení kvality humusu, možnost pěstování rychle rostoucích dřevin a bylin, potenciál na chov dobytka.
- Hrozby – narůstající sucho, zvyšující se dehumifikace půd v důsledku porušení vodního režimu půdy, silnější vodní eroze, vyšší riziko požárů.

Nad 800 m n. m.

- Silné stránky – kladná vodní bilance a dostatek srážek, klimaticky podmíněný potenciál agroturistiky.
- Slabé stránky – méně kvalitní půda, vodní eroze, citlivost vůči větrným bouřím.
- Příležitosti – pěstování polních plodin s kratší vegetační dobou, rozvoj agroturistiky.
- Hrozby – snižující se doba trvání sněhové pokrývky, kalamitní rozšíření chorob a škůdců, vyšší hrozby požárů vegetace, zvýšené větrné kalamity.

5. 1. Dopady sucha na výnosy polních plodin

Sucho patří mezi agrometeorologické extrémy, které mají v zemědělství nejdůležitější dopady, jak z hlediska kvantity, tak i kvality produkce (např. *Brázdil et al., 2015*) a komplikuje i dílčí operace technologických postupů. Co se týká přímého dopadu dostupnosti vodních zdrojů pro živočišnou výrobu a chovy zvířat (vč. napájení) či dostupnost vody pro aplikace přípravků ochrany rostlin, jedná se spíše o sucho hydrologické, kterému se bude podrobněji věnovat následující kapitola. Nicméně zemědělské a hydrologické sucho spolu v řadě aspektů souvisí a velmi úzká interakce nastává například v případě realizace doplňkových závlah pro pěstované plodiny. Pokud se jedná o situaci, kdy nastává pouze zemědělské sucho, je dostupná potřebná infrastruktura a existuje ekonomický potenciál, lze přistoupit k doplnění vody pro plodiny formou závlah (vč. ovoce a zeleniny). V posledních letech jsme však v řadě případů svědky, kdy se nám objevuje souběžně sucho zemědělské a hydrologické a dostupnost vody pro závlahy je tak omezena. S pokračující změnou klimatických podmínek se očekává zhoršování dostupnosti vody pro závlahy, pokud by nedošlo k navýšení vodních zdrojů v podobě účelově zřizovaných nádrží, pro stabilní možnost plošného využití doplňkových závlah. Současně je zřejmé, že bude pokračovat tlak na maximalizaci efektivity využití vody v rámci závlahových systémů, ale i z hlediska ekonomického. Protože touto problematikou se pro území ČR a řadu scénářů budoucího vývoje podrobně zabývala práce *Trnky et al. (2017)* a z hlediska dostupné infrastruktury se týká jen některých oblastí ČR (Polabí, Znojensko, Hustopečecko...) nebude téma závlah dále rozepisováno v rámci této kapitoly, neboť je obsahem kapitoly 6. 4. Cílem této kapitoly je popsat dopady snížené půdní vlhkosti na polní plodiny a také představit některé metody k jejich kvantifikaci.

Reakce rostlin na stav sucha, kdy je půdní vláhová v sucho optimálním množství, spočívá v komplexu procesů. Tyto závisí na řadě faktorů, jako jsou konkrétní míra dostupnosti půdní vlhkosti, načasování (vzhledem k vývojovým fázím plodin) a trvání deficitu či interakce s dalšími faktory (např. vysoké teploty vzduchu). K prvním projevům rostlin patří postupná redukce růstu a dále redukce fotosyntézy. Následně se mění poměr růstu nadzemních částí a kořenů a mezi obranné reakce patří i redukce odnožování. Dochází k vadnutí a stáčení listů až k jejich odumírání. Toto probíhá nejprve od spodních nejstarších listů směrem k nejmladším, což lze využít k diagnostice vlivu sucha. Postupně mohou usychat odnože, dochází k redukci kvítků a zrn a může docházet k zasychání konců klasů. Sucho může ovlivnit rychlost vývoje rostlin. V konečném důsledku pak dochází k poklesu produkce sušiny a výnosu i kvality (např. nižší HTZ, olejnatost). I přes značnou pozornost vědy a výzkumu v této oblasti však stále nejsou některé mechanismy zcela objasněny (např. v rámci systému pro spuštění stresové odezvy). Mezi znaky, kte-

ré vedou k vyšší odolnosti vůči suchu, můžeme zařadit např. vitalitu osiva, rychlost vývoje a hloubku kořenového systému, vyšší koncentrace osmotických látek, nižší vodivost průduchů. Dále je to ranost odrůd, kdy rané odrůdy mohou stihnout dozrát před nástupem sucha. V některých epizodách sucha mohou profitovat odrůdy s omezeným stárnutím. V rámci procesu šlechtění jsou často požadavky na toleranci k suchu a výnos (mimo stresové podmínky) často protichůdné.

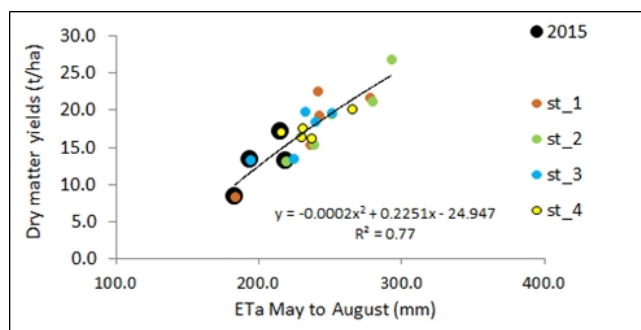
Kvantifikaci dopadů stresu suchem na výnosy polních plodin se v minulosti věnovala řada studií (např. *Hlavinka et al., 2009, Potopová et al., 2015*). Obě uvedené práce uvádějí jako nejcitlivější období z hlediska sucha v rámci porostů obilnin měsíce duben až červen a že obecně jsou jarní obilniny více zranitelné suchem než je tomu u ozimých, nicméně záleží na konkrétním průběhu ročníku, výchozí zásobě půdní vlhkosti a rozložení srážkových úhrnů i chodu teplot. Srovnání citlivých období k dopadům sucha přináší Obr. 100. Příklad silné vazby mezi dostupností vody od května do srpna (vyjádřeno jako suma aktuální evapotranspirace = ETa) a výnosy silážní kukuřice zachycuje Obr. 101 (*Žalud et al., 2017*). Jedná se o vyhodnocení na příkladu výnosů v letech 2011 až 2015 ze 4 lokalit napříč ČR.

Dalším činitelem, který ovlivňuje rostlinnou produkci, je nárůst teplot vzduchu. Zatímco v chladnějších oblastech mohou převládat pozitivní dopady zvýšené teploty (díky posunu blíže k optimálním podmínkám), v případě již teplých regionů jsou dopady na stávající tradičně pěstované plodiny a odrůdy často negativní díky zrychlení vývoje plodin (od zasetí ke zralosti), což znamená kratší čas na tvorbu biomasy, nárůst ztrát energie respirací, změny vodní bilance vedoucí k suchu a v neposlední řadě i stresu vlivem vysokých teplot v citlivých fázích růstu. Negativní dopad vysokých teplot v období duben až červen dokládá na příkladu regionálních výnosů ječmene jarního a pšenice ozimé z jihovýchodní části ČR *Kolář et al. (2014)*. Z výsledků nedávných studií jednoznačně vyplývá, že souběh stresu suchem a vysokých teplot (které se často vyskytují současně) na růst a výnos se vzájemně umocňuje (*Urban et al., 2018*). Jedná se o závažná zjištění vzhledem k očekávanému vývoji v rámci pokračující změny klimatu.

Větší počet tropických dní může působit ztráty i pro většinu pěstovaných druhů zeleniny (cibule, zelí, květák, kapusta). Negativní korelace byla nalezena mezi délkou horkých vln a výnosy hrachu, cibule, kvěťáku, mrkve a celeru (*Potopová et al., 2011*).

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
Ječmen jarní												
Pšenice ozimá												
Kukuřice na zno												
Řepka												
Žito ozimé												
Oves												
Brambory												
Seno												

Obr. 100 Průměrná délka vegetace (tečkované šipky) a statisticky vyhodnocená období s nejvyššími dopady sucha na výnosy (šedá barva) pro 8 významných plodin (upraveno dle Hlavinky et al., 2019)



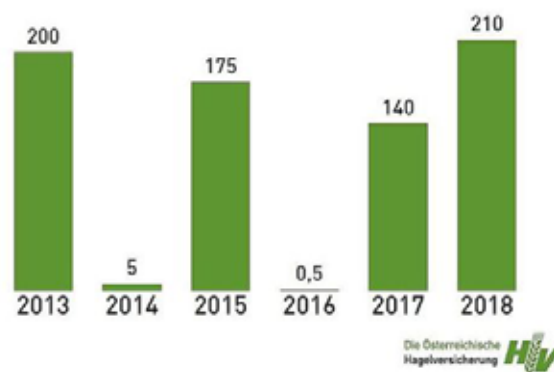
Obr. 101 Vztah mezi sumou aktuální evapotranspirace (ETa v mm) od května do srpna v letech 2011 až 2015 a výnosy kukuřice na siláž ze 4 stanic napříč ČR: st_1–Krásná Hora, st_2–Lípa, st_3–Dolní Heřmanice, st_4–Švábenice (převzato z práce Žalud et al., 2017)

Výše uvedené teze o závažnosti dopadů potvrdilo i několik posledních ročníků, jako 2015, 2017 či 2018, kdy dokonce řada zemí Evropy přistoupila, vzhledem k rozsahu škod, ke kompenzačním platbám pro zemědělce. Tyto situace nastaly i v České republice, kdy bylo např. za škody v roce 2015 pro pěstitele zasažených plodin vyplaceno téměř 1,19 mld. Kč (přes 3500 žadatelů), v roce 2017 to bylo 1,17 mld. Kč (přes 3200 žadatelů) a v roce 2018 celkem 2 mld. Kč (9600 žádostí o odškodné za krmné plodiny jako kukuřice, travní porosty, vojtěšku a jetel; více než 3600 žádostí za tržní plodiny). Jednalo se tak o vyplacení části nákladů na pěstování suchem zasažených plodin, protože odhadované výše celkových škod na porostech byly mnohem vyšší. Například v roce 2018 dosahoval odhad škod dle AK ČR výše 11 až 12 mld. Kč. MZe krylo kompenzační podpory pro zemědělské subjekty prostřednictvím Rámcového programu řízení rizik a krizí v zemědělství. Výše alokované částky pro danou epizodu se odvíjí podle prokazatelného poškození a finančních možností státního rozpočtu. Aby mohly být částky alokované do nejpostiženějších regionů, bylo nutné buď přímo doložit pokles produkce, nebo využít výsledky metodiky odhadu škody (v jednotlivých katastrálních územích) spojující pokročilé statistické metody a řadu indikátorů půd-

niho a zemědělského sucha, přičemž tyto se opíraly o výstupy portálu www.intersucho.cz (viz kapitola 4. 2. 1). Ke kalibraci statistických metod pro mapování dopadů sucha bylo jednak využito hlášení zpravodajů portálu intersucho.cz (viz kapitola 4. 2. 4) doplněné o plošné dotazování dalšího vzorku zemědělců a následně provázané s dalšími výstupy portálu intersucho.cz zejména na datech z družic.

Jedním z důvodů mimořádnosti zemědělského sucha je často jeho značný plošný rozsah (např. oproti lokálním krupobitím či zaplaveným pozemkům), kdy může být zasaženo i několik států současně. O tom, že problémy s dopady zemědělského sucha se netýkají v posledních letech jen České republiky, svědčí např. úhrny pojistného plnění za škody způsobené suchem a vysokými teplotami v Rakousku (viz Obr. 102), kdy v roce 2018 dosáhla suma 5,2 mld. Kč (jedná se o částku bez dodatečné vládní pomoci). Z posledních let byla situace v roce 2018 mimořádná i v Německu, kde byly odhadovány škody na plodinách v rozsahu okolo 17 mld. Kč (část škod byla kryta kompenzacemi z federální vlády i z rozpočtu spolkových zemí). V Belgii, byly v rámci Vlámka odhadovány škody kolem 6,75 mld. Kč. V Polsku bylo v důsledku extrémní epizody sucha v roce 2018 podáno cca 290 tisíc žádostí o kompenzace.

2018: Rekordschäden durch Hitze und Dürre
Dürreschäden in der Landwirtschaft in Mio. Euro 2013–2018



Obr. 102 Sumy vyplacené farmářům v Rakousku v rámci pojištění za škody suchem a vysokými teplotami v letech 2013–2018 (v milionech Euro), bez dodatečné vládní podpory jako v roce 2018

Ačkoli poklesy výnosů v důsledku sucha jsou pro potřebu výplaty kompenzací v ČR počítány na úrovni katastrů, jedná se o poměrně náročnou proceduru, kterou by v reálném čase např. v týdenním kroku bylo velmi komplikované zvládat. Na druhou stranu značný přínos nástroje, který by dokázal na základě průběhu daného ročníku odhadovat regionální výnosy, a který by mohl sloužit i jako systém včasného varování, či nástroj pro podporu stra-

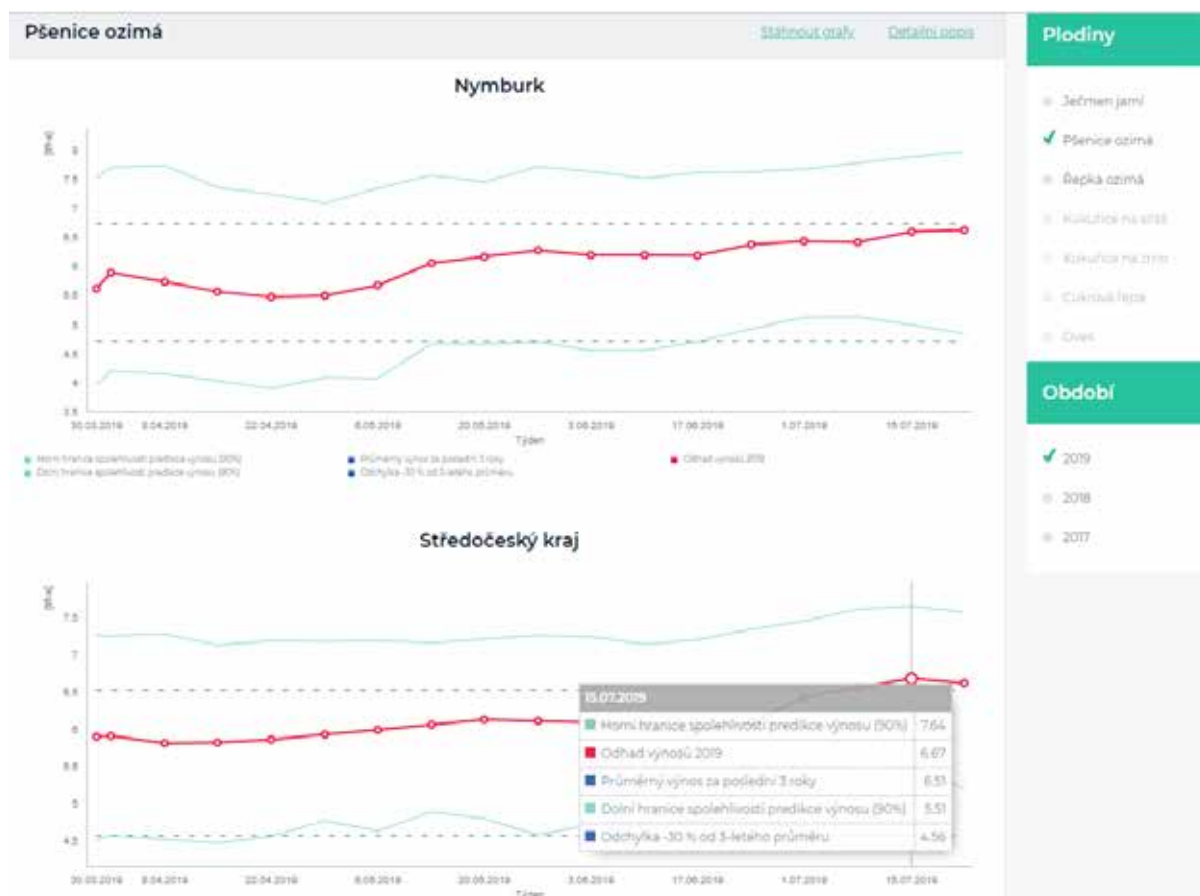
tegického rozhodování u producentů i zpracovatelů, je evidentní. Jak potvrdily rozsáhlé statistické analýzy dobrou indikací stavu porostů na zemědělské půdě v rámci okresů a krajů ČR přináší údaje vegetačních indexů pořízené ze satelitů. Takto je v pravidelných intervalech snímán a analyzován stav vegetačního povrchu, takže lze z načasování jeho vývoje, dosažených hodnot i trvání zelené listové plochy odhadnout výnos. Pro Českou republiku a vybrané zemědělské plodiny přináší výsledky takových prognóz na úrovni okresů a krajů portál www.vynosy-plodin.cz. Podrobný postup prognózy výnosů je popsána v rámci metodiky pro praxi (Trnka et al., 2018), přičemž se využívá databáze satelitních snímků senzorem MODIS (nesený družicí Terra) a krajské či okresní vyhodnocení výnosů cílových plodin od roku 2000 do současnosti. Pro předpověď se využívá databáze výnosů z předchozích let, u družicových dat je to odhad na základě aktuálního průběhu stavu vegetace vzhledem k předchozím ročníkům. Ukázka vizualizace webového rozhraní je zachycena na Obr. 103. Prostřednictvím tohoto portálu jsou zpřístupňovány odhady výnosů významných polních plodin pro širokou veřejnost. Uživatelé mohou zvolit prostorové rozlišení výstupů po okresech či krajích ČR, dále vybrat z dostupných vyhodnocovaných plodin. K dispozici je archiv dat od roku 2017. Odhady výnosů jsou v průběhu vegetačního období aktualizovány v týdenním kroku a uživa-

telé mohou pomocí ovládacího panelu v dolní části portálu jednoduše listovat historií prognóz. Pro daný týden je navíc vždy dostupná i mapa s kvantifikací očekávané spolehlivosti prognóz a předpokládaná odchylna výnosů v regionech oproti minulému ročníku a průměru z uplynulých tří let. Současně je zde zveřejňován odhad dopadu sucha na základě hlášení zpravodajů portálu intersucho.cz pro konkrétní plodinu k danému týdnu. V průběhu žni jsou pak postupně zveřejňovány průměrné dosahované Reálné výnosy založené na pravidelném šetření Státního zemědělského intervenčního fondu (SZIF). Hodnoty odhadovaných výnosů, spolehlivosti i odchylek se mění v závislosti na vývoji podmínek zachycených pomocí vegetačních indexů. Hodnoty reálných výnosů se mění v závislosti na procentu sklizených ploch a reportovaných dosavadních výnosech.

V případě požadavku na detailnější údaje pro danou plodinu ve vybraném okrese či kraji je možné kliknout na daný region v mapě Odhadu výnosů a uživatel se zobrazí časový vývoj predikované úrovně výnosů, včetně rozsahu spolehlivosti, vynesení průměr z posledních tří let a hranice 30procentní odchylky oproti předchozím třem letům. Tato vizualizace je interaktivní, kdy se při pohybu kurzorem po bodech odhadovaných výnosů objevují údaje v číselné podobě (viz Obr. 104).



Obr. 103 Uživatelské rozhraní portálu www.vynosy-plodin.cz



Obr. 104 Postupný odhad výnosové úrovně pro pšenici ozimou v průběhu ročníku 2019 pro území okresu Nymburk a Středočeského kraje (zdroj: vynosy-plodin.cz)

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 (tj. od roku 2000), který je nezbytný pro kvalitní kalibraci použitých statistických metod. Dále indikátory cílí na stav fotosyntetického aparátu a množství zelené biomasy v průběhu sezóny, což sice indikuje situaci i ve vztahu k výnosům, ale projevují se i další faktory. 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 do sklizně. Pokud dojde k výskytu mimořádných podmínek, může být reálná spolehlivost předpovědi oproti uvedeným hodnotám snížena.

Literatura:

- 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, 402 s.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. (2009): Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431–442.
- Kolář, P., Trnka, M., Brázdil, R., Hlavinka, P., 2014. Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961–2007 period. *Theor. Appl. Climatol.* 117, 707–721.

- Potopová, V., Koudela, M., Možný, M., 2011. The impact of dry, wet and heat episodes on the production of vegetable crops in Polabí (River Basin). *Sci. Agric. Bohem.* 42, 93–101.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Türkott, L., Soukup, J., 2015. Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 202, 26–38.
- Trnka, M. (Ed.), (2017): Bilanční hodnocení zdrojů a potřeb vody s ohledem na závlahové systémy. Výzkumná zpráva, CzechGlobe, Brno, 119 s.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Balek, J., Meitner, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová, L., Semerádová, D., Bláhová, M., Kudláčková, L., Lukas, V., Žalud, Z. (2018): 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, 45 s.
- Urban, O., Hlaváčková, M., Klem, K., Novotná, K., Rapantová, B., Smutná, P., Horáková, V., Hlavinka, P., Škarpa, P., Trnka, M. (2018): Field Crops Research Combined effects of drought and high temperature on photosynthetic characteristics in four winter wheat genotypes. *Field Crop Research* 223, 137–149.
- Žalud, Z., Hlavinka, P., Prokeš, K., Semerádová, D., Balek, J., Trnka, M. (2017): Impacts of water availability and drought on maize yield – A comparison of 16 indicators. *Agricultural Water Management* 188, 126–135.

5. 2. Hydrologické a socio-ekonomické sucho

Nedostatek vody v tocích, způsoboval v historickém období neúrody a následnou bídu a hlad. Naši předkové zaznamenávali letopočty a značky minimální hladiny na výrazných balvanech, či částech skalního podloží, vystupující z koryt řek za velmi nízkých stavů. Nejznámější „hladový kámen“ (Obr. 105) se nachází v Děčíně, s nejstarším záznamem z roku 1159. Na kameni jsou i nápisy, například z roku 1800 *Wenn du mich siehst, dann weine (Spatříš-li mne, plač)*.



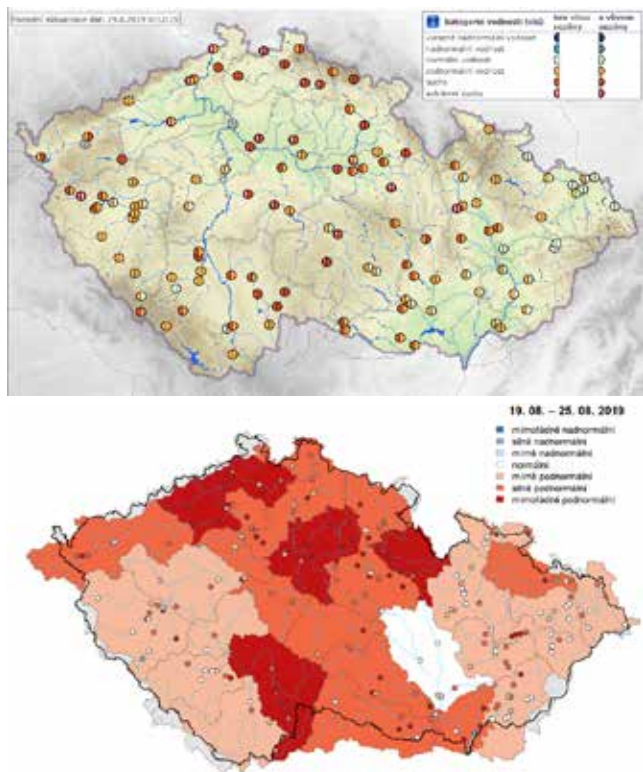
Obr. 105 Hladový kámen v Děčíně s historickými záznamy a značkami dokumentující nízké stavy vody v Labi

Hydrologické sucho je charakterizováno nedostatkem zdrojů povrchových a podzemních vod (nižší průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, stav hladiny ve vrtech a vydatnosti pramenů). Nedostatek vody je zjišťován na vodoměrných stanicích, terénním měřením v potocích a odečtem ve vrtech. Aktuální hodnoty jsou porovnávány s dlouhodobým průměrem.

Během období hydrologického sucha dochází k poklesu průtoků vodních toků. Z hlediska zemědělství může dojít k omezení možnosti odběru vody k závlahám z vodních toků, výraznému poklesu vydatnosti či dokonce vyschnutí některých pramenů, menších toků a mělkých vrtů. Důležité je si uvědomit, že naše území je zcela závislé na dešťových srážkách, které zde spadnou. V případě jejich nedostatku nám hrozí hydrologické sucho, které lze pouze zmírnit opatřeními, které pomohou k akumulaci vody v krajině. Kromě budování vodních nádrží, mokřadů, lze v místech s vhodným geologickým podložím akumulovat vodu v půdě.

V současné době (2019) jsou dopady hydrologického sucha znásobeny tím, že jde již o šestý rok po sobě, kdy se nedostatek vody ve větší či menší míře vyskytuje. Již v roce 2014 negativně ovlivnily povrchové zdroje vody nízké zásoby sněhu na horách. Výrazné hydrologické sucho se vyskytlo v roce 2015. Projevilo se několikátýdenním výrazným poklesem hladiny vodních toků a mělkých vrtů, včetně vyschnutí některých potoků. V roce 2016 a 2017 došlo k prohloubení hydrologického sucha v některých oblastech, zejména ve východních Čechách a na Vysočině. Velmi výrazné hydrologické sucho bylo v roce 2018, kdy byly zaznamenány v květnu až říjnu mimořádně nízké stavy vodních toků a došlo k prudkému propadu zásob vody v nádržích. Téměř na celém území klesla výrazně hladina vody v mělkých vrtech. Výraznější sněhové srážky během zimy ve vyšších polohách naštěstí pomohly doplnit vodní nádrže. Hydrologické sucho ale pokračova-

lo i v průběhu roku 2019 (Obr. 106) a vyvrcholilo v červenci, kdy byla situace na vodních tocích a vrtech dokonce horší než v roce 2018.



Obr. 106 Ukázka hodnocení vydatnosti toků (nahore) a stavu hladiny vody v mělkých vrtech (dole) na konci srpna 2019 (zdroj: www.portal.chmi.cz)

Celosvětově ve stále větším počtu oblastí velmi rychle narůstá nedostatek vody a výskyt sucha, který v některých případech dosahuje až úrovně živelné katastrofy s masivními dopady. V případě sucha dochází k zásadnímu nárůstu jeho četnosti v některých oblastech včetně střední Evropy. Tento jev souvisí s procesem globální klimatické změny. Problém zabezpečení vodních zdrojů se už začíná projevovat i v oblastech, v nichž si obyvatelstvo dosud ataky sucha příliš neuvědomovalo, ale začíná je už čím dál výrazněji pociťovat. Na našem území se zatím nejedná o masivní výpadky ve sféře zásobování vodou. V roce 2019 došlo na části území ČR k výskytu **socio-ekonomického sucha**, kdy sucho už má přímé dopady na život lidí a průmysl, dochází k omezení zásobování a čerpání vody. Nová část vodního zákona s názvem „Zvládání sucha a stavu nedostatku vody“ vymezuje rámec monitoringu sucha, odpovědnosti kompetentních orgánů, přijímání opatření pro zvládání sucha i nedostatku vody i pro kontrolní mechanismy. Umožní mj. vytvoření komisí v jednotlivých krajích, které na základě nově pořízených plánů pro zvládání sucha a nedostatku vody budou moci vyhlášovat „stav nedostatku vody“ a uplatnit určitá omezení pro užívání vody.

Již dnes se v některých oblastech potýkáme s problémy s dostupností vody při výskytu sucha. Jedná se například o povodí Dyje a Rakovnicko, kde s ohledem na probíhající změnu klimatu bude nutné rozšířit kapacitu vodních zdrojů.

5.3. Dopady sucha na nebezpečí požárů

Nedostatek srážek a vysoké teploty, se kterými se v posledních letech potýkáme, má za příčinu i další přírodní katastrofu (jev) a tím jsou požáry. Požár může vzniknout několika způsoby ať už úmyslným zapálením, nedbalostí, technickou chybou či přírodním jevem. Česká republika vzhledem ke své geografické poloze a klimatickým podmínkám nemá takovou pravděpodobnost rozsáhlých požárů, jako je tomu v jiných částech světa (oblast Středozeří, USA, Austrálie či Sibir). Mění se klima však zapříčiňuje změny v charakteru počasí a je očekáváno, že vhodná období k vypuknutí požárů se budou prodlužovat.

V době sucha je krajina náchylnější pro vznik požárů a jejich šíření. Jestliže se sejde několik podmínek, může požár ohrozit velmi rychle velké území. Při vysokých teplotách, nízké vlhkosti a silném větru nastávají ideální podmínky pro šíření požáru. Další důležitou podmínkou pro vznik je samotné palivo a jeho vlhkost.

V zemědělské krajině je ohrožení sníženo, jestliže je vegetace v dostatečně v dobré kondici, prší či jsou v krajině ochranné prvky. Jestliže však nastává období sucha, kdy vegetace je téměř suchá (obilí, travní porosty atp.), stačí velmi málo a požár může ohrozit velkou plochu. Při vypuknutí požáru na zemědělské půdě jde o čas a v tomto případě se mohou jevit jako velmi vhodné remízky, cesty, stoky, silnice, různé předěly, oboraná pole, jiná nehořlavá plodina či menší územní celky, které mohou požár zastavit či zmírnit.

Požáry velmi často vznikají od zemědělské techniky – stačí, když rozžhavené výfuky vozidel se dostanou k suché vegetaci anebo když vznikne jiskra od kamene, který narazí na žací lištu kombajnu. Požár však může vzniknout i přírodní cestou – bleskem. Při kombinaci silného větru, suchých plodin a vysokých teplot, dochází k rychlému šíření požáru a může dojít k znehodnocení celé úrody dané plodiny.

Příčiny požárů lidskou chybou lze jistě eliminovat. Je vhodné provádět pravidelné kontroly techniky vč. elektroinstalace a paliva. Stroje by měly obsahovat lapače jisker či kryty horkých částí. Je doporučeno, aby pole byla dělena do menších úseků a mezi nimi byly ponechány cesty, které mohou zabránit šíření požáru. Při žních je dobré mít k dispozici hasičskou cisternu, která může pomoci uhasit požár v zárodku a nemusí dojít ke škodě na celé úrodě. V neposledním případě je dobré mít k dispozici hasičský přístroj.

Český hydrometeorologický ústav vydává výstrahy na nebezpečí vzniku požárů, výstrahy na vysoké či velmi vysoké teploty. V tomto období je nezbytné se řídit doporučeními, vyhláškami či zákazy, které jsou vydávány veřejnou správou.

Tab. 3 Počet požárů na zemědělské ploše a v přírodním prostředí za období 2014–2018 (zdroj: <https://www.hzscr.cz/clanek/statisticke-rocenky-hasickeho-zachranneho-sboru-cr.aspx>, upraveno)

Rok	Počet	Škoda v mil. Kč.	Zranění
2014	580	28,7	9
2015	1092	43,0	31
2016	507	16,4	7
2017	603	24,2	11
2018	649	36,0	14

Hasičský záchranný sbor České republiky vede statistiku o počtu požárů mj. v zemědělské krajině a v přírodním prostředí. Z výše uvedené Tab. 3 vyplývá, že trend je vzrůstající. Enormním obdobím byl rok 2015, kdy v letních měsících bylo extrémní sucho téměř po celé České republice a docházelo k rozsáhlým požárům na zemědělské ploše. Ačkoliv rok 2018 měl v letních měsících velkou podobnost s rokem 2015, nedošlo k takovému nárůstu počtu požárů. Požáry v roce 2015 vznikaly jednak z nedbalosti, ale také díky žňovým pracím.

Tab. 4 Počty požárů zemědělské techniky a obilí či slámy v letních prázdninách za období 2013–2018 (zdroj: <https://www.hzscr.cz/clanek/pribyva-pozaru-na-polich.aspx>, upraveno)

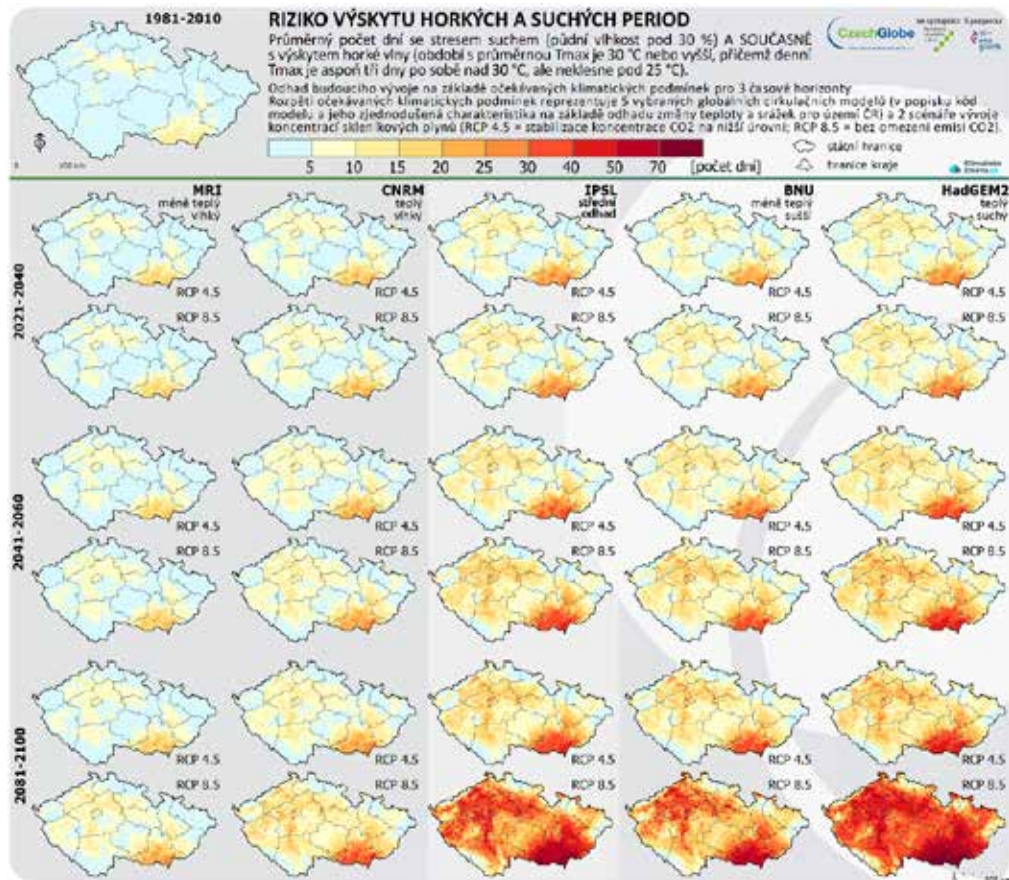
Rok	Požáry zemědělské techniky za období			Požáry obilí a slámy na poli za období		
	1. 7. – 31. 8. v letech 2013 až 2018			1. 7. – 31. 8. v letech 2013 až 2018		
	Počet	Škoda v mil. Kč	Zranění	Počet	Škoda v mil. Kč	Zranění
2014	70	36,1	4	344	24,7	7
2015	119	64,8	6	873	73,1	32
2016	59	44,9	2	315	16,9	5
2017	88	90,3	4	429	65,9	15
2018	116	85,5	7	489	52,2	12

V roce 2015 a 2018, kdy nastalo extrémně teplé a suché léto, došlo k nárůstu počtu požárů jak u zemědělské techniky, tak u samotného obilí a slámy (Tab. 4). V roce 2015 bylo řešeno 873 požárů obilí a slámy. Zatímco o rok dříve jich bylo o více jak polovinu méně. Vzhledem ke skutečnosti, že se očekává, že klimatické extrémní (horké vlny, sucho, extrémní teploty aj.) se budou častěji opakovat než v minulosti, bude vzrůstat riziko požárů nejenom v zemědělské krajině. I proto bude od roku 2020 k dis-

pozici nový systém www.firerisk.cz, který poskytne relevantní předpověď rizik požárů na lesní a zemědělské půdě v závislosti na předpovědi počasí a zásobě vody v půdě.

Agronomové hospodaří na ploše 53 % rozlohy našeho státu, mají v rukou mocný prvek jak zmírnit dopady sucha, ale také nástroj jak ohrozit obyvatelstvo v případě extrémního požáru. Na níže uvedeném Obr. 107 je přehled modelů, které predikují výskyt horkých a suchých period. Při zaměření na střední odhad klimatického scénáře IPSL při očekávaném nárůstu emisí RCP 4.5 (prostřední sloupec map), sledujeme, že riziko výskytu těchto period značně poroste a to nejvíce na jižní Moravě, a v Polabí.

Prodlužující a častější epizody sucha s velkou pravděpodobností budou pokračovat a pro zemědělce vzrůstá riziko ohrožením požárů, jak samotných lidských životů, tak úrody a techniky.



Obr. 107 Riziko výskytu horkých a suchých period v porovnání s rokem 1981–2010 a s obdobím 2021–2100 (zdroj: klimatickazmena.cz)

6. ADAPTACE NA ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO

Z teorie řízení plynou při výskytu krizové situace (a sucha vytvořilo, a bude vytvářet nejvýznamnější přírodou podmíněné krizové situace v zemědělství) čtyři možné přístupy. První z nich je nedělat nic a na krizi (suchou epizodu) nereagovat. Je zřejmé, že toto pohodlné a na první pohled laciné řešení není zvláště při opakovaném výskytu sucha akceptovatelné. Druhou cestou je krizové situaci předcházet. Vzhledem k množství skleníkových plynů v atmosféře a razantnímu nárůstu emisí v nedávné době je tato cesta minimálně na několik desítek let již zavřená. Třetí cestou je řešit individuální situace a tedy v našem případě každou suchou epizodu izolovaně např. kompenzacemi. Tento přístup je však neudržitelný a připomíná nekonečnou opravu děr v silnici po zimě. Jedinou, přitom nejdražší, ale udržitelnou cestou je čtvrtý přístup a to systémové řešení pomocí celostátně pojatých adaptací. Dovolíme si jako autoři současně připomenout, že adaptace má svoje hranice a pokud se nepodaří udržet celosvětový nárůst emisí skleníkových plynů pod kontrolou, může se stát, že se naši vnuci adaptovat nebudou schopni. Dodržování mezinárodních závazků jednotlivými státy není otázkou politické prestiže, ale morálky.

6. 1. Adaptace zemědělské krajiny prostřednictvím pozemkových úprav

V době, kdy lze na území České republiky pozorovat změny klimatu nabývá retence a akumulace vody v krajině více na významu. Dochází ke změně distribuce srážek v průběhu roku a vyskytují se častěji extrémy. Potýkáme se tak na jedné straně s výskyty zemědělského či hydrologického sucha a na druhé straně s přívalovými srážkami. Je tedy zřejmé, že naše zemědělská krajina čelí novým výzvám, které bude jen velmi obtížné zvládat bez účinné adaptace a přijetí celé řady opatření. Jedním ze stěžejních procesů, který umí navrhovat a také realizovat celý komplex adaptačních opatření, jsou pozemkové úpravy.

Pozemková úprava je proces řízený Státním pozemkovým úřadem, který uspořádává vlastnické vztahy a vytváří novou digitální katastrální mapu. Jedná se o multifunkční nástroj pro dlouhodobý a trvale udržitelný rozvoj území, který jako jediný v České republice komplexně řeší venkovský prostor včetně realizací veřejně prospěšných staveb. V rámci celého procesu pozemkových úprav je ročně proinvestováno cca 1,5 mld. Kč a je nakládáno s majetkem fyzických i právnických osob v řádech desítek až stovek mil. Kč v jednom katastrálním území.

6. 1. 1. Proces pozemkových úprav

Pozemkové úpravy jsou zpracovávány především podle zákona č. 139/2002 Sb., o pozemkových úpravách a pozemkových úřadech, a o změně zákona č. 229/1991 Sb., o úpravě vlastnických vztahů k půdě a jinému zemědělskému majetku, ve znění pozdějších předpisů a podle prováděcí vyhlášky č. 13/2014 Sb., o postupu při provádění pozemkových úprav a náležitostech návrhu pozemkových úprav. S prováděním pozemkových úprav souvisí také řada dalších předpisů, jako je zákon č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 256/2013 Sb., o katastru nemovitostí (katastrální zákon) a další. Z hlediska formy provádění lze pozemkové úpravy rozdělit na komplexní (řeší území komplexně) a jednoduché (řeší vybrané potřeby či menší část území).

Proces pozemkových úprav lze rozdělit do 4 základních fází:

Zahájení řízení

Státní pozemkový úřad (SPÚ) zahájí řízení o pozemkových úpravách vždy, pokud se pro to vysloví vlastníci pozemků nadpoloviční výměry zemědělské půdy v dotčeném katastrálním území (např. z důvodu vyjasnění vlastnických a užívatelských vztahů). O zahájení pozemkových úprav na svém katastrálním území může požádat také obec (např. z důvodů ochrany území a zastavěné části obce před následky přívalových dešťů), případně může být řízení zahájeno na podnět stavebníka (realizace veřejně prospěšných liniových staveb) či SPÚ.

Přípravné práce

V rámci přípravných prací se provádí průzkum území, analýzy území (morfologie, hydrologické poměry, půdní či erozní poměry, apod.), geodetické zaměření skutečného stavu terénu, stanovení obvodu pozemkových úprav a soupis nároků jednotlivých vlastníků včetně ocenění pozemků.

Návrhové práce

Na základě zaměření skutečného stavu území a provedených analýz se navrhne tzv. plán společných zařízení, který tvoří základní multifunkční kostru území (polní cesty, protierozní, protipovodňová a ekologická opatření). Do této kostry je následně umísťováno nové uspořádání pozemků, které je projednáno s vlastníky a dotčenými orgány státní správy. Aby bylo možné provést následnou obnovu katastrálního operátu, musí být návrh nového

uspořádání pozemků odsouhlasen vlastníky více než 60 % výměry půdy v obvodu pozemkové úpravy.

Realizační práce

Po odsouhlasení návrhu nového uspořádání pozemků vlastníky je vytvořena nová digitální katastrální mapa jako podklad pro obnovu katastrálního operátu. Po dokončení návrhu pozemkové úpravy má každý vlastník nárok na vytyčení nově navržených pozemků.

Finální činností spojenou s pozemkovými úpravami jsou realizace prvků a opatření navržených v plánu společných zařízení (polní cesty, protierozní meze, vodní nádrže či výsadba zeleně, apod.).

Zpracování přípravných a návrhových prací je zajišťováno soukromými firmami, které jsou vybrány na základě výběrového řízení a k provádění pozemkových úprav mají potřebná oprávnění. V případě, že nenastávají v průběhu řešení výraznější komplikaci, mohou tyto 2 fáze pozemkových úprav trvat přibližně 4 až 5 let.

Plán společných zařízení

Jedná se o stěžejní dokument celé pozemkové úpravy. Právě v něm je možné ve veřejném zájmu navrhnout celou řadu adaptačních prvků či opatření (Obr. 108), které lze rozdělit na opatření ke zpřístupnění pozemků, protierozní, vodohospodářská opatření a opatření k ochraně a tvorbě životního prostředí.

Plán společných zařízení (PSZ) musí být v souladu s územně plánovací dokumentací. Není-li návrh PSZ v souladu s územně plánovací dokumentací, je návrhem na její aktualizaci nebo změnu. Je-li nutno pro společná zařízení vyčlenit nezbytnou výměru půdního fondu, použijí se nejprve pozemky ve vlastnictví státu a potom ve vlastnictví obce.

Zpracovaný PSZ je předložen zastupitelstvu obce ke schválení a dotčeným orgánům státní správy k uplatnění připomínek. Zastupitelstvo obce si také definuje priority následných realizací navržených opatření.

Návrhy opatření v rámci PSZ mohou lokálně i výrazněji ovlivňovat způsob hospodaření a především realizace organizačních a agrotechnických protierozních opatření je v rukách zemědělských subjektů. Významným způsobem tak mohou ovlivňovat kvalitu zemědělské půdy a vodní režim v krajině. Proto je velmi vhodné aby probíhala vzájemná komunikace mezi projektantem pozemkové úpravy a zemědělským subjektem již ve fázi návrhu PSZ. A to i v případě, kdy zemědělský subjekt je pouze uživatelem půdy a není jako vlastník účastníkem řízení pozemkové úpravy. Významným přínosem takového postupu je pak realizovatelný návrh opatření, jako kompromis

mezi ochranou a produkční funkcí. Vhodným rozmístěním technických prvků lze pak vhodně doplnit opatření v ploše, kde velkou výhodou je, že realizaci takových prvků hradí stát. Takové prvky napomáhají ke snižování erozního ohrožení daného pozemku. Bez realizace takových opatření v mnoha případech bude možné jen obtížně naplňovat podmínky dotační politiky, obzvláště s výhledem do budoucích let, kdy se mají podmínky dále zpříšňovat. Navíc je nutné očekávat, že přívalové srážky se budou pravděpodobně vyskytovat čím dál tím častěji.



Obr. 108 Ukázka plánu společných zařízení (zdroj: SPÚ)

Opatření ke zpřístupnění pozemků

Jedná se především o polní nebo lesní cesty (Obr. 109), mostky, propustky, brody, železniční přejezdy apod. Toto opatření zvyšuje prostupnost krajiny, zpřístupňuje jednotlivé pozemky vlastníků a umožňuje průjezd zemědělské techniky i do dříve nepřístupných míst. Toto opatření se často doplňuje liniovou výsadbou doprovodné zeleně či výstavbou odvodňovacích prvků. Vhodným umístěním lze toto opatření kombinovat s protierozní funkcí.



Obr. 109 Ukázka realizace polní cesty s odvodňovacím příkopem a liniovou výsadbou (zdroj: SPÚ)

Opatření k ochraně a tvorbě životního prostředí

Jedná se především o návrhy územních systémů ekologické stability (Obr. 110) (biocentra, biokoridory, interakční prvky), rozptýlené zeleně či drobných vodních tůň, mokřadů apod. Vhodným umístěním a skladbou těchto prvků je také možné řešit zpomalení odtoku vody a následné projevy eroze půdy.



Obr. 110 Ukázka realizace biokoridoru (zdroj: SPÚ)

Protierozní opatření

V procesu pozemkových úprav se nejčastěji navrhuje komplex organizačních, agrotechnických a technických protierozních opatření, které se vzájemně doplňují a účinněji tak snižují erozní smyv půdy na přípustnou mez. Tato opatření mají za cíl ochránit zemědělskou půdu, vodní toky, vodní nádrže, zastavěné části měst a obcí před nežádoucími účinky erozního smyvu, retardovat povrchový odtok a také podpořit retenci vody v krajině, vše s ohledem na požadavky a možnosti zemědělské výroby. Pro-

saditelnost návrhů především tzv. měkkých opatření (organizačních a agrotechnických) je významně závislá na motivaci zemědělských subjektů tato opatření realizovat.

Organizační – ochranné zatravnění či zalesnění, tvar a velikost pozemků, pásové střídání plodin, protierozní směr výsadby apod. Jedná se o opatření, které je možné realizovat poměrně rychle. V rámci pozemkových úprav je možné vhodným návrhem dalších opatření (polních cest, protierozních opatření apod.) optimalizovat tvary a velikosti pozemků tak, aby tato opatření byla v praxi realizovatelná (např. Obr. 111).



Obr. 111 Ukázka realizace pásového střídání plodin (zdroj: ČÚZK)

Agrotechnická – výsev do ochranné plodiny či strniště, zatravnění meziřadí, ponechání posklizňových zbytků, bezorebné setí apod.

Technická – záchytné a svodné průlehy či příkopy, protierozní meze, stabilizace drah soustředěného odtoku, zasakovací pásy, sedimentační nádrže (Obr. 112), terasy, větrolamy apod.

Vodohospodářská opatření

Tato opatření se navrhují především s cílem eliminace nepříznivých hydrologických podmínek (povodní či sucha). Jedná se o vodní nádrže suché/se stálým nadržáním (Obr. 113), revitalizace vodních toků, ochranné hráze, rybníky, úpravy vodních toků apod. Vhodným technickým řešením lze tedy vodní nádrže realizovat, jako protipovodňové či závlahové apod.



Obr. 112 Ukázka realizace protierozní sedimentační nádrže (zdroj: SPÚ)



Obr. 113 Ukázka realizace vodní nádrže se stálým nadržáním

V rámci plánu společných zařízení se velmi často jednotlivé typy opatření mezi sebou kombinují a vhodně se tak doplňují. Příkladem může polní cesta doplněná o protierozní průleh a výsadbu (Obr. 114).

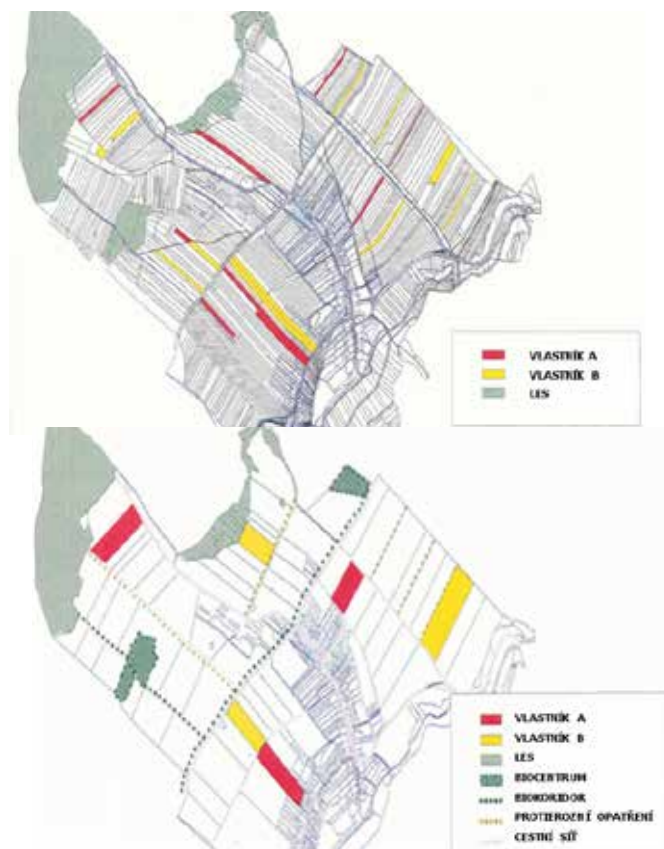


Obr. 114 Polní cesta s protierozním průlehem a výsadbou (zdroj: SPÚ)

Návrh nového uspořádání pozemků

Základem pro návrh nového uspořádání pozemků je zaměření skutečného stavu a PSZ. Do takto vymezené „kostry“ jsou vlastníkům pozemků navrhovány nové pozemky tak, aby odpovídaly jejich původním pozemkům přiměřeně cenou ($\pm 4\%$), výměrou ($\pm 10\%$), vzdáleností ($\pm 20\%$) a podle možnosti i druhem pozemku.

Tyto nové pozemky mohou mít jiné hranice, než byly u původních pozemků, případně je možné sloučit víc pozemků jednoho vlastníka do menšího množství pozemků (Obr. 115).



Obr. 115 Ukázka stavu katastrální mapy před pozemkovou úpravou (nahore) a po pozemkové úpravě (dole)

Je potřeba upozornit také na fakt, že se vznikem nové katastrální mapy také vznikají nová parcelní čísla, přičemž ta stará zanikají. Z tohoto důvodu v daném území pozbyvají platnosti nájemní či pachtovní smlouvy. Stávající praxe ovšem potvrdila, že většina uživatelů zemědělské půdy své smluvní vztahy obnovila v obdobném rozsahu. I přesto se lze s určitým zvýšeným rizikem vyrovnat prostřednictvím Nového občanského zákoníku (např. smlouvou o smlouvě budoucí).

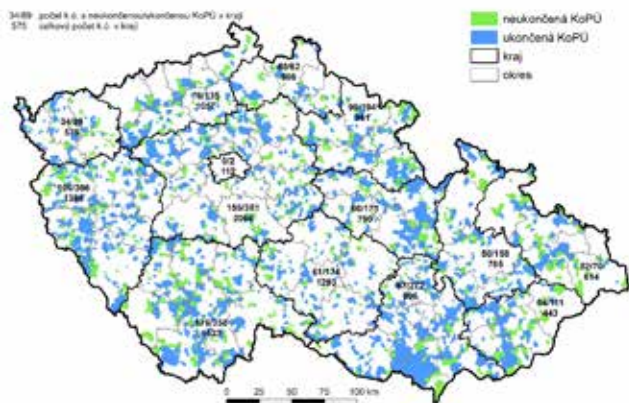
6. 1. 2. Současný stav komplexních pozemkových úprav v ČR

V současné době probíhá cca 1050 komplexních pozemkových úprav (KoPÚ) a 90 jednoduchých pozemkových úprav (JPÚ). Dokončeno již bylo cca 2500 KoPÚ a 2950 JPÚ. Od vzniku Státního pozemkového úřadu se dařilo počet pozemkových úprav navyšovat. Od roku 2018 však z důvodu omezených finančních prostředků dochází k výraznějšímu poklesu v počtu nově rozpracovaných PÚ (Obr. 116).



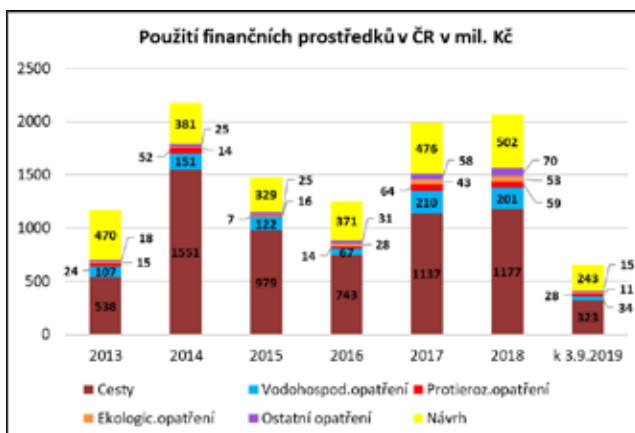
Obr. 116 Stav provádění pozemkových úprav v jednotlivých letech (stav k 31. 8. 2019)

Prostorové rozložení stavu provádění pozemkových úprav je znázorněno na Obr. 117, kde je možné vidět, že cca 19 % katastrálních území ČR již procesem komplexních pozemkových úprav prošlo a na dalších cca 8 % katastrálních územích ČR v současnosti tento proces probíhá.

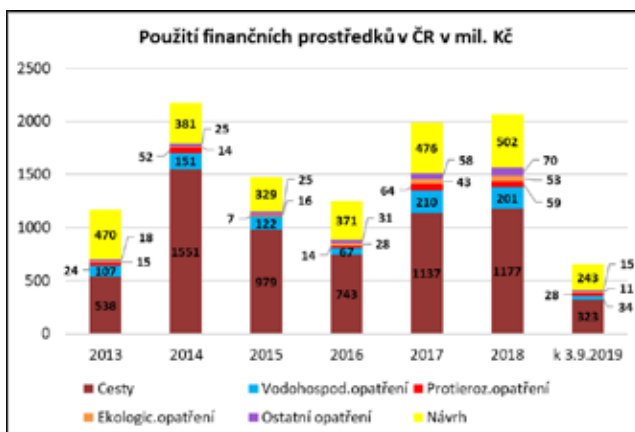


Obr. 117 Prostorové rozložení stavu provádění komplexních pozemkových úprav

Vývoj financování pozemkových úprav lze od roku 2013 považovat poměrně za vyrovnaný. Z Obr. 118 je zřejmé, že nejvíce finančních prostředků je využito na realizaci projektů (návrhů) pozemkových úprav a dále pak na realizaci polních cest. V pozemkových úpravách je převážně jako zdroj financování využíván státní rozpočet ČR a Program rozvoje venkova (zdroj EU) viz Obr. 119.



Obr. 118 Vývoj financování pozemkových úprav od roku 2013



Obr. 119 Využití zdrojů financování v jednotlivých letech

6. 2. Adaptace v oblasti plodin a odrůd

6. 2. 1. Využití šlechtění

Odolnost nebo také rezistence vůči suchu je možné vnímat ze dvou odlišných pohledů. Z pohledu pěstitele je to především očekávání, že odolná odrůda bude poskytovat i za sucha vysoké výnosy (nebo jen mírně snížené ve srovnání s průměrem) a to za jakéhokoliv typu sucha, tedy bez ohledu na termín kdy sucho nastane, půdní podmínky, hladinu podzemní vody či to zda je sucho způsobeno vysokými ztrátami výparem při vysokých teplotách nebo nedostatkem zimní vláhy. Naproti tomu pohled šlechtitele vidí v odolnosti vůči suchu soubor velmi složitých znaků, které jsou založeny na změně metabolismu, fyziologie i morfologie rostliny a jsou do značné míry podmíněny kvantitativně, tedy více geny. V obou případech jsou očekávání příliš vysoká a alespoň při současných možnostech šlechtění prakticky nereálná.

Ve skutečnosti bude vyšlechtění univerzální odrůdy, která by byla schopná v sobě kombinovat všechny znaky odolnosti vůči suchu a tím odolávat všem typům sucha

prakticky nemožné. Důvodem je především skutečnost, že jednotlivé znaky odolnosti vůči suchu mohou často stát proti sobě nebo se dokonce vylučovat a pokud pak mohou být dílčí znaky kombinovány, pak je to často na úkor výnosových či kvalitativních parametrů. Vysoká očekávání pěstitelů a snahu šlechtitelů o vytvoření komplexně odolné odrůdy vůči suchu musíme proto (alespoň prozatím) opustit, a dát se cestou vývoje specifických odrůd, které budou využívat jen vybrané znaky odolnosti a budou tak nejlépe přizpůsobené odolávat konkrétnímu typu sucha v kombinaci s konkrétními podmínkami daného stanoviště. To ovšem znamená nutnost velmi dobrého poznání konkrétních půdních a klimatických podmínek stanoviště, pro které se šlechtí. Snaha zaměřit se na jeden „univerzální“ znak odolnosti totiž dovedla šlechtění již do několika slepých uliček.

Typickým znakem odolnosti vůči suchu, na které se šlechtění zaměřilo v minulých desetiletích, bylo zvýšení efektivity využití vody, které je spojeno s rychlejším uzavíráním průduchů a sníženým výdejem vody transpirací. Byly také vyvinuty moderní metody pro vyhodnocení efektivity využití vody pomocí stanovení isotopové diskriminace uhlíku. Poměrně brzy se ovšem zjistilo, že zvýšení efektivity využití vody je velmi pevně spojeno s poklesem výnosu, a že zvýšená efektivita využití vody je schopna chránit rostlinu pouze při krátkodobém nedostatku vody.

Z těchto zkušeností vyplývá, že šlechtění odrůd musí nejprve předcházet jednoznačné stanovení podmínek a typu sucha, pro které je odrůda určena, a následně je nutno šlechtit na jeden nebo několik málo znaků odolnosti vůči suchu, které odpovídají cílovým podmínkám a typu sucha, a konečně také velmi pečlivě zvažovat přínosy a negativa daných znaků zejména pak z pohledu výnosu a kvality produkce. Pro pěstitele to pak znamená vybírat odrůdu tak, aby co nejlépe odpovídala kombinaci klimatických podmínek, půdy a hladiny podzemní vody na daném stanovišti, které pak definují typ sucha.

Podmínky prostředí definující typ sucha

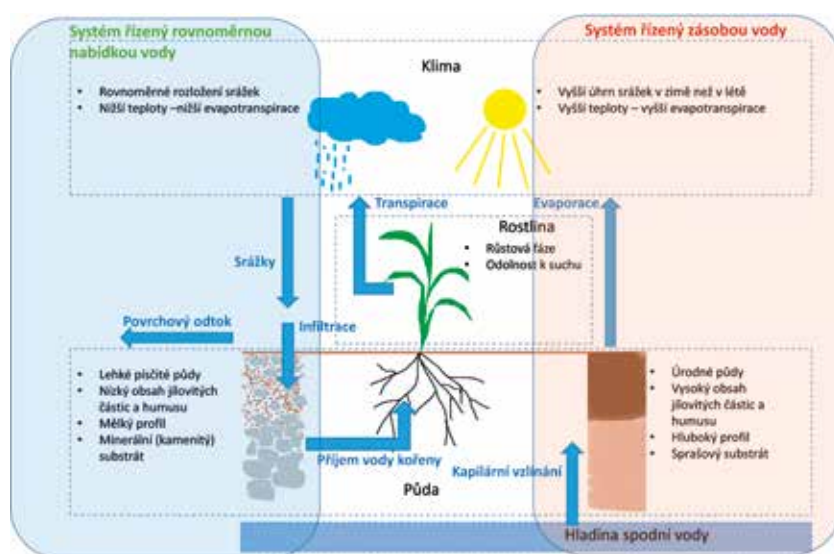
Prostředí, ve kterém rostlina žije, je z pohledu dostupnosti vody určováno především klimatickými podmínkami, zejména pak množstvím a rozložením srážek v průběhu roku a teplotami, které určují ztráty vody evapotranspirací (výpar z půdy a rostlin), dále půdními podmínkami, zejména pak půdním druhem a obsahem organické hmoty a konečně pak také hladinou podzemní vody. Pokud dokážeme co nejlépe popsat prostředí pro rostliny z pohledu dostupnosti vody definované těmito třemi klíčovými

faktory, je možné vybrat také nejvhodnější typ odolnosti, který je schopen překonávat specifický typ sucha a minimalizovat tak vliv na výnos a kvalitativní parametry. Sucho velmi zjednodušeně vzniká, pokud výdej vody systémem v podobě evapotranspirace přesáhne množství vody, které je do systému dodáváno ve formě srážek nebo je uchováno v systému v půdě či zásobách podzemní vody.

Z pohledu kombinace půdního prostředí a klimatických podmínek pak můžeme definovat dva základní nebo spíše hraniční systémy zásobování rostlin vodou (Obr. 120), mezi kterými existuje řada přechodných variant:

- systém řízený rovnoměrnou nabídkou vody po celé vegetační období,
- systém řízený zásobou vody v půdě či podzemních zásobách (Bodner et al. 2015).

Systém řízený rovnoměrnou nabídkou vody představují obvykle písčité půdy na minerálních substrátech, s nízkým



Obr. 120 Schématické znázornění výměny vody v systému klima-půda-rostlina a vymezení dvou hraničních systémů z pohledu zásobení rostlin vodou

obsahem organické hmoty a jílovitých částic a obvykle také s nízkou hladinou podzemní vody. Tyto půdy nejsou schopné zachytit větší objem vody a pro dostatečné zásobení rostlin vodou je nezbytné rovnoměrné rozdělení srážek po celé vegetační období. Tyto podmínky se často (ale ne výhradně) nacházejí ve vyšších, chladnějších polohách a vyznačují se proto nižším výdejem vody v podobě evapotranspirace. V případě teplého období bez srážek dochází u tohoto systému k velmi rychlému poklesu dostupnosti vody. Sucho tedy může nastat v zásadě v kterémkoliv období vegetace, ale vzhledem k průběhu teplot a evapotranspirace je častější až ve druhé polovině vege-

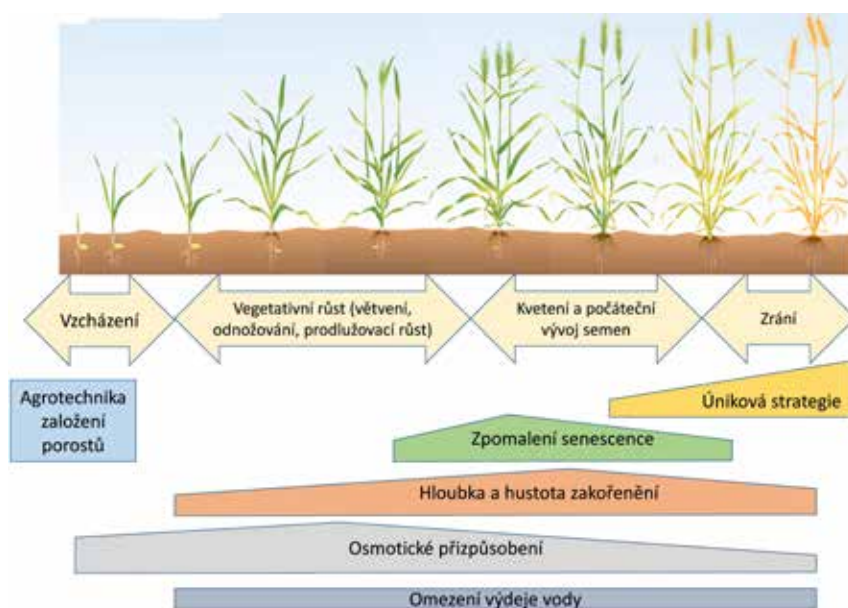
tace, tedy po přechodu do generativní fáze. Druhý systém (řízený zásobou vody) je charakteristický úrodnými půdami, které se vyznačují vyšším obsahem organické hmoty, jílovitých i hlinitých částic a jsou proto schopné uchovat relativně velké množství vody zejména ze zimního období. Jedná se nejčastěji o teplé oblasti s nižším úhrnem srážek a tudíž vysokým výdejem vody evapotranspirací. Proto u tohoto systému zásoba vody postupně klesá a je častý nedostatek vody především ke konci vegetace (tzv. terminální sucho). Pokud ovšem půdní zásoba vody nebyla dostatečně doplněna zimními srážkami nebo srážkami v průběhu vegetace, nastává sucho v tomto systému i dříve a významné škody může způsobovat, zejména pokud nastupuje již v době kvetení a počátku zrání. V případě, že hladina podzemní vody není příliš hluboko, je systém řízený zásobou vody schopen částečně pokrýt potřebu vody pro rostliny kapilárním vztlínáním a důležitým znakem zde proto je hloubka zakořenění rostlin.

Kritická období výskytu sucha

Dopady sucha na rostlinnou produkci jsou dány třemi hlavními charakteristikami sucha a to intenzitou sucha, jeho délkou a termínem. Tyto tři charakteristiky byly použity pro vymezení hlavních typů sucha použité pro stanovení hlavních šlechtitelských směrů CIMMYT (mezinárodní centrum pro šlechtění pšenice a kukuřice). Při velmi hrubém rozdělení se jedná o časně sucho, pozdní sucho a kontinuální sucho, z nichž každý typ sucha vyžaduje specifické znaky odolnosti (van Ginkel et al. 1998). Na základě výše uvedených nejčastějších kombinací klimatických a půdních podmínek je pro střední Evropu závažnější a častější pozdní sucho, nicméně v posledních letech se setkáváme i s časným suchem, a to samozřejmě nejvíce při kombinaci lehkých půd s nízkým obsahem humusu a teplejších klimatických podmínek s nižší úrovní srážek (např. některé části Moravského Slovácka, východní část Vysočiny, Rakovnicko). Posun sucha do dřívějších termínů je ale spíše obecným jevem, a to jak z důvodu zimních srážek, které nedostatečně doplňují zásobu vody v půdě a značného navýšení spotřeby rostlin díky výrazně dřívějšímu počátku vegetační sezóny. Z výše uvedeného je zřejmé, že termín výskytu sucha (který je do značné míry určován klimaticko-půdním systémem) je zcela rozhodující pro výběr vhodných znaků odolnosti vůči suchu. Pokusme se tedy definovat klíčové termíny sucha podrobněji (Obr. 121). Začneme suchem, které bylo historicky typické pro teplé a úrodné oblasti a to je sucho v období zrání, nebo také terminální sucho. Toto sucho nastává až v době, kdy jsou se-

mena plně vyvinuta (DC 79, kdy téměř všechny plody dosáhly konečné, pro druh nebo odrůdu typické velikosti) a následně dochází k ukládání zásobních látek a snižování vlhkosti. Obvykle dochází vlivem sucha k předčasnému zasychání semene, snižování jeho hmotnosti a ke změně poměru škrobu a bílkovin, případně k poklesu obsahu oleje. Vzhledem k tomu, že ukládání bílkovin a škrobů do semene je časově posunuto, terminální sucho, při kterém dochází k předčasnému zasychání semene, vede často ke zvýšení obsahu bílkovin a snížení obsahu škrobu. To může mít negativní dopad zejména na sladovnickou kvalitu ječmene, zatímco u potravinářské pšenice má spíše pozitivní dopad, ale negativně mohou být ovlivněny jiné kvalitativní parametry zejména pak hmotnost tisíce zrn ale i třeba kvalita lepku. Obsah oleje velmi těsně souvisí s délkou období od začátku vývoje semen až po zralost, která je výrazně zkracována suchem i vysokými teplotami (Faraji 2012). Určení hranice mezi terminálním suchem a suchem v době kvetení a počátečního vývoje semen je velmi důležitá, protože pokud nastává sucho dříve, jsou vyžadovány do značné míry odlišné znaky odolnosti.

Jak již bylo řečeno dříve, v souvislosti se změnou klimatu se v oblastech střední Evropy sucho postupně posouvá do časnějších růstových fází, tedy do období kvetení a počátku vývoje semen (DC61–DC79) případně i dříve. Období kvetení a počátečního vývoje semen představuje ovšem nejcitlivější fáze vývoje z pohledu vlivu sucha a vysokých teplot na výnos. Sucho a vysoké teploty v době kvetení a počátku vývoje semen vedou k poškození květních orgánů, nedostatečnému opylení a předčasné aborci (zastavení vývoje) semen což vede ke snížení počtu semen na rostlinu. Pokud je tento znak ovlivněn jen v men-



Obr. 121 Kritická období sucha v průběhu vývoje plodiny a znaky podmiňující odolnost vůči suchu. Význam znaků pro jednotlivá období vývoje plodiny je znázorněn tloušťkou vodorovného pásu.

ší míře (do 10 %), nedojde k poškození fotosyntetického aparátu a následuje příznivé období pro vývoj a zrání semen (dostatek srážek a nižší teploty), může být následně snížený počet semen na rostlinu kompenzován zvýšením hmotnosti semen. Obvykle ale současně s vlivem na počet semen dochází vlivem sucha k indukci senescence a rostliny předčasně dozrávají i v případě že následuje vlhké období. V daném případě pak dochází nejen k snížení počtu semen na rostlinu ale i k poklesu hmotnosti semen a výsledný dopad na výnos je mnohonásobně vyšší.

Sucho v průběhu vegetativního růstu od začátku odnožování až do konce metání (DC21–DC59) je pokládáno v podmínkách střední Evropy za méně významné. Důvodem ale nejsou nižší dopady na výnos ale spíše menší intenzita i frekvence sucha v tomto období. Naopak sucho v tomto období může mít podobné nebo i vyšší dopady na výnos jako sucho v době kvetení a počátku zrání. Důvodem je skutečnost, že v tomto období se vytváří základy několika výnosových prvků. Sucho nedříve snižuje odnožování či větvení rostlin, následně omezuje tvorbu základů květních orgánů a nakonec redukuje počet odnoží či větví. Podobně jako v případě sucha v době kvetení, může být výnos zčásti kompenzován zvýšenou hmotností semen, ale obvykle jsou již ztráty na těchto výnosových prvcích tak rozsáhlé, že je tato kompenzace velmi omezená. Porosty ovlivněné suchem v období vegetativního růstu jsou prořídle v důsledku malého počtu produktivních odnoží nebo větví na jednu rostlinu. Mírné sucho, zejména v časných fázích vegetativního růstu (odnožování) může naopak stimulovat vývoj kořenového systému, ať již hlubší zakořenění nebo vyšší hustotu kořenového systému, který pak přispívá ke zvýšené odolnosti rostlin v pozdějších růstových fázích. Závlaha v tomto období (vyjma velmi intenzivního sucha) může z tohoto důvodu působit při mírném suchu kontraproduktivně, protože vede k mělkému zakořenění rostlin a následně zvýšené citlivosti vůči suchu v období kvetení až zrání.

Sucho v době po zasetí, tedy ve fázích klíčení, vzcházení a vývoje prvních listů má kritický dopad na strukturu porostu. Snižuje se počet vzešlých rostlin, vzcházení je nerovnoměrné a vznikají tak mezerovité porosty. Suchem v období vzcházení trpí nejvíce plodiny, jejichž porosty jsou zakládány v létě nebo později na jaře a také plodiny, které jsou vysévány mělce. Nejvýznamnější problémy představuje sucho pro zakládání porostů řepky, cukrovky či máku. V posledních letech sucho zjevně ovlivňuje také zakládání porostů kukuřice či slunečnice.

Odolnost vůči suchu

Znaky podmiňující odolnost rostlin vůči suchu byly rozděleny *Lewittem (1980)* do tří základních skupin zahrnujících:

- únikovou strategii
- toleranci dehydratace
- zabránění dehydratace.

Úniková strategie má význam především vůči terminálnímu suchu v době zrání a jen ve velmi malé míře vůči suchu v době vývoje semen. Uplatňuje se proto zejména v systému řízeném zásobou vody v půdě, tedy na půdách s vyšším obsahem humusu, jílovitých a hlinitých částic, které jsou schopny uchovávat větší množství zimní vláhy a současně v podmínkách teplejších s nižším celkovým úhrnem srážek. Úniková strategie se vyznačuje zejména zkrácenou vegetační dobou a tyto genotypy tak uniknou nejzávažnějšímu terminálnímu suchu, které se stupňuje k závěru vegetace. Genotypy, které se vyznačují únikovou strategií, mají velmi rychlý počáteční vývoj, ale jsou obvykle náchylné k předčasné indukci senescence. Jestliže tedy sucho nastává dříve než v průběhu zrání, a zejména pak pokud je sucho kombinováno s dalším stresovým faktorem, jako jsou například vysoké teploty, rostliny těchto odrůd začnou předčasně žloutnout a re-mobilizují zásobní látky z listů do semen. Semena tak dozrají při zachování vysoké reprodukční schopnosti, avšak jejich velikost je výrazně snížena a tím se snižuje i výnos. Proto odrůdy s únikovou strategií vykazují velký propad výnosu, pokud sucho nastává již dříve během kvetení a začátku vývoje semen.

Tolerance dehydratace byla dříve považována za znak typický pro vyloženě suchomilnou vegetaci a spojována s nízkou produktivitou. Nicméně v posledních letech je věnována zvýšená pozornost rovněž pochopení mechanismů tolerance dehydratace a využití ve šlechtění. Tolerance dehydratace, která je založena na osmotickém přizpůsobení, zvýšení stability buněčných membrán a zvýšené akumulaci antioxidantů je obecně považována za znak vhodný pro podmínky s dlouhotrvajícím a intenzivním suchem. Akumulace osmolytů (látky které v buňce snižují osmotický potenciál a tím chrání buňku při nedostatku vody před poškozením plazmolýzou) i antioxidantů (látky, které předcházejí vzniku reaktivních forem kyslíku, oxidativně poškozujících buněčné struktury nebo vedou k jejich redukci na méně reaktivní formy) totiž vyžaduje velké množství energie, která je využívána na úkor výnosu. Šlechtění na toleranci dehydratace tedy musí brát v úvahu případný negativní dopad na výnos. Akumulace osmolytů v buňce vede k poklesu osmotického potenciálu a tím k zachování turgoru. Buňka tak zachovává své funkce a je chráněna před poškozením plazmolýzou (odchlípnutí plazmalemy od buněčné stěny). K osmotickému přizpůsobení přispívá celá řada látek od anorganických kationtů a aniontů, přes organické kyseliny, cukry až po aminokyseliny. Účinné osmolyty jsou bohaté na hydroxylové skupiny (OH) a patří k nim například mannitol, glycine-betain, rafinóza, trehalóza nebo aminokyselina prolin.

Přestože je akumulace osmolytů pro rostlinu energeticky náročný proces, ukazuje se, že schopnost odrůd akumulovat ve zvýšené míře osmolyty může významně přispívat k odolnosti k suchu bez většího dopadu na výnos (González *et al.* 1999). Stabilita buněčných membrán vůči osmotickému stresu se rovněž ukazuje jako významný znak pro šlechtění polních plodin na odolnost vůči suchu (Dhanda *et al.* 2004). Stres suchem u rostlin je kromě dehydratace provázen také zvýšeným hromaděním reaktivních forem kyslíku, které vedou k poškození buněčných struktur (zejména pak k oxidaci lipidů v buněčných membránách, denaturaci bílkovin a poškození nukleových kyselin) a následně pak k indukci senescence. Rostliny si ovšem vytváří poměrně rozsáhlý antioxidační systém, který zahrnuje nízkomolekulární fenolické sloučeniny (flavonoidy, taniny), kyselinu askorbovou, glutathion, tokoferoly, karotenoidy a antioxidační enzymy (Blokhi-*na et al.* 2003). V oblasti tolerance dehydratace tedy existuje celá řada molekul, které hrají pozitivní úlohu a mohou být použity jako markery či cílové molekuly ve šlechtění. Do skupiny tolerance dehydratace lze také zařadit znak zpomalení senescence (označovaný jako stay-green znak). Zpomalená senescence u stay-green genotypů má význam pro odolnost vůči suchu zejména v období od kvetení do zrání a je spojena se změnou hormonální rovnováhy, zejména pak hormonů zodpovědných za indukci senescence, tedy ethylenu a kyseliny abscisové (Abdelrahman *et al.* 2017). Stay-green genotypy nejsou příliš vhodné do podmínek s terminálním suchem (zasychání zrna při zelených listech) a naopak rané genotypy s úníkovou strategií nejsou vhodné pro podmínky sucha v době kvetení či počátku vývoje semene (indukce předčasné senescence). A je tedy velmi důležité zvažovat výběr odrůd pro každý z těchto dvou typů sucha, a to i přesto (nebo právě proto), že v našich podmínkách mohou nastat s poměrně vysokou pravděpodobností oba typy sucha.

Poslední skupinu znaků odolnosti k suchu zahrnuje zabránění dehydrataci. V této skupině lze ovšem identifikovat dvě zásadně odlišné podskupiny znaků. První podskupina představuje znaky snižující výdej vody rostlinou jako je např. uzavírání průduchů či stáčení listů. Druhou podskupinu pak reprezentují znaky, které zlepšují příjem vody v podmínkách snížené dostupnosti. Patří sem především zvýšená hloubka zakořenění a zvýšená hustota kořenů. Přestože se zdá být snížení výdeje vody (uzavíráním průduchů nebo morfologickými změnami jako je stáčení listů) a zvýšení efektivity využití vody perspektivním znakem pro odolnost rostlin vůči suchu, opak je pravdou. Pokles transpirace, který je nezbytný pro zvýšení efektivity využití vody je totiž spojený s poklesem výnosu a proto je z těchto dvou podskupin znaků zabránění dehydrataci nutné věnovat pozornost především podskupině znaků zlepšujících příjem vody, tedy znakům souvisejícím s kořenovým systémem a také osmotickému přizpůsobení, které sice náleží do skupiny tolerance dehydratace, ale rovněž má vliv na zlepšení příjmu vody při snížené dostupnosti (Blum 2009).

Přestože je šlechtění na zlepšení příjmu vody prostřednictvím kořenového systému značně náročné, vzhledem k tomu že kořenový systém je skrytý v půdě a každá z metod hodnocení kořenového systému má své nedostatky, šlechtění na zlepšený kořenový systém má největší potenciál zvýšení odolnosti k suchu (Wasson *et al.* 2012). Ke znakům, které mohou zlepšit využití zásoby vody v hlubších vrstvách půdy, patří především větší hloubka zakořenění, vyšší větvení kořenů v hlubších vrstvách, a vyšší hustota a větší délka kořenového vlášení (Wasson *et al.* 2012). Jak ukazují některé studie, genové zdroje či krajové odrůdy představují potenciál pro zvýšení hloubky a hustoty zakořenění (Waines a Ehdai, 2007). Ačkoliv hlubší kořenový systém může významně přispět k odolnosti vůči suchu i v podmínkách řízených rovnoměrnou nabídkou vody (píscitě půdy s nízkým obsahem humusu a jílovitých částic), jejich hlavní využití je pro systém řízený zásobou vody v půdě, protože tento systém doplňuje vyčerpanou vodu v průběhu zimního období nebo kapilárním vztlínáním z podzemní vody. U systému řízeného rovnoměrnou nabídkou ovšem vyčerpání vody z hlubších vrstev může za podmínek s nižší hladinou podzemní vody vést ke zhoršení podmínek dostupnosti vody pro následující plodinu.

I přes tento fakt představuje zlepšení kořenového systému ve smyslu zvýšení hloubky zakořenění, zvýšené intenzity větvení v hlubších vrstvách a zvýšení hustoty a délky kořenového vlášení poměrně univerzální znak, který má význam jak pro systém řízený rovnoměrnou nabídkou vody tak i pro systém řízený zásobou vody v půdě. Klíčové pro tento znak je, zda dané půdy jsou schopny i v hlubších vrstvách uchovat dostatečnou zásobu vody (systém řízený zásobou vody v půdě) nebo zda je dostatečně vysoko hladina podzemní vody, která umožňuje zásobování kořenů vodou kapilárním vztlínáním (systém řízený rovnoměrnou nabídkou vody). Zlepšení kořenového systému je navíc znak univerzální i z pohledu termínu sucha, přičemž má uplatnění v odolnosti vůči suchu prakticky po celou dobu vegetace. Pouze v časných růstových fázích, kdy kořenový systém ještě není dostatečně vyvinutý, hraje tento znak menší roli.

Skutečnost, že vývoj komplexních genotypů nesoucích více znaků odolnosti vůči suchu je velmi obtížný, a současně je pro podmínky střední Evropy velmi obtížné předpovídat typ sucha (zejména kritické období), je jednou z možností zvýšení diverzity mechanismů odolnosti využití směsí odrůd, nesoucích různé znaky odolnosti. Odrůdové směsi prokázaly již dříve značný potenciál ve zlepšení odolnosti vůči chorobám (Wolfe 2000) a současně byly velmi úspěšné i při zlepšování kvalitativních parametrů pro potravinářské účely (Newton a Swanston, 1999).

6. 2. 2. Změna skladby pěstovaných plodin

Rozdíly v odolnosti plodin vůči suchu se řídí stejnými mechanismy jako v případě rozdílů mezi genotypy. Nicméně výběrem mezi plodinami můžeme získat mnohem větší variabilitu a rozsah určitých znaků. Výběr plodiny s krátkou vegetační dobou může znamenat změnu v řádu týdnů až měsíců, zatímco rozdíly mezi genotypy obvykle počítáme na dny, maximálně několik týdnů. Podobně také výběr plodiny s hlubokým kořenovým systémem může znamenat až několikanásobně větší hloubku kořenů (tedy stovky %), zatímco rozdíly mezi genotypy jsou v řádech desítek %. Jednou z nejčastěji navrhovaných změn ve skladbě plodin je zvýšení podílu plodin s C4 fotosyntetickým metabolismem na úkor C3 plodin. Důvodem je výrazně (někdy až násobně) vyšší efektivita využití vody (tedy produkce na jednotku spotřeby vody) u C4 plodin, kombinovaná s vyšším teplotním optimem. C4 plodiny se velmi dobře uplatňují v obecně sušších a teplejších oblastech, tedy v podmínkách s rovnoměrně sníženou nabídkou vody. V podmínkách s obdobími intenzivního sucha ovšem selhávají často podobně jako C3 plodiny. Důvodů je několik. Vzhledem k vysoké produktivitě a dlouhé vegetační době se C4 plodiny i přes vysokou efektivitu využití vody vyznačují vysokou celkovou spotřebou vody. Nejcitlivější fáze vývoje C4 plodin (kvetení a začátek vývoje semen) často spadají do období, které u jiných plodin (obilniny, řepka) spadají do terminálního sucha a nejsou tudíž tolik škodlivé. C4 plodiny jsou tedy vhodnou alternativou zvýšení odolnosti k suchu zejména v podmínkách řízených zásobou vody (tedy na úrodných půdách s vysokým obsahem humusu) a ideálně s vyšší hladinou podzemní vody.

Využití únikové strategie na úrovni plodin je v našich podmínkách poměrně dobře zavedeno a vhodné zejména pro oblasti typické terminálním suchem. Jedná se tedy opět o systém řízený zásobou vody, avšak v tomto případě není nutná vyšší hladina podzemní vody. Dobrým příkladem je nahrazení jarního ječmene ječmenem ozimým, jehož dozrávání může nastávat až téměř o měsíc dříve.

Vyšší hloubka kořenového systému např. u slunečnice nebo vojtěšky může znamenat vyšší úspěšnost těchto plodin v suchém roce, nicméně v případě, že nedochází k dostatečnému doplnění zásoby vody v půdě v průběhu zimy, či není dostatečná zásoba podzemní vody, která by kapilárním vztlínáním doplňovala vodu v půdě, mohou tyto plodiny znamenat ohrožení výnosu pro následující plodiny. Využití hluboce kořenících plodin musí být proto zvažováno v rámci celého osevního postupu a rizika negativního ovlivnění dostupnosti vody pro následné plodiny.

Díky hlubokému kořenovému systému je možné za vhodnou alternativu produkce bílkovin pro krmné účely považovat lupinu úzkolistou (odrůdy s nízkým obsahem alkaloidů). Kromě vysoké odolnosti k suchu se v rámci vi-

kvovitých plodin vyznačuje lupina úzkolistá jednou z nejvyšších schopností fixovat vzdušný dusík.

Vysokou úroveň osmotického přizpůsobení se vyznačují introdukované plodiny ze suchých subtropických případně tropických oblastí jako je například čirok či bér vlašský (italský). Tyto plodiny obvykle v sobě kombinují více znaků odolnosti vůči suchu. Kromě osmotického přizpůsobení je to zejména mohutný kořenový systém, zvýšená efektivita využití vody (C4 fotosyntetický metabolismus) a v případě bér vlašského také krátká vegetační doba. Nicméně výnosy těchto plodin zatím nedosahují úrovně běžných obilnin, a rovněž přizpůsobení zpracovatelského průmyslu a preferencí spotřebitelů určitou dobu potrvá, takže v krátkodobém horizontu se nedá očekávat výraznější rozšíření těchto plodin.

Literatura:

- Abdelrahman, M., El-Sayed, M., Jogaiah, S., Burritt, D. J., Tran, L.-S. P. (2017): The "STAY-GREEN" trait and phytohormone signaling networks in plants under heat stress. *Plant Cell Reports*, 36, 1009–1025.
- Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K. V. (2003): Antioxidants, Oxidative Damage and Oxygen
- Deprivation Stress: A Review. *Annals of Botany*, 91, 179–194.
- Blum, A. (2009): Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112, 119–123.
- Bodner, G., Nakhforoosh, A., Kaul, H.-P. (2015): Management of crop water under drought: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 401–442.
- Dhanda, S. S., Sethi, G. S., Behl, R. K. (2004): Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes at Early Stages of Plant Growth. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 190, 6–12.
- Faraji, A. (2012): Oil concentration in canola (*Brassica napus* L.) as a function of environmental conditions during seed filling period. *International Journal of Plant Production*, 6, 267–277.
- González, A., Martín, I., Ayerbe, L. (1999): Barley yield in water-stress conditions.: The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crops Research*, 62, 23–34.
- Levitt, J. (1980): Responses of plants to environmental

stresses. Physiological ecology series. Academic Press, Michigan, 607 s.

- Newton, A. C., Swanston, J. S. (1999): Cereal variety mixtures reduce inputs and improve yield and quality-why isn't everybody growing them?. Scottish Crop Research Institute, 55.
- van Ginkel, M., Calhoun, D. S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tian-you, C., Pargas Lara, R., Trethowan, R.M., Sayre, K., Crossa, J., Rajaram, S. (1998): Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica*, 100, 109–121.
- Waines, J. G., Ehdaie, B. (2007): Domestication and Crop Physiology: Roots of Green-Revolution Wheat. *Annals of Botany*, 100, 991–998.
- Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, S. C., Prasad, S. V. S., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., Watt, M. (2012): Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63, 3485–3498.
- Wolfe, M. S. (2000): Crop strength through diversity. *Nature*, 406, 681–682.

6. 3. Adaptace v oblasti agrotechniky

V oblastech ohrožených suchem je nutné věnovat větší pozornost péči o půdu a její schopnosti zadržet vodu ze srážek a efektivně s ní hospodařit při omezení ztrát neproduktivním výparem, povrchovým odtokem, erozí apod. Zranitelnost těchto oblastí je dána kombinací půdně-klimatických podmínek stanoviště a mikroklimatických a půdních podmínek konkrétního pozemku nebo i jeho částí, druhu pěstované plodiny a odrůdy a uplatněných agrotechnických opatření. Při řešení problémů s nedostatkem vody při pěstování polních plodin je nutné nejprve využít dostupné metody a postupy (výběr vhodných plodin, odrůd, správná struktura porostu, omezení zpracování půdy, organické hnojení, setí do mulče apod.) a teprve při vyčerpání těchto možností přistoupit k náročnějším opatřením jako vybudování závlah, změny ve využití krajiny apod. K lepšímu zadržení vody by mělo přispět také rozdělení velkých honů na menší nebo střídání pásů různých plodin, ale toto opatření nelze provádět paušálně, protože na většině půd dochází k největšímu utužení a poškození půdní struktury při otáčení a rozjždění techniky a u menších pozemků může být podíl takto poškozených půd při používání současné techniky větší.

Pro lepší zadržení vody ze srážek v půdě a omezení vodní eroze jsou stále více používány půdoochranné technologie zpracování půdy. Některé z těchto postupů

(např. podrývání) mají jen dočasný účinek a účelem tohoto opatření je přes značné energetické náklady napravit často zanedbanou předcházející péči o půdu (nedostatečné organické hnojení, absence vápnění, utužení půdy po přejezdu těžké techniky, drcení a drobení půdy pracovními nástroji, nevyvážené oseední postupy bez víceletých pícnin apod.). Beze změny přístupu k přejezdům a práci těžké techniky na poli, pravidelného organického hnojení kvalitními hnojivy s širším poměrem C : N, vápnění, rozšíření pěstování víceletých pícnin a meziplodin s rozvinutým kořenovým systémem a dalších obdobných opatření nedojde ke zlepšení současného stavu půd a jejich schopnosti zadržet vodu ze srážek. Velmi rozšířenou příčinou omezeného vsakování vody do půdy je poškození její povrchové struktury a nízká stabilita půdních agregátů. Po srážkách dochází k jejich rozplavení a následnému vytváření krusty na povrchu, která zabraňuje infiltraci vody do půdy, zhoršuje provzdušnění půdy a vzcházení rostlin. Bez zlepšení povrchové struktury těchto půd nemohou být účinné ani doporučené půdoochranné technologie (DZES). Základním opatřením pro zlepšení stavu těchto půd je pravidelné vápnění a zvýšení obsahu C_{org} v půdě organickým hnojením, pěstováním meziplodin a pokud možno také pícnin.

6. 3. 1. Vhodné plodiny a meziplodiny pro efektivní využití půdní vláhy

Vzhledem ke skutečnosti, že v současné době jsou zejména z ekonomických důvodů stále více uplatňovány oseední sledy tržních plodin než pravidelné oseední postupy, zařazují se v sušších oblastech plodiny, které se lépe přizpůsobí suchému a teplému počasí. S nepříznivými vláhovými podmínkami se zpravidla lépe vypořádají ozimé plodiny než jarní (např. rok 2015), ale ve většině let má rozhodující vliv na dosažené výnosy a kvalitu produkce rozložení srážek během vegetačního období. Menší tolerance jarních plodin k suchu vyplývá také z častých agrotechnických chyb, jejichž důsledkem jsou nevyrovnané porosty s mělkým kořenovým systémem v důsledku utužení nevyzrálé půdy po přejezdech techniky, aplikace vyšších dávek živin do horní vrstvy půdy nebo pod osivo (zejména u kukuřice), nedostatku vzduchu v půdě při zhoršení její povrchové struktury (nedostatečné vápnění, organické hnojení, aplikace hnojiv s jednomocnými kationy na povrch půdy atd.). Tolerantnější k suchu jsou také plodiny a odrůdy, které dokáží v průběhu vegetace lépe korigovat výpadky jednotlivých výnosotvorných prvků (např. obilniny a kompenzační typy odrůd). Nedávná studie *Kahiluoto et al. (2019)* ukázala na potřebu volit spektrum několika odolných odrůd, tak aby vždy alespoň část pěstovaných ploch byla schopná odolat epizodám nepříznivých klimatických podmínek.

Zastoupení plodin v oseedních sledech a postupech určuje mimo jiné vyčerpání a potřebu vody pro obnovení půdní zásoby na podzim a v průběhu zimy. Na půdách

s dostatečnou vodní kapacitou (většina našich půd) je potřeba zvažovat spotřebu vody předplodinou nebo meziplodinou a potřebu vody pro následnou plodinu. Především druhy, které mají vysokou spotřebu vody i v pozdním létě a počátkem podzimu (cukrovka, jeteloviny, kukuřice, čirok, travní porost, přezimující nebo později vymrzající meziplodina) vyčerpávají zásobu vody i z hlubokých vrstev půdy, jejíž doplnění je zvláště v posledních letech s teplými a suchými zimami nedostatečné. Naopak například pod porostem ozimé řepky se v důsledku časného opadu listů a omezeného čerpání vody z půdy začíná obnovovat zásoba vody v půdě již v průběhu zrání, zatímco např. pod ozimou pšenicí je vyčerpání vody hlubší a zdravý porost odčerpává vodu i v období dozrávání. V suchých oblastech by přednostně měly být pěstovány plodiny s efektivním využitím vody, s co nejnižší hodnotou transpiračního koeficientu. K těmto plodinám patří druhy s C4 metabolismem, z nichž v našich podmínkách se kromě kukuřice v posledních letech zvyšuje zájem o pěstování čiroku, bėru vlašského a prosa. Například čirok, který má o 1/4 až 1/3 nižší potřebu vody na produkci 1 kg sušiny v průběhu vegetace než kukuřice, je v posledních letech stále více využíván také jako meziplodina po časné sklizni některých plodin (brambory, zelenina apod.). Při nižších nárocích na vodu vytváří během krátké doby růstu velké množství biomasy s příznivým poměrem C : N a některé odrůdy mají po zapravení do půdy účinky proti hádátkům (Obr. 122).



Obr. 122 Mulčování čiroku po raných bramborách před zapravením do půdy

Příznivý vliv zařazení meziplodin v suchých oblastech závisí především na půdně-klimatických podmínkách konkrétního stanoviště, správném posouzení vodní bilance pro pěstované plodiny a na ekonomických, organizačních a technických možnostech zemědělského podniku. Hlavním přínosem meziplodin je vytvoření rostlinného pokryvu na povrchu půdy, který zabraňuje zhoršení její

povrchové struktury rozplavením agregátů po větších srážkách, omezuje vodní erozi, zvyšuje zadržení srážkové vody a omezuje výraznější prohřívání půdy v letním období spojené často s intenzivnější mineralizací organických látek a většími emisemi CO₂ z půdy. Většina meziplodin zvyšuje diversitu organismů v půdě a je zdrojem organických látek, což může mít pozitivní vliv na udržení nebo zvyšování obsahu uhlíku v půdě, a to zejména při jejich zapravení do půdy v pozdějších fázích růstu, kdy se v rostlinách zvyšuje poměr C : N (optimálně vyšší než 20 : 1). Proto se doporučuje setí směsí různých meziplodin, které se vzájemně doplňují v požadovaných vlastnostech např. nižší poměr C : N u luskovin kompenzuje zařazení obilniny, meziplodiny s pomalým počátečním růstem v kombinaci s rostlinami rychle zakrývajícími povrch půdy, meziplodiny s nízkou odolností k mrazu (pohanka) s odolnějšími plodinami apod.

Meziplodiny sejeme nejlépe okamžitě po sklizni plodiny do nezpracované půdy bezorebným secím strojem nebo do prováděné mělké podmtky v kombinaci s půdními pěchy při ponechání většiny posklizňových zbytků na povrchu půdy. I když se při zakládání porostů meziplodin uplatňují minimalizační technologie omezující ztráty půdní vláhy, dochází v suchých letech k odčerpání zásoby vody z půdy, což se může projevit poklesem výnosů následných plodin. V posledních letech vznikají v sušších oblastech největší problémy u nevymrzajících meziplodin nebo po sušších a teplých zimách bez trvalejší sněhové pokrývky, kterých má s předpokládanými změnami klimatu v budoucnu přibývat.

Doporučení vhodných polních plodin do oblastí ohrožených suchem – shrnutí

- Plodiny a odrůdy, které dokáží v průběhu vegetace lépe korigovat výpadky jednotlivých výnosotvorných prvků (např. kompenzační typy odrůd u obilnin).
- Větší uplatnění dosud málo pěstovaných plodin s nižší potřebou vody na produkci 1 kg sušiny (např. čirok, bėr, proso, obecně C4 rostliny).
- Výběr druhů a odrůd polních plodin s vyšší tolerancí k suchu a dobrým zdravotním stavem, které je možné pěstovat při nižší intenzitě vstupů (např. žito, triticales, pohanka).
- Větší zaměření na zdravotní stav orgánů rostlin zabezpečujících transport vody (kořeny, paty stébel apod.).
- Snížením běžně používaných výsevků a přesným setím dosáhnout optimální struktury porostu se silnými rostlinami odolnějšími k suchu.
- Větší pozornost věnovat provenienci osiva, energii klí-

čení, hloubce setí a stanovení výsevku ve vztahu k termínu setí a cílené struktuře porostu.

- Setí směsí odrůd, popř. druhů polních plodin (intercropping) pro zvýšení stability výnosů a diversity produkce.
- Pěstování plodin s nižšími výnosy a nižší potřebou vody (např. některé minoritní plodiny, plodiny pěstované v ekologickém systému hospodaření s vyšší přidanou hodnotou produkce).
- Zakládání porostů pestrých směsí meziplodin přímým setím bezprostředně po sklizni plodin.

6. 3. 2. Inovace postupů ve zpracování půdy

Průběh počasí v roce 2018 a 2019 odhalil některé problémy v agrotechnických postupech, které bude třeba při obdobných povětrnostních podmínkách v příštích letech změnit. Rozhodující bude, jak dokážeme udržet a postupně zlepšovat kvalitu půdy a její schopnost zadržet vodu ze srážek a efektivně s ní hospodařit. Zpracování půdy bude muset být šetrnější než nyní a každý přejezd techniky posuzován z hlediska možného poškození půdní struktury, ztráty vody a rozkladu organických látek v půdě. Při intenzivním zpracování půdy a její kypření spojeném s podporou mineralizace organických látek v půdě je nutné vzhledem k vyrovnané bilanci zvýšit návratnost organických látek zpět do půdy organickým hnojením. Půda by měla být co nejdéle dobu během roku zakryta rostlinami nebo rostlinnými zbytky, které snižují riziko vodní a větrné eroze, omezují výpar a prohřívání půdy v letních měsících. Větší uplatnění než nyní budou mít konzervační postupy při zpracování půdy s přímým setím do mulče (no-till) nebo pásů zpracované půdy (strip-till). V této souvislosti je problémem diskutovaný zákaz používání glyfosátů, který povede k mechanické likvidaci plevelů s větším uplatněním orby a kypření půdy, což může způsobit větší emise CO₂ a postupný pokles obsahu organického uhlíku v půdě.

Čím více půdu kypříme, provzdušňujeme a rozrušujeme půdní agregáty, tím více podporujeme mineralizační procesy v půdě a uvolňování živin z půdní zásoby pro výživu rostlin. Proto například po orbě nebo hlubokém kypření se pro rostliny zpřístupňuje více živin než při mělkém zpracování půdy, po kterém by se mělo mimo jiné např. u řepky dříve sít a věnovat větší pozornost hnojení rostlin než po orbě. Řepka i další polní plodiny po intenzivním kypření půdy při dostatku srážek většinou lépe rostou a rostliny přijímají více živin z půdy než po redukováném (minimálním) zpracování půdy. V této souvislosti si často neuvědomujeme, že je to také na úkor rozkladu organických látek v půdě, kterých bychom měli s rostoucí intenzitou zpracování vracet do půdy více ve statkových a organických hnojivech s širším poměrem C : N (slamnatý hnůj,

kompost, separát, sláma, zelené hnojení). Na rozdíl od těchto hnojiv může organické hnojení hnojivy s úzkým poměrem C : N (např. digestát, kejda, kaly z ČOV) a minerálními dusíkatými hnojivy přispívat k rozkladu organických látek v půdě. V teplém počasí a po provzdušnění půdy podmínkou se dusík z hnojiv rychle přeměňuje na nitráty, které jsou po srážkách (zejména v bouřkách) vyplavovány do spodních vrstev půdy a mohou se následně podílet na znečištění vod.

Zpracování půdy po sklizni polních plodin

Po sklizni plodiny se doporučuje co nejdříve provést podmítka a vytvořit vhodné podmínky pro vzházení výdrolu a plevelů. Jestliže je následnou plodinou řepka, je třeba vzházení výdrolu podpořit přikulením nebo použitím půdních pěchů při provádění podmítka. Po horkém létě 2018, kdy teplota v proschlé povrchové vrstvě půdy dosahovala 50 °C a při jejím zpracování docházelo k destrukci půdních agregátů a tvorbě prachových částic (Obr. 123) se začaly více uplatňovat postupy, které využívají slámu a posklizňové zbytky na povrchu půdy k omezení ztráty vody a nadměrnému prohřívání půdy v letním období. Například mulčování místo podmítka se v posledních letech úspěšně používá po sklizni řepky a podporuje vzházení výdrolu více než klasická podmítka (Obr. 124). Přitom se omezuje ztráta vody z půdy a mineralizace půdní organické hmoty.



Obr. 123 Příprava půdy před setím řepky během suchého a horkého léta 2018



Obr. 124 Výdrol řepky po podmítce (vlevo) a mulčování (vpravo)



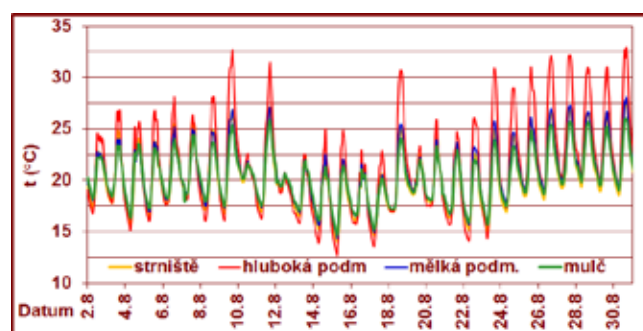
Obr. 125 Vzcházení výdrolu pšenice po různé hloubce podmítky (vlevo 12 cm, vpravo 6 cm)



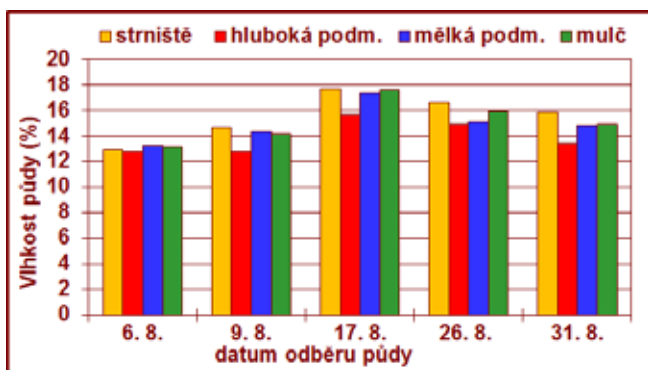
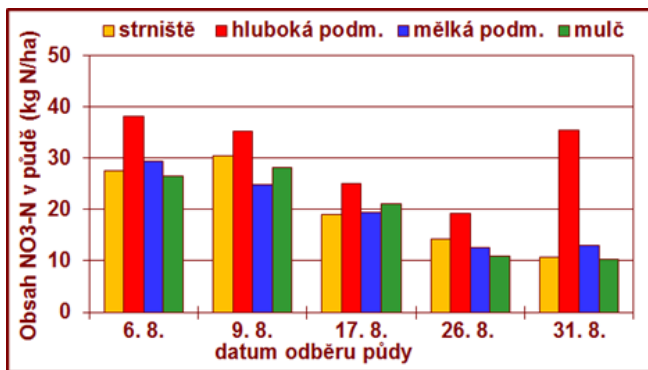
Obr. 126 Vzcházení výdrolu pšenice po mulčování (vlevo) a při ponechání strniště (vpravo)

Také po sklizni obilnin a dalších plodin v červenci a v srpnu se doporučuje mělká podmítka radličkami, disky nebo mulčovacími branami, které zlepšují vyrovnanost posklizňových zbytků na povrchu půdy. Na Obr. 125 a Obr. 126 je porovnáno vzcházení výdrolu po ozimé pšenici 3 týdny po hluboké

(10–12 cm) a mělké (5–6 cm) podmítce, mulčování a při ponechání vyššího strniště (10 cm). Sláma byla drcena při sklizni drtičem na kombajnu. Na Obr. 127 a Obr. 128 je zachycen vliv hloubky podmítky a mulčování (1. 8. 2019, Ruzyně) po sklizni pšenice na teplotu půdy (v hloubce 5 cm), její vlhkost a obsah nitrátového dusíku (v půdní vrstvě 0–20 cm). Nejvyšší denní teploty půdy byly zjištěny po hlubší podmítce s menším množstvím posklizňových zbytků na povrchu, které byly v horkých dnech vyšší až o 5 °C než u mělké podmítky, až o 7 °C než u mulče, resp. o 6 °C u strniště. Posklizňové zbytky na povrchu půdy nebo vyšší strniště omezují v teplém letním období nadměrné prohřívání půdy, ztrátu půdní vláhy a mineralizaci organických látek související s vyššími emisemi CO₂ a tvorbou nitrátů v půdě. U mělké podmítky a mulče mohla být u pozdějších odběrů půdy její vlhkost nižší v důsledku odběru vody výdrol, který vzcházel podstatně lépe než u hlubší podmítky a ponechaného strniště. U strniště nebyl zjištěn rozdíl v půdní vlhkosti pod řádkem a mezi řádky. Ponechané strniště ve srovnání s podmítkou a mulčem nejvíce omezovalo ztráty vody z půdy v horkých slunečních a větrných dnech. Nebyl zjištěn nepříznivý vliv ponechaného strniště na větší ztrátu vody z půdy, která může nastat zejména u tzv. „živého strniště“ s částí plně nevyzrálých stébel, která se při ohybu snadno nelámou, což nastává zejména při rychlém dozrávání klasů v důsledku sucha a po aplikaci klasových fungicidů, stimulatorů růstu a hnojiv způsobujících „green efekt“. Srpen v roce 2019 byl na rozdíl od roku 2018 chladnější a vlhčí (55 mm srážek), a tak ztráta vody z půdy po hluboké podmítce, orbě nebo hlubokém kypření hlíny nebyla většinou limitujícím faktorem například pro vzcházení zaseté řepky nebo meziplodin jako v roce 2018. Hlubší zpracování půdy a zapravení posklizňových zbytků bylo uplatňováno také při větším výskytu hraboše polního.



Obr. 127 Teplota půdy v hloubce 5 cm pod strništěm, mulčem a po podmítce

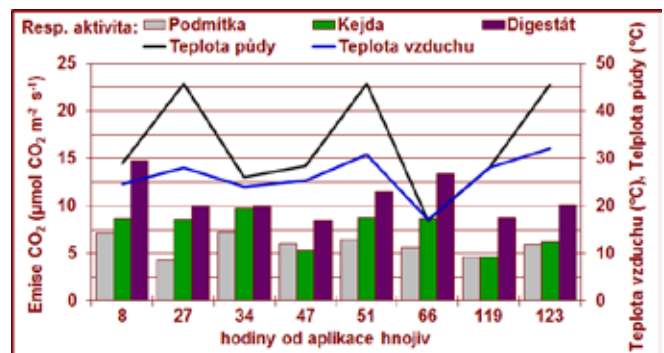


Obr. 128 Vlhkost půdy (0–20 cm) a obsah nitrátů v půdě (0–20 cm) pod strništěm, mulčem a po podmítce

Před zapravením slámy do půdy po sklizni obilnin podmítka se dosud doporučuje aplikovat na slámu vyrovnávací dávku dusíku pro zlepšení jejího rozkladu. Při absenci srážek v sušších oblastech je však toto opatření málo účinné a naopak může podpořit rozklad organických látek v půdě v letním období, emise CO₂ z půdy, tvorbu nitrátového dusíku a zvýšit riziko znečištění vod v následujícím období. V našich pokusech jsme v sušších letech 2017 a 2018 zjistili jen zanedbatelný vliv aplikace N-hnojiv na zvýšení rozkladu slámy ve srovnání s nehnojenou variantou (zvýšení do 10 %). To potvrdily také výsledky získané v zemědělských podnikcích, kde jsme v průběhu podzimu 2018 nacházeli v půdě většinou jen slabě rozloženou slámu. Důvodem malých rozdílů v rozkladu slámy s aplikací N a bez hnojení je uvolňování dusíku z organických látek v půdě mineralizací po podmítce i bez hnojení N a pozdější začátek rozkladu slámy zapravené do půdy (zejména po použití účinnějších fungicidů do klasu), kdy už je většina dusíku z aplikovaných hnojiv ve formě nitrátů, které mohou být po srážkách vyplaveny z horní půdní vrstvy se zapravenou slámou.

V předcházejících letech jsme zjistili lepší rozklad slámy po aplikaci kapalných hnojiv ve srovnání s tuhými a příznivě se projevilo také použití inhibitoru nitrifikace, ale i tak byl přínos aplikovaných hnojiv nízký. Vzhledem k tomu, že se sláma v půdě při nedostatečné půdní vlhkosti pomalu rozkládá, část slámy zůstává nerozložená do jarního

období a její rozklad pak spotřebovává dusík a vodu z půdy, což se může nepříznivě projevit ve výživě a růstu rostlin. Na Obr. 129 jsou znázorněny emise CO₂ z půdy po podmítce se zapravením slámy (srpen 2018, Ruzyně) ve srovnání s podmítka po aplikaci kejdy a digestátu na slámu. Z výsledků vyplývá, že aplikace digestátu a kejdy na slámu a její následné zapravení do půdy podmítka zvyšuje emise CO₂ z půdy, což se může při dlouhodobém používání zejména digestátu projevit postupným snižováním obsahu C_{org.} v půdě a zhoršováním půdní struktury.

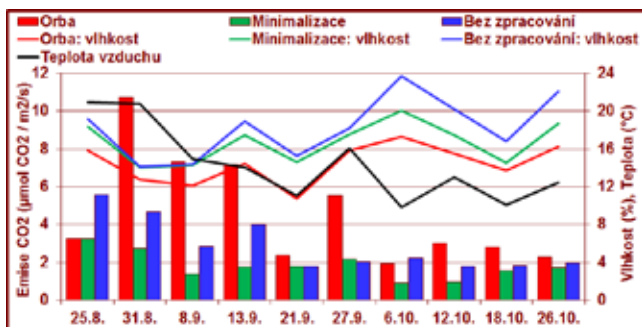


Obr. 129 Emise CO₂ z půdy po podmítce a po aplikaci kejdy a digestátu na slámu (Ruzyně 2018)

Vliv zpracování půdy na sekvestraci uhlíku

Postupný nárůst teplot spojený se změnami klimatu může mimo jiné ovlivnit uhlíkový cyklus v půdách zvýšenou respirační aktivitou půdních mikroorganismů a následně intenzivnější mineralizací půdní organické hmoty. Stabilizace, popř. zvyšování obsahu organického uhlíku v zemědělských půdách proto hraje podstatnou úlohu jak pro samotnou úrodnost půdy, tak v globálním měřítku pro zmírnění klimatických změn. Čím více a hlouběji půdu kypříme a provzdušňujeme při vhodných podmínkách pro průběh mineralizačních procesů, tím více musíme dbát na hnojení statkovými a organickými hnojivy, pěstování pícnin a mezplodin apod. Omezení zpracování půdy vede zejména ve svrchní vrstvě půdy k ukládání organického uhlíku do půdy a snižování emisí CO₂. Při nedostatku vhodných organických a statkových hnojiv a nízkém zastoupení pícnin v osevních postupech nebude reálné na řadě farem v ČR vracet zpět do půdy dostatečné množství organické hmoty při hlubokém zpracování půdy (orba, kypření, podrývání) a udržovat celý zpracovávaný půdní profil (např. 0 – 25 cm) v dobrém strukturním stavu se stabilním obsahem C_{org.}. Řešením je provádět hluboké kypření půdy jen v pásech nebo omezit hloubku zpracování půdy na celé ploše s využitím minimalizačních technologií a snažit se stabilizovat (zvyšovat) obsah organického uhlíku v horní vrstvě půdy (např. do hloubky 10 až 15 cm), která má rozhodující vliv na zpracovatelnost půdy před setím (sázením) a její schopnost zadržet vodu ze srážek.

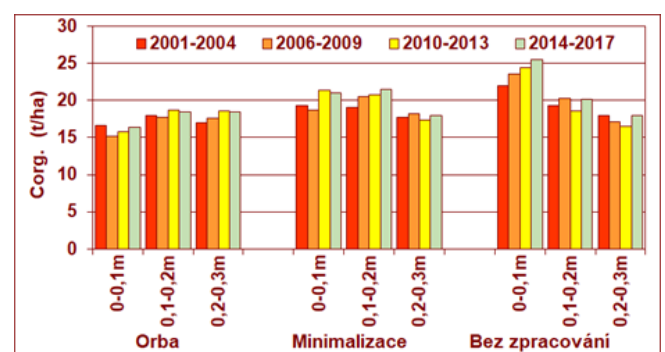
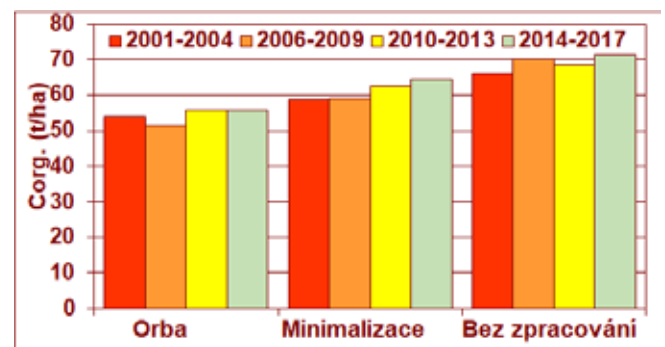
Jedním z nejvíce rizikových agrotechnických opatření z hlediska sekvestrace uhlíku v půdě je orba nebo hluboké kypření půdy v letním období (např. před setím řepky), kdy kromě vyšších emisí CO₂ dochází také k vyšším ztrátám vody z půdy. V letním období by měla být půda co nejvíce konzervována a většímu prohřívání a ztrátě vody by měl zabránit rostlinný pokryv nebo posklizňové zbytky na povrchu. Při setí polních plodin nebo meziplodin v letním období bude v příštích letech stále více využíváno přímé setí do mulče nebo do zpracovaných úzkých pásků. Při použití dlátových kypřičů do větší hloubky (např. u utužených půd) budou jejich součástí půdní pěchy, které omezí provzdušnění půdy. Na Obr. 130 je znázorněn vliv zpracování půdy v letním období na její vlhkost a emise CO₂, které souvisí s rozkladem organických látek v půdě. Po orbě v srpnu (k řepce) jsme ve všech sledovaných letech zjistili významně vyšší emise oxidu uhličitého a nižší vlhkost horní vrstvy půdy (0–10 cm) než po mělké podmítce do 10 cm (minimalizace) a na půdě bez zpracování s ponecháním rostlinných zbytků na povrchu. V některých letech byly vyšší emise na půdě bez zpracování než na minimalizaci, což může souviset s nakypřením horní vrstvičky půdy v řádcích při přímém setí nebo s rozkladem mulčované slámy v místech kontaktu s vlhčím povrchem půdy. S poklesem teploty vzduchu se emise CO₂ snižovaly, proto je třeba intenzivnější zpracování půdy (např. orba) provádět pokud možno (např. pro pozdě seté ozimy nebo jařiny) v pozdějším termínu. V následném jarním období jsme zjistili u všech způsobů zpracování půdy nižší emise CO₂ než v letním období, přičemž nejnižší hodnoty byly u půdy bez zpracování.



Obr. 130 Emise CO₂ z půdy a její vlhkost po různém zpracování (Ruzyně 2017)

Z výsledků dlouhodobého polního pokusu s různým zpracováním půdy (od r. 1995) na stanovišti v Praze-Ruzyni (hnědozem, hlinitá) vyplývá, že k největšímu zvýšení obsahu C_{org} v půdě došlo u půdy bez zpracování, následovalo redukované zpracování do hloubky 10 cm a jen minimální nárůst v půdní vrstvě 20–30 cm byl zjištěn po orbě (Obr. 131). Osevní postup je ozimá pšenice – hrách – ozimá pšenice – ozimá řepka s ponecháním rostlinných zbytků

na poli, kromě hlavního sklizeného produktu. U orby došlo vzhledem k postupnému snižování C_{org} v půdě od roku 2009 ke snížení hloubky zpracování půdy z 22–25 cm na 18–22 cm. Hloubka orby je každoročně určována na základě testu rýčem s tím, že povrch půdy po orbě musí mít dobrou strukturu a v suchých letech nebo při horší struktuře půdy je povrch přikulen Cambridge válci. Po zavedení těchto opatření se obsah C_{org} v půdě po orbě přestal snižovat. Po více než 20 letech polního pokusu se v půdní vrstvě 0–30 cm u minimálního zpracování půdy zvýšil obsah organického uhlíku v porovnání s orbou cca o 10 t C/ha a u půdy bez zpracování o 15 t C/ha (Obr. 131a). Přitom k největšímu zvýšení obsahu C_{org} u bezorebných technologií došlo v horní vrstvě půdy (Obr. 131 b). U půdy bez zpracování byla zjištěna také nejvyšší biologická aktivita půdních organismů včetně makroedafonu, jehož činností došlo k tvorbě makropórů v půdním profilu, které sehrávají významnou roli při infiltraci srážkové vody spolu s rozpuštěnými živinami z aplikovaných hnojiv do hlubších vrstev půdy (Obr. 132).



Obr. 131 Obsah C_{org} v ornici (a) a v horních vrstvách půdy po různém zpracování (b)



Obr. 132 Biopóry po makroedafonu na půdě bez zpracování

6. 3. 3. Výživa a hnojení rostlin při různém zpracování půdy

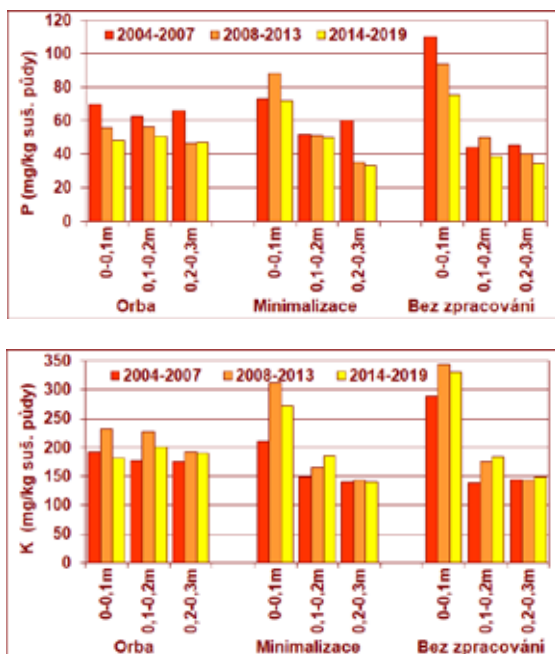
Víceleté používání různých technologií zpracování půdy má vliv na rozmístění živin v půdním profilu a vyžaduje cílené postupy v aplikaci hnojiv. Základním opatřením pro udržení půdní úrodnosti je hnojení statkovými a organickými hnojivy a vápnění. Nízký obsah organických látek v půdě v důsledku nedostatečného organického hnojení má negativní vliv na hospodaření s vodou v půdě a zvyšuje riziko utužení půdy, menší stability půdních agregátů, omezení infiltrace vody ze srážek a závlahy do půdy a s tím související vodní eroze. K udržení, popř. ke zvýšení obsahu C_{org} v půdě bychom potřebovali zapravovat do půdy organická hnojiva s poměrem C : N vyšším než 20 : 1, neboť velká část uhlíku je využívána půdními mikroorganismy jako zdroj energie. Mezi tato hnojiva v současné době patří většina kompostů, separát kejdy skotu, koňský hnůj, sláma a některé rostliny na zelené hnojení. Výjimečně také hnůj skotu s větším podílem slámy, ale většina hnojů má nyní poměr C : N nižší než 15 : 1. Velká část zemědělských podniků je tedy schopna vyrovnávat negativní bilanci organických látek v půdě jen zapravením slámy nebo zeleným hnojením, ale problémem je jejich nízký humifikační koeficient, který se pohybuje jen od 10–25 % na rozdíl od kvalitního hnoje skotu (35–40 %) a kompostu (45–50 %).

Na rozdíl od kvalitních organických hnojiv s širším poměrem C : N mohou organická hnojiva s úzkým poměrem C : N (např. digestát, kejda, drůbeží podestýlka, kaly z ČOV apod.) a minerální dusíkatá hnojiva přispívat k rozkladu organických látek v půdě. Hnojení dusíkem zvyšuje množství N_{min} v půdě, a to nejen vlastním vstupem, ale může také podpořit vyšší intenzitu mineralizace půdní organické hmoty (tzv. priming efekt), což nastává často u půd hnojených organickými a statkovými hnojivy. Dusík z aplikovaných hnojiv, zejména v amonné formě, stimuluje aktivitu půdních organismů, které využívají uhlík z organických látek v půdě jako zdroj energie a při nedostatečném organickém hnojení hnojivy s širším poměrem

C : N může docházet v půdě k postupnému snižování poměru C : N. Přitom na růst rostlin může mít snižování poměru C : N po určitou dobu příznivý vliv, protože rostliny mají k dispozici větší množství živin zpřístupněných z půdní organické hmoty. Na jednotku uhlíku se uvolňuje více N i dalších živin a snižuje se mikrobiální imobilizace dusíku z aplikovaných hnojiv a z půdní zásoby. To se často projevuje zvýšením obsahu nitrátového dusíku v půdě, který je nejčastějším zdrojem ztrát N vyplavením, povrchovým smyvem apod., čímž se snižuje využitelnost dusíku z hnojiv a půdy rostlinami a zvyšují se rizika znečištění povrchových a podzemních vod nitráty. Kromě toho postupně dochází ke zhoršování struktury půdy a její schopnosti zadržet vodu ze srážek a závlahy. Kromě dodání organických látek do půdy je nutné také omezit postupy ve zpracování půdy a hnojení, které podporují jejich rozklad.

Větší pozornost je třeba také věnovat obsahu živin v půdě a u bezorebných technologií zpracování půdy zejména v její povrchové vrstvě. Jestliže půdu neobracíme, dochází k akumulaci v půdě málo pohyblivých živin v horní vrstvě (např. P, částečně také K), zatímco v půdě pohyblivé živiny (Ca, Mg) jsou vyplavovány do spodních vrstev půdy. Dosud jsme obsah živin v půdě hodnotili především z hlediska zabezpečení výživy rostlin, ale nyní je třeba hodnotit i vliv koncentrace některých živin na kvalitu půdy, její strukturu a schopnost zadržet vodu ze srážek. Bude nutné přehodnotit kritéria pro hodnocení výsledků chemických rozborů zemědělských půd a najít vhodnou metodu pro stanovení přijatelných živin v půdě z hlediska výživy rostlin. Není možné, aby při uplatňování metod precizního zemědělství bylo doporučováno hnojení draslíkem na středních až těžších půdách například při zjištěném obsahu v ornici 170 mg K/kg (dle Mehlich III, při přepočtu přibližně 700 kg „prijatelného“ K/ha), přičemž u bezorebných technologií může být v povrchové vrstvě půdy obsah dvojnásobný a jakékoliv další hnojení draslíkem může mít nepříznivý vliv na strukturu půdy, stabilitu půdních agregátů a infiltraci vody ze srážek. Navíc vyšší koncentrace živin má v biologicky velmi aktivní povrchové vrstvě většinou také nepříznivý vliv na diversitu půdních organismů a život v půdě. Při přepočtu obsahu živin zjištěného v laboratoři na skutečné obsahy v přirozených polních podmínkách je nutné brát v úvahu vyšší objemovou hmotnost půdy u půd bez zpracování nebo jen s mělkým kypřením. Na Obr. 133 je znázorněn obsah fosforu a draslíku (stanoveno Mehlich III) v různých vrstvách půdy po víceletém používání různých technologií zpracování půdy. U bezorebných technologií se zvyšuje koncentrace P a K v povrchové vrstvě půdy, zatímco v hlubších vrstvách se významně snižuje. Při proschnutí horní vrstvy půdy je pak omezen příjem těchto živin rostlinami. Jak vyplývá z grafu na Obr. 133a, obsah fosforu v půdě se postupně snižuje, přestože je každoročně hnojeno 23 kg P/ha (100 kg hnojiva amofos) a roční export P zrnem nebo semeny je v průměru osevního postupu 22 kg P/ha. U draslíku (Obr. 133b) se při hnojení 60 kg K/ha a průměrném ročním exportu 32 kg K/ha obsah K v půdě zvyšoval, proto bylo hnojení sníženo na 50 kg K/ha, což se již projevilo v posled-

ních rozborech půd. Vysoký obsah draslíku (příp. NH_4^+ a dalších jednomocných kationtů) v horní vrstvě půdy (0–10 cm) může mít nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a infiltraci vody ze srážek, i když na druhé straně vyšší koncentrace K v rostlině zpravidla zvyšuje její odolnost k suchu.



Obr. 133 Obsah P (a) a K (b) v horních vrstvách půdy po různém zpracování

Na půdách bez orby často dochází k vyplavení dvoumocných kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} z povrchové vrstvy půdy. Tyto kationty mají významný vliv na koagulaci koloidů a zabraňují tak rozplavení agregátů. Vaněk a kol. (2012) uvádí, že draslík by měl v sorpčním komplexu tvořit (v ekvivalentním vyjádření) 3–4 %, hořčík zhruba 3x více (10–15 %). Nejvyšší podíl v sorpčním komplexu by však měl zaujímat vápník (60–80 %). Jeho dominantní postavení je nutné pro zajištění dobrého fyzikálního stavu půd, kde má koagulační funkci, na niž závisí strukturnost půdy a tím i optimální vodní, vzdušný i tepelný režim půdy a oxidačně redukční procesy (Matula, 2007). Poměry kationtů K : Mg : Ca v sorpčním komplexu lze vypočítat z obsahů živin v půdě zjištěných metodou KVK-UF. Z citovaných údajů o zastoupení kationtů v sorpčním komplexu (Vaněk a kol., 2012, Matula, 2007) vyplývají vhodné poměry K : Mg : Ca (v ekvivalentním vyjádření), a to 1 : 3 : 13,5–15 nebo alespoň 1 : 2 : 9,5–10. U půd z dlouhodobého pokusu s různými technologiemi zpracování byl nejlepší tento poměr u orby (1 : 1,6 : 12,5) následovala minimalizace (1 : 1,4 : 8,2) a nejhorší půda bez zpracování (1 : 1,2 : 7,8). Při odběru povrchové vrstvičky půdy (např. 0–2 cm) se tento poměr dále zhoršuje, přitom tato část půdy má významný vliv na infiltraci srážkové vody.

Při analýzách povrchové vrstvy půd s krustou ve více zemědělských podnicích v roce 2018 jsme většinou zjistili nízký obsah C_{org} , nízké pH a extrémně nevhodný poměr jednomocných a dvojmocných kationtů. Například u půdy na Obr. 134 byl zjištěn poměr 1 : 1 : 3,8, $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 4,9$, obsah $C_{\text{org}} = 0,81\%$ a poměr C : N = 6. Těchto půd stále více přibývá, a jestliže tento stav povrchové vrstvy půdy nezlepšíme, nemohou být účinné ani doporučované protierozní technologie zpracování půdy. Tyto problémy mohou v příštích letech ještě narůstat, pokud nezlepšíme péči o půdu a její strukturní stav pravidelným vápněním, hnojením kvalitními statkovými a organickými hnojivy s vyšším poměrem C : N a rozšířením pěstování meziplodin a víceletých píceňin. V této souvislosti je žádoucí zvýšit podíl víceletých píceňin například při výrobě bioplynu. Vzhledem k udržení kvality půdy a její schopnosti zadržet vodu ze srážek bude třeba postupně omezovat plošnou aplikaci hnojiv na povrch půdy bez zapravení. Budou více používaná hnojiva s postupným uvolňováním živin a lokální (zonální) podpovrchová a povrchová aplikace hnojiv, čímž budou omezena rizika nepříznivých vlivů plošného hnojení na povrchovou vrstvu půdy včetně diverzity půdních organismů.



Obr. 134 Poškozená povrchová struktura půdy s rostlinami řepky

Vliv zpracování půdy a hnojení rostlin na dosažené výnosy a kvalitu produkce pěstovaných plodin

Mezi různými technologiemi zpracování půdy existují rozdíly v nárocích na operativnost a preciznost jednotlivých agrotechnických opatření včetně hnojení a ochrany rostlin. Žádné z těchto opatření nelze řešit samostatně, ale vždy v celém komplexu agrotechnických postupů v rámci pěstební technologie. Na rozdíl od konvenčního zpracování půdy s orbou, které částečně eliminuje nedostatky ve výži-

vě rostlin na úkor vyšších vstupů energie, při redukováném zpracování půdy se chyby v hnojení mohou projevit rychleji a výrazněji jak ve výnosu, tak i v kvalitě sklizených produktů.

Při používání minimalizačních technologií zpracování půdy dochází k pozvolnějšimu uvolňování živin z organických vazeb, což vyžaduje operativnější a preciznější přístup k hnojení, a to zejména dusíkem, který má významný vliv na dosažené výnosy i kvalitu produkce pěstovaných zemědělských plodin. Zpravidla největší problémy mohou vznikat při přechodu z konvenčního zpracování půdy s orbou na konzervační, kdy často dochází k větší imobilizaci aplikovaného dusíku a k dosažení stejného výnosu je třeba zvýšit celkovou dávku dusíku v návaznosti na množství posklizňových zbytků, jejich kvalitu včetně poměru C : N a způsob jejich zapravení. V přechodném období, které může trvat 5–10 let, se ještě významněji neprojeví pozitivní vliv půdoochranného zpracování na zvýšení obsahu organické hmoty a edafonu v půdě, zvýšení počtu biopórů, zvýšení stability agregátů a zlepšení půdní struktury, zvýšení odolnosti horní vrstvy půdy ke slévání a utužení. Po dlouhodobém bezorebném zpracování půdy je nutné větší pozornost věnovat utužení půdy v jednotlivých vrstvách půdního profilu, obsahu živin ve spodních vrstvách, okyselování povrchové vrstvy půdy apod.

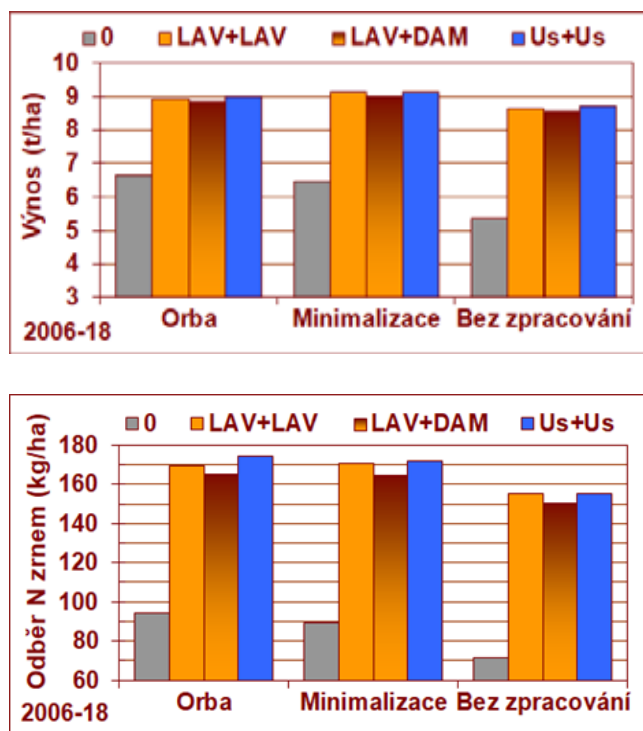
Nižší příjem živin rostlinami u bezorebných technologií zpracování půdy lze očekávat na těžších málo strukturních půdách v chladném období s četnými srážkami, kdy je omezeno uvolňování živin z organických vazeb v půdě a kromě toho může docházet ke ztrátám živin vyplavením a denitrifikací. Ztráty dusíku denitrifikací vznikají při nedostatku kyslíku a přítomnosti nitrátů a lehce rozložitelného uhlíku v půdě. Naopak vyšší účinnost hnojení u minimalizačních technologií než u orby zpravidla dosahujeme v období sucha, kdy mulč na povrchu půdy brání proschnutí povrchové vrstvy půdy, ze které na rozdíl od proschlé půdy po orbě může rostlina přijímat živiny z dříve aplikovaných hnojiv. V tomto případě, kdy je výnos limitován nedostatkem vody, jsou zanedbatelné ztráty dusíku denitrifikací a vyplavením. Vyšší účinnost aplikovaných hnojiv je také po malém množství srážek vzhledem k tomu, že u bezorebného zpracování jsou kořeny mělko pod povrchem půdy a jsou schopny přijímat také živiny méně pohyblivé v půdním profilu. To se nejvíce projeví po delším období sucha, kdy po orbě prosychá silnější vrstva půdy a na transport živin z aplikovaných hnojiv ke kořenům rostlin je potřeba větší množství srážek. Jestliže je na povrchu půdy vrstva posklizňových zbytků s širokým poměrem C : N (např. sláma obilnin), může docházet u půdoochranných technologií zpracování půdy k větší imobilizaci dusíku z aplikovaných hnojiv. Přitom je vyšší imobilizace N po aplikaci hnojiv s převažující amonnou formou dusíku (síran amonný, DASA, ENSIN apod.) nebo z nichž tato forma vzniká (močovina, ALZON). Proto při aplikaci hnojiv na bázi močoviny je vhodnější tato hnojiva

používat v době, kdy je nízká aktivita půdních mikroorganismů (např. aplikace vyšších dávek k ozimům na začátku jarní vegetace rostlin).

Vzhledem k větší imobilizaci dusíku půdní mikroflórou a k postupnému nárůstu obsahu organického dusíku v půdě je u bezorebného zpracování půdy ve srovnání s orbou většinou nižší účinnost malých dávek dusíku. *Sprague a Triplett (1986)* uvádějí, že při dávkách N nižších než optimálních se dosahuje u půdoochranných technologií nižších výnosů než u orby, zřejmě z důvodu větší imobilizace N, denitrifikace a nižší mineralizace. Tento rozdíl by se měl zmenšovat při optimálních a vyšších dávkách N-hnojiv, kdy mohou být naopak vyšší výnosy, což většinou způsobují lepší vláhové podmínky pro příjem živin. Vyšší účinnost dusíku na půdě bez zpracování zjistili v podmínkách, kde je limitujícím faktorem vlhkost půdy a naopak nižší v chladném, vlhkém klimatu a na nepropustných půdách, kde může docházet k velkým ztrátám denitrifikací. V půdách a klimatech mezi těmito extrémy bude účinnost dusíkatých hnojiv nižší v několika prvních letech po přechodu z orebného systému na bezorebný, ale časem bude v důsledku nárůstu obsahu půdního organického dusíku v neorané půdě srovnatelná dostupnost dusíku z orané i neorané půdy pro rostliny a následně i srovnatelné účinnosti aplikovaných dusíkatých hnojiv. *Hůla, Procházková a kol. (2008)* uvádějí, že snížení hloubky a intenzity zpracování půdy má většinou příznivý vliv na půdní a životní prostředí. Může vést ke zvyšování obsahu a kvality půdní organické hmoty, zlepšování strukturního stavu půdy, zvyšování biologické aktivity půdy a k regulaci vodní a větrné eroze, ke snižování emise oxidu uhličitého z půdy do ovzduší, apod. Avšak výnosová reakce jednotlivých druhů plodin na hloubku a intenzitu zpracování půdy do značné míry závisí na konkrétních půdních a povětrnostních podmínkách a vzhledem k rozmanitosti těchto podmínek výsledky pokusů obecně ukazují, že výnosy plodin pěstovaných po orbě a po minimalizaci se většinou příliš neliší.

V našich dlouhodobých pokusech s různým zpracováním půdy (od roku 1995, hnědozem, stanoviště Ruzyně) byly výnosy zrna ozimé pšenice bez hnojení dusíkem v průměru let 2006 – 2018 (Obr. 135) vyšší po orbě a minimalizaci (6,6 t/ha, resp. 6,5 t/ha) než na půdě bez zpracování (5,4 t/ha), přičemž po předplodině hrachu byly výnosy vyšší než po ozimé řepce. Po optimální celkové dávce dusíku (stanovené na základě obsahu N_{\min} v půdě do 0,9 m a plánovaného výnosu) ve výši 120–150 kg N/ha dělené do 2 dílčích dávek v různých hnojivech byly výnosy zrna po orbě 8,9 t/ha, po minimalizaci 9,1 t/ha a na půdě bez zpracování 8,6 t/ha. Ke hnojení byla použita následující dusíkatá hnojiva: ledek amonný s vápenecem (LAV), kapalné hnojivo DAM a močovina s inhibitorem ureázy UREA^{stabil} (Us). Hnojivo UREA^{stabil} bylo vyvinuto mimo jiné pro efektivní hnojení zemědělských plodin pěstovaných při bezorebném zpracování půdy s posklizňovými zbytky na povrchu. Ve srovnání s neuprave-

nou močovinou je působením inhibitoru ureázy po dobu 1–3 týdnů omezena hydrolyza močoviny, čímž jsou eliminovány ztráty dusíku únikem amoniaku a vytvořeny lepší předpoklady pro transport nerozložené močoviny (nepolární molekula) přes půdní vrstvu s posklizňovými zbytky s větší imobilizací N po srážkách ke kořenům rostlin.

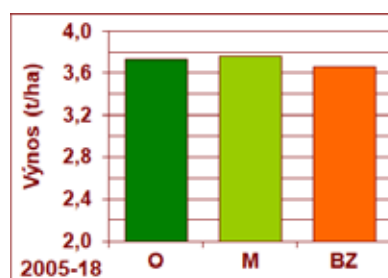


Obr. 135 Výnos zrna ozimé pšenice (a) a odběr dusíku zrnem (b) po různém zpracování půdy a hnojení

Jak vyplývá z výsledků znázorněných na Obr. 135a, mezi jednotlivými variantami hnojení nebyly zjištěny podstatné rozdíly ve výnosech zrna ozimé pšenice. Předpokládána vyšší efektivnost hnojiva UREA^{stabil} nemusela být dosažena z důvodu významně vyšší aktivity enzymu ureázy v povrchové vrstvě půdy po půdoochranném zpracování půdy a tím i kratší doby účinnosti inhibitoru ureázy, a to zejména při aplikaci 2. dávky dusíku na začátku sloupkování ozimé pšenice. Proto je vhodnější na této půdě aplikovat vyšší dávku UREA^{stabil} (80–100 kg N/ha) již v 1. dávce dusíku na začátku jarní vegetace ozimé pšenice, kdy je také aktivita enzymů vzhledem k nižší teplotě v půdě menší a kdy jsme zjistili vyšší účinnost tohoto hnojiva ve srovnání s klasickou močovinou nebo LAV. Z různých forem dusíku v aplikovaných hnojivech působí u bezorebných technologií zpracování půdy většinou nejrychleji nitrátová forma (50 % v LAV, 95 % v ledku vápenatém), následuje močovina s inhibitorem ureázy (UREA^{stabil}), klasická močovina a na většině našich půd nejpomaleji rostliny využívají dusík z hnojiv s převažující amonnou formou (síran amonný, DASA, ENSIN apod.).

Na Obr. 135b je znázorněn odběr dusíku zrnem ozimé pšenice po aplikaci různých hnojiv a různém zpracování půdy. Na odběr dusíku rostlinami měly významný vliv předplodiny a způsob zpracování půdy po jejich sklizni, což se projevilo různou zásobou minerálního dusíku v půdě, která byla největší po orbě a nejmenší na půdě bez zpracování. To se projevilo v odběru dusíku zrnem ozimé pšenice bez hnojení N, který byl nejvyšší po orbě (94 kg N/ha), následovala minimalizace (89 kg N/ha) a jen 71 kg N/ha na půdě bez zpracování. Po hnojení různými dusíkatými hnojivy v celkové dávce 120 – 150 kg N/ha se zvýšil odběr N rostlinami ozimé pšenice na orbě v průměru o 75 kg N/ha, na minimalizaci o 80 kg N/ha a na půdě bez zpracování o 82 kg N/ha. Z toho vyplývá, že u bezorebných technologií zpracování půdy se hnojení dusíkem projevilo vyšším nárůstem odběru dusíku rostlinami ve srovnání s nehnojenou kontrolou než u orby. Z použitých hnojiv byl nižší odběr dusíku po aplikaci hnojiva DAM, kde byl také nižší obsah bílkovin v zrně. Přestože po aplikaci DAM postřikem na rostliny může být část dusíku přijímána přes listy, na účinnost hnojení N to nemělo ani v suchých letech podstatný vliv. Z tohoto hlediska je u bezorebných technologií zpracování půdy s posklizňovými zbytky na povrchu efektivnější aplikovat kapalné hnojivo DAM většími kapkami nebo pomocí aplikačních trubíc, kdy zůstává menší množství hnojiva na rostlinných zbytcích a neproduktivních odnožích.

V ČR je většina porostů ozimé řepky na rozdíl od ostatních států EU zakládána bezorebnými technologiemi. Z výsledků našich dlouhodobých pokusů vyplývá, že po orbě (O) a minimalizaci (M) byl výnos semen ozimé řepky ve většině let vyšší než na půdě bez zpracování (BZ, Obr. 136), na které byly vyšší výnosy dosaženy v suchých letech s větším množstvím posklizňových zbytků po ozimé pšenici (např. 2018). U bezorebných technologií zpracování půdy mělo příznivé vliv na zvýšení výnosů semen přihnojení řepky během podzimního růstu podle stavu porostu (30 – 40 kg N/ha) a aplikace vyšších dávek dusíku na začátku jarní vegetace (regenerační hnojení 80 – 100 kg N/ha).



Obr. 136 Výnos semen ozimé řepky po různém zpracování půdy (pokus Praha-Ruzyně)

Vhodné postupy při zpracování půdy a hnojení pro oblasti ohrožené suchem – shrnutí

- Operativní optimalizace agrotechnických vstupů s využitím metod precizního zemědělství (aplikační mapy) a diagnostiky půd a rostlin.
- Omezení intenzity vstupů v místech s nízkou dostupností vody pro rostliny, popř. začlenění těchto ploch do „greeningu“.
- Posouzení každého agrotechnického vstupu z hlediska rizika poškození půdy, ztráty vody, podpory rozkladu organické hmoty v půdě a následného zadržení vody ze srážek a omezení výparu z půdy.
- Čím více a hlouběji půdu kypříme a provzdušňujeme při vhodných podmínkách pro průběh mineralizačních procesů, tím více musíme vrátet organické hmoty do půdy statkovými a organickými hnojivy, pěstování pícnin a meziplodin.
- Používání minimalizačních technologií a pásového zpracování půdy zvyšují sekvestraci C v půdě, její strukturu a retenční schopnost.
- V letním období by měla být půda co nejvíce konzervována a většinou prohřívání a ztrátě vody by měly zabránit rostlinný pokryv nebo posklizňové zbytky včetně slámy na jejím povrchu.
- Pro stabilizaci nebo zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě používat hnojiva s širším poměrem C : N, nejlépe 20 : 1 a více (kompost, slamnatý hnůj, separáty, sláma, zelené hnojení).
- Používání hnojiv s úzkým poměrem C : N (digestát, kejda, kaly z ČOV, drůbeží podestýlka) a minerálních dusíkatých hnojiv přispívá k rozkladu organických látek v půdě.
- Při optimalizaci hnojení používat variabilní dávky hnojiv na základě výnosových map, dostupnosti vody pro rostliny a výsledků diagnostických metod výživného stavu půd a rostlin.
- Omezení aplikace dusíkatých hnojiv (minerální hnojiva, digestát, kejda, drůbeží podestýlka apod.) v teplém letním období včetně vyrovnávací dávky dusíku na slámu: sláma se většinou rozkládá později a aplikovaný dusík může podpořit rozklad organických látek v půdě a zvýšit ztráty C nárůstem emisí CO₂.
- Místo plošné aplikace hnojiv uplatňovat lokální hnojení do kořenové zóny rostlin s využitím hnojiv s pozvolným uvolňováním živin.

- Dávky hnojiv optimalizovat podle skutečného obsahu rostlinami využitelných živin v půdě (např. metoda N_{min}, KVK-UF apod.).
- Vyšší dávky minerálních hnojiv, než je skutečná potřeba rostlin mohou mít nepříznivý vliv na kvalitu půdy (zhoršení poměru kationtů v půdě, stabilitu půdních agregátů, diversitu půdních organismů, vyplavování živin spolu s nitráty a sírany – např. Mg).
- Při hnojení za vegetace na povrch půdy se špatnou strukturou nepoužívat minerální hnojiva s jednomocnými kationty (K⁺, NH⁴⁺).
- Sledovat pH v půdě včetně povrchové vrstvy u bezorebného zpracování a v případě potřeby vápnění používat pozvolně působící vápenatá hnojiva (např. dolomit).
- Při lokální nebo zonální aplikaci hnojiv do půdy je nutné zabezpečit přívod vody k hnojivům (např. úpravou povrchu půdy nebo vytvořením akumulčních prostorů pro vodu v blízkosti kořenů).
- Věnovat větší pozornost vlivu hnojení dusíkem na strukturu porostu a zdravotní stav rostlin.
- Při interpretaci výsledků některých metod (např. N-tester) brát v úvahu omezené využití při absenci srážek, kdy zůstávají živiny z dříve aplikovaných hnojiv na povrchu půdy.

Přednosti podpovrchové lokální aplikace hnojiv ve srovnání s plošnou při hnojení polních plodin v sušších oblastech:

- většinou vyšší využití živin z aplikovaných hnojiv rostlinami než po plošné aplikaci.
- efektivnost hnojení lze zvýšit cíleným usměrněním pohybu vody ze srážek do zóny s aplikovanými hnojivy (např. úpravou povrchu půdy).
- rychlejší dostupnost živin kořeny rostlin (platí zejména při aplikaci nižších dávek dobře rozpustných hnojiv).
- menší závislost využitelnosti živin rostlinami na povětrnostních podmínkách.
- omezení imobilizace živin půdními mikroorganismy (zejména N a P).
- při hnojení dusíkem menší vliv na podporu mineralizace organických látek v půdě.
- pozvolnější hydrolýza močoviny z aplikovaných hnojiv a nižší ztráty volatilizační amoniaku.

- omezení odběru živin plevely a snížení jejich konkurenceschopnosti s pěstovanou plodinou.
- možnost společné aplikace mikroprvků s makroprvky a vytvoření vhodné půdní reakce pro jejich příjem rostlinami.
- lepší využití fosforu a stopových prvků na karbonátových půdách.
- možnost společné aplikace hnojiv s biologicky aktivními látkami a biopesticidy.
- vzhledem k častému proschnutí horní vrstvy půdy v době přísušků je třeba aplikovat menší dávky hnojiv do větší hloubky a v dostatečné vzdálenosti od kořenů rostlin, aby nedošlo k negativnímu působení na jejich růst do hlubších vrstev půdy.

6.3.4. Inovované postupy při zakládání porostů polních plodin

Při zakládání porostů polních plodin v sušších oblastech je třeba klást důraz na omezení ztrát vody z půdy a rozkladu půdní organické hmoty v důsledku nadměrného kypření a provzdušnění půdy. Z tohoto hlediska je nejvíce rizikové letní období s vyššími teplotami vzduchu, kdy se zakládají porosty řepky ozimé a meziplodin. Během teplého letního období by měla být půda po sklizni plodin zakryta rostlinnými zbytky nebo porostem meziplodin, setých do nezpracované půdy nebo do úzkých pásů zpracované půdy, popř. mělké podmínky s ponecháním většiny posklizňových zbytků na povrchu.

Pásové zpracování půdy

Při zakládání porostů širokořádkových plodin (zejména kukuřice) na svažitých pozemcích se stále více používá pásové zpracování půdy (strip-till) s ponecháním částí posklizňových zbytků, strniště, mulče po meziplodině apod. v pásech na povrchu půdy a setím do zpracovaných pásů. V posledních letech se pásové zpracování půdy uplatňuje také při pěstování slunečnice, řepky, obilnin apod. Pásové zpracování půdy je rozumnou alternativou k orbě a ve srovnání s technologiemi bez zpracování nebo s mělkým kypřením půdy vytváří příznivější podmínky pro vsakování srážkové vody do prokypřeného pásu, prohřívání a provzdušnění půdy, růst kořenů do hlubších vrstev a využití živin z podpovrchově aplikovaných hnojiv. Tím řeší problémy s okyselováním a vyšší koncentrací málo pohyblivých živin (P, K) v povrchové vrstvě u půd bez zpracování nebo jen s mělkým zpracováním. Čím více je povrch půdy pokryt rostlinnými zbytky a čím mělkčí vrstva půdy se zpracovává, tím narůstá význam a zvyšuje se efektivnost lokální a zonální podpovrchové aplikace hnojiv do blízkosti kořenů rostlin.

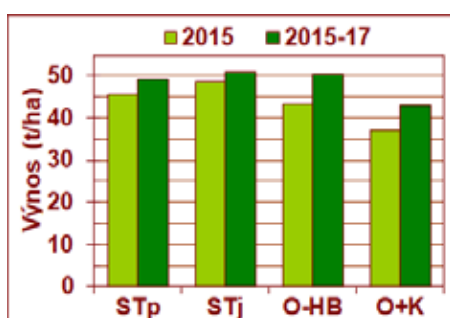
Dávka hnojiv a hloubka aplikace vychází z analýzy půdy, pěstované plodiny a odstupu hnojení před setím. U minerálních hnojiv mohou být na půdách s horší strukturou rizikové již dávky nad 100 kg hnojiva a u kejdy a digestátu nad 15 t/ha, zejména při vyšší sušíně nebo při použití inhibitorů nitrifikace. Například při hnojení kukuřice se vzdáleností řádků 75 cm je množství hnojiva v místě aplikace vysoké a především u digestátu a kejdy může docházet ke vztlínání hnojiva s nepříznivými vlivy na klíčení, počáteční růst rostlin a prokořenění půdy. V sušších letech (2015, 2018, 2019) jsme v zemědělských podnicích zjistili u kukuřice nepříznivý vliv aplikace digestátu na růst kořenů do hlubších vrstev půdy a s tím spojený odběr vody. Proto se doporučuje pro kontrolu vlivu hnojení na růst rostlin včetně kořenů vytvořit v porostu minimálně na 2 místech aplikační okna (např. v délce 10–25 m) bez hnojení.

Ve vztahu k výživě rostlin a uvolňování živin z půdní zásoby představuje pásové zpracování půdy kombinací dvou rozdílných systémů, z nichž jeden živiny v půdě konzervuje, zpomaluje jejich mineralizaci z organických látek a zvyšuje sekvestraci uhlíku v půdě, zatímco druhý aktivuje uvolňování živin pro rostliny kypřením a provzdušněním půdy, popř. aplikací hnojiv do různých vrstev půdy. Podíl těchto systémů lze regulovat šířkou nezpracovaných a kypřených pásů půdy podle pěstované plodiny a agroenvironmentálních požadavků stanoviště.

Za hlavní výhody pásového zpracování půdy jsou považovány (Brant a kol., 2016):

- Ochrana půdy v důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádkách (eliminace erozních procesů) a omezení vodního stresu při hlubším zpracování půdy ve srovnání se systémy celoplošného hlubšího zpracování půdy.
- Zlepšení půdních podmínek pro vývoj rostlin v řádkách (vyšší teplota a kvalitnější připravené setové lůžko) oproti technologiím setí do nezpracované půdy.
- Uložení hnojiv do blízkosti kořenů, což umožňuje snížení jejich množství (vyšší využití živin) a možnost cíleného ovlivnění rozvoje kořenového systému rostliny.
- Vhodnější podmínky pro výsev, spočívající v časnějším termínu setí a v nižších požadavcích na startovací dávky hnojiv ve srovnání s technologiemi mělkého zpracování a setí do nezpracované půdy.
- Snížení neproduktivních ztrát vody v důsledku nezpracování půdy mezi řádky plodiny a omezení evaporace z důvodu pokrytí meziřádků rostlinnými zbytky.
- Snížení produkce CO₂ na jednotku plochy ve srovnání s celoplošnými systémy zpracování půdy.

V polním pokusu na stanovišti v Lukavci u Pacova (bramborářská výrobní oblast, kambizem) jsme porovnávali vliv pásového zpracování půdy ve srovnání s orbou na dosažené výnosy silážní kukuřice a ztráty půdy vodní erozí: podzimní Strip-till (var. STp, Obr. 138 a Obr. 139), jarní (STj), jarní orba + zpracování úzkých pásků při setí přímo do hrubé brázdy (O-HB, Obr. 140), konvenční zpracování – podzimní orba + kompaktor (O+K). Při pásovém zpracování bylo lokálně podpovrchově aplikováno 100 kg amofosu/ha, u oraných variant (do 20 cm) byl amofos aplikován plošně před orbou. Při setí bylo aplikováno u všech variant 120 kg N lokálně do půdy v hnojivu UREA^{stabil}. Z výsledků znázorněných na Obr. 137 vyplývá, že u variant s pásovým zpracováním půdy a při setí do hrubé brázdy po jarní orbě byly dosaženy vyšší výnosy silážní kukuřice než po konvenčním zpracování s podzimní orbou a kompaktorem před setím, po kterém byly zjištěny také významně vyšší ztráty půdy vodní erozí. U konvenční varianty s orbou byly zjištěny během vegetace kukuřice nižší vlhkosti půdy v řádcích i meziřádcích, což se nejvíce projevilo v suchém roce 2015 (Obr. 141).



Obr. 137 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice při různém zpracování půdy



Obr. 138 Pásové zpracování půdy ke kukuřici



Obr. 139 Porost kukuřice založený do zpracovaných pásků půdy



Obr. 140 Porost kukuřice založený do hrubé brázdy po orbě se zpracováním úzkých pásků



Obr. 141 Porost kukuřice v suchém roce 2015: vlevo podzimní orba + kompaktor před setím, vpravo setí do hrubé brázdy po jarní orbě

Úprava povrchu půdy pro lepší zadržení vody ze srážek

Při zpracování půdy je třeba vytvořit na povrchu hrubší strukturu pro lepší zadržení vody včetně půd po orbě. Také při předseťové přípravě bude nutné více pozornosti věnovat úzkým páskům v místě setí než celoplošnému intenzivnímu zpracování a drobení půdy. Budeme muset více zvažovat každý přejezd techniky a vliv jednotlivých pracovních nástrojů nejen na kvalitu připravené půdy, ale i ztrátu půdní vláhy. Při lokální nebo zonální aplikaci hnojiv do půdy je v suchých oblastech třeba upravit povrch půdy tak, aby voda ze srážek byla nasměrována do kořenové zóny rostlin a do míst, kam byla aplikována hnojiva. Například při plečkování cukrovky nebo kukuřice je žádoucí vytvořit na povrchu půdy hrubou strukturu, která podporuje zadržení vody ze srážek v půdě a omezuje riziko vodní a větrné eroze. Na Obr. 142 je stav povrchu půdy po testování různých nástrojů pro plečkování cukrovky s hrubou strukturou na povrchu půdy a s modulací „hrůbků“ pod povrchem, které přivádí vodu ke kořenům rostlin a k aplikovaným hnojivům. Většina dosud používaných pleček má nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a často zvyšuje ztráty půdy vodní a větrnou erozí (Obr. 143). Na Obr. 144 je zachyceno zadržení vody ze srážek po důlkování meziřádku při plečkování kukuřice v 6. listu. Také při pěstování brambor mají na výnosy hlíz nepříznivý vliv stále častější přísušky (např. 2015, 2018). K lepšímu zadržení vody ze srážek i závlahy a k omezení vodní eroze na svažitéch pozemcích přispívá úprava tvaru hrůbků a brázd důlkováním a hrázkováním (Obr. 145).



Obr. 142 Plečkování cukrovky s tvorbou hrubé povrchové struktury půdy



Obr. 143 Plečkování kukuřice při proschnutí půdy konvenční plečkou



Obr. 144 Zadržení vody ze srážek v důlcích vytvořených při plečkování



Obr. 145 Důlkování na povrchu hrůbků a v nekolejových brázdách u brambor

Setí směsí odrůd a druhů polních plodin (intercropping)

Intercropping je pěstování dvou a více plodin/odrůd na stejném pozemku a ve stejnou dobu. Tato praxe je známa zejména z oblastí tropů a subtropů, kde využití kultivace více plodin na jednom pozemku zajišťuje vyšší zisk a výnosovou stabilitu v porovnání s monokulturním pěstováním. V posledních letech se tyto postupy při zakládání porostů polních plodin začínají prosazovat také v EU a ČR. Přitom se na jeden pozemek vysévají různé plodiny/odrůdy metodou row-by-row (střídání řádků), strips (několik řádků – 2–5 řádků jedné plodiny/odrůdy se střídá s 2–5 řádky druhé plodiny (odrůdy) nebo ve směsi (směs plodin/odrůd) má řadu pozitivních efektů. Dosahuje většinou stabilnějšího výnosu potenciálně lepším využitím zdrojů světla, živin a vody a jiných vlastností vyplývajících ze zvýšené agrobiodiverzity. Dalšími přínosy jsou zlepšení kvality produkce, redukce výskytu chorob a škůdců, vyšší odolnost poléhání, zvýšení konkurenceschopnosti porostu vůči plevelům, zlepšení struktury porostu, zvýšení biodiversity organismů apod. Tato technologie má značný potenciál v ekologickém zemědělství a v systémech low-input, uplatňovaných v oblastech ohrožených suchem.

V ČR byly vyvinuty a uvedeny na trh sečí stroje, které dokáží paralelně do lichých a sudých řádků sít 2 vzájemně se doplňující odrůdy nebo 2 druhy zemědělských plodin s různými výsevků a různou hloubkou uložení osiva, což přispívá mimo jiné ke stabilizaci výnosů a kvality produkce v suchých oblastech (Obr. 146 a Obr. 147). Pěstování méně výnosných odrůd s vyšší tolerancí k suchu (např. některé osinaté odrůdy) v kombinaci s výnosnějšími odrůdami se střední tolerancí snižuje rozdíly ve výnosech a kvalitě produkce v jednotlivých letech. Při nejistotě srážek a setí do proschlé půdy s horší strukturou je možné zvolit různou hloubku setí sudými a lichými botkami. Paralelní setí dvou různých výsevků umožňuje při snížení nákladů na osivo optimalizovat strukturu porostů a omezit riziko při zakládání porostu s nízkým výsevkiem (např. u hybridních odrůd ozimé pšenice, Obr. 148).



Obr. 146 Směs výnosné odrůdy Tobak s osinatou odrůdou Annie s vysokou kvalitou zrna



Obr. 147 Porost ozimé řepky zasetý ve směsi s jetelem alexandrijským



Obr. 148 Setí různých výsevků hybridních odrůd ozimé pšenice ob řádek

Inovované postupy při zakládání porostů polních plodin (shrnutí)

- Pásové zpracování půdy omezuje vodní erozi na svažitých půdách, snižuje ztráty vody výparem, omezuje emise CO₂, zlepšuje bilanci organických látek v půdě.
- Setí do hrubé brázdy po orbě se zpracováním úzkého pásu a seťového lůžka zlepšuje zadržení vody ze srážek a vláhový režim v půdě a omezuje vodní erozi.
- Zakládání porostů širokořádkových plodin půdoochrannými technologiemi s úpravou povrchu půdy včetně důlkování a hrázkování zlepšuje zadržení vody ze srážek v půdě, omezuje vodní a větrnou erozi a stabilizuje výnosy pěstovaných plodin.
- Plečkování cukrovky a kukuřice s vytvořením hrubé struktury nebo důlků a hrázek na povrchu půdy a akumulčních prostorů pro zadržení vody v půdním profilu zlepšuje zadržení srážkové vody v půdě, omezuje vodní a větrnou erozi, přivádí vodu ke kořenům rostlin a do míst s podpovrchovou aplikací hnojiv, zvyšuje využití živin z hnojiv rostlinami.

- Pěstování směsí odrůd a druhů polních plodin (intercropping) zvyšuje stabilitu výnosů a kvality produkce, redukuje výskyt chorob a škůdců, zlepšuje strukturu porostů a jejich konkurenceschopnost vůči plevelům.

Literatura:

- Brant, V. a kol. (2016): Pásové zpracování půdy (strip tillage) Klasické, intenzivní a modifikované. Profi Press, Praha, 135 s.
- Hůla, J., Procházková, B., eds. (2008): Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha, 248 s.
- Kahiluoto, H et al., Decline in climate resilience of European wheat, PNAS January 2, 2019116 (1) 123-128, 2018 <https://doi.org/10.1073/pnas.1804387115>
- Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 48 s.
- Sprague, G. B., Triplett, M.A., eds. (1986): No-tillage and surface-tillage agriculture. John Wiley and Sons, Canada, 467 s.
- Vaněk, V. a kol. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, 568 s.

6. 4. Analýza závlahového potenciálu

V příštích letech se předpokládá v důsledku změny klimatu větší rozšíření kapkových závlah při pěstování ovoce, zeleniny a brambor. Jiné typy závlah, zvláště postřikového charakteru, stejně jako závlahy jiných plodin, vzhledem k jejich náročnosti na vodu, nebudou z důvodu dostupnosti vody v době její největší potřeby možné. Obecně platí, že vzhledem ke značné investiční, technologické a organizační náročnosti závlah by se mělo k jejich realizaci u polních plodin přistupovat až po vyčerpání všech agrotechnických opatření, která zlepšují hospodaření s vodou v půdě a její efektivní využití rostlinami. Také při realizaci závlah je třeba udržovat půdu v dobrém strukturním stavu, aby zadržela co nejvíce vody ze srážek a doplňkovou závlahu využívat při absenci srážek a nízké vlhkosti půdy.

K výstavbě závlahových staveb na našem území došlo až ve druhé polovině minulého století a jejím prostředním impulzem byl suchý rok 1947 s mimořádně závažnými ekonomickými i politickými důsledky. Závlahy byly vybudovány především v oblastech s největším deficitem vodních srážek. Celková současná výměra vybudovaných závlah v ČR je cca 155 tis. ha zemědělské půdy, tj. 3,7 % zemědělské půdy, z toho

v Čechách 81 tis. ha (53 %) – oblast Mělnická, Litoměřická a Žatecká; na Moravě 74 tis. ha (47 %) – oblast Znojemská, Břeclavská, Brněnská, Hodonínská. Výstavba závlah byla ukončena v 90. letech minulého století a v posledních letech byly vybudovány závlahy asi na 4 tis. ha (zejména kapkové závlahy u chmele, sadů, vinic, zelenin a brambor). Většina závlah (cca 127 tis. ha) byla v roce 1997 a 1998 privatizována. V současné době je využití privatizovaných závlah nízké (asi 25 až 30 % plochy), některé se neprovozují vůbec.

6. 4. 1. Dostupnost vodních zdrojů pro závlahy

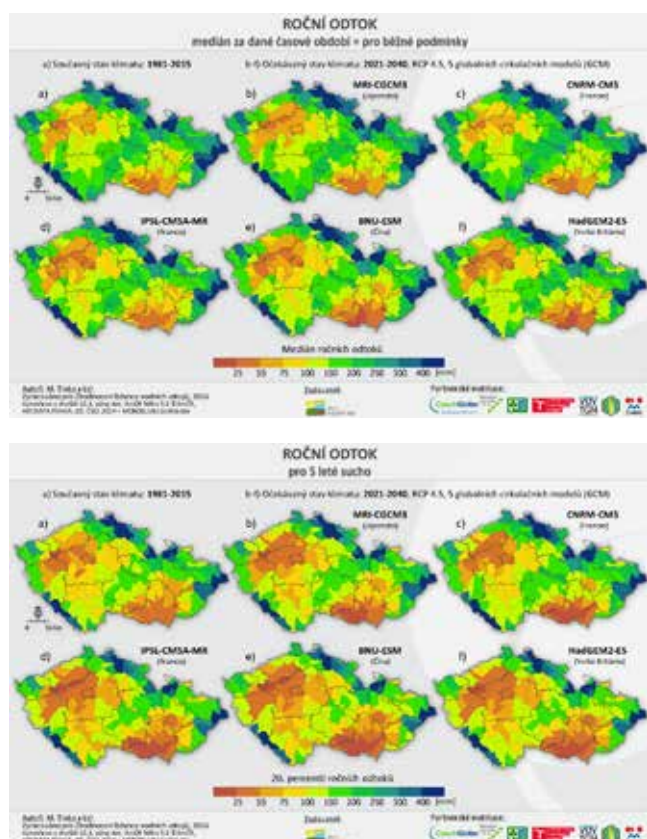
Již v současné době je v některých oblastech ČR nedostatek vodních zdrojů pro závlahy a při zohlednění předpokládaných klimatických změn se bude toto území v příštích letech postupně zvětšovat. Jak je zřejmé z Obr. 149 není možné závlahovou potřebu v mezipovodích v oblasti jižní Moravy, severozápadu Čech a v Polabí uspokojit ani v běžném roce ze zdrojů z těchto mezipovodí samotných. Dostupnost zdrojů pak zásadně klesá v případě 5letého sucha. Změna klimatu se projevuje u většiny scénářů poměrně výrazným poklesem ročních odtoků zejména v oblasti jižní Moravy a mezi Krušnými horami a Vltavou. Současně dochází ke snižování dostupné vody i v povodích ve vyšších polohách, což odpovídá celkovému poklesu vodních zdrojů.

S měnícím se klimatem lze očekávat výrazné snížení poměru povrchového odtoku a srážek a to v průměru o 10 %. Počet povodí v kategorii s extrémně nízkým povrchovým odtokem (do 10 %) se prakticky zdvojnásobuje a dochází k výraznému snižování odtokového součinitele i ve středních polohách (např. Českomoravská vrchovina). Uvážíme-li s jakými problémy, pokud jde o dostupnost vodních zdrojů, se potýká již v současné době oblast Rakovnicka, je zřejmé, že velmi pravděpodobně rozšíření oblastí s nízkým podílem povrchového odtoku bude znamenat dost významný zásah do hydrologických poměrů na vodních tocích.

Disponibilní zdroje vody sice v normální a zčásti i suchém roce teoreticky mnohonásobně převyšují aktuální závlahové potřeby, avšak podle většiny scénářů vývoje klimatu tento „přebytek“ bude výrazně redukován. Například v současné době teoreticky dostupné (avšak technicky nevyužitelné) množství vody v případě tzv. desetiletého sucha v povodí Dyje přesahuje 10x potenciální potřebu vybudovaných závlahových soustav. Tento „převis“ se ale v období 2021–2040 sníží podle většiny modelů na polovinu tj. 5 násobek. Tento „přebytek“ je ale pouze teoretický a je současnou vodohospodářskou soustavou nevyužitelný, protože ho neumíme zachytit. Proto je nutné zvážit, kde a o kolik mají být závlahy rozšířeny, což musí provázet vybudování další vodohospodářské infrastruktury (k akumulaci vody, k převodům vody z jiných povodí) a současně je nezbytné se zaměřit na zadržení vody přímo na zemědělských pozemcích.

6. 4. 2. Pěstování polních plodin pod závlahou

V úrodných a přitom nejsušších oblastech České republiky je vybudováno okolo 155 tis. ha závlah. Většina závlah je na orné půdě (90 %) a jen přibližně 5 % v ovocných sadech, vinicích a chmelnicích, kde v posledních letech dochází k nárůstu zejména kapkové závlahy. V současné době je nejvíce rozšířena závlaha postřikem, při které však dochází ke značným ztrátám vody. Závlahy jsou nejvíce používány při pěstování zeleniny a raných brambor. Ze zeleniny jsou nejvíce zavlažovány košťáloviny, cibule a mrkev. Řešením do budoucna i z hlediska klesajících zdrojů vody je kapková závlaha, která je zatím u brambor a běžné zeleniny vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům používána v malé míře.



Obr. 149 Roční odtok z mezipovodí v mm na m² za období leden–prosinec pro běžný rok a 5 leté sucho pro klimatické podmínky 1981–2015 a očekávané v období 2021–2040 pro 5 GCM modelů

Mezi pěstovanými plodinami jsou velké rozdíly v náročnosti na množství závlahové vody. Relativně nižší požadavky má pěstování zeleniny, naopak velké nároky představují ovocné sady, kde potřeba vzrůstá při pěstování krycích plodin v meziřadí a při používání závlahy k ochraně proti mrazům v jarním období. Z ovocných dřevin mají

největší potřebu vody závlahy jabloně, hrušně a broskvoň, ze zelenin celer a květák.

6. 4. 3. Agronomická a agrotechnická rizika při závlaze pěstovaných plodin

Kromě příznivého vlivu na růst rostlin při nedostatku srážek mohou mít závlahy také nepříznivý vliv na fyzikální a chemický stav půdy, ztráty živin z půdní zásoby a aplikovaných hnojiv, znečišťování povrchových a podzemních vod, nárůst emisí skleníkových plynů, napadení rostlin houbovými chorobami a další. Zavlažovaná půda je také zranitelnější k tvorbě povrchové krusty a k utužení při přejezdu těžké techniky.

Neproduktivní ztráty vody průsakem z kořenové zóny plodin v případě překročení zdůvodněné potřeby porostu a vodní kapacity půdy přímo odpovídají riziku vyplavení živin, především nitrátů. K největšímu vyplavení živin a tím i riziku znečištění vod nitráty dochází v níže položených místech, kde se hromadí voda ze srážek a závlahy (Obr. 150). Přitom na dně brázd mezi hrůbky odkud následně stékala voda do níže položených míst, jsme zjistili po plošném přihnojení mrkve granulovaným hnojivem LAV (ledek amonný s vápencem) více než polovinu z aplikované dávky (Obr. 151). Jen malá část hnojiva zůstala na povrchu hrůbku v okolí rostlin.



Obr. 150 Stékání vody do níže položených míst

Kvalita půdy a obsah organické hmoty

Na zavlažovaných půdách dochází často i přes organické hnojení k postupnému snižování obsahu organických látek v půdě a zároveň i poměru C : N. Hlavní příčinou je nízká návratnost organických látek do půdy a intenzivní kypření půdy, které podporuje jejich rozklad. Také jsou používána nevhodná organická a statková hnojiva s úzkým poměrem C : N, která podporují mineralizační procesy v půdě. Níz-

ký obsah organických látek v půdě má negativní vliv na hospodaření s vodou v půdě, urychluje vyplavování mobilních živin z půdy, zhoršuje půdní strukturu, snižuje infiltraci závlahové a srážkové vody do půdy a zpomaluje rozklad pesticidů.



Obr. 151 Granule v brázdě po plošné aplikaci LAV

V případě intenzivního zpracování půdy (např. stroji s aktivními nástroji – rotační a vibrační brány, půdní frézy, rotavátory apod.) je potřeba navrácení organické hmoty do půdy úměrně zvýšit. Tato potřeba roste i při pěstování více plodin v průběhu roku po sobě (např. rané brambory a zelenina), s opakovanou kultivací půdy. Pak je třeba do půdy vracet ročně až 3 t organických látek /ha (Klír a kol., 2018).

V odebraných vzorcích půd pod závlahou (více než 20) v zájmové oblasti Káraný (Brandýs nad Labem) jsme zjistili obsah C_{org} v ornici od 0,4 % do 1,3 % a poměr C : N od 3 : 1 do 8 : 1. Nejnižší hodnoty byly zjištěny na půdách s vyšším obsahem písku, kde byly již více let pěstovány brambory a zelenina pod závlahou. Na těchto pozemcích byly většinou pěstovány 2 plodiny v roce s intenzivním kypřením půdy včetně frézování hrůbků, používáním vysokých dávek dusíkatých hnojiv a hnojením organickými hnojivy s nízkým poměrem C : N (např. méně stabilní komposty, Organic apod.).

Hnojení minerálními hnojivy a vyplavování živin na zavlažovaných půdách

Plošná aplikace vyšších dávek minerálních hnojiv na povrch půdy může mít nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a v případě dusíkatých hnojiv může i podpořit rozklad organických látek v půdě. Při stanovení dávek dusíkatých hnojiv není na zavlažovaných půdách v širší míře používána metoda N_{min} , která koriguje dávky dusíku na základě obsahu minerálního dusíku v půdě. Bez používání této metody dochází ke zbytečným ztrátám dusíku vyplavením nitrátů, které pak mohou znečistit povrchové a podzemní vody.

Také aplikace minerálních hnojiv s některými jednomocnými kationty (K^+ , Na^+ , NH_4^+) na povrch půdy může způsobovat destrukci (rozplavení) agregátů *Vaněk a kol.* (2012). Na Obr. 152 je půda, jejíž povrchová struktura není vhodná pro plošné přihnojení minerálními hnojivy, po kterém může docházet ke smyvu živin a dalšímu zhoršení struktury půdy. Příčinou rozplavování půdních agregátů na povrchu půdy a tím zhoršování její struktury a infiltrační schopnosti je také vyplavení bazických kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy. Tyto kationty mají významný vliv na stabilitu organických látek v půdě a půdní strukturu. Současně působí i na koagulaci koloidů a zabraňují rozplavení agregátů, což má na zavlažovaných půdách značný význam. Na Obr. 153 je zachycena vodní eroze po závlaze na půdě se špatnou povrchovou strukturou, nízkým obsahem C_{org} , vysokým obsahem K, nízkým obsahem Ca a Mg a nevhodným poměrem jednomocných a dvojmocných kationtů. Pro zlepšení půdní struktury je tedy vhodné hnojiva s obsahem jednomocných kationtů aplikovat lokálně do půdy před setím a sázením nebo při plečkování.

Kromě stanovení N_{min} v půdě je nutné na zavlažovaných půdách věnovat větší pozornost diagnostice ostatních živin v půdě (optimálně s využitím metody KVK-UF, Matula 2007), včetně stanovení poměru jednomocných a dvojmocných kationtů (K : Mg : Ca). Stanovení reálné hodnoty KVK půdy pozemku je důležité, neboť je výchozím krokem agronomické interpretace půdního testu k odvození racionální potřeby hnojení. Na základě zjištěných hodnot KVK a poměru kationtů je třeba optimalizovat aplikaci hnojiv s obsahem kationtů K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} i vápnění. Při analýzách půd odebraných v oblasti Káraný byl zjištěn extrémně nevhodný poměr mezi živinami, a to zejména v důsledku nízkého obsahu vápníku. Obsah Ca ve vodním výluhu v poměru ke zjištěným hodnotám draslíku byl u všech půd zhruba 8–10x nižší, než by bylo třeba pro zajištění dobré struktury půdy a pro koagulaci koloidů, které udržují půdní agregáty pohromadě. Relativní nadbytek draslíku vzhledem k celkovému nepoměru mezi K a Ca tak napomáhá destrukci agregátů, čemuž přispívá zavlažování, které může mít významný vliv na vyplavení vápníku. Optimální poměr K : Mg : Ca v půdě má být v ekvivalentním vyjádření 1 : 3 : 13,5–15 nebo alespoň 1 : 2 : 9,5–10. Na zavlažovaných půdách s vodní erózí byly tyto poměry např. 1 : 1 : 2,3 nebo 1 : 1,6 : 2,9 t.



Obr. 152 Půda ve stavu nevhodném pro plošnou povrchovou aplikaci hnojiv



Obr. 153 Vodní eroze po závlaze ředkvičky na půdě se špatnou povrchovou strukturou

Agronomická a agrotechnická opatření při používání závlah – shrnutí

- Na zavlažovaných půdách dochází k vyplavení dvojmocných kationů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy, které mají významný vliv na stabilitu organických látek v půdě a půdní strukturu. Při jejich nedostatku dochází k rozplavení agregátů a zhoršení infiltrace vody do půdy.
- Na zavlažovaných půdách se postupně snižuje i přes organické hnojení obsah organických látek v půdě a zároveň i poměr C : N. Často jsou používána nevhodná organická hnojiva s úzkým poměrem C : N, která podporují mineralizační procesy v půdě. Úbytek organických látek vede ke zhoršení půdní struktury a infiltrace závlahové a srážkové vody do půdy.
- Ke zhoršení povrchové struktury přispívá také aplikace minerálních hnojiv obsahujících jednomocné kationty (K^+ , NH_4^+ , Na^+) na povrch půdy.

- Dávky hnojiv, zejména dusíkatých, je třeba korigovat podle skutečného obsahu rostlinami využitelných živin v půdě (např. metoda N_{\min} , KVK-UF apod.).
- Pro udržení dobré půdní struktury se doporučuje pravidelné hnojení kvalitními organickými a statkovými hnojivy s širším poměrem C : N (20 : 1 a více), vápnění dolomitickým vápencem, podpovrchová lokální a zonální aplikace minerálních hnojiv s pozvolným uvolňováním živin do kořenové zóny rostlin, pěstování meziplodin apod.
- Doporučuje se zařazování meziplodin, které mají nižší nároky na vodu a jsou schopné odebrat z půdy nevyužitý dusík po zeleninách a raných bramborách a po zapravení do půdy zlepši bilanci organických látek (např. čirok, bér apod.).

Literatura:

- Klír, J., Haberle, J., Růžek, P., Šimon, T., Svoboda, P. (2018): Postupy pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 44 s.
- Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 48 s.
- Vaněk, V. a kol. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, 568 s.

6. 5. Strategická opatření v rámci sektoru

Dílčí adaptační opatření pro zemědělský sektor, která mají za cíl snižovat dopady zemědělského sucha na produkci a omezovat tak ekonomické ztráty, pocházejí z nejrůznějších odborných kruhů od hydrologů, pedologů, přes odborníky na šlechtění až po agronomy. Většina opatření má své důležité místo v adaptaci (omezení důsledků) a do značné míry i mitigaci (omezení příčin – předcházení) zemědělského sucha, avšak pokud jsou používány samostatně bez promyšlené strategie, jsou jejich dopady spíše omezené, vynaložené náklady jsou málo efektivní, a v některých případech mohou situaci dokonce zhoršovat. Klíčem k úspěchu adaptačních a mitigačních strategií je skutečnost, že musí vycházet zdola – ze zemědělské praxe, tedy že zemědělci musí přijmout jejich uplatnění, chápat někdy značně dlouhodobé procesy vedoucí ke zlepšení a také akceptovat případné negativní důsledky těchto opatření. Nicméně utváření strategií, jejich podpora a nezbytný poradenský systém, který pomáhá jejich efektivnímu uplatňování, musí být vytvářen shora, tedy na základě politik států, případně Evropské unie. Každá takto shora vytvářená strategie musí ovšem začínat u vzdělávání zemědělců a demonstrace efektů, čili musí

být zemědělci plně pochopena a akceptována, jinak je předem určena k neúspěchu. Druhým klíčovým prvkem, které podmiňují úspěšnost strategie, je její komplexnost neboli využívání celé řady opatření propojených do systému (někdy také označované jako integrovaný přístup), jehož účinek je pak často mnohem vyšší než prostý součet jednotlivých opatření.

Způsob podpory uplatnění adaptační strategie v sektoru zemědělství

Zachycení a udržení vody v krajině je existenčně významné pro zemědělce, protože bez vody nejsou schopni produkovat hlavní předmět své činnosti, tedy zemědělské produkty a potraviny. Voda v krajině má ale rozhodující význam také pro plnění celé řady mimoprodukčních ekosystémových funkcí, zejména pak funkce chladicí a rekreační, nedostatek vody však může ovlivnit také biodiverzitu v krajině. Nedostatek vody v krajině pak také zhoršuje potravinovou bezpečnost, zvyšuje závislost na dovozu a výkyvy v produkci. Podpora opatření k zadržení vody v krajině proto má z pohledu státu několik úrovní, nejedná se o podporu jednoho sektoru, ale má širší celospolečenský význam. Proto bude podpora státu v oblasti opatření k zadržení vody v krajině nabývat na významu. Jak již bylo ale řečeno výše, musí mít dva stupně tak, aby byla zajištěna maximální účinnost zaváděných opatření.

V prvním stupni se jedná o podporu vzdělávání zemědělců, demonstrace funkcí či poradenský servis při zavádění nových poznatků. Cílem je především přesvědčit zemědělce o užitečnosti opatření nejen pro ně samotné ale také pro celou společnost a naučit je, jak opatření provádět správně, tak aby se nestaly neefektivní podporou standardní zemědělské výroby. Hlavním prostředkem by zde měly být demonstrační farmy, které za přispění odborníků budou představovat zemědělcům, jak opatření fungují, jak je nutné je spojit do ucelené strategie, jaká pravidla dodržovat a jakých chyb se vyvarovat. Souběžně s demonstracemi opatření v reálných podmínkách hospodaření musí být zemědělcům k dispozici kvalifikovaný poradenský servis, který umožní přizpůsobit zavedení opatření pro dané konkrétní podmínky.

Teprve až je vytvořen dostatečně funkční systém demonstračních farem a poradenské služby je možné přistoupit k přímé podpoře uplatnění adaptační strategie. Ta může mít dvě úrovně. První je podpora investic do nových technologií, jako jsou např. secí stroje pro přímé setí do mulče, nebo budování malých vodních nádrží. Podpora investic by měla usnadnit a urychlit přechod hospodaření. Druhá úroveň pak představuje podporu vlastního uplatnění ucelené adaptační strategie. Zde je velmi důležité, aby byl podporován systém jako celek a ne jen samostatná opatření a při dodržení všech klíčových podmínek.

Jak utvářet vhodnou strategii

Každá správná strategie by měla začínat pochopením a omezením příčin problému, a následovat by měla kombinace opatření zmírňujících dopady problému. Přestože se jedná o poměrně zásadní otázku, problematika mitigace změny klimatu, tedy snižování emisí skleníkových plynů a možných strategických opatření je rozsáhlá a mimo rámec zaměření této knihy. Nicméně zemědělství může pro mitigaci změny klimatu udělat velmi mnoho. Současně také není vhodné striktně oddělovat snižování emisí skleníkových plynů, ukládání uhlíku do půdy a adaptace vůči suchu, protože velmi často se jedná o spojitě nádoby a opatření, která vedou k zachycení vody v krajině, mají také pozitivní mitigační účinek.

Pokud se zaměříme v adaptační strategii na vodu, její dostupnost pro rostlinnou produkci a omezení negativních dopadů, tak musíme začít zachycením vody v půdě. Teprve až uděláme maximum pro infiltraci vody do půdy, která pak zvyšuje zásobu vody v půdě a dotuje zásoby podzemní vody, mohou nastupovat opatření pro zachycení vody v krajině či regionu s navazujícími technickými řešeními jak tuto vodu zpětně využít v zemědělství. Technická řešení pro zachycení vody v krajině ovšem vyžadují, aby nejprve byla velká část vody zachycena v půdě a postupně pak rovnoměrně krajina dodávala vodu do vybudovaných nádrží. Pokud se bude dále zvyšovat nerovnoměrnost distribuce srážek se střídáním dlouhých období sucha s velmi intenzivními srážkami, budou schopny tyto nádrže i při jejich intenzivní výstavbě schopny zachytit jen velmi malé množství vody, které spadlo v těchto velmi intenzivních srážkách. Jestliže jsme adaptačními opatřeními, která zlepšují infiltraci a retenční schopnost půdy schopni zachytit v půdě více vody, které odpovídá 5 % objemu půdy, což jsou hodnoty sice ambiciózní, ale dle řady literárních zdrojů zaměřujících se adaptační opatření hodnoty dosažitelné, znamenalo by to při hloubce půdy 30 cm vybudovat kapacitu zachycení odtékající vody o objemu 150 m³ na každý hektar zemědělské půdy. Na každých 10 ha bychom tedy museli vybudovat nádrž o velikosti 50 x 30 m (při průměrné hloubce 1 m). To je samozřejmě jak technicky, tak i ekonomicky nereálné, což nijak nesnižuje význam těchto opatření v celé adaptační strategii, pokud navazuje na účinná opatření zajišťující zvýšení infiltrace a zadržení vody v půdě, a to přesto že potenciál zvýšení infiltrace a retence se bude lišit v závislosti na půdních a klimatických podmínkách.

Zvýšení infiltrace a zachycení vody v půdě

Klíčovými problémy z pohledu nízké infiltrace vody do půdy jsou vedle nerovnoměrné distribuce srážek (přivalové srážky), především dlouhé ponechání půdy bez pokryvu a také postupné zhoršování fyzikálních a chemických vlastností půd (snižovaná stabilita agregátů, nižší obsah organické hmoty, utužení). Vysoká energie srážek způsobuje

buje u půd s nízkou stabilitou agregátů velmi rychlé rozplavení povrchové vrstvičky půdy a vytvoření krusty, která je jen obtížně propustná pro vodu. Základem opatření směřujících ke zvýšení infiltrace proto musí být co nejdelší rostlinný pokryv a ponechání mulče rostlinných zbytků na povrchu půdy. Rostlinný pokryv chrání půdu před negativním vlivem vysoké energie srážek a rozplavování agregátů na povrchu půdy se tudíž minimalizuje. Problém ale je, že současné technologie ponechávají zpracovanou půdu bez rostlinného pokryvu nebo s omezeným pokryvem (počátek vývoje plodin) někdy i více jak půl roku. Řešením je setí druhově pestrých meziplodin, které plní několik funkcí. Tou nejdůležitější je ochrana půdy před rozplavováním, zvýšení infiltrace, omezení eroze (vodní i větrné) a snížení prašnosti v době sucha. Druhou funkcí je, že rostliny ponechávají velké množství nadzemních organických zbytků, které v kombinaci s bezorebnými technologiemi setí do mulče chrání půdu zejména pro období před setím plodin až po zapojení porostu. Dostatečný pokryv povrchu půdy mulčem rostlinných zbytků, snižuje povrchový odtok zejména na svažitéch pozemcích o více jak 50 % a ještě výrazněji snižuje odnos půdy erozí (Adekalu et al. 2007; Alliaume et al. 2014). Porost meziplodin snižuje rychlost povrchového odtoku vody, která je klíčová pro erozní působení povrchového odtoku přičemž platí, že při každém zvýšení rychlosti odtoku dvojnásobně se zvyšuje odnos půdních částic a živin 64x (Walker et al. 2009). V neposlední řadě tyto meziplodiny, pokud jsou vhodně strukturovány, mohou fixovat vzdušný dusík (vikvovité druhy) pro následující plodiny, zvyšovat obsah uhlíku v půdě zanechanými zbytky kořenu v půdě, zlepšovat strukturu půdy a mikrobiální aktivitu. Tyto poslední funkce pak v důsledku mohou přispívat ke zvyšování retenční schopnosti půdy pro vodu. Jak uvádí Hoorman (2006), každý kilogram organické hmoty v půdě umožňuje zadržovat 18–20 kg vody. Zvýšení obsahu organické hmoty je tedy jak přímým tak i nepřímým vlivem (prostřednictvím struktury, stability agregátů a fyzikálních vlastností půdy) schopno zásadně zvyšovat retenční schopnost půdy pro vodu. Pěstování meziplodin a přímé zakládání porostů plodin do mulče meziplodiny jsou dvě části jedné strategie pro zlepšení infiltrace, které samostatně nefungují nebo fungují jen velmi omezeně. Intenzivním zpracováním půdy po meziplodině odstraníme efekt mulče na povrchu půdy, urychlíme rozklad organické hmoty a zhoršíme strukturu půdy, která se snadněji rozplavuje. Naproti tomu použití bezorebných technologií bez meziplodin vede k vytvoření kvalitního mulče na povrchu půdy až po několika letech (často více než 10 let) a dopad na obsah organické hmoty v půdě je ještě pomalejší. Současně ale může zmíněná adaptační strategie znamenat dočasný nárůst problémů s vyšším tlakem chorob, škůdců, hlodavců či některých druhů plevelů. Při návrzích podpory intervencí by mělo být počítáno také s kompenzací případných ztrát, ke kterým může docházet při přechodu na adaptační technologie, včetně podpory nezbytného poradenství, které by případné ztráty omezilo či zcela eliminovalo.

Při plánování části strategie zaměřené na meziplodiny je nutné zdůraznit několik důležitých pravidel, která by měla být zohledněna v rámci dotačních nástrojů pro podporu pěstování meziplodin:

- Založení porostů meziplodin probíhá nejčastěji v letním období, kdy založení může být ovlivněno nedostatkem vláhy. K největším ztrátám vody z půdy výparem dochází v několika dnech po sklizni, protože sklizní plodiny se odstraňuje zastínění a zvyšuje se teplota povrchu půdy. V suchých podmínkách je proto důležité zakládat porost optimálně do 24 hodin po sklizni, při sklizni ponechávat vyšší strniště a posklizňové zbytky, které částečně chrání půdu před zahříváním. Je třeba tedy počítat zvláště za sucha s nedokonalým založením a zapojením porostu a to jak ze strany zemědělce, tak ze strany posuzujících orgánů.
- Porosty meziplodin by měly být druhově pestré tak, aby zahrnovaly fixátory dusíku (vikvovité druhy), hluboce i mělce kořenící druhy, druhy s rychlým vývojem (zajišťující rychlý pokryv půdy), druhy s pomalejším rozkladem organické hmoty (vyšší stupeň lignifikace zajišťující dlouhodobý mulč organických zbytků na povrchu půdy) apod.
- Meziplodiny i následné plodiny by měly být zakládány bezorebně do mulče, protože zpracováním půdy se jednak zvyšuje náchylnost půdy k rozplavování, odstraňuje se efekt povrchového mulče a snižuje se infiltrační schopnost půdy. Zpracováním půdy může dojít také k vysušení svrchní vrstvy půdy a vzházení meziplodiny či následné plodiny je zhoršeno.
- V podmínkách půd, které mají obecně nižší schopnost retence (písčité s nízkým obsahem organické hmoty) mohou meziplodiny snížit celkovou zásobu vody v půdě, kterou spotřebují pro svůj růst (transpirace), zejména pak v hlubších vrstvách půdy. Obvykle se ale díky zastínění a lepší infiltraci zvyšuje vlhkost ve svrchní vrstvě půdy, což naopak zlepšuje zakládání porostu následné plodiny. Problém po pěstování meziplodiny může nastat většinou až na jaře, pokud při suchém průběhu zimy nedochází k doplnění zásoby vody v půdě.

V případě, že není možné zakládání porostů bezorebně a do mulče meziplodiny (například u brambor), je možné využívat další opatření zvyšující infiltraci a retenční schopnost půdy. V naprosté většině případů je ovšem efekt výrazně nižší než u pěstování meziplodin a přímého setí do mulče. Jedná se například o orbu po vrstevnici, důlkování, zpracování půdy v pásčích (strip-till) apod. Důležitým opatřením je také zmenšení velikosti pozemků, přerušení délky spádnice travnatými pásy, pásovým pěstováním více plodin (strip cropping). Všechna tato opatření vedou ke zpomalení povrchového odtoku a snížení eroze, nicméně pro zachycení vody v půdě mají význam spíše menší.

Podpora šlechtění a introdukce nových druhů plodin

Přestože podpora šlechtění nových odrůd odolných vůči suchu patří k neefektivnějším opatřením, a řada zemí velmi intenzivně investuje do infrastruktury zaměřené na tento směr šlechtění, u nás šlechtění na znaky spojené se zvýšenou odolností k suchu spíše stagnuje. Důvodů je několik. Především byla obecně podpora šlechtění u nás omezena, čímž ztratil stát možnost formulovat potřebné budoucí směry šlechtění. Druhým důvodem je, že šlechtění na odolnost k suchu je velmi náročné. Jedná se o znaky, které jsou obvykle kvantitativní s nízkou dědivostí, a v některých případech jsou provázány negativními znaky jako je snížený výnos, snížená kvalita, nebo snížená odolnost k chorobám. V neposlední řadě pak šlechtění na odolnost k suchu vyžaduje investice do infrastruktury pro automatické fenotypování (automatické vyhodnocení fenotypových znaků genotypů s využitím různých typů senzorů) a zejména pak fenotypování kořenů, což je nejdůležitější a současně nejnákladnější fenotypový znak. Vyhodnocení hloubky zakořenění a mohutnosti kořenového systému při šlechtění je zcela zásadní pro zlepšení příjmu vody rostlinami z hlubších vrstev půdy. Ačkoliv je možné částečně provádět fenotypování kořenů na specializovaných mezinárodních centrech, neobejdeme se zejména bez investování do systému fenotypování v polních podmínkách, které je nutné provádět primárně v podmínkách pro které je genotyp určen. Podobně je také nutná podpora šlechtění na další znaky, zejména pak na zpomalení senescence a osmotické přizpůsobení, které jsou obecně méně nákladné z pohledu investic, ovšem i tento směr šlechtění by měl být podpořen výzkumem.

Nicméně státu i zemědělcům zůstává doposud opomíjený systémový přístup k volbě optimální a dostatečně pružné (resilientní) kombinace odrůd pěstovaných plodin. Tento přístup by měl prokazatelně umožnit dosáhnout zvýšení odolnosti rostlinné výroby vůči následkům nepříznivého počasí a to s minimálními náklady a velmi rychle. Existující kapacity, erudice a struktura v oblasti MZe a to zejména s využitím informací ze systému odrůdového zkoušení, k tomu přímo vybízí.

Zavádění nových druhů jako je například čirok či bér ve velmi omezené míře již probíhá, současně ale bude nutný další vývoj v oblasti přizpůsobení těchto plodin našim podmínkám (například zvýšení tolerance k nízkým teplotám), úpravě agrotechniky a vývoji metod zpracování a využití v potravinářském průmyslu. Podpora by proto měla směřovat nejen do výzkumu, šlechtění, ale také do vývoje potravinářských technologií využívající produkci těchto nových plodin.

Podpora technických opatření k zadržení vody v krajině a závlahových systémů

I v případě zadržení vody pomocí vodních nádrží by mělo být postupováno tak, aby co nejvíce vody zůstalo co nejbližší místa, kde voda spadla ve formě dešťových srážek. Tato voda pak může sloužit k doplňování zásob podzemní vody, lépe ovlivňuje mikroklima v daném místě a v případě využití jako závlahová voda není nutný transport zpět na velké vzdálenosti. Jak již bylo řečeno, množství zachycené vody jak pomocí malých tak i velkých vodních nádrží bude vždy jen zlomkem potenciálu, který nám skýtá zachycení v půdě a zásobách podzemní vody. Bez podpory opatření zachycení vody v půdě je také funkce vodních nádrží značně problematická. Pokud nedochází k dostatečné infiltraci srážkové vody, povrchový odtok sebou odnáší velké množství ornice a tyto nádrže se pak velmi rychle zanášejí. Druhým častým problémem je, že pokud jsou vodní nádrže závislé pouze na povrchovém odtoku, v průběhu léta dochází k jejich rychlému vysychání a přestávají plnit své funkce. Proto musí být zvláště malé vodní nádrže dotovány především vodou, která se nejprve zachytí v půdě a pak podpovrchovým odtokem je postupně a s velkým časovým zpožděním akumulována v malých vodních nádržích. Současně je ale nutné poukázat na to, že klimatický vývoj bude vyžadovat, a v některých oblastech již vyžaduje posílení existujících zdrojů vody nebo opatření vedoucí ke snížení spotřeby vody.

Podpora budování a údržby závlahových systémů by měla vycházet z důsledného ekonomického posouzení investic, reálných propočtů dostupnosti závlahové vody v kritických obdobích a posouzení případných rizik spojených s intenzivním využíváním závlah (zhoršování půdní struktury, vyplavování živin, zasolení apod.). Reálné využívání závlah je proto spíše na omezené výměře plodin, které poskytují vysokou přidanou hodnotu jako je ovoce či zelenina.

Podobně jako v případě výše zmíněných technických opatření musí být pečlivě analyzovány přínosy i případná rizika při budování krajinných prvků jako jsou meze a remízky až po plošné zalesňování. Vzhledem k tomu že se jedná o dlouhodobá opatření, měla by být podpora poskytována pouze na základě důkladné analýzy přínosů i rizik a dlouhodobého plánování krajiny.

Podpora opatření pro řízení rizik

Pro zajištění stability tak strategického odvětví, jakým agrární sektor je, se jeví jako velmi významné přijímat opatření na řízení rizik a zvládání krizových situací pro případy výskytu rozsáhlých škod v případě kalamit či zásahu vyšší moci. Jedná se např. o podporu zemědělského pojištění, Rámcového programu pro řízení rizik a krizí v zemědělství (viz epizody sucha v posledních letech) apod. Pro efektivní alokaci prostředků je nutný důraz na využití

spolehlivých metod pro přesné prostorové vymezení nejvíce zasažených oblastí, kvantifikace dopadů a rychlost dostupnosti výsledků, které jsou podmínkou pro navazující kroky státní správy. Významnou roli zde sehrávají i systémy včasného varování, kam můžeme zařadit i výstupy portálu www.intersucho.cz či www.vynosy-plodin.cz, díky kterým mohou být přípravné kroky na zvládnutí krizových situací zahájeny co nejdříve.

Z dlouhodobého hlediska se pak dále jedná např. o podporu diverzifikace činností zemědělských subjektů, která může snížit zranitelnost v důsledku výskytu specifické situace agrometeorologického extrému v daném ročníku. Současně je otázkou podpora extenzifikace produkce v rámci méně vhodných lokalit či zranitelných částí pozemků ať již ve formě podpory ekologického způsobu hospodaření nebo zřizování biopásů apod.

Literatura:

- Adekalu, K. O., Olorunfemi, I. A., Osunbitan, J. A. (2007): Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology*, 98, 912–917.
- Alliaume, F., Rossing, W. A. H., Tittonell, P., Jorge, G., Dogliotti, S. (2014): Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 183, 127–137.
- Hoorman, J. J., Islam, R., Sundermeier, A., Reeder, R. (2009): Using cover crops to convert to no-till. *Crops Soils*, 42, 9-13.
- Walker, D., Baumgartner, D., Fritzsimmmons, K., Gerber, C.P. (2006): Surface water pollution. p. 279–311. In I.L. Pepper, C.P. Gerber, and M.L. Brusseau (eds.) *Environmental and pollution science*. Academic Press, New York

7. ZÁVĚR: SHRNUTÍ SOUČASNÉHO STAVU, VÝVOJE A MOŽNOSTÍ ADAPTACÍ

Na místo klasického závěru uvádíme materiál, o který byla požádána Akademie věd ČR našimi poslanci a senátory. I Ti se intenzivně zajímají o stav sucha v zemědělství a krajině a mimo jiné jsme pro ně zpracovali následující shrnující materiál, který v tomto případě uzavře naši monografii.

Když se řekne sucho

- meteorologické sucho – méně srážek, než je obvyklé za určité období (např. měsíc, rok, více let)
- zemědělské sucho – nedostatek vláhy v půdě pro optimální růst a vývoj rostlin
- hydrologické sucho – pokles průtoků řek a hladin vodních ploch
- socioekonomické sucho – dopady lze pozorovat v sociální oblasti (dostupnost vody pro občany) a vyčíslit v ekonomické sféře (např. pokles výnosů polních plodin, omezení průmyslu či lodní dopravy, náklady na rozvoz pitné vody apod.)

Výskyt zemědělského sucha

- Za posledních sedm let (2012–2018) se v ČR vyskytlo jedenáct výraznějších epizod zemědělského sucha s dopady na krajinu i hospodářství, především na zemědělství, ovocnářství a lesnictví.
- Z krajiny mizí voda: klesá hladina podzemních vod mělkých vrtů, průtoky v řekách, zásoby v přehradách, lokálně kolísá zásobování obyvatel pitnou vodou.
- Příčinou čím dál častějšího sucha je měnící se klima.
- Negativní dopady klimatických trendů zesiluje nevhodné hospodaření.
- Průměrná roční teplota na území ČR se za posledních 200 let zvýšila cca o 1,1 °C. Množství srážek je přitom i přes pokles v posledních letech dlouhodobě přibližně

stejně. Mění se však jejich variabilita – jsou intenzivnější a střídají je delší období bez srážek.

- Vyšší teplota s sebou přináší vyšší odpařování, mírnější zimy a dřívější začátky jara a léta, tj. delší vegetační období. Rostliny tak dříve vyčerpají vodu a hrozí sucho.
- ČR je pomyslnou „střechou Evropy“ – z pohledu vodních zdrojů je odkázána jen na srážky. Zcela výjimečně najdeme řeku, která k nám přitéká a vodu přivádí (např. Rakouská Dyje či Ohře z Německa), naopak naše řeky zásobují vodou území v sousedních státech.
- Trvalého zlepšení situace lze dosáhnout pouze razantními zásahy – tedy zodpovědnou klimatickou politikou: redukcí emisí, adaptací krajiny a jejím ozdravením.

Změna klimatu a globální změna

O změně klimatu hovoříme v případě trendové změny meteorologických prvků (např. zvýšení teploty vzduchu) za období řádově desítek let. Vzhledem k dopadům na krajinu a na kvalitu života lidí pak následně mluvíme o komplexnějším pojmu, tedy o globální změně.

Za změnou klimatu v naší epoše stojí výrazný zásah člověka do koloběhu uhlíku, který vede ke zvyšování koncentrace tzv. skleníkových plynů. Sucho je jedním z jeho nejvýznamnějších dopadů.

Četnost i intenzita epizod sucha budou pokračovat. Dle současného stavu poznání lze s velkou mírou pravděpodobnosti přepokládat pokračování změny klimatických podmínek. Teplota vzduchu se bude zvyšovat, vodní bilance se bude postupně zhoršovat na stále větším území a narůstat budou nejen epizody sucha, ale i jejich délka a rozloha zasažených území.

Vzhledem k tomu, že změna klimatu je globální problém, není v silách ČR ani při respektování veškerých dohod a závazků tuto změnu zvrátit. Jedna ze zásadních cest, jak se na ni adaptovat, vede přes krajinu.

www.klimatickazmena.cz

- portál znázorňuje očekávaný vývoj klimatu a krajiny do konce 21. století
- vrstvy zachycují vodní režim, zemědělství, lesnictví, krajinu, extrémní klima
- pro projekce je využito pět modelů vývoje klimatu a tři scénáře vývoje emisí
- součástí portálu jsou adaptační opatření pro zmírnění dopadů měnícího se klimatu a krajiny

Krajina ztrácí schopnost zadržovat vodu

Průběh a intenzita sucha může zmírnit kvalitní, strukturní a hluboká vrstva půdy. Tuto vrstvu však z velké části poznamenala silná eroze i nevhodné způsoby hospodaření. Česká krajina se kvůli scelování pozemků výrazně změnila a jsou pro ni typické velké půdní bloky.

Podle údajů Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy ohrožuje polovinu půd střední až silná eroze. Obdobně je kolem 45 % půd utuženo. Mezi příčiny patří

především vjezdy těžké techniky na vlhkou půdu, orba či kypření na stejnou hloubku, nedostatek organické hmoty, acidifikace půdy apod. Taková půda i kulturní krajina postupně ztrácí schopnost zadržovat vodu. Podstatným problémem je i rozsáhlý pronájem půdních ploch v Česku. Na třech čtvrtinách půdy hospodaří ti, kterým nepatří, a vlastníci pozemků často ani nevědí, kde přesně jejich pozemky leží a jak se na nich hospodaří. Pachtýři, často s krátkodobými pachtami, se jen těžko budou snažit realizovat organizačně i finančně náročná opatření k ochraně půdy a vody. Zvláště pokud podnikají s výhledem, že během roku či dvou se pozemek může prodat, směniti nebo že budou vypovězeni z nájmu bez ohledu na zvolený způsob hospodaření. Společnost však musí prosadit udržitelnost krajiny jako svůj prvořadý cíl.

Cesty k nápravě

Následující Tab. 5 přináší přehled nejzásadnějších opatření, která mohou vést k nápravě v oblasti zemědělského hospodaření na půdě. Každý bod má nicméně svoje ALE, tedy „zdůvodnění“, proč se dají obtížně realizovat. Náklady promítáme pro celé území ČR.

Tab. 5 Přehled adaptačních opatření na dopady klimatické změny v oblasti zemědělství

Zlepšující opatření	Vybrané argumenty, proč nejsou realizována	Doba, za kterou se projeví zlepšení	Náklady na straně státu
osevní postupy se zařazením zlepšujících plodin jako jsou např. pícevní a luskoviny	některé plodiny nelze prodat nebo produkovat se ziskem, neodpovídající klimatické podmínky	5–7 let	minimální
změny v organizaci bloků, jejich zmenšení, změna orientace a střídání různých plodin	slabá pozice pachtýře, komplikovaná administrativa v LPIS	2–3 roky	minimální
zodpovědný a poučený hospodář jako partner, který může volit vlastní cestu a odpovídá za výsledek svých zásahů, nikoli za přesné dodržení často nesplnitelných obecně platných postupů	neochota měnit „známé“ vzorce chování, složitá administrace, nutnost a často neochota na straně farmářů i kontrolních orgánů se vzdělávat a především absence důvěry mezi zemědělci a kontrolními orgány, volání po represii ze strany laické veřejnosti namísto hledání funkčního řešení	4–6 let	stovky milionů
podpora „no-till“ technologií (No-till technologie je způsob, jak pěstovat plodiny bez obdělávání: půda se před setím nezpracovává, seje se speciálním secím strojem. Tím lze zvýšit množství vody, která proniká do půdy, retence organických látek v půdě a koloběh živin, na povrchu půdy zůstává 80 až 100 % rostlinných zbytků.) v kombinaci s aplikací meziplodin k udržení vegetačního pokryvu	nutnost zakoupení příslušných strojů, nutnost aplikovat glyfosfát, náročnější na organizaci práce, málo tuzemských zkušeností, relativně drahá technika a malý výběr	4–6 let	jednotky miliard
zvýšená aplikace organické hmoty do půdy pro zlepšení zadržení vody na místě	nedostatečná produkce hnoje, problematická rentabilita živočišné výroby; příliš malý domácí trh pro objem produkce, který by bylo nutné uplatnit	3–4 roky	desítky miliard
zadržení vody v krajině v nádržích (zavlažovací nádrže, rybníky, mokřady)	legislativní, environmentální, sociální aspekty	ihned po vybudování	desítky miliard
závlahy	nedostatek vody v době sucha, věcná břemena na pozemcích	ihned po vybudování	stovky milionů
šlechtění na suchovzdornost	nejsou, probíhá	ihned po využití odrůd	jednotky milionů
protierozní opatření – meze, remízky, biopásy apod.	zmenšení bloků, potřeba vyčlenit plochy z komerčního využití, objížďení, šíření plevelů, vlastnictví půdy, údržba, legislativa, úroveň technologií	ihned po realizaci	desítky miliard

Seznam zkratk:

AWR	Relatively Water Availability (Relativní dostupnost vláhy)
BV	Bod vadnutí
CIMMYT	Mezinárodní centrum pro šlechtění pšenice a kukuřice
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo Sui Cambiamenti Climatici
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DC	Fenologické fáze vývoje dle decimální Zadoksovy stupnice
DPB	Díly půdních bloků
DWD	Deutscher Wetterdienst (Německá Povětrnostní Služba)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EEA	Evropská environmentální agentura
EHP	Environmental Health Perspectives
ENSO	El Niño–Southern Oscillation
ESI	Evaporative Stress Index (Evaporační stresový index)
ETO	Referenční evapotranspirace
Eta	Aktuální evapotranspirace
EU	Evropská unie
GCM	Globální cirkulační model
GEM	Global Environmental Multiscale Model (Globální environmentální víceúrovňový model)
GFS	Global Forecast System (Globální předpovědní systém)
HFC	Hydrofluorocarbons (Částečně fluorované uhlovodíky)
IFS	Integrated Forecasting System (Integrovaný předpovědní systém)
IPCC	Intergovernmental Panel On Climate Change (Mezivládní panel pro změnu klimatu)
JPÚ	Jednoduché pozemkové úpravy
JRC	Joint Research Centre
KoPÚ	Komplexní pozemkové úpravy
KPP	Komplexní průzkum půd
KVK	Kationtová výměnná kapacita
LPIS	Land Parcel Identification System – Systém evidence využití zemědělské půdy
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Spectroradiometer se středním rozlišením)
MZe	Ministerstvo zemědělství
NDMC	National Drought Mitigation Center (Národní středisko pro zmírnění sucha)
NDVI	Normalizovaný diferenční vegetační index
PFC	Perfluorocarbons (Zcela fluorované uhlovodíky)
PRV	Program rozvoje venkova
PSZ	Plán společných zařízení
PÚ	Pozemkové úpravy
PVK	Polní vodní kapacita
RCP	Radiation Concentration Pathway
RVK	Retenční vodní kapacita
RVK	Retenční vodní kapacita
SoilClim	Model vodní bilance
SPEI	Srážkový evapotranspirační index
SPÚ	Státní pozemkový úřad
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
VVK	Využitelná vodní kapacita
WMO	World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.





ISBN 978-80-88351-02-3

VYDALA:

Agrární komora České republiky

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: +420 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz, www.eagri.cz