

Zdeněk Žalud a kol.

# Aplikovaná agrometeorologie



**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**ÚSTAV AGROSYSTEMŮ A BIOKLIMATOLOGIE**

# **APLIKOVANÁ AGROMETEOROLOGIE**

**Zdeněk Žalud a kol.**

## Lektor

Dr. Ing. Martin Možný

## Autorský kolektiv

prof. Ing. Zdeněk Žalud<sup>1,2</sup>, Ph.D., Bc. Jan Balek<sup>1,2</sup>, Ing. Lenka Bartošová, Ph.D.<sup>1,2</sup>,  
Mgr. Monika Bláhová<sup>1,2</sup>, Ing. Petra Dížková, Ing. Milan Fischer, Ph.D.<sup>1,2</sup>, Ing. Lenka  
Hájková, Ph.D.<sup>3</sup>, Ing. Marcela Hlaváčová, doc. Ing. Petr Hlavinka, Ph.D.<sup>1,2</sup>,  
doc. Ing. Eva Hrudová, Ph.D.<sup>1</sup>, doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc.<sup>2</sup>, RNDr. Jan Juroch<sup>5</sup>,  
Ing. Karel Klem, Ph.D.<sup>1,2</sup>, Mgr. Lucie Kudláčková<sup>1,2</sup>, prof. RNDr. Zdeněk  
Laštůvka, CSc.<sup>1</sup>, prof. RNDr. Ing. Michal V. Marek, DrSc., dr. h.c.<sup>2</sup>, Ing. Matěj Orság,  
Ph.D.<sup>1,2</sup>, Ing. František Pavlík, Ph.D.<sup>6</sup>; Ing. Eva Pohanková, Ph.D.<sup>1,2</sup>, prof. Ing.  
Radovan Pokorný, Ph.D.<sup>1</sup>, RNDr. Ilja Tom Prášil, CSc.<sup>4</sup>, Ing. Pavel Růžek, CSc.<sup>4</sup>,  
Ing. Daniela Semerádová, Ph.D.<sup>1,2</sup>, doc. Ing. Vladimír Smutný, Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Eva  
Svobodová, Ph.D.<sup>1</sup>, Mgr. Petr Štěpánek, Ph.D.<sup>2,3</sup>, prof. Ing. Mgr. Miroslav  
Trnka, Ph.D.<sup>1,2</sup>, Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.<sup>2,3</sup>.

<sup>1</sup>Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

<sup>2</sup>Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

<sup>3</sup>Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 2050/17, 143 06  
Praha 412-Komořany

<sup>4</sup>Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Drnovská 507/73. 161 06 Praha 6

<sup>5</sup>Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Hroznová 63/2, 60300 Brno

<sup>6</sup>Státní pozemkový ústav, Husinecká 1024/11a 130 00 Praha 3

© Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

ISBN 978-80-7509-836-8 (online ; pdf)

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-836-8>



Open Access. This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercialNoDerivatives 4.0 \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) International License

## **OBSAH:**

1. Úvod .....	5
2. Produkční a mimoprodukční ekosystémové služby krajiny.....	7
3. Počasí a podnebí (a jeho změna) .....	12
3.1 Skleníkový efekt.....	16
3.2 Radiačně aktivní plyny .....	17
3.3 Vývoj klimatu v ČR.....	23
3.4 Klimatickazmena.cz - předpokládaný vývoj klimatu v 21. století.....	26
4. Přehled dopadů změny klimatu na zemědělství v průběhu roku.....	37
4.1 Dopady změny klimatu – SWOT analýza .....	43
5. Fenologie – vymezení vědního oboru.....	45
5.1 Fenologie a klima .....	46
5.2 Fenologie polních plodin.....	47
5.3 Fenologie volně rostoucích druhů a živočichů .....	48
5.4 Dopady změny klimatu na vegetační období a fenologií .....	50
6. Sucho a jeho členění .....	53
6.1 Stav sucha v ČR .....	55
6.2 Dopady zemědělského sucha .....	57
6.3 Dopady zemědělského sucha na výnosy polních plodin.....	58
6.4 Hydrologické a socio-ekonomické sucho.....	63
6.5 Intersucho.cz.....	66
6.5.1 Monitorovací funkce .....	66
6.5.2 Předpovědní funkce .....	76
6.5.3 Jak se zapojit do monitoringu – benefity pro zpravodaje .....	76
6.5.4 Slovensko a střední Evropa .....	81
7. Extrémní teploty a rostliny.....	86
7.1 Vysoké teploty a rostliny.....	86
7.2 Nízké teploty a rostliny.....	87



7.2.1	Metody protimrazové ochrany .....	91
8.	Další významná abiotická rizika a rostliny .....	94
8.1	UV záření .....	94
8.2	Vyzimování .....	95
8.3	Polehnutí .....	97
9.	Extrémní teploty a hospodářská zvířata .....	99
9.1	Vysoké teploty a hospodářská zvířata .....	100
9.2	Nízké teploty a hospodářská zvířata .....	102
10.	Příjem živin a teplota půdy .....	104
11.	Klima, choroby a škůdci .....	106
11.1	Klimatické a meteorologické aspekty výskytu chorob .....	106
11.2	Klimatické a meteorologické aspekty výskytu škůdců .....	108
11.3	Změna druhového spektra plevelů vlivem změny klimatu .....	112
12.	Agrorisk.cz – systém včasné výstrahy před negativními dopady počasí .....	116
13.	Vynosy-plodin.cz – systém prognózy výnosů polních plodin .....	120
14.	Adaptace na zemědělské sucho a dopady změny klimatu .....	124
14.1	Strategická opatření v rámci sektoru zemědělství .....	124
14.2	Zvýšení infiltrace a zachycení vody v půdě .....	127
14.3	Podpora šlechtění a introdukce nových druhů plodin .....	130
14.4	Podpora technických opatření k zadržení vody v krajině .....	135
14.5	Protierozní opatření .....	137
14.6	Vodohospodářská opatření .....	138
15.	Shrnutí adaptačních opatření na změnu klimatu .....	141
16.	Pozitivní dopady změny klimatu na zemědělství .....	144
17.	Předpověď počasí – zdroje dat .....	147
18.	Seznam zdrojů a odkazů .....	150

## 1. ÚVOD

Dostáváte do rukou skripta k předmětu Aplikovaná agroklimatologie, která jsou určena pro studenty programu Profesní zemědělství vyučovaného na Agronomické fakultě Mendelově univerzitě v Brně, ale současně pro každého, kdo se zajímá o počasí, podnebí, zemědělství a naši kulturní krajinu. Absolventi programu budou působit v naší krajině v době, kdy celosvětově bude narůstat počet obyvatel naší planety, kdy nám nedávná pandemie virové nemoci ukázala jak křehký a náchylný je systém, který člověk dlouhodobě budoval, včetně zabezpečení produkce potravin a jejich obchodování. Nezapomeňme, že to jsou potraviny, které se v době krizí (epidemiologické restriktce, mezinárodní konflikty) stávají prvním cílem masového vykupování a že chování zemědělce, potravináře, vodohospodáře se společně se zdravotníky, dopravci a prodejci se stává klíčovou pro zvládnutí první vlny chaosu, paniky a dopadů společenské krize.

Plošně nejvýznamnější součástí naší kulturní krajiny je agrosystém (dále ji tvoří les, vodní plochy a zastavěná území), zabezpečující člověku produkční, ale i nezbytné mimoprodukční služby. Z toho je zřejmé, že zemědělec je odpovědný nejen za zabezpečení dostatku potravin pro celou populaci, ale i za charakter krajiny a její zdraví. Tyto jeho dvě klíčové aktivity musí najít vzájemnou rovnováhu, neboť v opačném případě může sice dojít k významnému ekonomickému zisku, ale často na úkor poškození krajiny, či naopak k neúměrnému omezení produkce vedoucímu ke ztrátě konkurence schopnosti, kompenzované drahým a často i nekvalitním potravinovým dovozem.

Významným faktem, který se v předmětu Aplikovaná agrometeorologie promítá do všech jeho součástí, je skutečnost, že se v příštích desetiletích budou měnit klimatické podmínky. Dopady, které již zažíváme, a které budou zásadně ovlivňovat jak ekonomiku zemědělství, tak i mimoprodukční funkce krajiny se budou stále prohlubovat a např. stále častější meteorologické extrémy, jako je sucho, vysoké teploty, mrazíky, absence sněhu apod. se stávají rozhodujícími situacemi snižující úspěšnost jednotlivých ročníků. Poznat tyto dopady, porozumět jim, realizovat adaptační opatření vedoucí k jejich alespoň částečné eliminaci je jedním ze základních cílů tohoto studijního materiálu i předmětu Aplikovaná

agrometeorologie. A nejde jen o znalosti, ale také o využití moderních metod jako jsou metody dálkového průzkumu země či systémy včasného varování.

Tato učební skripta v sobě integrují řadu vědomostí, polních i modelových experimentů a jejich sepsání by nebylo možné bez dlouholeté teoretické i praktické, vědecké a odborné práce řady mých kolegů. Na tomto místě si dovoluji jim poděkovat.

## 2. PRODUKČNÍ A MIMOPRODUKČNÍ EKOSYSTÉMOVÉ SLUŽBY KRAJINY

Krajina musí produkovat. Je to její základní funkce a jsme na ni zcela odkázáni. Mezi základní produkty krajiny patří suroviny pro potraviny, dřevo, energie a voda. Současně však musí plnit i řadu dalších služeb, které lze od čistě produkčních funkcí oddělit. Jedná se o řadu tzv. mimoprodukčních funkcí, které můžeme rozdělit na **regulační** (např. půdo-, vodo-, klima ochranné), **kulturní** (např. vzdělávací, estetické, rekreační, duchovní), **biodiverzitu** (někdy označované jako genetické zdroje) a řadu dalších označovaných jako **služby podpůrné** (např. oběh živin, ukládání uhlíku, tvorba půdy, primární produkce).

Výzvou je nalezení a nastavení poměru produkčních a mimoprodukčních služeb, neboť člověk svou činností (především zemědělskou a lesnickou) krajinu mění a formuje. Tento poměr nemůže být konstantní, neboť je jasné, že v úrodné rovinaté krajině bude jiný než v podhorském ekosystému. Přesto by v člověkem obývané krajině neměl být jednoznačně vychýlen na žádnou stranu. Maximalizace produkce omezuje mimoprodukční funkce a tvrdá preference mimoprodukčních služeb může v oblasti zemědělství omezit konkurenceschopnost či dokonce potravinovou bezpečnost. Nalézt optimální poměr v různých regionech je jednou z výzev současného hospodaření v krajině. A to nejen v České republice. Navíc do hry „vstupuje“ další faktor. Vzhledem k tomu, že jedním ze zásadních činitelů, který předurčuje poměr mezi produkčními a mimoprodukčními službami je klima, je naprosto zásadní je do všech úvah zahrnout. Ale klima se mění a mění se velmi rychle. Právě proto bude v blízké budoucnosti jedním ze zásadních úkolů globálního, ale i regionálního zemědělství vyrovnat se s dopady změny klimatu.

Přirozené ekosystémy, které tvořily životní prostředí člověka po podstatnou část jeho vývoje, jsou typické svojí samoregulační funkcí vycházející z komplexní a komplikované sítě pozitivních a negativních zpětných vazeb a jsou omezeny vnitřními limity každého ekosystému. Přibližně před 8 000 lety dosáhla lidská populace hranice 10 mil. a její doposud pozvolný nárůst prudce akceleroval neolitickou „revolucí“, která umožnila nárůst počtu obyvatel až na 800 mil. okolo

roku 1750. Během tohoto období postupně klesala závislost člověka na podmínkách prostředí. Průmyslová revoluce započatá v Anglii v polovině 18. století, nahradila doposud používané zdroje energie fosilními palivy (zpočátku zejména uhlím), což umožnilo dramatické zvýšení produktivity a se zvýšením lékařské péče i počtu obyvatel na současných (2022) téměř 8 miliard.

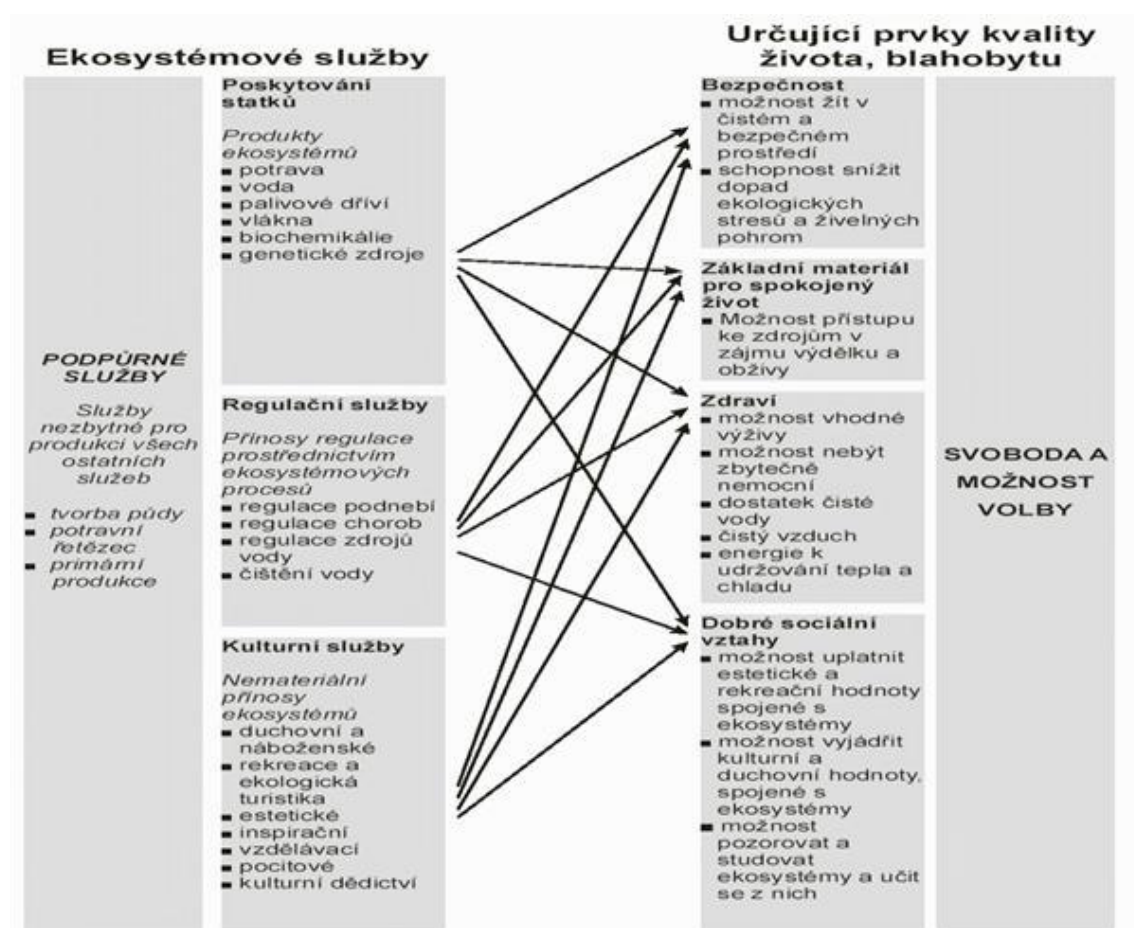
Lidé jsou závislí na ekosystémech (do nichž zahrnujeme i ekosystémy řízené např. intenzivně obdělávanou krajinu střední Evropy), protože závisí na jimi poskytovaných ekosystémových službách. Obecně jsou ekosystémové služby přínosy, které lidé získávají od ekosystémů. Zahrnují poskytování statků, regulační a kulturní služby, které lidi ovlivňují přímo, a podpůrné služby, které jsou nezbytné k udržování ostatních služeb. Změny těchto služeb ovlivňují životní úroveň lidí prostřednictvím dopadu na jejich bezpečnost, základní předpoklady spokojeného života, zdraví a sociální a kulturní vztahy. Tyto nejdůležitější součásti životní úrovně se vzájemně ovlivňují s lidskou svobodou a možností volby. Konkrétně se jedná zejména o služby produkční (tj. produkce potravin, vody, paliv a dalších surovin), regulační (tj. regulace klimatu, vodní bilance, ale i např. opylování apod.), kulturní (tj. duchovní, rekreační a estetické hodnota samotných ekosystémů) a služby podpůrné (např. půdotvorné procesy, koloběh prvků a energií atd.). Tyto služby (Obr. 1) zajišťují nejen základní předpoklady k životu, ale ovlivňují výrazně i socio-ekonomické a mezilidské vztahy.

Dnešní tvář střední Evropy (a většiny vyspělých zemí) vznikla postupnou substitucí přirozených ekosystémů, ekosystémy řízenými (tj. do velké míry člověkem ovlivňovanými a závislými na jeho přítomnosti, s oslabenou funkcí autonomní regulace). Když pomineme lesy s primárně produkční funkcí a lidská sídla, dominuje řízeným systémům v naší krajině zemědělsky využívaná půda spolu s regulovanými vodními toky a umělými nádržemi. Tyto systémy jsou výrazně jednodušší a uniformnější co do struktury než ekosystémy přirozené, a jsou zpravidla jednostranně orientovány na produkci. Jde přitom o systémy se značnou energetickou náročností a ve své základní podobě jsou zřídka slučitelné s principy udržitelného rozvoje. Zároveň se ale v optimalizaci v nich probíhajících

procesů (např. za pomoci využití biotechnologií, schopností autoregulace apod.) skrývají rezervy, které mohou přispět ke zvrácení obecně nepříznivých trendů.

Komplexnost problematiky udržitelnosti ekosystémů je navíc umocněna probíhající globální klimatickou změnou, která bude alternovat základní podmínky prostředí a tedy i udržitelnost dosavadních systémů. Ostatně samotná klimatická změna je přímým důsledkem průmyslové revoluce a důkazem neudržitelnosti dosavadního přístupu k využívání přírodních zdrojů. V zásadě jde o exploataci produkční ekosystémové služby na úkor služeb regulačních. Její fyzikální příčinou je zesilování skleníkového efektu, které je podle IPCC (Panel on Climate Change = Mezivládní panel pro změnu klimatu) způsobeno dramatickým nárůstem radiačně aktivních plynů především CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O a freonů. První důsledky změny klimatu se výrazněji projevily již v průběhu 90. let 20. století. I když v geologické minulosti došlo k řadě výkyvů klimatického systému (vč. pro kvartér typického střídání glaciálů a interglaciálů) nemá tato antropogenně vyvolaná změna obdobu ve své rychlosti postupu. Změna relativně stabilních teplotních a srážkových poměrů vážně postihuje všechny řízené ekosystémy na území střední Evropy, ale rovněž i zbytky ekosystémů přirozených, neboť v řadě případů jde za hranici jejich biologicko-fyzikální stability a udržitelnosti. Dosavadní úroveň zemědělské produkce bude výrazně ovlivněna v globálním měřítku se značným nárůstem disparity mezi regiony, ale i v rámci jednotlivých klimaticko-půdních regionů střední Evropy. Např. dřívější dosažení teplotních sum vede k akceleraci teplotně podmíněného fenologického vývoje, razantního zvýšení počtu tropických dní (maximální denní teplota rovna nebo vyšší než 30 °C), zvýšení hodnot potenciální evapotranspirace (výparu) či častějšímu výskytu suchých bezsrážkových period. Tyto faktory se stávají meteorologickými limity optimálního průběhu produkčního procesu s přímým dopadem na výnos a kvalitu plodin. To vede ke gradientovému posunu pěstebních ploch směrem k vyšším nadmořským výškám, k rozšíření současných a introdukci nových chorob a škůdců, ke změnám v aktivitě půdního edafonu, změnám vodního režimu půd a řadě dalších důsledků, které směřují k nutnosti výrazných modifikací v pěstitelských technologiích. Nárůst teplot a zejména vyšší pravděpodobnost výskytu horkých vln si vynutí změny i v systému

chovu hospodářských zvířat a změny teploty povrchových vod a intenzivnější srážky mohou narušit dosavadní vazby v řízených vodních ekosystémech s dopadem na chov ryb. V oblasti růstu plodin zůstává otázkou kompenzační (tzv. přímý) vliv zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub>, neboť tento efekt by sice mohl prostřednictvím uzavírání stomat a tím podmíněně vyšší využitelnosti vody především v aridnějších oblastech ČR částečně eliminovat negativní dopady změny klimatu, ale řada novějších experimentů tyto předpoklady zpochybňuje. I když o charakteru budoucího průběhu srážek nepanuje jednoznačný konsensus a odhady různých globálních cirkulačních modelů se poměrně výrazně liší, je téměř jisté, že dojde k změně jejich rozložení, což např. v hlavním vegetačním období povede ke střídání epizod sucha a nadbytku srážek včetně výskytu mimořádně vydatných srážkových případů (s větším erozním potenciálem).



**Obr. 1** Ekosystémové služby a jejich provázanost se životní úrovní lidí (MŽP, 2003).



**Otázky:**

- Vyjmenuj hlavní ekosystémové produkční a mimoprodukční služby krajiny.
- Jaké jsou hlavní dopady změny klimatu na území ČR?

### 3. POČASÍ A PODNEBÍ (A JEHO ZMĚNA)

Na ekosystémy, ale i rostlinnou i živočišnou produkci má vliv mnoho meteorologických faktorů. Tím prvním je sluneční záření, které působí na produkční procesy rostlin. Intenzita záření je zdrojem energie nejen pro fotosyntézu, ale i pro zahřívání listů. Druhým faktorem je teplota vzduchu, která výrazně ovlivňuje růst rostlin. Aktuální hodnoty teploty vzduchu působí bezprostředně na rychlost biochemických reakcí, a tím i na rychlost růstu rostliny na všech úrovních. Denní a roční průběh teploty vzduchu ovlivňuje strukturu vegetace v přirozených podmínkách a do značné míry určuje i druhovou skladbu polních plodin v daných geografických podmínkách. Dalším faktorem jsou srážky, které ovlivňují nejen skladbu přirozených ekosystémů, ale i zemědělských plodin pěstovaných bez závlah. Složení atmosféry je dalším faktorem, jehož působení je určováno zejména obsahem  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , a příměsí jako je vodní pára a imise. Obsah vodní páry ve vzduchu je další důležitou složkou, a to zejména působením na vodní a energetickou bilanci rostlin. Významný je i vítr, kdy rychlost proudění zvyšuje nároky na mechanickou pevnost mnoha druhů rostlin, zajišťuje ventilaci, opyluje, ale přenáší i semena a plody stejně jako škůdce a choroby.

**Počasí** = krátkodobý stav meteorologických prvků na daném místě (počasí charakterizuje tuto hodinu, či tento den jestli neprší, svítí slunce, vane vítr, vyskytují se kroupy, mráz....).

Počasí ovlivňuje kořenový systém obilnin, vzcházivost a růst obilnin. Na růst kořenů působí rozhodujícím způsobem teplota a vlhkost půdy. Za minimální teploty pro růst kořenů obilnin se považuje teplota  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zatímco ke zpomalování růstu dochází při teplotách  $20\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na vzcházení obilnin má největší vliv vláha, a to její nadbytek nebo nedostatek. Voda vnikající do obilí aktivuje jejich životní procesy, je zdrojem kyslíku při dýchání a aktivuje činnost fermentů (enzymů), které štěpí složité zásobní látky v obilce na jednoduché látky, rozpustné ve vodě. Ty jsou transportovány do klíčku, kde začíná růst nové rostliny. Voda je tedy prostředím pro biochemické reakce a plní také transportní funkci. Obilky mají poměrně velkou nasávací sílu, takže mohou pohlcovat vodu z poměrně suché půdy nebo využívat vlhkost ze vzduchu, rosy a mlhy. Za optimální vlhkost půdy pro klíčení a vzcházení

rostlin se považuje 40–60 % plné vodní kapacity půdy. V sušší půdě, pod 40 % plné vodní kapacity půdy vzchází relativně nejlépe žito, ječmen a nejméně pšenice. Při malé zásobě půdní vláhy a nepatrných srážkách či vláhy z rosy, obilky sice nabobtnají a mírně naklíčí, ale nevzcházejí. Dlouho leží v tomto stavu a jejich vzcházivost se značně sníží. Rychlost přijímání vody, její dostupnost pro obilky a další zabezpečení vláhy pro růst klíčku určuje spolu s teplotou a vzdušným režimem půdy délku období setí – vzcházení. Čím je toto období delší, tím horší je vzcházivost a vyrovnanost vzcházení. Přebytek vláhy či dočasné zatopení pozemků je nebezpečné pro růst rostlin. Stupeň poškození rostlin závisí na délce působení přebytku vláhy nebo zatopení, dále na výšce vodní hladiny při zatopení, na teplotě, ale také na druhu a odrůdě rostlin. Na klíčící a vzcházející rostliny má přebytek vláhy větší vliv než na vzrostlé rostliny.

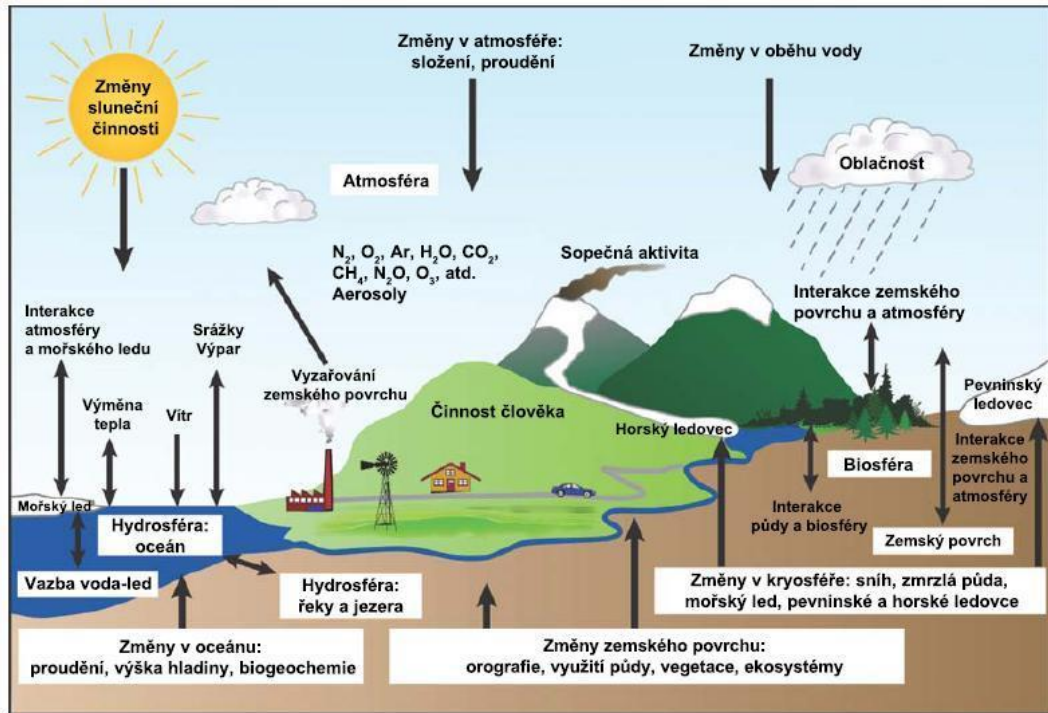
Zemědělce zajímá především počasí. Ovlivňuje jeho každodenní činnost a jeho stav se fakticky podílí na plánování prakticky všech jeho kroků. Tento učební text bude především o počasí, které však bude zasazeno do dlouhodobého trendu, tedy do podnebí, které se velmi rychle mění.

**Podnebí** (klíma) = dlouhodobý stav meteorologických prvků na daném místě (podnebí lze popsat jako mírné, kontinentální, oceánické, přechodné, tropické, arktické...). Zatímco počasí jsou stejné meteorologické prvky a procesy z pohledu krátkodobého. Zjednodušeně počasí je to, co je dnes venku, prší, nebo svítí slunce, vane vítr apod. Ale jestli dnešní den bude jasný nebo oblačný, beze srážek nebo deštivý, bezvětří nebo vichřice tak to klíma nezmění. Klíma je základním prvkem rajonizace a klimatické podmínky vymezují skupiny plodin, které se v daných lokalitách mohou pěstovat. Rýže, kasava, bavlna či pšenice vyžadují zcela rozdílné klimatické podmínky. Hlavní rozdíl mezi počasím a podnebí je tedy v čase. Obecně platí, že klíma (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? 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 (Obr. 2). Logicky tyto změny mohou být podmíněny faktorem mimo vliv člověka. Ano klima se mění od doby, co naše planeta je planetou a vzdělaný technologiemi vybavený člověk byl teprve vzdálenou budoucností.

Platí tedy, že z dlouhodobého pohledu se klima se na naší planetě měnilo vždy a příčinou byly např. sluneční cykly, změny oběžné dráhy Země či pohyby tektonických desek. Tyto změny se však odehrávaly evolučními postupy v řádu tisíců až milionů let. Stejně tak existují mnohem kratší, celkem pravidelné cykly sluneční aktivity např. mezi velmi známé patří 11letý, ale jsou i cykly kratší (např. přibližně 2letý). Tyto kratší cykly však rozhodují o setinách maximálně desetiny stupně celsia. Ano i do našeho klimatického systému zasáhly rychlé změny typu revoluce, často spojené s vymíráním druhů. Poslední z nich byla před cca 66 miliony lety v druhohorách na konci křídly, kdy asteroid o průměru cca 10 km narazil do oblasti Mexického zálivu, vyvrhl do atmosféry obrovské množství prachu, došlo k odstínění slunce, změně teploty a dalších jevů, vedoucích k řadě procesů a k ukončení téměř 200 milionů let trvající éry dinosaurů.

Vzhledem k současné velmi rychlé změně, hraničící s revolucí a rozhodně se vymykající evoluci, je za příčinu považováno zvýšení koncentrace některých plynů v atmosféře a zesílení skleníkového efektu.



**Obr. 2** Schéma základní části klimatického systému Země (zdroj: Le Treut et al., 2007 upraveno in Solomon et al., 2007)

Jsou i další jevy po slunečním záření ovlivňující současné klima jako epizodní výbuchy sopek, či projevy globálních klimatických oscilací jako je NAO - severoatlantická, známé el-Niño v oblasti Tichého oceánu, či Atlantská multidekádovalá oscilace s periodicitou cca 70 let. Brázdil a Trnka, eds. 2015 v publikaci „Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost“ pomocí poměrně složitých statistických vztahů posoudili všechny tyto potenciální příčiny a současně je vyloučily jako možného viníka současných trendů na našem území. Příčina, jak ukázala zmíněná studie, ale také desítky jiných nezávislých analýz spočívá v nárůstu obsahu tzv. skleníkových plynů v atmosféře (odborně radiačně aktivní plyny), které posilují jinak blahodárný skleníkový efekt do hodnot potenciálně ohrožujících lidskou existenci. Tedy příčinou měnícího se klimatu a spouštěčem všech problémů, které přináší je skutečně 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?

### 3.1 Skleníkový efekt

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 dřevo, zvýší se jeho teplota a začne vysílat i krátkovlnné záření = světlo. Nehořící dřevo je studené, vysílá jen dlouhovlnné záření a nesvítí. Na úrovni naší planety musí platit, 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). Průměrná teplota naší planety je v současnosti těsně pod 15 °C. Ano to je teplota, která umožňuje život. Tato teplota je tedy i důsledkem schopnosti některých plynů pohlcovat v atmosféře dlouhovlnnou radiaci vyzařovanou zemským povrchem. Pokud by plyny obsažené v naší atmosféře neměly schopnost zachycovat dlouhovlnnou radiaci, byla by teplota na naší planetě výrazně nižší (asi -18 °C). Přirozená přítomnost tohoto procesu, který je označován jako skleníkový jev (Obr. 3), je tedy pro teplotu umožňující 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 radiální bilance systému Země – vesmír způsobené zesílením tohoto tzv. skleníkového jevu prostřednictvím zvýšené koncentrace antropogenně vypouštěných skleníkových plynů (hlavní jsou CO<sub>2</sub> = oxid uhličitý, CH<sub>4</sub> = metan, chlorofluorokarbyny zvané freony a N<sub>2</sub>O = oxid dusný). Významným skleníkovým plynem je i vodní pára. Ta však má uzavřený cyklus a její koncentrace není přímo člověkem ovlivněna.



**Obr. 3** Princip skleníkového efektu atmosféry. *Pozn.: Pozor na interpretaci! Sluneční krátkovlnné záření, které zemský povrch absorbuje je jím vyzářeno ve formě dlouhovlnného záření, a to je částečně pohlceno skleníkovými plyny v atmosféře, která ji vyzářuje zpět směrem k zemskému povrchu. Tím neuniká do vesmíru a přispívá k oteplování atmosféry. Nejčastější chyba zní: Sluneční krátkovlnné záření se od zemského povrchu odrazí a je pohlceno skleníkovými plyny v atmosféře. Takto to opravdu nefunguje!!*

### 3.2 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 příměsi, 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.

#### **Mezi skleníkové plyny, jejichž koncentrace v atmosféře kvůli činnosti člověka roste, patří:**

***OXID UHLIČITÝ (CO<sub>2</sub>)*** – 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<sub>2</sub> v atmosféře. Fotosyntéza rostlin totiž odstraňuje oxid uhličitý (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<sub>2</sub> v historii znázorňuje Obr. 4.

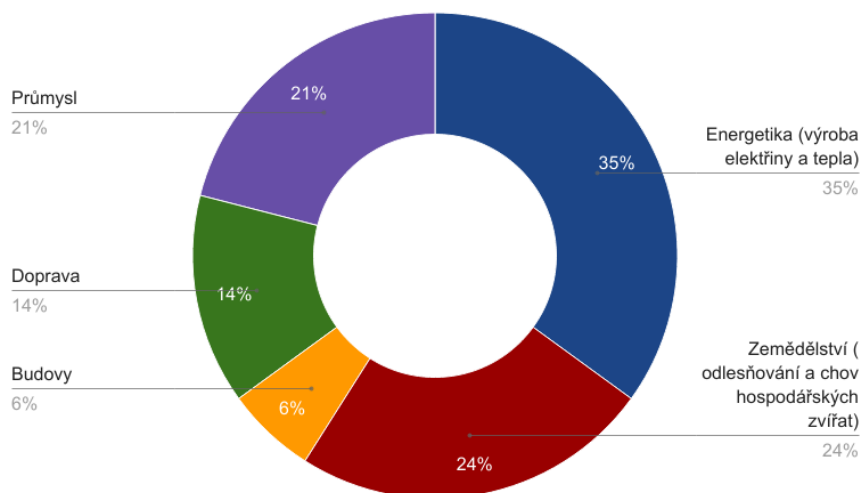
***FREONY (chlorofluorokarbony)*** – jsou to uměle vytvořené látky, a i přes jejich nepatrnou (stopovou) atmosférickou koncentraci patří díky své vysoké schopnosti pohlcovat dlouhovlnnou radiaci mezi velmi silné skleníkové plyny. Významné jsou čtyři druhy fluorovaných plynů, které byly vyvinuty speciálně pro použití v průmyslu: částečně fluorované uhlovodíky (HFC), zcela fluorované uhlovodíky (PFC), fluorid sírový (SF<sub>6</sub>) a fluorid dusitý. Tyto plyny nemohou mít delší historii, neboť neexistovaly do poloviny 20. století.



Změna klimatu a její příčiny již nejsou předmětem vážného vědeckého sporu. Téměř tři desetiletí tisíce vědců z celého světa přinášejí vědecké poznatky o změně klimatu a jejím environmentálním a socioekonomickém 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 (vydávané v intervalu 5–6 let, první v roce 1990, poslední byla v roce 2021 vydána zpráva šestá).

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“, kdy pokud meteorologické prvky a procesy nevykazují žádný trend, je zcela přirozeným stav. 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.

## Globální produkce skleníkových plynů podle ekonomických sektorů



**Obr. 5** 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 2018



\*CO<sub>2</sub>eq: V energetice, dopravě a jiných oblastech, ve kterých je zásadní spalování, jde přímo o emise CO<sub>2</sub>. V zemědělství a odpadovém hospodářství se jedná především o emise metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O) přepočtené na CO<sub>2</sub>, které by mělo stejný oteplovací efekt.

VERZE 2020-10-23 LICENCE CC BY 4.0  
více info na [faktaoklimatu.cz/emise-cr](https://faktaoklimatu.cz/emise-cr)

zdroj dat: Evropská agentura pro životní prostředí

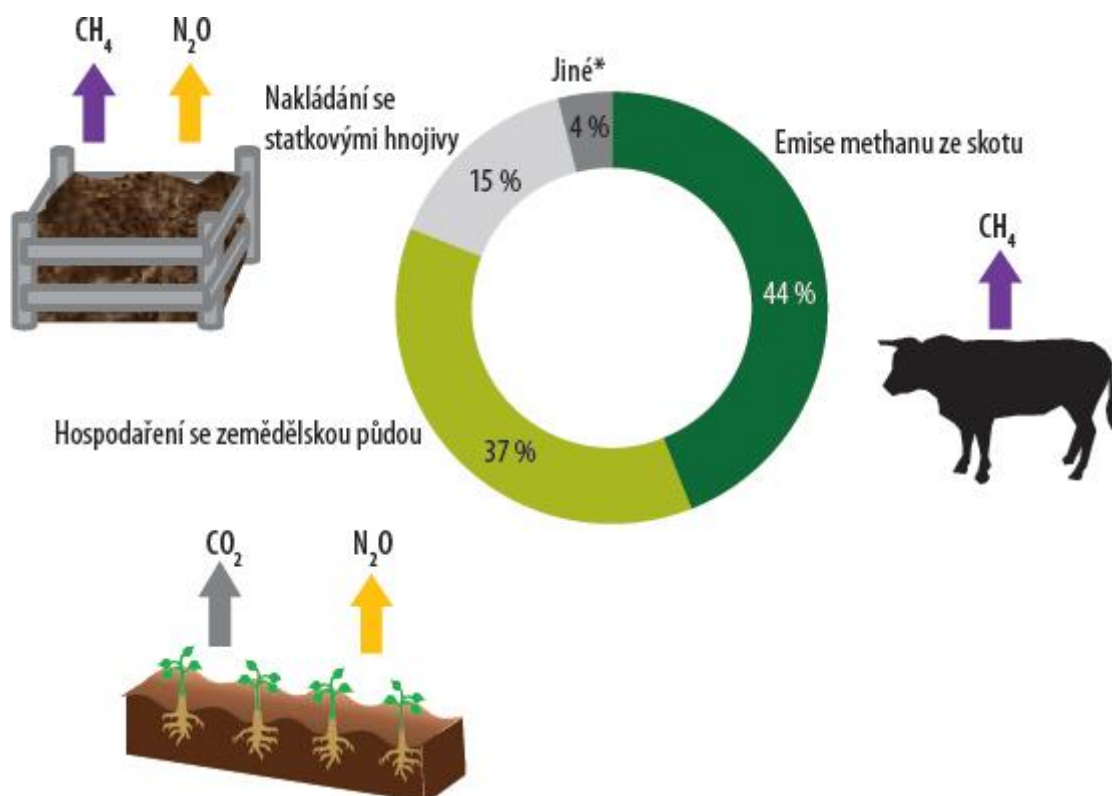
**Obr. 6** Emise skleníkových plynů v ČR pro rok 2018. (zdroj: <https://faktaoklimatu.cz>). CO<sub>2</sub> eq znamená, že jsou do celkových emisí započteny i

další skleníkové plyny podle účinnosti. Např. molekula metanu je 21x účinnější v zachycování dlouhovlnného záření jak molekula oxidu uhličitého (zdroj: <https://faktaoklimatu.cz>)

I když ČR v absolutních číslech nepatří mezi významné evropské emitenty, je nutné zdůraznit, že v přepočtu na obyvatele je Česká republika 4. největším emitentem v Evropské unii.

Skleníkovým plynem, který je vypouštěn v největším množství, je oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), který tvoří přibližně 80 % celkových emisí skleníkových plynů v EU, následuje metan ( $\text{CH}_4$ ) s 11 %, oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) s 6 % a fluorované plyny s 3 %.

Zemědělské emise skleníkových plynů obsahují zejména oxid dusný (při aplikaci dusíkatých hnojiv cca 1 % uniká formou  $\text{N}_2\text{O}$  o ovzduší) a metan (zdrojem je především chov skotu), což jsou silnější skleníkové plyny než  $\text{CO}_2$ .



**Obr. 7** Struktura vypouštění skleníkových plynů ze zemědělství v EU 2015 podle zdroje, se zaměřením na zemědělství, zdroj dat: EEA greenhouse gas – data viewer (Skleníkové plyny v EHP – přehled údajů), EEA, 2017

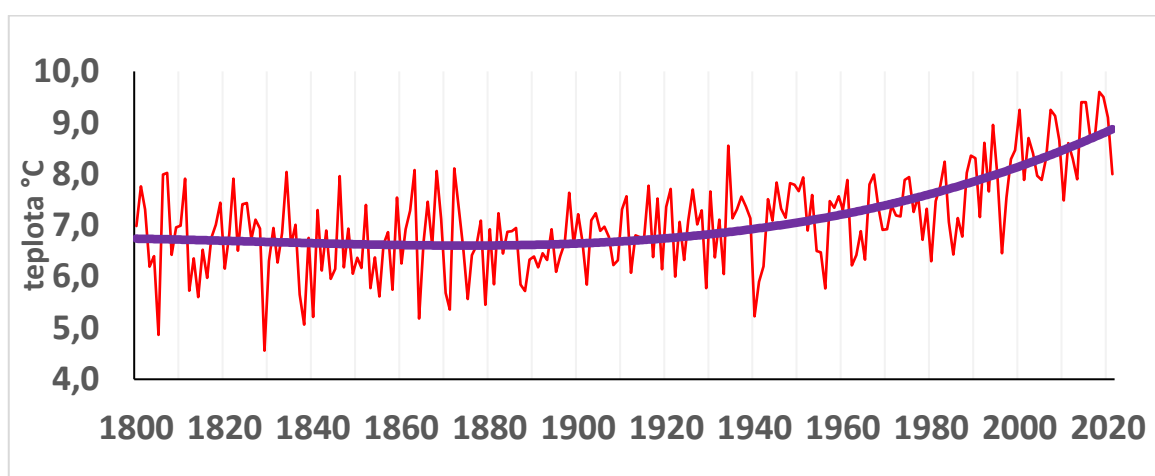
Jedinou oblastí, v níž ani EU nepočítá s výrazným omezením emisí, zůstává právě zemědělství. To se dnes podílí na produkci skleníkových plynů, zejména metanu, zhruba 15 %. „Zemědělství produkuje emise ponejvíce při chovu dobytka. A těžko si lze představit, že bychom dobytek vybíjeli kvůli skleníkovým 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. Navíc je potřeba zvážit přínos živočišné produkce v oblasti produkce organické hmoty. Velkou dobytčí jednotku tvoří 500 kg hmotnosti živých zvířat se započtením jejich stáří na 1 ha. Pro názornost jde o jednu krávu starší dvou let, či sedm ovcí či koz (detaily najdete na stránkách SZIF.cz). Samozřejmě je nutné vycházet z konkrétních podmínek hospodaření jako jsou LFA – méně příznivé oblasti (nově od 2018 ANC – oblasti s přírodními omezeními), pastevní hospodaření, suché stepní trávníky, dostupnost pracovních sil apod. Současný stav v ČR se pohybuje kolem 0,3 VDJ/ha, zatímco v roce 1990 to bylo 0,8/VDJ/ha zemědělské půdy, ale naši sousedé, Rakousko, Německo a Polsko mají aktuální hodnotu dvojnásobnou, v Holandsku, Dánsku či na Maltě dokonce několikanásobnou. A argumentem pro zachování, či navýšení živočišné produkce je i fakt, že dovoz masa a mléka zanechává výrazně vyšší uhlíkovou stopu než jeho produkce v domácích podmínkách.

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.

### **3.3 Vývoj klimatu v ČR**

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. 8). 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 měření. Průměrná roční teplota vzduchu se v období 1961–2018 zvyšovala o 0,34 °C za 10 let (v letním období zvýšení činilo 0,44 °C, v jarním a zimním období 0,37 °C a v podzimním období 0,18 °C). V posledních letech byl nárůst teploty vzduchu intenzivnější.

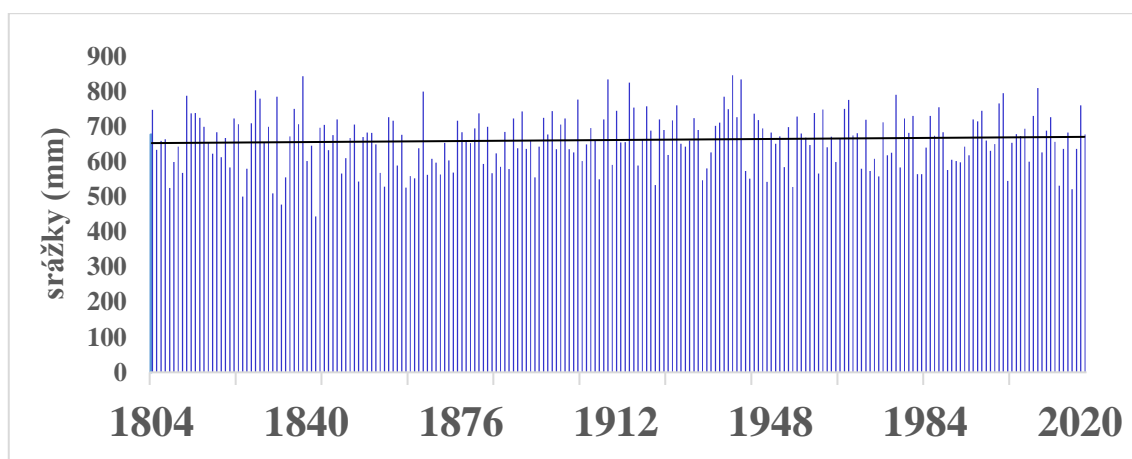


**Obr. 8** Průběh průměrných ročních teplot vzduchu (°C) v období 1800–2021 pro území ČR. Spojnice trendu je polynomická rovnice třetího řádu. Zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav

Z Obr. 8 je zřejmá kumulace teplých let v 21. století s tím, že nejteplejším rokem byl rok 2018 s průměrnou roční teplotou 9,6 °C, rok 2019 měl 9,5 °C, rok 2020 9,1 °C. I když rok 2021 „jen“ 8,0 °C, patří i tento rok z pohledu dlouhodobé řady mezi nejteplejší roky. Nejchladnějším rokem byl 1829 s teplotou 4,6 C. Průměrné hodnoty jsou sice např. pro trvání fenofází významné, ale z pohledu daného ročníku jsou rozhodující hodnoty extrémní. Ty velmi dobře vystihuje např. počet tropických dnů, které mají výrazný dopad na vegetaci, ale i zvířecí či lidský organismus. V období 2021–2040 můžeme očekávat nárůst počtu tropických dnů o čtvrtinu a do poloviny století dokonce dosažení dvojnásobku oproti dlouhodobému průměru 1981–2010.



Co se týče srážek (Obr. 9), které jsou od roku 1804 měřeny na stanici v Klementinu (Praha) a později na více stanicích, tak v uvedeném období nemají patrný výrazný dlouhodobý trend, pouze od padesátých let 20. století je patrný trend velmi mírný směrem k 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.

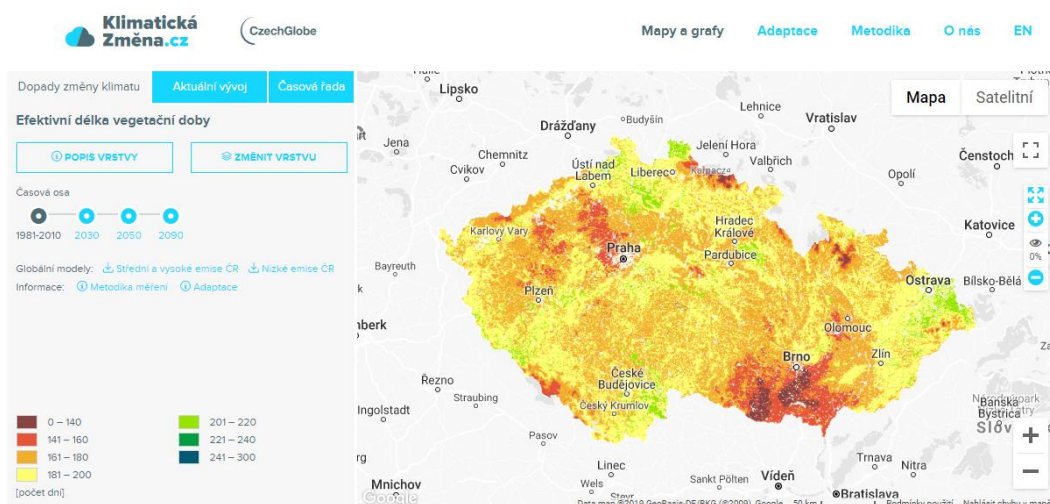


**Obr. 9** Průběh ročních úhrnů srážek (mm) v období 1804–2021 pro území ČR. Trend je vyjádřen lineární čarou. Zdroj dat: Český hydrometeorologický ústav

Průběh průměrných ročních úhrnů srážek na území ČR v období 1804–2020 vykazuje velmi vysokou meziroční proměnlivost, ale statisticky se významně nemění. Průměrné roční srážkové úhrny se v posledním padesátiletí 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). Dochází však ke změně charakteru srážek směrem ke krátkodobějším intenzivnějším srážkám a delším epizodám bez významného deště. Zimy jsou vzhledem k nárůstu teplot mírnější s menším množstvím sněhové pokrývky.

### **3.4 Klimatickazmena.cz - předpokládaný vývoj klimatu v 21. století**

Základem pro odpověď na otázku, jak se bude dále klima vyvíjet je jeho zpracování výhledu pomocí tzv. scénářů změny klimatu. Tedy pro určité budoucí roky např. 2030, 2050, 2080 popsát 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 čtvercích pro celou planetu a pokrývají i území ČR. Výsledky nejpoužívanějších GCM pro ČR můžete najít na portálu [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz) (Obr. 10), 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 poloostrovy), 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.



## Co je to klimatická změna

Chcete vědět vše podstatné o klimatické změně. Navštivte našeho [PRŮVODCE ZMĚNOU KLIMATU](#).

**Obr. 10** Úvodní stránka portálu [www.klimatickazmena.cz](http://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

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. 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 rozchází. Pro náš portál jich využíváme celkem pět. Jedině tento přístup, tedy s využitím několika špičkových modelů, nám může dát představu o možném vývoji klimatu.

### **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.

Nově jsou od srpna 2021 využívány SSP – Scénáře socioekonomického vývoje (z anglického *Shared Socioeconomic Pathways*), které se budou používat k odvození

scénářů emisí skleníkových plynů při různých klimatických politikách. Jejich označení je následující:

SSP1: Udržitelný vývoj (zelená cesta)

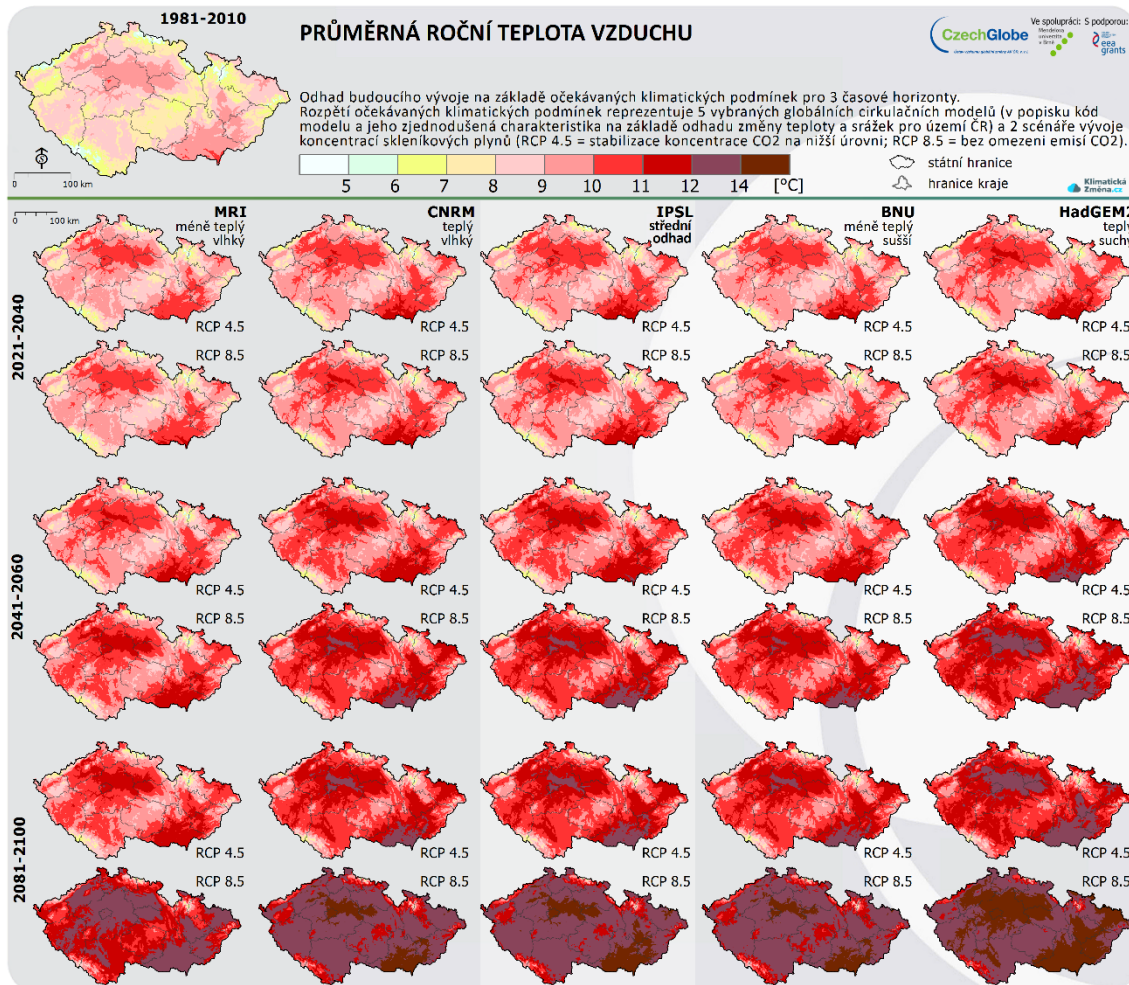
SSP2: Střední cesta

SSP3: Regionální rivalita (kamenitá cesta)

SSP4: Nerovnosti (rozdělená cesta)

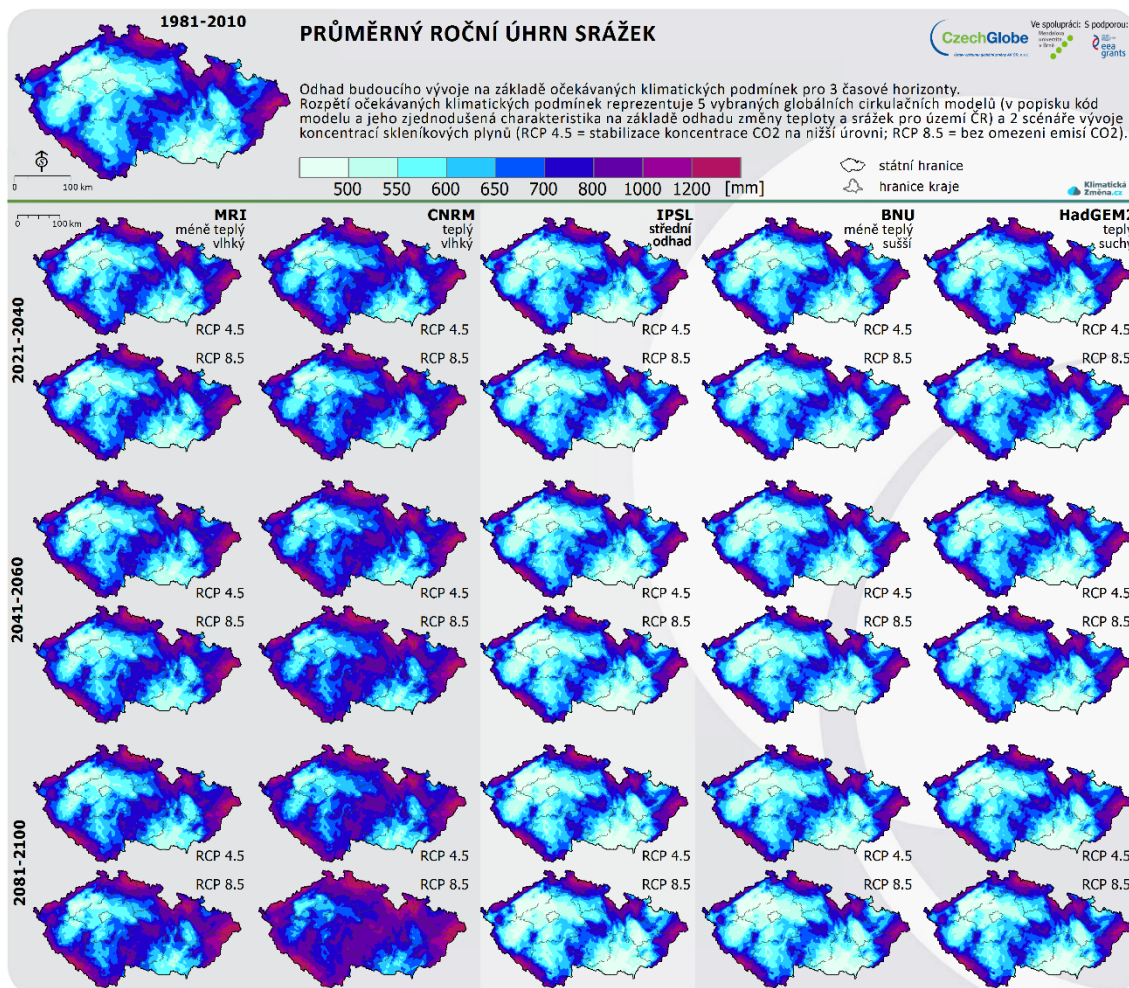
SSP5: Rozvoj založený na fosilních palivech (cesta po dálnici)

Vývoj sucha je odrazem vývoje teploty. Jak je vidět na Obr. 11 není scénář, který by předpokládal, že teplota bude klesat. I pro blížící 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 nejnížší 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. 12). Ten se v souladu s Obr. 9 nebude ani v budoucnosti příliš měnit a obavy můžeme mít spíše z přílišné variability (rozkolísanosti a rozložení) srážek než z jejich nedostatku.



**Obr. 11** Průměrná roční teplota vzduchu na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazují malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz))





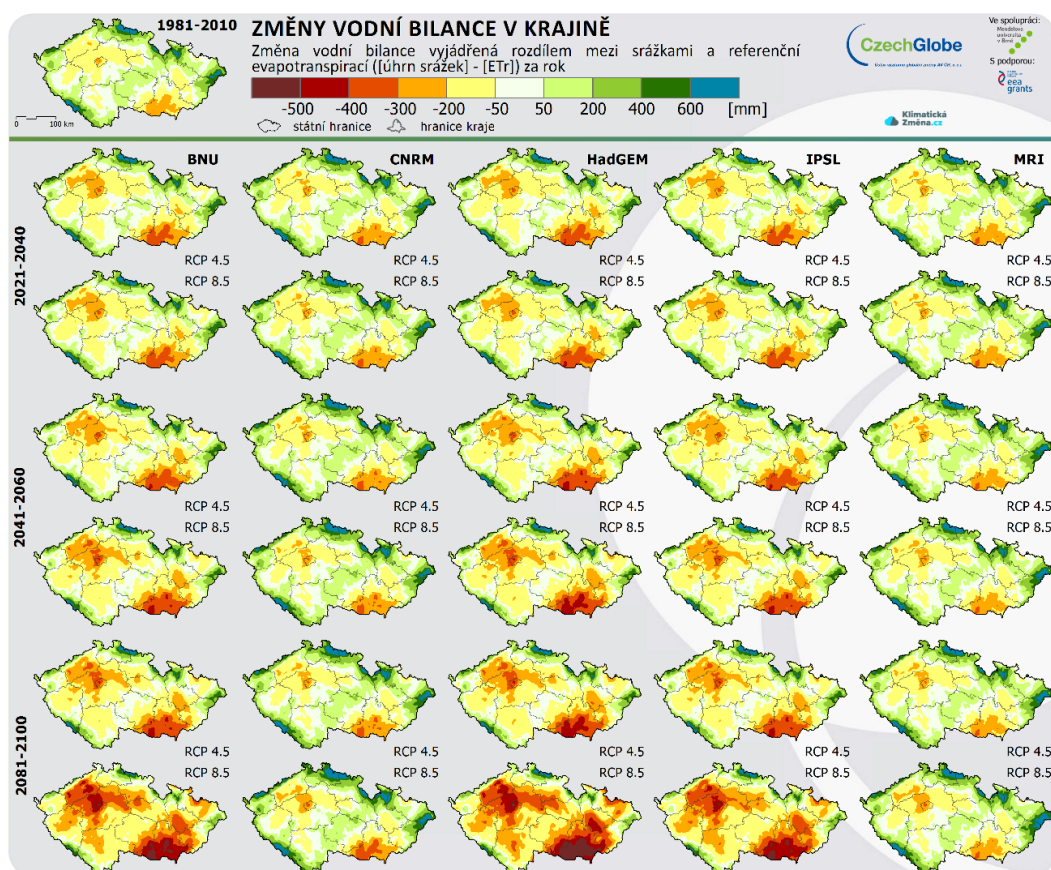
**Obr. 12** Průměrný roční úhrn srážek na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz))

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 statisticky 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



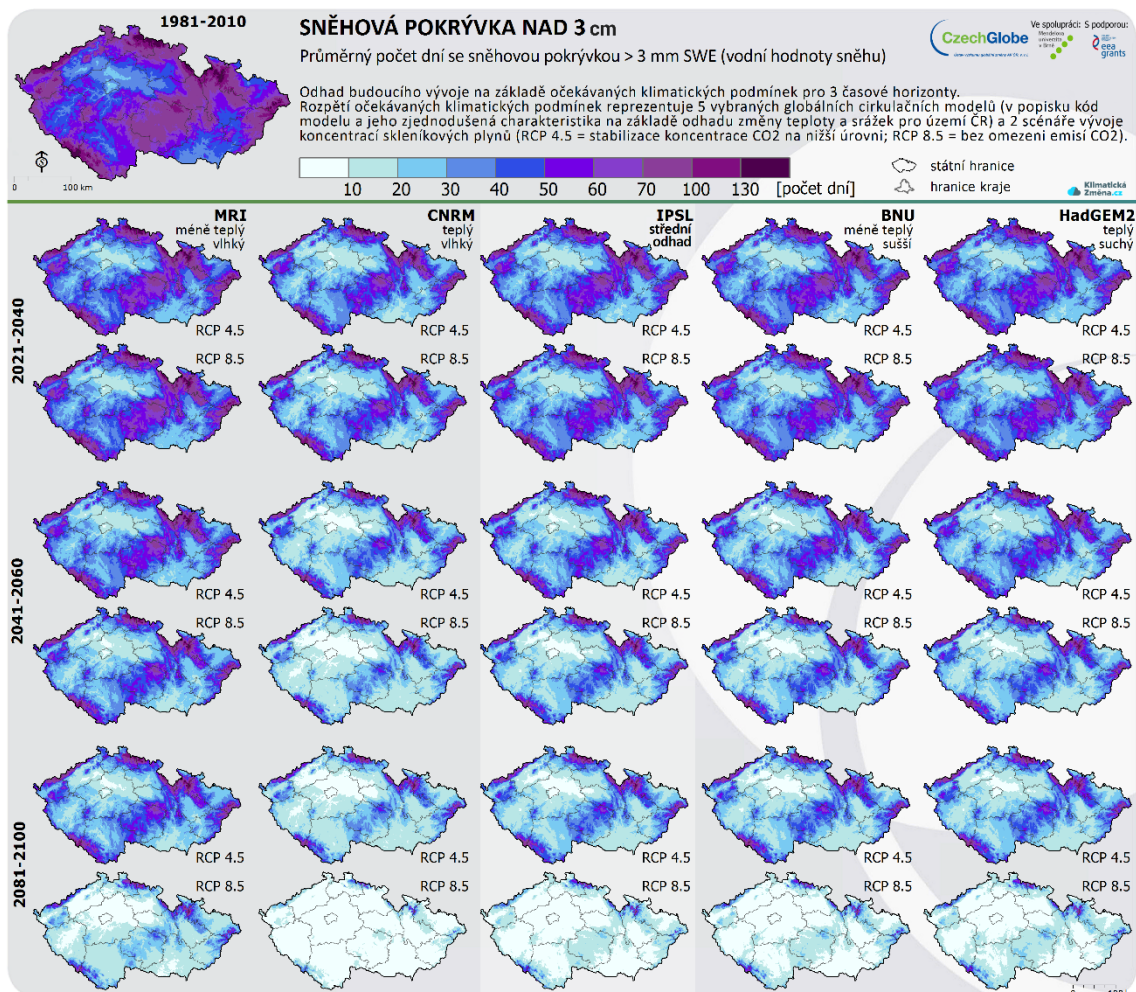
srážek na území ČR pro roční období je následující: zima 15 %, jaro 25 %, léto 40 %, podzim 20 % celkového ročního úhrnu.

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.



**Obr. 13** 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](http://www.klimatickazmena.cz))

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. 13). Negativní změny v oblasti sucha pozorujeme především v oblasti jižní Moravy, ve středních a severozápadních Čechách. Tedy v nejnižších nadmořských výškách. Zde se i dopady sucha projeví nejdříve a s vyšší intenzitou. Kombinace zvýšené pravděpodobnosti výskytu extrémně vysokých teplot a zimního období prakticky bez sněhové pokrývky (Obr. 14) povede ke zvýšené variabilitě výnosů. Ostatně tyto tendence jsou patrné už dnes, roky výnosově dobré se střídají se špatnými a často i v rámci jednoho roku. Např. v roce 2015 byla jedna skupina plodin velmi úspěšná (ozimy) zatímco plodiny s delší vegetační dobou (např. kukuřice, cukrová řepa, jablka) byly suchem výrazně poškozeny. A druhý rok to může být naopak. Právě v nižších, ale i středních polohách bude stabilita produkce významně ohrožena. Naopak ve vyšších polohách je možné očekávat zejména v nejbližším hodnoceném horizontu (2021–2040) v některých ohledech i zlepšení podmínek pro zemědělské hospodaření. Bohužel tyto regiony se svými půdními vlastnostmi a často i konfigurací terénu nemohou vyrovnat potenciální výpadek produkce v nižších nadmořských výškách. Navíc hospodaření v těchto oblastech je ovlivněno i vyšším výskytem trvalých travních porostů s půdoochrannou a retenční funkcí a přeměna na ornou půdu by byla dlouhodobě neudržitelná a v rozporu s udržitelným hospodařením.

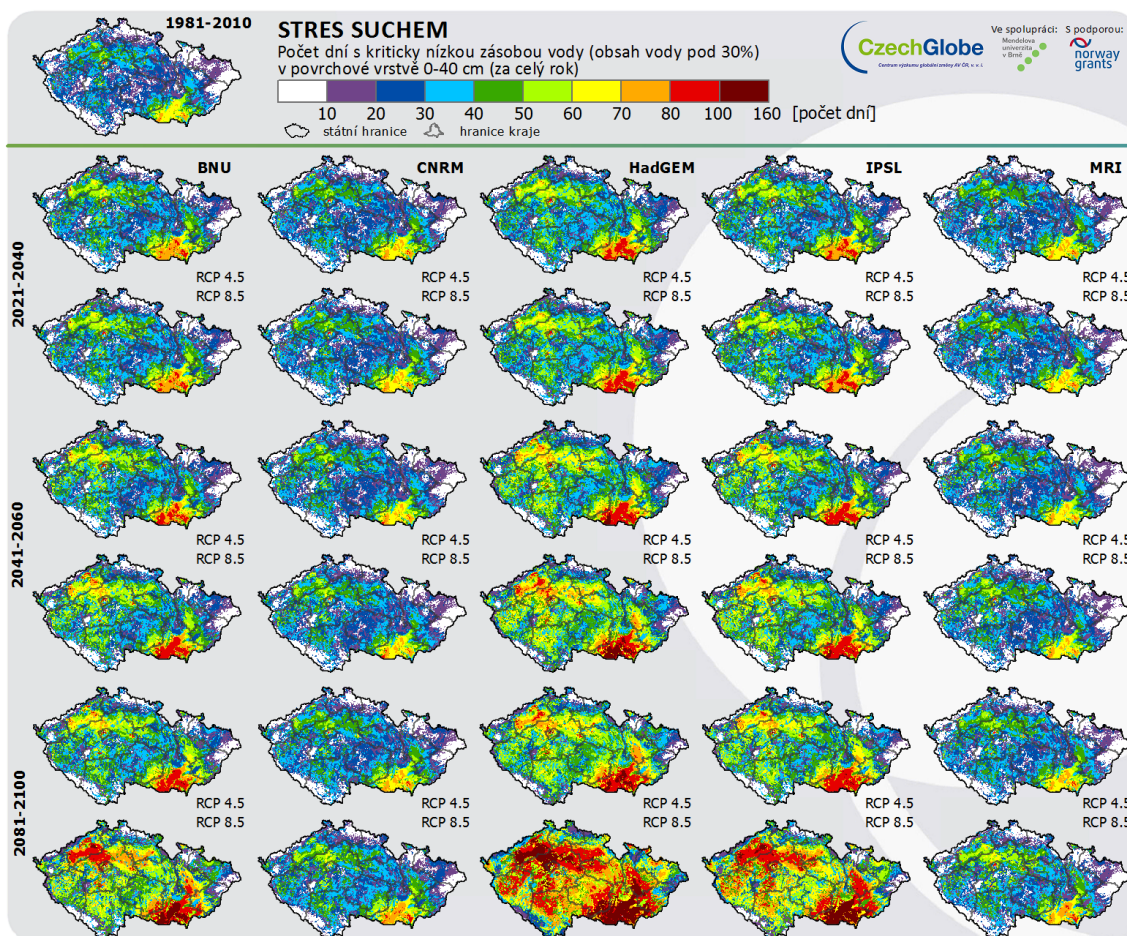


**Obr. 14** Změny sněhové pokrývky nad 3 cm na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Současný stav (průměr 1981–2010) ukazuje malá mapka vlevo nahoře. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz))

Pokud hovoříme o zemědělském suchu, zajímá nás v podstatě dostupná půdní vlhkost. Ta je přímo závislá na meteorologických prvcích (teplota, srážky, vítr, výpar), ale také na vlastnostech půdy a její schopnosti zadržovat vodu. Obr. 15 znázorňuje, jak se bude měnit počet dní s kriticky nízkou zásobou vody za celý rok a za období duben–červen.

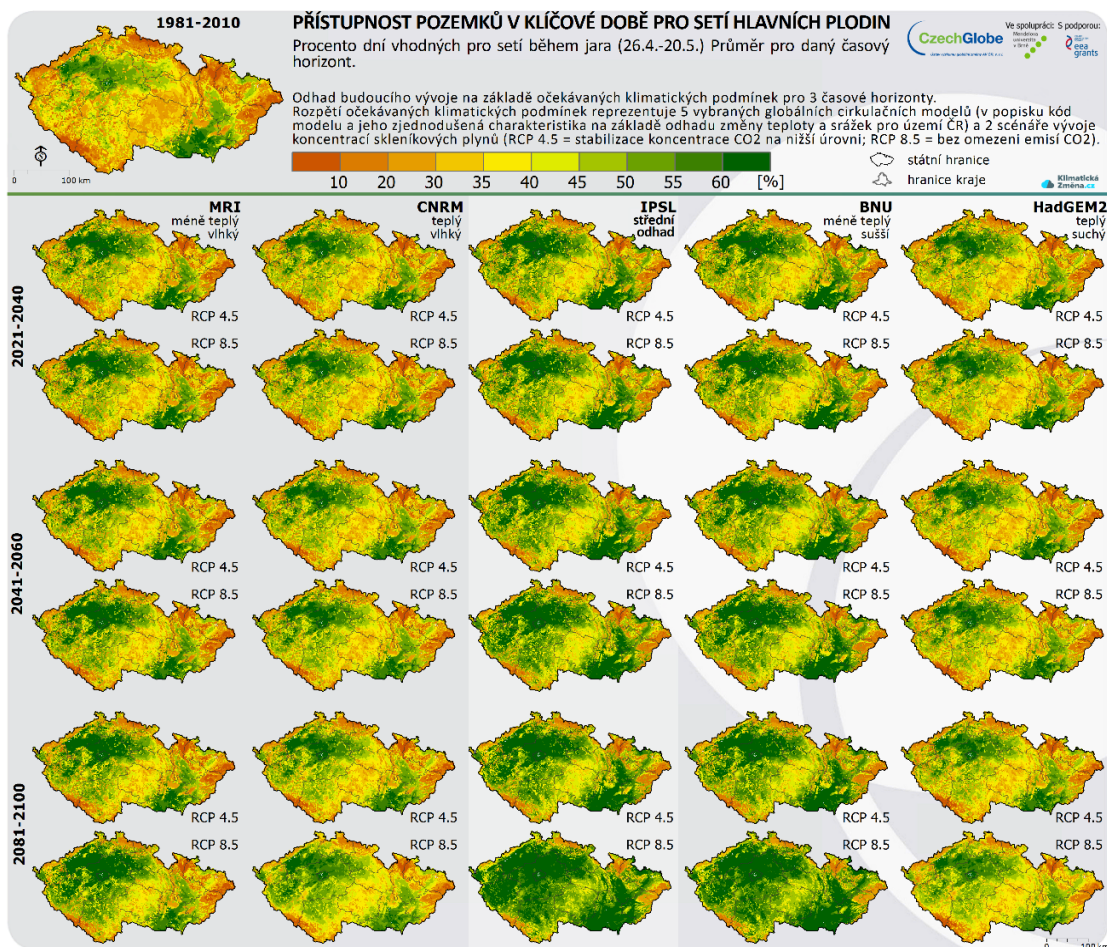
V okamžiku kdy obsah vody klesne pod 30 % využitelné vodní kapacity, dostáváme se do stavu, kdy množství vody je nedostatečné a pod 10 % postupně začíná bojovat o přežití. Počet těchto dnů s kritickým nedostatkem vody bude v souladu s vývojem klimatu popsáním v této kapitole zvláště v nížinách narůstat.





**Obr. 15** 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](http://www.klimatickazmena.cz))

Kapitola hodnotící vývoj sucha v 21. století nevyznívá optimisticky. Sucho, jak z pohledu četnosti, tak délky suchých epizod bude narůstat. Pokud bychom chtěli najít alespoň malou pozitivní zprávu, jde o vyhodnocení parametru přístupnosti pozemků v době setí pro hlavní plodiny. Problém s vlhkou půdou neumožňující vjezd mechanizace, přípravu setí či samotné setí známe. A je logické, že počet vhodných dnů k setí (Obr. 16) se zvyšujícím se suchem bude podle scénářů změny klimatu přibývat.



**Obr. 16** Procento vhodných dnů k síť 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](http://www.klimatickazmena.cz))

### Otázky:

- Proč by mělo zajímat zemědělce podnebí a proč je zajímavá hlavně počasí?
- Jaké jsou složky klimatického systému?
- Jaký je princip tzv. skleníkového jevu?
- Které jsou skleníkové plyny a které z nich emituje zemědělská činnost?
- Metan a zemědělství, jak argumentovat v oblasti jeho emisí?
- Jaký je dlouhodobý vývoj ročních průměrné teploty vzduchu a úhrnů srážek?
- Jaké jsou scénáře klimatického vývoje v ČR (klimatickazmena.cz)? (obecně-není nutné znát rozdíly mezi jednotlivými scénáři, nebo jejich zkratky)

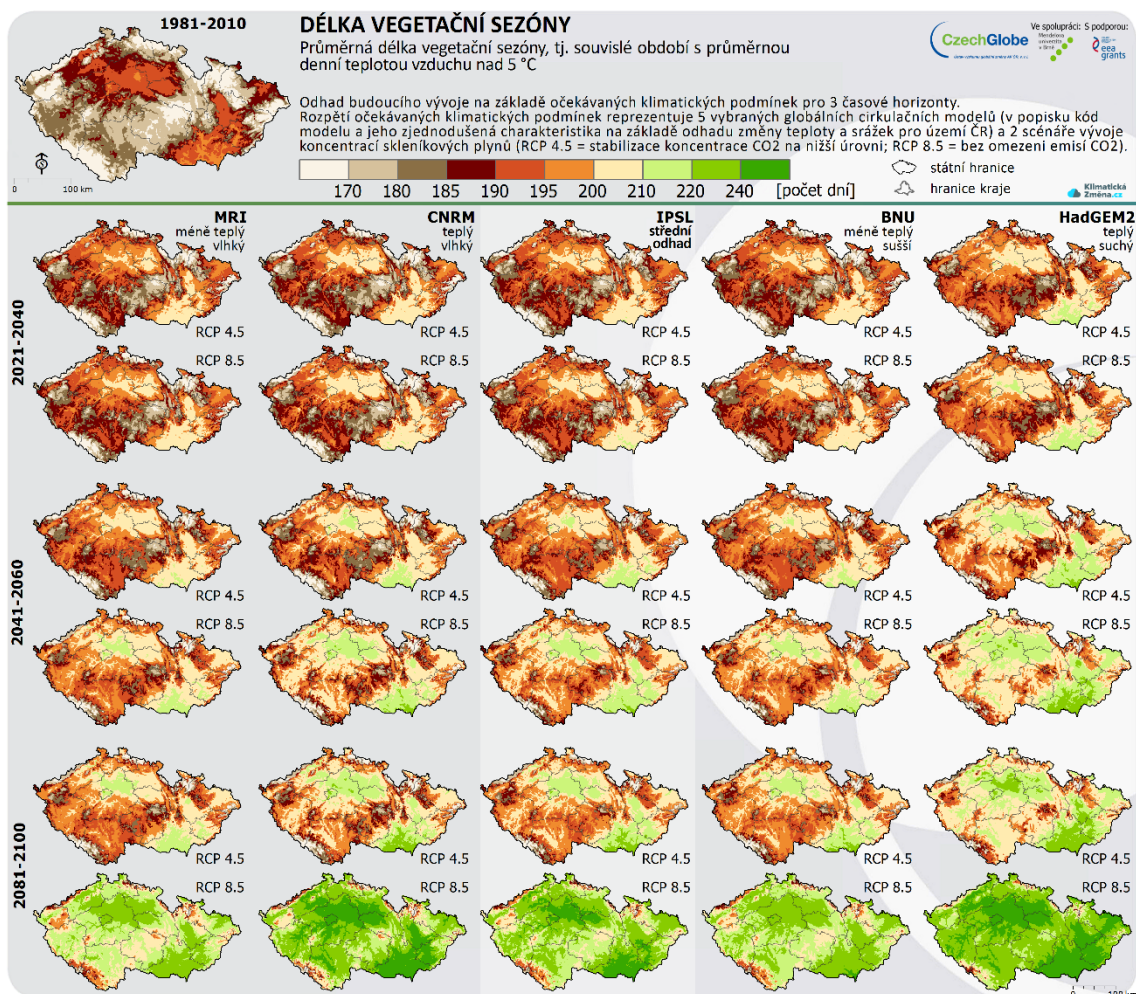
## 4. PŘEHLED DOPADŮ ZMĚNY KLIMATU NA ZEMĚDĚLSTVÍ V PRŮBĚHU ROKU

Změna klimatických podmínek v zemědělství má a bude mít řadu dopadů ať již přímo, či nepřímo spojených a iniciovaných se zvyšující se teplotou. Především je to změna stanovištních podmínek ve smyslu změny podmínek pro pěstování plodin, jedná se např. o charakter zimy, délku vegetačního období nebo změnu teplotních sum či rozložení srážek. Druhá skupina dopadů souvisí se zvýšeným výskytem hydrometeorologických extrémů, z nichž dominuje vyšší intenzita a častější frekvence suchých epizod spojená s vlnami veder a bezesrážkovými epizodami. Třetí velmi významnou skupinou rizik spojených se změnou klimatu je infekční tlak chorob a výskyt škůdců ať již domácích či invazivních, kdy jde především o jejich posun do vyšších nadmořských výšek či objevení se více generací. Všechny projevy se budou lišit podle ročních období.

**Jaro** je roční období, které je z pohledu zemědělství nejvýznamnější, realizuje se v něm nejvíce agrotechnických zásahů, kumuluje se řada polních prací a současně probíhá intenzivní růst a vývoj rostlin, na které je nutné značné množství vody. I v jarním období pozorujeme zvyšování teploty, což má za následek dřívější nástup velkého (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C, Obr. 17), 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 vzcházení 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 ubývající vlhkosti 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 sucho vzdornějších 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.



**Obr. 17** Délka tzv. velkého vegetačního období, ohraničeného průměrnou denní teplotou vzduchu nad 5 °C na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj: klimatickazmena.cz)

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. 18) 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.

Mimořádně vysoké dny jsou kritické dny, které způsobují diskomfort hospodářským zvířatům. Např. je prokázána negativní vazba mezi výskytem extrémně vysokých teplot a hmotnostními přírůsty, doživosti u krav, výskytem mastitid, ale i jejich reprodukci. Tyto klimatické podmínky jsou ale mimořádně nepříznivé i pro akvakultury 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

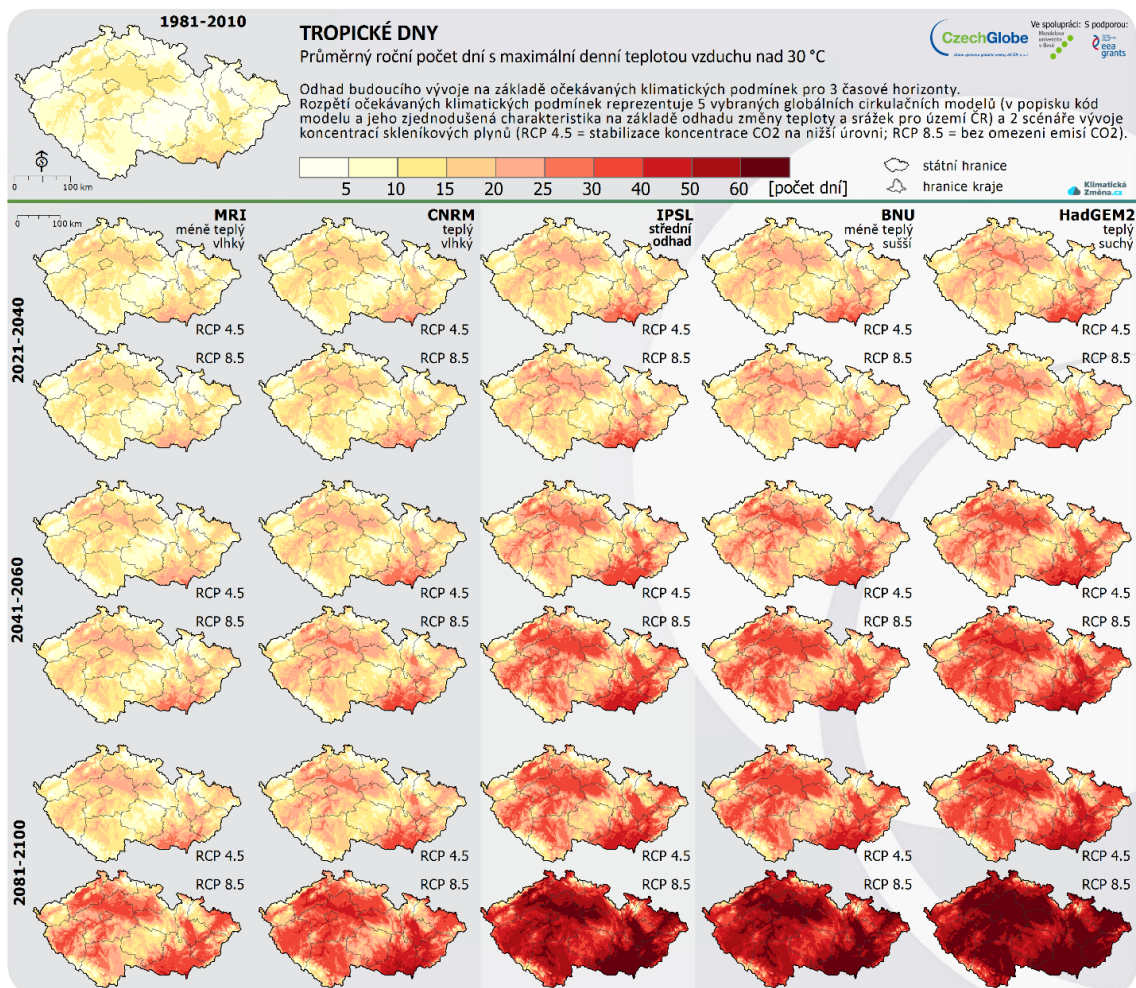


jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody. Odhlédneme-li od neutěšeného současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě závlahy, které posunou zemědělské podniky postihované suchem z červených čísel. Samozřejmě se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách vzhledem k množství vody uvažovat nelze.

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 kvůli navýšení počtu generací způsobené teplým počasím a výskytu sucha (příkladem je rok 2018, kdy ve středních nadmořských výškách svůj vývoj dokončila i třetí 3 generace kůrovce), který oslabuje dřeviny podléhající následnému kumulativnímu stresu.

**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 vzcházení ozimů

a jejich počáteční růst včetně dvou pro zemědělství ekonomicky klíčových plodin – pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) a řepky ozimé (*Brassica napus*).



**Obr. 18** Průměrný roční počet tropických dní (s maximální denní teplotou nad 30 °C) na základě očekávaných podmínek pro 3 časové horizonty. Bližší popis v záhlaví obrázku (zdroj:klimatickazmena.cz)

**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 pokrývka) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněné 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 pokrývka 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 zmrzne 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.

#### 4.1 Dopady změny klimatu – SWOT analýza

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, zničující 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.

#### **Otázky:**

- Přehled dopadů změny klimatu v průběhu roku (příležitosti a hrozby)
- Přehled dopadů změny klimatu podle nadmořské výšky (příležitosti a hrozby)
- Přehled dopadů změny klimatu podle nadmořské výšky (silné a slabé stránky)

## 5. FENOLOGIE – VYMEZENÍ VĚDNÍHO OBORU

Fenologie je věda zabývající se výskytem vývojových fází, tzv. fenologických fází (fenofází), rostlin a živočichů a studiem jejich časového nástupu v kontextu meteorologických, klimatických a půdních podmínek jak v průběhu roku, tak i z dlouhodobého pohledu.

Výrazy jako růst a vývoj bývají často zaměňovány, přičemž oba mají jiný význam. Růst je považován za nejcharakterističtější projev života a jedná se o nevratné přibývání hmoty rostliny (kvantitativní proces). Naopak vývoj je charakterizován kvalitativní změnou spojenou s diferenciací buněk, např. vytvářením listů, květů nebo jednotlivých květních orgánů. V rámci ontogeneze (tedy vývoje od vzniku po zánik) jsou rozlišována dvě základní období a to vegetativní a generativní a např. u obilovin se tak rozlišují fenologické fáze na vegetativní (klíčení, vzcházení, odnožování) a generativní fenologické fáze (sloupkování, metání, tvorba zrna, zrání).

Fenologický monitoring pro nás tedy má významnou hodnotu, když jsme schopni jej provozovat dlouhodobě a kontinuálně. Nejstarší fenologická pozorování existují pro termíny počátku kvetení třešní v Japonsku a to již od roku 705 n. l. Pro české lokality slouží jako ucelený historický zdroj fenologických pozorování Phaenologické ročenky z 20. a 30 let minulého století vydávané prof. Václavem Novákem (profesor Vysoké školy zemědělské v Brně). Jeho zásluhou výzkumné ústavy vybudovaly celostátní fenologickou službu (v roce 1923), která patřila k prvním službám tohoto druhu v Evropě (pravděpodobně starší služba z roku 1922 byla jen v Itálii). Měla mimořádně velký, až trvale neudržitelný rozsah; ve 30. letech jen na Moravě a ve Slezsku pozorování vykonávalo až 650 z asi 1200 pozorovatelů v celém státě. Důležité bylo zaměření fenologického pozorování, které nebylo botanické, nýbrž zemědělské a sloužilo praktickým potřebám. Od roku 1961 je fenologie systematicky a plošně pozorována díky profesionální fenologické síti ČHMÚ. Do roku 2013 fenologickou síť tvořilo cca 130 polních, lesních a ovocných stanic, ty ovšem byly právě v roce 2013 výrazně redukovány a do současné doby probíhá monitoring pouze na cca 30 lokalitách a týká se pouze lesních druhů. V rámci Mendelovy univerzity je fenologický monitoring zajišťován díky dlouhodobé a systematické práci doc. Ing. Zdeňka Bauera CSc., který až do roku 2016 pravidelně monitoroval nástupy fenofází běžných druhů lužních lesů jižní Moravy. Tento

monitoring pokračuje na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie na Mendelově univerzitě v Brně (MENDELU) na 4 lokalitách na jižní Moravě a zahrnuje i fenologickou odezvu ekosystémů lužního lesa. Od roku 2015 je pro studenty MENDELU, ale také pro širokou veřejnost provozován web [www.fenofaze.cz](http://www.fenofaze.cz), díky kterému se do fenologické práce může zapojit kdokoliv se zájmem o přírodu a její projevy zejména v měnícím se klimatu. Systematicky a plošně je také monitorována fenologie polních plodin na webových stránkách [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) a to od roku 2018 a využívány např. pro predikci výnosů polních plodin na portálu [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz).

## 5.1 Fenologie a klima

Na termíny nástupů fenologických fází má během jara největší vliv teplota a jako vhodný ukazatel bývá často používaná teplotní suma nad biologickým minimem. Biologické teplotní minimum je průměrná denní teplota, při jejímž opakování na jaře dochází k ukončení vegetačního klidu (dormance), iniciaci fotosyntézy a začátku růstu. Její konkrétní hodnota závidí na druhu rostlin, např. ozimé obilniny mají kolem 5 °C, jarní obilniny 7 °C, většina odrůd vinné révy 10 °C apod. Rozlišujeme sumu aktivních teplot a sumu efektivních teplot. Oba ukazatele se liší způsobem sčítání dosažených průměrných denních teplot. V případě aktivní sumy teplot se pro danou plodinu jedná o součet všech průměrných denních teplot dosažených nad trvalým nástupem biologického teplotního minima během daného vegetačního období. Při sčítání sum efektivních teplot se používají teploty, které překročily dané biologické minimum, tedy v případě 5 °C o sčítání průměrných denních teplot snížených právě o 5 °C. Sumy aktivních teplot používáme především pro stanovení teplotních nároků jednotlivých druhů rostlin a s tím spojenou rajonizaci pěstování rostlin dle klimatických podmínek. Sumy efektivních teplot nachází uplatnění u popisu cyklu rostlinných škůdců a hledání optimálních termínů pro zásah proti nim.

V současných podmínkách měnícího se klimatu jsou často rostliny využívány jako bioklimatický indikátor a fenologická pozorování slouží k posuzování možných dopadů změny klimatu. Pro korektní vyhodnocení vlivu měnící se teploty na termíny fenologických fází je nicméně zásadně důležitá dlouhodobost pozorování a je nutné pracovat s fenologickou řadou dlouhou minimálně 20 let. Tyto údaje jsou v rámci

Evropy, ale i České republiky k dispozici a převládající trend jednoznačně naznačuje posouvání jarních fenologických fází volně rostoucích rostlin k začátku roku, tedy uspíšení počátku vegetační sezóny a její prodlužování. Jako příklad (Obr. 20) uvádíme změnu v nástupu fenologické fáze lípy srdčité (a to konkrétně fáze vyrašení listových pupenů), jejíž termín se uspíšil o 8,2 dny během sledovaného období 1951-2021.

Jedním z nejvíce problematických dopadů těchto změn a posunů fenologických fází kvůli zvyšování teploty jsou následné dopady pozdních jarních mrazíků, které negativně působí na dřívě rašící a kvetoucí vegetaci. A nejde jen o mrazové poškození květenství ovocných stromů, ale poškozují např. i rané brambory (během vývinu listů na hlavním stonku), obilniny (během fáze vývoje prvních listů), řepku (i ve fázi prodlužovacího růstu) a často významně i révu vinnou (od nalévání oček, až po fázi třetího listu).

## 5.2 Fenologie polních plodin

Fenologické fáze zemědělských plodin jsou řazeny do stupnic, které slouží pro stanovení přesných termínů aplikace hnojiv a postřiků k ochraně rostlin. Rozlišujeme tyto stupnice:

1. Feekesova stupnice
2. Zadoksova stupnice
3. BBCH stupnice

Feekesova stupnice je nejstarší stupnicí a rozlišovala 11 fází, v současné době se ale více používají následující dvě stupnice. Zadoksova stupnice, tzv. decimální, má nejširší mezinárodní uplatnění a jednotlivé fáze jsou označovány zkratkou DC. Ze Zadoksovy stupnice je odvozena další, která je používána v rámci zemí Evropské unie (tedy i v České republice) a jmenuje se BBCH stupnice. BBCH je zkratka z německých slov Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie; neoficiálně také z názvů společností Bayer, BASF, Ciba-Geigy a Hoechst, které sponzorovaly vývoj této stupnice. BBCH stupnici tvoří dvoumístné číselné kódy od 00 do 99 a uplatňují se ve fyziologii rostlin, fytopatologii, entomologii, šlechtění a také v agronomickém provozu – mj. slouží k načasování termínů hnojení a zásahů ochrany rostlin. BBCH kódy byly



sestavěny pro většinu druhů rostlin podle botanicko-morfologické a hospodářsky využívané skupiny; konkrétně pro jedno- i dvouděložné rostliny, vytrvalé rostliny, travní porosty, vegetativně se rozmnožující rostliny a jmenovitě pro obilniny, řepku, kukuřici, slunečnici, cukrovou řepu, hrách, brambory, révu vinnou, chmel, jádroviny, peckoviny nebo i jahodník.

Základní stupně BBCH stupnice jsou obecně tyto:

0 klíčení

1 vývoj listů

2 růst postranních výhonů, větví, odnoží, vedlejších stonků

3 prodlužování hlavního stonku

4 vývoj vegetativních částí určených ke sklizni (salát, špenát)

5 tvorba pupat

6 kvetení

7 vývoj plodu

8 zrání a zralost

9 stárnutí, odumírání rostlin, počátek dormance, sklizeň

Výše zmíněné stupně se dále dělí do dalších podskupin a detailně tak popisují vývoj rostliny od zrna až po sklizeň. S praktickým využitím zkratky BBCH (také DC) se setkáváme v různých metodikách ochrany rostlin, v pokynech k užití hnojiv, vedení pokusů apod. Obecné a povinné použití však předepsáno není a často je uváděn jen slovní popis stadia (např. počátek vzcházení, začátek kvetení, plná zralost apod.).

### **5.3 Fenologie volně rostoucích druhů a živočichů**

Fenologické fáze volně rostoucích rostlin a divoce žijících živočichů nejsou řazeny v jednotné stupnici, nicméně i zde je nutné dodržovat stejné metodické postupy a způsoby monitoringu, aby bylo možno jednotlivá fenologická pozorování porovnávat. K tomu slouží v rámci České republiky metodický předpis pro fenologické pozorovatele Českého Hydrometeorologického Ústavu (ČHMÚ). Ve volné přírodě se v rámci flóry

pozorují byliny, keře a nejčastěji lesní porosty. U bylin a keřů se nejběžněji sledují jarní fenofáze (první květy a plné kvetení). U lesních porostů je možné pozorovat výrazně více jarních fenofází (od rašení, přes různé stupně olistování, plné olistění nebo tzv. butonizaci). Během léta jsou sledovány zejména fáze dozrávání plodů a během podzimu se nejčastěji sledují fenofáze zbarvování listů a opad listů a to začátek a konec. Díky volně rostoucím druhům rostlin je možné klasifikovat fenologický kalendář. Na základě dlouhodobých a plošných dat ČHMÚ v letech 1991 – 2010 bylo možno charakterizovat pro oblast České republiky tzv. fenologické předjaří, časné jaro, plné jaro, časné léto, plné léto, časný podzim a konec podzimu. Jednotlivá období byla charakterizována dosaženými fenologickými fázemi různých druhů takto:

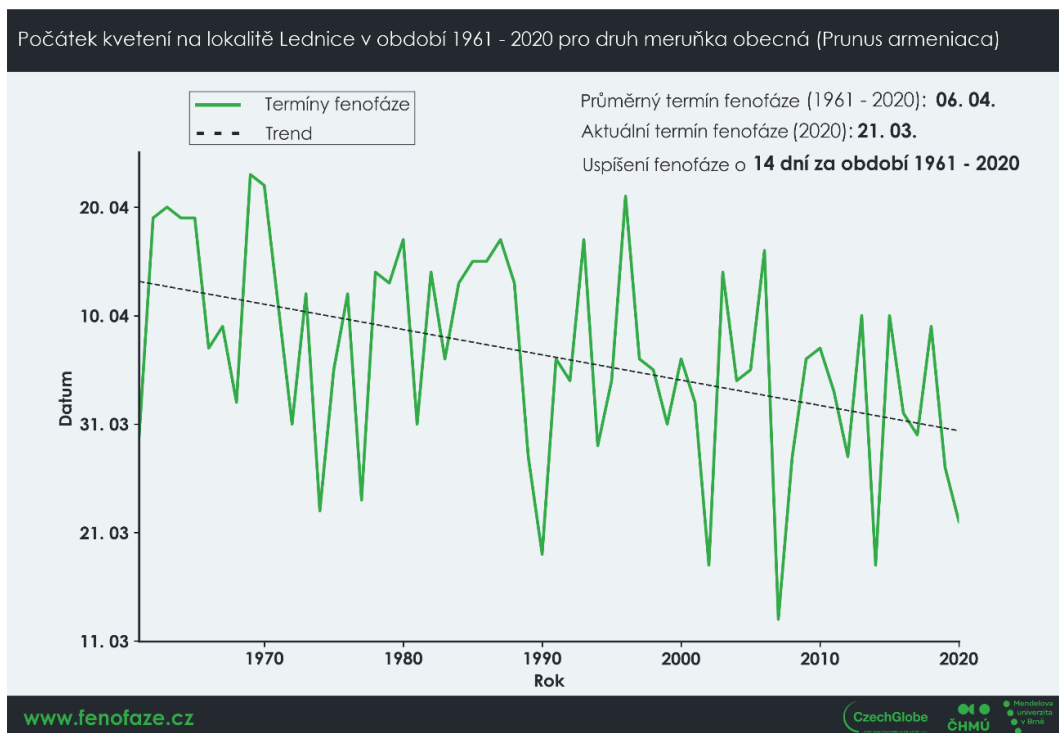
1. Fenologické předjaří – kvetení (rozvíjení prvních květů) u těchto rostlin: sněženka podsněžník, líska obecná a olše lepkavá (v průměru 1. – 26. 3.);
2. Časné jaro – kvetou stromy, které současně vyrážejí květ i listí (nebo s nepatrnou časovou diferencí), rozkvétají a odkvétají ovocné stromy (třešeň, hrušeň, jabloň), zalistuje se dub letní, jírovec maďal, bříza, buk a další druhy. Jako určující stromy byly stanoveny třešeň ptačí, bříza bělokorá a javor mléč (v průměru 20. 4. – 5. 5.);
3. Plné jaro - olistění vybraných stromů, kdy čepel listu je plně rozvinutá a list má charakteristický, dospělosti odpovídající tvar a velikost. Žádný strom nekvete v tomto období dříve než by rozvinul listy. Jako určující stromy byly stanoveny druhy bříza bělokorá, javor mléč a třešeň ptačí (v průměru 3. – 26. 5.);
4. Časné léto - kvetením trav, lípy srdčité a bezu černého (v průměru 29. 5. – 30. 6.);
5. Plné léto – dozrávání plodů bezu černého a jeřábu obecného (v průměru 29. 7. – 30. 8.);
6. Časný podzim – žloutnutí listů břízy bělokoré, jeřábu obecného a lípy srdčité (4. 9. – 3. 10.);
7. Konec podzimu – opadávání listů bezu černého, jeřábu obecného a lípy srdčité (14. 10. – 4. 11.).

Vegetační období (vymezené časným jarem a koncem podzimu) následně v průměru trvá 184 dní.

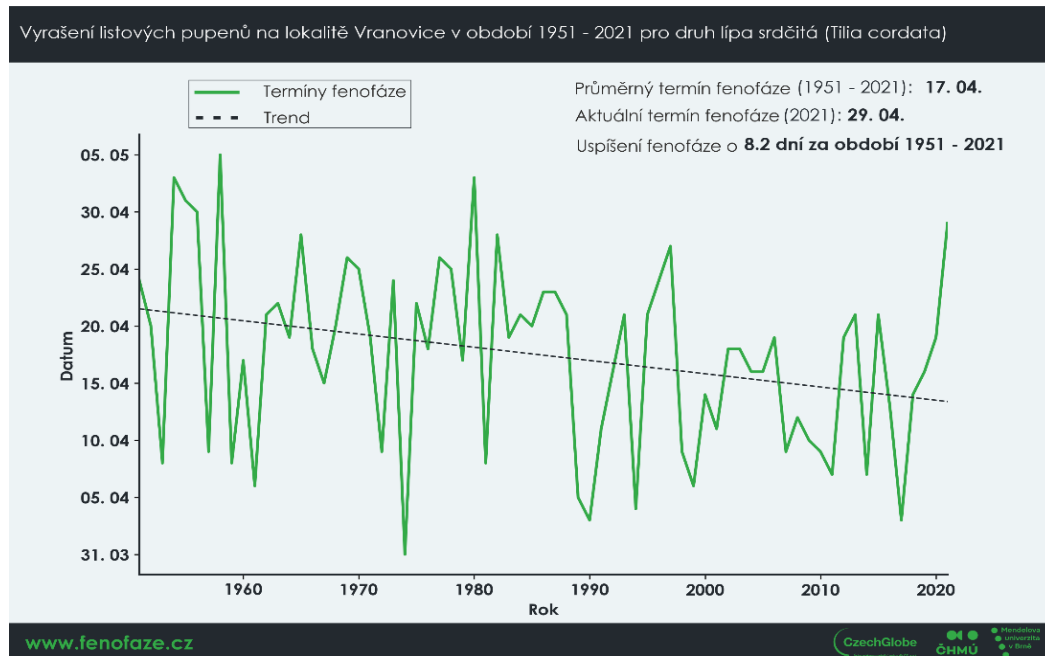
Fenologické fáze jsou pozorovány i u živočichů, kdy nejčastěji pozorovanými zástupci jsou ptačí populace různých druhů (sledují se např. termíny přiletů ze zimovišť nebo termíny kladení vajíček).

## 5.4 Dopady změny klimatu na vegetační období a fenologii

Obvykle se v odborně populárním tisku vegetační období vyjadřuje od 01.04.–31.10., ale příroda se neřídí kalendářem a každý rok bývá začátek růstu a vývoje vegetace v jiném termínu. Rozhodujícím faktorem, který určuje začátek vegetační sezóny je teplota vzduchu. Platí, že pokud je několik dní po sobě dosaženo v jarním období průměrné denní teploty nad 5 °C začíná velké vegetační období, stejná situace nad 10 °C vymezuje hlavní vegetační období a nad 15°C hovoříme o vegetačním létě. Konec všech období na podzim určuje trvalý pokles pod stejné průměrné denní teploty. Většina našich plodin zahajuje procesy růstu (nárůst biomasy) a vývoje (přechod od jedné fenologické fáze k druhé) od začátku velkého vegetačního období (např. pšenice, ječmen), i když některé teplomilné (např. vinná réva) až u hlavního vegetačního období. V souvislosti s oteplováním klimatu se vegetační období prodlužuje. Jinými slovy vegetace zahajuje růst a vývoj na jaře stále dříve. Tato zdánlivá výhoda pro zemědělství se při podrobnějším pohledu stává spíše problémem. Jde o to, že se významně prodlužuje časové okno, kdy může být rostoucí vegetace, která již ztratila mrazuvzdornost, poškozena jarními vegetačními mrazy. Dejte vybrat vinohradníkovi, či ovocnáři, zda chce, aby jeho porosty zahájily růst v polovině března nebo v polovině dubna a máte jasný názor praxe na dřívější start sezóny. Druhým, již méně viditelným faktorem je, že dříve rostoucí vegetace předčasně spotřebovává vodu v půdě, které pak může být i při normálních srážkách nedostatek (přispívá i vyšší teplota a tím i vyšší výpar), což může být jednou z příčin půdního sucha. A klima se skutečně mění a jeho odrazem je právě nástup jara. Podívejte se na vybrané kultury z dlouhodobého pohledu Obr. 20 a Obr. 20.



**Obr. 19** Dopady změny teploty na dřívější start vegetační sezóny 1951–2020 u meruňky obecné



**Obr. 20** Dopady změny teploty na dřívější start vegetační sezóny 1951–2021 u lípy srdčité

**Otázky:**

- Vymezení fenologie jako vědního oboru, jeho vazba na počasí a podnebí.
- Jaký je rozdíl mezi sumou aktivních teplot a sumou efektivních teplot?
- Vyjmenuj základní fenologické fáze BBCH u polních plodin.
- Dopady změny klimatu na fenologii polních plodin i volně rostoucích druhů.
- Jak se dělí fenologická roční období a co je charakterizuje?

## 6. SUCHO A JEHO ČLENĚNÍ

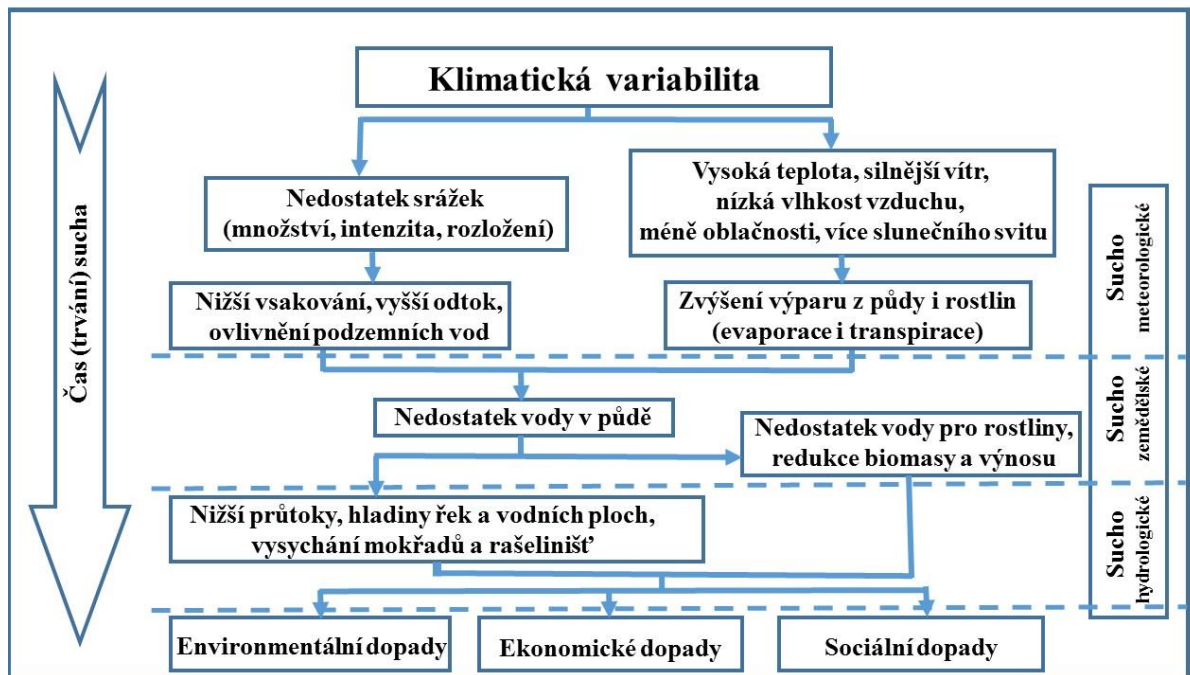
Nejvýznamnějším extrémem počasí s nejvýznamnějším dopadem do zemědělství je sucho. Ať je způsobeno přirozeným výskytem, postupným globálním oteplováním nebo efektem El Niño. Často je díky nesnadnému určení jeho začátku označován jako jev plíživý, každopádně je to jev plošný, zasahující rozsáhlá území. A díky tomu je tento extrém pro zemědělství nejnebezpečnější. Co to vlastně sucho je? Světový expert na problematiku sucha prof. Donald Wilhite z Univerzity v Lincolnu v Nebrasce, ve své stěžejní práci o suchu ho rozděluje na:

**Meteorologické** sucho je definováno jako nižší množství srážek ve srovnání s "normálními" hodnotami za určité období (minimálně měsíc).

**Zemědělské** (lesnické, zahradnické někdy označované i jako půdní) sucho lze zjednodušeně popsat jako nedostatek vláhy pro rostliny. Časově následuje zemědělské sucho po suchu meteorologickém. Ideální obsah vody ve vegetačním profilu (zóna kořenů) je 60-80 % objemu půdních pórů. Při vyšším obsahu jde o zamokření, při nižším rostliny trpí suchem. 20-40 % objemu pórů by měl vyplňovat půdní vzduch.

**Hydrologické** sucho je spojeno s poklesem povrchové nebo podpovrchové vody viděno jako poklesu průtoků, hladin nádrží a jezer, či podzemní vody = ve studních a vrtech). Časově následuje hydrologické sucho po suchu zemědělském.

Jednotlivé kategorie se projevují v ekonomické, resp. sociální oblasti (Obr. 21), proto se často hovoří i o čtvrtém stupni tzv. **socio-ekonomickém** suchu.



**Obr. 21** Časová souslednost a základní atributy meteorologického, zemědělského a hydrologického sucha. (Zdroj: National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, U.S.A.).

Pokud chceme rozumět suchu, musíme vědět, že má čtyři na sebe navazující stupně. První z nich je označované jako *meteorologické sucho*, což je stav, kdy je méně oblačnosti a srážek, nebo jsou vyšší teploty, které způsobují vyšší výpar. Většina populace označuje tento stupeň za krásné počasí a v době dovolené ho většinou vítá. Ani pro přírodu a zemědělce to nemusí nic zlého znamenat, dokonce najdeme i pozitivní rysy výskytu meteorologického sucha, např. na jaře, kdy je po zimě většinou dostatek vody v půdě proschnutí povrchové vrstvy umožní vjezd techniky na půdní hony a zahájení jarních prací, či v době sklizně, kdy probíhá sklizeň zemědělských plodin je tento stav i vítaný. Poměrně rychle se může sucho posunout do druhého stupně, nazývaném *půdní sucho*. Někdy také zemědělské, agronomické, lesnické apod. Množství vody v půdě začíná limitovat rostoucí vegetaci. Právě tento typ sucha je monitorován na [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), kde najdete, intenzitu sucha hodnocenou jako odchylku množství vláhy od dlouhodobého průměru (1961–2010) na daném místě a dni až do jednoho metru pod povrchem v detailním rozlišení pro celou ČR. Tohoto stavu si začínají všimnout média, neboť

tento typ sucha začíná vyvolávat vrásky nejen u první postihnuté skupiny = zemědělců a lesníků, ale každého, kdo bydlí na venkově, jezdí na chatu či se stará alespoň o kousek zahrádky. Třetí stupeň sucha se nazývá *hydrologické* a to je typické tím, že pozorujeme pokles hladin povrchových vod (průtoky řek, hladiny rybníků, přehrad, nádrží apod.) a dozvídáme se o poklesu zásob vody v mělkých podzemních rezervoárech. A to je problém již všech, neboť začíná být ohrožena nejen kvalita, ale i dostupnost vody, včetně vody pitné. Okruh postihnutých osob se rozšiřuje na každého z nás, i když většinou voda z kohoutku stále teče. Obavy se projevují i v průmyslových firmách, u starostů a všech dalších napojených na lokální menší zdroje včetně studní. A začínají reagovat příslušná ministerstva a politici. Vždyť zemědělské sucho, přímo postihuje cca 2 % obyvatel (zemědělců), ale u nedostatku pitné vody se jedná o naprosto jiné procento. Jsou to právě politici, kteří jsou zodpovědní za legislativu, bez které žádný celospolečenský problém, tedy ani sucho, nelze systémově vyřešit. Jen pro doplnění to jsme již ve čtvrtém a posledním stupni sucha s názvem sucho *socioekonomické*, které se projevuje zmíněným sociálním napětím a ekonomickými ztrátami (např. výnosy plodin, lodní doprava) nejen v zemědělství. Mimochodem v roce 2018 bylo jen v oblasti jižních Čech tisíce cisternových rozvozů pitné vody do vodojemů, aby z kohoutků nepřestala téct. I náklady na tuto zásadní pomoc jsou projevem čtvrtého stupně sucha.

## 6.1 Stav sucha v ČR

Tento materiál shrnuje příčiny zemědělského a lesnického sucha a jeho dopadů. Analyzuje průběh předcházejícího období a představuje očekávaný vývoj. Přináší přehled možných zlepšujících opatření i vybrané argumenty, proč se je dosud nepodařilo realizovat.

### **Základní desatero o současném a historickém suchu na našem území**

1. Za posledních deset let (2011–2020) se v ČR vyskytla řada výraznějších epizod půdního sucha s dopady na krajinu i hospodářství, především na zemědělství, ovocnářství a lesnictví. V rámci tohoto období se vyskytla nepřerušovaná epizoda sucha od dubna roku 2015 do dubna roku 2020, kdy byla



po celou dobu zemědělským a lesnickým suchem zasažena alespoň část našeho území.

2. Podle dostupných záznamů (1500–1803 proxy data = nepřímé údaje umožňující rekonstrukci klimatických podmínek, od 1803–2020 měřená meteorologická data) byla epizoda 2015–2019 na našem území skutečně mimořádná a velmi pravděpodobně šlo o nejsušší 6leté období za posledních 500 let. Nejnovější výzkum na základě proxy dat izotopové analýzy kyslíku a uhlíku v celulóze dřevin sledované období prodlužuje až do roku 100 před naším letopočtem. I podle této analýzy šlo o sucho mimořádné.

3. Z krajiny mizí voda: klesá hladina podzemních vod mělkých vrtů i průtok v řekách, zanikají menší potoky, lokálně kolísá zásobování obyvatel pitnou vodou. Potřeba vody v suchých a teplejších obdobích zvyšuje nároky na vodohospodářské soustavy a vodní hospodaření.

4. Došlo k rozpadu významné části smrkových porostů. Zejména ty, co byly pěstované v nižších nadmořských výškách, byly oslabeny suchem a následně postiženy lýkožroutem smrkovým (kůrovcem).

5. Hlavní příčinou čím dál častějšího sucha je měnící se klima. Konkrétně zvyšující se teplota a následně výpar, který způsobuje, že i roky srážkově normální se stávají suššími.

6. Průměrná roční teplota na území ČR se za posledních 200 let zvýšila cca o 2,1 °C. Množství srážek je přitom i přes pokles v posledních letech dlouhodobě stejné. Mění se však jejich variabilita – jsou intenzivnější a střídají je delší období bez srážek.

7. Vyšší teplota s sebou přináší nejen vyšší výpar, mírnější zimy a dřívější začátky jara a léta, ale i delší vegetační období. Dochází tak k nesouladu mezi potřebami rostlin a dostupností vody po celé vegetační období. Rostliny tak dříve vyčerpají vodu a opět hrozí sucho.

8. Negativní dopady klimatických trendů v našich podmínkách zesiluje nevhodné hospodaření, nejen na zemědělské půdě, ale i v lesích.

9. Území našeho státu je pomyslnou „střechou Evropy“ – z pohledu vodních zdrojů je odkázáno jen na srážky. Zcela výjimečně najdeme řeku, která k nám přitéká a vodu přivádí (např. Rakouská Dyje či malý úsek Ohře z Německa).

10. Zmírnění negativních dopadů lze dosáhnout pouze razantními zásahy – tedy zodpovědnou klimatickou politikou: redukcí emisí a adaptací krajiny. Je ale nepochybné, že efekty snažení budou nastupovat relativně pomalu a vyžádají si značné úsilí nejen této, ale i další generace. Z hlediska okamžitého přínosu je zásadní vhodné zacházení s krajinou – tj. s půdou a vegetačním pokryvem. Na tomto místě je třeba zdůraznit, že vegetace a půda (zemědělský a lesní sektor) má mimořádnou úlohu při poutání atmosférického CO<sub>2</sub> – hlavního skleníkového plynu, čímž přispívá ke zmírňování efektu globální změny. Sucho tak i výrazně oslabuje schopnost krajiny plnit tuto důležitou mitigační (preventivní) funkci.

Epizody sucha budou nastávat i v budoucnu. 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. Adaptace na změnu klimatu je proto nevyhnutelná, ale současně jsou její kapacity omezené, a s rostoucí intenzitou klimatické změny i technicky těžko proveditelná. Bez globálního snižování emisí, včetně našeho příspěvku, je strategie prosazující „národně“ pojaté adaptace odsouzena v dlouhodobém pohledu k neúspěchu

## **6.2 Dopady zemědělského sucha**

Dopady měnícího se klimatu v sektoru zemědělství jsou spojeny především se zvyšující se teplotou, což je současně jeden z hlavních faktorů řídící vodní bilanci. Zdokumentované oteplení (teplota vzduchu) na území České republiky činí za období 1981–2020 asi 1 °C. I z dalších kapitol je zřejmé, že především nižší nadmořské výšky budou stále častěji ohrožené epizodami zemědělského sucha s výraznými dopady na formování výnosotvorných prvků jednotlivých plodin a následně na kvantitu výnosů a kvalitu produkce. Jejich produkční potenciál se bude

trvale snižovat oproti vyšším nadmořským výškám. Z pohledu výrobních oblastí poklesne produkční potenciál kukuřičné i řepařské a vzroste v oblastech obilnářské a bramborářské, kde kromě sněhové pokrývky zabraňující vyzimování ozimů bude i relativní dostatek srážek v jarním období. Dopady sucha na zemědělství lze a bude možné pozorovat v podmínkách České republiky v průběhu celého roku. Jak se budou projevovat klíčové parametry v průběhu jednotlivých ročních období?

### **6.3 Dopady zemědělského sucha na výnosy polních plodin**

Sucho patří mezi agrometeorologické extrémy, které mají v zemědělství nejvýznamnější dopady, jak z hlediska kvantity, tak i kvality produkce 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 situace, 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.

Reakce rostlin na stav sucha, kdy je půdní vláha v suboptimálním množství, spočívá v komplexu procesů. Tyto závisí na řadě faktorů, jako jsou konkrétní míra dostupnosti půdní vláhy, 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

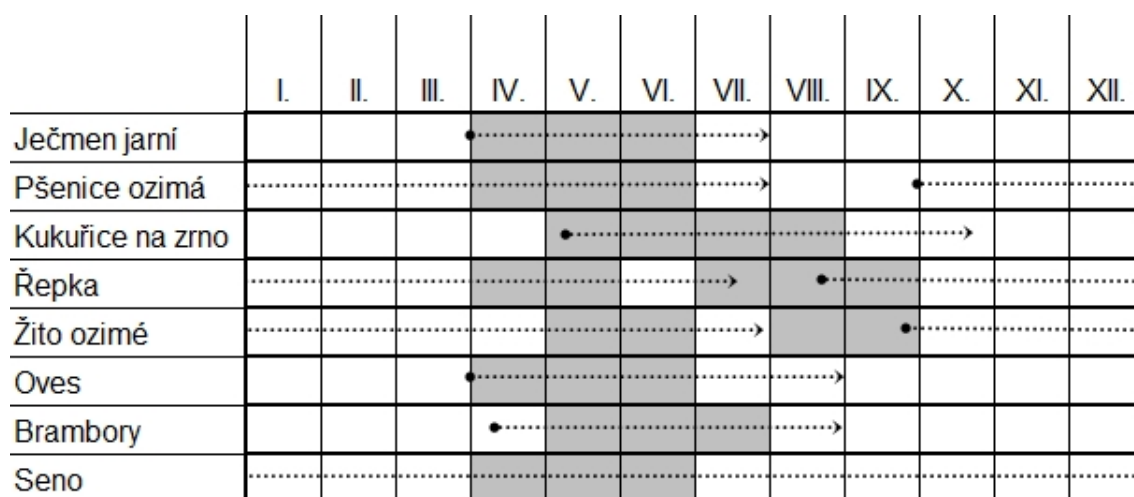
se mění poměr růstu nadzemních částí a kořenů a mezi obranné reakce patří i redukce odnožování. Dochází k vadnutí a stáčení listů až k jejich odumírání. Toto probíhá nejprve od spodních nejstarších listů směrem k nejmladším, což lze využít k diagnostice vlivu sucha. Postupně mohou usychat odnože, dochází 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). Rostliny získávají zpočátku tmavé, později bledě zelené až žlutavé zbarvení, předčasně opadávají listy, případně květy a plody. Násada květů a plodů je rovněž slabší. 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, které 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.

Vědecké 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 vláhy a rozložení srážkových úhrnů i chodu teplot. Srovnání citlivých období k dopadům sucha přináší Obr. 22. Příklad silné vazby mezi dostupností vody od května do srpna (vyjádřeno jako suma aktuální evapotranspirace = ETa) a výnosy silážní kukuřice zachycuje Obr. 23. Jedná se o vyhodnocení na příkladu výnosů v letech 2011 až 2015 ze 4 lokalit napříč ČR.

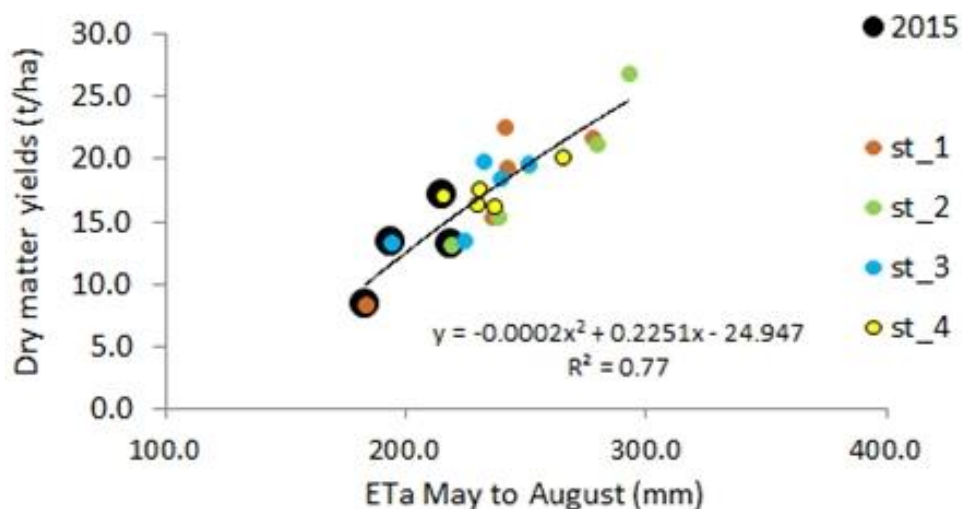
Dalším činitelem, který ovlivňuje rostlinnou produkci, je nárůst teplot vzduchu. Zatímco v chladnějších oblastech mohou převládat pozitivní dopady zvýšené teploty (díky posunu blíže k optimálním podmínkám), v případě již teplých regionů jsou dopady na stávající tradičně pěstované plodiny a odrůdy často 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. 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. 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.



**Obr. 22** 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. 23** 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)

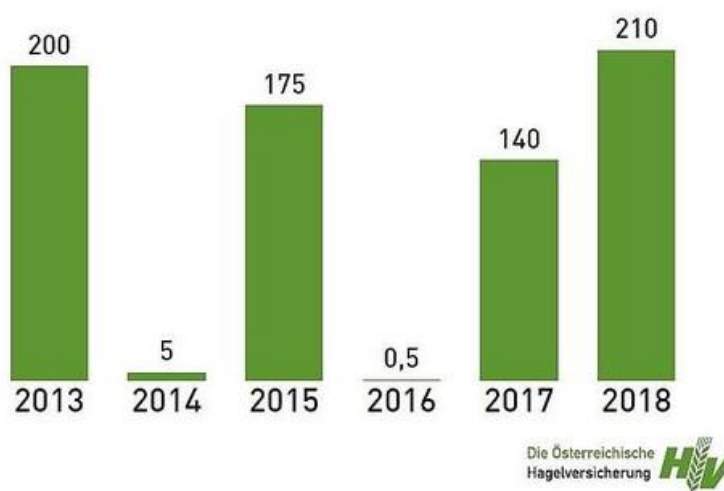
Výše uvedené teze o závažnosti dopadů sucha potvrdilo i několik posledních ročníků, jako 2015, 2017 či 2018, kdy dokonce řada zemí Evropy přistoupila, vzhledem k rozsahu škod, ke kompenzačním platbám pro zemědělce. Tyto situace nastaly i v České republice, kdy bylo např. za škody v roce 2015 pro pěstitele 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 alokovány 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 půdního a zemědělského

sucha, přičemž tyto se opíraly o výstupy portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) (viz kapitola 6.5.1). Ke kalibraci statistických metod pro mapování dopadů sucha bylo jednak využito hlášení zpravodajů portálu [intersucho.cz](http://intersucho.cz) doplněné o plošné dotazování dalšího vzorku zemědělců a následně provázané s dalšími výstupy portálu [intersucho.cz](http://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 (Obr. 24), 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. 24** 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

## 6.4 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. 25) 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. 25** Hladový kámen v Děčíně s historickými záznamy a značkami dokumentující nízké stavy vody v Labi

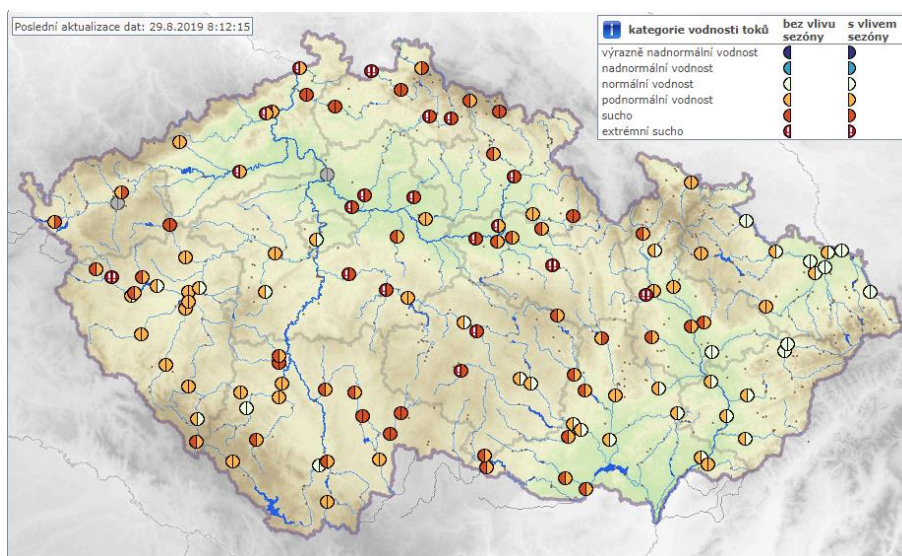
**Hydrologické sucho** je charakterizováno nedostatkem zdrojů povrchových a podzemních vod (nižší průtoky ve vodních tocích, hladiny jezer a nádrží, stav hladiny ve vrtech a vydatnosti pramenů). Nedostatek vody je zjišťován na vodoměrných stanicích, terénním měřením v potocích a odečtem ve vrtech. Aktuální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

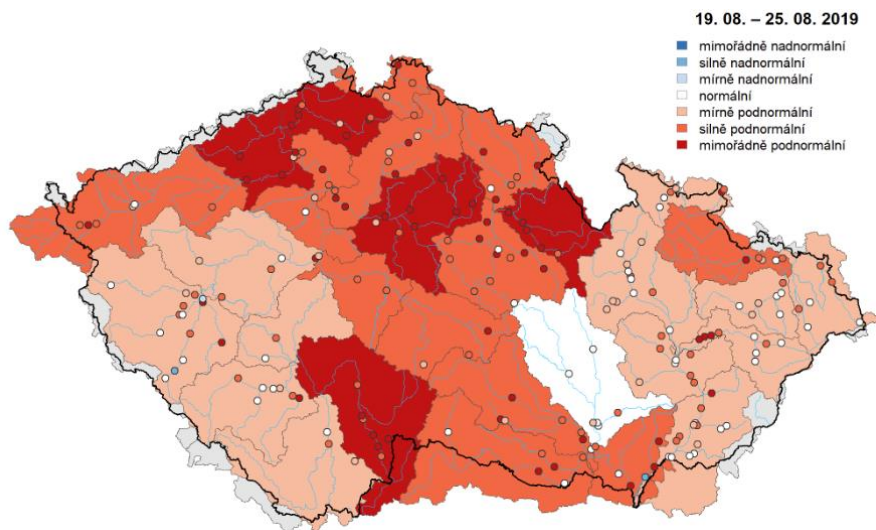
Během období hydrologického sucha dochází k poklesu průtoků vodních toků. Z hlediska zemědělství může dojít k omezení možnosti odběru vody k závlahám z vodních toků, výraznému poklesu vydatnosti či dokonce vyschnutí některých pramenů, menších toků a mělkých vrtů. Důležité je si uvědomit, že naše



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.

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 pokračovalo i v průběhu roku 2019 (Obr. 26) a vyvrcholilo v červenci, kdy byla situace na vodních tocích a vrtech dokonce horší než v roce 2018. Od roku 2020 se situace v mělkých vrtech postupně zlepšuje.





**Obr. 26** Ukázka hodnocení vydatnosti toků (nahore) a stavu hladiny vody v mělkých vrtech (dole) na konci srpna 2019 (zdroj: [www.portal.chmi.cz](http://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.

## 6.5 Intersucho.cz

Projekt Intersucho ([www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)) byl inspirován potřebou vytvořit monitorovací a předpovědní systém zemědělského sucha v ČR, který by poskytoval informace jak odborné veřejnosti včetně pracovníků v zemědělské prvovýrobě, stejně jako orgánům státní správy. Pro jeho spuštění bylo nutné zajištění podrobných půdních, výškopisných, land-use a meteorologických údajů. 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 stovek do systému zapojených expertů hodnotící lokální výskyt sucha a jeho dopady na výnosy polních plodin. Od roku 2015 poskytujeme zcela stejné informační a předpovědní služby pro Slovensko a od roku 2022 se metodika monitoringu a předpovědi sucha portálu [intersucho.cz](http://intersucho.cz) aplikuje na platformě Windy.com po celý svět. Kdokoliv může kdekoliv sledovat intenzitu zemědělského sucha, půdní vlhkost (%) i deficit vody v půdě od dlouhodobého normálu (mm) pro dvě půdní vrstvy cm 0-40 cm resp. 0-100 cm.

### 6.5.1 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 specifiky 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](http://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) 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. 27.

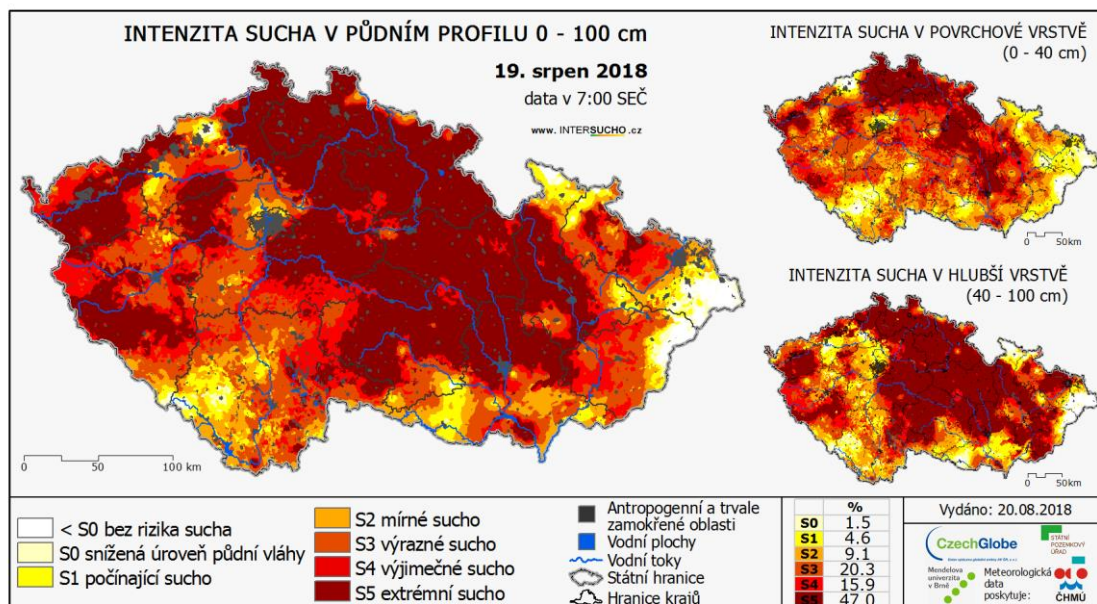
Kategorie	Popis	
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhy je větší než hodnota 30. percentilu	
S0 – snížená úroveň půdní vláhy	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah 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. 27** Stupnice intenzity sucha a barevná škála požitá 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. 28. Kromě mapového znázornění obsahuje i vyhodnocení procenta zasaženého území jednotlivými kategoriemi intenzity sucha v profilu 0–100 cm. Kromě map zachycujících situaci k danému momentu (nejčastěji



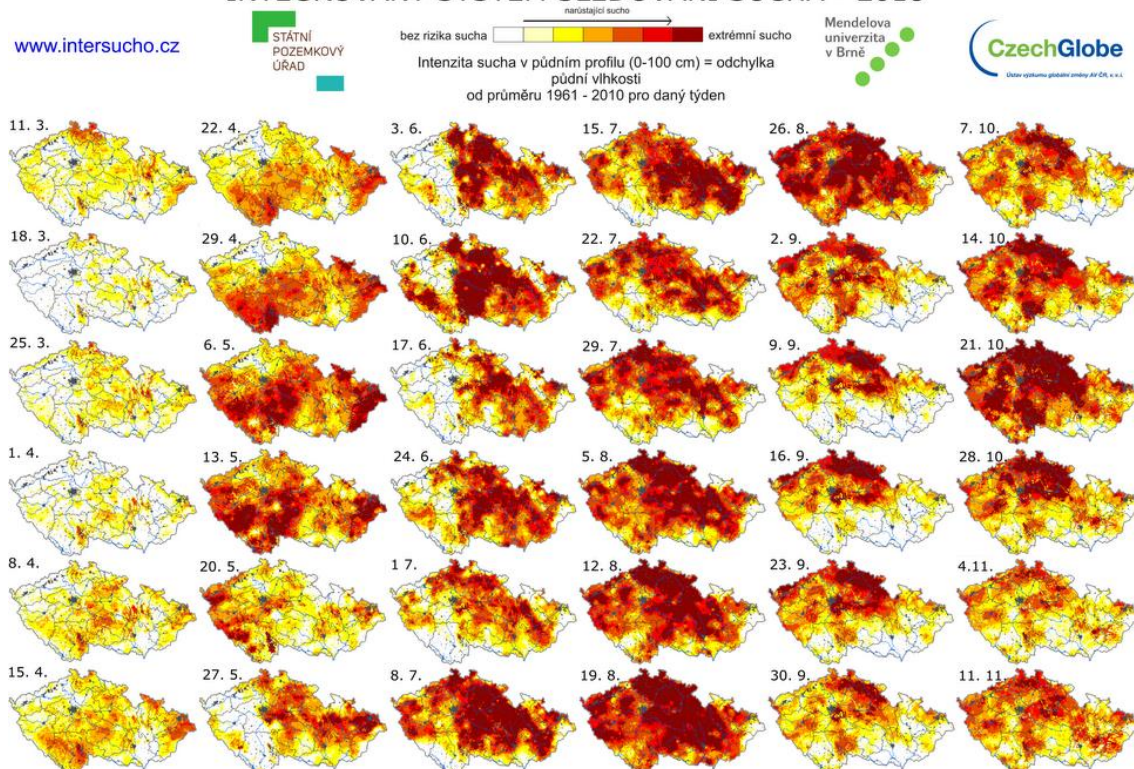
v pravidelném týdenním kroku), je časový vývoj rozsahu zasaženého území v čase na úvodní straně portálu intersucho.cz prezentován pomocí grafu (Obr. 30), který kromě vývoje za uplynulé období uvádí i výhled na následující dny na základě dostupné předpovědi počasí.



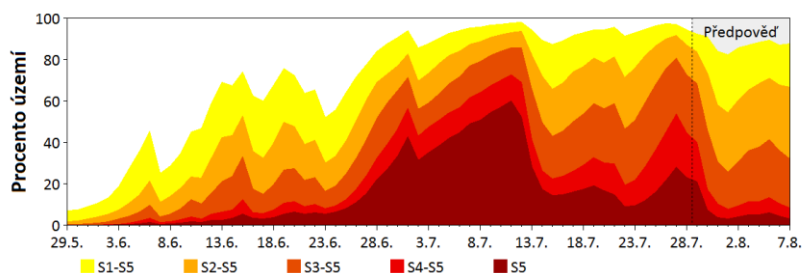
**Obr. 28** Intenzita sucha v různých hloubkách půdního profilu vyhodnocená pro Českou republiku pro 19. 8. 2018. Tabulka vpravo dole zachycuje procento zasaženého území danou intenzitou sucha v profilu 0–100 cm (zdroj: www.intersucho.cz)

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. 29.

## INTEGROVANÝ SYSTÉM SLEDOVÁNÍ SUCHA - 2018



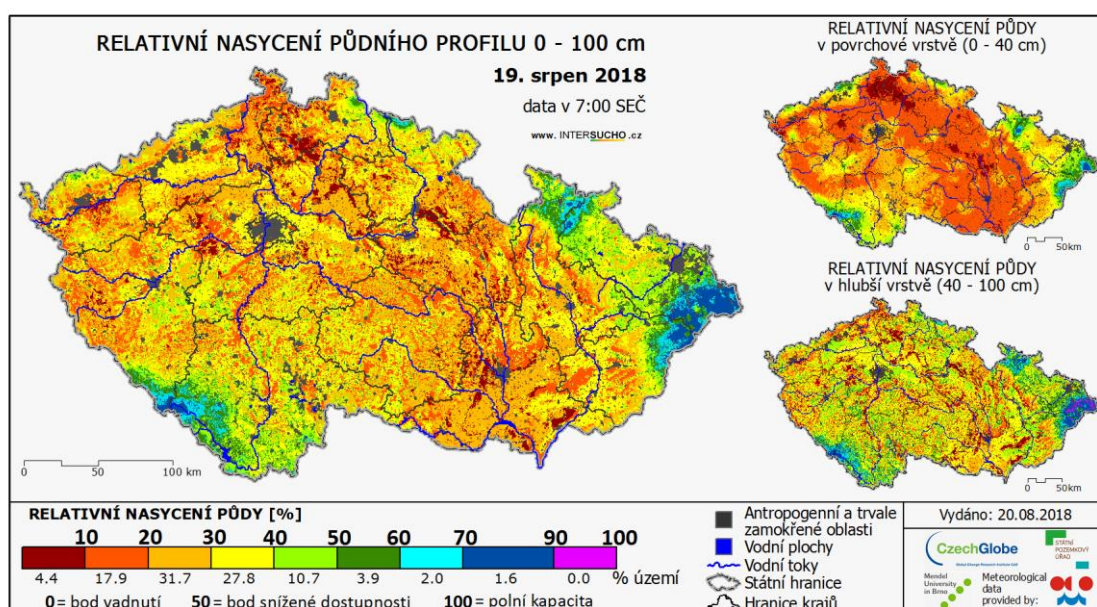
**Obr. 29** Časový průběh výskytu sucha v mimořádně suchém roce 2018 (zdroj: www.intersucho.cz)



**Obr. 30** 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](http://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.

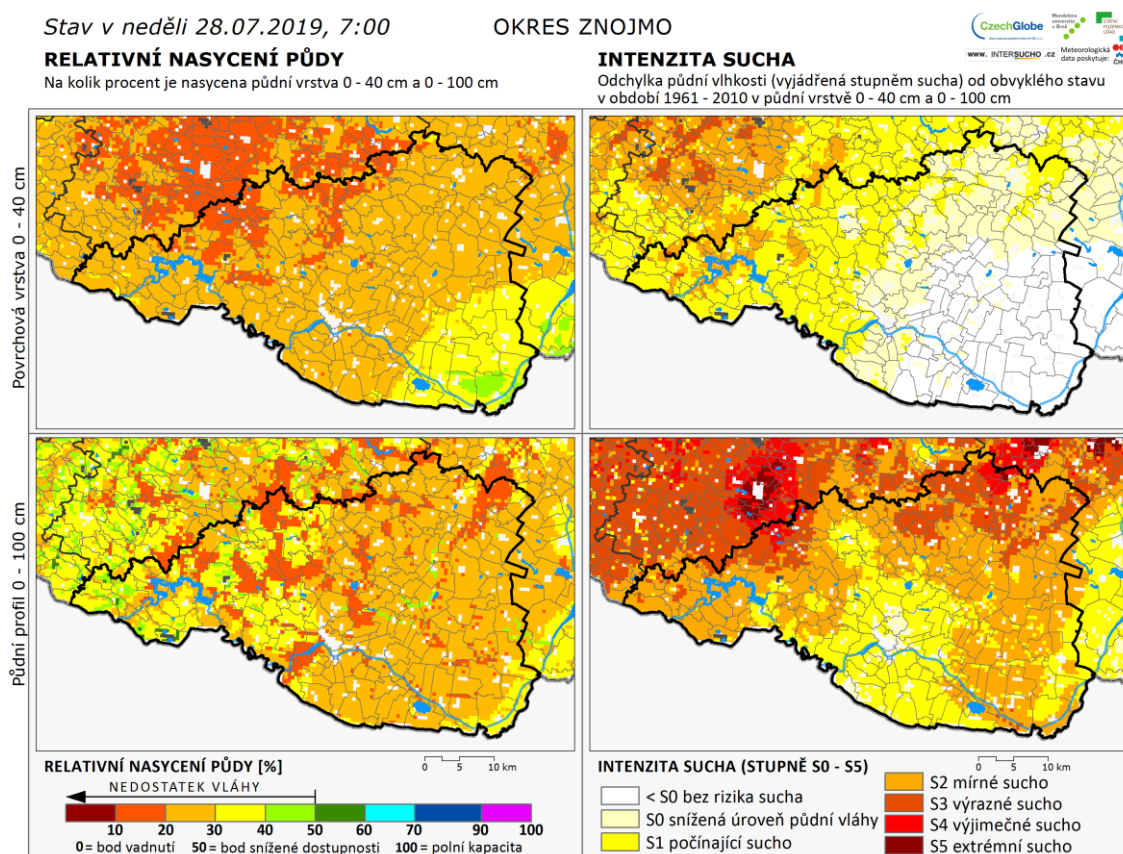


**Obr. 31** Relativní nasycení půdy napříč Českou republikou k 19. 8. 2018 pro hloubky 0–100cm (velká mapa), 0–40 cm a 40–100 cm (malé mapy), (zdroj: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz))

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 intersucha.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. 31 (včetně údajů, kolik procent území spadá do dané kategorie z hlediska profilu 0-100 cm).



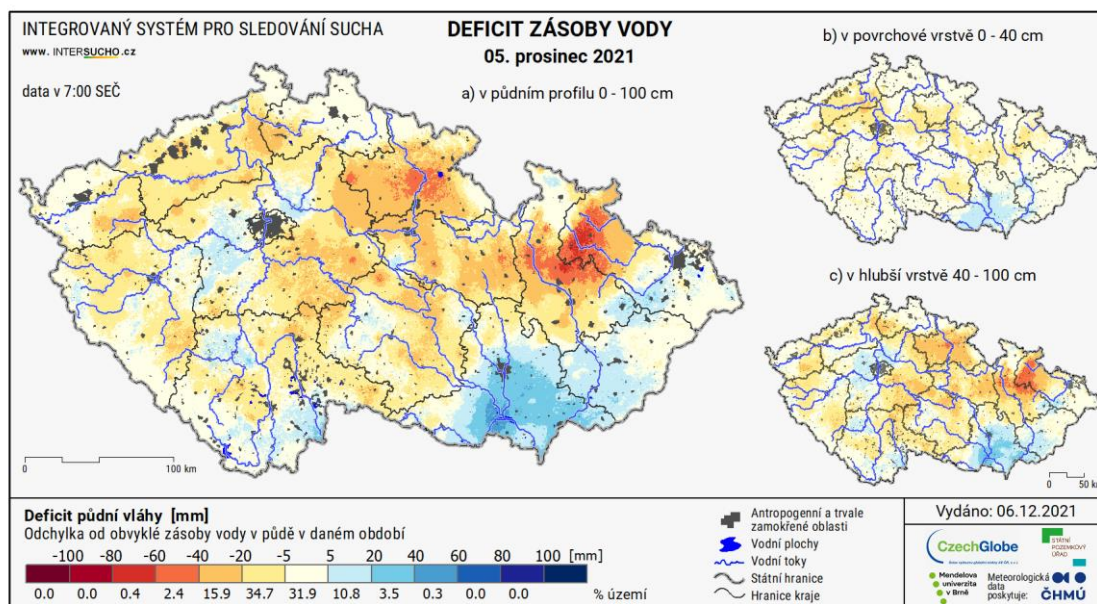
Díky vysokému prostorovému rozlišení vstupních dat (meteorologická i půdní) a procedur výpočtů modelu půdní vlhkosti, kdy jsou údaje o zásobě vody v půdě odhadovány pro jednotlivé čtverce 500 x 500 m napříč celou Českou republikou, jsou v rámci monitoringu pravidelně (v týdenním kroku) připravovaná i detailní mapy situace v jednotlivých okresech. Příklad pro okres Znojmo z 28. 7. 2019 je uveden na Obr. 32, 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.



**Obr. 32** 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](http://www.intersucho.cz))



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 vláhly pro plodiny. Jedná se například o situace, kdy je ve vyšších polohách nebo chladnějších částech roku vyhodnocena mírně nižší, ale v porovnání se zbytkem republiky, či jinou částí roku, stále vysoká relativní vlhkost půdy, jako výjimečná 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 vláhly, 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 sucha indikováno je. Jedná o případy, kdy s vysvětlením a interpretací jednotlivých map a produktů nebývají problémy.



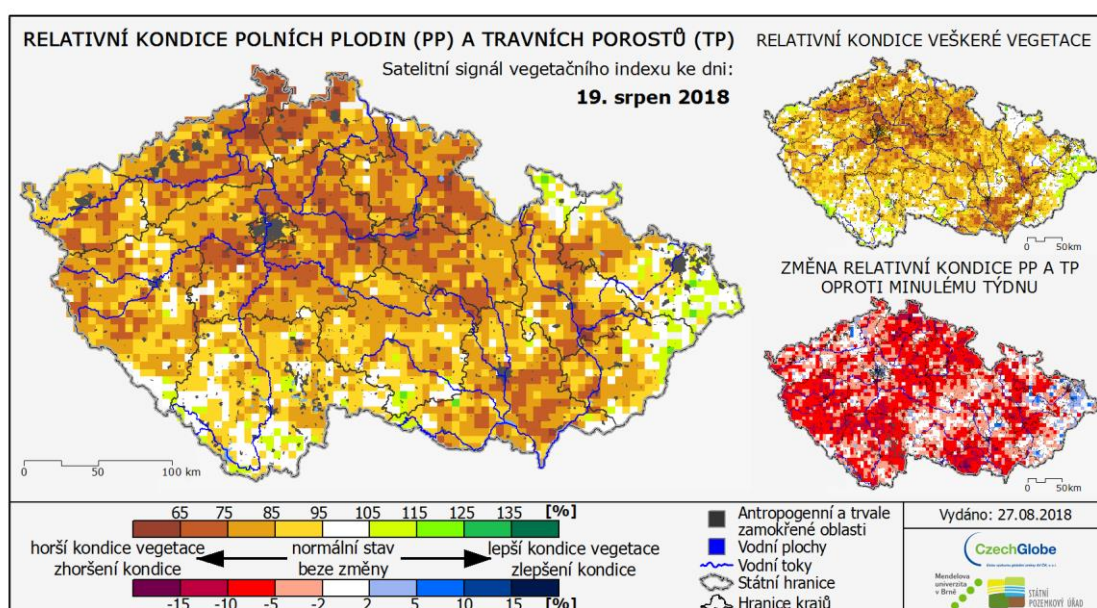
**Obr. 33** Deficit půdní vláhly jako odchylka v mm od průměru 1961-2010. (zdroj: www.intersucho.cz)

Z hlediska srozumitelnosti, nejen pro zástupce zemědělské praxe, je cenným zdrojem informací indikátor hodnotící deficit zásoby vody v půdním profilu (Obr. 33). 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.

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“. 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.

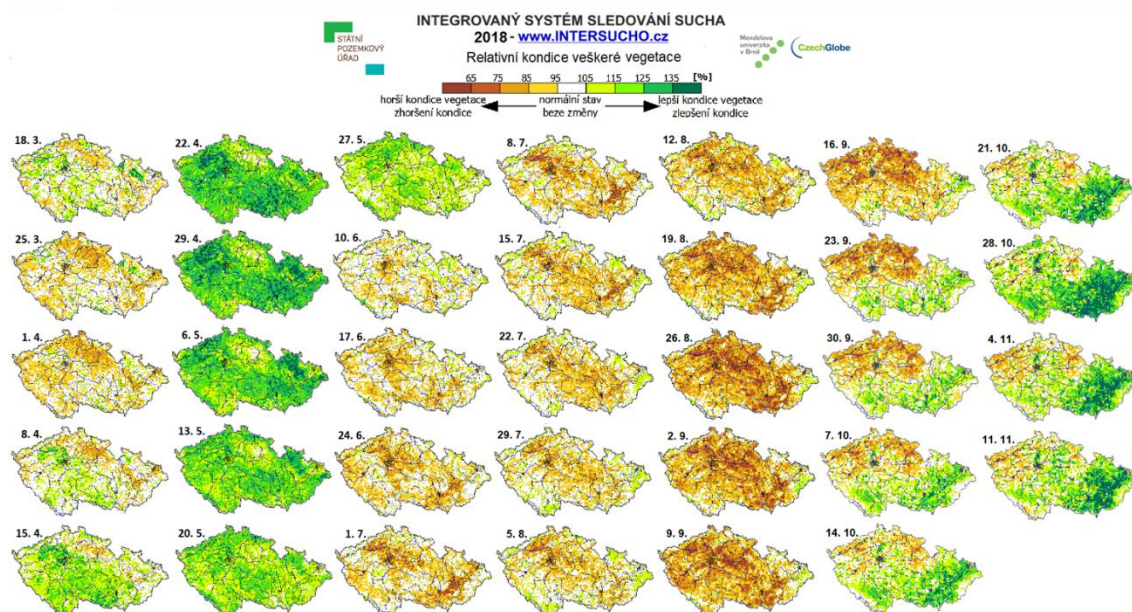
Další metodou, která je nezávislá jak na pozemních meteorologických měřeních, tak i na síti zpravodajů, je hodnocení sucha pomocí tzv. dálkového průzkumu Země se zaměřením na snímání stavu vegetace za využití satelitní techniky. Obecně existuje celá řada senzorů, satelitních systémů, ale také konkrétních 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. 34)

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.



**Obr. 34** 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](http://www.intersucho.cz))

Rok 2018 byl z pohledu družice Terra skutečně učebnicovým (Obr. 35). Prakticky nejteplejší duben (+5,4 °C od normálu 1961–1990) od vynálezu teploměrů způsobil bouřlivý nástup vegetace (zelená barva dubnových týdnů). 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.



**Obr. 35** Vývoj relativní kondice polních plodin a travních porostů během suchého roku 2018

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).

### **6.5.2 Předpovědní funkce**

Portál [www.intersucho.cz](http://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 projevil 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.

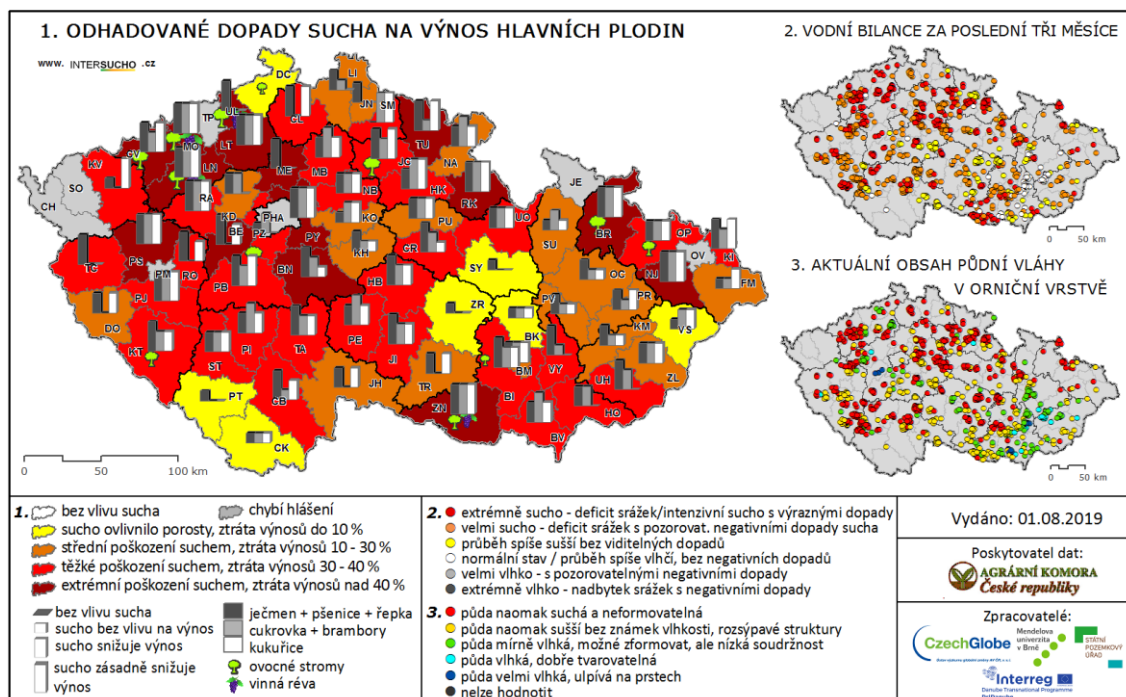
Problematické jsou zvláště srážky, u kterých nepřesnost stoupá především v letních měsících za bouřkových situací, kdy současné numerické předpovědní modely nejsou schopny přesně určit místo a čas výskytu srážek. Celkově modely nadhodnocují množství srážek spadlých na celé území České republiky. Mezi 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.

### **6.5.3 Jak se zapojit do monitoringu – benefity pro zpravodaje**

V rámci monitoringu sucha na portálu [www.intersucho.cz](http://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 vláhly 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



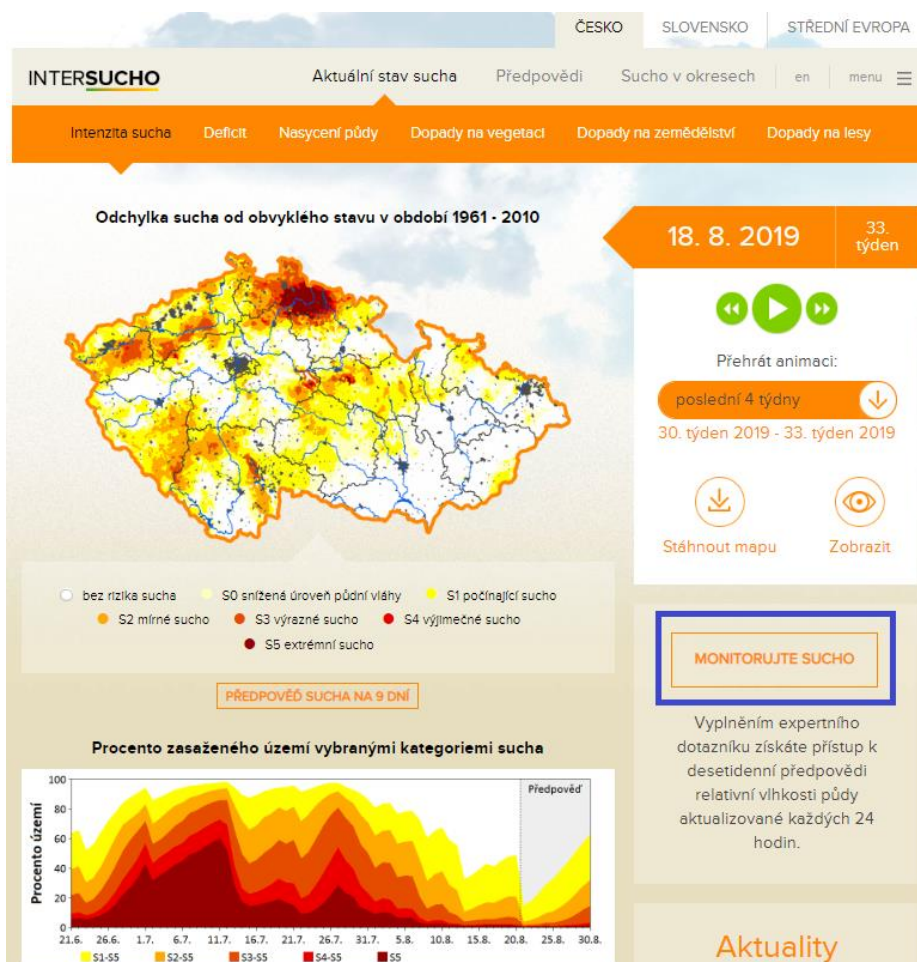
reportéry poskytování přímo z jejich lokality a v pravidelném týdenním kroku. Jedná se o velice aktuální a o praxi opřenou informaci, která v případě krizových situací může usnadnit jejich řešení. Současně jde o způsob jak korigovat informaci o suchu v místech, kde se odhad portálu [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) 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. 36).



**Obr. 36** Mapa Dopadů do zemědělství vzniklá na základě vyhodnocení zpravodajů intersucha 1.8.2018. (zdroj: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz))

Pro zájemce o zapojení se do monitoringu sucha na portálu [intersucho.cz](http://intersucho.cz) je postup velice jednoduchý. Online dotazník je dostupný přímo na stránkách (zde: [www.intersucho.cz/dotaznik](http://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 vláhly. 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. 37). Po kliknutí na odkaz se zobrazí přímo stránka dotazníku.



**Obr. 37** 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. 38). 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.

## Expertní posouzení dopadu sucha

Zveme Vás do týmu expertních hodnotitelů, kteří v rámci projektu Intersucho monitorují průběh a dopady sucha aktuálně a operativně v celé České republice. Přidejte se k více než stovce již aktivních zpravodajů, kteří v týdenním kroku přinášejí informace o tom, jak hodnotí výskyt sucha a jeho dopady na plodiny.

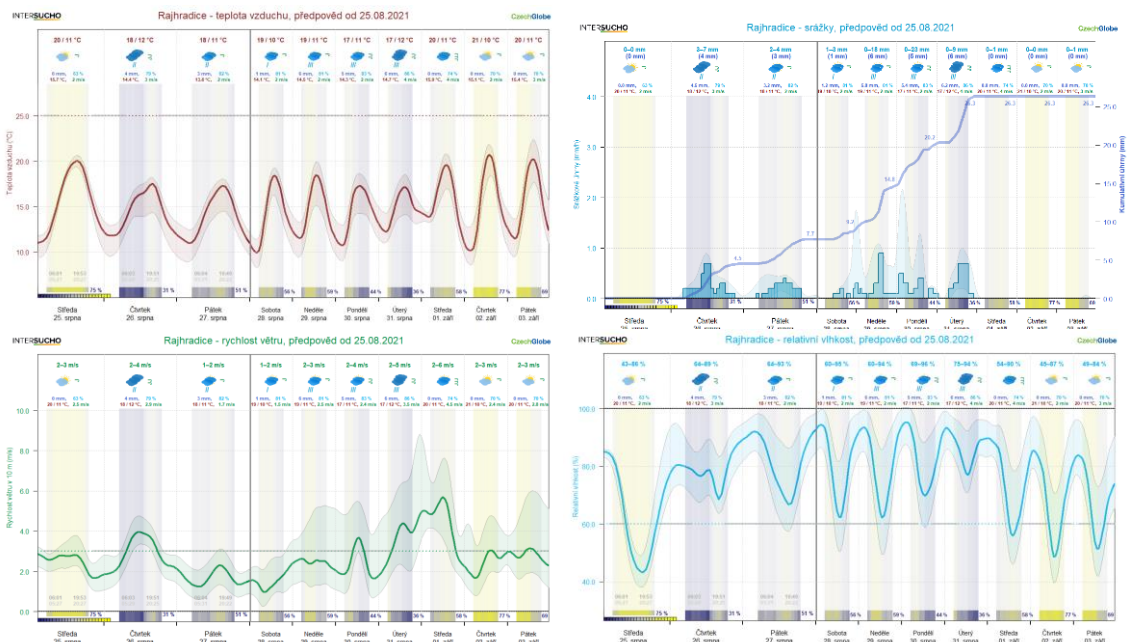
Děkujeme za Vaši spolupráci.

The screenshot shows a web interface for a survey. At the top, there are five buttons: 'Nový dotazník', 'Vyplněné dotazníky', 'Bonusy', 'Profil', and 'Odhlásit se'. Below the buttons, the date '1.5.2022' is displayed. A message states: 'Dotazník vyplňují k datu poslední neděle (informace o datu). Přečtěte si jak správně vyplňovat dotazníky.' Below this, there are three dropdown menus: 'Oblast hospodaření' with the placeholder 'Vyberte oblast hospodaření', 'Katastrální území \* (přečtěte si jak zvolit katastr)' with the placeholder 'Vyberte váš okres', and another dropdown menu with the placeholder 'Vyberte váš katastr'.

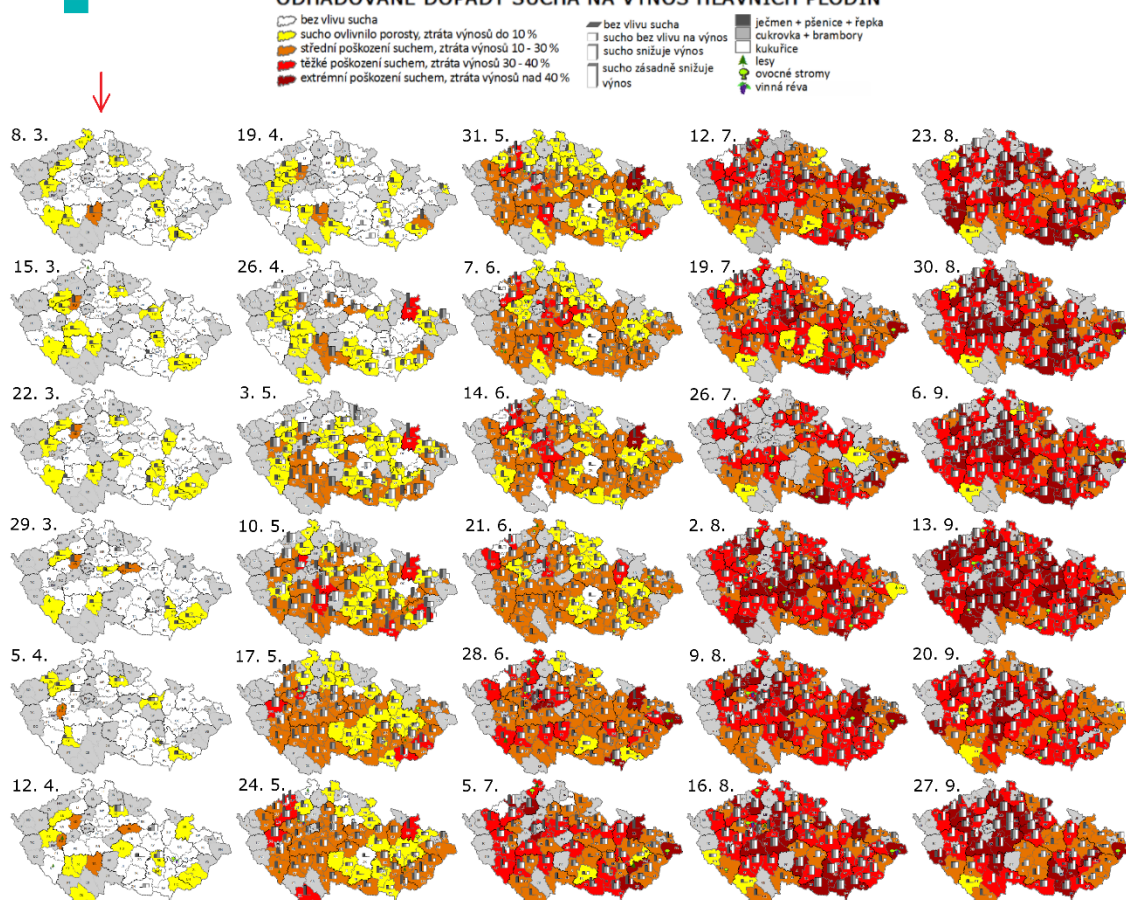
### Obr. 38 Náhled dotazníku pro první vyplnění

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. 39). Jedná se opět o bonus pouze pro aktivní zpravodaje, kteří odesílají pravidelná hlášení.





**Obr. 39** Ukázka denně zasílané lokální detailní předpovědi pro teplotu, srážky, rychlost větru a relativní vlhkost vzduchu pro zpravodaje portálu intersucho.cz



**Obr. 40** Dopady sucha na výnosy v čase (od 8. 3. do 27. 9. 2018) podle expertů zapojených do systému [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)

Posouzení dopadů (Obr. 40) z roku 2018 jasně dokumentuje význam zapojení expertů. Postupně „červenající“ se území dokazuje vliv narůstajícího zemědělského sucha na výnosy polních plodin. Jedná se o nezávislý pilíř hodnocení výskytu a dopadů sucha, který s předcházejícími přístupy (modelováním vodní bilance a využitím satelitu Terra) znázorňuje časoprostorové působení sucha na zemědělskou produkci.

#### 6.5.4 Slovensko a střední Evropa

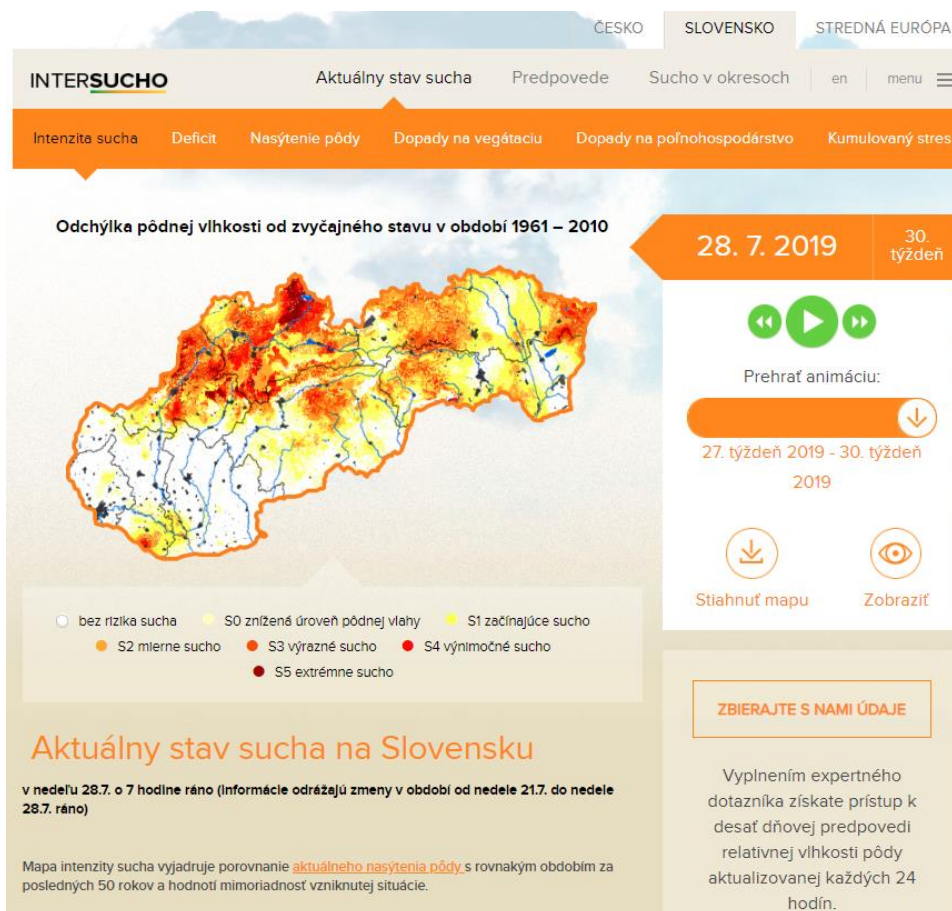
Využití dostupných metod monitoringu zemědělského sucha není omezeno jen na území ČR. Jejich aplikace v dalších regionech je závislá zejména na dostupnosti potřebných vstupních dat, dále na náročnosti procedury přípravy

indikátorů, poptávce a přínosu pro uživatele v ČR, případně v zahraničí. Odvozované ukazatele stavu sucha v okolních zemích nemusí sloužit jen uživatelům z daných 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. 41), Deficit, Nasycení 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.

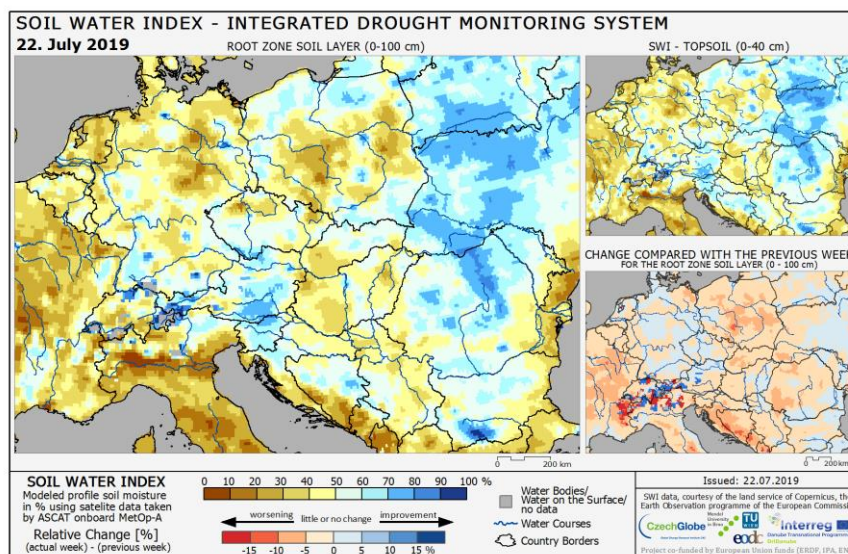
Kromě Slovenska jsou v rámci intersucho.cz hodnoceny a uživatelům zpřístupňovány prostorové ukazatele zemědělského sucha také pro všechny zbývající okolní země prostřednictvím rozšířeného území střední Evropy. Vzhledem k nedostupnosti údajů z kompletní a dostatečně husté sítě pozemních meteorologických 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 vláhly (ukázka je uvedena na Obr. 42), o dostupnosti a využívání vody vegetací informuje ukazatel Vodní stres (Obr. 43) a o dopadech průběhu podmínek daného ročníku, včetně případného výskytu sucha, na stav fotosyntetického aparátu a množství zelené biomasy vypovídá opět Relativní kondice vegetace, 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.

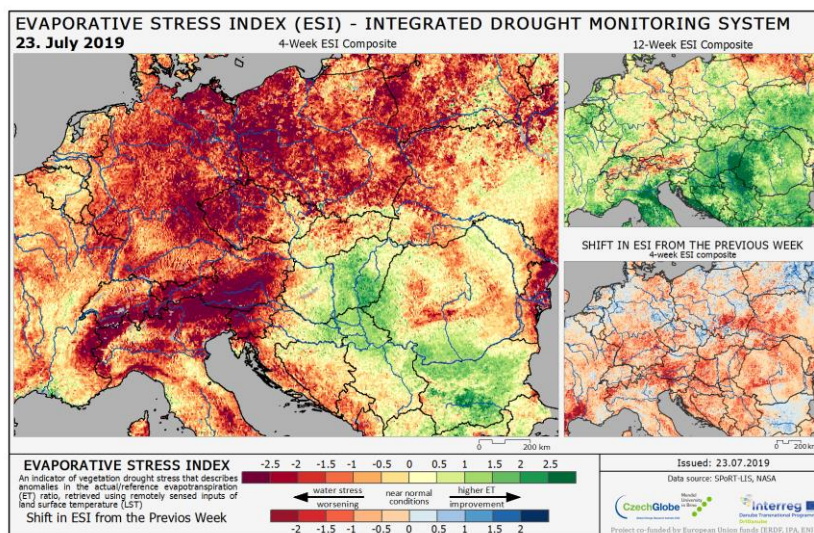


**Obr. 41** Zobrazená intenzita sucha pro území Slovenska ke dni 28. 7. 2019 v rámci základního uživatelského rozhraní (zdroj: www.intersucho.sk)





**Obr. 42** Sada map pro Index půdní vláhly 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 vláhly pro vrstvu 0–40 cm a pravá dolní mapa změnu v půdním profilu oproti předchozímu týdnu, (zdroj: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz))



**Obr. 43** 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](http://www.intersucho.cz))

Otázky:

- Jaké jsou čtyři fáze výskytu sucha, resp. jeho členění a časová souslednost.
- Přehled vývoje sucha v ČR – desatero faktů.
- Dopady zemědělského sucha.
- Může mít sucho i pozitivní dopad v průběhu vegetační sezóny? A pokud ano, kdy.
- Hydrologické a socioekonomické sucho.
- Co najdu na portále [intersucho.cz](http://intersucho.cz) - jaké monitorovací a předpovědní funkce?

## 7. EXTRÉMNI TEPLoty A ROSTLINY

### 7.1 Vysoké teploty a rostliny

Krátkodobě platí, že přes den teplota rostlin bývá o 2-8 °C vyšší než teplota vzduchu, při intenzivním slunečním záření, bezvětří a nízké transpiraci o 10-20 °C, neboť transpirace rostlinu významně ochlazuje. Dlouhodobě platí že pokud se zvyšuje teplota vzduchu dohází k rychlejšímu nárůstu teplotních sum, současně se při vyšších teplotách podporuje dělení buněk, urychluje se tak fenologický vývoj a zkracuje životní cyklus rostliny. Příliš rychlý vývoj, však nemusí být optimální. Dochází tak k paradoxu že vegetační období se díky změně klimatu a zvyšující teplotě prodlužuje, zatímco vegetační cyklus rostliny se zkracuje.

Dlouhodobé trendy ve zvyšování teploty jsou postupné a umožňují alespoň částečnou postupnou adaptaci ekosystémů. Mnohem větší problémy přináší působení teplotních extrémů (vln vysokých teplot), které mají zásadní dopady na reprodukci či produktivitu zemědělských ekosystémů. I když pokud nejsou absolutně devastující dochází k rychlé regeneraci ekosystému. Mírnější zvýšení teploty vede ke zvýšení primární produkce (fotosyntézy) i respirace, a tudíž se tyto procesy v dlouhodobém pohledu na cyklus uhlíku částečně kompenzují, nicméně okamžitý efekt zvýšené teploty je vyšší u respirace než u primární produkce.

Platí rovněž, že zvýšená teplota může zásadně ovlivňovat interakce mezi opylovači a rostlinami, škodlivými organismy a hostitelskými rostlinami apod., přičemž tyto vlivy mohou být jak negativní, tak i pozitivní v závislosti na typu organismů a interakce. Obecně vede zvýšená teplota k vytvoření nového nerovnovážného stavu a tím k nestabilitě ekosystémů. Pro zvýšení plasticity ekosystémů v podmínkách zvyšujících se teplot je proto důležitá vysoká diverzita ekosystémů. Monokulturní systémy jsou výrazně náchylnější než diverzifikované.

Z hlediska vysokých teplot je nutné rozlišovat, zda se jedná o její posouzení na rostliny s typem fotosyntézy C3 a C4. Přibližně 95 % rostlin na Zemi jsou rostliny C3. Cukrová třtina, čirok, kukuřice a většina trav jsou rostliny C4. Rostliny C4 jsou schopné fotosyntézy i při nízkých koncentracích oxidu uhličitého a také v horkých a

suchých podmínkách. Proto je účinnost fotosyntézy v závodech C4 vyšší než její účinnost v závodech C3.

C3 – (rostliny chladnějšího pásma) karboxylačním enzymem je rubisco (karboxyluje RuP2) a prvním produktem fixace uhlíku je tříuhlíkatá kyselina 3-fosfoglycerová (PGA).

- Energeticky méně náročný typ fotosyntézy
- Reagují pozitivněji na změnu CO<sub>2</sub>
- Optimum pro fotosyntézu a aktivní růst je 15-25 °C

C4 – (tropy, subtropy) karboxylační enzym je PEP karboxyláza (karboxyluje fosfoenolpyruvát – PEP) a prvním produktem fixace uhlíku je čtyřuhlíkatá kyselina oxaloctová (OAA).

- Energeticky více náročný typ fotosyntézy
- Reagují mírněji na změnu CO<sub>2</sub>
- Optimum pro fotosyntézu a aktivní růst je 25- 40 °C

Informace o C3 a C4 rostlinách jsou dále zhodnoceny v kapitolách o adaptacích na sucho a dopadů klimatické změny na šíření a výskyt plevelů.

## 7.2 Nízké teploty a rostliny

Nízká teplota inaktivuje enzymy tylakoidní membrány, zpomaluje intenzitu dýchání rostlin, od určitých hodnot dochází k tvorbě ledu a může dojít k mechanickému poškození buněk, k dehydrataci buněk a mezibuněčných prostor. Dochází ke změně fyzikálních a chemických vlastností membrán v buňce, zahušťuje se buněčná šťáva ve vakuolách, narušuje se metabolismus, vznikají toxiny, dochází ke zmrznutí vody v buňce a tvorbě ledových krystalků v buňce. Ty mohou buňku poškodit. Nejdříve se led tvoří ve velkých cévách xylému v listech a stoncích. K odumření buňky dojde často právě vlivem dehydratace. Příčinou úhynu rostliny může být tzv. fyziologické sucho vlivem omezeného nebo přerušeno příjmu vody, kdy transpirace není přerušena (např. zmrzlá půda, kdy voda z ní není přístupná



rostlině). Pokud se vytvoří krystalky jen v mezibuněčných prostorách, nemusí k poškození mrazem vůbec dojít.

Citlivost rostlin k mrazu je různá, mění se i v rámci fenofází. Citlivé rostliny mohou být poškozovány už teplotami  $-2$  až  $-5$  °C. Některé rostliny mohou být poškozeny chladem (teplotou nad °C), kdy nedochází k mrznutí vody. Příznaky až na tvorbu ledových krystalů jsou podobné.

Rostliny mírného pásma jsou na nízké teploty adaptovány, avšak náhlé poklesy teplot jsou škodlivé i pro ně. Různé druhy rostlin jsou k nízkým teplotám různě citlivé, citlivost může být různá i u jednotlivých kultivarů a liší se také v průběhu života rostliny či vegetačního období. Citlivější jsou generativní orgány. Vegetativní orgány jsou méně citlivé, přičemž lze říci, že citlivost k chladu klesá se stářím pletiva, což je dáno vyšším obsahem vody v jeho buňkách.

#### **Symptomy mrazového poškození bylin a bylinných částí dřevin:**

- vodnaté skvrny, později nekrózy, vadnutí a usychání poškozených částí,
- při holomrazech vymrzání jetelovin, řepky a obilovin,
- obnažování a poškození kořenů rostlin vlivem pohybů půdy při jejím promrzání a rozmrzání.

K období s největší pravděpodobností poškození rostlin mrazem je právě jaro, neboť rostliny jsou v době intenzivního růstu nejcitlivější. Pokud se rostliny zotaví, jsou slabší, náchylnější k houbovým infekcím, odumřelé části mohou být druhotně napadány saprofytickými mikroorganismy.

#### **Pozdní jarní (výjimečně časně podzimní) vegetační mrazy**

##### **Podle příčin, vedoucích ke vzniku jarních mrazíků, rozeznáváme typy:**

- **radiační** – inverzní mrazíky, vznikající pouze v ranních hodinách. K jejich vzniku přispívá *jasná obloha* v průběhu noci (je velmi intenzivní vyzařování dlouhovlnné radiace ze zemského povrchu, který se rychle ochlazuje), *nízká*

*relativní vlhkost* (při vysoké vlhkosti např. 80 % by při ochlazování vzduchu došlo při malém poklesu teploty vzduchu k nasycení vodní parou, při které by se uvolnilo latentní fázové teplo, které by působilo proti výskytu mrazíku) a *bezvětrí* či pouze mírná rychlost větru (silnější vítr by „nedopustil“ inverzi, neboť by advekcí či turbulencí promíchal teplejší vyšší a chladnější nižší vrstvy vzduchu). Velmi často se vyskytují v tzv. mrazových kotlinách (Obr. 44).

- **advekční** – nízké teploty vzduchu jsou dosaženy přesunem chladných vzduchových hmot především ze severovýchodu. Tyto mrazíky jsou plošnějšiho charakteru a mohou trvat i několik dní.
- **radiačně – advekční** – kombinace obou příčin.



**Obr. 44** Nesprávně založený ovocný sad (2020) v lokalitě Velké Hostěradky, ze všech čtyř stran je obklopen svahy, po kterých bude studený vzduch stékat do údolí (foto: Zdeněk Žalud)

Jedná se o pěstitelsky velmi nebezpečné situace, kdy i v teplých krajinách v oblasti subtropů jsou ztráty na zemědělských komoditách významné. V našich

podmínkách patří údolí jižní Moravy k typickým obilnářským oblastem, zatímco ovocné stromky či vinná réva by měly být pěstovány v horní části svahů.

Agrotechnická prevence před působením nízkých teplot je tvořena správnou výživou (optimální výživa draslíkem), přičemž např. přehnojení dusíkem vyvolá vodnatost pletiv, rostlina tvoří více bílkovin na úkor sacharidů (často jsou místo odborného termínu "sacharidy" používána zastaralá synonyma: glycidy, cukry, uhlohydráty, karbohydráty, uhlovodany), které jsou jednou z podmínek mrazuvzdornosti. Účinné protimrazové opatření je hnojení chlévským hnojem, při jehož mikrobiálním rozkladu se postupně uvolňuje významné množství tepla.

Nejčastěji jsou poškozované ovocné dřeviny a vinná réva. Ovocné stromy vykvétají v určité časové posloupnosti, kdy mezi prvními se objevují květy meruněk (Obr. 45), mandloní a broskvoní, až o několik dní později rozkvétají třešně, slivoně, hrušně a nejpozději jabloně a vinná réva. I když je to vždy záležitost odrůd. Zvláště u vinné révy jsou rozdíly mezi raně rašícími (např. Chardonnay, Merlot, Frankovka) a pozdně rašícími (např. Cabernet Sauvignon, Tramín červený, Dornfelder) odrůdami velmi výrazné. Často vidíte ve vinici na jaře již řádek s rašícími očky (pupeny) a vedle kmínky odrůdy ještě prakticky v dormanci (francouzsky dormir = spát). Mezi silně ohrožené plodiny patří např. mák, který patří mezi tradiční české komodity.

Jarní mrazy, ale často poškozují i rané brambory, cukrovku a obilniny. Otázkou je regenerace plodin, kdy např. rané brambory ji mají velmi dobrou, ale za cenu ztráty ekonomicky zásadního času.



**Obr. 45** Květy meruněk na přelomu března a dubna 2019, 28.3. pupeny se otvírají, 30.3. plný květ 1.4. první poškození při -4 °C, 3.4. odumření květů a zničení úrody při -7 °C. (foto: Zdeněk Žalud)

### 7.2.1 Metody protimrazové ochrany

V našich podmínkách je pravděpodobně nejefektivnějším způsobem protimrazové ochrany existence zavlažovacích systémů např. v sadech či vinicích. Nepřerušovaná závlahová dávka 2–3 mm/hod je schopna zachránit před mrazovým poškozením porost až do -6 °C.

Při **zavlažování** dochází ke třem procesům:

1. uvolnění latentního tepla při mrznutí vody (uvolnění tepla = zahřátí pletiv, na kterých k mrznutí dochází)

2. zavlažení půdy zvýší její tepelnou vodivost a tím rychlejší přísun tepla z hloubky k povrchu;

3. zvýší se vlhkost vzduchu a tím se částečně zabrání ztrátě tepla vyzařováním dlouhovlnné radiace z půdy.

**Zadýmování** – při kterém se sníží vyzařování z povrchu a dojde tak k vytvoření umělé radiace. Tento způsob je velmi častý např. ve Španělsku, kdy se před radiací mrazíky chrání v ranním období dozrávající pomerančovníky.

**Umělá cirkulace** – při které se rozruší inverzní vrstva promícháním vyšších a teplejších vrstev s nižšími a chladnějšími. Umělá cirkulace je velmi málo využívaný způsob, kdy se pomocí větrných mlýnů promíchává chladnější a teplejší vzduch.

**Příkrývání rostlin** – mulčování, při němž je snahou zvednout aktivní povrch, na kterém dochází k maximálnímu ochlazování, nad porost. Zvednutím aktivního povrchu nad úroveň vegetačního povrchu se přesune výměna energie nad výšku porostu. Současně se pod aktivním povrchem vytvoří pro růst vhodnější teplotní i vlhkostní podmínky.

**Vyhřívání** – využití protimrazových parafínových svíček. Při optimálních podmínkách = bezvětří, bez sněžení, vydrží hořet 9+ hodin. Svíčka je nutné rovnoměrně rozmístit do řad mezi stromy, keře vinné révy nebo sazenice. Jedna standardní svíčka (4,5, kg) ovlivní 25 m<sup>2</sup> při teplotě -6 °C až 50 m<sup>2</sup> při teplotě -2 °C. Výhodou je dobrá účinnost, nevýhodou vysoká cena (jedna svíčka o hmotnosti 4,5 kg kolem 350 Kč), nároky na skladování a vznik kouře.

**Aplikace růstových regulátorů** – způsobuje u ovocných stromků oddálení začátku vegetace a snížení teploty citlivé fenologické fáze.

V oblasti protimrazové ochrany je významným prvkem **prevence** a opatření vycházející ze znalosti agrometeorologických vazeb.

Každý pěstitel teplomilných druhů by měl být seznámen s principem **mrazové kotliny** a skutečností, že studený vzduch je těžší než teplý. Především za bezvětří stéká po svazích rychlostí kolem 1–1,5 m/s a vytváří v údolích jezera studeného vzduchu.

**Otázky:**

- Jaká je reakce C3 a C4 rostlin na vyšší teplotu.
- Popište dopady nízké teploty na rostliny.
- Proč nepatří sady a teplomilné kultury do údolí?
- Jaké jsou metody protimrazové ochrany při výskytu pozdních jarních vegetačních mrazíků?

## 8. DALŠÍ VÝZNAMNÁ ABIOTICKÁ RIZIKA A ROSTLINY

### 8.1 UV záření

UV záření je součástí sluneční radiace, která má vlnové délky od 100–3000 nanometrů (nm). Světlo neboli fotosynteticky aktivní záření má vlnové délky 400–730 nm, vyšší vlnové délky je záření infračervené (IR), nižší ultrafialové (UV). Zatímco IR záření má především tepelné účinky (zahřívá povrchy), tak UV v případě vyšších dávek může vážně poškodit živočichy i člověka (rakovina kůže, poškození očí) stejně jako rostliny. V tomto případě jde o záření a může dojít k poškození rostlin různými způsoby:

- Fotosyntéza – UV-B narušuje schopnost u chloroplastů produkovat cukry (glycidy), snižuje se produktivita listu, jsou poškozeny membrány buněk (jejich propustnost) a buněčné části včetně DNK a buněčného jádra.
- Rostlina vytváří červená, žlutá a fialová barviva na úkor zelených barviv (důsledkem je tedy jako i u jiných biotických a abiotických stresorů vznik chlorózy).
- Růst – souvisí s fotosyntézou. Je-li intenzita fotosyntézy menší, dochází ke zpomalení růstu, snížení listové plochy, výšky rostliny a počtu plodů.
- Fertilita – je poškozena produkce pylu a dochází ke snížení schopnosti oplození.
- Kvalita – množství bílkovin, olejů a karbohydrátů, u řady plodin se snižuje díky povrchovým skvrnám.
- Estetická kvalita plodů, které již na pohled jsou poškozené.
- Konkurenční tlak (obecně platí, že přešlechtěný či nepůvodní organismus je náchylnější ke škodlivému činiteli, příkladem je vysokoprodukční (např. importovaná) odrůda vůči domácímu adaptovanému plevelnému druhu. Vzhledem k tomu, že některé druhy jsou citlivější než jiné, se snižuje biodiverzita.

## 8.2 Vyzimování

Vyzimování je pojem, který se objevuje např. ve smlouvách o pojištění polních plodin proti negativním dopadům zimy na polní porosty. Ve své podstatě může být spojen se třemi procesy: vyležením, vymrzáním a vymáčením.

### Vyležení

Vyležením porostů ozimých obilnin a trav se rozumí odumření rostlin následkem jejich vyčerpání pod dlouhodobým působením předčasně napadlé silné vrstvy sněhu za spoluúčasti fytopatogenních hub, zejména plísně sněžné (*Monographella nivalis* var. *nivalis* (anamorfa *Microdochium nivale*)). Vyležení nastává při dlouhodobém působení sněhu v době, kdy rostlina ještě neukončila svůj růst, vývoj a nedošlo k přechodu do vegetačního klidu, a také je nedostatečně promrzlá ornice, kdy se teplota pod sněhem pohybuje kolem bodu mrazu..

K vyležení dochází při dlouhodobém působení sněhu, který napadl na porost, co ještě neukončil svůj růst a vývoj a teplota pod sněhem pohybuje nad bodem mrazu. V takových podmínkách je limitována stále běžící fotosyntéza (sníh nepropustí fotosynteticky aktivní radiaci) a i přes nízkou intenzitu dýchání dochází k hynutí rostlin vyčerpáním a napadení jejich pletiv houbovými chorobami. Vyšší vrstva sněhu a její postupné zhutnění poškození rostlin zvětšuje, negativně působí i pomalé odtávání sněhu na jaře, který zůstává delší dobu mokrý. Bezprostředně po roztání sněhu se objevují na porostu bělavé až růžově zabarvené skvrny konidií plísní, které se v teple ztrácejí a jsou pak vidět odumřelé a usychající listy rostlin. Výsledkem jsou mezerovité nebo zcela uhynulé plochy porostů. Více citlivé na vyležení jsou žito a triticales než pšenice a ječmeny, z trav jílky a psinečky pak i další trávy. Byly popsány i odrůdové rozdíly. Poškození porostů obilnin a trav vyležením se u nás vyskytuje téměř každý rok, někdy je to jen v prohlubních nebo v návětrných či níže položených a zastíněných částech pozemků. Často se jedná o vyšší polohy, kde sníh setrvává delší dobu.



## Vymáčení

Vymáčení ozimů způsobuje dlouhotrvající setrvání volné vodní hladiny na polích s ozimí. Škody na porostech jsou vyvolány především nedostatkem kyslíku, ale i oxidu uhličitého. Nedostatek oxidu uhličitého blokuje fotosyntézu. Při nedostatku kyslíku (anoxie) při nadzemní biomasu dochází v rostlinných buňkách ke změnám metabolismu, hromadí se toxiny. Při nedostatku kyslíku v kořenové zóně dochází k tzv. udušení kořenů neboli asfyxii. Nejprve odumírají vlasové kořeny, rostliny žloutnou, trvale vadnou. Odumření sukulentů nastává během 2-3 dnů, je provázeno hnilobou. Hynutí stromů nastává po několika týdnech nedostatku kyslíku.

K citlivým plodinám patří např. řepka ozimá a pšenice ozimá. Z hlediska mechanismu vzniku nadbytku vody v půdě lze rozlišit:

**zamokřenou půdu**, kdy chybí nebo je špatné její odvodnění. V současné době se zamokřené půdy vyskytují např. v místech, kde byla provedena meliorační odvodňovací opatření, ale životnost těchto děl už skončila, v terénních depresích apod.,

**zaplavená půda** je taková, kdy došlo např. k vystoupení vody z břehů při povodni, **zatopená půda** se nachází v místech před jezem nebo přehradou, která se trvale, nebo periodicky ocitají pod hladinou vody.

Vymáčení se často objevuje na jaře po roztání sněhu a výrazně ji ovlivňuje utužení půdy.

V letním období hrozí při vymáčení nebezpečí, že pokud přijdou vysoké teploty, rostliny se začnou rychle odumírat a hnit (mikrobiální rozklad organických látek za nedostatku vzdušného kyslíku, který vede ke vzniku zapáchajících produktů zejména metanu ( $\text{CH}_4$ ), amoniaku (dříve čpavek  $\text{NH}_3$ ) a sulfanu (dříve sirovodík;  $\text{H}_2\text{S}$ ).

## Vymrznutí

Vymrznutí a poškození mrazem ozimů v zimním období je spojeno s tvorbou ledu (ledových krystalů) v rostlinných pletivech. Led má větší objem než voda a rostlinu mechanicky roztrhá. Schopnost ozimů překonat působení teplot pod bod

mrazu je dán jejich odolností (mrazuvzdorností). Ta se v průběhu zimy mění v závislosti na vnějších (např. teplota půdy) a vnitřních (např. vývoj rostlin) faktorech a je geneticky založena. Rostliny ozimů musejí projít během podzimu postupným otužováním, kdy dochází k indukci jejich mrazuvzdornosti. Po překročení letální (kritické) úrovně mrazu dochází k poškození rostlin. Kritickým orgánem pro přežití obilnin v zimě je odnožovací uzel, u řepky bazální hypokotylová část. S postupným vývojem rostlin během zimy nebo v předjaří klesá jejich schopnost se otužit a u řepky se nejcitlivějším orgánem k mrazu stává diferencující se vrchol. Z ozimů jsou nejodolnější k mrazu žito, pak triticales, pšenice a nejméně ječmeny. Přežití řepky je závislé na použité agrotechnice. Odrůdové rozdíly v mrazuvzdornosti jsou popsány velmi dobře, je snaha simulovat průběh mrazuvzdornosti ozimů během zimy. V našich podmínkách je mráz a vymrznutí plodin hlavním faktorem vyzimování porostů ozimů. Stačí i dílčí poškození rostlin mrazem, aby byly porosty ozimů citlivější k dalším stresům na jaře a došlo k poklesu jejich výnosu. Nejnebezpečnější je náhlý pokles teplot hluboko pod bod mrazu a působení holomrazů.

V praxi lze rozeznat tři typy mrazového poškození:

- zmrznutí, kdy poškozená rostlina uhynie následkem mrazu, změny jsou nevratné.
- částečné zmrznutí, kdy mráz zničí jen část rostliny nebo část určitého orgánu (např. květy, odnožovací kolénka), nemusí být ohrožen život rostliny jako celku.
- namrznutí, částečné namrznutí - kdy namrzlá rostlina je schopná po pomalém rozmrznutí růst (je třeba zajistit pozvolný vzestup teplot).

### **8.3 Polehnutí**

Poléhání, které postihuje především obilniny, je vyvoláno silným větrem či intenzivními srážkami (často spojenými s oblakem typu kumulonimbus, tedy bouřkou a kroupami), které nasycují až přemokřují půdu. Významným meteorologickým impulsem, často podporující poléhání, jsou i tropické teploty přes

32 °C. Větrém způsobené plošné položení stébel je často rovnoběžné s jeho směrem. Pro samotnou intenzitu poléhání je však potřeba zhodnotit i náchyllost porostu k tomuto jevu, která je daná řadou faktorů, a to především nadstandardní úrovní dusíkaté výživy včetně uvolňování dusíku při mineralizaci (přeměny organických složitých látek na anorganické jednoduché základní sloučeniny), dále předplodinou, velmi silně i mechanickou náchyllostí odrůdy danou např. průměrem stébla, velikostí klasu a rostlin, dále nerovnoměrnou hloubkou setí, hustotou porostu, kdy příliš hustý porost je stejně náchylný jako řídký. Nejen ohniskové poléhání je samozřejmě umocněno zdravotním stavem porostu (choroby pat stébel či poškození kořenového systému škůdci např. bázlivec kukuřičný). Ekonomické ztráty jsou tím vyšší, čím je polehnutí v ranější fenologické fázi. Dřívější polehnutí snižuje nejen výnos zrna, ale zhoršuje i jakost zrna a způsobuje problémy s průběhem sklizně. Pozdní polehnutí, má kromě sklizně, negativní vliv zvláště na jakost zrna.

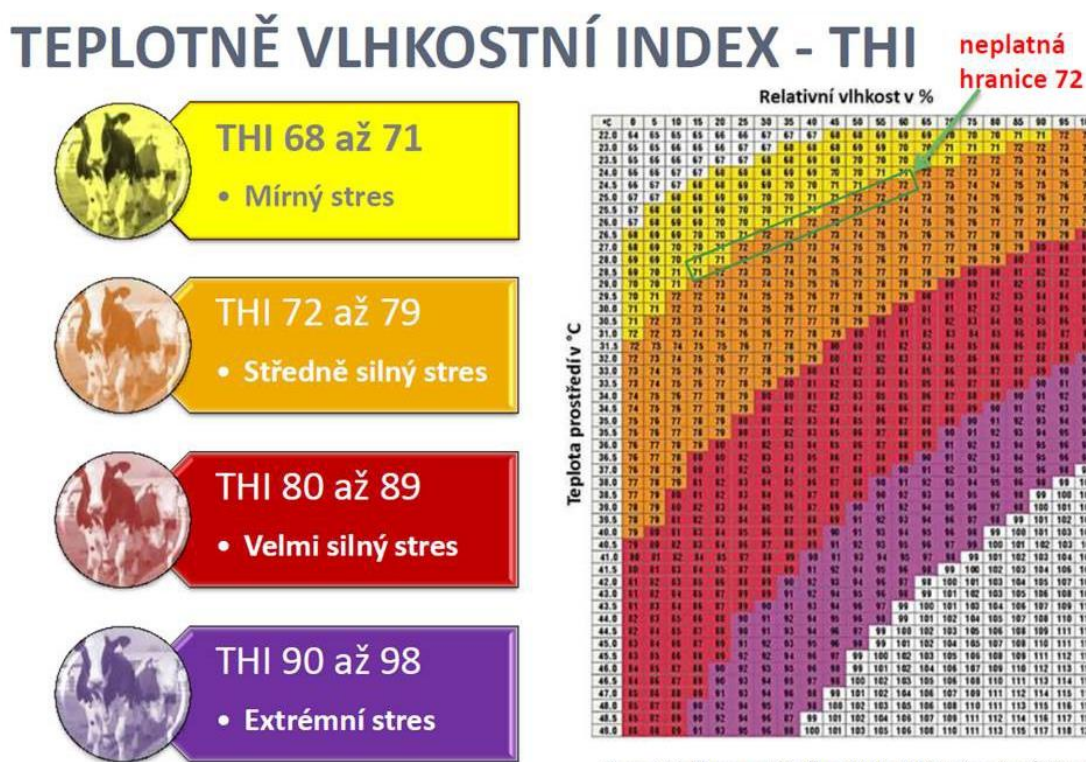
Předpověď poléhání jako abiotického rizika vychází z předpovědi rychlosti větru, srážek a výskytu bouřek (oblaku typu kumulonimbus).

#### **Otázky:**

- Jaké jsou dopady UV-B záření na rostliny
- Popište podstatu a průběh vyzimování (vyležení, vymrzání, vyležení)
- Jaké jsou dvě základní příčiny polehnutí a co ho ovlivňuje?

## 9. EXTRÉMNI TEPLoty A HOSPODÁŘSKÁ ZVÍŘATA

Hospodářská zvířata mají zcela jiné vnímání teploty než člověk. Příčinou je především jejich rozdílná hmotnost. Např. pro skot se optimum pohybuje mezi kolem 5-10 °C a teploty při překročení 22 °C mohou při relativní vlhkosti nad 70 % procent způsobovat mírný stres. Právě kombinace teploty a vlhkosti vzduchu je pro celkovou pohodu (welfare) hospodářských zvířat klíčová. Tepelný stres je klíčovým faktorem ovlivňující zdravotní stav, reprodukci, mléčnou, ale i masnou užitkovost a je zásadním bodem ekonomiky chovu. V případě bezvětrí, tedy minimálního transportu tělesného tepla od povrchu těla platí pro vymezení stresu Obr. 46.



Burgos Zimbleman and Collier, 2011; 2013 University of Arizona

**Obr. 46** Teplotně vlhkostní index jako kombinace teploty a vzduchu ve vztahu k welfare skotu (Hahn, 1999)

## 9.1 Vysoké teploty a hospodářská zvířata

Obecně většinou platí, že u krav narůstá denní produkce od jara do léta a poté, kvůli vysokým teplotám, tento nárůst ustane. Zmírnění dopadů tepelného stresu v chovech zvířat a zvýšení jejich užitkovosti v letním období je záležitostí multidisciplinární, která v sobě zahrnuje problematiku šlechtění, výživy zvířat, konstrukce stájí a rovněž i vhodnou úpravu mikroklimatu v prostředí ustájení zvířat. Každopádně redukce teplotního stresu v chovu dojnic v průběhu letního období je základním předpokladem zvýšení nádoje mléka a reprodukce v tomto období. Někdy v létě dokonce dojde k rapidnímu propadu denních dodávek do mlékárny, pokud je teplota prostředí vyšší než 25 °C. Termoneutrální zóna pro dojnice bývá udávána v rozmezí -5 až +24 °C, v níž je dosahována maximální produkce mléka. Novější informace snižují horní hranici zóny pohody na 21 °C, která se týká dojnic s produkcí vyšší než 6500 kg mléka za laktaci. A pokud se dojnici nepodaří zvýšit hodnotu výdeje latentního tepla vypařováním, rychlým povrchovým dýcháním nebo smáčením povrchu těla vodou, dojde ke snížení příjmu krmiva. Zvláště objemného krmiva (seno, krmná sláma, siláže). Aby zvířata pokryla potřebu energie, spotřebu jádra (např. zrniny, luštěniny) neomezují v takovém měřítku.

Je to způsobeno tím, že zvířata „vycítí“, že při fermentaci objemného krmiva v bachoru vzniká další teplo, které organismus zvířete ještě více zatěžuje. Při příjmu jádra v bachoru však může vznikat vyšší množství kyseliny mléčné a následně se u krav v extrémním případě rozvíjí acidóza. Je to dáno tím, že nízké pH neprospívá celulolytickým bakteriím a dochází k poklesu mléčného tuku. A jak se rozezná tepelný stres a jeho projevy u zvířat? Např. tělesná teplota měřená v konečnicku překračuje 39,4 °C a frekvence dýchání zvířete přesáhne 100 výdechů/min. Vysoký tepelný stres může vyvolat finanční ztráty ve výši jednotek tisíc Kč na krávu. Odhaduje se, že kolem 80 % těchto ztrát je způsobeno ztrátou produkce a 20 % ztrát je spojováno se zhoršením zdravotního stavu zvířete: reprodukční a imunitní problémy – vyšší frekvence mastitid, apod.

## **Izolované střechy a ochlazování konstrukce stájí**

Základem k redukci tepelného stresu je objekt s tepelně izolovanou střechou, která je prevencí pronikání krátkovlnné sluneční radiace do stáje. Bez izolace dosahuje povrch střešní krytiny z vnitřní strany teploty často i přes 50 °C. V poslední době se hodně rozšířily sendvičové střešní panely vytvořené z tvarovaných plechových pásů spojených izolační vrstvou (často polyuretanová pěna a minerální vlákno).

Další možností snížení teplotního stresu zvířat je ochlazování stájových konstrukcí, kdy se proudem vody polévá střecha nebo vnější stěny stáje. Tím se snižuje intenzita sálavého tepla z konstrukce stáje, která jinak zvyšuje celkové tepelné zatížení zvířat. Tímto způsobem lze snížit teplotu konstrukce až o 20 °C. Je to poměrně rychlá a účinná metoda snížení sálavého tepla, nedochází k mokření podlah ve stáji, avšak spotřeba vody je neúměrně vysoká.

## **Zvýšení proudění vzduchu pomocí ventilátorů**

Nucená ventilace je účinná i při vysokých teplotách vzduchu, ale její nevýhodou jsou vysoké investiční i provozní náklady a značný hluk při provozu (ten může působit na zvířata stresově). V praxi se ke snížení tepelného stresu skotu používají hlavně ventilátory vertikální, které zvyšují proudění vzduchu v podélné ose stáje. Použití ventilátorů ve stáji však zvyšuje účinek nejrozšířenějšího a velmi účinného evaporačního ochlazování

## **Evaporační ochlazování vzduchu ve stáji**

Tato metoda je založena na fyzikálním jevu tzv. výparného tepla, které se odebírá (spotřebovává) v prostředí nenasyceném vodními parami při vypařování vody. Výparné teplo vody je 2257 kJ/kg. Zjednodušeně je možné říci, že vypařením 1 g vody v objemu 1 m<sup>3</sup> vzduchu dojde k ochlazení o 1,8 °C. Pro rychlé vypaření je nutné, aby částice vody byly co nejmenší. Proto se musí používat vysokotlaké systémy a trysky, které vytvoří v podstatě mlhu s částčkami 0,02–0,05 mm.

## **Přímé ochlazování zvířat**

Tato metoda ochladí tělo dojnic nejrychleji a nejúčinněji, protože voda se dostane až na kůži zvířete a z ní přímo kondukcí odebírá teplo a následně i při vypařování odebírá výparné teplo. Aby se voda dostala až ke kůži, je nutné, aby její kapky byly jen okolo 0,1 mm. Mokrý srst dojnic zvýší její tepelnou vodivost a převede tím do prostředí více tepla. U přímého ochlazování zvířat stačí použít nízkotlaký systém s jednoduchými tryskami.

## 9.2 Nízké teploty a hospodářská zvířata

Nízké teploty nejsou až na výjimky v našich podmínkách pro hospodářská zvířata problém. I proto se zaměříme spíše na obecná pravidla v rámci klimatických zón. V chladném prostředí je větší povrch, pomocí kterého uniká více tepla, nevýhodou. Proto je pro člověka (živočichy) v chladných oblastech nejlepší mít co nejmenší poměr povrchu k objemu. V teplém prostředí je naopak prioritou zbavovat se přebytečného tepla, aby se živočich nepřehřál. Proto je pro něj lepší mít velký poměr povrchu k objemu.

**Bergmanovo pravidlo (1847)** - teplokrevné druhy a poddruhy žijící v chladnějších oblastech jsou zpravidla větší a mohutnější než jejich příbuzní z nižších zeměpisných šířek.

Důvodem rozdílu ve velikosti je poměr mezi objemem a povrchem těla. Větší živočich má menší poměr povrchu těla vůči objemu a tím menší tepelné ztráty na jednotku hmotnosti. Jako příklad můžeme porovnat velikost těla losa či soba s jejich vzdálenými příbuznými typu jelenovitých či antilop. Obdobně lední medvěd má výrazně větší hmotnost než jeho příbuzní ve středních (např. brtník) či tropických (např. malajský medvěd) zeměpisných šířkách.

**Allenovo pravidlo (1877)** – teplokrevní živočichové žijící ve vyšších zeměpisných šířkách mají menší tělní výběžky (zobáky, uši, ocase) a končetiny než jejich příbuzní, se kterými se setkáváme blíže rovníku.

Důvodem tohoto morfologického přizpůsobení je zřejmě zamezení ztrát tepla větším povrchem tělních výběžků v chladných oblastech a naopak rychlejší

ochlazování krve u živočichů, žijících v oblastech horkých. Jako příklad můžeme srovnat např. velikost uší u zajíce evropského a polárního.

**Otázky:**

- Charakterizujte dopady vysokých teplot na hospodářská zvířata (skot) a metody ochlazení.
- Vliv nízkých teplot na adaptaci a asimilaci živočichů (B + A pravidlo).



## 10. PŘÍJEM ŽIVIN A TEPLOTA PŮDY

Počasím a klimatem je ovlivňována i půda, jako přirozený substrát pro růst kořenů, zdroj vody a většiny minerálních látek. Svými fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi působí na příjem vody a ostatních živin. Půda vznikla spolupůsobením klimatických faktorů a geologických podmínek v průběhu dlouhodobého půdotvorného procesu. Klimatické prvky, zejména srážkové a teplotní charakteristiky, silně ovlivňují vývoj jednotlivých typů půd včetně vytvoření jejich specifického živinného režimu. Každá půda má určitý obsah organické hmoty a v korelaci s tím i určitý obsah dusíku, důležitý pro rostliny. Obsah dusíku je u přirozené nedegradované půdy tím vyšší, čím nižší je průměrná roční teplota na stanovišti a čím vlhčí je klima. Pro vyluhování dusičnanů z orné půdy jsou z meteorologických prvků nejdůležitější vertikální srážky, jejich množství a rozložení během roku, a dále četnost srážek přívalového charakteru s vydatností vyšší než 10 mm za den. Úhrn srážek má také vliv na příjem živin, ovlivňuje vodní režim půdy i rostlin. Působením vody jsou uvolňovány živiny z matečních hornin zvětráváním, jsou přiváděny živiny do půdy z ovzduší, dochází k vyplavování živin z orní vrstvy do spodiny, jsou rozpouštěny živné látky a vytvářen půdní roztok. Na příjem živin působí kromě srážek i teplota. Nízké teploty vyvolávají výrazné snížení příjmu fosforu a draslíku a zvýšení příjmu vápníku a hořčíku. Pokud bychom vytvořili kategorie příjmu živin od A-D, kdy A jsou optimální podmínky pro příjem živin v kořenové zóně vypadaly by následovně.

**A:** průměrná teplota půdy v hloubce 5 cm vyšší než 9 °C – příjem živin z půdy během dne není teplotou omezen

**B:** průměrná teplota půdy v hloubce 5 cm je mezi 5–9 °C – většina živin přijímána rostlinami bez omezení, omezen příjem P, Ca, Mg

**C:** průměrná teplota půdy v hloubce 5 cm je mezi 0–4 °C – omezen příjem většiny živin, nízký příjem draslíku a amonné formy N

**D:** průměrná teplota půdy v hloubce 5 cm je pod 0 °C – rostliny nepřijímají živiny z půdy

**Otázky:**

- Jak ovlivňují srážky a množství vody v půdě množství a příjem živin?
- Jak ovlivňuje teplota půdy příjem živin?

## **11. KLIMA, CHOROBY A ŠKŮDCI**

### **11.1 Klimatické a meteorologické aspekty výskytu chorob**

O postupu a šíření chorob rozhodují tři faktory: jedním je samotný patogen, jenž je původcem choroby, dále je to hostitelská rostlina a konečně prostředí, ve kterém se hostitel i patogen vyskytují. Jestliže se změní jeden ze tří faktorů, může dojít ke změnám v patogenitě a výskytu samotné choroby. Z faktorů vnějšího prostředí jsou považovány za nejdůležitější podmínky pro vývoj houbových i dalších patogenů teplota a přítomnost vody v různých skupenstvích a formách (vodní pára nebo voda v kapalném skupenství), rosa, mlha, déšť, mrholení, příp. i vysoká vlhkost vzduchu, závlahová voda, které pozitivně ovlivňují vznik infekcí, rychlost vývoje a tedy délku cyklu, sporulaci a umožňují uvolňování spor a šíření onemocnění. Prodloužení období vhodných vlhkostních podmínek nebo zvýšení jejich četnosti může vést ke vzniku epidemií (epifytocií).

V případě teploty nemusí mít očekávaná klimatická změna jednoznačný dopad. Většina patogenů je aktivních v poměrně širokém teplotním rozmezí a proto jim vyhovují současné i předpokládané podmínky, pouze za nižších teplot je rychlost vývoje velmi nízká, optimální teploty se většinou pohybují v intervalu 18–24 °C, pouze během období vrcholného léta lze předpokládat období s nevhodnými teplotními podmínkami, během kterých může dojít k omezení, zastavení růstu patogenu nebo dokonce k jeho eliminaci při dosažení letálních hodnot; to vše ještě může být současně doprovázeno i nedostatkem vody potřebné pro jeho vývoj a šíření. Obecně lze spíše vlivem nárůstu teplot ve vegetačním období, poklesu úhrnů horizontálních srážek (např. rosa) a především jejich nerovnoměrnému rozdělení očekávat spíše pokles škodlivosti chorob rostlin, případně jen mírné zvýšení škodlivost v období počátku a konce vegetace, tedy na jaře a na podzim. V teplých suchých letech může docházet k poklesu počtu vývojových cyklů u polycyklických patogenů a rovněž ke zpomalení vývoje monocyklických patogenů vlivem méně vhodných podmínek. To může vést k nižší tvorbě primárního inokula v příštím vegetačním období a tedy i k nižšímu infekčnímu tlaku houbových chorob. Výjimku však představují patogeny s xerothermními nároky, např. původci padlí rodu

*Podosphaera*, *Sphaerotheca*, *Uncinula* a snětí, např. rodu *Ustilago*, kterým mohou podmínky teplejší a sušší podmínky klimatické změny vyhovovat a jejich význam může narůstat.

Vliv zvýšené teploty se bude lišit v průběhu roku, během chladnějších období může vyšší teplota snížit stres rostlin, naopak v rámci teplých období pravděpodobně stres zvýší. V případě stresu z vysokých teplot může být reakce rostlin podobná jako reakce na stres ze sucha, příznaky provázející tyto reakce zahrnují vadnutí, spálení, svinování nebo opad listů.

Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nebudou mít významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí kterých přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhé období i několika let v půdě (sklerocia; chlamydospory a oospory). Mezi ně patří některé druhy zařazené do rodů *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, *Sclerotium*, *Verticillium*; *Phytophthora*, *Pythium* aj. U druhů přezimujících na hostitelských rostlinách nebo jejich zbytcích a tvořících primární inokulum na napadených rostlinných pletivech (rody *Alternaria*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Erysiphe*, *Phomopsis*, *Septoria*, *Venturia* aj.) lze předpokládat zvýšenou škodlivost vlivem lepších podmínek přezimování. Druhy, které nejsou schopny přežít klimatické podmínky současných zimních období a jejich primární inokulum se šíří každoročně pomocí vzdušného proudění z jižněji položených oblastí, mohou ve změněných podmínkách přetrvávat (*Pseudoperonospora* aj.) nebo se dříve šířit, což může mít za následek dřívější infekce, delší období epidemií (epifytocií) a v důsledku toho zvýšení nákladů na ochranu.

Kromě houbových patogenů může být ovlivněn výskyt, rozšíření a škodlivost patogenů virových a bakteriálních. Virové patogeny jsou přenášeny různými druhy hmyzu, jejichž aktivita a vývoj mohou být ovlivněny podmínkami prostředí, především teplotami. Delší a teplejší podzimy a mírné zimy jsou pravděpodobně příčinou delší letové aktivity některých druhů mšic napadajících obilniny (SRS–Aphid Bulletin) a vyššího výskytu kříška polního. Tyto druhy hmyzu jsou důležitými přenašeči významných druhů virů obilnin – virus žluté zakrslosti obilnin (*Barley yellow dwarf virus* – BYDV) a virus zakrslosti pšenice (*Wheat dwarf virus* – WDV).

Nárůst ploch obilnin napadených těmito viry může být proto také zapříčiněn klimatickou změnou. Zvýšení teploty může mít vliv na zrychlení generačního cyklu bakterií, které se rozmnožují dělením buněk. Zvyšuje se rovněž nebezpečí pro rozšiřování některých bakteriálních patogenů s vyššími nároky na teplotu. Jedním z příkladů je bakterie druhu *Ralstonia solanacearum*, napadající především brambory a rajčata, která se začíná šířit z pásu tropického do oblastí subtropických.

## 11.2 Klimatické a meteorologické aspekty výskytu škůdců

Obecně jsou změny škodlivosti místních druhů způsobeny především změnou agrotechniky (např. ústup od hluboké orby a její rozsáhlé plochy podporují výskyt zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*)), zaváděním nových plodin (např. nové druhy motýlů na safloru = světlici barvířské, *Carthamus tinctorius*), novými přístupy v ochraně rostlin ale i klimatickou změnou. Škůdci, stejně jako všechny ostatní organismy, vyžadují ke své existenci určité rozmezí teploty či vlhkosti vzduchu i dalších podmínek prostředí. V rámci tohoto rozmezí se nachází optimum, při němž nejlépe prospívají, dosahují nejvyšší kondice a početnosti. Jednotliví škůdci mají v rámci svých klimatických nároků speciální dílčí požadavky na počasí, někteří vyžadují např. teplé a suché jaro, jiní srážkově podnormální podzim, další zase mrazivou nebo naopak teplotně mírnou zimu. Proto je každý rok z hlediska výskytu škůdců jiný a zvláštní a škodlivost určitých druhů lze při dobré znalosti jejich ekologických nároků alespoň do určité míry a s různě velkým časovým předstihem předpovídat. Je proto logické, že změna klimatu vyvolá odezvu ve výskytu, početnosti i rozšíření škodlivých druhů. Čím bude tato změna výraznější a rychlejší, tím budou i reakce škůdců větší. Přitom musíme počítat s tím, že se některé druhy ve změněných podmínkách dostanou blíže optimu, mohou se šířit, dosáhnou vyšších početností a jejich škodlivost poroste, u jiných tomu může být naopak a význam budou ztrácet.

Konkrétně změna klimatu ovlivňuje škůdce následujícími způsoby:

## Místní škůdci

### a) Přímý vliv změny teploty a vlhkosti

Z poznatků o výskytu a významu škůdců v povětrnostně extrémních letech a klimaticky odlišných částech Evropy můžeme vyvodit alespoň orientační předpoklady jejich reakcí při klimatické změně. Druhy, které více škodí v teplých a suchých letech, např. obaleč mramorovaný (*Lobesia botrana*), krytonosec makovicový (*Neoglocianus maculaalba*), krytonosec kořenový (*Stenocarus ruficornis*), mnohé mšice, stejně jako druhy, které se u nás vyskytují jen v teplých oblastech, např. přástevníček americký (*Hyphantria cunea*) a obaleč východní (*Grapholita molesta*), mohou nabývat na významu. Naopak význam druhů vlhkomilných a chladnomilných může klesat, např. plodomorka zelná (*Contarinia nasturtii*), plodomorka plevová (*Sitodiplosis mosellana*) a květilka zelná (*Delia radicum*). Při nedostatku vlhkosti mohou pozbývat význam také vlhkomilné, i když teplomilné druhy, např. mšice zelná (*Brevicoryne brassicae*), plodomorka vojtešková (*Contarinia medicaginis*), drátovci, hád'átka a slimáci. Škodlivost některých druhů může narůstat ve vyšších polohách a severnějších oblastech, např. mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), příp. dojde ke geografickému posunu oblastí největších škod a častých přemnožení určitého škůdce. Otázkou je jak vyšší teplotou budou pozitivně ovlivněni přirození nepřátelé těchto teplomilných druhů a zda nedojde k jejich regulaci a jejich význam nakonec nepoklesne.

### b) Rychlejší vývoj a větší počet generací

Zvýšení teploty vzduchu a časnější nástup vegetačních období povede k urychlení a uspíšení vývoje četných druhů. Samotný časnější nebo rychlejší vývoj škůdců nevede automaticky k růstu jejich významu. Důležité je, jak se toto zrychlení projeví v početnosti škůdce a jeho vztahu k hostitelské rostlině. Více než polovina zemědělských škůdců má fixní počet generací, často limitovaný fotoperiodou, což patrně zůstane stejné i v průběhu klimatické změny. Asi 10–15 % škůdců má vyšší počet generací v teplotně extrémních letech a při postupném oteplování se tento jev může stát pravidlem. Jsou to např. křísek polní (*Psammotettix alienus*), štítenka zhoubná (*Diaspidiotus perniciosus*), mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*), obaleč ovocný (*Pandemis*

*heparana*) a další druhy rodu *Pandemis*, či osenice polní (*Agrotis segetum*), z lesních škůdců např. lýkožrout smrkový (*Ips typographus*). Vývoj další generace může být u mnoha druhů limitován i délkou fotoperiody (délkou dne) a její vliv nemusí překonat pro další generaci ani příznivá teplota.

#### c) Odlišné podmínky během přezimování

Existuje poměrně rozšířená představa, že teplé zimy podporují rozvoj škůdců. Ve střední Evropě je to až na výjimečné případy právě naopak. Převážná většina střeoevropských škůdců přečkává zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě, často pod bodem mrazu, a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdárný vývoj je proto nejvhodnější dlouhá mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 °C vedou k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také např. vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Pokud se klimatická změna projevuje nástupem bezmrazových zim, je většina střeoevropských škůdců ovlivněna negativně a význam některých může klesat. Zimním oteplením budou pozitivně ovlivněny nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje, při ochlazení pouze snižují aktivitu. Bezmrázové zimy mohou pozitivně ovlivnit i některé migranty, kteří k nám dosud většinou pronikají jen sezonně.

#### d) Změna vztahu škůdce – hostitelská rostlina

Mezi škůdcem a jeho hostitelskou rostlinou se postupně vytvořil těsný vztah provázený vznikem nejrůznějších adaptací obou populací. Tento vztah může být odlišným klimatem narušen nebo změněn. Může dojít k fenologické asynchronizaci škůdce a hostitelských rostlin, což ovšem zpravidla zvýhodní rostlinu oproti škůdci (za současného klimatu má výhodu škůdce, proto dosahuje vysoké početnosti a škodí). Jako příklad možného vzniku časového nesouladu je často uváděna píd'alka podzimní (*Operophtera brumata*).

## Noví škůdci

Areály hmyzích druhů včetně škůdců nejsou statické, ale neustále dochází k jejich větším nebo menším posunům. V každé době je možné jmenovat příklady druhů, které se na území České republiky odněkud šíří nebo opačnými směry ustupují. Šíření v důsledku klimatické změny je poměrně pomalé a musí s ní být v korelaci (nemůže ji předstihnout) a je již dokumentováno nebo prognózováno v různých skupinách hmyzu. Typickým příkladem je např. bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*), křísek révový (*Scaphoideus titanus*), kněžice zeleninová (*Nezara viridula*), štítenka morušová (*Pseudaulacaspis pentagona*), kněžice mramorovaná (*Halyomorpha halys*) makadlovka rajčatová (*Tuta absoluta*), lístovníček révový (*Phyllocnistis vitegenella*), zavíječ zimozrázový (*Cydalima perspectalis*). Každopádně platí, že zavlečení nových druhů má většinou antropogenní povahu než klimatickou. Např. i přes změnu klimatických podmínek by se škůdce z Ameriky do Evropy dostat nemohl. Každopádně, aby mohl být nový škůdce považován za invazivní, musí splnit tři kritéria:

1. do nové geografické oblasti se dostal zásluhou člověka (záměrně nebo nechtěně)
2. v novém území se rozmnožuje a šíří
3. vstupuje do interakcí s místními (autochtoními) druhy

Za posledních 20 let bylo na našem území zaregistrováno asi 70 invazivních druhů hmyzu a ve srovnání s tradičními domácími druhy je jejich význam nicotný. Přesto právě z důvodů novosti se jim věnuje zasloužená pozornost a jsou často lépe probádány než druhy domácí.

Za zmínku stojí, že kvůli oteplení lze očekávat přechod skleníkových druhů do volné krajiny. V ČR je asi 70 druhů skleníkových škůdců co by ve volném prostředí naši zimu nepřežili. Z nich je asi 25 významných. Díky oteplení se očekává, že zhruba 5 % skleníkových škůdců v budoucnu pronikne do vnějšího prostředí, vzhledem k plodinám, které napadají, nebudou mít větší význam.

Shrnutí: Klima způsobí asi 10 % změnu významu místních škůdců při přibližně stejném počtu (růst a pokles škodlivosti budou vzájemně kompenzovány).



Např. teplé zimy na řepce napomáhají přemnožení stonkových krytonosců a výrazně snižuje tlak blýskáčka řepkového. Šíření zcela nových škůdců nebude větší než 1 %. Mimochodem v ČR se vykytuje asi 29 tisíc druhů hmyzu, z nichž je většina užitečných (bioregulátoři, opylovači apod.), řada z nich je indiferentních a jen menší část (cca 450 druhů) patří mezi škůdce. Poměr užitečných a škodlivých druhů je 30:1.

### **11.3 Změna druhového spektra plevelů vlivem změny klimatu**

Plevele, stejně jako živočišní škůdci a patogeny, patří mezi biotické škodlivé organismy. Jejich přítomnost v porostech pěstovaných plodin je příčinou snížení výnosů a v řadě případů zhoršení kvality (až úplné znehodnocení) produkce. Podstata škodlivosti plevelů spočívá v jejich konkurenci s pěstovanými plodinami o základní vegetační faktory (voda, živiny, světlo).

Druhové spektrum plevelů je ovlivňováno mnoha faktory. Vedle vlivu stanovištních (půdních a klimatických) podmínek mezi ně patří faktory, které jsou ovlivněny člověkem. Jde o strukturu pěstovaných plodin, jejich střídání, zpracování půdy (minimální či klasické), způsob jejich biologické reprodukce, výživa a hnojení či použití herbicidů, tolerance (přirozená odolnost) či rezistence (získaná odolnost) k nim, které většinou nepůsobí samostatně, ale ve vzájemné interakci. Výskyt plevelů může být významně ovlivněný i změnou klimatu. Všechny scénáře počítají s nárůstem koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší. V souvislosti s tím je možné říci, že C3 plevele (pro ně je charakteristické, že prvním produktem při fotosyntéze je glyceraldehyd, který má tři atomy uhlíku) reagují na zvýšení obsahu oxidu uhličitého zvýšenou produkcí biomasy. Prakticky to znamená, že plevele typu C3 mohou být konkurenceschopnější (intenzivnější růst a mohutnější) než dnes.

Další důsledek skleníkového efektu (zvýšení teploty a dlouhodobé sucho) povede ke zvyšování výskytu C4 plevelů (jako první produkt vzniká oxalacetát, který má čtyři atomy uhlíku). Změny v anatomických vlastnostech povrchu listů a zvýšená akumulace škrobu v listech plevelů mohou způsobit komplikace při jejich regulaci. V důsledku oteplování se mnohé plevelné druhy objevují v chladnějších polohách,

zejména C4 trávy a invazní teplomilné druhy. Hlavním faktorem, který ovlivňuje geografické rozšíření plevelů a jejich sezonní růst, je teplota. Pro fotosyntézu C3 rostlin je optimální teplota přibližně 15–25 °C, pro C4 rostliny 25–40 °C. Šíření teplomilných plevelných druhů jako mračňák Theofrastův (*Abutilon theophrasti*), laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), durman obecný (*Datura stramonium*) aj. pozorujeme i na našem území, v okolních státech i v celé Evropě již delší dobu. Všeobecně se předpokládá, že při změně klimatu se zvýší počet invazních druhů plevelů, tj. nepůvodních rostlin, které jsou k nám soustavně a opětovně zavlékány a mají schopnost trvalé samoreprodukce. Invazní druhy se vyznačují úspěšnou strategií v obsazování teritorií, mají vysokou vitalitu, schopnost odolávat stresům, tvoří velké množství semen, mnohé z nich jsou schopné se úspěšně šířit i vegetativně, mají silnou konkurenční schopnost (způsobují zastínění, odebrání vody a živin). K nejnebezpečnějším invazním druhům patří ty, jejichž konkurenční vlastnosti brání v přítomnosti domácím druhům, které intenzivně vytlačují. Nejznámější z nich jsou křídlatka japonská (*Fallopia japonica*), netýkavka žláznatá (*Impatiens glandulifera*), netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*), zlatobýl obrovský (*Solidago gigantea*), bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*) a další. Postupným rozšiřováním a osídlováním stále větších ploch způsobují rozsáhlé změny v druhovém složení celých ekosystémů.

Za jeden z projevů změny klimatu, pozorovatelný v posledních letech, odborníci považují změny průběhu meteorologických prvků ve vegetačním období. Ty lze charakterizovat změnou úhrnu srážek a jejich nerovnoměrným rozložením v průběhu roku, dále jsou velmi časté teplé a suché periody, přičemž vyšší teploty jsou pozorovány i v podzimních měsících. Tyto změny mají vliv na růst a reprodukci plevelných druhů v našich podmínkách. Vzhledem k vyšším teplotám v průběhu vegetace se k nám šíří plevele teplomilné, dříve se nevyskytující na našem území. Hranice jejich výskytu se stále posunuje severněji (např. ježatka kuří noha – *Echinochloa crus-galli*, bytel metlatý – *Kochia scoparia*, čirok halepský – *Sorghum halepense*, laskavec zelenovlasý – *Amaranthus powellii* aj.). Vzhledem k poměrně velké členitosti našeho území, od teplých nížin až po podhorské a horské oblasti, dochází ale i k šíření teplomilných plevelných druhů uvnitř našeho státu od nížin do

vyšších poloh. Zde je možné uvést rychlé rozšíření ježatky kuří nohy (*Echinochloa crus - galli*), béru zeleného (*Setaria viridis*), laskavce ohnutého (*Amaranthus retroflexus*), lilku černého (*Solanum nigrum*), durmanu obecného (*Datura stramonium*) a mnoha dalších plevelných druhů. Meteorologické charakteristiky v každém případě ovlivňují biologii a ekologii plevelů obdobně jako u ostatních rostlin. Výskyt nízkých nebo naopak vysokých teplot v období klíčení plevelů může významně ovlivnit dormanci plodů a semen plevelů v půdě. To může vést ke změně intenzity klíčení plevelů a k odlišnému zaplevelení plodin. Srážky a teploty patří k nejvýznamnějším vegetačním činitelům, které ovlivňují přežití, růst a rozmnožování rostlin. Hodnoty těchto meteorologických charakteristik se ovšem v jednotlivých letech mění a působí tak na celou agrofytocenózu.

Změny v průběhu počasí mohou, v závislosti na délce trvání a na intenzitě, vyvolat i změny v druhovém spektru plevelů.

První oblastí těchto změn je zaplevelení v časně setých jarních plodinách (ječmen - *Hordeum*, mák - *Papaver*, hrách - *Pisum*). Vyšší teploty v době setí a vzcházení těchto plodin umožňují klíčení plevelů ze skupiny pozdně jarních. V současné době jsou v takových případech stále častěji zaznamenávány intenzivní výskyty pozdně jarních druhů plevelů (merlík bílý, laskavec, ježatka kuří noha).

Druhou oblastí změny druhového spektra plevelů je období sklizně obilnin a řepky. Intenzivní deště v období ke konci vegetace (před sklizní plodin) iniciují vzejití pozdně jarních a přezimujících druhů plevelů (merlíky, laskavec, heřmánkovec nevonný - *Tripleurospermum inodorum*), které v podmínkách dostatku vody a tepla velmi rychle vytvářejí velké množství biomasy. Ta pak následně zvyšuje vlhkost zrna a obsah zelených příměsí ve sklizeném zrně. To si pak vyžaduje dodatečné sušení či čištění, což zvyšuje náklady a snižuje rentabilitu pěstování.

Třetí oblastí je dopad měnícího se klimatu na strukturu pěstovaných plodin, konkrétně v našich podmínkách spojený s rozšiřováním oblastí pěstování kukuřice i do vyšších poloh. Kukuřice je vhodnou plodinou pro šíření nových invazních druhů plevelů. Tyto nové druhy pak obsazují niku, kde by se jinak neuplatnily. Jedná se

např. o mračňák Theofrastův (*Abutilon theophrasti*), ambrósii pelyňkolistou (*Ambrosia artemisifolia*), durman obecný (*Datura stramonium*) a další.

Čtvrtou oblastí je výskyt extrémně suchých období, což výrazně poškozuje nejen pěstovanou plodinu, ale i většinu druhů plevelů. Na uvolněné místo se snadněji prosazují druhy odolné či adaptované k suchu, jako je pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*) nebo druhy hlubokokořenící, jako je pcháč oset (*Cirsium arvense*) a kamyšník přímořský (*Bolboschoenus maritimus*).

Pátou oblastí je výskyt mírných zim, které mohou vést k rozšíření blínu černého (*Hyoscyamus niger*) a dalších přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách. Vyšší konkurenční schopnost v zimním období je novým prvkem, který může výrazně ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období.

Závěrem lze říci, že změna klimatu může vyvolat ústup druhů, které se této změně nebudou schopny přizpůsobit a na jejich uvolněné místo mohou nastoupit druhy nové nebo druhy, které této změny dokážou využít. Rychlost změn v druhovém složení plevelů se nedá přesně odhadnout, ale může být poměrně velmi rychlá. Z tohoto důvodu je velmi důležité soustavné sledování a mapování plevelů jako jednoho z bioindikátorů změny klimatu.

#### **Otázky:**

- Popište vazbu mezi podnebím a počasím ve vztahu k chorobám (jen obecně, není nutné uvádět všechny konkrétní příklady a vyjmenovávat uvedené patogeny).
- Popište vazbu mezi podnebím a počasím ve vztahu ke škůdcům (jen obecně, není nutné uvádět všechny konkrétní příklady a vyjmenovávat uvedené druhy).
- Jak může počasí a změna klimatu ovlivnit výskyt plevelů (jen obecně, není nutné uvádět všechny konkrétní příklady a vyjmenovávat uvedené druhy)?

## 12. AGRORISK.CZ - SYSTÉM VČASNÉ VÝSTRAHY PŘED NEGATIVNÍMI DOPADY POČASÍ

Zatímco portál [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz) ukazuje dlouhodobý vývoj meteorologických prvků a jejich dopady do zemědělství, portál [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz) vývoj dané vegetační sezóny z pohledu prognózy výnosů, stránky [www.fenofaze.cz](http://www.fenofaze.cz) jsou zaměřeny na popis a monitoring fenologických fází vybraných plodin a dřevin, portál [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) je platforma pro monitoring a předpověď zemědělského sucha je portál [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz) zaměřen na aktuální a okamžitý popis rizik – biotických a abiotických stresů ohrožující růst a vývoj polních plodin. Je skutečností, že počasí lze v rostlinné výrobě označit jako synonymum pro klíčový a současně nejhůře ovlivnitelný produkční faktor. Jednou z možností, jak reagovat na dopady často nepříznivého vývoje počasí je podstatně intenzivnější využívání systémů včasné výstrahy, kombinujících aktuální a předpovězená meteorologická data pro abiotické stresy, resp. aktuální, předpovězená a fenologická data pro výskyt na počasí závislých patogenů a škůdců. Systém agrorisk.cz, který byl spuštěn 15.01.2020, v sobě v první fázi zahrnuje devět abiotických stresů (monitoring a předpověď vymrzání, jarních mrazíků, silného větru, teplot pro příjem živin, vhodného počasí pro agrooperace, poléhání, vyležení, vysoké teploty, sucho) a dále cca čtyřicet biotických stresů (např. zavíječ kukuřičný, mšice broskvoňová, skvrnatička řepná, plíseň bramborová). Portál si klade za cíl nabídnout uživatelům informace o potenciálním výskytu a předpovědi rizik v prakticky využitelném prostorovém a časovém rozlišení.

Systém je veřejně přístupný každému uživateli na webových stránkách agrorisk.cz, kde jsou bezplatně nabízeny denně aktualizované informace o potenciálním výskytu sledovaných abiotických (neživých) i biotických (živých) škodlivých či omezujících faktorů. Obě skupiny rizik identifikujeme v rámci dlouhodobých výzkumů pomocí algoritmů počasí a modelů výskytů chorob a škůdců. I proto byl pro realizaci tohoto portálu sestaven široký tým odborníků, meteorologů, klimatologů, agrometeorologů, fytopatologů a entomologů z Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, Mendelovy univerzity v Brně, Českého hydrometeorologického ústavu, Výzkumného ústavu rostlinné výroby v

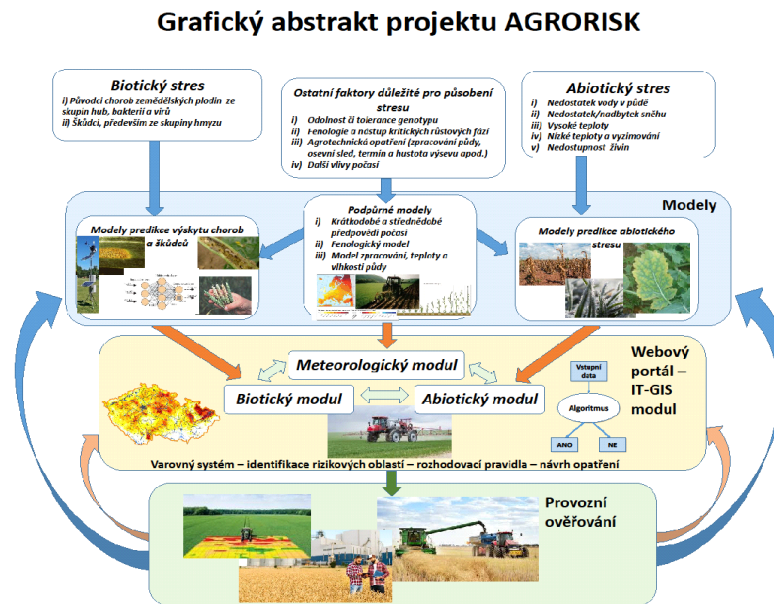
Praze Ruzyni a Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Všechna sledovaná rizika mají vlastní popis, často doplněný fotografiemi a odkazy na další informace např. na stránkách Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (Rostlinolékařský portál). Cílovou skupinou a uživateli výsledků tvoří zemědělci, především agronomové, rostlinolékaři a další pracovníci v rostlinné výrobě. Významným bonusem je denně aktualizovaná předpověď počasí na úrovni okresu, která se objeví ihned po zadání příslušného katastru.

### **Jak portál používat**

Uživatel získává informace o výskytu a předpovědi zmíněných rizik. Při otevření úvodní obrazovky na [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz) přivítá uživatele souhrnná mapa, která podle semaforového zabarvení naznačí, zda se vůbec nějaké riziko v zájmové lokalitě vyskytuje. Pro detailnější informace je uživatel vyzván, aby do příslušného okna napsal jméno katastru, na kterém hospodaří. Lze také kliknout přímo do mapy a katastr dohledat přímo v mapě s pomocí podkladní mapy. Pro identifikaci biotických faktorů může uživatel případně výběr zúžit tím, že si kromě katastru zadá i plodinu (pšenici, kukuřici, řepku apod.). Po potvrzení výběru se mu objeví v jeho katastru formou semaforu vybraná abiotická (např. nebezpečí jarních mrazů) či biotická rizika (např. výskytu zavíječe kukuřičného). Semafor je nastaven od bílé (nepatrné riziko případně pouze okrajově vhodné podmínky pro výskyt rizika), žlutou, oranžovou, červenou až po rudou (mimořádně vhodné podmínky pro výskyt rizika) barvu.

Zatímco výběr abiotických faktorů vycházel jednoznačně z potřeb zemědělské praxe jako je nutnost plánovat agrotechnické zásahy (např. silný vítr), či opatření směřujících k ochraně (např. před jarními mrazíky), tak u biotických faktorů byl jejich výběr složitější. Především musí být dostatečně známý jejich životní cyklus a jeho závislost na meteorologickém vývoji. Kromě toho bylo pro každou plodinu (hostitele) nutné v závislosti na počasí stanovit fenologický cyklus. Synchronizace modelu výskytu infekčního tlaku a modelu fenologického je další zpřesňující službou a zdrojem informací pro naše uživatele. Současně jde o jednu z oblastí, kde očekáváme úzkou interakci s uživateli, kteří tak umožní systém

korigovat a zlepšovat jeho spolehlivost a funkčnost. Kompletní schéma systému je na Obr. 47.



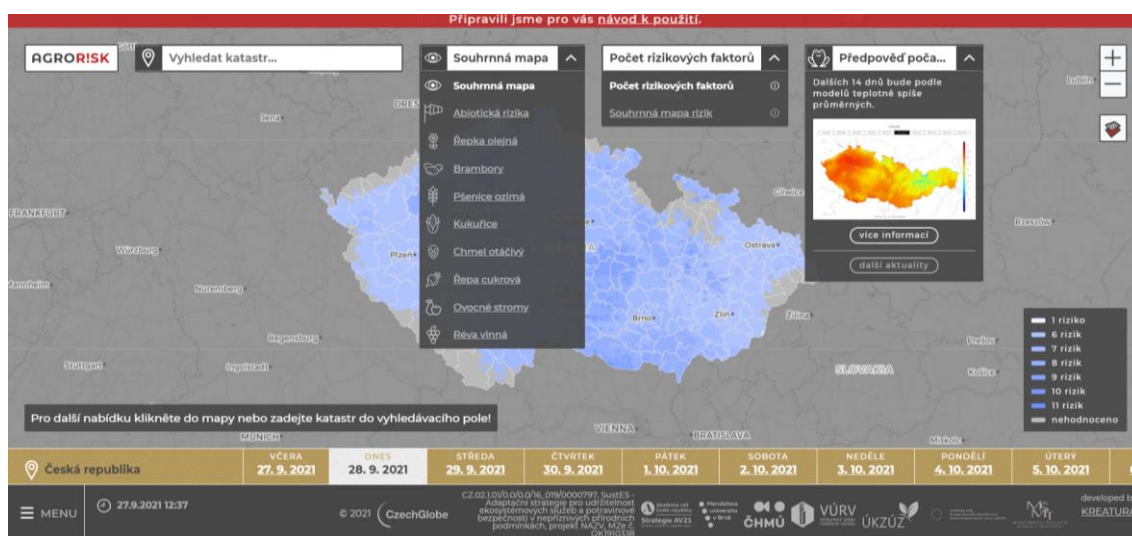
**Obr. 47** Grafické schéma systému včasného varování [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz) (zpracoval: Karel Klem)

Praktická hodnota systému kromě poskytnutí celkového pohledu na celé území ČR v daném okamžiku a pro dané riziko, je specifická předpověď vývoje všech sledovaných rizik pro následujících devět dní na základě souboru pěti předpovědních modelů počasí. Na spodní liště obrazovky je možné kliknout na devítidenní předpověď počasí, resp. posun v čase v denním kroku, kdy se podle předpovědi počasí může měnit pro daný katastr i semafor. Nebo se barva nemění a riziko je tedy minimální (pokud stále svítí bílá, či žlutá) či stabilně vysoké (pokud již svítí např. červená či rudá barva). Každopádně má uživatel možnost vyhodnotit, jak se dané riziko mění např. z bílé na horší barvy a má čas se na dané riziko připravit, či minimálně ho vnímat jako hrozící problém. Obdobně i pracovníci Ministerstva zemědělství, či Ústavu zemědělské ekonomiky a informací mohou sledovat výskyt těchto problémů, mapovat je a v případě kalamičních stavů je časoprostorově identifikovat a zodpovědně přijímat příslušná nezbytná opatření.

Výhodou je i pohled do minulosti (k 1.1. daného roku), kdy systém umožní zobrazit historii daného katastru a umožní nahlédnout např. na synchronizaci,



kumulaci či posloupnost stresů a objasnit tak stav porostu, který mohl být např. významně poškozen aktuálním, relativně mírným stresem, neboť v minulosti se již na jeho stavu mohl projevit stres jiný. Pro naše uživatele chystáme i dotazník, který nám bude dávat zpětnou vazbu a umožní odstraňovat možné nepřesnosti systému. Budou odměněni detailní meteorologickou hodinovou předpovědí pro jejich katastr, obdobně jako se nám tento přístup osvědčil, u již zavedeného systému zaměřeného na výskyt a předpověď sucha (intersucho.cz), případně systému včasné výstrahy před nebezpečím požárů (firerisk.cz).



**Obr. 48** Titulní webová stránka systému včasného varování před abiotickými a biotickými riziky – [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz)

Portál [agrorisk.cz](http://agrorisk.cz) (Obr. 48) se začlenil do skupiny již běžících webů, které mají informovat nejen odbornou, ale i širokou veřejnost a státní správu o stavu naší krajiny. Závěrem je nutno podotknout, že i přes snahu o maximální přesnost je zřejmé, že informace z portálu [agrorisk.cz](http://agrorisk.cz) nemohou být jediným zdrojem pro iniciaci reakcí a načasování případných zásahů na sledovaná rizika. Nicméně nabízené informace mají za cíl včas a přehledně upozornit na přicházející potenciální potíže s extrémní počasí či jeho přirozeným vývojem nebo s výskytem chorob a škůdců. Rozhodující slovo pro realizaci opatření musí mít vždy agronom či rostlinolékař na základě detailních znalostí svých pozemků a stavu svých porostů, ale specifická a co nejpřesněji provedená předpověď spolu s využitím zpětné vazby může rozhodování zásadně zrychlit, zefektivnit a tím přispět k úspěšné adaptaci na měnící se klimatické podmínky.

### **13. VYNOSY-PLODIN.CZ – SYSTÉM PROGNÓZY VÝNOSŮ POLNÍCH PLODIN**

Portál [vynosy-plodin.cz](http://vynosy-plodin.cz) byl vyvinut s cílem poskytnutí včasného odhadu výnosů v době řadově měsíce do sklizně a tím nabídnout informace, které v probíhající vegetační sezóně mohou naplánovat a zlepšit agrotechnické procesy v zemědělském sektoru.

Portál prezentuje nástroj, který dokáže na základě průběhu daného ročníku odhadnout regionální výnosy. Lze je vnímat i jako systém včasného varování v případě, že se na výnosech negativně odráží mimořádná událost (např. sucho), či jako nástroj pro podporu strategického rozhodování u producentů i zpracovatelů. Jak potvrdily rozsáhlé statistické analýzy, dobrou indikaci stavu porostů a předpověď výnosů na zemědělské půdě v rámci okresů a krajů ČR mohou přinést údaje vegetačních indexů pořízené ze satelitů s polární drahou letu. Jejich pravidelnými snímky lze analyzovat stav vegetačního povrchu a 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 právě portál [www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz).

Podrobný postup prognózy výnosů je popsána v rámci metodiky pro praxi umístěné a volně stažitelné na daném portálu. Pro aktuální předpověď výnosu v dané vegetační sezóně se využívá databáze výnosů z krajských či okresních databází z předchozích let a stav porostu hodnocený pomocí snímků z družice Terra, která od roku 2000 sleduje aktuální průběh stavu vegetace. 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 uživatelé 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 odchylka výnosů v regionech oproti minulému ročníku a průměru

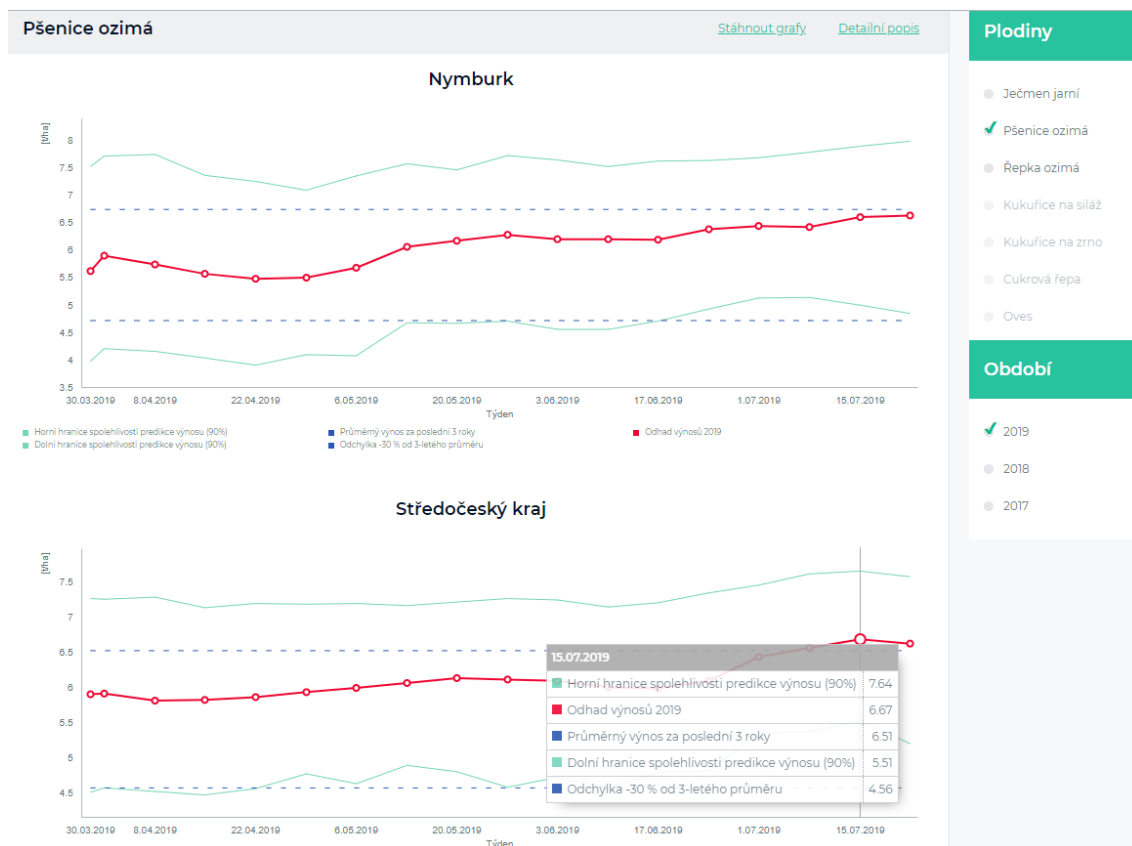
z uplynulých tří let. Současně je zde zveřejňován odhad dopadů sucha na základě hlášení zpravodajů portálu intersucho.cz pro konkrétní plodinu k danému týdnu. V průběhu žní jsou pak postupně zveřejňovány průměrné dosahované Reálné výnosy založené na pravidelném šetření Státního zemědělského intervenčního 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. Ukázka vizualizace webového rozhraní je zachycena na Obr. 49.



**Obr. 49** Uživatelské rozhraní portálu www.vynosy-plodin.cz

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, vyneseny 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. 50).



**Obr. 50** Postupný časový 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.

**Otázky:**

- Jaký je cíl portálu agrorisk.cz a jaké jsou jeho základní funkce?
- K čemu slouží portál vynosy-plodin.cz?

## **14. ADAPTACE NA ZEMĚDĚLSKÉ SUCHO A DOPADY ZMĚNY KLIMATU**

Z teorie řízení plynou při výskytu krizové situace (a změna klimatu vytváří nejvýznamnější přírodou podmíněné krizové situace v zemědělství) čtyři možné přístupy. První z nich je nedělat nic a na krizi (např. na suchou epizodu) nereagovat. Je zřejmé, že toto pohodlné a na první pohled laciné řešení není zvláště při opakovaném výskytu rizika 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. I ty však mají své 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 jen otázkou politické prestiže, ale především odpovědnosti vůči dalším generacím.

### **14.1 Strategická opatření v rámci sektoru zemědělství**

Rychlá degradace půdy (eroze, utužení, ztráta struktury apod.) a neschopnost zadržet vodu v krajině výrazně ohrožuje samotnou produkci a v dlouhodobější perspektivě je neudržitelná. Ani vysoké dávky minerálních hnojiv či pesticidů nepomohou a nebudou bez vody účinné.

Průběh a intenzitu např. sucha může zmírnit kvalitní, strukturní a hluboká vrstva půdy. Tuto vrstvu však z velké části poznamenala právě i nevhodné způsoby hospodaření. Ty jsou do jisté malé míry pochopitelné a zdůvodnitelné, neboť česká krajina se kvůli scelování pozemků za posledních sedmdesát let výrazně změnila a je pro ni typický zcela jiný charakter s velkými půdními bloky.

Podle údajů Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy ohrožuje polovinu (54 %) půd střední až silná eroze. Obdobně je téměř 50 % půd středně až silně utuženo. Mezi hlavní příčiny antropogenního utužení patří především vjezdy těžké techniky na vlhkou půdu, orba či kypření na stejnou hloubku, nedostatek organické hmoty, acidifikace půdy a další. 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, směnit nebo že budou vypovězeni z nájmu bez ohledu na zvolený způsob hospodaření. Společnost však musí prosadit udržitelnost krajiny jako svůj prvořadý cíl.



**Obr. 51** Fotografie zachycuje neobvykle časně jarní a mimořádně intenzivní větrnou erozi (Znojemsko, 4. 4. 2019), která je výsledkem kombinace silného větru, suché půdy a charakteru naší krajiny. (Foto Matěj Orság).

Omezení větrné eroze (Obr. 51) je jeden z důvodů snížení ploch monokultur na max. 30 ha i v rovinatých oblastech a bude účinné zvláště, podaří-li se zajistit zakrytí půdy vegetací či mulčem a zpomalení rychlosti větru např. výsadbou větrolamů. Druhým důvodem snížení velikosti honu pro jednu plodinu na 30 ha je snaha o posílení



biodiverzity ať již v oblasti hmyzu, ptáků či drobné zvěře. Právě snížení podpor pro pěstování jedné plodiny na max. 30 ha v jednom bloku je prvním strategickým krokem pro posílení mimoprodukčních funkcí a zadržení vody v naší krajině. Uvažované snížení na 10 ha v erozně ohrožených oblastech lze považovat za správné, i když menší hony by již přinášely problémy při využití zemědělské techniky.

Obecně platí, že dílčí adaptační opatření pro zemědělský sektor, která mají za cíl snižovat dopady zemědělského sucha a dopadů změny klimatu 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.

### **Jak utvářet vhodnou strategii**

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 intenzivnější výstavbě schopny zachytit jen velmi malé množství vody, které spadlo v těchto velmi intenzivních srážkách.

## **14.2 Zvýšení infiltrace a zachycení vody v půdě**

Klíčovými problémy z pohledu nízké infiltrace vody do půdy jsou vedle nerovnoměrné distribuce srážek (přívalové srážky), především dlouhé ponechání půdy bez pokryvu a také postupné zhoršování fyzikálních a chemických vlastností půd (snížená stabilita agregátů, nižší obsah organické hmoty, utužení). Vysoká energie srážek způsobuje 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 nejdříve 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. Problémem 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. Porost meziplodin snižuje rychlost povrchového odtoku vody, která je klíčová pro erozní působení povrchového odtoku, přičemž platí, že při každém zvýšení rychlosti odtoku na dvojnásobek se zvyšuje odnos půdních částic a živin mnohonásobně více. 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 kořenů v půdě, zlepšovat strukturu půdy a mikrobiální aktivitu. Tyto poslední funkce pak v důsledku mohou přispívat ke zvyšování retenční schopnosti půdy pro vodu. Podle literatury 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 mají na kořenech symbiotické bakterie se schopností vázat plynný dusík  $N_2$  ze vzduchu), 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, přerušování 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. Na závěr je nutné zdůraznit, že podpora zadržování srážek v půdě na místě kam spadnou, v sobě skrývá i past. V případě extrémního zadržování srážkové vody a nepřiměřeně extrémní zvýšení vodní retence by mohl být ohrožen odtok vody do řek (tedy jejich průtoky) či výšky hladiny rybníků, vodních nádrží či jezer.

### **14.3 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 adaptační směr, 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 ve 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.

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 nepřízně 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.

Odolnost nebo také rezistenci 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.

Dopady sucha na rostlinnou produkci jsou dány třemi hlavními charakteristikami sucha, a to intenzitou sucha, jeho délkou a termínem. Při velmi hrubém rozdělení se jedná o časné sucho, pozdní sucho a kontinuální sucho, z nichž každý typ sucha vyžaduje specifické znaky odolnosti. Pro střední Evropu je závažnější a častější pozdní sucho, i když 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 klíčové, na plodinu vztažené termíny sucha definovat podrobněji (Obr. 52). 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 semena 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. 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.

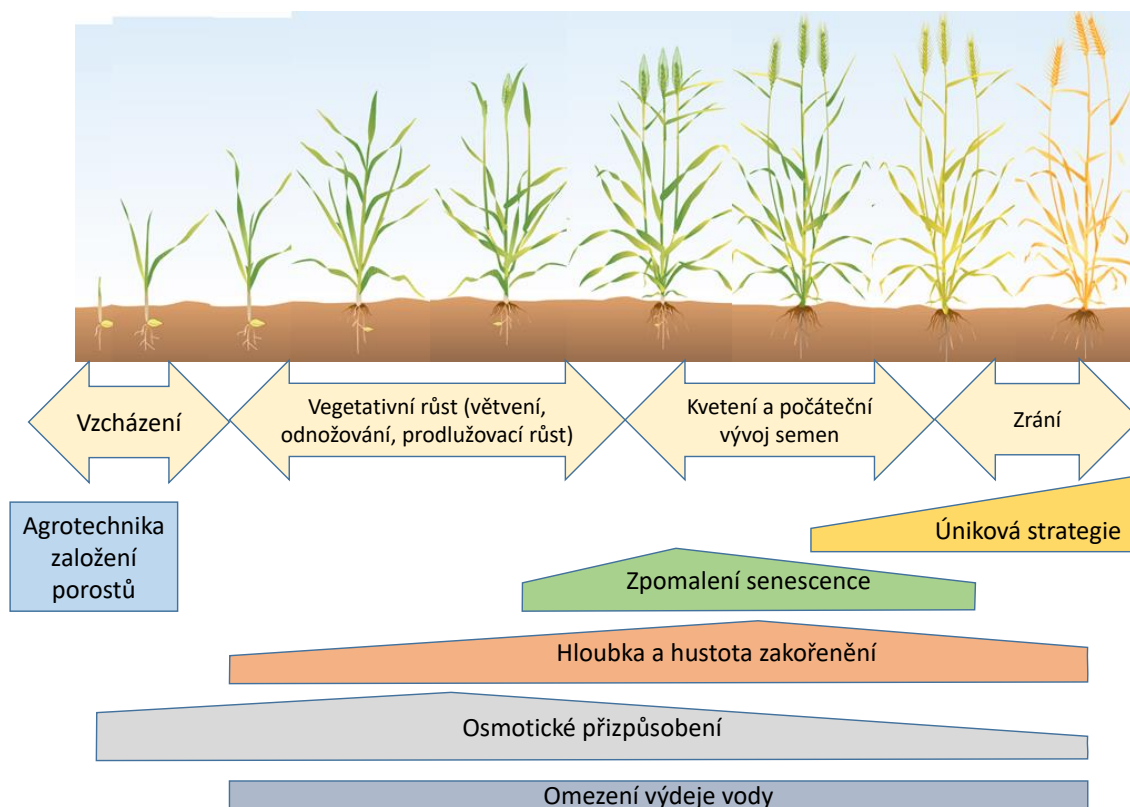
Jak již bylo řečeno dříve, v souvislosti se změnou klimatu se v oblastech střední Evropy sucho postupně posouvá do časnějších růstových fází, tedy do období kvetení a počátku vývoje semen (DC61–DC79) případně i dříve. Období kvetení a počátečního vývoje semen představuje ovšem nejcitlivější fáze vývoje 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 menší 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 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.



**Obr. 52** 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.

#### 14.4 Podpora technických opatření k zadržení vody v krajině

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. Na druhé straně podle vědeckých studií by maximální zvýšení retence půdy v ČR o 40 % a více mohlo ohrozit právě hydrologický režim s důsledky jako nižší průtoky v řekách, či enormně nízké stavy právě v nádržích. Veškerá opatření pro zadržení vody v půdě a krajině je nutné provádět jako jeden komplexní blok! Tato voda v nádržích pak může sloužit k doplňování zásob podzemní vody, lépe ovlivňuje mikroklima v daném místě a v případě využití jako závlahová vody není nutný transport zpět na velké vzdálenosti. Jak již bylo řečeno, množství zachycené vody jak pomocí malých, tak i větších 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 zanáší a znečišťují. 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.

Charakter krajiny je vždy výsledkem vzájemného působení přírodních a antropogenních (lidských) faktorů.

V České republice je zhruba 11 % krajiny zastavěno, 2 % tvoří vodní plochy, zbytek je zemědělská (53 %) a lesnická (34 %) krajina. Aby bylo možné udržitelně – tj. i pro další generace – využívat to, co produkce krajiny poskytuje (potravin, energie, dřevo), musíme dnes více než kdy jindy preferovat opatření k ochraně půdy a vody.

## 14.5 Protierozní opatření

Většinou jde o 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. Prosaditelnost 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 a cílem je mj. optimalizovat tvary a velikosti pozemků tak, aby tato opatření byla v praxi realizovatelná (např. Obr. 53).



**Obr. 53** Ukázka realizace pásového střídání plodin (zdroj: ČÚZK)

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



*Technická* – záchytné a svodné průlehy či příkopy, protierozní meze, stabilizace drah soustředěného odtoku, zasakovací pásy, sedimentační nádrže (Obr. 544), terasy, větrolamy apod.



**Obr. 54** Ukázka realizace suché protierozní sedimentační nádrže (zdroj: SPÚ)

## 14.6 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. 55), revitalizace vodních toků, ochranné hráze, rybníky, úpravy vodních toků apod. Vhodným technickým řešením lze tedy menší maximálně střední vodní nádrže realizovat, aby měly charakter jako protipovodňové či závlahové apod. V případě, že se budují v oblasti kde budou zabezpečovat i pitnou vodu a budou mít dostatečnou kapacitu pro nadlepšení průtoků v době sucha je jejich výstavba oprávněná. Jen je nutné zohlednit dobu jejich výstavby včetně zajištění pozemků. Je velmi pravděpodobné, že změna klimatu postupuje tak rychle, že v době vybudování těch plánovaných (např. Vlachovice, Nové Heřmínovy) bude tlak na vodní zdroje mnohem silnější.



**Obr. 55** Ukázka realizace malé vodní nádrže se stálým nadržáním (zdroj: SPÚ)

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. 56).



**Obr. 56** Polní cesta s protierozním průlehem a výsadbou (zdroj: SPÚ)

#### **Otázky:**

- Jaké jsou základní rysy komplexní strategie na problémy s dopady počasí?
- Jaká jsou adaptační opatření na negativní dopady sucha?

- Popište způsoby zadržování vody v krajině - protierozní a vodohospodářská opatření.
- Popište způsoby zadržování vody v půdě - výhody a nevýhody vybraných agrotechnologií, aplikace meziplodin.
- Popište směry šlechtění a uplatnění závlah v boji se zemědělským suchem.

## 15. SHRUTÍ ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ NA ZMĚNU KLIMATU

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

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. píceňiny 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, <i>pozn. toto opatření se daří realizovat!</i>	slabá pozice pachtýře, komplikovaná administrativa v LPIS, vyšší byrokracie, vyšší utužení na krajích menší honů	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 nereálných a 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



Zlepšující opatření	Vybrané argumenty, proč nejsou realizována	dobu, za kterou se projeví zlepšení	Náklady na straně státu
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, ukládání organických látek v půdě a zlepšit koloběh živin, na povrchu půdy zůstává 80 až 100 % rostlinných zbytků.) v kombinaci s aplikací meziplodin k udržení vegetačního pokryvu	nutnost zakoupení příslušných strojů, tlak chorob a škůdců, nutnost aplikace pesticidů, náročnější organizace práce, málo tuzemských zkušeností, relativně drahá technika a její menší 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	nejdou, 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

Zlepšující opatření	Vybrané argumenty, proč nejsou realizována	doba, za kterou se projeví zlepšení	Náklady na straně státu
druhově a věkově pestré lesy, zvýšení podílu lesů smíšených a listnatých, navýšení přirozené obnovy lesa, prosazení nepasečných způsobů obhospodařování, smrk dominantně od ca. 800 m n m., jinde jako příměs podle místních podmínek, omezení či vyloučení holosečí	ekonomika = vyšší náklady, menší efektivita (rychlost) růstu, škody zvěří, byrokracie spojená s veřejnými zakázkami, nedostatek pracovních sil, tj. nevhodné organizační rámce a nedostatečná legislativa	za desítky let	stovky miliónů (při redukcí stavu zvěře méně)
management zvěře – redukce především spárkaté jako předpoklad realizace předchozího opatření v lesích	není dostatečná politická podpora, stárnutí myslivecké komunity, legislativa	jednotky let	bez dodatečných nákladů (financováno odlovem)
ochrana a obnova přirozeného vodního režimu v lesích – při těžbě, obnově lesa, provozu meliorací, hrazení bystřin a cest, s cílem zvýšit retenční kapacitu lesa, zpomalení povrchového odtoku a zabránění eroze půd, včetně ochrany mokřadů a lesních typů ovlivněných vodou.	chybějící dotační politika státu	jednotky až desítky let	stovky miliónů až jednotky miliard

**Otázka:**

- Stručně vyjmenujte a charakterizujte adaptační opatření v krajině s důrazem na zemědělství.

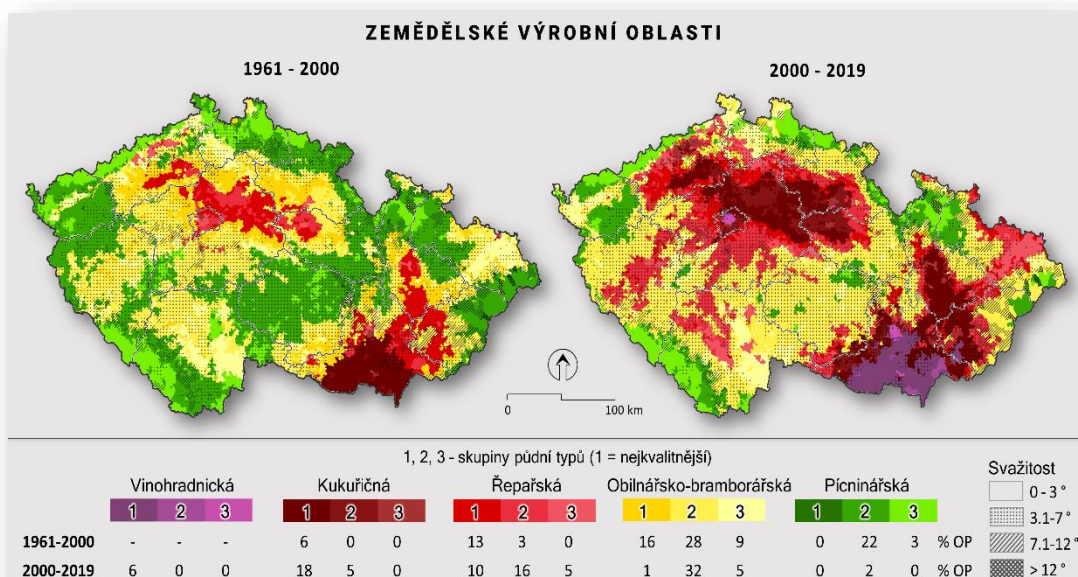
## 16. POZITIVNÍ DOPADY ZMĚNY KLIMATU NA ZEMĚDĚLSTVÍ

Největším problémem měnícího se klimatu je častější výskyt extrémů, které se projevují častějšími abiotickými stresy (např. sucho, vlny veder, méně sněhu, vymrzání) či změny podmínek pro stresy biotické (choroby, škůdce, plevele), které velmi často vedou k zesílení jejich (infekčního) tlaku. Každá změna (tedy i klimatická) však přináší i příležitost. První z nich je využití zvýšené koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Jedná se o plyn, který přijímá rostlina z atmosféry (vzduchu) přes stomata (průduchy) a následně vstupuje do fotosyntézy. Jeho současná koncentrace (rok 2021 = zastoupené ve vzduchu 0,0415 obj. %, resp. 415 ppm) není pro optimální intenzitu tohoto procesu dostatečná. Postupný nárůst CO<sub>2</sub> rostlinám vyhovuje. Ano zvýšená atmosférická koncentrace CO<sub>2</sub> představuje jednoznačně pozitivní faktor z pohledu tvorby biomasy, ale pro ekosystémové procesy bývá jeho přínos často přeceňován.

Jde o to, že vliv zvýšené atmosférické koncentrace CO<sub>2</sub> na ekosystémy nemůže být zúžen pouze na proces fotosyntézy. Koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře je důležitým faktorem v regulaci otevřenosti průduchů, která je zprostředkovávána kyselinou abscisovou (ABA). Zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> proto vede obecně k uzavírání průduchů a zvýšení efektivity využití vody (množství vody potřebné k vytvoření jednotky hmotnosti sušiny). Krátkodobě proto zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> může dokonce pomáhat v odolnosti rostlin vůči suchu. Z dlouhodobého pohledu, či z pohledu ekosystému jako celku, není tento efekt ovšem tak jednoznačný a obvykle se tato zvýšená efektivita využití vody neprojeví na lepší odolnosti k suchu a vyšší produkci. Důvodem je především vyšší tvorba biomasy a s ní související vyšší listová plocha, které i při vyšší efektivitě využití vody vedou k celkově zvýšené spotřebě vody pro růst. V důsledku se tak negativní vliv sucha na rostlinu dostavuje dříve a výrazněji, čímž negativně kompenzuje zvýšenou efektivitu využití vody. Dostatek vody v podmínkách se zvýšenou koncentrací CO<sub>2</sub> tedy obvykle vede ke zvýšenému stimulačnímu efektu na produkci (pokud není limitující jiný faktor) zatímco nedostatek vody je při zvýšené koncentraci CO<sub>2</sub> kompenzován jen krátkodobě. Na druhou stranu ovšem zvýšená koncentrace CO<sub>2</sub> vede často ke stimulaci růstu

hloubky zakořenění, hustoty kořenů nebo jejich celkové biomasy, které pak přispívají ke zlepšení schopnosti příjmu vody, a mohou tak částečně negativní efekt sucha kompenzovat.

Zvyšování teploty má vliv i na rajonizaci zemědělských kultur (Obr. 57). Zatímco kukuřičná a velká část řepařské výrobní oblasti ztrácí svůj produkční potenciál, příznivé podmínky pro pěstování polních plodin se zvyšují především v obilnářské a bramborářské výrobní oblasti a mírně i v oblasti píceňářské. Obecně se dá říci, že oblasti ve středních nadmořských výškách se i přes handicap méně kvalitních půd stávají z pohledu pěstování plodin produkčnější. Významně je začíná podporovat klimatický potenciál ať již vyšší teploty, relativní dostatek srážek, či trvání sněhové pokrývky a s tím spojené jarní dosycení půdního profilu. Z nejnižších nadmořských výšek do středních se postupně rozšiřují vinohrady, neboť vinná réva, která je pěstována v ČR na samotné severní hranici jejího efektivního pěstování je teplomilnou kulturou. Sektor vinohradnictví je možná v oblasti zemědělství jediný, který otevřeně přiznává více pozitivních dopadů měnícího se klimatu než dopadů negativních.



**Obr. 57** Klimaticky podmíněná změna výrobních oblastí 1961-2000 a 2000-2019. V druhém období se na základě klimatických parametrů (teplota, srážky) objevila nová výrobní oblast s názvem „Vinohradnická“.

Nejde jen o větší plochy, na kterých se dají odrůdy (často i nové, teplomilnější) pěstovat, ale jde i o pozitivní trend v zásadním kvalitativním parametru při hodnocení hroznů, a to je jejich cukernatost. Pokud si uvědomíme, že vinná réva je plodina s velmi hlubokým kořenovým systémem (čerpá vodu z velkého objemu půdy), má nízký transpirační koeficient cca 250 (na 1 g sušiny, musí rostlina vytranspirovat 250 g vody, zatímco obilniny dosahují hodnoty cca 500-600, zelenina 1000-1200) je zřejmé, že ani sucho nemusí být zásadní limit jejich pěstování. Kromě mladých vinic, které samozřejmě suchem trpí podstatně více. Pozitivní dopad mají např. i teplé zimy, kdy pro většinu škůdců, která přezimuje v diapauze, vyvolají jejich vyšší energetický výdej a jejich následné oslabení, v teplých zimách nejsou zničeni jejich patogeni (predátoři) škůdců. Ano i škůdci a jejich životní stádia (larvy, housenky, kukly) jsou potravou pro další predátory. Většinou se škůdci přemnoží když je mrazivá zima, naopak teplé zimy vyhovují menšině druhů (např. housenka blýskavka mramorovaná - *Phlogophora meticulosa*), které přezimují bez diapauzy, mohou se dříve vyvinout a dříve i škodit. *Pozn. Diapauza je fáze života jedince v níž je jeho vývoj pozastaven a životní pochody silně omezeny, umožňuje přežít periodická období nepříznivých vnějších podmínek, v mírném pásu zejména zimy (hibernace), v teplejších oblastech potom horka a sucha (estivace), vyskytuje se nejčastěji u hmyzu.*

Otázka:

- Jaká je role CO<sub>2</sub> a jeho zvýšené koncentrace na život rostliny?
- Jaké pozitivní dopady mají měnící se klimatické podmínky na zemědělství?

## **17. PŘEDPOVĚĎ POČASÍ – ZDROJE DAT**

### **intersucho.cz**

V příslušné kapitole o [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) je popsáno, jak získat cílenou lokální předpověď počasí. Jedná se prostorově o nejpřesnější předpověď a zpravodaj portálu intersucha ji bude denně dostávat na svůj e-mail. Jde o denně aktualizovanou předpověď na příštích devět dní na GPS souřadnice zvolené uživatelem. Obsahem předpovědi je vážený průměr teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, rychlosti větru a úhrnu srážek., kdy první tři dny jsou meteorologické prvky předpovídány v hodinovém kroku. Uživatelé nejčastěji volí střed katastru, na kterém hospodaří, či vlastní dům. Předpověď je zdarma, jedinou podmínkou je být aktivním zpravodajem portálu intersucho.cz. Postup, jak se stát zpravodajem a získávat tento pro zemědělce velmi cenný produkt je popsán opět v dané kapitole.

### **agrorisk.cz**

Volně dostupná je předpověď pro střed každého okresu na portále [agrorisk.cz](http://agrorisk.cz) v okamžiku, kdy si uživatel do vyhledávacího pole pro zadání katastru napíše jméno toho, který ho zajímá. Vlevo dole se objeví graf pro předpověď teploty vzduchu na devět dní a po jeho rozkliknutí se objeví i další meteorologické prvky (vlhkost vzduchu, rychlost větru a úhrny srážek. Opět se jedná o vážený průměr z pěti předpovědních modelů. První tři dny jsou po hodinách. Součástí souboru je i podrobný návod jak předpověď počasí správně číst.

### **chmi.cz**

Jednou ze základních činností Českého hydrometeorologického ústavu je poskytovat předpověď počasí včetně vydávání výstrah. Na svých webových stránkách poskytuje předpovědi pro kraje a to krátkodobou (dnes a zítra), týdenní předpověď a dlouhodobou předpověď. Ta, jako měsíční výhled počasí, je založena na výstupech numerických předpovědních modelů a na statisticko-analogové metodě, která vychází z naměřených údajů na území ČR od roku 1912. Je vydávána (upřesňována) jednou týdně, a to v pondělí kolem 17 hodiny. Na rozdíl od krátkodobých a střednědobých předpovědí není měsíční výhled zaměřen na předpověď konkrétních hodnot teploty vzduchu a množství srážek pro jednotlivé

dny, ale vyjadřuje předpokládaný celkový charakter předpovědních období (období jako celek a jednotlivé čtyři týdny) z hlediska průměrných teplot a úhrnů srážek a jejich očekávaný trend. Výhled nemůže postihnout krátkodobé výkyvy od tohoto trendu. Tedy např. předpověď období teplotně nadprůměrného nevyklučuje během tohoto období krátkodobý pokles teploty i pod normál.

Pro přesnější předpověď je tedy třeba sledovat střednědobé a krátkodobé předpovědi pro ČR nebo i jednotlivé kraje denně aktualizované a uváděné na stránkách chmi.cz. Tam ale lze najít i podrobné krátkodobé předpovědi z modelu ALADIN a velmi přesná data o srážkách monitorovaných pomocí meteorologických radarů. Z praktického pohledu jsou velmi dobře využitelné meteogramy a pro krátkodobé zhodnocená srážkové aktivity jsou to radarové výstupy.

#### **yr.no**

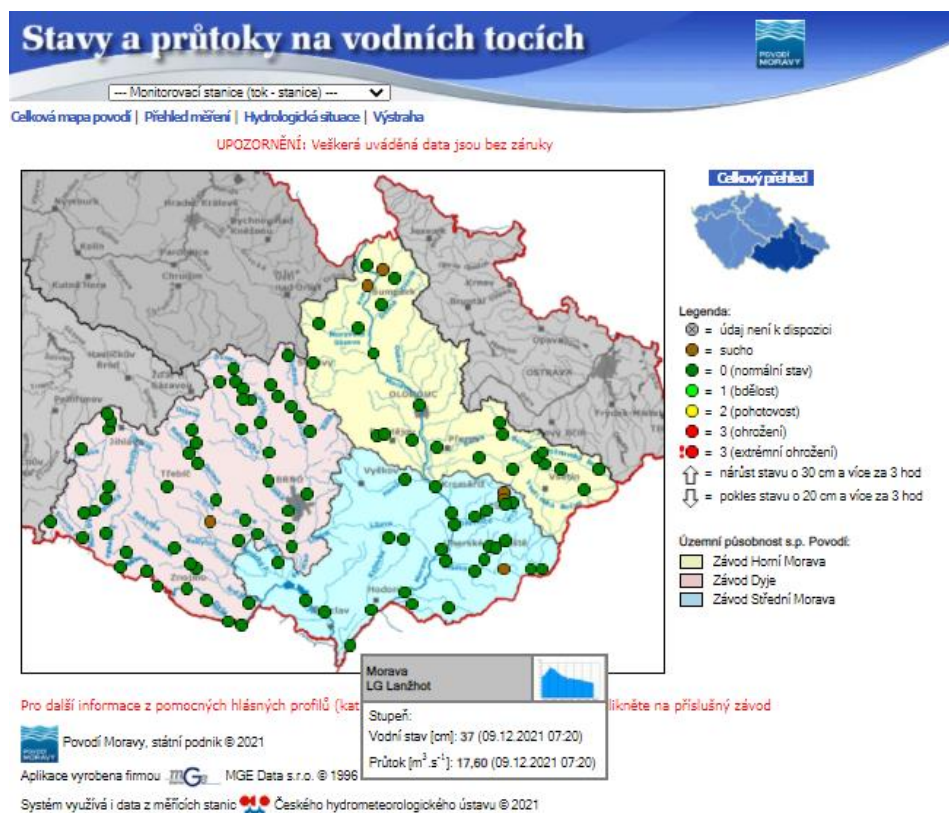
V ČR populární webové stránky Norské meteorologické služby (*Norwegian Meteorological Institute and the Norwegian Broadcasting Corporation*), které získaly své příznivce především jasnou a přehlednou strukturou a jednoduchým vyhledáváním. Nutno podotknout, že data přebírají stejně jako další zdroje z evropských meteorologických center.

#### **windy.com a ventusky.cz**

Jedná se o vizuálně velmi atraktivní platformy jako produkty meteorologů, a IT týmů poskytující kvalitní předpověď počasí. Poznámku si zaslouží, že součástí windy.com je od roku 2022 i celosvětový podrobný monitoring a předpověď sucha, kterou zajišťuje tým intersucho.cz. Je možné na kterémkoliv místě naší planety sledovat intenzitu zemědělského sucha, půdní vlhkost (%) i deficit vody v půdě od dlouhodobého normálu (mm) pro dvě půdní vrstvy cm 0-40 cm resp. 0-100 cm.

Z hlediska hydrologického jsou pro ČR ideální portály jednotlivých povodí. ČR má tři hlavní povodí Dunaje (černé moře), Odry (Baltské moře) a Labe (Severní moře) a řadu povodí dílčích. Jako jedno z nich můžeme uvést povodí Moravy ([www.pmo.cz](http://www.pmo.cz)), kde pod odkazem Hydrologická situace najdeme např. údaje o nádržích či tocích, stejně jako povodňové zpravodajství či dlouhodobé vodohospodářské bilance. Pokud nás zajímá říční síť, je možné si na příslušném toku

zvolit monitorovací stanici a okamžitě tak zjistit výšku aktuální hladiny (stav v cm) a průtok ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) včetně krátké historie.



**Obr. 58** Stav (cm) a průtok ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ) dne 9.12.2021 na řece Moravě, monitorovací stanice Lanžhot. Zdroj: [www.pmo.cz](http://www.pmo.cz)

**Otázka:**

- Kde najdete předpověď počasí pro zemědělce?



## 18. SEZNAM ZDROJŮ A ODKAZŮ

V předloženém textu byla využita řada prací, které jsou uvedené v předloženém seznamu. Důvod absence citací a internetových zdrojů v samotném textu je, že učebnice má výhradně sloužit k předávání informací studentům. Právě z důvodu přehlednosti textu pro studenty nejsou uvedeny ve vlastním textu citace. Druhým důvodem je, že práce je nekomerční text sloužící k šíření vzdělanosti. Jako citované a současně **doporučené** zdroje pro další studium byly využity:

1. 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.
2. Alliaume, F., Rossing, W. A. H., Tiftonell, 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.
3. Bednář, J. (2003). *Meteorologie* Vyd. 1. Praha: Portál Brázdil, R. et al. (2007) *Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Brno, Praha, Ostrava: Masarykova universita, Český hydrometeorologický ústav, Ústav geoniky Akademie věd ČR, v.v.i., 2007. 432 s. ISBN 978-80-210-4173-8.
4. 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.
5. Bodner, G., Nakhforoosh, A., Kaul, H.-P. (2015): Management of crop water under drought: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 401–442.
6. Brant, V. a kol. (2016): *Pásové zpracování půdy (strip tillage) Klasické, intenzivní a modifikované*. Profi Press, Praha, 135 s.
7. **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.**
8. 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.
9. 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.
10. **Hájková, L. et al. (2012): Atlas fenologických poměrů Česka. 1. Vydání, Praha-Olomouc, ČHMÚ-UP, ISBN (ČHMÚ) 978-80-86690-98-8, ISBN (UP) 978-80-244-3005-8, 320 s.**
11. Havlíček, V. a kol. *Agrometeorologie*, SZN, Praha, 1986, 260 s. Klabzuba, J., Kožnarová, V., Voborníková, J. (1999): *Hodnocení počasí v zemědělství*. Powerprint, Praha, ISBN 80-213-0584-3, 125 s.

12. Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Zalud, Z., Mozný, M. (2009): Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431–442.
13. Hoorman, J. J., Islam, R., Sundermeier, A., Reeder, R. (2009): Using cover crops to convert to no-till. *Crops Soils*, 42, 9-13.
14. Hůla, J., Procházková, B., eds. (2008): Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha, 248 s.
15. IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
16. Kahiluoto, H et al., Decline in climate resilience of European wheat, *PNAS* 2, 2019 116 (1) 123-128, 2018 <https://doi.org/10.1073/pnas.1804387115>
17. 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.
18. 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.
19. Kopáček, J., Bednář, J. (2005): Jak vzniká počasí. První vydání, Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, ISBN 80-246-1002-7, 226 s.
20. Kožnarová, V., Klabzuba, J. (2007): Voda v atmosféře, výpar, vlhkost vzduchu, půdy a materiálu. 1. vydání, 2. dotisk 2007, ČZU, ISBN 978-80213-1123-7, 40 s.
21. Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J. (1975): *Agroklimatické podmínky ČSSR*, 1. Vyd. Bratislava, Příroda, 1975, 270 s. Nosek, M. (1972). *Metody v klimatologii*. Československá akademie věd, Praha 1972, Academia, 434 s.
22. Levitt, J. (1980): Responses of plants to environmental stresses. *Physiological ecology series*. Academic Press, Michigan, 607 s.
23. Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 48 s.
- 24. Metelka, L, Tolasz, R. (2009) Klimatické změny: fakta bez mýtů. Centrum pro otázky životního prostředí, Praha, 35 s.**
25. 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.
26. Novák, M. (2004): Úvod do meteorologie a klimatologie. UJEP Ústí nad Labem, vydání první, ISBN 80-7044-597-1, 184 s.
27. Novotný, J. et al. (2014): Příručka ochrany proti vodní erozi. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 73 s.
28. Potopová, V., Koudela, M., Mozný, 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.
29. Potopová, V., Štěpánek, P., Mozný, 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.
30. Sobíšek B. et al. (1993): *Meteorologický slovník výkladový, terminologický.* Academia Ministerstvo životního prostředí. 1. Vydání, Spektrum s.p. Brno-Horní Heršpice, 1993, 594 s.
  31. Sprague, G. B., Triplett, M. A., eds. (1986): *No-tillage and surface-tillage agriculture.* John Wiley and Sons, Canada, 467 s.
  32. Špánik, F., Šiška, B., Antal, J., Repa, Š *Biometeorologia.* Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita 2004. 227 s. ISBN 80-6069-315-3.
  33. Tolasz, R. et al. (2007): *Atlas podnebí Česka.* 1. vydání, ČHMÚ Praha/UP Olomouc, ISBN 978-80-86690-26-1 (ČHMÚ), ISBN 978-80-244-1626-7 (UP), 255 s.
  34. Trnka M., Muška F., Semerádová D., Dubrovský M., Kocmánková E., Žalud Z. (2007) European corn borer life stage model: regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling*, 207(2-4): 61-84
  35. Trnka, M. (Ed.), (2017): *Bilanční hodnocení zdrojů a potřeb vody s ohledem na závlahové systémy.* Výzkumná zpráva, CzechGlobe, Brno, 119 s.
  36. **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.**
  37. Trnka, M., Hlavinka, P., Možný, M., Semerádová, D., Štěpánek, P., Balek, J., Bartošová, L., Zahradníček, P., Bláhová, M., Skalák, P., Farda, A., Hayes, M., Svoboda, M., Wagner, W., Eitzinger, J., Fischer, M., Žalud, Z., (2020). *Czech Drought Monitor System for Monitoring and Forecasting Agricultural Drought and Drought Impacts.* *International Journal of Climatology.* 40. 10.1002/joc.6557.
  38. Urban, O., Hlaváčová, 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.
  39. 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.
  40. Vaněk, V. a kol. (2012): *Výživa zahradních rostlin.* Academia, 568 s.
  41. Vesecký, A., Briedoň, V., Karský, V., Petrovič, Š. (eds.) (1961): *Podnebí Československé socialistické republiky – tabulky.* Hydrometeorologický ústav, Praha 1961, vydání první, 379 s.
  42. Vizina, A. et al. (2014): *Udržitelné využívání vodních zdrojů v podmínkách klimatické změny. Průběžná zpráva 2014.* TA0102508.
  43. Waines, J. G., Ehdaie, B. (2007): Domestication and Crop Physiology: Roots of Green-Revolution Wheat. *Annals of Botany*, 100, 991–998.

44. 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. Brusseu (eds.) Environmental and pollution science. Academic Press, New York
45. 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.
46. Windels, C.E., Lamey, H.A., Hilde, D., Widner, J., Knudsen, T. (1998) A Cerospora leaf spot model for sugar beet: in practice by an industry. *Plant Disease*, 82, 716–726
47. Wolfe, M. S. (2000): Crop strength through diversity. *Nature*, 406, 681–682.
- 48. Žalud, Z. (ed.) (2009): Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace (Climate change and Czech agriculture – impacts and adaptations). Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009, vydání první, ISBN 978-80-7375-369-0, 154 s.**
49. 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.
- 50. Žalud, Z., Trnka M., Hlavinka P. (eds) (2020): Zemědělské sucho v České republice – vývoj, dopady a adaptace. Praha: Agrární komora České republiky, ISBN 978-80-88351-02-3**

Veřejné internetové zdroje:

[www.chmi.cz](http://www.chmi.cz); [www.cs.wikipedia.org](http://www.cs.wikipedia.org); [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch); [www.pmo.cz](http://www.pmo.cz); [www.szif.cz](http://www.szif.cz);  
[www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu); [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz);  
[www.vynosy-plodin.cz](http://www.vynosy-plodin.cz); [www.czso.cz](http://www.czso.cz); [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz); [www.firerisk.cz](http://www.firerisk.cz);  
[www.fenofaze.c](http://www.fenofaze.c)

Autor: Zdeněk Žalud a kol.

Název: Aplikovaná agrometeorologie

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2022

ISBN 978-80-7509-836-8 (online ; pdf)

DOI: <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-836-8>