



# Podnebí, počasí a zemědělství

---

Zdeněk Žalud a kolektiv



## Poděkování:

Monografie "Podnebí, počasí a zemědělství" mohla být sepsána s podporou následujících projektů:

- Pokročilé metody redukce emisí a sekvestrace skleníkových plynů v zemědělské a lesní krajině pro mitigaci změny klimatu, MŠMT, OP JAK č. CZ.02.01.01/00/22\_008/0004635
- Přírodní a antropogenní georizika, MŠMT, OP JAK č. CZ.02.01.01/00/22\_008/0004605
- Velké výzkumné infrastruktury CzeCOS, MŠMT, program CzeCOS, LM2023048
- Vliv změny klimatu na evapotranspiraci a vodní bilanci v krajině v kontextu zabezpečení a udržitelnosti vodních zdrojů, MZe, NAZV č. QL24020457
- Systém dlouhodobého ukládání uhlíku a snižování emisí oxidu dusného a metanu v zemědělství, vyhodnocení jejich efektivity a certifikace přínosů, MZe, NAZV č. QK23020080
- Strategie AV21, Akademie věd ČR, výzkumný program Potraviny pro budoucnost

## Kolektiv autorů:

**Ing. Lenka BARTOŠOVÁ, Ph.D.**, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Mendelova univerzita v Brně

**Mgr. Jáchym BŘEZINA, Ph.D.**, Český hydrometeorologický ústav

**Ing. Milan FISCHER, Ph.D.**, Mendelova univerzita v Brně, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

**Ing. Karel KLEM, Ph.D.**, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Mendelova univerzita v Brně

**prof. RNDr. Zdeněk LAŠTŮVKA, CSc.**, Mendelova univerzita v Brně

**doc. Ing. Vladimír SMUTNÝ, Ph.D.**, Mendelova univerzita v Brně

**Mgr. Petr ŠTĚPÁNEK, Ph.D.**, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Český hydrometeorologický ústav

**prof. Mgr. Ing. Miroslav TRNKA, Ph.D.**, Mendelova univerzita v Brně, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

**Mgr. Pavel ZAHRADNÍČEK, Ph.D.**, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., Český hydrometeorologický ústav

**prof. Ing. Zdeněk ŽALUD, Ph.D.**, Mendelova univerzita v Brně, Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i.

## Odborný recenzent:

**doc. Ing. Dalibor Janouš, CSc.**

## Autor úvodní fotografie:

**Vilém Procházka**

## Grafická úprava a tiskové služby:

**Martin Růžička, martin.ruzicka@vvd.cz**

## Rok vydání:

2025





# Obsah

<b>1. PODNEBÍ</b> .....	6
1.1 Klimatotvorné procesy .....	6
1.2 Přirozené klimatické cykly a oscilace.....	9
1.2.1 ENSO - El Niño Jižní oscilace .....	9
1.2.2 NAO - Severoatlantická oscilace .....	10
<b>2. POČASÍ</b> .....	11
2.1 Základní meteorologické prvky a jejich charakteristiky .....	11
2.2 Proč se mění počasí? .....	17
2.3 Předpověď počasí.....	18
2.4 Klimatické poměry České republiky .....	21
<b>3. FENOLOGIE JAKO BIOINDIKÁTOR PROJEVŮ POČASÍ A PODNEBÍ</b> .....	25
3.1 Fenologie polních plodin.....	25
3.2 Fenologie volně rostoucích druhů .....	25
3.3 Fenologie, počasí a podnebí .....	26
3.4 Délka vegetačního období.....	30
3.5 Stručná historie a současnost fenologie .....	31
<b>4. HISTORICKÝ VÝVOJ KLIMATU NA ÚZEMÍ ČR</b> .....	33
4.1 Teplota vzduchu .....	33
4.2 Srážky .....	40
4.3 Sníh .....	44
4.4 Teplotní indexy.....	46
4.5 Srážkové indexy.....	49
4.6 Pozdní jarní mrazy.....	50
4.7 Souhrn .....	52
<b>5. PŘÍČINY A VÝVOJ KLIMATICKÉ ZMĚNY</b> .....	59
5.1 Skleníkový efekt.....	60
5.1.1 Skleníkové plyny .....	62
5.1.2 Klimatická změna a zpětné vazby.....	63
5.2 Uhlíková stopa .....	64
5.3 Podíl zemědělství na produkci skleníkových plynů .....	65
5.3.1 Zemědělství a oxid uhličitý .....	66
5.3.2 Hlavní emise ze zemědělství – metan a oxid dusný.....	68
5.3.3 Možnosti redukce oxidu dusného a metanu v zemědělství.....	69
<b>6. PRAVDĚPODOBNÝ VÝVOJ KLIMATU V ČR</b> .....	71
6.1 Očekávaná změna klimatu.....	71
6.1.1 Teplota vzduchu .....	72
6.1.2 Srážky .....	77



<b>7.</b>	<b>DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ZEMĚDĚLSTVÍ</b> .....	87
7.1	Zemědělský rok v kontextu klimatické změny .....	87
7.1.1	Klimatický vývoj výrobních oblastí .....	90
7.1.2	Extrémy počasí .....	95
7.2	Dopady na biotické škodlivé organizmy .....	108
7.2.1	Plevely .....	108
7.2.2	Choroby.....	109
7.2.3	Škůdci .....	110
7.3	Klimatická změna a příležitosti – pozitivní dopady.....	113

# Úvod

Motivací k sepsání monografie „Podnebí, počasí a zemědělství“ byl zvyšující se zájem zemědělské prvovýroby o problematiku spojenou s meteorologickými jevy a dlouhodobým klimatickým vývojem. Jsou to právě stále častější a extrémnější projevy počasí, které se stávají klíčovými a rozhodujícími limity úspěšnosti zemědělského roku. Kromě extrémů pozorujeme v naší krajině i dopady dlouhodobých klimatických trendů, které postupně mění podmínky pro pěstování našich plodin.

Kniha obsahuje **sedm kapitol**, které jsou však sepsány tak, aby se daly číst i samostatně. To je důvod, proč se některá témata otevírají z různých úhlů pohledů vícekrát. **První** kapitola je věnována podnebí a objasňuje jeho vymezení, klimatotvorné faktory, ale i popis základních planetárních cyklů a oscilací, včetně mediálně nejznámějšího jevu El Niño. **Druhá** kapitola, která má rovněž didaktický charakter seznamuje čtenáře s počasím a je pojata jako základní (agro)meteorologický slovníček, neboť právě nesprávné použití terminologie vede k řadě nejasností a nepochopení vlivu počasí na zemědělství. Fenomémem současnosti je poměrně rychle se měnící klima, a i z toho důvodu se následující kapitoly věnují klimatickému vývoji. **Třetí** kapitola je věnována fenologii a vysvětluje, jak na změny podnebí reaguje příroda a zemědělství z pohledu vývoje rostlin. Právě v dlouhodobých fenologických řadách lze vyčíst reakce přírody na měnící se klima, aniž bychom k tomu využili data z meteorologických přístrojů. Ve **čtvrté** kapitole se dozvíme, jak se na našem území změnilo klima a jaké byly trendy základních meteorologických prvků s důrazem na poslední desetiletí. V **páté** kapitole se dozvíme příčiny těchto změn, včetně důvodů změn klimatu v dávné minulosti. Důležitou částí této kapitoly je popis příčin nárůstu skleníkových plynů a jejich emise ve vztahu k zemědělství, neboť jak v současnosti, tak i v budoucnu nás čeká řada opatření směrem k jejich monitorování a snahy o snížení. I tato tzv. mitigační opatření jsou v páté kapitole detailně rozebrána. Jak se klima na našem území bude vyvíjet a popis jednotlivých variant vývoje nabízí **šestá** kapitola, zatímco v **sedmé** jsou z velmi širokého úhlu pohledu rozebrány současné a očekávané dopady měnícího se klimatu na zemědělství.

V Brně 20. 12. 2024

*prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.*

# 1. PODNEBÍ

Úvodem je nutné si vysvětlit dva základní pojmy obsažené i v názvu knihy, a to podnebí a počasí. Jejich záměna vyvolává často již na počátku odborných i laických diskusí řadu nedorozumění a nepochopení.

**Podnebí** (klimatem) rozumíme dlouhodobý stav meteorologických prvků na daném místě. Dlouhodobým stavem rozumíme, že pro dané místo či region máme meteorologická data alespoň za třicet let. Podnebí nelze popsat z několika let či dokonce měsíců. Podnebí lze nazvat jako kontinentální, oceánické, přechodné, aridní (suché), humidní (vlhké) tropické, arktické, horské, nížinné apod. Podnebí je stabilní a robustní atribut daného místa. Pokud modelujeme očekávaný vývoj podnebí, nehovoříme o předpovědi podnebí, ale o scénářích vývoje podnebí. Změna podnebí (klimatu) není běžný jev, neboť to znamená, že se v dlouhodobých řadách objevují trendy (např. se mění teplota či rozložení srážek). Podnebí se zabývá věda zvaná klimatologie.

**Počasím** rozumíme okamžitý či krátkodobý stav meteorologických prvků na daném místě. Počasí charakterizuje hodinu či daný den, popř. několik dní. Počasí se předpovídá. Počasí můžeme označit jako větrné, slunečné, deštivé, mlhavé apod. Změna počasí je naprosto běžný jev. Počasím se zabývá věda zvaná meteorologie.

## 1.1. Klimatotvorné procesy

Podnebí (klima) daného místa je výsledkem vzájemné souhry tzv. klimatotvorných procesů. Každý region má své klima, které je výsledkem působení pěti faktorů:

**1. Radiace (synonymum záření)** – kolik na dané místo dopadá záření slunečního přímého (dopadá na daný bod na povrchu Země, aniž by bylo rozptýleno, aneb dráha paprsku od Slunce do daného bodu tvoří úsečku) a rozptýleného (sluneční záření naráží na molekulu vzduchu nebo na částici atmosférického aerosolu a změní směr). Bez této schopnosti částic rozptylovat sluneční záření by bylo světlo (světlo je část slunečního spektra) jen na těch místech, kam by dopadalo přímé sluneční záření. Na ostatních místech by byla tma. Mj. rozptýlené záření umožňuje opalování i ve stínu. Postupné a bez nebezpečného „předávkování“. Ještě je třetí tok slunečního záření a nazývá se záření odražené (část dopadajícího slunečního záření se od zemského povrchu odráží a směřuje zpět do atmosféry). Podíl mezi odraženým a dopadajícím (přímým + rozptýleným) zářením vynásobeno 100 určuje tzv. **albedo** (%). Je to schopnost povrchu odrážet dopadající záření. Závisí na barvě povrchu, čím světlejší tím vyšší albedo. Jako příklad můžeme uvést arktické oblasti pokryté bílým sněhem či ledem, které mají až 90% albedo. Nesprávné je tedy tvrzení, že pokud bude na sních svítit slunce, tak roztaje. Protože neabsorbuje sluneční záření, neroztaje.

**2. Cirkulace vzduchu** – každé místo je v určité pozici vůči primární cirkulaci, která je tvořena všeobecnou cirkulací atmosféry (Obr. 1), nebo cirkulaci sekundární, která je dána vznikem tlakových útvarů (především tlakových výší a níží), či cirkulací terciální, která zahrnuje místní proudění (např. bríza, fén, horské či údolní větry). Jako příklad můžeme uvést území České republiky ležící na cca 50 rovnoběžce, které spadá v rámci všeobecné cirkulace atmosféry do převažujícího západního proudění. Často je však ovlivňováno silnou cyklonální aktivitou (sekundární cirkulace) a nemalou roli zde hrají právě místní větry (terciální cirkulace), které jsou na našem území především formovány jeho orografií (členitostí povrchu). Všeobecná cirkulace atmosféry zahrnuje vzdušné proudy v rámci celé planety a nebere ohledy na většími místních vlivů.

Kdyby Země byla bez rotace, měla by všeobecná cirkulace jednoduchý popis. Nad rovníkem, kde dochází k největšímu zahřátí vzduchu, by vzduch stoupal a ve výškách by převládalo meridionální (ve směru poledníků) proudění od rovníku k pólům, kde by vzduch sesedal a při zemském povrchu by se vracel zpět na uvolněné místo k rovníku. Především rotace naší planety a lokálně vysoká pohoří však tuto jednoduchou cirkulaci nepřipustí.

Zejména vlivem dopadající sluneční radiace (rozdílným zahřátím zemského povrchu) a působením Coriolisovy síly se vytváří tři relativně samostatné cirkulační buňky: (pojmenované jako buňka Hadleyova, Ferrellova, resp. polární) a čtyři vzduchové hmoty: rovníková s nízkým tlakem, subtropická s vysokým tlakem, polární vzduchová hmota mírných šířek s nízkým tlakem a arktická (antarktická) s vysokým tlakem (Obr. 1).

**a) Hadleyova buňka** – na plochy kolem rovníku dopadá nejvíce energie a od nich se vzduch zahřívá a stoupá. Ve vyšších vrstvách atmosféry se dává do pohybu směrem k obratníkům. Působí však na něj Coriolisova síla a přibližně na úrovni obratníků (Raka a Kozoroha 23° 26' severní a jižní šířky) má již charakter zonálního proudění (rovnoběžné s rovnoběžkami). Coriolisova síla vzniká jako důsledek rotace Země a změny vzdálenosti pohybující se hmoty vzduchu od zemské osy. Čím je tato změna větší, tím je i větší tato síla. U horizontálního proudění závisí na zeměpisné šířce (čím severněji/jižněji, tak je větší, na rovníku je nulová). Na severní polokouli Coriolisova síla stáčí proudění doprava a na jižní polokouli doleva. V těchto oblastech dochází k sestupnému proudění a vzduch se adiabaticky zahřívá, což prakticky vylučuje vznik oblačnosti a srážek. Jeho důsledkem je vznik světových pouští kolem 20–30° severní a jižní šířky s převládajícím slunečným a teplým podnebí. Adiabatické zahřívání způsobené stlačováním vzduchu má za následek hromadění vzduchu a formování oblasti vyššího tlaku a je jednou z příčin tlakových výší (anticyklon např. na severní polokouli Azorská výše).

První část vzduchu se v rámci tlakových výší po sestupu k zemi vrací směrem k rovníku a vlivem Coriolisovy síly je toto proudění odchylováno na severovýchodní (Coriolisova síla působí doprava) a na jižní polokouli na jihovýchodní (Coriolisova síla působí doleva). Tyto větry dominují především nad oceány a nad pobřežím. Jsou teplé (vzduch se zahřál adiabatickým procesem) a nad pevninou i relativně suché. Nazývají se **pasáty** (ze španělštiny *passo*, *pasadero* – průjezd, přechod); námořníci je od středověku využívali



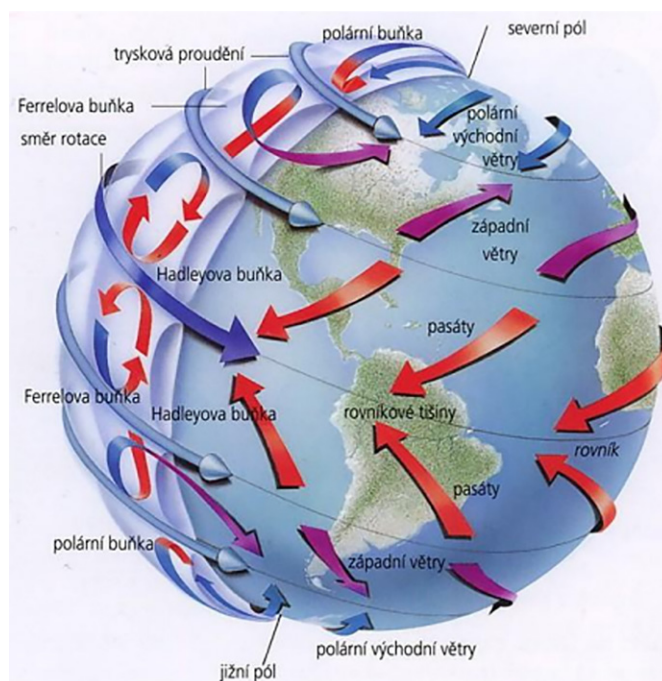
jako pravidelný „pohon“ pro plachetnice a v tomto kontextu je srozumitelnější jejich anglický název „trade winds“ (obchodní větry). V těchto oblastech vznikají především nad oceány často inverze, které se projeví většinou jasným a suchým počasím. Pokud se postaví pasátům do cesty hory, mohou vznikat tzv. pasátové deště.

Tato uzavřená cirkulace Hadleyova buňky se nazývá rovněž pasátová cirkulace. V blízkosti rovníku dochází ke sblížení (konfluenci) proudnic, resp. vzdušných proudění a výstupu vzduchu, které vede ke vzniku mohutné kupovité oblačnosti. Tato oblast se nazývá intertropická zóna konvergence. Její poloha i charakteristický průběh počasí se mění v průběhu roku. Pokud se nachází v blízkosti rovníku, rozpadá se na vnější a vnitřní pásmo. Ve vnějším pásmu se vytváří mohutná oblačnost a vypadává velké množství konvekčních srážek. Ve vnitřním pásmu v oblasti kolem rovníku, se vyskytuje jen slabý proměnlivý vítr a toto pásmo se nazývá rovníkové pásmo tišin. Do složek této cirkulace patří ještě monzuny a tropické cyklony.

**b) Ferrelova buňka** – druhá část vzduchu odtékajícího z tlakových výší v oblasti obratníku na severní polokouli má směr jižního proudění a následně díky Coriolisově síle jihozápadního až západního. Tato část cirkulace (tzv. Ferrelova buňka) zasahuje až do oblastí kolem  $60^{\circ}$ – $70^{\circ}$  severní zeměpisné šířky, kde opět dosahuje již téměř zonálního proudění (západní větry). Zde se setkává se studeným vzduchem, který přitéká od pólu a má směr severovýchodního až východního proudění. Naplňuje se tak podmínka vzniku tlakových níží (např. Islandská tlaková níže), která je založena na protisměrném setkání teplého a studeného vzduchu. V tlakové níži (cykloně) převažují vzestupné pohyby a vzduch se tak dostává do vyšších částí troposféry a odtéká jak směrem k obratníkům (severovýchodní proudění), tak i směrem k pólům.

**c) Polární buňka** - v oblasti pólů se vzhledem k tvaru naší planety opět vzduch hromadí, sestupuje, a proto zde vznikají rozsáhlé tlakové výše poznamenané často jasným, mrazivým a bezsrážkovým počasím. Při zemském povrchu se tento chladný vzduch přesouvá do mírných šířek a kolem  $60^{\circ}$ – $70^{\circ}$  s. š. se působením Coriolisovy síly stáčí na východní proudění. Protisměrně se setkává se západními větry proudícími z oblastí obratníků. Uzavírá se tak polární buňka neboli též polární cirkulace. Na jižní polokouli je situace analogická, jen opačně působící Coriolisova síla způsobuje opačnou rotaci tlakových útvarů.

Pro úplnou deskripci jevů v troposféře zbývá popsat velice důležité tryskové proudění (jet stream). Jedná se o výškový vítr proudící těsně pod horní hranicí troposféry rychlostí až stovek km/hod ve směru ze západu na východ. Troposféra má mocnost od 8 km na pólech až po 18 km na rovníku. Důvodem je rotace Země a velikost odstředivé síly, která je na rovníku výrazně vyšší. Výška troposféry nad územím ČR je asi 10,7 km. Tryskové proudění se vyskytuje zpravidla 1 až 2 km pod hranicí troposféry, a to na hranici sousedících vzduchových hmot, jejichž teploty jsou výrazně rozdílné, tedy mezi polární, Ferrelovou a Hadleyovou buňkou – vždy dva tryskové proudy na každé polokouli. Silnější polární tryskové proudění se nachází kolem  $50^{\circ}$  zeměpisné šířky (ale vzhledem



**Obr. 1:** Převažující směry větrů v rámci všeobecné cirkulace atmosféry

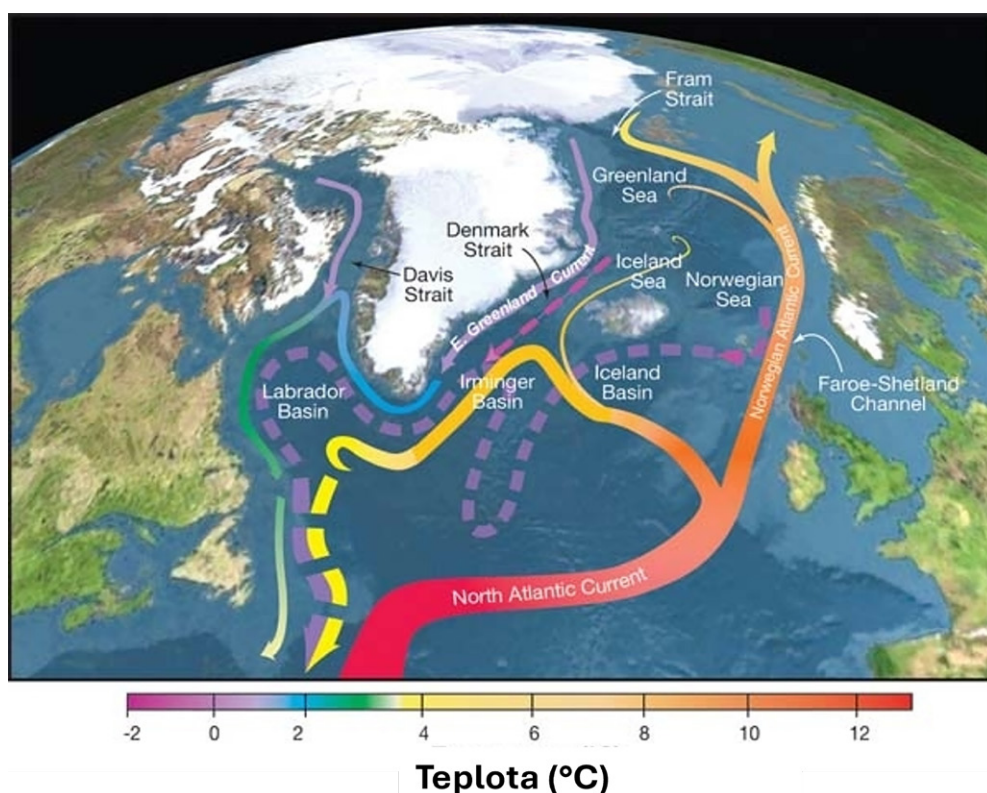
k výraznému zvlnění někdy zasáhne i pod  $30^{\circ}$  zeměpisné šířky), ve výškách 7 až 12 km, a je zpravidla ve všech zeměpisných délkách značně souvislé. Zpomalení nebo meandrovité výkyvy tohoto proudění vedou k vyššímu počtu výskytu extrémního počasí. Jednou z příčin, proč dochází k jejich zpomalování a rozkolísání může být změna klimatu.

**3. Koloběh vody, resp. vodní režim** – jeho složky jsou výpar, vlhkost vzduchu, kondenzace, oblaka, srážky a povrchový či podpovrchový odtok. Pro charakter klimatu a možnost efektivně pěstovat plodiny je zásadní, zda výpar převládá nad srážkami (aridní klima), či naopak (humidní klima). Často se hovoří o tzv. velkém a malém oběhu vody (velký a malý hydrocyklus). Velký znamená, že se voda vypařuje nad oceánem (mořem) a dopadá na pevninu, ze které odtéká opět do oceánu (moře). Malý oběh vody je charakterizován tím, že se voda vypařila nad pevninou, na kterou předtím dopadla. Často je kladena otázka, jaký podíl srážek nad Českou republikou je z velkého a jaký z malého vodního oběhu. Obecně převažují srážky z velkého vodního oběhu. To potvrzuje např. i studie Gvoždíková a Müller (2021) dokazující, že i pro vznik středoevropských extrémních srážkových jevů je nejdůležitější přísun vláhy především z Atlantiku nebo Středomořího moře.

**4. Procesy související s charakterem zemského povrchu (geologické faktory)** – klima zásadně ovlivňují geografické a geofyzikální procesy jako zeměpisná šířka, nadmořská výška, rozložení pevniny a oceánů, orografie (tvar zemského povrchu), mořské proudy, vzdálenost od oceánů, typ aktivního povrchu, povrch půdy, vodních ploch, rostlinná, ledová a sněhová pokrývka apod.

Jako příklad působení geologického faktoru na klima je možné uvést význam známého mořského proudu - **Golfského proudu**, jenž není (podobně jako většina oceánských proudů) lineárním tělesem, ale je smyčkou, která má teplou a studenou část. Tato smyčka se může měnit v čase – někdy plyne rychleji, jindy pomaleji; mnohdy zasahuje hlouběji na sever, v jiném okamžiku se její ostrý trojúhelníkový hrot směřující ke Skandinávii mění na tupý oblouk posunutý k jihu. Tělo smyčky, tedy vlastní proud, není uzavřeným tělesem, ale komunikuje s hmotou oceánu a jinými proudy. Významný je zejména vertikální gradient, na vzdálenost cca 5 km se teplota vodních mas může lišit až o 15 či více °C. Uvedených 15 °C by v horizontálním transportu odpovídalo délce několika tisíc kilometrů. Na vertikální mísení vod má vliv jejich salinita. Kde je více srážek, je oceán z hlediska vertikální výměny stabilní, protože se lehká sladká voda rozlévá po hladině. Kde je značný výpar vody, tam je oceán nestabilní, protože hustá, slaná voda klesá ke dnu. Něco podobného se děje v místech, kde se teplé mořské proudy rychle ochlazují. Mořská voda nesená Golfským proudem se postupně ochlazuje (a čím je chladnější, tím je i těžší) a v Labradorském a Grónském moři těžká chladná voda sestupuje do hlubiny, kde se v hlubokých vrstvách vrací zpět k rovníku. V současné době je lokálně pozorováno slábnutí těchto sestupných pohybů v severních mořích a zkracování Golfského proudu. Transport tepla na severozápad Evropy mírně slábne. To se v historii Země stávalo vždy v obdobích pro Evropu velice chladných, například v dobách ledových. Pokud by byl přenos tepla kolem Evropy na sever skutečně přerušen, znamenalo by to pro Evropu velice chladné období, průměr teploty pro celý kontinent je v tomto případě odhadován na hodnotu o 6 °C nižší než dnes.

Uvedená hypotéza není v rozporu s pozorovanými projevy změny klimatu. Je totiž docela dobře možné, že sladká voda tajícího grónského ledovce v důsledku oteplování Země ředí vodu v Atlantiku. Zředěná (tedy méně slaná) voda už nemusí být dostatečně těžká, aby klesla do hlubin, a výše popsaná cirkulace se zpomalí či dokonce zastaví. Pak by se atmosféra Země jako celek mohla ohřívat, ale do velké části Evropy by oteplení nepřišlo, naopak na řadě míst by se spíše ochladilo. V dnešní době zatím zůstává zmíněná hypotéza ve stádiu zkoumání a ověřování. Každopádně by pro Evropu v tomto případě bylo důsledkem globálního oteplování paradoxně značné ochlazení. Tento stav by ale nastal až po totálním zastavení



**Obr. 2:** AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) jako součást termohalinní cirkulace, zdroj: R. Curry, Woods Hole Oceanographic Institution/Science/USGCRP

Golfského proudu, při jeho zpomalování by naopak teplota v západní i střední Evropě stále stoupala. Jedná se však skutečně jen o hypotézu, kdy i její tvůrci hovoří o časovém horizontu desítek až stovek let. Golfský proud je mj. součástí takzvané termohalinní cirkulace (globálního systému proudů na termohalinním principu), která v horních vrstvách Atlantiku přenáší teplou (termo) a slanou (halinní) vodu na sever a studenou vodu ve spodních vrstvách na jih. Její součástí je i AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation), Atlantická meridionální (ve směru poledníku) cirkulace (Obr. 2).

**5. Procesy spojené s vlivem člověka** – nejzásadnějším procesem souvisejícím s činností člověka, který ovlivňuje globální klima, je produkce tzv. skleníkových (radiačně aktivních) plynů způsobující zesilování přirozeného skleníkového jevu atmosféry a dále také procesy spojené se změnami typů povrchů, a tedy změnou albeda. Výsledkem těchto procesů je s nejvyšší pravděpodobností současná globální klimatická změna, jejímž nejtýpickejším rysem je růst teploty. Tomu bude věnována samostatná kapitola. Na regionální úrovni se klima v historii, ale i současnosti mění v důsledku změny užívání krajiny, zejména kvůli získávání zemědělské půdy. I dnes dochází k mýcení pralesů především z důvodů, jako je těžba dřeva či nerostných surovin, zakládání plantáží, dále mezo- a mikroklima mění vytváření velkých staveb, jako jsou např. přehradny či městské aglomerace apod.



## 1.2. Přírozené klimatické cykly a oscilace

Na naší planetě existuje řada cyklů (oscilací), které významně ovlivňují počasí. Nejčastěji zmiňované jsou dva. Cyklus ENSO (El Niño Southern Oscillation) má dominantní vliv na počasí ve světě, cyklus NAO (North Atlantic Oscillation) nejvíce v Evropě. Pro každý cyklus je typické, že vždy mají dvě fáze (období), které se z pohledu dopadů na klima a počasí zásadně liší.

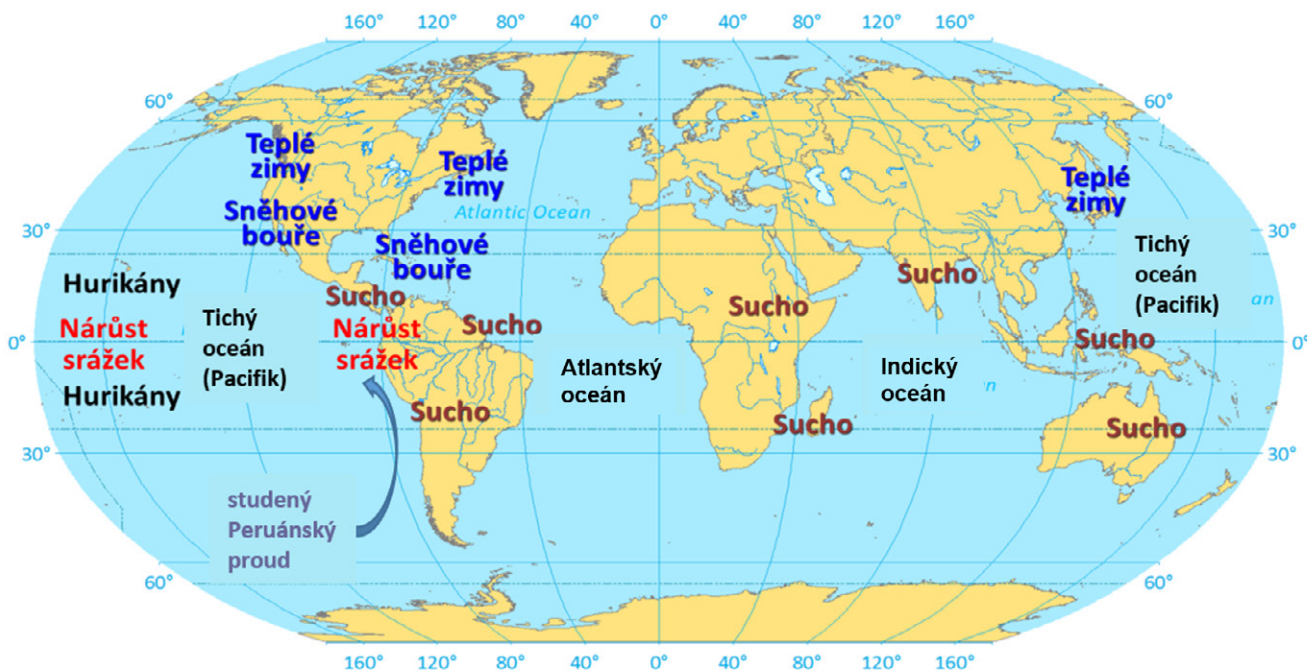
### 1.2.1. ENSO - El Niño Jižní oscilace

ENSO (El Niño Southern Oscillation – El Niño Jižní oscilace) – jedná se o komplex vzájemných interakcí částí celosvětového klimatického systému, který vyvolává časově následné efekty v cirkulaci atmosféry i oceánu. ENSO ovlivňuje velkou část světa (nejméně se projevuje v Evropě) a způsobuje jiné než tradiční vzorce chování počasí, včetně výskytu extrémních meteorologických jevů.

Epicentrum, kde vzniká El Niño, se nachází u západního pobřeží Jižní Ameriky. Za normálního stavu zde vanou pasáty, což jsou pravidelné a silné tropické severo-východní až východní větry vznikající u poledníků s typickou rychlostí 6-8 m/s a jsou důsledkem všeobecné cirkulace atmosféry (viz předchozí kapitola). Pasáty odtlačují vodní masu Tichého oceánu (Pacifiku) od pobřeží

Jižní Ameriky na západ. El Niño začíná u přechodného zániku obvyklého studeného Peruánského mořského proudu tekoucího z jihu na sever (pozor jsme na jižní polokouli) a jeho nahrazení teplým proudem z rovníkových oblastí podél Jižní Ameriky. Tato teplá voda tedy nahrazuje vodu chladnou a pasáty se zde zastavují (každý vítr potřebuje rozdíl tlaku vzduchu, který se snižuje). To má zásadní dopad na podnebí v celém tropickém Pacifiku a Indickém oceánu. Bezprostředními důsledky El Niña jsou suché období v Asii (mohutná tlaková výše zablokuje obvyklé monzunové deště) a mimořádně vydatné deště včetně vyššího výskytu hurikánů na pobřeží středního a východního Tichomoří, kde teplota vody stoupne o 4–5 °C oproti normálu. Konkrétně jde o fakt, že teplá voda je zdrojem vysoké vlhkosti vzduchu, následně se jejím vlivem projeví silná konvekce (vzestupné proudy zahřátého vzduchu) a vytváří se tlakové níže, oblaka se silnou srážkovou činností (záplavy v Peru) u pobřeží Jižní Ameriky, zatímco v Austrálii a v západním Pacifiku panuje díky tvorbě tlakových výší suché a horké počasí (Obr. 3). Obdobně se v jihovýchodní Asii objevují sucha a požáry, v Indii často doprovázené hladomory, v západní části USA extrémní počasí charakterizovaném častějším výskytem intenzivních sněhových bouří. Trvání fáze El Niño obvykle činí čtyři roky, nicméně může trvat až sedm let. Jedním z důsledků neobvyklého výskytu teplejší vody je dočasný kolaps rybolovu u západní části Jižní Ameriky, neboť pro ryby přináší dostatek potravy jen studená voda.

Když se naopak rychlost pasátů zvýší, nastane opačný jev, označovaný jako La Niña (v překladu „holčička“). Vody centrálního a východního Tichomoří se kvůli zesílení studeného Peruánského proudu výrazně ochladí. Studené vody se dostanou až do rovníkových oblastí. Ohnisko přívalem srážek se přesune do tropické



Obr. 3: Celosvětové dopady El Niña podle Pidwirny (2006)



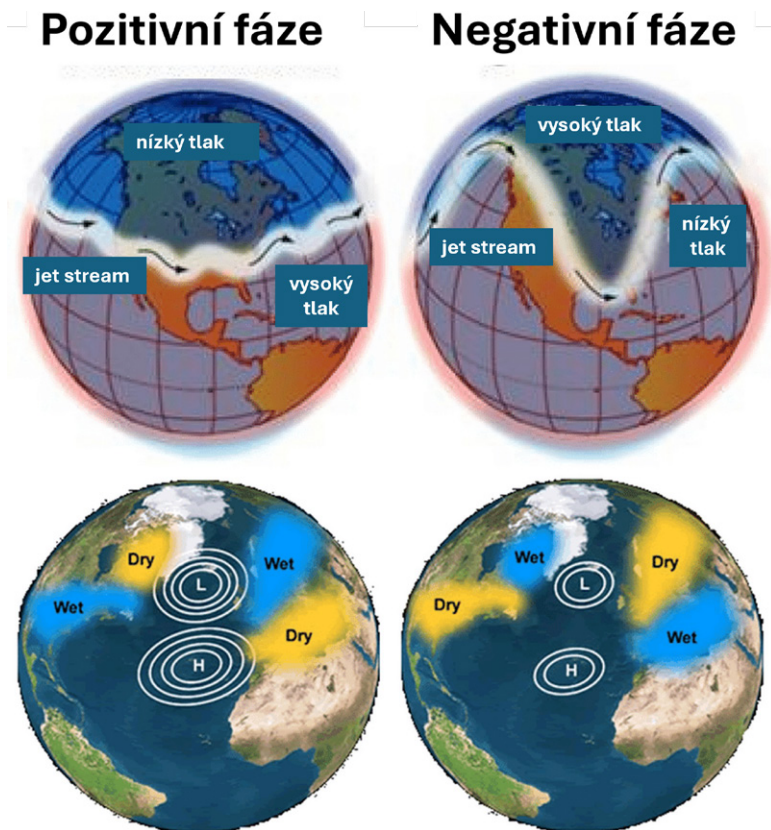
Austrálie, na Novou Guineu a do Indonésie. Oba jevy tvoří páteř jižní oscilace (SO, Southern Oscillation). Navzdory takřka globálnímu dopadu ENSO oscilace je přímý dopad na Evropu minimální, a rozhodně nelze na základě fáze ENSO vyvozovat nějaké zásadní soudy o vývoji počasí ve střední Evropě.

## 1.2.2. NAO - Severoatlantická oscilace

NAO (North Atlantic Oscillation - Severoatlantická oscilace) v roce 1920 ji popsal pro oblast části Atlantického oceánu Gilbert Walker. Empiricky (z pozorování) byly tyto projevy počasí však známy dříve a jejich nejvýznamnějším projevem bylo střídání teplot mezi Grónskem a Evropou. Bylo pozorováno, že když byla v Evropě teplá zima, Grónsko zažívalo zimu chladnou a naopak. Jedná se o komplexní klimatický jev, vyskytující se v severní části Atlantiku. Je vázán na klimatické změny mezi Islandem, kde se nachází stabilní tlakový útvar v podobě tlakové níže a Azorami, kde se nachází opačný tlakový útvar. Projevuje se cyklickými změnami tlaku vzduchu a změnami v postupu tlakových níží nad severním Atlantikem.

V kladné fázi (zesílení tlakové níže nad Islandem a zesílení tlakové výše nad Azorami znamená velký rozdíl tlaku) postupuje v této oblasti proud jet streamu (silný vítr cca 8–9 km nad povrchem, viz předchozí kapitola) přímo k východu až postupně k severovýchodu. Při záporné fázi (zeslabení tlakové níže nad Islandem a zeslabení tlakové výše nad Azorami = malý rozdíl tlaku) tvoří jet stream vlny, a to už od území Ameriky (Obr. 4). Výskyt kladných fází má za následek relativně teplejší počasí během zimních sezón ve střední i severní Evropě. V ČR se kladná fáze NAO často projevuje, jako by počasí podzimních měsíců pokračovalo i v měsících zimních. Je trochu více větrno a deštivěji. Naopak ve středomoří je během zimy větší sucho. V jarních a podzimních měsících jsou s tímto jevem spojeny postupy významných cyklon (z řídicí Islandské nad střední a východní Evropou), což může přinést i extrémní počasí. To spočívá ve výskytu vydatných srážek, někdy i bouřek, spojených s nárazy větru. Počasí se během krátké doby může rychle měnit.

Širšímu využití NAO pro sezonní předpovědi počasí v porovnání s ENSO brání její menší stálost a nedostatečná předpověditelnost vývoje této oscilace a současně fakt, že její vliv dominuje v zimních měsících. Severoatlantickou oscilaci je možno chápat jako regionální projev komplexnější arktické oscilace.



**Obr. 4:** NAO – kladná (vlevo) a záporná (vpravo) fáze, vlnění jet streamů, rozložení tlakových útvarů (L – Low tlaková níže, H – High, tlaková výše, více izobar = kružnic znamená hlubší a výraznější tlakový útvar) a základní dopady počasí (Dry – sucho, Wet – vlhko) v oblasti Atlantik–Evropa, zdroj: Institute of Geography, Berny (2017)

# 2. POČASÍ

Z definice počasí plyne, že na rozdíl od podnebí se jedná o krátkodobý, často rychle se měnící režim meteorologických prvků na daném místě. Při respektu k podnebí, zemědělece zajímá především počasí. Ovlivňuje jeho každodenní činnost a stav počasí se fakticky podílí na plánování prakticky všech jeho kroků.

Z meteorologických prvků charakterizujících stav počasí jsou nejvýznamnější sluneční záření, teplota vzduchu, srážky, vlhkost vzduchu, vítr a výpar. Tato kapitola si klade za cíl vysvětlit a popsat nejčastější a nejvýznamnější charakteristiky těchto meteorologických prvků v zemědělství.

## 2.1. Základní meteorologické prvky a jejich charakteristiky

Pro dobrou orientaci v zemědělské meteorologii je nezbytné rozumět následujícím pojmům a znát uvedená navazující fakta:

### Teplota

- **Teplota vzduchu skutečná, aktuální (°C)** – jedná se o teplotu naměřenou zastíněným teploměrem ve standardní výšce ve 2 m nad povrchem. Pokud teploměr není zastíněný, pak převažuje přenos energie zářením a hmota (rtuť, čidlo) teploměru zahřívána slunečním zářením se teplotně nevyrovná s okolním vzduchem. Takto naměřená teplota je naprosto bezcenná, neboť teploměr ukazuje svoji teplotu, a ne teplotu okolního vzduchu. Pokud je teploměr zastíněný, převažuje přenos energie kondukcí (vedením) a teplota teploměru se vyrovnává s okolní teplotou. Co se týká výšky, můžeme samozřejmě měřit v jakékoliv vzdálenosti od zemského povrchu, ale do zápisu ji musíme uvést, jinak se automaticky předpokládá konvenční výška 2 m. Často se také např. měří přízemní teplota (ve výšce 0,05 m). A ta je např. v jarním období v době výskytu přízemních mrazíků výrazně nižší. Je to jeden z důvodů, proč se u nás prosazují vysoká vedení (vertiko, záclona, závěs), zatímco na cestách do Španělska vidíte vinnou révu prakticky u země. V meteorologii, klimatologii i běžné praxi se jako nejběžnější jednotka používá stupeň Celsia (°C), což je stý díl mezi bodem tuhnutí a bodem varu vody za normálního tlaku (1013,25 hPa). V případě, že je tlak vzduchu nižší (horské oblasti), nastupuje var vody dříve a naopak. V případě, že je teplota měřena v 7, 14, 21 hodin MSSČ (místního středního slunečního času), lze použít název termínová teplota, která se využívá jako základní hodnota pro výpočet většiny teplotních charakteristik (ne pro amplitudu). Skutečná teplota se v praxi používá pro popis teplotních poměrů na daném místě v reálném čase.

- **Teplota průměrná (°C)** – nejčastěji denní, pentádní, dekádní, měsíční a roční. Denní průměrná teplota je stanovena častokrát průměrem termínových teplot (večerní měření se počítá dvakrát). Může se vypočítat i jako průměr součtu denní maximální a denní minimální teploty. Pokud teplotu měříme kontinuálně pomocí teplotního čidla, vypočítáme denní teplotu jako průměr ze všech naměřených teplot dle zvolené periody odečtu. Její využití je např. pro popis růstu či vývoje plodin pomocí teplotních sum, hodnocení vegetační sezony či polních pokusů ve vazbě na sledované parametry růstu a vývoje.

- **Teplotní normál** – jedná se o průměr za 30 roků z přesně definovaných časových období: např. 1931–1960, 1961–1990, či poslední normál 1991–2020. Teplotní normály se používají k porovnání aktuální teplotní charakteristiky (např. průměrné denní teploty) s daným robustním třicetiletým průměrem a k posouzení sledovaného dne, ale i měsíce, roku apod. Můžeme tak vyhodnotit sledované období jako teplotně podnormální, normální nebo nadnormální. Lidově řečeno chladnější nebo teplejší. Kromě „normálů“ lze k porovnání současného a minulého stavu použít i tzv. dlouhodobé průměry vyjadřující průměrné hodnoty z libovolných velmi dlouhých období (např. 1901–1950, 1961–2000). Pouze pro posouzení vývoje klimatické změny se doporučuje využívat teplotní normál 1951–1980 nebo 1961–1990 (pokud je má daná lokalita, stát atd. k dispozici), nikoliv normály novější 1971–2000, 1981–2010, či 1991–2020. Důvodem je, že poslední tři období jsou již ovlivněny klimatickou změnou a nejsou schopny realisticky poukázat na teplotní nárůst.

- **Minimální a maximální teploty (°C)** – jsou vztaženy především ke kritickým obdobím růstu rostliny (jarní mrazíky, vlny veder), kdy může být rostlina vystavena stresu či poškození. Obě extrémní teploty během dne jsou někdy využívány pro stanovení průměrné denní teploty, vypočítá se z nich průměr. Minimální a maximální teploty se uvádí jako pentádní, dekádní, měsíční či absolutní roční, absolutní za normálové období apod. Extrémní teploty mají pro život rostliny značný význam. Pokud např. ve vinicích středních Čech měla průměrná teplota dne 18. 4. 2024 poměrně vysokou hodnotu 10,6 °C, ale ranní minimální -7,0 °C, je zcela jasné, která z nich rozhodla o celém ročníku.

- **Teplotní sumy** – v praktické bioklimatologii se nejčastěji využívají dva typy teplotních sum. Z pohledu posouzení vývoje daného organismu nebo i agroklimatologické rajonizace se využívají teplotní sumy (TS) nad 5, 10 či 15 °C. Pro výpočet sum teplot (TS) je nezbytné znát průměrnou denní teplotu. Součet všech průměrných denních teplot nad daný práh v období, kdy trvale překročily daný práh, dává hodnotu teplotní sumy (TS). Např. je-li biologický práh 5 °C (u většiny obilnin), sčítají se průměrné teploty nad tuto hodnotu a dostáváme TS5. Průměrné denní teploty nad stanovený práh se nazývají aktivní teploty. Proto se TS označují někdy i jako SAT (sumy aktivních teplot). Do sum se nezapočítávají dny s průměrnou denní teplotou vyšší než stanovený práh, které jsou ale mimo období s trvalým výskytem teplot nad stanovenou hranici. Vyskytnou-li se tedy ojedinělé dny s průměrnou denní teplotou nad 5 °C např. v lednu či

únoru pak se do sumy TS5 nezapočítávají. Skutečně nemají vliv na růst vegetace. Pro zemědělskou rajonizaci a jako jedno z kritérií vymezení výrobních oblastí se používají TS10 (teplotní sumy 10 °C). Tento přístup, výpočet, konkrétní hodnoty a jejich posun související se změnou klimatu je popsán v kapitole č. 7.1.1. Především pro prognózu a signalizaci škůdců se stále častěji využívají sumy efektivních teplot (SET), kdy se do celkové sumy počítá jen hodnota nad teplotním biologickým prahem. Např. je-li den s průměrnou teplotou 14,5 °C pro TS10 se do této sumy započítá hodnota 14,5, zatímco do SET10 jen „efekt“ 4,5. Víme-li, že teplotní práh začátku vývoje daného škůdce je např. dán průměrnou denní teplotou 7,2 °C a SET7,2 pro objevení se dospělců (např. motýlů) je 680 pak při měření teploty a načítání sumy efektivních teplot nad 7,2 °C pro dokončení jeho vývoje lze těsně před dosažením sumy 680 připravit efektivní feromonovou nebo chemickou ochranu.

- **Charakteristické dny** - mezi často využívané teplotní charakteristiky se řadí tzv. charakteristické dny, resp. jejich počty. Rozeznáváme:

- ▶ arktický den max. < -10 °C (celý den byla teplota pod -10,0 °C)
- ▶ ledový den max. < 0 °C (celý den byla teplota pod 0,0 °C)
- ▶ mrazový den min. < 0 °C (minimální teplota byla alespoň -0,1 °C)
- ▶ letní den max. ≥ 25 °C (maximální teplota dosáhla 25,0 °C a více)
- ▶ tropický den max. ≥ 30 °C (maximální teplota dosáhla 30,0 °C a více)
- ▶ tropická noc min. ≥ 20 °C (minimální teplota neklesla pod 20,0 °C)

Pozn. S charakteristickými dny se setkáme v řadě dalších kapitol, kdy pro větší přehlednost bude jejich vymezení opět vysvětleno.

## Srážky

- **Množství srážek, synonymum je úhrn srážek (mm)** - 1 mm je 1 litr vody na 1 m<sup>2</sup>. (Pokud je tedy předpovídan srážkový úhrn 10 mm znamená to, že na jeden metr čtvereční by mělo spadnout 10 litrů vody, tedy jeden standardní „kýbl“). Jedná se o množství vody spadlé v kapalném nebo pevném skupenství na vodorovnou plochu a/nebo usazené na zemi v daném místě během určitého časového intervalu (hodina, den, měsíc, rok apod.). Denní úhrn srážek se v ČR měří standardně v 7 h SEČ, přičemž zjištěný údaj za uplynulých 24 h se připisuje předchozímu dni. Málodkdo ví, že do srážek patří kromě známých vertikálních tzv. padajících (např. déšť, kroupy, sníh) i srážky horizontální tzv. usazené (např. rosa, zmrzlá rosa, jíní, jinovatka). A že i tyto srážky mohou mít význam. Např. u mělce seté řepky může v době suchého září rosa zajistit dostatečné množství vody pro klíčení a počátek vzházení. Naopak třeba u vinné révy se mohou kvůli rose objevit vlhkostní plísňe, aniž by padaly srážky vertikální.
- **Intenzita srážek** - množství srážek vypadlých za jednotku času. Podle doporučení Světové meteorologické organizace se intenzita srážek udává (tedy se musí přepočítat) na jednu hodinu. Je to velmi důležitá charakteristika, protože určuje efektivní množství vody, co se dostane do půdy. Např. pokud 10 mm napadne rádo- vě za hodiny, jedná se o tzv. zahradnický déšť, pokud za minuty jde o erozně nebezpečný přívál.

- **Srážkový normál** - obdoba teplotního normálu, jedná se tedy o průměr za 30 roků z přesně definovaných časových období např. 1931–1960, 1961–1990, či poslední normál 1991–2020. Srážkové normály se používají k porovnání aktuálních srážek (např. průměrné srážky za konkrétní měsíc) s daným třicetiletým průměrem a k posouzení sledovaného měsíce, roku apod., zda byl srážkově podnormální, normální nebo nadnormální. Lidově řečeno sušší nebo vlhčí. Kromě „normálů“ lze k porovnání současného a minulého stavu použít i tzv. dlouhodobé průměry (alespoň 30leté) obdobně vyjadřující průměrné hodnoty z libovolných období (např. 1901–1950, 1961–2000).

## Vlhkost vzduchu

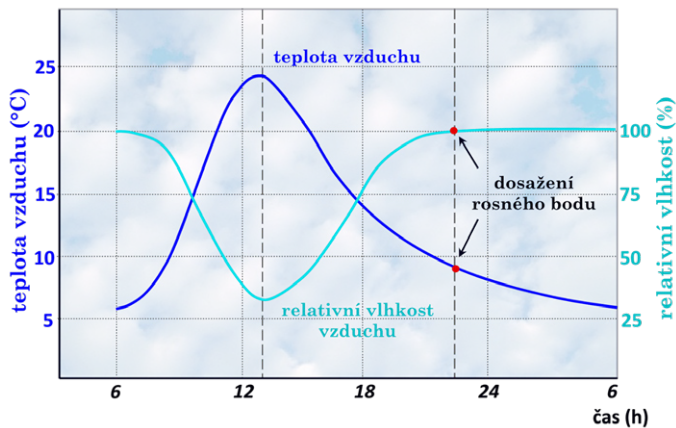
- **Absolutní vlhkost vzduchu (g/m<sup>3</sup>)** - je hmotnost vodní páry v jednotkovém objemu vlhkého vzduchu. V podstatě jde o hustotu vodní páry. A platí, že čím je vzduch teplejší, tím vyšší hustotu vodní páry může mít.
- **Relativní (poměrná) vlhkost vzduchu (%)** - vyjadřuje na kolik % je vzduch nasycen vodní párou. Je to nejčastěji používaná charakteristika vlhkosti vzduchu. Např. je-li relativní vlhkost vzduchu 60 %, znamená to, že za dané teploty je ve vzduchu 60 % vodní páry, které by tam teoreticky mohlo být ve vztahu ke stavu nasycení a k jehož dosažení chybí 40 % vodní páry (tzv. sytostní doplněk). Tato relativní charakteristika však neříká nic o skutečném množství (gramy) vodní páry ve vzduchu. Na to používáme vlhkost absolutní.

- **Rosný bod (°C)** - je teplota, kdy je vzduch vodní parou nasycen. Znamená to tedy, že relativní vlhkost = 100 %. Teploty rosného bodu dosáhneme buď zvyšováním absolutní vlhkosti až do stavu nasycení, kdy se předpokládá konstantní teplota vzduchu, nebo snižováním teploty vzduchu za předpokladu konstantní absolutní vlhkosti vzduchu. Pokud je dosažena teplota rosného bodu, je vzduch vodní parou nasycen a při dalším „přisunu“ vodní páry tato začíná kondenzovat. Stejný proces probíhá při chlazení vzduchu po dosažení stavu nasycení. A právě to jsou příčiny vzniku oblaků, rosy a dalších jevů. Prostě musí dojít k ochlazení tepleho a vlhkého vzduchu, v případě rosy od studeného zemského povrchu. Případně, zamysleli jste se, proč se orosí studené pivo (brýle, okno v autobuse) a ne třeba horká káva? I v přírodě vzniká rosa v noci, kdy se povrch ochlazuje, a ne v poledne, kdy má výrazně vyšší teplotu.

## Denní chod teploty a relativní vlhkosti vzduchu

Relativní vlhkost má v průběhu dne a noci protichůdný vztah k teplotě (Obr. 5). Se zvyšující se teplotou relativní vlhkost klesá a naopak.





**Obr. 5:** Denní chod teploty vzduchu (°C) a relativní vlhkosti vzduchu (%), zdroj: Žalud (2015)

## Teplota a vlhkost vzduchu ve vztahu k živočichům

Že vliv teploty na živé organismy nelze posuzovat bez současného zohlednění vlhkosti vzduchu, to si můžeme vysvětlit na prostředí stáje. Vlhkost stájového ovzduší je ve většině případů vyšší než

vlhkost vzduchu v otevřené krajině. Hlavním zdrojem vlhkosti je výpar vody z těl a ze sliznic hospodářských zvířat. Pouze asi 25 % celkové stájové vlhkosti připadá na odpařování z ostatních povrchů (podlaha, okna, dveře). Je zřejmé, že tvorbu vodní páry zvířaty neovlivníme, a proto se pro úpravu vlhkosti musíme zaměřit na oněch zbývajících 25 %.

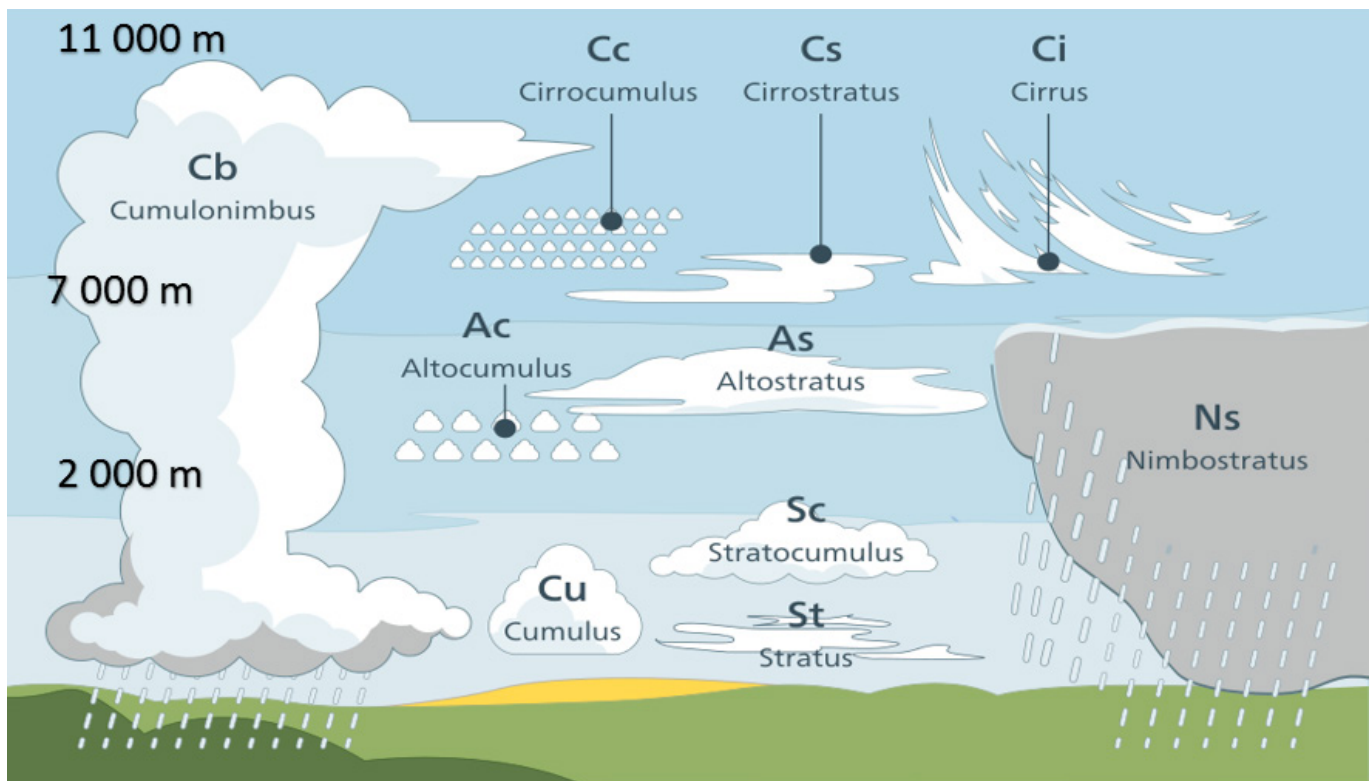
Jak působí teplotní a vlhkoštní poměry na zvířata, resp. člověka lze vysvětlit na následujících extrémních situacích:

**a) vysoká teplota a vysoká relativní vlhkost** (např. 30 °C a 90 %) Je ztíženo odpařování vody z povrchu těla, a tím je výrazně narušena termoregulační funkce. Např. při teplotě 35 °C a 75 % relativní vlhkosti nebo 29 °C a 85 % je snížena dojivost až o 20–30 %. U prasat vyšší relativní vlhkost a teploty nad 30 °C způsobují depresi přírůstků, v extrémním případě dochází k hypertermii často se smrtelným koncem. Přehřátí organismu je v daných podmínkách velmi reálnou hrozbou. U člověka je vyvoláván pocit dusna.

**b) vysoká teplota a nízká relativní vlhkost** (např. 30 °C a 30 %)

Dochází k velmi rychlému vysoušení sliznic, u prasat se objevuje suchý dráždivý kašel. Je nutné výrazně upravit pitný režim ve prospěch příjmu tekutin u hospodářských zvířat. U člověka dobře funguje ochlazení pocením, na druhé straně hrozí stejně jako u ostatních živočichů nebezpečí dehydratace. Mimochodem je to velmi příjemné počasí pro dovolenou za podmínky dodržení pitného režimu.

**c) nízká teplota a vysoká relativní vlhkost** (např. 8 °C a 90 %)



**Obr. 6:** Deset základních druhů oblaků a jejich členění podle výšky odpovídající zeměpisné šířce České republiky. Vrchol troposféry dosahuje v ČR cca 11 000 m, zdroj: <https://cs.wikipedia.org>

Probíhá intenzivní přenos tepla z povrchu těla do okolí. Vlhký vzduch teplo vede velmi dobře a již při 10–15 °C a vysoké relativní vlhkosti 90 % dochází k podchlazení zvířat, což snižuje odolnost proti infekcím. Především je efekt podchlazení citelný u mláďat hospodářských zvířat, u koní a z humánního pohledu u dětí.

**d) nízká teplota a nízká relativní vlhkost** (např. 8 °C a 30 %)

Suchý vzduch tvoří izolační vrstvu na povrchu těla a snižuje tepelné ztráty, situace nevykazuje žádné výrazné nebezpečí pro živý organismus.

## Oblaka (lidově mraky)

Oblaka podle výšky a tvaru nejčastěji rozlišujeme na oblaka nízkého, středního a vysokého patra (Obr. 6):

- ✓ **nízká** do 2 km (stratus – St, stratocumulus – Sc, nimbostratus – Ns);
- ✓ **střední** od 2–7 km (altostratus – As, altocumulus – Ac);
- ✓ **vysoká** nad 7 km (cirrus – Ci, cirrostratus – Cs, cirrocumulus – Cc);
- ✓ **s vertikálním vývojem**, kdy oblak může prostupovat přes všechny výškové hranice (cumulus – Cu, cumulonimbus – Cb).

Uvedené členění podle výšky odpovídá zeměpisným šířkám mírného pásma, neboť výška troposféry není, jak již bylo uvedeno, v rámci vzdálenosti od rovníku stejná. Na rovníku dosahuje až 18 km, přičemž na pólech jen 8 km, nad Českou republikou cca 11 km. Z tohoto důvodu jsou i výškové hladiny vymezující prostor pro jednotlivé druhy oblaků v jednotlivých zeměpisných šířkách rozloženy poměrně.

Pro zemědělství jsou nejdůležitější oblaka přinášející významné srážky. Mezi tyto tzv. dešťová oblaka patří nimbostratus a cumulonimbus.

• **Nimbostratus (Ns)** – dešťová sloha – tmavošedý oblak vytvářející souvislou vrstvu na obloze. Oblačná vrstva Ns je všude tak hustá, že poloha Slunce není patrná, tzn., že jí Slunce neprosvítá. Mívá vertikální rozsah až několik km a jeho základna se zpravidla vyskytuje v nízkém patře oblaků. Vrchol někdy zasahuje až do středního patra (proto se vyskytují tendence jej přeradit mezi oblaka střední). Srážky, které z něj vypadávají, mají nižší intenzitu, jsou často trvalejší, ale pokud netrvají několik dní, nezpůsobují povodňové stavy ani erozní události.

• **Cumulonimbus (Cb)** – bouřkový oblak – aby vznikl, musí termická či dynamická konvekce (vzestupný, ale i sestupný pohyb vzduchu) proniknout do velkých výšek často až do tropopauzy. Stoupavé proudy pod nimi dosahují rychlostí i přes 10 m/s (často i kolem 30 m/s), a proto oblaka rychle vyrůstají do výšek nad 5 až 6 tisíc metrů, často až k tropopauze (v ČR cca 11 km). Srážky jsou krátkodobé a velmi intenzivní. Mohou způsobit poléhání a erozní události. Pokud se vyskytne cumulonimbus velmi silné intenzity a sestává z jediné dominantní, velmi výrazné buňky se silnými stoupajícími, ale při okraji i klesajícími pohyby používá se název supercela (Obr. 7).



**Obr. 7:** Supercela 16. 6. 2012 na Liberecku, zdroj: [www.lovcibourek.cz](http://www.lovcibourek.cz)

## Výpar

• **Množství výparu (mm/čas)** – se udává za den, pentádu, dekádu, měsíc, rok. Množství 1 mm znamená vypaření 1 litru vody z plochy 1 m<sup>2</sup>.

• **Evaporace** – výpar z povrchů (půdy, vody, sněhu a ledu, vody zachycené na vegetaci); tento výpar může dosáhnout v ČR v tropickém dni z vodní hladiny nebo půdy nasycené vodou až 8 mm/den. V zimním období je evaporace na úrovni desetin mm.

• **Transpirace** – výpar vody z rostlin (fyziologický výpar). Rostlina vypařuje vodu převážně stomaty (průduchy), velmi malá část (do 5–10 %) je vypařena kutikulou. Je možné ji charakterizovat transpiračním koeficientem. Je to velice vhodná charakteristika pro posouzení rostliny z pohledu její náročnosti na vodu. Transpirační koeficient (g/g) je množství vytranspirované vody (g) potřebné na tvorbu 1 g sušiny (Tab. 1).

Např. nízká hodnota transpiračního koeficientu u vinné révy společně s jeho mohutným kořenovým systémem jsou důvody, proč se, proč často vinohradníci nesouhlasí se závlahou a náklady na zavlažování vinice. Byly by rentabilní snad jen u nově založených

**Tab. 1:** Potřebné množství vytranspirované vody (g) na tvorbu 1 g sušiny

Druh	g H <sub>2</sub> O/1 g sušiny
obilniny	500–650
luskoviny	700–800
brambory a řepa	450–550
kukuřice	220–350
zelenina	800–1 400
vinná réva	250–300
lesní dřeviny	170–340

ploch. Naopak zeleninu již prakticky bez závlahy ekonomicky pěstovat nemůžeme. Co se týče kukuřice, ta má jako tzv. C4 rostlina nižší transpirační koeficient, vyšší využití vody i záření a z těchto důvodů by tedy měla být suchovzdorná. Nezapomeňme však, kolik zelené hmoty vytváří. Vzhledem k velké hmotnosti vytvořené biomasy je na vodu velmi náročná a suchem často ohrožená (např. Žalud et al., 2017). Na druhé straně kukuřice, pokud je v zeleném stádiu, při povodních dovede odolat extrémnímu zamokření. Kvůli velkému množství transpirující biomasy vodu z půdy poměrně efektivně odčerpá/vytranspiruje. Vysvětlení pojmu C3 a C4 rostliny se nachází v kapitole 7.1.2 v části vysoké teploty a rostlina.

- **Intercepce** – záchyt vody na povrchu rostlin, kdy voda nepropadá až na půdu. Povrch rostlin má určitou kapacitu, na které je voda zadržována. Tato kapacita porostu je závislá na velikosti parametru LAI (Leaf Area Index), což je bezrozměrné číslo vyjadřující celkovou plochu listů, resp. celých rostlin v m<sup>2</sup> připadající na jeden m<sup>2</sup> zemského povrchu. V případě výparu takto zachycené vody z povrchu rostlin se jedná o neproduktivní výpar, tedy ztrátu vody z ekosystému bez jejího využití. Stává se tak součástí evaporace. Zvlhčení povrchu rostlin kromě vertikálních srážek (např. déšť) mohou způsobit i srážky horizontální (např. rosa) či kondenzáty vody v nižších vrstvách atmosféry (např. mlha). Při zapojeném porostu s LAI 4–5 může být ztráta intercepce u srážky do 3 mm až 70 %.
- **Evapotranspirace** – je celkový výpar složený z evaporace a transpirace, kde evaporace je výpar vody z povrchu půdy a vody z povrchu rostlin z intercepce.
- **Aktuální evapotranspirace** – celkový skutečný výpar z půdy, povrchu rostlin a transpirace rostlin v reálných přírodních podmínkách.
- **Potenciální evapotranspirace** – celkové množství vody, které se může vypařit z půdy (výpar z půdy) a vegetačního krytu (transpirace rostlin) při nasycení půdy vodou nebo při sněhové pokrývce. V přírodních podmínkách potenciální evapotranspirace zpravidla výrazně převyšuje evapotranspiraci aktuální, tedy skutečný výpar.
- **Referenční evapotranspirace** – byla oficiálně definována panelem expertů FAO (Food and Agriculture Organization) jako: intenzita evapotranspirace z hypotetického referenčního porostu o předpokládané výšce 0,12 m, s fixním povrchovým odporem 70 s/m a albedem 0,23; kdy referenční porost je velmi podobný rozsáhlému travnatému porostu jednotné výšky s dostatečnou vlhkostí, který aktivně roste a zcela pokrývá povrch půdy (Allen et al., 1998). Její hodnota se blíží evapotranspiraci potenciální.

## Vítr

Vítr je charakterizován jako vektor pohybu vzduchu určovaný směrem, rychlostí a jako třetí charakteristika je zaznamenávána jeho nárazovitost. Vše se určuje ve výškách 10 m nad aktivním

povrchem. Měření charakteristik větru ve větší výšce nad zemí je z důvodu tření, které může výrazně zkruslit srovnatelnost více míst především u rychlosti větru. A proč vlastně vane vítr? Jeden den je bezvětří, druhý den na stejném místě „řadí“ vichřice a větrná eroze. Vítr vzniká v důsledku různého ohřívání zemského povrchu slunečním zářením, dodavatelem energie je tedy Slunce. Je iniciován rozdíly atmosférického tlaku a jedná se o vyrovnání tzv. horizontálního tlakového gradientu. Pokud má tento gradient nenulovou hodnotu, pohybuje se vzduch směrem z vyššího tlaku k nižšímu. Čím větší je rozdíl tlaku na kratší vzdálenost, tím je rychlost větru vyšší.

- **Směr větru** – určuje, z jaké orientace (odkud, nikoliv kam) vítr vane. Pro jeho vyjádření používáme světové strany či azimutové stupně, resp. jejich desítky. České a anglické názvy pro směry větru jsou: severní–north, východní–east, jižní–south, západní–west. Kombinace hlavních směrů vytváří mezisměry, kde dominantní jsou směry severního a jižního proudění, např.: vítr severovýchodní či jihozápadní. Větrná růžice bývá obvykle čtyřčlenná, osmičlenná nebo šestnáctičlenná. Azimutové vyjádření směru větru je výrazně přesnější, neboť např. jihovýchodní vítr dává jistou variabilitu, kdežto vítr 16 stupňů je zcela jednoznačný. Platí, že 36 azimutových stupňů = N severní vítr, 09 = E východní vítr, 18 = S jižní vítr, 27 = W západní vítr, 00 = calm (označení pro bezvětří), mezisměr 04 = NE severovýchodní vítr, 13 = SE jihovýchodní vítr, 22 = SW jihozápadní vítr a 31 = NW severozápadní vítr. Obdobně 02 = NNE severoseverovýchodní vítr apod.
- **Rychlost větru** – se udává v m/s, vynásobením hodnotou 3,6 dostaneme rychlost v km/h. Je otázkou zvyku, které jednotky využívat. Motivací uvádět rychlost větru v km/h bývá snadná představa srovnáním s jízdou v autě, nevýhodou jsou však nižší rychlosti na relativně malých plochách, pro které je jednotka km/h příliš hrubá. Např. pro vymezení hranice pro bezpečnou a účinnou aplikaci prostředků na ochranu rostlin by se km/h jen těžko daly využít. Pro posouzení vysokých rychlostí větru, např. dopadů orkánu (vítr o rychlosti nad 118 km/h) se naopak používají především km/h.
- **Nárazovitost** – je náhlé a krátkodobé zvýšení rychlosti větru zapříčiněné především turbulencí. Právě nárazy způsobují na lesních porostech největší škody. Za kritérium pro náraz větru se uznává krátkodobě se měnící rychlost větru o 5 m/s po dobu alespoň 1 s avšak nejvýše 20 s. Nejnižší stanovená hranice pro evidenci nárazu je 12 m/s.
- **Konvekce** – je pohyb vzduchu vzestupný nebo sestupný, známý je pojem konvekční srážky, kdy vystupující vzduch se ve vyšších výškách s nižším tlakem rozpíná, koná tak práci, na ni spotřebává svou vnitřní energii, tím se ochlazuje a nasycuje se vodní parou v něm obsaženou. Ta kondenzuje a vznikají tak oblaka a srážky. Nejčastěji tak vznikají oblaka s vertikálním vývojem, při silné konvekci zejména v létě i cumulonimbus (bouřkový oblak), ze kterého mohou vypadávat velmi intenzivní srážky.



Obdobný proces pozorujeme u vzduchu, co vystupuje na návětrných stranách hor, což vysvětluje, proč tam prší více než na stranách závětrných.

- **Advekce** – je horizontální pohyb vzduchu (rovnoběžně se zemským povrchem), advekce je v podstatě jiné označení pro vítr.
- **Turbulence** – je všesměrový (chaotický) pohyb vzduchu.

## Záření (radiace)

Záření je elektromagnetické vlnění charakterizované vlnovou délkou (m) a frekvencí ( $s^{-1}$ ). Pokud si představíte, jak spadne kámen do vody, uvidíte od místa dopadu šířící se soustředné kružnice. Obdobně si představte neviditelné elektromagnetické vlny šířící se od zdroje záření. Zdrojem záření je jakákoliv hmota s teplotou vyšší než absolutní nula (0 Kelvina,  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Na její teplotě závisí, kolik energie o jaké vlnové délce vyzaří. Čím je teplota vyšší, tím více energie vyzaří (Stefan–Boltzmannův zákon) a současně o to kratší vlnové délce vyzařuje (Wienův zákon). Dřevo u táboráku má  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je studené a vyzařuje dlouhé vlny. Hořící dřevo v táboráku má teplotu cca  $800\text{--}1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , je horké a svítí, protože vyzařuje krátké vlny i ve viditelném spektru záření.

- **Sluneční (krátkovlnné) záření** – povrchová teplota slunce je cca  $6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tomu odpovídají kratší vlnové délky  $100\text{--}3\,000\text{ nm}$  (nanometrů,  $\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ). Tyto vlnové délky rozdělujeme podle biologické účinnosti na UV – ultrafialové záření ( $100\text{--}400\text{ nm}$ ), světlo neboli také FAR – fotosynteticky aktivní záření ( $400\text{--}700\text{ nm}$ ) a tepelné IR – infračervené záření ( $760\text{--}3000\text{ nm}$ ). UV záření je ve větší části pro živé organizmy škodlivé až smrtelné, ale díky ozónové vrstvě na zemský povrch prakticky nedopadá. FAR je základním energetickým vstupem do jediné masově běžící biochemické reakce (fotosyntéza) na Zemi, kdy se dvě anorganické látky (voda a oxid uhličitý) v chloroplastech rostlin mění na látku organickou (cukr) a ještě se u toho uvolňuje pro živočichy zásadní kyslík. IR záření již nemá fotosyntetické účinky, zemský povrch a vše na něm však intenzivně zahřívá.

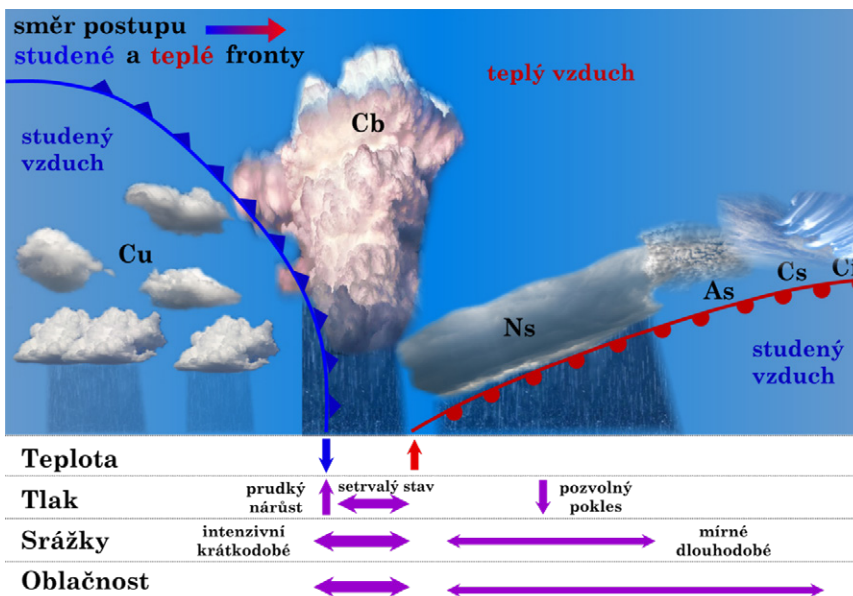
- **Světlo** – je záření vlnových délek  $400\text{--}700\text{ nm}$ . Nejčastěji měříme intenzitu osvětlení, kterou vyjadřujeme v luxech. Úplněk odpovídá intenzitě osvětlení těsně pod  $1\text{ lux}$ , práce v kanceláři (psaní, čtení, zpracování dat) je podmíněna alespoň  $500\text{ luxy}$ , červcová hodnota v poledne za jasné oblohy může dosáhnout až  $100\,000\text{ luxů}$ . Optimum pro fotosyntézu rostlin s C3 cyklem je  $8\,000\text{--}12\,000\text{ luxů}$ , C4 je to  $60\,000\text{--}80\,000\text{ luxů}$ .

Tab. 2: Monochromatické toky světla

Vlnová délka (nm)	Barva viditelného spektra
400–430	fialová
450–485	modrá
515–520	zelená
575–590	žlutá
590–620	oranžová
620–700	červená

A ještě jednou táborák. Již víme že hořící dřevo má teplotu cca  $800\text{--}1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při této teplotě vyzařuje i vlnové délky kolem  $600\text{ nm}$ , a proto ho vidíme jako oranžovočervený. Obdobně vidíme i rozpálenou desku na vařiči, která má  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a tím již mírně zasáhne do vlnových délek červeného spektra. A ještě jedna poznámka. Pokud se podíváte na duhu, uvidíte v barevném oblouku posloupnost jednotlivých barev, tak jak jsou uvedeny v Tab. 2. První oblouk tvoří fialová barva, následuje modrá, zelená atd. Někdy se vytvoří dvojité duhy, kdy jsou barvy poskládané inverzně. Ale nikdy nebude vedle sebe např. barva modrá a oranžová.

- **Zemské (dlouhovlnné) záření** – povrchová teplota Země je v průměru  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tomu odpovídají jí vyzařované delší vlnové délky kolem  $10\,000\text{ nm}$ . Země tedy nemůže vyzařovat světlo,



Obř. 8: Příčný řez teplou a studenou frontou a změna meteorologických prvků při přechodu obou front



vidět ve vesmíru je proto, že odráží část dopadajícího slunečního světla.

- **Albedo** – část dopadajícího slunečního záření se od zemského povrchu odráží a směřuje zpět do atmosféry. Vyjadřuje se pomocí albeda (%), což je veličina, která vyjadřuje podíl odraženého záření k dopadajícímu záření. Albedo je tedy schopnost povrchu odrážet dopadající záření. Platí, že čím je povrch světlejší, tím má větší albedo. Např. čerstvě napadlý sníh má albedo až 90 %. Zelený list rostliny má albedo kolem 24 %.

## 2.2. Proč se mění počasí?

Pro charakter počasí jsou zásadní vlastnosti ovzduší, který se nad daným místem nachází. Tyto vlastnosti (teplota, vlhkost, oblačnost) se projeví tak jak je vzduch ovlivňován zemským povrchem, nebo jak se vzduch přesouvá. Nejčastější „motor“, proč se vzduch pohybuje, je spojen s výše popsanou globální cirkulací, přenosem energie, vodní páry a pohybem tlakových útvarů. Základní jsou dva:

**1. Tlaková níže (cyklóna)** – na severní polokouli proti směru hodinových ručiček rotující a pohybující se oblast vzduchu o průměru stovek km, v jejímž středu je bod s nejnižším tlakem. V něm se střetává studená a teplá fronta oddělující od sebe sektory teplejšího a studenějšího vzduchu. Střed tlakové níže je ohraničen alespoň jednou izobarou (čára spojující místa se stejným tlakem). Na jižní polokouli se točí opačně tedy po směru hodinových ručiček. Cyclóna vzniká prohloubením vlny protisměrného proudění teplého a studeného vzduchu. Teplý vzduch se nejčastěji na základě orografické překážky (např. ostrov Island) zasune do studeného, vznikne vlna, u některé se prohloubí tlakový gradient a obrovská masa vzduchu se začne otáčet kolem svého středu (tzv. střed tlakové níže). Jakmile je tento střed měřením indikován, hovoříme o tzv. mladé cyklóně. Tato pohybující se masa vzduchu má teplý a studený sektor, které jsou od sebe odděleny předěly tzv. frontami (Obr. 8). Studená fronta se pohybuje rychlostí cca 40 km/hod, teplá, která jde před ní, rychlostí ca 25 km/h. Spojením rychlejší studené fronty s pomaleji před ní jdoucí teplou frontou vzniká fronta okluzní, což se děje po cca 8–12 dnech od vzniku cyklóny, a tento stav indikuje počátek jejího zániku. Počasí v tlakové níži je díky vystupujícímu vzduchu na frontách oblačné a na srážky bohaté.

### Počasí na teplé frontě

Přicházející frontu si můžeme představit jako úzké rozhraní – čáru mezi studeným a za ním přicházejícím teplým vzduchem, které svírá se zemským povrchem úhel většinou menší než 1° (1:200). Lehčí teplý vzduch vystupuje po studeném. Při příchodu teplé fronty dochází k typickému vývoji oblačnosti. Podél celé frontální plochy se vyvíjí typická oblačnost nejdříve vysoká typu Ci (cirrus = řasa), následuje Cs (cirostratus = řasosloha), brzy As (altostratus = vyvýšená sloha) a na závěr dominantní oblak teplé fronty Ns (nimbostratus = dešťová sloha). Teplota po přechodu

teplé fronty stoupá, před frontou vypadávají méně intenzivní, ale trvalé srážky (srážkové pásmo může mít i několik stovek kilometrů). Po přechodu fronty se vyjasňuje a srážky ustávají. Tlak před frontou mírně až silně klesá a po přechodu má setrvalou tendenci.

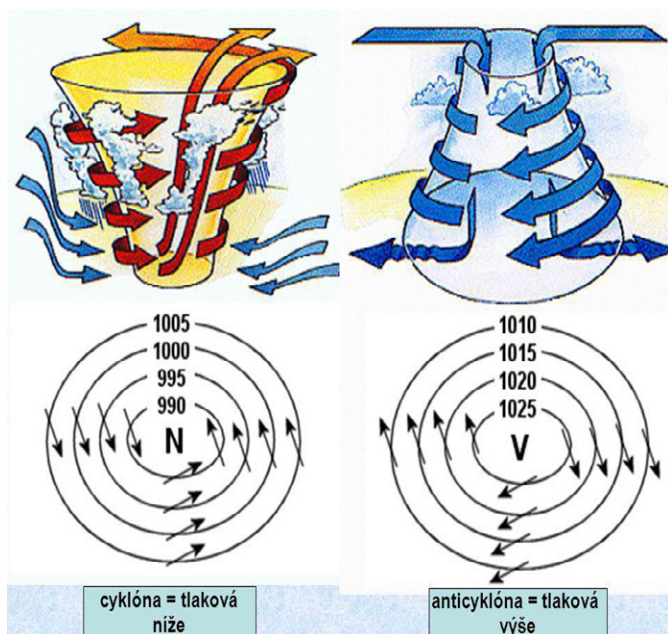
### Počasí na studené frontě

Jedná se o relativně úzké rozhraní, kdy po jeho přechodu se daná oblast dostane pod vliv studeného vzduchu. Úhel mezi zemí a frontou je podstatně větší než u teplé fronty asi 1:100. Studený vzduch vytlačí lehčí teplý do výše a vzhledem k tomuto relativně rychlému procesu lze přibližně 4–6 hodin před příchodem již pozorovat mohutná oblaka typu Cb (bouřkový oblak = cumulonimbus), někdy navazuje Ns (dešťová sloha = nimbostratus), oblačnost je dále doprovázena oblaky typu Ac (vyvýšená kupa = altocumulus). Před příchodem fronty teplota slabě klesá a na frontě následuje prudký pokles. Tlak na frontě a před frontou klesá, za ní je značný tlakový vzestup. Srážky se projevují přímo při přechodu fronty a jsou intenzivní ve formě prudkých přeháněk až lijáků, za frontou se rychle vyjasní. Těsně před příchodem fronty, resp. oblaku typu Cb se často objevuje náhlé zrychlení větru – húlava.

### Okluzní fronta

Vzniká spojením studené (rychlejší) a teplé (pomalejší) fronty. Může mít charakter teplé okluzy (studený vzduch v týlu cyklony je teplejší než na jejím čele) nebo studené okluzy (studený vzduch v týlu cyklony je chladnější než na jejím čele) či vzácně neutrální. Fronty mají velmi rozdílnou rychlost postupu, někdy se dokonce vracejí. Na dlouhých studených frontách (zřídka i teplých) se v některých úsecích mění charakter fronty na opačný. Potom hovoříme o zvlněných frontách. Mezi přechody front jsou započítávány i tzv. podružné fronty, které se vyskytují uvnitř stejných vzduchových hmot a mají většinou charakter studených front. Počet teplých front je v létě podstatně nižší než v zimě (teplé fronty při pronikání do vnitrozemí nad přehřátým povrchem postupně zanikají).

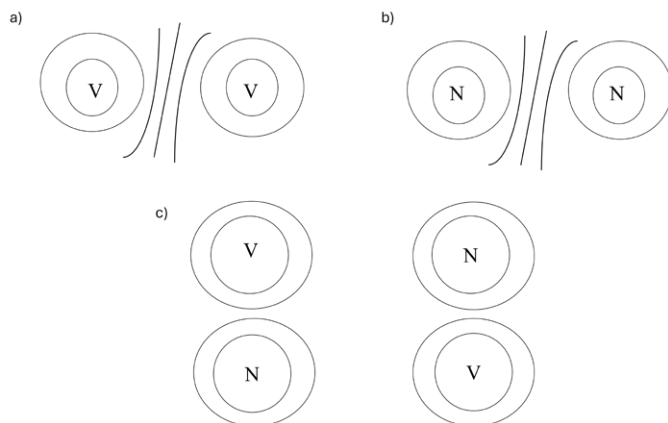
**2. Tlaková výše (anticyklóna)** – na severní polokouli po směru hodinových ručiček rotující a pohybující se objem vzduchu, v jehož středu je nejvyšší tlak (Obr. 9). Je ohraničen alespoň jednou izobarou (čára spojující místa se stejným tlakem). Tento útvar nemá sektor teplého ani studeného vzduchu. Vzhledem k tomu, že v tlakové výši vzduch klesá, a tím se stlačuje a ohřívá, není v ní oblačnost a převažuje jasné, bezsrážkové počasí. Výjimkou jsou podzimní tlakové výše, kdy vzhledem k dlouhotrvajícím chladným nocím si zemský povrch udrží nízkou teplotu, čímž ochladí i pár desítek metrů vzduchu nad sebou, vodní pára se do studeného vzduchu „nevejde“, relativní vlhkost dosahuje 100 % a důsledkem kondenzace vodní páry v těchto podmínkách vznikají typické podzimní mlhy či nízká inverzní stratovitá (slohovitá) oblaka i s mírnými srážkami (často mrholením). Na horách je však jasno. Vzniká tak tzv. inverze (teplota s výškou roste). Inverze takto vzniklá se nazývá subsidenční (inverze sesedáním). Pokud se inverze nevytvoří, potom se v sesedajícím a tím oteplujícím se (adiabatické oteplování) vzduchu rozpouští oblačnost, a proto je obecně pro tlakovou výši skutečně typické jasné počasí. Zpět k rotaci po směru hodinových ručiček. Už tedy rozumíte proč, když



**Obr. 9:** Izobary a schéma proudění vzduchu v tlakové níži (N) a tlakové výši (V). Je-li pro ČR řídicím tlakovým útvarem tlaková níže nad Polskem, přichází k nám studený a vlhký severozápadní vzduch. Je-li tam tlaková výše, přichází k nám studený a suchý severovýchodní vzduch

se objeví na jaře tlaková výše nad Polskem, může k nám po její přední straně přijít velmi studený vzduch ze severovýchodu (tedy studený, protože je kontinentální a kontinent v zimě vzduch ochlazuje) a způsobit např. škody na ovocných stromech, vinicích ale i polních plodinách?

Kromě tlakových výší a tlakových níží rozeznáváme ještě tři tzv. vedlejší tlakové útvary (Obr. 10).



**Obr. 10:** Zjednodušené schéma vedlejších tlakových útvarů a) brázda nízkého tlaku, b) hřeben vysokého tlaku, c) tlakové sedlo

- **brázda nízkého tlaku** – protáhlý pás nižšího tlaku mezi dvěma anticyklónami, je oblastí nízkého tlaku, která není uzavřena izobarami a odděluje dvě anticyklóny.
- **hřeben (výběžek) vysokého tlaku** – nejčastěji je tak označována oblast vysokého tlaku, která není uzavřena izobarami a rozděluje dvě cyklóny.
- **barické (tlakové) sedlo** – oblast mezi dvěma cyklónami a dvěma anticyklónami, bod uprostřed se nazývá hyperbolický bod.

## 2.3. Předpověď počasí

Předpověď počasí má dvě roviny. První z nich je znalost současného stavu. Musí se shromáždit data všech aktuálních zdrojů a provést jejich analýza. Řádově jde o údaje z několika uplynulých hodin, kdy se využívají všechny existující zdroje, jako jsou pozemní meteorologické stanice, balónová měření, data z lodí, letadel, a významným zdrojem jsou meteorologické družice a radary. Druhou podmínkou úspěchu předpovědi je realistický popis zákonů dynamiky atmosféry. Zákony jsou vyjádřeny rovnicemi, které řeší počítač. Základním nástrojem současné 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. Numerické předpovědní modely jsou jedny z nejsložitějších počítačových programů na světě, a proto jsou řešeny na takzvaných superpočítačích, tedy na těch vůbec nejvýkonnějších počítačích, které byly člověkem dosud vyvinuty.

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. Za velký úspěch lze považovat předpověď bouřek na úroveň gridu 30x30 km nebo již i dokonce 10x10 km, ale i to není z hlediska praxe např. výskytu přívalových povodní či eroze stále dostatečné. Celkově platí, že 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.

**Kde se dají předpovědi najít?**

[www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz) (předpověď pro zemědělce)

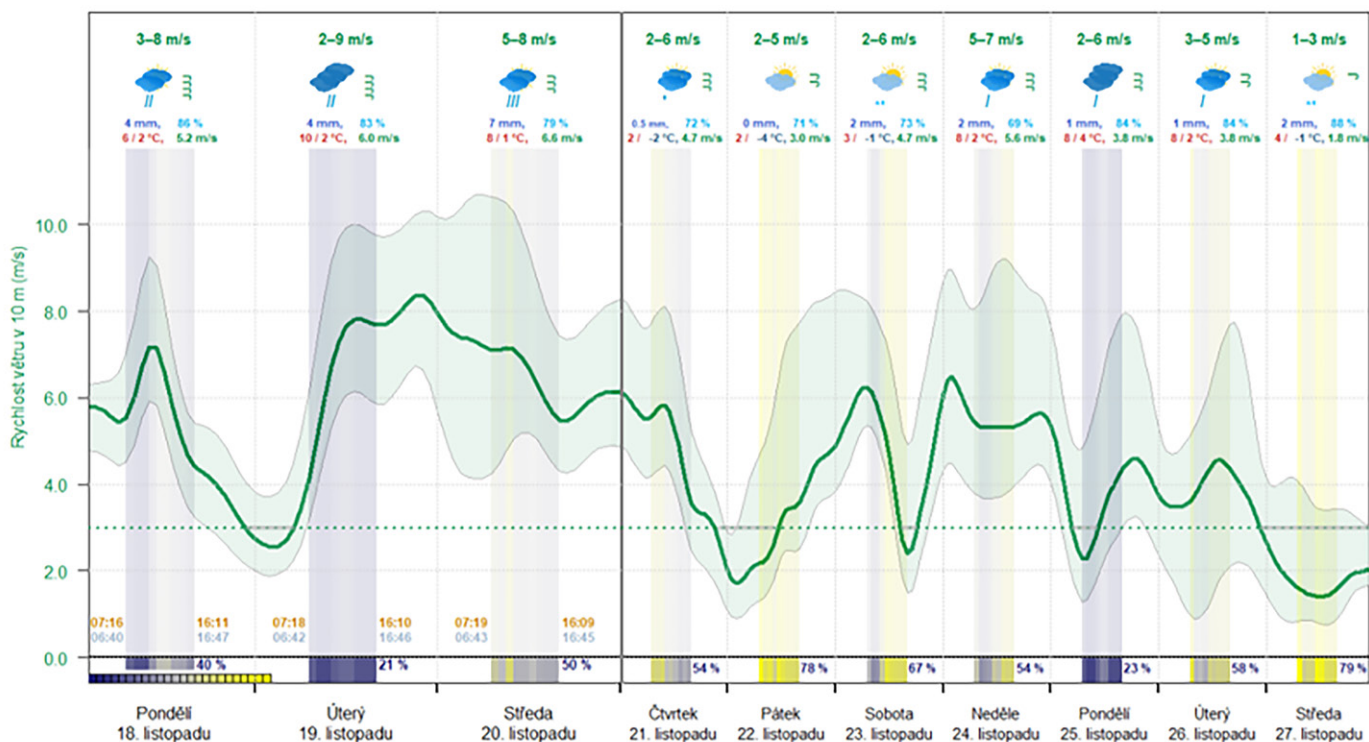
Webová platforma je primárně zaměřena na monitoring zemědělského sucha v gridu 500x500 m v týdenním kroku pro celou Českou republiku. Na titulní straně je však v hlavní liště odkaz na předpovědi. Neregistrovaní uživatelé mohou využívat předpověď sucha a nasycení půdy, které jsou denně aktualizované. To, že je sucho závislé především na srážkách, je zřejmý fakt. Proto je součástí volné předpovědi i tento meteorologický prvek. Mapy zde zobrazují denně aktualizovanou předpověď kumulativního úhrnu srážek na následujících 10 dní.

Bonusové předpovědi získává registrovaný uživatel (na webové stránce pod odkazem "monitorujte sucho"), který se tak stává sou-

INTERSUCHO

Okres Chrudim - rychlost větru, předpověď od 18.11.2024

CzechGlobe



**Obr. 11:** Příklad předpovědi rychlosti větru na portálu agrorisk.cz

části široké komunity uživatelů monitorující sucho a jeho dopady. Jedná se prostorově o nejpřesnější předpovědi a zpravodaj intersucha ji denně dostává na svůj e-mail. Konkrétně jde o denně aktualizovanou předpověď na příštích devět dní pro lokalitu zvolenou uživatelem. Ti volí nejčastěji GPS souřadnice středu katastru, na kterém hospodáří či vlastní dům. Obsahem předpovědi je vážený průměr teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, rychlosti větru a úhrnu srážek, kdy první tři dny jsou meteorologické prvky předpovídaný v hodinovém kroku.

Současně se po registraci na webu intersucho.cz, kliknutím na předpovědi, kliknutím na agrometeorologická předpověď otevřou mapy:

- denních úhrnů srážek
- maximálních denních teplot
- minimálních denních teplot

Největší devízou předpovědi počasí na intersucho.cz je, že se jedná o tzv. ansámblovou (vícemodelovou) předpověď. Tedy jde o vážený průměr pěti předpovědních modelů eliminující případnou chybu jednoho z nich. Jde o:

1. Model Evropského centra pro střednědobou předpověď Integrated Forecasting System (ECMWF IFS) s prostorovým rozlišením 12 km, v 3h časových intervalech a na 9 dní dopředu.
2. Model meteorologické služby Spojených států National Office for Ocean and Atmosphere (NOAA) Global Forecasting System

(GFS) v prostorovém rozlišení 25 km, v časových intervalech 3h a na 14 dní dopředu

3. Model kanadské meteorologické služby Canadian Meteorological Centre (CMC) Global Earth Model (GEM) v prostorovém rozlišení 25 km, v 3h časových intervalech a na 6 dní dopředu.
4. Model britské meteorologické služby United Kingdom Meteorological Office (UKMO) Unified Model s prostorovým rozlišením ~10 km, v 1h časových intervalech na 6 dní dopředu.
5. Model francouzské meteorologické služby Centre National de Recherches Météorologiques/ Météo France ARPÈGE (zkratka z Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) s prostorovým rozlišením v Evropě ~10 km, v 1h časových intervalech na 4 dny dopředu.

#### www.agrorisk.cz (předpověď pro zemědělce)

Webová platforma včasné výstrahy zaměřená na varování před abiotickými i biotickými riziky vedle předpovědi výskytu rizik rovněž nabízí ansámblovou (více modelovou) volně dostupnou předpověď pro střed každého okresu v okamžiku, kdy si uživatel do vyhledávacího pole pro zadání katastru napíše jeho jméno. 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 - Obr. 11 a úhrny srážek). Opět se jedná o předpovědi z uvedeného ansámblu pěti předpově-



ních modelů. První tři dny jsou po hodinách. Součástí souboru je i podrobný návod, jak předpověď počasí správně číst.

### www.chmi.cz

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) využívá numerický předpovědní model počasí ALADIN (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Développement International – produkt Météo France). Model spouští na superpočítači japonské společnosti NEC 4x denně, a to pro výpočet předpovědi počasí na budoucích 54 hodin a u některých meteorologických prvků až na 72 hodin.

Z produktů modelu ALADIN lze na webu chmi.cz nalézt předpověď teploty vzduchu ve 2 metrech, srážek, rychlosti a směru větru v 10 metrech nad zemí, vždy po uvedených 6 hodinách. ALADIN je typickým zástupcem skupiny lokálních modelů simulujících vývoj počasí na relativně omezeném území (Evropa), ale zato v relativně velmi podrobném horizontálním rozlišení (většinou 7 až 10 km grid, na omezené oblasti i s rozlišením 1 km). Výstupem z modelu jsou mapy, na kterých jsou pomocí barev a jejich odstínů zakresleny předpokládané srážkové úhrny, teplota, rychlost a směr větru, tlaková pole a další meteorologické prvky a ukazatele.

Klasická základní část předpovědi vydávané ČHMÚ (viz internet, televize, rádio) nabízí řídicí situaci (tlakový útvar, přechod front), očekávanou teplotu, srážky, oblačnost, změnu tlaku, směr a rychlost větru. Její úspěšnost klesá s časem, ale na 24 hodin, tedy na jeden den dosahuje úctyhodných 93 %. Předpověď na 4. den klesá na cca 80 %, a je tedy spíše orientační. Delší období (5. až 10. den) můžeme nazvat spíše výhledem a dlouhodobé měsíční či sezónní předpovědi jen jako statistické prognózy, které jsou pro praxi fakticky nevyužitelné. Zdá se někomu přesnost nízká? Dovolíme si hájit kolegy z ČHMÚ, kteří odvádí skvělou práci, bohužel limitovanou umístěním České republiky. Ta leží na rozhraní dvou vzduchových hmot, které se střetávají kolem 50 rovnoběžky a na nich probíhá tzv. cyklogeneze, tedy vznik, vývoj a zánik tlakových níží. Právě tato skutečnost velmi ztěžuje „propočítání“ a předpověď chování atmosféry na delší období.

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 je prezentovaná jako měsíční výhled počasí, a 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.

Z praktického pohledu jsou velmi dobře využitelné meteogramy pro vybraná místa v ČR a pro krátkodobé vyhodnocení srážkové aktivity jsou to radarové výstupy. Volně dostupné aplikace ČHMÚ obsahující mj. stav a krátkodobou předpověď srážek znázorněných pomocí radarů by neměla chybět v mobilu žádného agronoma.

### Yr.no

Jedná se o 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 pro yr.no přebírá Norská meteorologická služba z evropského meteorologického centra ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), které sídlí v Readingu (Velká Británie), kde se na vývoji jeho produktů se podílí 35 států. Není to specifický norský model.

### Windy.com

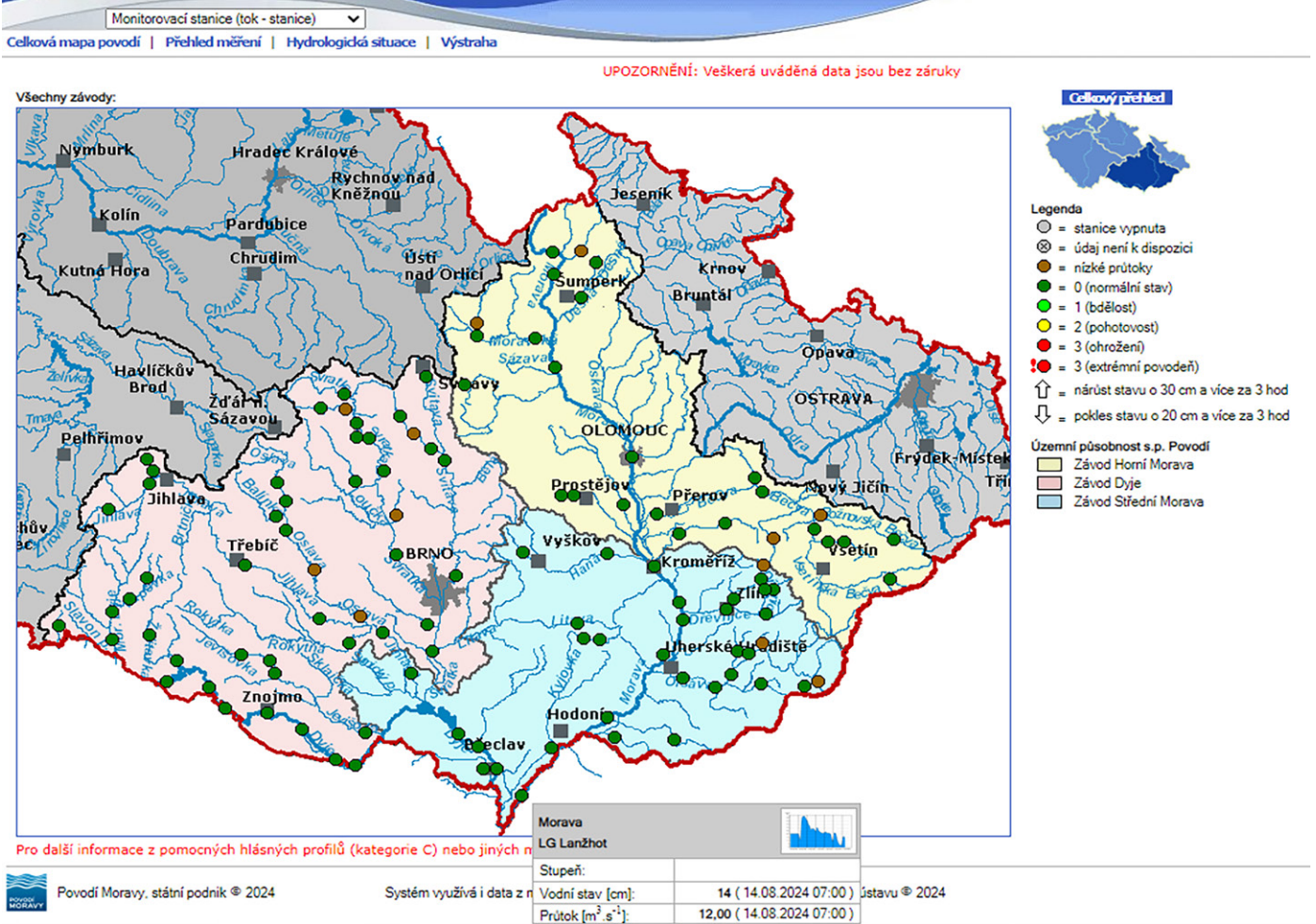
Jde o vizuálně velmi atraktivní webovou platformu zobrazující produkty meteorologů, ale i dalších týmů poskytujících předpověď počasí a desítky dalších užitečných dat. Jedná se však skutečně jen o vizualizaci z jiných zdrojů, ne o předpovědní službu založenou na vlastních datech. V oblasti předpovědi počasí nabízí aktuálně několik světových modelů. ECMWF s 9km rozlišením, UKV 2km, GFS 22km, ICON-D2 2,2 km, ICON-EU 7km, ICON13 km NEMS4 km. Poznámku si zaslouží, že součástí Windy.com je od roku 2022 i celosvětový podrobný monitoring a předpověď sucha a požárního rizika, kterou zajišťuje tým intersucho.cz. Windy.com je vícejazyčný portál a má milióny uživatelů na celém světě.

### Hydrologická předpověď

Z hlediska hydrologického jsou ideální weby 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), kde pod odkazem Hydrologická situace najdeme např. údaje o nádržích či tocích, stejně jako povodňové zpravodajství či dlouhodobé vodohospodářské bilance (Obr. 12). 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 průtoku ( $m^3/s$ ) včetně krátké historie.

Obdobně je na stránkách ČHMÚ hlášná a předpovědní povodňová služba monitorující desítky a stovky profilů na vodních tocích. Výhodou je, že na těchto stránkách jsou uváděny i předpovědi výšek a průtoků hladin. Tyto stránky (<https://hydro.chmi.cz/>) např. v průběhu povodní patří mezi nejnavštěvovanější.

## Stavy a průtoky na vodních tocích



**Ob. 12:** Stav (cm) a průtok (m<sup>3</sup>/s) dne 14. 8. 2024 v povodí řeky Moravy, dole je rozkliknuta monitorovací limnigrafická stanice Lanžhot, zdroj: www.pmo.cz

## 2.4. Klimatické poměry České republiky

I když má kapitola v názvu „klimatické poměry“ a indikuje tím spíše zařazení do první kapitoly, bylo skutečně nutné napřed zvládnout základní meteorologický slovníček. Nyní již nebude problém rozumět a správně interpretovat klimatický popis území našeho státu, pochopit regionální rozdíly související s klimatotvornými faktory, zvláště faktorem geografickým (zeměpisným). Ten je pro rozdílné klima na našem území zásadní. Především jde o vliv nadmořské výšky a tvar (protáhlost) území ve směru východ-západ. Na tuto kapitolu, která má za cíl přehledně shrnout klimatické poměry ČR, navazuje výrazně detailnější kapitola č. 4, která velmi podrobně popisuje vývoj klimatických charakteristik na našem území od roku 1800 s důrazem na období od 1961.

### 1. Teplotní poměry

- ✓ největší vliv na teplotu vzduchu má nadmořská výška, čím je území položeno výše, tím se teplota snižuje, průměrný roční klimatický teplotní gradient je 0,61 °C/100 m, v zimě 0,5 °C/100 m, v létě až 0,75 °C/100 m
- ✓ průměrná roční teplota je přibližně od 0 °C (Sněžka) až 11,5 °C (Praha) či kolem 10 °C (jižní Morava)
- ✓ absolutní maximum 40,4 °C, které bylo naměřeno 20.8. 2012 na stanici Dobřichovice a překonalo hodnotu 40,2 °C ze dne 27. 7. 1983 v Praze -Uhríněvsi
- ✓ absolutní minimum teploty vzduchu nebylo překonáno již několik desetiletí, jeho hodnota je -42,2 °C (Litvínovice u Českých Budějovic 11. 2. 1929); na druhý den vyšly v novinách články s titulky typu „Noc, co zničila české ovocnářství“

✓ absolutní amplituda za dobu měření teploty vzduchu podle extrémních teplot činí 82,6 °C

Teplota je lokálně na území ČR významně ovlivňována terénem a jeho pokrytím vegetací či zastavěním. Nižší teploty jsou na severních svazích, nejnižší teploty jsou registrovány v horských údolích. Paradoxní situací je, že se v posledních letech výhřevně jižní svahy stávají méně vhodné pro zakládání teplomilných kultur (např. vinice, sady). Důvodem je, že časný začátek vegetační sezóny je právě na těchto svazích ještě znásoben a kultury jsou zde postiženy jarními mrazy více než ty, které jsou pěstované spíše na svazích východních nebo západních.

### 2. Srážkové poměry

Na území ČR nepřítéká jediná významná řeka (např. v Německu pramenící Ohře ani Rakouská Dyje skutečně na naše území moc vody nepřivádí), a proto jsou naše ekosystémy odkázané na vodu z atmosférických srážek. Naprostá většina řek protékající ČR u nás i pramení a odvádí vodu k našim sousedům. Srážkové poměry mají značnou časovou i prostorovou variabilitu vycházející z podstaty jejich vzniku, atmosférické cirkulace a geografických poměrů našeho území. V zimním období jsou srážky spojeny především s frontálními systémy tlakových níží s vrstevnatou oblačností (nimbostraty). Srážky jsou většinou méně intenzivní a trvalé. V letním období se projevuje termická konvekce a dominuje kupovitá a bouřková oblačnost (kumulonimby) se srážkami vyšší intenzity a kratším trváním.

Pro území ČR platí (průměrné údaje jsou z období 1961–2000):

- ✓ srážkové poměry jsou ovlivněny nadmořskou výškou a terénem (návětrné strany hor mají vyšší úhrny než závětrné – dešťový stín)
- ✓ nižší roční úhrny kolem 450 mm/rok dosahují území v závětrné straně Krušných hor (např. Žatecko) dále na jižní Moravě na Znojensku, Břeclavsku
- ✓ maximum srážek je evidováno na stanici Lysá hora, a to 1 450 mm/rok, obecně naše horské oblasti (Šumava, Krkonoše) dosahují 1 200–1 400 mm/rok
- ✓ na cca 50 % území ČR roční úhrn srážek dosahuje 600–800 mm/rok
- ✓ denní chod srážek v ČR je typický pro pevninu, kde nastávají dvě maxima a dvě minima srážek. Po půlnoci se vyskytuje hlavní minimum, ráno vedlejší maximum, na dopoledne připadá vedlejší minimum a na odpoledne hlavní maximum. Maximum v časných ranních hodinách je důsledkem toho, že k ránu je ochlazení vyvolané vyzařováním během noci největší, takže v té době je nejhojnější výskyt vrstevnatých oblaků. Odpolední maximum souvisí s tím, že v tuto dobu je nejvíce vyvinuta konvekce a s ní vertikálně mohutná kupovitá oblačnost, která je provázána vydatnými srážkami. Vzhledem k tomu, že konvekce je častější a mohutnější v letním období, není toto maximum v zimě výrazné. V tomto období je významnější ranní maximum, takže nočním ochlazením vzniká v této části roku více srážek k ránu než konvekcí odpoledne
- ✓ výškový (ombrický) gradient je 50–60 mm/100 m – (rozuměme: na 100 m nadmořské výšky přibývá přibližně 50 až 60 mm/

rok srážek), tento gradient má však silně lokální charakter ovlivněný orografií a nemá všeobecnou platnost

- ✓ obvyklé rozdělení srážek v roce: v létě 36 %, na jaře 22 %, na podzim 23 %, v zimě 19 %
- ✓ počet dní s bouřkou je 25–30 dní/rok
- ✓ počet dní se srážkami většími než 1 mm je 109 dní/rok v nížinách, na horách (nad 900 m n. m.) 147 dní/rok
- ✓ vydatné srážky se u nás vyskytují při bouřkách především při výskytu tlakových níží nad střední Evropou a při brázdách nízkého tlaku nad střední Evropou
- ✓ v letním období se někdy projevuje vliv výběžku azorské tlakové výše, který zpravidla znamená delší suché období
- ✓ v nejvyšších polohách se vyskytuje až 110 dní/rok se sněžením, v nejnižších polohách pouze 45 dní/rok; navíc se tato charakteristika v posledních letech mění směrem k nižším číslům, sněhové srážky jsou nahrazovány kapalnými
- ✓ průměrný počet dní se sněhovou pokrývkou nad 5 cm je v horských oblastech kolem 40 dní/rok, v nížinách již jen do 5 dní/rok
- ✓ v posledních 15 letech ubývá dnů se sněhovou pokrývkou, což zvyšuje nebezpečí vystavení plodin holomrazům zvláště v nižších polohách

### 3. Vláhové poměry

Popisují jak množství srážek, tak i výpar (evapotranspiraci) v dané oblasti. Nejsušší oblastí je jižní Morava, kde vlivem vysoké teploty vzduchu je velký skutečný i potenciální výpar. Pro území ČR platí:

- ✓ potenciální evapotranspirace (E<sub>o</sub>) má hodnotu
  - o 400–450 mm/rok (nejvyšší polohy – horské oblasti)
  - o 750 – 800 mm/rok (jižní Morava)
- ✓ aktuální (skutečná) evapotranspirace (E) má hodnotu
  - o horské oblasti 300–350 mm/rok
  - o maximum je 450 mm/rok (jižní Morava)

Maximální rozdíl mezi potenciální evapotranspirací a aktuální evapotranspirací je na jižní Moravě (kolem 300 mm/rok). Potenciální evapotranspirace je rovna srážkám přibližně na izohyete 600 mm (izohyeta = čára spojující místa se stejným úhrnem srážek),

### 4. Radiační poměry

Národní radiační síť ČHMÚ byla založena v roce 1983, přičemž kontinuální měření jsou k dispozici od roku 1984. V současnosti ji tvoří síť pyranometrů (přístrojů na měření krátkovlnného slunečního záření) resp. biometrů UV–záření na profesionálních stanicích, které jsou pravidelně rozmístěny na území ČR. Radiace a její bilance je nejdůležitější meteorologický prvek z pohledu klimatu. Zajímavostí je roční chod měsíčních sum záření, kdy očekávanou Gaussovu křivku narušuje menší suma záření v červnu, což je spojeno s tzv. evropským monzunem, s advekcí chladnějšího a vlhčího vzduchu do střední Evropy, jejíž povrch je již silně zahřátý a teplejší vzduch nad něj stoupá. Toto proudění se projevuje ochlazením, zvýšeným množstvím oblačnosti a několika srážkovými vlnami a nižšími sumami krátkovlnné radiace (dopadajícího slunečního záření). V této souvislosti je možné zmínit známou pranostiku vázanou k 8. červnu, kdy má svátek Medard. I přes popsanou realitu



se o žádný skutečný monzun nejedná, neboť ten má letní a zimní složku, a právě ta zimní zde zcela chybí.

Nejvíce energie za rok (cca 4 000–4 200 MJ/m<sup>2</sup>) dopadá ve formě krátkovlnné radiace na jihovýchodní Moravu, neboť ta má nejvíce charakter kontinentálního klimatu a je nejméně zasažena frontální oblačností. Nejnižší úhrny (3 400–3 600 MJ/m<sup>2</sup>) mají naše pohorí díky orografické tvorbě oblačnosti.

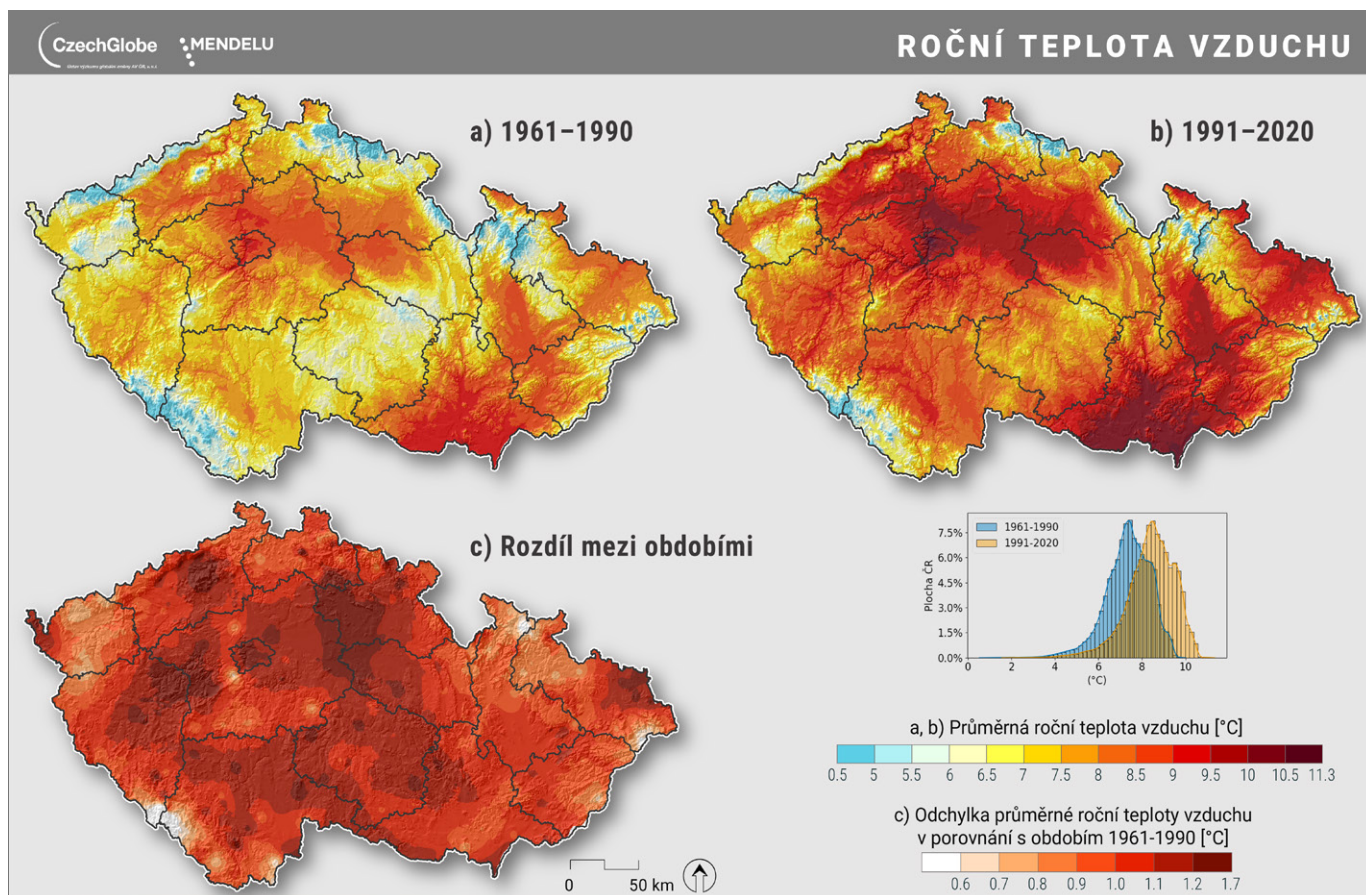
Na řadě stanic se rovněž registruje doba trvání slunečního svitu, která se pohybuje na území ČR mezi 1 350 hod/rok (Krušné hory) až 1 850 hod/rok (jižní Morava). Např. pro většinu odrůd vinné révy je minimum efektivního pěstování 1 650 hod/rok.

### 5. Větrné poměry

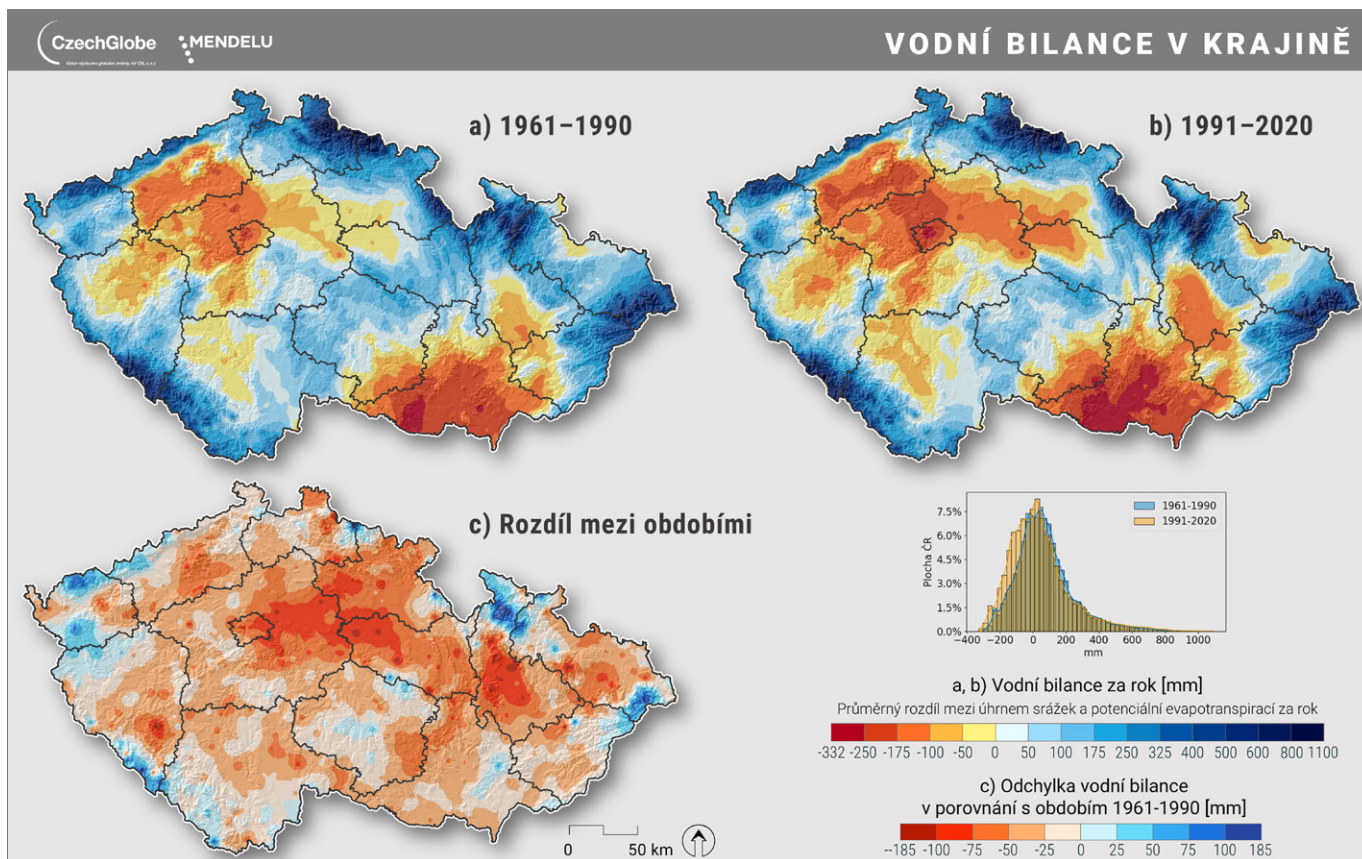
V ČR převládá vítr západní a severozápadní, který často přináší srážky. Významným faktorem modifikujícím jeho směr i rychlost je orografie, kdy např. moravské úvaly mění převažující západní a severozápadní proudění na severní či jižní. Největší rychlosti dosahuje vítr na horách a osamělých kopcích, naopak nejkldnější místa jsou obecně kotliny. Nejčastěji vane u nás v průměru za rok vítr o rychlosti 2,4 m/s. Vyšší rychlost je v zimě díky četnější cyklonální aktivitě a vyššímu horizontálnímu gradientu. Léto má průměry nižší. Průměr v horských oblastech v zimě je 7–10

m/s, zatímco v létě 4–7 m/s, v letním období je v nížinách 1–2 m/s, v zimě 3–4 m/s, pro jarní a podzimní období je průměrná rychlost větru oproti letnímu zvýšená o 1–2 m/s. Mezi větrnější lokality patří mimo horských oblastí i nížinné roviny západně a severozápadně od Prahy a na jižní Moravě. Zde se často projevuje fénové proudění z Alp s výrazným výsušným charakterem. Velmi zajímavou studii o nárazech a rychlosti větru publikovali Zahradníček et al. (2018), ze které plyne, že se nárazy, ale mírně i rychlost větru dlouhodobě snižují. Jako příčinu tohoto jevu uvádí zvyšování drsnosti povrchu na západ od nás, vyšší množství lesů, změnu hospodaření směrem k celoročnímu vyššímu pokrytí polí (mezi plodinami. Určitou roli může mít i změna metodiky měření.

Zdrojem většiny klimatických údajů v této kapitole je publikace Atlas podnebí Česka (Tolasz et al., 2007), která hodnotí převážně období 1961–2000. Probíhající klimatická změna však všechny parametry poměrně rychle mění (kap. 4 a kap. 6), a i proto jsou udávaná rozpětí jednotlivých meteorologických prvků poměrně široká. Dobře to dokumentuje srovnání dvou normálových období 1961–1990 a 1991–2020 z pohledu průměrné roční teploty (obr. 13) a vodní bilance v krajině (Obr. 14) vyjádřené jako rozdíl mezi srážkami a potenciální evapotranspirací (výparem).



**Obr. 13:** Rozdíl průměrné roční teploty za normálová období 1961–1990 a 1991–1990 na území ČR



**Obr. 14:** Rozdíl vodní bilance (srážky mínus potenciální evapotranspirace) za normálová období 1961–1990 a 1991–1990 na území ČR

# 3. FENOLOGIE JAKO BIOINDIKÁTOR PROJEVŮ POČASÍ A PODNEBÍ

Fenologii můžeme definovat jako vědní obor, který studuje roční rytmy biologických jevů zvláště v závislosti na klimatu, jinými slovy se jedná o periodicky opakující se události v životních cyklech rostlin a živočichů a mírou ovlivnění životním prostředím, zejména mezisezónní variabilitou teplot a srážek. Fenologické vývojové fáze jsou následně specifické etapy vývoje, jako např. rašení pupenů, kvetení, dozrávání plodů, opad listů či senescence. 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, vzházení, odnožování) a generativní fenologické fáze (sloupkování, metání, tvorba zrna, zrání).

## 3.1. Fenologie polních plodin

Fenologické fáze polních plodin jsou rozděleny detailně do stupnic. V současné době jsou dvě nejvíce používané, a to Zadoksova stupnice a BBCH stupnice (Meier, 2001). Zadoksova stupnice, tzv. decimální, má nejširší mezinárodní uplatnění a jednotlivé fáze jsou označovány zkratkou DC (Zadoks et al., 1974). Ze Zadoksovy stupnice je odvozena právě stupnice BBCH, která je používána v rámci zemí Evropské unie (tedy i v České republice). 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 (Hess et al., 1997). BBCH stupnicí tvoří dvoumístné číselné kódy od 00 do 99 a uplatňují se ve fyziologii rostlin, fytopatologii, entomologii, šlechtění a také v agronomickém provozu – slouží k načasování termínů hnojení a zásahů ochrany rostlin. BBCH kódy byly sestaveny 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. Obecně a povinné použití však předepsáno není a často je uváděn jen slovní popis stadia (např. počátek vzházení, začátek kvetení, plná zralost apod.).

## 3.2. Fenologie volně rostoucích druhů

Fenologické fáze volně rostoucích rostlin a divoce žijících živočichů nejsou řazeny v jednotné stupnice, 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, 1987). Ve volné přírodě se následně 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, plné jaro, časně léto, plné léto, časný podzim a konec podzimu (Hájková et al., 2012).



Jednotlivá období je možno charakterizovat dosaženými fenologickými fázemi různých druhů takto:

1. Fenologické předjaří – kvetení (rozvíjení prvních květů) u těchto rostlin: sněžěnka podsněžník, líska obecná a olše lepkavá (v průměru 1.–26. 3.);
2. Plné jaro – olistění vybraných stromů, kdy čepel listu je plně rozvinutá a list má charakteristický, dospělosti odpovídající tvar a velikost. Jako určující stromy byly stanoveny druhy bříza bělokorá, javor mlč a třešeň ptačí (v průměru 3.–26. 5.);
3. Časné léto – kvetení trav, lípy srdčité a bezu černého (v průměru 29. 5.–30. 6.);
4. Plné léto – dozrávání plodů bezu černého a jeřábu obecného (v průměru 29. 7.–30. 8.);
5. Časný podzim – žloutnutí listů břízy bělokoré, jeřábu obecného a lípy srdčité (4. 9.–3. 10.);
6. Konec podzimu – opadávání listů bezu černého, jeřábu obecného a lípy srdčité (14. 10.–4. 11.).

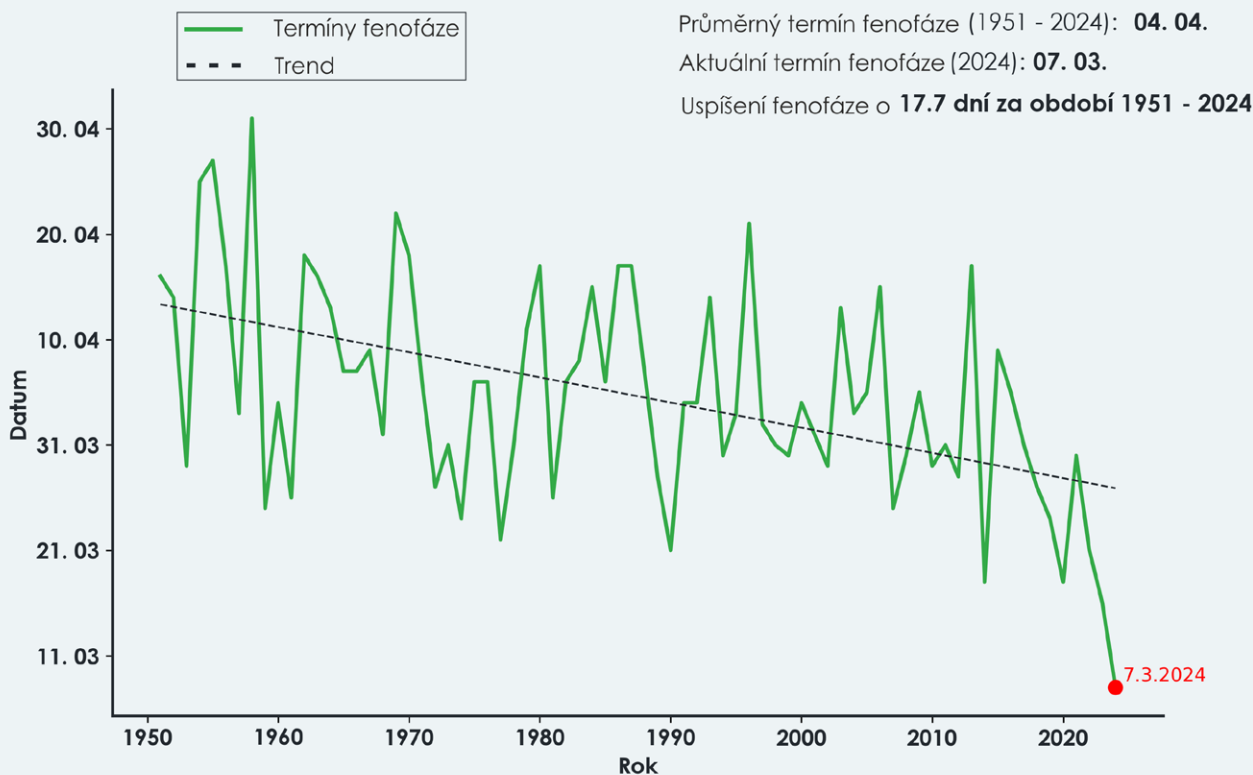
Fenologické fáze jsou pozorovány i u živočichů, kdy nejčastěji pozorovanými zástupci jsou ptačí populace různých druhů; sledují se např. termíny přiletů ze zimovišť nebo termíny kladení vajíček (např. Bauer et al., 2010).

### 3.3. Fenologie, počasí a podnebí

Fenologie je považována za jednoduchý nástroj pro dokazování změn v načasování vývojových fází druhů v závislosti na změně podnebí a výkyvech počasí, a to nejlépe během jarních měsíců. Zejména volně rostoucí rostliny představují oblíbené a poměrně jednoduše pozorovatelné zástupce. Díky tomu vzniklo mnoho obsáhlých databází pozorování, které se zabývaly právě načasováním nástupů fenologických fází volně rostoucích rostlin a jejich vazbou s počasím a podnebí v zemích Evropy (např. Büntgen et al., 2020) a také v České republice (např. Bartošová et al., 2022) a dokumentují, že je to právě průměrná nebo maximální denní teplota, která nejvíce ovlivňuje načasování fenologických projevů rostlin.

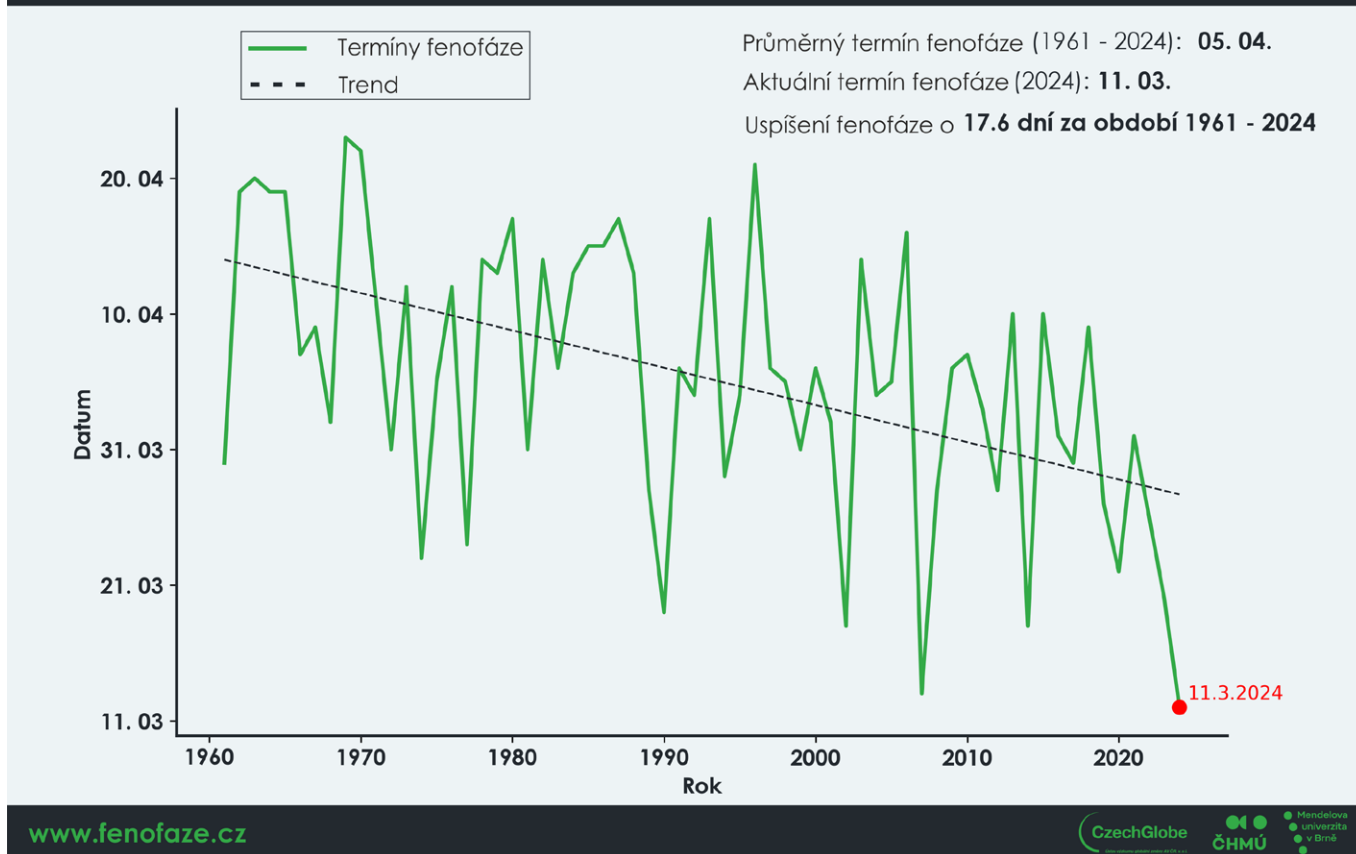
V současných podmínkách měnícího se klimatu jsou tedy rostliny považovány za bioklimatický indikátor a fenologická pozorování slouží k posuzování možných dopadů těchto změn, jak si ukážeme na příkladech dlouhodobých fenologických dat v této kapitole. Pro dostatečné vyhodnocení vlivu měnících se teplot na termíny

Vyrašení listových pupenů na lokalitě Lanžhot v období 1951 - 2024 pro druh habr obecný (*Carpinus betulus*)



**Obr. 15:** Rašení listových pupenů habru obecného (*Carpinus betulus*) na lokalitě Lanžhot v letech 1951–2024

První květy na lokalitě Lednice v období 1961 - 2024 pro druh meruška obecná (*Prunus armeniaca*)



**Obr. 16:** První květy merušky (*Prunus armeniaca*, odrůda Velkopavlovická) obecné v letech 1961–2024 na lokalitě Lednice. Monitoring probíhá v ovocném sadu Ústavu ovocnictví Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně

fenologických fází je nicméně zásadně důležitá dlouhodobost pozorování. Pro kvalitní stanovení a vyhodnocení vazby mezi průběhem teplot a nástupem fenofází 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 do dřívějšího data, tedy uspíšení počátku vegetační sezóny a její prodloužení (např. Menzel et al., 2020).

Na dlouhodobé řadě fenologického pozorování můžeme vidět krátkodobou reakci načasování fenologických fází druhu na projevy počasí, ale také dlouhodobou reakci na měnící se podnebí (Obr. 15). Termín vyrašení listových pupenů habru obecného (*Carpinus betulus*) na lokalitě lužního lesa jižní Moravy byl výrazně uspíšen právě v roce 2024, kdy tato fenofáze byla zaznamenána již 7. 3. (přičemž průměrný termín je 5. 4.) a jednalo se tak o rekordní nástup této fenofáze během posledních 73 let. A právě v roce 2024 byly na řadě stanic ČHMÚ zaznamenány rekordní teploty a konkrétně v Jihomoravském kraji byla naměřena odchylka teploty vzduchu pro měsíc únor 6,5 °C (průměrná teplota vzduchu v únoru je v tomto kraji 0,3 °C a v roce 2024 byla naměřena 6,8 °C). Tep-

lotní sumy (tj. sumy teplot nad biologickým teplotním prahem, nejčastěji se používá 5 °C, jako teplotní práh) tak byly nasčítány již od přelomu ledna a února a uspíšily tak nástup nejen rašení habrů, ale i dalších druhů a celé vegetační sezóny. Z dlouhodobého hlediska dále můžeme konstatovat, že právě rašení habru obecného se od roku 1951 uspíšilo o 17,7 dní a z cca poloviny dubna se tato fenofáze přesunula do posledních březnových týdnů.

Podobný dlouhodobý trend je patrný i u ovocných dřevin, konkrétně u merušky (odrůda Velkopavlovická, *Prunus armeniaca*), jejíž termíny kvetení sledujeme od roku 1961 v ovocném sadu Zahradnické fakulty (Obr. 16). Termín prvních květů merušky se za posledních 63 let uspíšil o 17,6 dní a z cca poloviny dubna se posunul na konec března. I u kvetení merušky jsou patrné roky s velmi časnými nástupy kvetení, jako např. v 70. letech (konkrétně v letech 1974 a 1977, kdy byly fenofáze monitorovány 23. a 24. 3.) a právě tato dekáda byla vyhodnocena, jako jedna z dekad od roku 1961 s vysokým počtem dní s rizikem výskytu jarních mrazíků (dny s minimální teplotou pod -1,5 °C), které nastupovaly po tzv. falešném jaru (tedy období s maximální denní teplotou nad 10 °C po dobu deseti dní) (Zahradníček et al., 2024). Velmi podobně

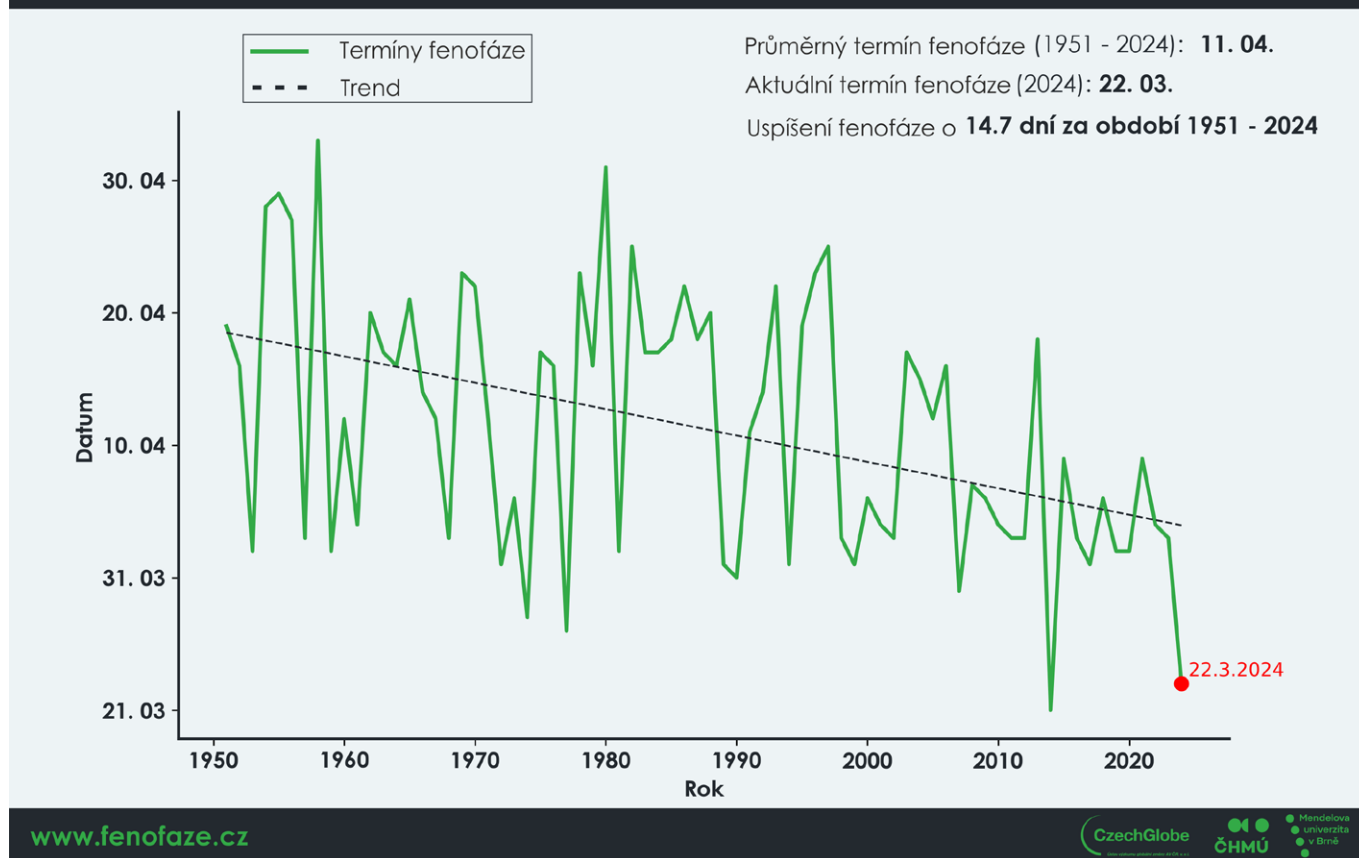
riziko jarních mrazíků, které mají významný dopad zejména na ovocné dřeviny, bylo vyhodnoceno také pro dekádu 2011–2020, kdy byly fenofáze prvních květů zaznamenány v období 18.–31. 3. v celkem šesti letech. Nicméně vidíme, že poměrně časté nástupy počátku kvetení přicházející v cca polovině března jsou patrné i v dalších letech a stávají se výrazně častější. Ukázkovým příkladem je také rok 2024, kdy fenofáze prvního květu nastala v rekordním termínu (plné kvetení následovalo jen o 4 dny později), čímž byly kvetoucí stromy vystaveny riziku zmrznutí a následné jarní mrazíky (na konci března a v polovině dubna) tak všechny kvetoucí stromy zničily.

Dlouhodobá fenologická odezva se netýká jen dřevin, ale je patrná také u dalších rostlinných druhů. Z bylin monitorujeme již od roku 1951 např. sasanku pryskyřníkovitou (*Anemone ranunculoides*), která na dlouhodobé změny podnebí reaguje posunem termínu plného kvetení o 15 dní (Obr. 17). Konkrétní roky, které stojí za zmínku jsou roky 1958 a 1980, u kterých byly zaznamenány nejpozdější nástupy fenofází, což bylo ovlivněno podprůměrnými teplotami právě v prvních měsících daných let. Naopak časné termíny jsou opět patrné v 70. letech a v roce 2014 a 2024. V roce

2014 jsou patrné nadprůměrné teploty již od ledna, během února i března. V roce 2024 jsou nadprůměrné teploty „jen“ během února a března. Což mohlo znamenat nižší nebo žádnou sněhovou pokrývku a vyšší teplotu půdy právě v roce 2014, a tedy i nejdřívější termín počátku i plného kvetení právě u bylinného zástupce.

Nejen druhy, které začínají svůj fenologický vývoj v časném jaře, ale i ty pozdější, jejichž fenofáze probíhají až během května, posouvají termíny svých fenofází do dřívější doby. Příkladem jsou termíny prvních květů hlohu obecného (*Crataegus laevigata*), u kterých můžeme vidět výrazný posun právě v roce 2024, kdy se nástup fenofáze uspíšil téměř o měsíc (Obr. 18). I u tohoto fenologicky pozdějšího druhu můžeme vidět reakci na teplotně nadprůměrné nebo podprůměrné první měsíce roku. Např. již dříve zmiňovaný teplotně podprůměrný rok 1980 s nejpozdějším nástupem fenofáze právě u hlohu. Ale nevidíme zde tak výrazné reakce na teplé roky v posledních dvou dekadách, jako tomu je např. u časných bylin nebo ovocné dřeviny (např. již dříve zmiňované roky 2014 nebo 2007), kdy byly první měsíce těchto let teplotně nadprůměrné, ale ne tak silně, jako v roce 2024, kdy výrazná odchylka v měsíci únoru ovlivnila i tento pozdější termín fenofáze.

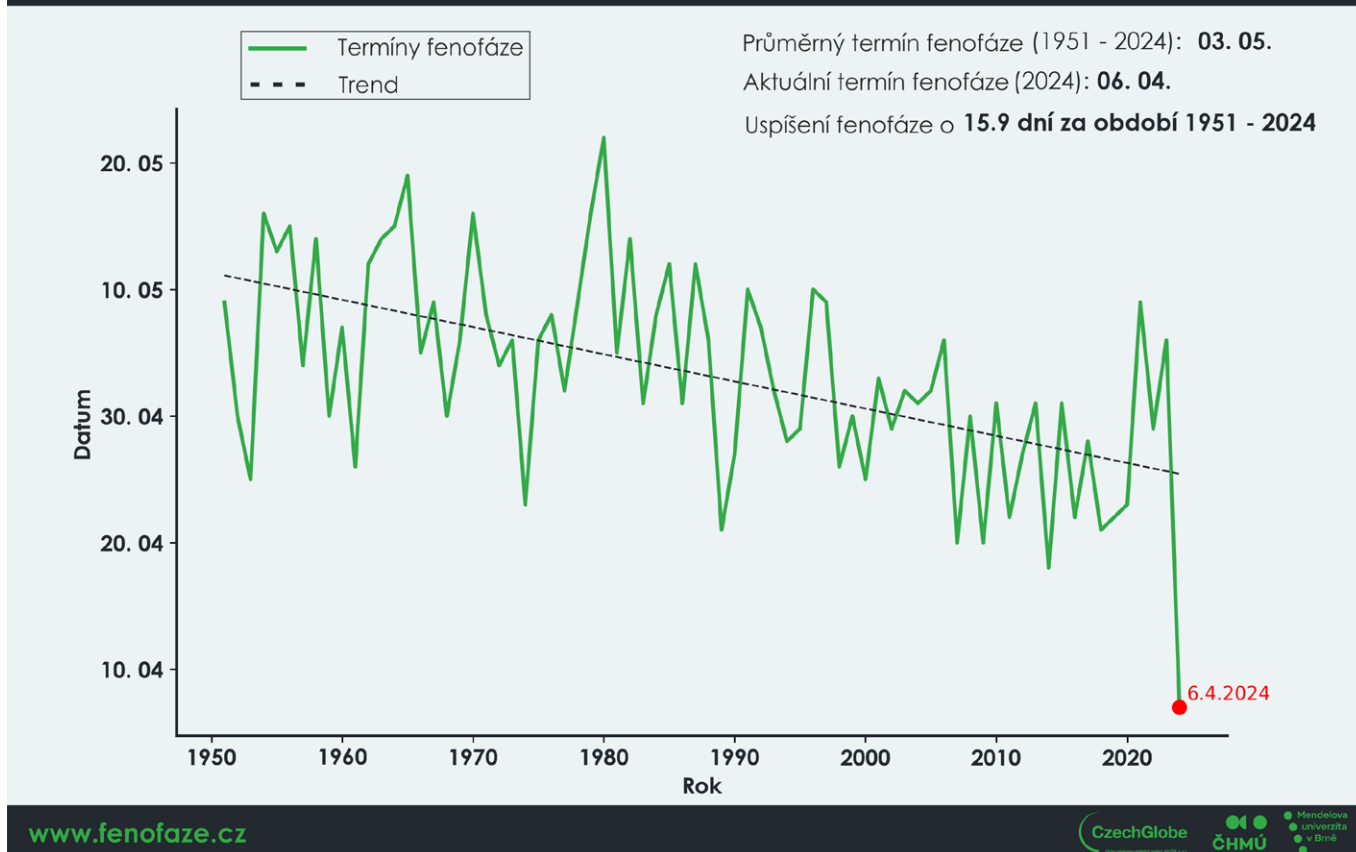
Plné kvetení na lokalitě Lanžhot v období 1951 - 2024 pro druh sasanka pryskyřníkovitá (*Anemone ranunculoides*)



**Obr. 17:** Termíny plného kvetení sasanky pryskyřníkovité (*Anemone ranunculoides*) na lokalitě Lanžhot v letech 1951–2024



První květ na lokalitě Vranovice v období 1951 - 2024 pro druh hloh obecný (*Crataegus laevigata*)



**Obr. 18:** Termíny prvních květů hlohu obecného (*Crataegus laevigata*) na lokalitě Vranovice v letech 1951–2024

Z dlouhodobého hlediska i zde je patrný posun do dřívější doby, a to konkrétně o 15,9 dní od roku 1951.

Volně rostoucí druhy jsou nejčastěji monitorovanými zástupci právě z hlediska fenologie díky poměrně jednoduchým metodickým postupům. Nicméně velké oblibě se ale drží také fenologický monitoring ptačích populací (Samplonius et al., 2018). V rámci České republiky monitorujeme termíny kladení vajec v ptačích budkách u sýkory koňadry (*Parus major*) již od roku 1951 (Obr. 19). A jsou to tedy i zástupci z živočišné říše, kteří ukazují odezvu na měnící se podnebí. Uspíšení průměrného prvního vejce v hnízdě je o 11,2 dní za posledních 73 let. I u populace sýkory koňadry si můžeme povšimnout poměrně časných počátků kladení vajec v 50. a 70. letech minulého století, které byly v termínech 8.–10. 4.

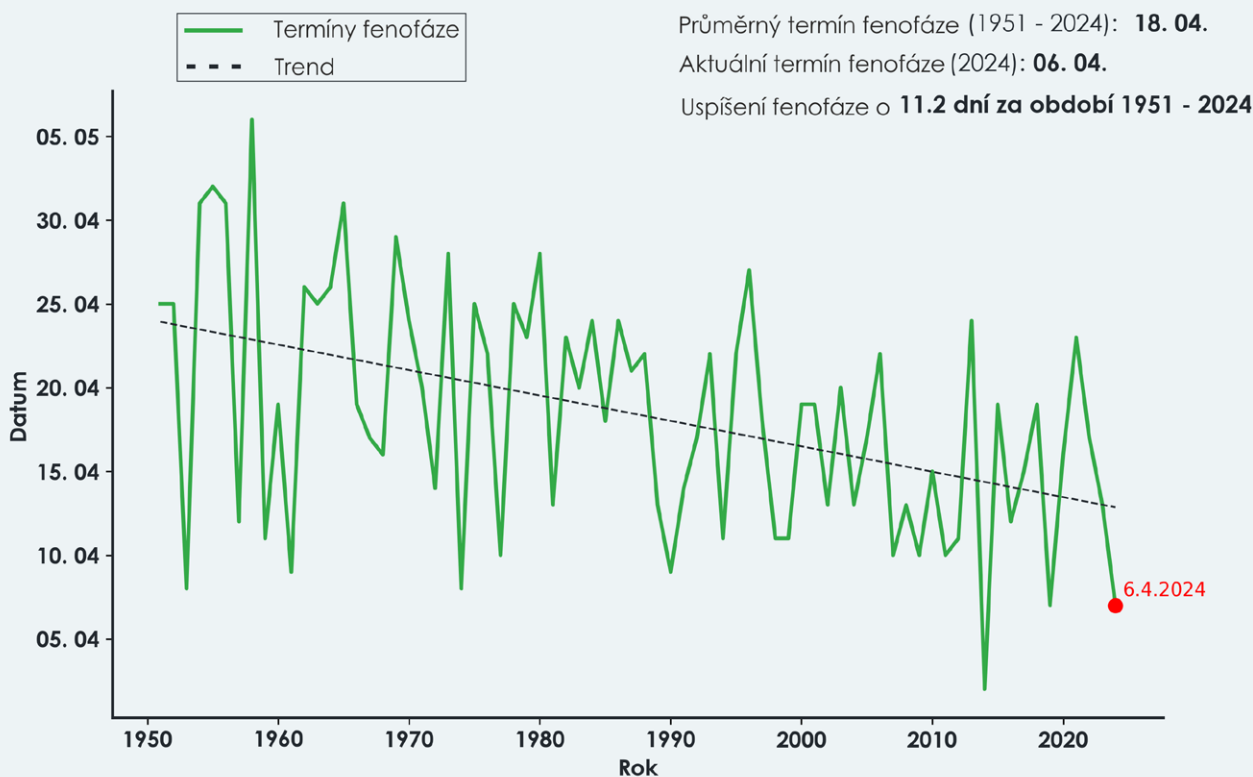
V dekádě 2010–2019 a v aktuálním roce 2024 byly tyto termíny pozorovány v období 2.–7. 4. Jedná se tedy o velmi časné počátky aktivity ptačí populace, kdy dlouhodobý průměrný počátek kladení vajec je pozorován až 18. dubna.

Můžeme tedy konstatovat, že jak rostliny, tak ptačí populace od cca poloviny minulého století zaznamenaly roky s nadprůměrnými i podprůměrnými teplotami a podle toho buď uspíšily, nebo opoždily termíny vývojových fenologických fází. Nicméně z dlou-

hodobého hlediska je patrný neustálý trend posunu termínů do časnější doby, v čemž se všechny zmiňované druhy shodují. Zároveň můžeme vyčíst jistou rozdílnost v dynamice odezvy na měnící se podnebí. V rámci fenologické studie lužního lesa na jižní Moravě v období 1961–2021 to byly právě byliny, které ukázaly nejvyšší posun v počátku kvetení (14 dní), následovány keři (posun do dřívější doby o 13 dní), stromy (9 dní) a poslední skupinu tvořily ptačí populace s posunem kladení vajec do dřívější doby o 8 dní (Bartošová et al., 2022). Podstatný dlouhodobý fenologický rozdíl ukazují také polní plodiny (konkrétně pšenice ozimá), jejich termíny fenofází byly pozorovány Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (UKZÚZ) a ukázaly posun za dekádu o 4,1–5,1 dní v nižších a středních polohách. Přičemž volně rostoucí druhy (reprezentované dřevinami, keři a bylinami a monitorované Českým hydrometeorologickým ústavem - ČHMÚ) ukázaly posun za dekádu o 2,7–2,9 dní (Bartošová et al., 2024).

Je tedy patrné, že jsou to právě dlouhodobá fenologická data, která nám slouží jako bioindikátor změn prostředí či podnebí. Posuny do dřívější doby jsou patrné nejen v České republice, ale byly pozorovány i v zahraničí a jsou v současné době považovány za jeden z dopadů klimatické změny. Prodlužování vegetační sezó-

Průměrné 1. vejce v populaci na lokalitě Lednice v období 1951 - 2024 pro druh sýkora koňadra (*Parus major*)



[www.fenofaze.cz](http://www.fenofaze.cz)

CzechGlobe  
 ČHMÚ  
 Mendelova univerzita v Brně

**Obr. 19:** Průměrné 1. vejce v populaci sýkory koňadry (*Parus major*) na lokalitě Lednice v období 1951–2024

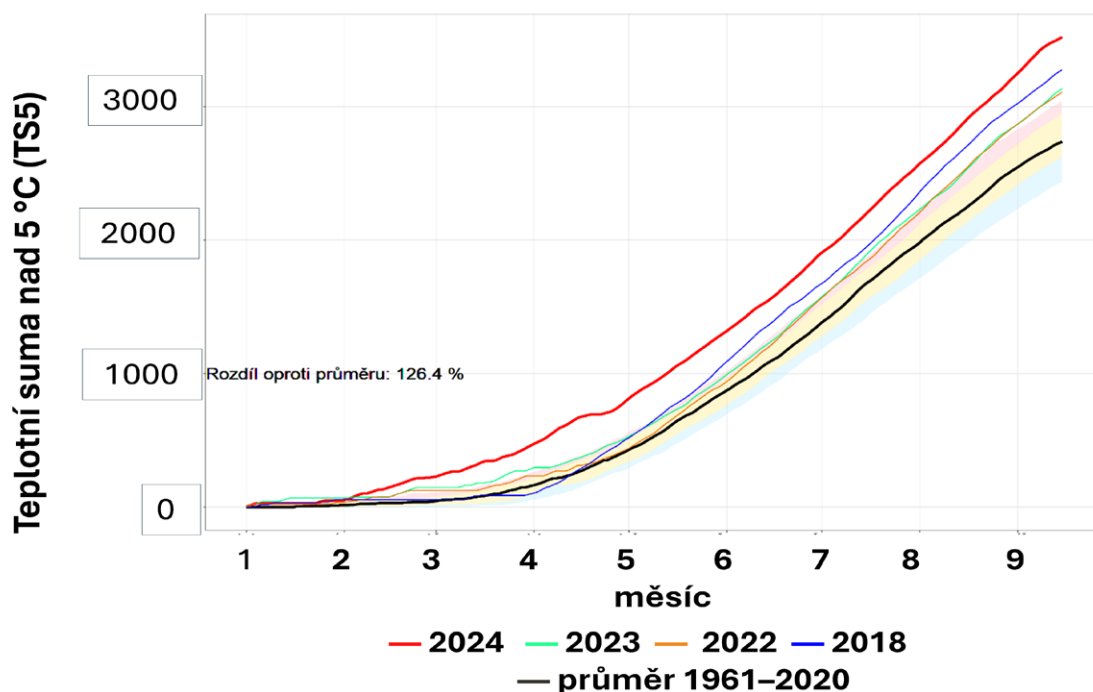
ny (způsobené časným jarem a případně i pozdním podzímek) tak bereme jako fakt a musíme se vyrovnat s dopady těchto změn, kterými jsou zejména častější výskyty jarních mrazů nebo brzké odčerpávání vody z krajiny evapotranspirací díky dřívějšímu startu vegetace.

### 3.4. Délka vegetačního období

Průměrná délka velkého vegetačního období je určována jako souvislé období s průměrnou denní teplotou nad 5 °C. Hlavní vegetační období je pak počítáno jako souvislé období s průměrnou denní teplotou nad 10 °C. Určujeme také letní vegetační období, které je určováno průměrnou denní teplotou nad 15 °C. Začátek vegetačního období je tak určen překročením dané teplotní hranice po dobu šesti po sobě následujících dní. Ukončení vegetačního období je následně určeno, když průměrné denní teploty klesnou pod stanovenou teplotní hranici opět po dobu šesti po sobě následujících dní. Průměrná délka vegetačního období je různá v různých oblastech ČR a můžeme ji určovat v závislosti na nadmořské výšce. V nízkých polohách (s nadmořskou výškou do 200 m) je délka

velkého vegetačního období 203 dní a hlavního 170 dní. Naopak v horských oblastech (s nadmořskou výškou nad 801 m n. m.) je velké vegetační období dlouhé 154 dní a hlavní 115 dní (Hájková et al., 2012). Obecně platí, že s přibývajícím nadmořskou výškou se zkracuje vegetační období o cca 8–9 dní na každých 100 m.

Rok 2024 s teplotně nadprůměrným počasím od přelomu ledna a dubna ukazuje, jak velice časný počátek vegetačního období může být a jak se právě tento rok liší od dlouhodobého průměru. Vegetační období můžeme definovat pomocí teplotních sum (nad zmiňované teplotní hranice 5, 10 nebo 15 °C) a právě velké vegetační období a sčítání teplotních sum nad hranicí 5 °C započalo již během února (červená tučná linka na Obr. 20) a výrazně převýšilo průměrné sumy teplot v letech 1961–2020 (černá tučná linka na Obr. 20). Během celé vegetační sezóny tak můžeme vidět teplotní sumy velkého vegetačního období v roce 2024 výrazně nejen nad dlouhodobým průměrem teplotních sum, ale také nad dosud teplotně rekordním rokem 2018. Od února 2024 tak byla teplotní suma nad 5 °C uspišena o 30–45 dní (tedy např. teplotní podmínky typické pro březen jsme pozorovali již během února). V průběhu září 2024 jsou pak už teplotní sumy uspišeny o cca 25–27 %, což odpovídá cca 2 měsíce uspišení těchto sum.



**Obr. 20:** Teplotní sumy nad 5 °C pro meteorologickou stanici v Doksanech v roce 2024 (červená tučná linka) převyšující doposud rekordní rok 2018 (modrá linka) a výrazně převyšující průměrné sumy teplot v období 1961–2020 (černá tučná linka), zdroj: fenofaze.cz

Můžeme tedy již nyní vidět prodlužování vegetační sezóny, které je patrné nejen v ČR (Obr. 21), ale i v oblasti střední Evropy. Předpokládaný budoucí vývoj v délce vegetačního období naznačuje další prodlužování ve všech částech České republiky. Odhad je vhodné posuzovat podle tzv. 50. percentilu předpokládaných budoucích hodnot, který ukazuje střední hodnotu uvažovaného budoucího vývoje.

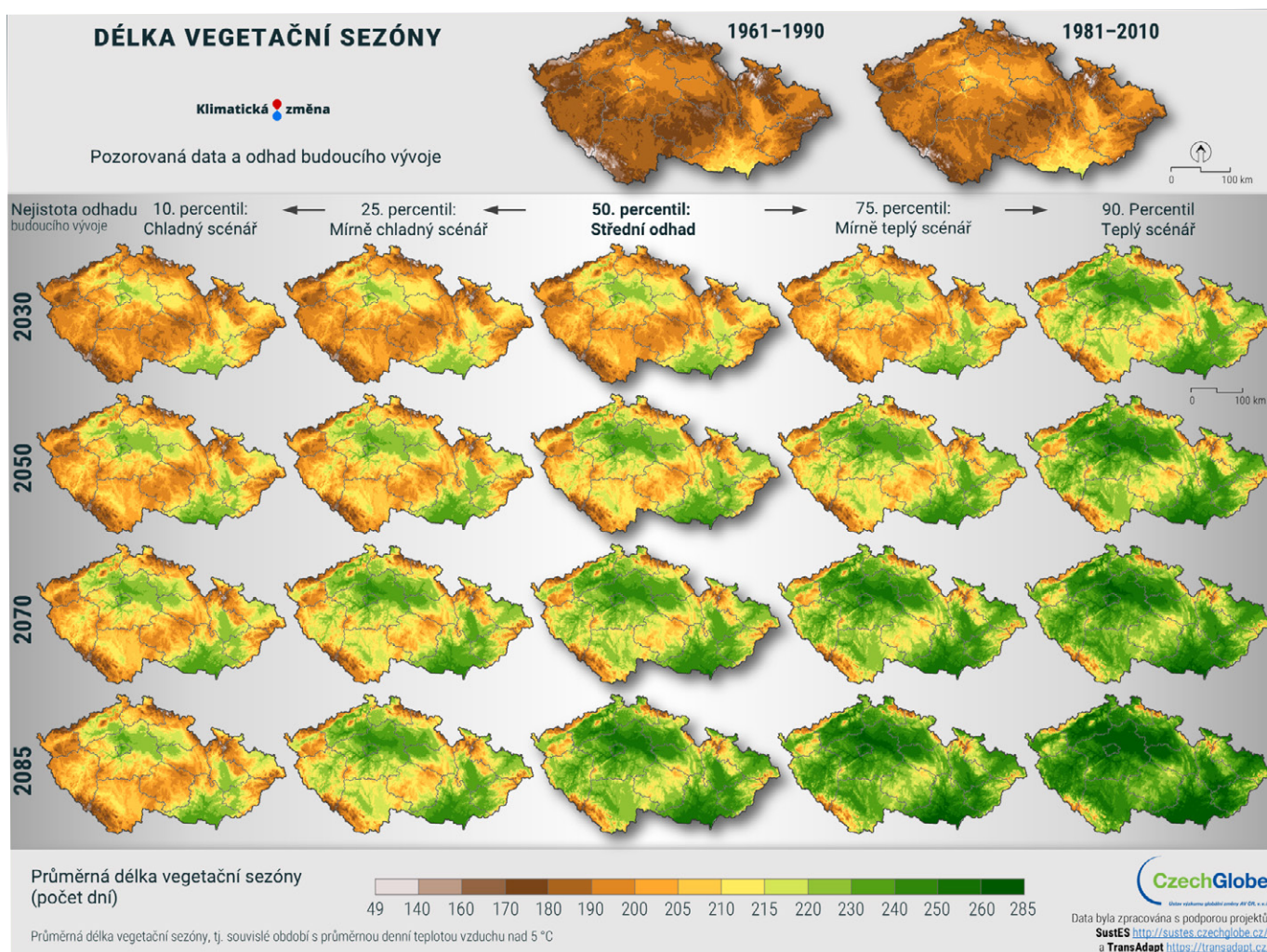
### 3.5. Stručná historie a současnost fenologie

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 (Kalvane et al., 2009). 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

(Novák a Šimek, 1926). Důležité bylo zaměření fenologického pozorování, které nebylo botanické, nýbrž zemědělské a sloužilo praktickým potřebám. Od roku 1961 do roku 2013 byla 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 na cca 30 lokalitách a týká se pouze lesních druhů. Od roku 2015 je jako dílčí náhrada pro studenty vysokých a středních škol a jejich učitele, ale také pro širokou veřejnost provozován web [www.fenofaze.cz](http://www.fenofaze.cz), díky kterému se do fenologické práce může zapojit kdokoli 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. V současné době jsou pozemní fenologická pozorování hojně používána pro kalibraci družicových dat, která jsou následně využívána pro celou řadu růstových modelů, např. pro predikci výnosů polních plodin.

Nicméně pravděpodobně nejceněnější řady aktuálně spravuje tým Ústavu výzkumu globální změny AV ČR. Ten od roku 2008 začal úzce spolupracovat s doc. Zdeňkem Bauerem CSc., který od roku 1951 začal systematický monitoring fenofází několika desítek druhů bylin, keřů, stromů a ptáků v lužních lesích jižní Moravy. Tento monitoring pokračuje a trvá na celkem 4 lokalitách na jižní Moravě a sleduje fenologickou odezvu ekosystémů lužních lesů, přičemž jde o řady i z Evropského pohledu unikátní.





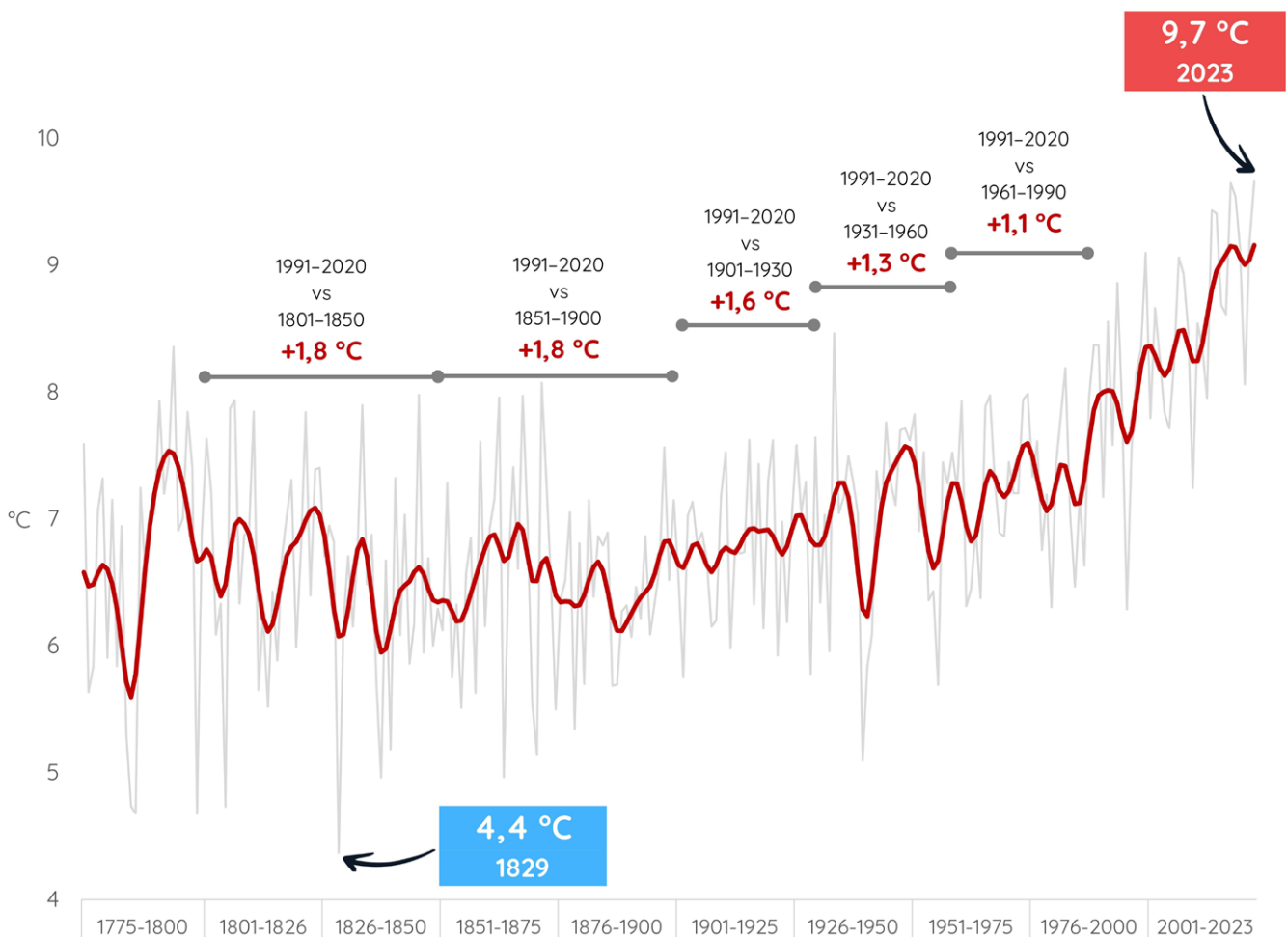
**Obr. 21:** Délka vegetační sezóny v uplynulých dvou třicetiletých obdobích a předpokládaný budoucí vývoj do 2030, 2050, 2070 a 2085, zdroj: [www.klimatickazmena.cz](http://www.klimatickazmena.cz)

# 4. HISTORICKÝ VÝVOJ KLIMATU NA ÚZEMÍ ČR

Úvodem jedno vysvětlení. Meteorologická roční období nesouhlasí s těmi, co jsou všeobecně vymezena astronomickými milníky. Meteorologickou zimu tvoří měsíce prosinec, leden a únor (často označované zkratkou PLU), meteorologické jaro březen, duben a květen (BDK), meteorologické léto zahrnuje červen, červenec a srpen (ČČS) a meteorologický podzim je září, říjen a listopad (ZŘL). Zdrojem dat pro tuto kapitolu je databáze Českého hydrometeorologického ústavu.

## 4.1. Teplota vzduchu

Teplota vzduchu v České republice je variabilní. Historicky se u nás střídají teplejší a chladnější dny či měsíce a roky. Jenže hlavně od 80. let 20. století pozorujeme jednoznačný trend nárůstu teploty vzduchu (Obr. 22). Poslední normál 1991–2020 byl pak teplejší o 1,8 °C, než bylo obvyklé v 19. století. Dekáda 2011–2020 byla pak nejteplejší za dobu měření a rychlost mezidekádního nárůstu teploty vzduchu byla dvakrát vyšší než v předchozích dekádách. Nejteplejší roky byly 2023, 2018, 2019, 2014 a 2015.



Obr. 22: Průměrná teplota vzduchu v České republice v letech 1775–2023

## 4. Historický vývoj klimatu

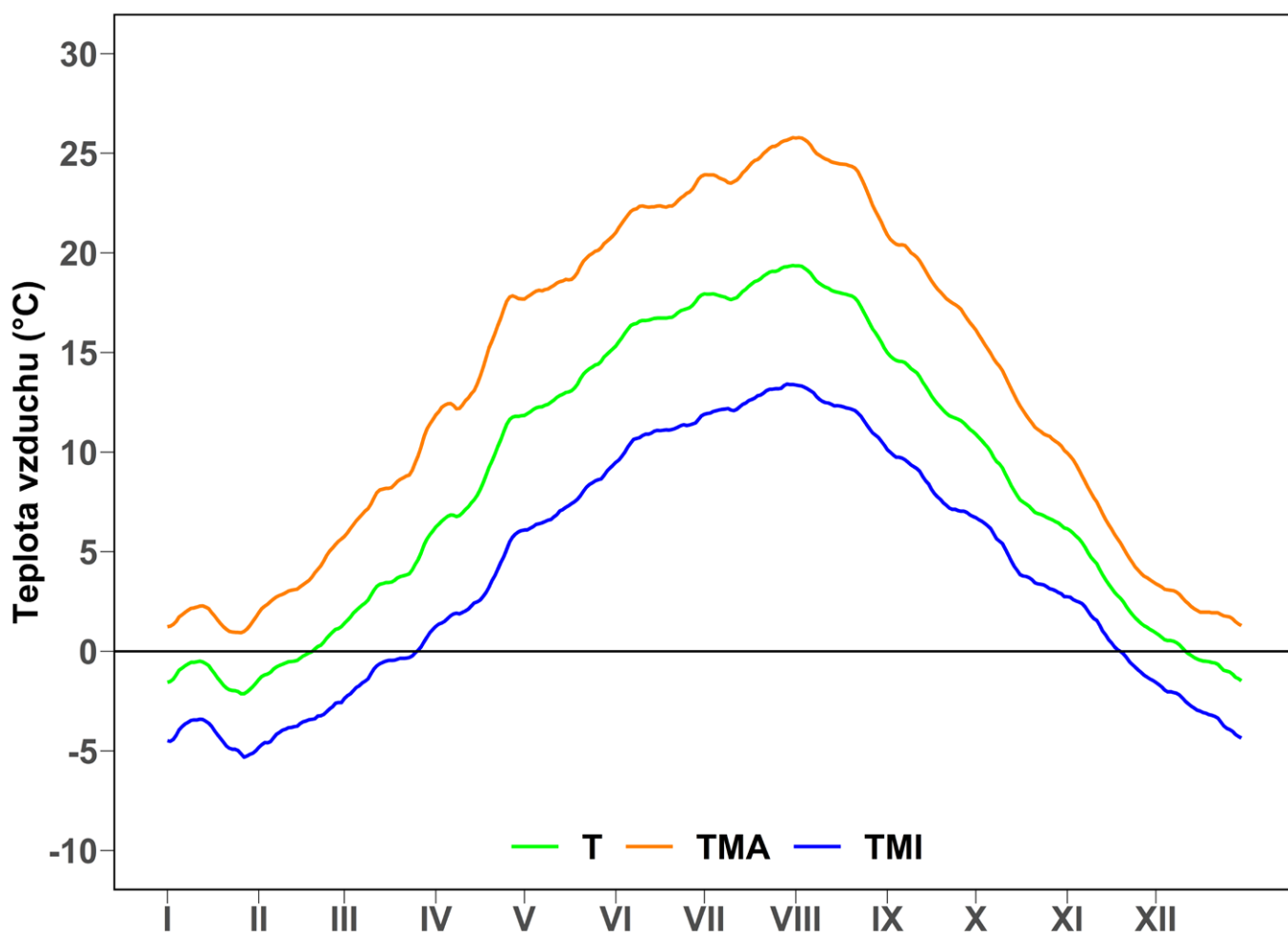
Průměrná teplota v České republice v letech 1991–2020 byla 8,4 °C (Tab. 3). S nadmořskou výškou teploty klesají (Obr. 25). Nejvyšší jsou v nížinách (9,7 °C) a v horských polohách nad 900 m jsou v průměru o 5,4 °C nižší. Mezi nejteplejší oblasti republiky patří Znojensko, Břeclavsko a Hodonínsko. Vysoké teploty jsou pozorovány i v Praze či Brně, kde působí i tepelný ostrov města. Praha Klementinum a Praha Karlov jsou dokonce nejteplejšími stanicemi v České republice. Nejteplejším měsícem je červenec, naopak v lednu jsou teploty nejnižší (Obr. 23). Rozdíl mezi nejteplejším a nejchladnějším měsícem je 19,7 °C.

Maximální teploty vzduchu nastávají většinou během dne, nejčastěji po poledni nebo za horkých dnů i odpoledne. Celoroční průměr je 13,2 °C, ale na horách (nad 900 m n. m.) jen 8,6 °C. Dokonce se zde během zimy průměrné hodnoty těchto maxim ani nedostávají nad bod mrazu, což samozřejmě podporuje častější sněžení a také sněhová pokrývka má větší šanci se udržet. Naopak v létě se v nižších polohách dostávají maximální teploty nad hranici 25 °C.

Minimální teploty vzduchu jsou většinou naměřeny v noci či čas-

těji těsně před východem Slunce. Průměr těchto teplot je v České republice jen 4 °C. Na horách v zimě dokonce okolo -7,2 °C. Pod bodem mrazu jsou tyto noční teploty ve všech zimních měsících v celé ČR a v březnu dokonce ještě od nadmořských výšek 300 m.

Podle Zahradníčka et al. (2021) pozorujeme u všech sezón statisticky významný nárůst teplot vzduchu. Nejrychleji se oteplují letní měsíce (0,50 °C/10 let, období 1961–2023) a nejméně podzimní měsíce, které ještě do roku 2010 nevykazovaly trend nárůstu teplot, ale to se v poslední dekádě změnilo. Celá republika se za posledních 63 let (1961–2023) oteplila o 2,4 °C (Obr. 24). Nejvíce se zvýšila teplota oproti 60. letům minulého století v létě, a to o 3,2 °C, zatím co v zimě o 3,0 °C. Na jaře a na podzim jsou změny menší, a to 2,0 respektive 1,6 °C. Z jednotlivých měsíců se nejvíce oteplil srpen a leden. Poté červenec, prosinec a červen. S výjimkou změny teplot v měsíci únoru jsou změny statisticky významné. V rámci území ČR nepozorujeme zásadní prostorové změny v oteplení (Obr. 26). Nejpomaleji rostou teploty na Šumavě a okolí.



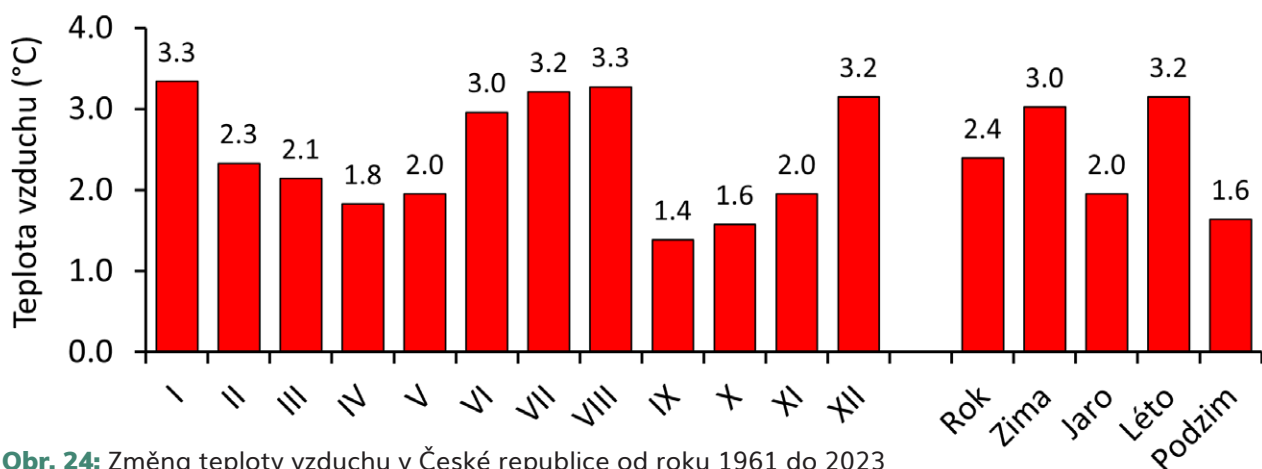
**Obr. 23:** Roční chod průměrných (T), maximálních (TMA) a minimálních (TMI) teplot vzduchu v České republice v letech 1991–2020



**Tab. 3:** Průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu v České republice podle nadmořských výšek jako průměr 1991–2020. Jak již bylo uvedeno meteorologickou zimu tvoří měsíce prosinec, leden a únor, meteorologické jaro březen, duben a květen, meteorologické léto zahrnuje červen, červenec a srpen a meteorologický podzim tvoří září, říjen a listopad.

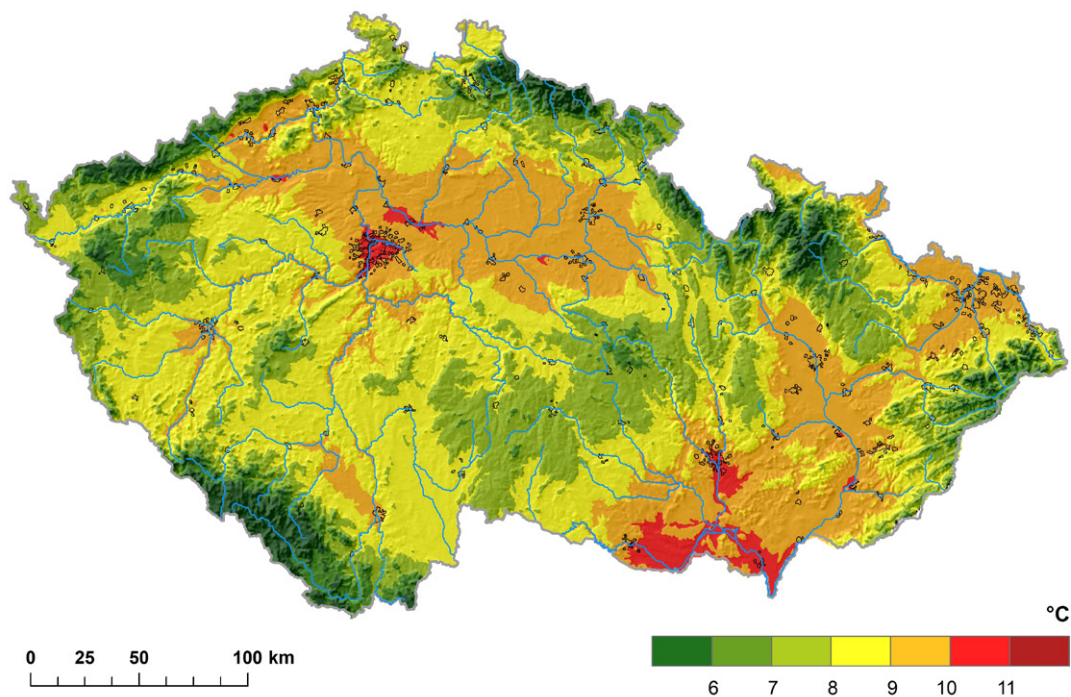
Průměrná teplota vzduchu (°C)																	
Nad. výška (m)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
ČR	-1,3	-0,2	3,3	8,6	13,2	16,6	18,4	18,0	13,1	8,3	3,6	-0,3	8,4	-0,6	8,3	17,7	8,4
<300	-0,4	0,9	4,6	10,0	14,6	18,1	19,8	19,4	14,4	9,3	4,7	0,7	9,7	0,3	9,7	19,1	9,5
301-600	-1,3	-0,2	3,3	8,5	13,1	16,6	18,4	17,9	13,1	8,3	3,7	-0,3	8,4	-0,6	8,3	17,7	8,4
601-900	-2,7	-1,8	1,5	6,6	11,2	14,6	16,4	16,1	11,4	6,8	2,0	-1,7	6,7	-2,1	6,4	15,7	6,7
>900	-4,3	-4,0	-1,2	3,6	8,3	11,8	13,5	13,4	8,8	4,5	0,1	-3,2	4,3	-3,9	3,6	12,9	4,5
Maximální teplota vzduchu (°C)																	
ČR	1,6	1,6	8,1	14,3	18,9	22,3	24,5	24,4	18,9	18,9	6,7	2,3	13,2	2,4	13,8	23,7	12,8
<300	2,4	2,4	9,4	15,9	20,4	23,8	26,1	26,0	20,4	20,4	7,8	3,2	14,5	3,4	15,3	25,3	14,1
301-600	1,6	1,6	8,2	14,4	19,0	22,4	24,6	24,5	19,0	19,0	6,7	2,4	13,3	2,5	13,9	23,8	12,9
601-900	0,2	0,2	5,9	12,0	16,5	19,9	22,0	22,0	16,6	16,6	4,9	0,8	11,1	0,9	11,5	21,3	10,8
>900	-1,1	-1,1	2,8	8,4	13,3	16,7	18,6	18,6	13,6	13,6	3,6	-0,2	8,6	-0,6	8,2	18,0	8,6
Minimální teplota vzduchu (°C)																	
ČR	1,6	-4,3	-0,8	3,0	7,4	10,8	12,6	12,3	8,5	8,5	0,8	-2,9	4,0	-3,7	3,2	11,9	4,6
<300	2,4	-3,4	0,1	4,0	8,4	12,0	13,7	13,4	9,4	9,4	1,7	-2,0	5,0	-2,8	4,2	13,0	5,5
301-600	1,6	-4,3	-0,8	3,0	7,3	10,7	12,5	12,2	8,4	8,4	0,9	-2,9	4,0	-3,7	3,2	11,8	4,6
601-900	0,2	-5,4	-2,1	1,9	6,2	9,6	11,4	11,2	7,4	7,4	-0,5	-4,2	2,8	-4,9	2,0	10,7	3,5
>900	-1,1	-7,2	-4,4	-0,4	3,9	7,1	9,2	9,1	5,2	5,2	-2,6	-6,0	0,7	-6,8	-0,3	8,4	1,3

Změna teploty vzduchu 1961–2023



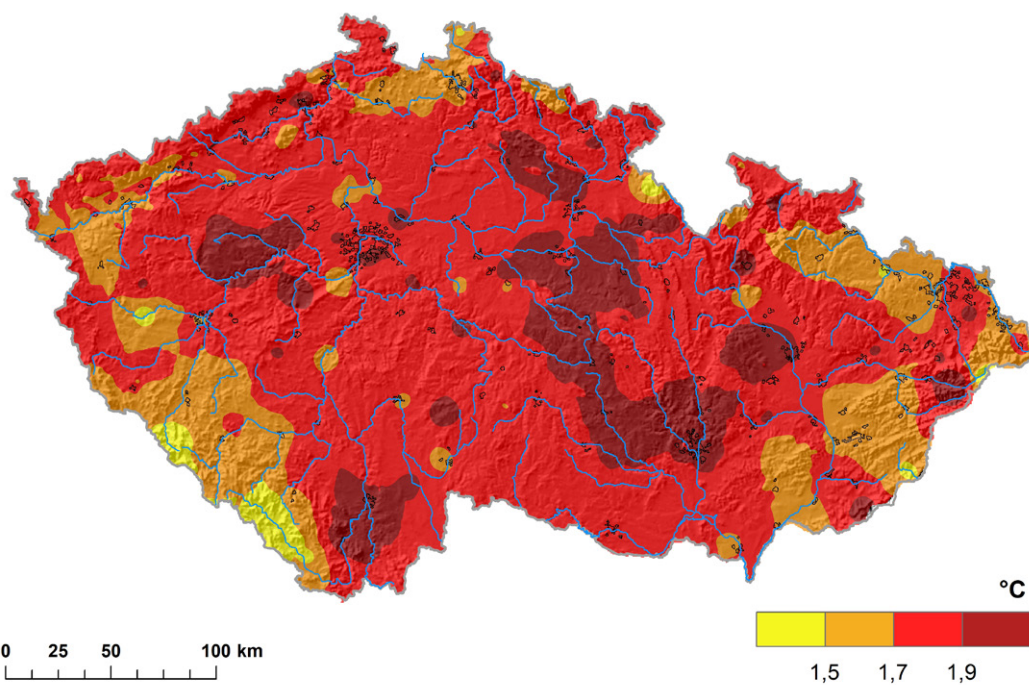
**Obr. 24:** Změna teploty vzduchu v České republice od roku 1961 do 2023

### Průměrná roční teplota vzduchu 1991-2020



**Obr. 25:** Prostorově zobrazená průměrná roční teplota vzduchu 1991–2020

### Změna roční teploty vzduchu v letech 2011-2023 oproti 1961-1990



**Obr. 26:** Prostorově zobrazená změna teploty vzduchu v letech 2011–2023 oproti 1961–1990

**Tab. 4:** Absolutní maximální a minimální teplota vzduchu v České republice podle nadmořských výšek (průměr 1991–2020)

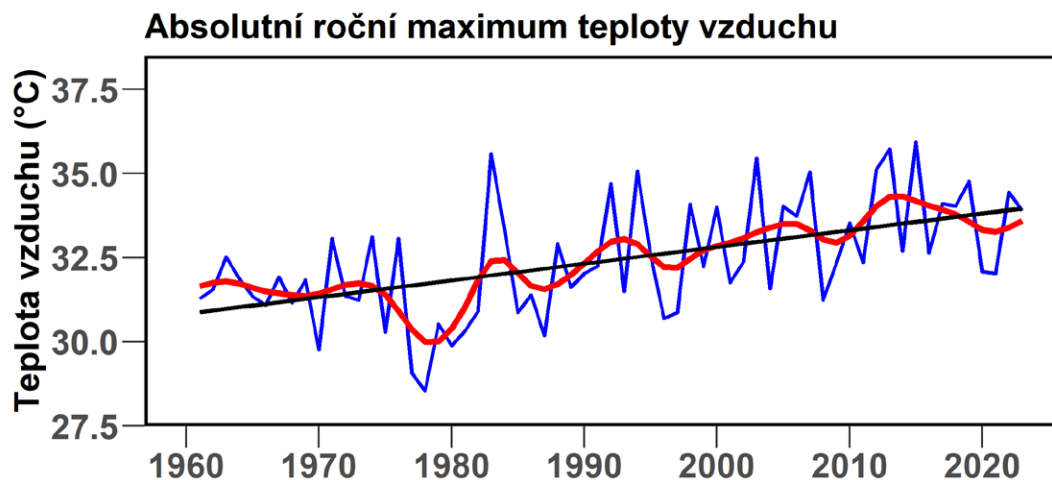
Absolutní maximální teplota vzduchu (°C)																	
Nad. výška (m)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
ČR	9,3	11,4	17,1	23,2	13,2	30,4	32,0	31,6	26,4	21,4	14,6	9,6	33,3	12,7	27,0	33,3	26,5
<300	10,3	12,2	18,3	24,7	14,6	31,8	33,5	33,1	27,7	22,5	15,7	10,5	34,7	13,7	28,4	34,7	27,8
301-600	9,4	11,5	17,3	23,3	13,1	30,6	32,1	31,7	26,5	21,5	14,6	9,7	33,4	12,8	27,1	33,4	26,7
601-900	7,7	9,9	15,0	21,1	11,2	28,2	29,5	29,2	24,3	19,6	12,8	7,9	31,0	11,0	24,9	31,0	24,5
>900	6,8	8,5	12,3	17,8	8,3	25,4	26,5	26,2	21,5	18,1	12,6	7,5	28,0	10,3	22,1	28,0	22,0
Absolutní minimální teplota vzduchu (°C)																	
ČR	-14,8	-12,7	-8,0	-3,9	0,8	4,8	7,0	6,3	2,1	-2,8	-6,6	-12,2	-17,2	-17,2	-8,2	4,3	-6,9
<300	-13,9	-11,5	-6,8	-3,0	1,9	6,1	8,1	7,3	2,9	-2,3	-5,7	-11,2	-16,3	-16,3	-6,9	5,5	-6,0
301-600	-15,0	-13,0	-8,0	-3,9	0,7	4,7	6,9	6,1	1,9	-2,9	-6,7	-12,3	-17,5	-17,5	-8,3	4,2	-7,0
601-900	-15,3	-13,7	-9,4	-5,0	-0,1	3,7	6,0	5,3	1,5	-3,2	-7,6	-13,0	-17,6	-17,6	-9,6	3,2	-7,9
>900	-16,9	-16,1	-12,4	-8,2	-2,6	0,8	3,3	2,9	-0,8	-5,8	-10,4	-15,1	-19,3	-19,3	-12,7	0,4	-10,8

Zajímavým ukazatelem, jaká je extremita na daném území jsou absolutní maxima či minima teplot vzduchu (Tab. 4). Jde většinou o mediálně populární téma rekordních teplot vzduchu. V České republice byl v letech 1991–2020 průměr absolutních maxim dosažených za daný rok 33,3 °C. V nížinách je to pak 34,7 °C a ještě ve výškách 601–900 se dostáváme nad hranici tropického dne, tedy 30,0 °C.

Jak lze vidět na Obr. 27, tak tyto absolutní maxima také významně rostou. Za 63 let se tato hodnota zvýšila o 3,2 °C. Z jednotlivých

měsíců či sezón se nejvíce navýšilo absolutní maximum v zimních měsících. V lednu a únoru to bylo dokonce o 4,5 °C. To znamená, že naše zimy jsou stále mírnější a objevují se zde často teplé vlny s výrazně nadprůměrnými teplotami.

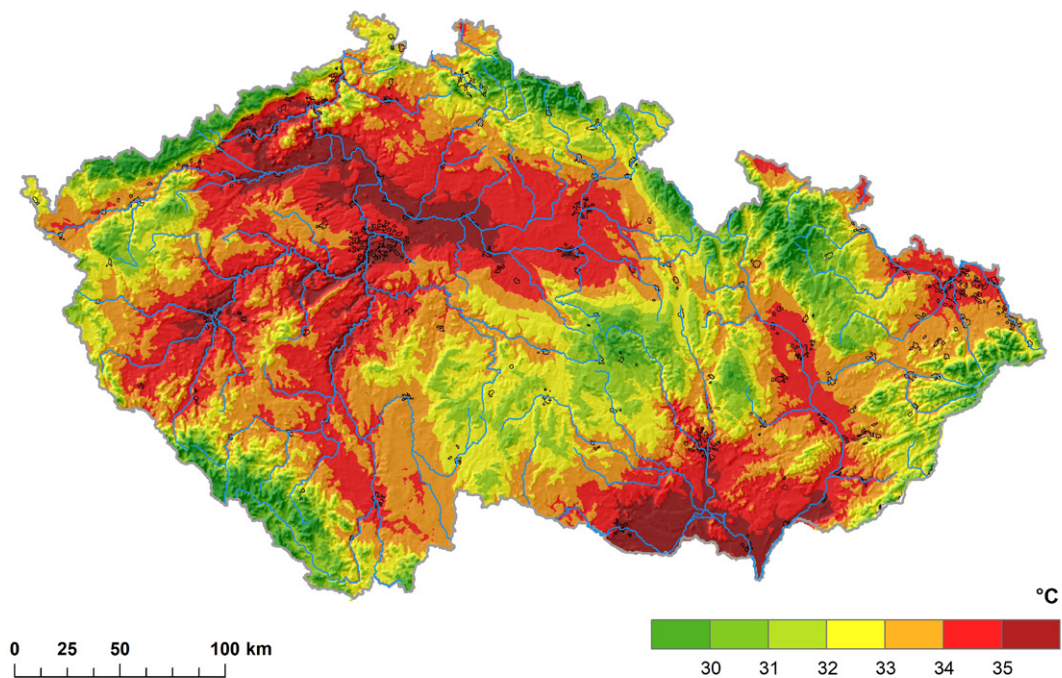
Nejvyšší absolutní maxima teplot dosahují i 35 °C a více se vyskytují v Polabí, na Plzeňsku, Znojemsku, Břeclavsku nebo na závětrné straně Krušných hor (Obr. 28).



**Obr. 27:** Trend absolutních ročních maxim teploty vzduchu v letech 1961–2023, modrá čára spojuje roční hodnoty, červená čára je 10letý shladený průměr, černá čára představuje trend za celé období

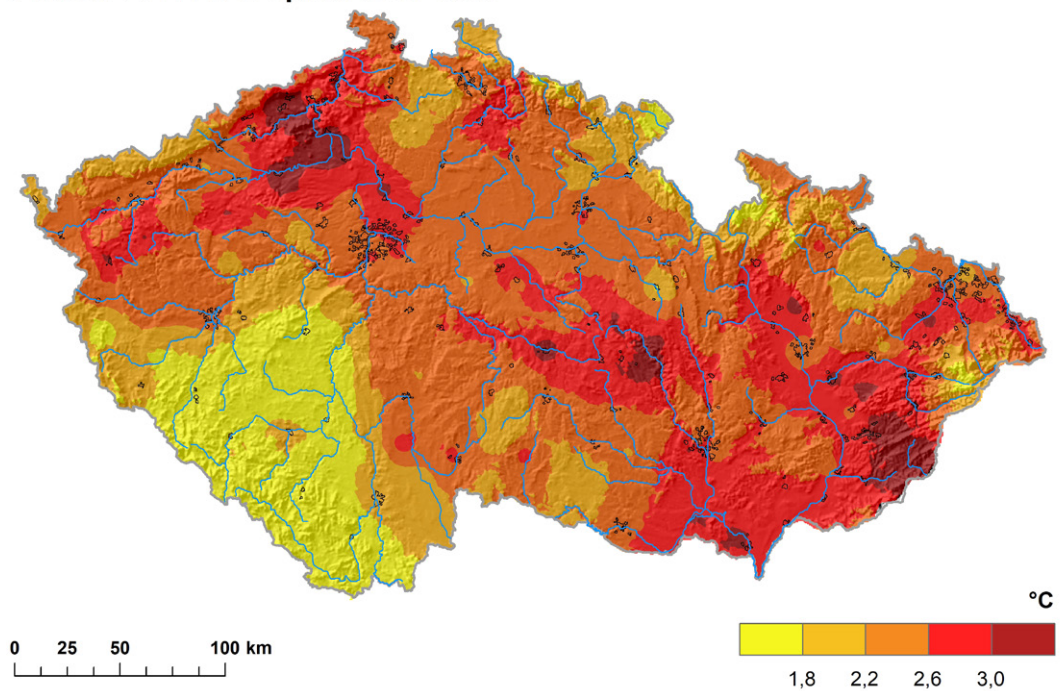


### Absolutní roční maxima teplot vzduchu, průměr v letech 1991-2020



**Obr. 28:** Prostorově zobrazená absolutní roční maxima teplot vzduchu, průměr za roky 1991–2020

### Změna absolutního ročního maxima teploty vzduchu v letech 2011-2023 oproti 1961-1990

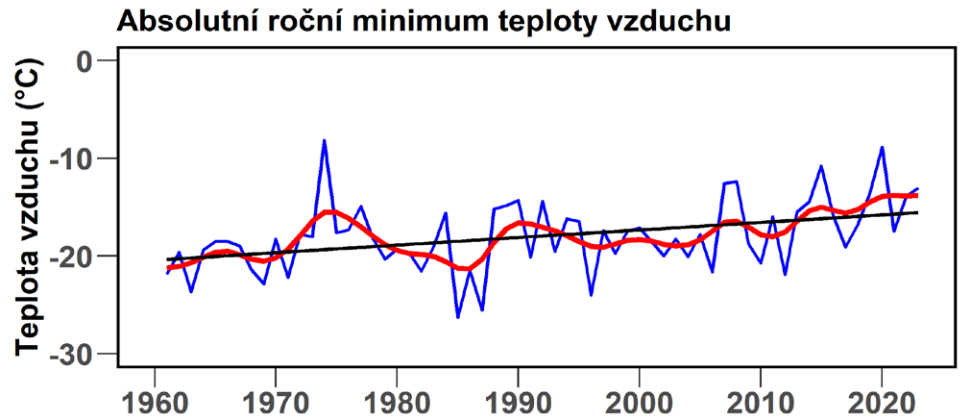


**Obr. 29:** Prostorově zobrazená změna absolutního ročního maxima teploty vzduchu v letech 2011–2023 oproti 1961–1990

V posledních letech (2011–2023) rostla tato maxima více na Moravě než v Čechách (Obr. 29).

Druhým opakem jsou absolutní minima teplot vzduchu. Ty dosahují na území České republiky hodnoty  $-17,2\text{ °C}$  a nastávají logicky v zimě. Pod hranici  $-20\text{ °C}$  klesají tyto teploty převážně na horách nebo mrazových kotlinách. I tak se jejich průměr za horské oblasti nad 900 m nedostává pod hranici  $-20\text{ °C}$ . Absolutní minima teplot vzduchu ve všech sezónách s výjimkou léta klesají pod bod mrazu. Ale i v létě dokážou být tyto hodnoty (zjednodušeně noční teploty) velmi nízké. Průměr za celou ČR je dokonce jen  $4,3\text{ °C}$ .

Za posledních 60 let se ale tyto extrémně nízké teploty vzduchu opakují vzácněji, a tedy už tak často nedosahují výrazně nízkých hodnot (Obr. 30). Vzhledem k roku 1961 jsou absolutní minima nyní o  $4,9\text{ °C}$  mírnější. Z jednotlivých měsíců se nejvíce změna dotkla prosince.

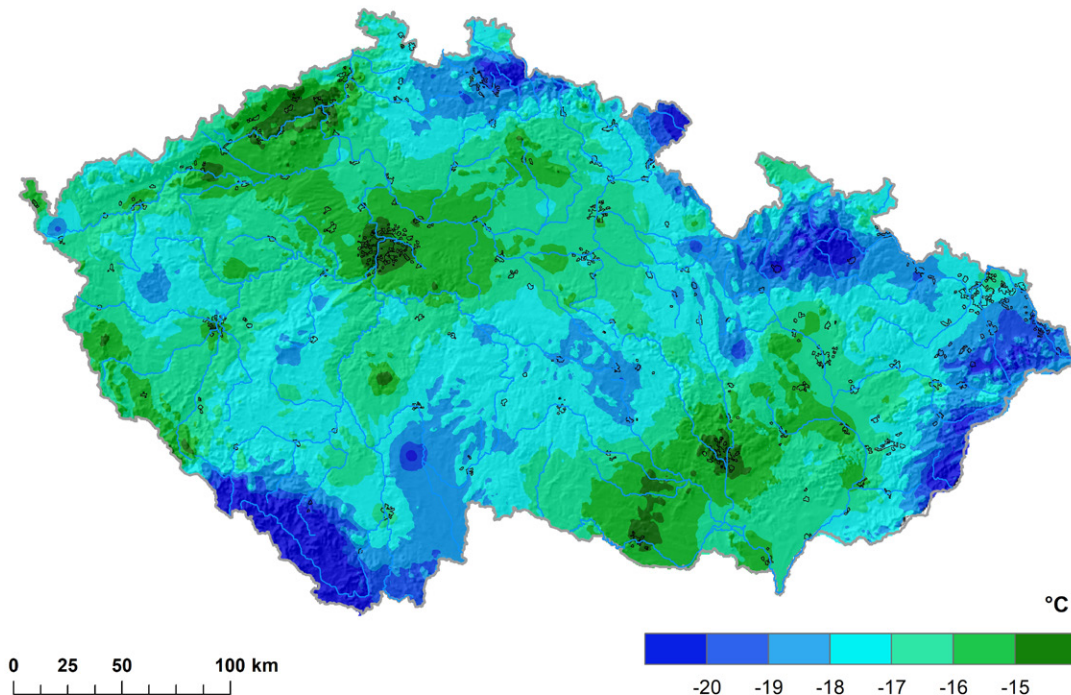


**Obr. 30:** Trend absolutních ročních minim teploty vzduchu v České republice v letech 1961–2023, modrá čára spojuje roční hodnoty, červená čára je 10letý shladený průměr, černá čára představuje trend za celé období

Tedy začátek zimy je z pohledu extrémně nízkých teplot výrazně mírnější. Zajímavým faktem je, že v dubnu se tyto minimální teploty za celou dobu vůbec nezměnily. To je i jedním z důvodů, proč rostou škody pozdními jarními mrazy a tento fenomén se stává čím dál více nebezpečným pro naši vegetaci.

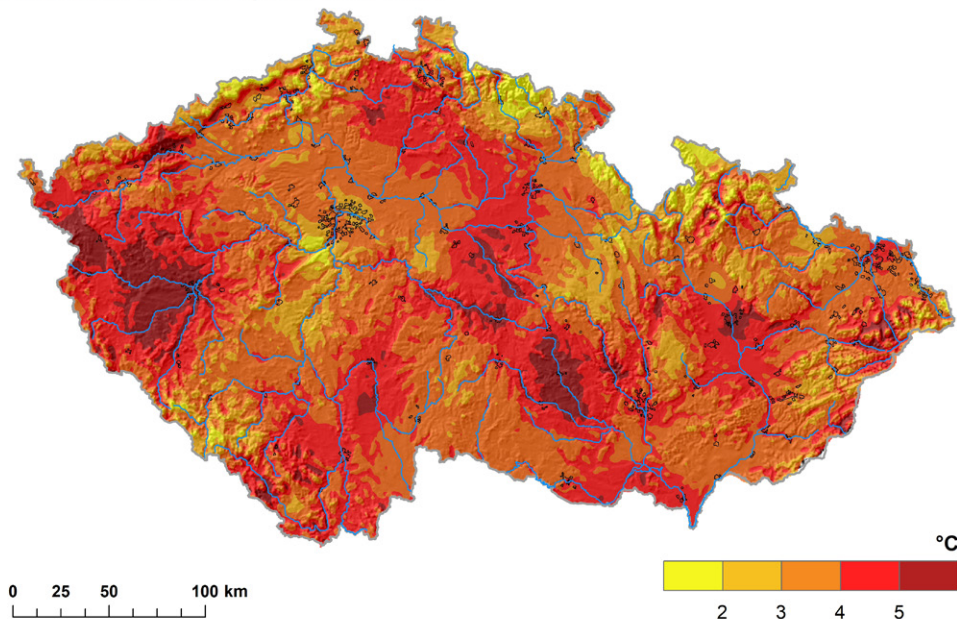
Nejnižší absolutní minima teplot vzduchu jsou dosahována na Šumavě (Obr. 31). Zde klesají v průměru k  $-27\text{ °C}$ . Naopak nejmírnější jsou absolutní minima v centru Prahy, v Ústí nad Labem či v Brně. V posledních letech 2011–2023 nejvíce ubylo těchto nízkých teplot vzduchu v západních Čechách či na Vysočině (Obr. 32).

### Absolutní roční minima teplot vzduchu, průměr v letech 1991–2020



**Obr. 31:** Prostorové zobrazení absolutního ročního minima teplot vzduchu, průměr za rok 1991–2020

**Změna absolutního minima teploty vzduchu  
v letech 2011–2023 oproti 1961–1990**

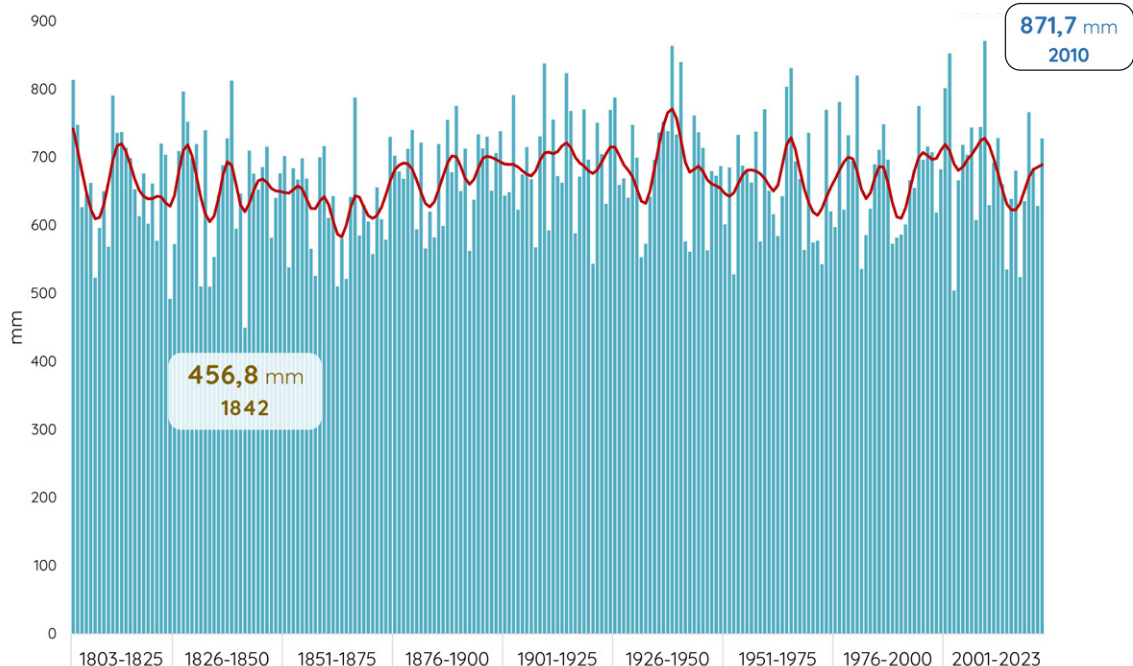


**Obr. 32:** Prostorové zobrazení změny absolutního ročního minima teploty vzduchu v letech 2011–2023 oproti 1961–1990

### 4.2. Srážky

Srážky jsou velmi proměnlivé, a to jak v čase, tak i prostoru. Střídají se vlhčí a sušší období. Za celé období od roku 1803,

pro které je k dispozici průměrná řada srážkových úhrnů za celé území ČR nepozorujeme žádný významný trend (Obr. 33). Nejvyšší úhrn byl naměřen v roce 2010, kdy nastaly dvě povodňové epizody (květen a srpen). Naopak nejméně srážek spadlo v roce 1842, kdy se vyskytla jedna z nejvýznamnějších epizod sucha na našem území.



**Obr. 33:** Roční úhrny srážek v letech 1803–2023 na území České republiky nevykazují žádný statisticky významný trend

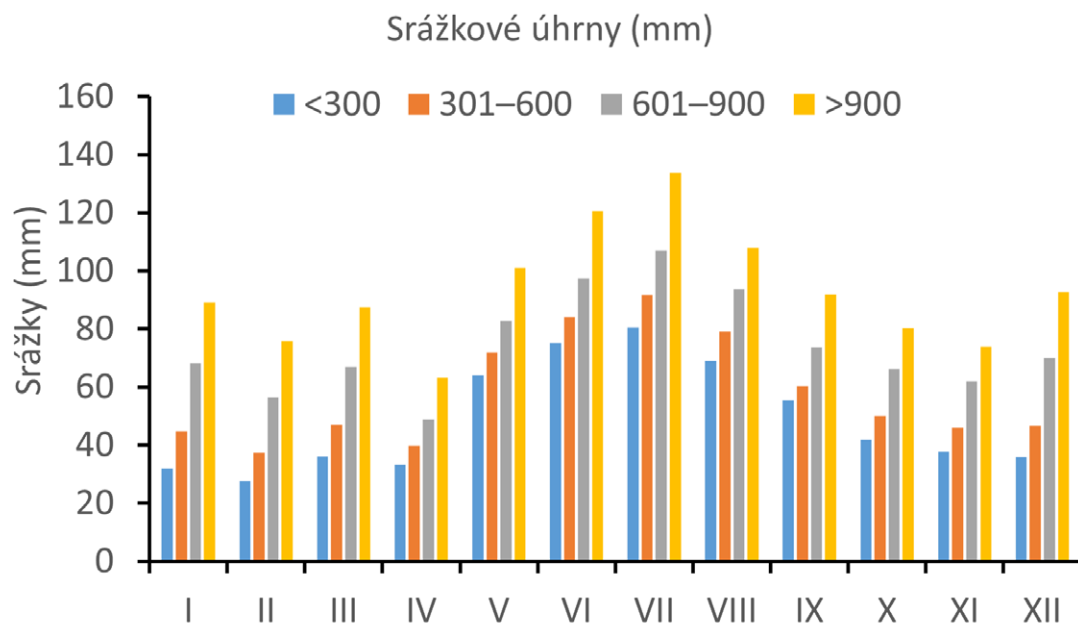


**Tab. 5:** Srážkové úhrny a maximální denní hodnoty v České republice podle nadmořských výšek (průměr 1991–2020)

Průměrný úhrn srážek (mm)																	
Nad. výška (m)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
ČR	45,0	37,8	47,2	23,2	71,6	83,9	91,3	78,8	26,4	50,4	46,2	47,4	700,4	130,5	158,5	254,0	157,8
<300	31,9	27,6	36,1	24,7	64,0	75,2	80,6	69,1	27,7	41,9	37,6	35,9	588,5	95,6	133,3	224,8	134,9
301-600	44,8	37,3	46,9	23,3	71,9	84,0	91,5	79,1	26,5	50,0	45,9	46,5	698,0	128,8	158,6	254,6	156,2
601-900	68,1	56,5	66,9	21,1	82,8	97,3	106,9	93,7	24,3	66,1	62,0	69,9	893,0	195,3	198,6	297,9	201,9
>900	89,1	75,7	87,5	17,8	101,1	120,7	133,8	107,8	21,5	80,3	73,9	92,7	1117,7	258,4	251,9	362,3	246,0
Maximální denní úhrn srážek (mm)																	
ČR	11,1	10,2	47,2	12,4	20,3	25,1	26,2	25,5	19,8	14,6	12,6	12,4	41,9	16,6	23,5	38,0	24,4
<300	8,8	8,5	36,1	11,2	18,8	23,8	24,2	23,6	19,0	12,5	11,0	10,5	38,5	14,0	21,5	35,5	22,6
301-600	11,0	10,0	46,9	12,5	20,6	24,9	26,4	25,6	19,5	14,6	12,5	12,2	41,9	16,5	23,6	38,0	24,0
601-900	15,2	13,8	66,9	13,9	22,0	27,5	28,9	28,2	22,2	18,3	15,8	16,2	47,7	21,9	26,2	42,0	28,8
>900	18,3	16,6	87,5	16,0	25,0	31,8	33,4	30,4	25,8	20,9	17,1	19,6	54,9	26,0	29,8	47,7	32,4

Průměrně v České republice za rok spadne 700 mm srážek (Tab. 5). Ve vyšších nadmořských výškách logicky naprší a nasněží více než nížinách (Obr. 34). Na horách (nad 900 m n. m.) spadne v průměru o 530 mm více srážek. Nejméně srážek je na závětrné straně Krušných hor (např. Žatecko), Znojemska, Břeclavsku nebo i například v Praze (Obr. 37). Naopak nejvíce srážek je zaznamenáno na Lysé hoře (Beskydy) a také na Špičáku nebo i na Šumavě a Krkonoších.

Množství srážek, které za rok spadne, se dlouhodobě příliš nemění, ale mění se její rozložení během roku. Jak lze vidět na Obr. 35, tak srážek během jarních měsíců ubývá, a naopak ve zbytku sezón roste. Nejvíce narostly srážky v zimě oproti 60. letům minulého století, a to průměrně o 11,5 mm. To je dokonce zhruba o 9 % více. Dominantně se to děje během měsíce ledna. Na jaře naopak ubylo v průměru 18,6 mm/rok, což činí pokles o 12 %. Z tohoto pohledu

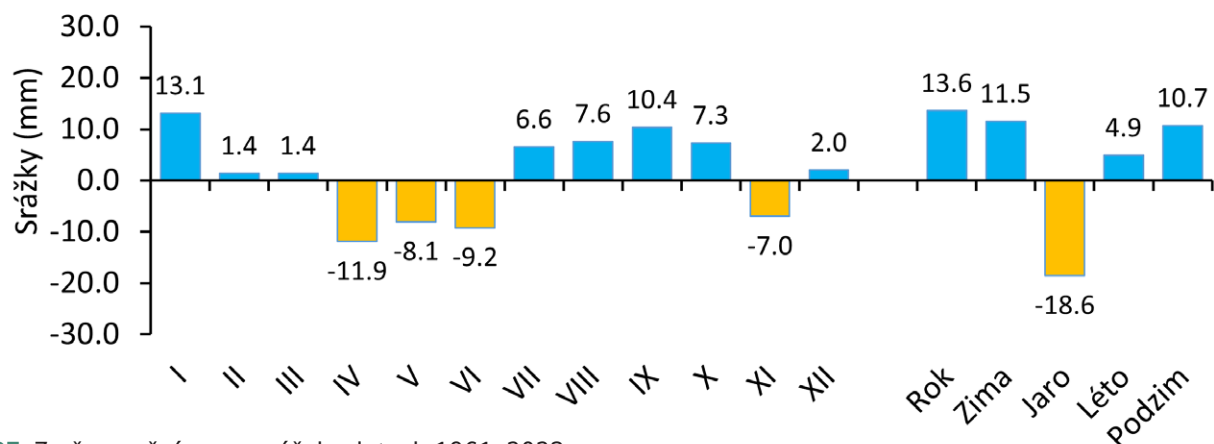
**Obr. 34:** Roční chod srážek podle jednotlivých kategorií nadmořských výšek na území České republiky v letech 1991–2020

## 4. Historický vývoj klimatu

je pak změna během letních měsíců celkem zanedbatelná. Srážek přibývá i na podzim, to hlavně během září, kdy ještě mohou často doznívat bouřky. Naopak listopad se stává sušší, než tomu bylo v minulosti. Celkově to znamená, že roční úhrn srážek mírně roste (o 13,6 mm, necelé 2 %), ale změny v rámci roku jsou markantní

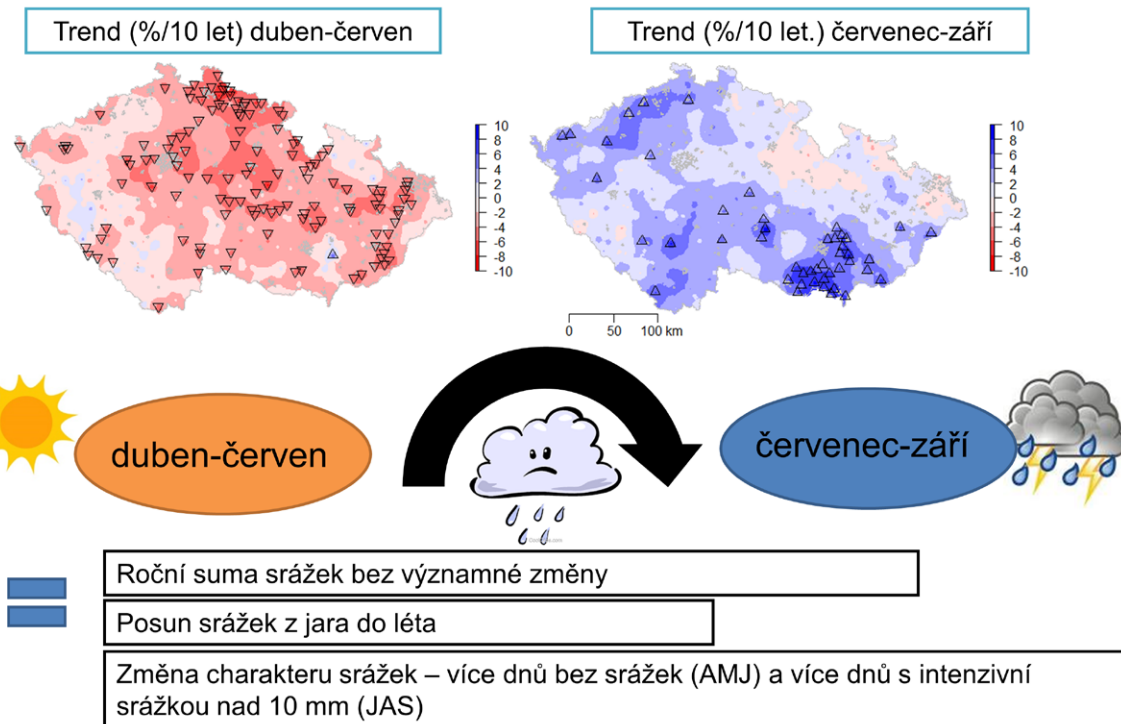
a většinou s negativním dopadem. V první polovině vegetačního období, kdy potřebuje vegetaci vláhu, tak jich ubývá, a naopak v době zemědělských sklizňových prací je srážek více (Obr. 36). Přibývá tak roků, kdy se těžká technika hůře dostává na pozemky a současně je ohrožena kvalita produkce.

Změna roční sumy srážek 1961–2023



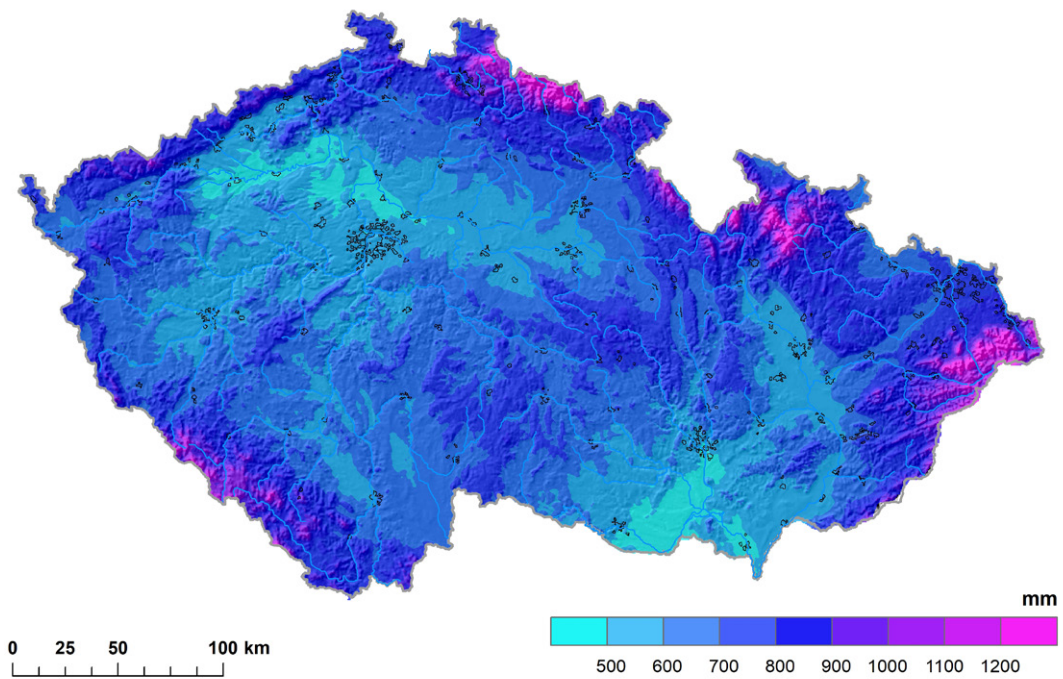
Obr. 35: Změna roční sumy srážek v letech 1961–2023

## Změna roční distribuce srážek



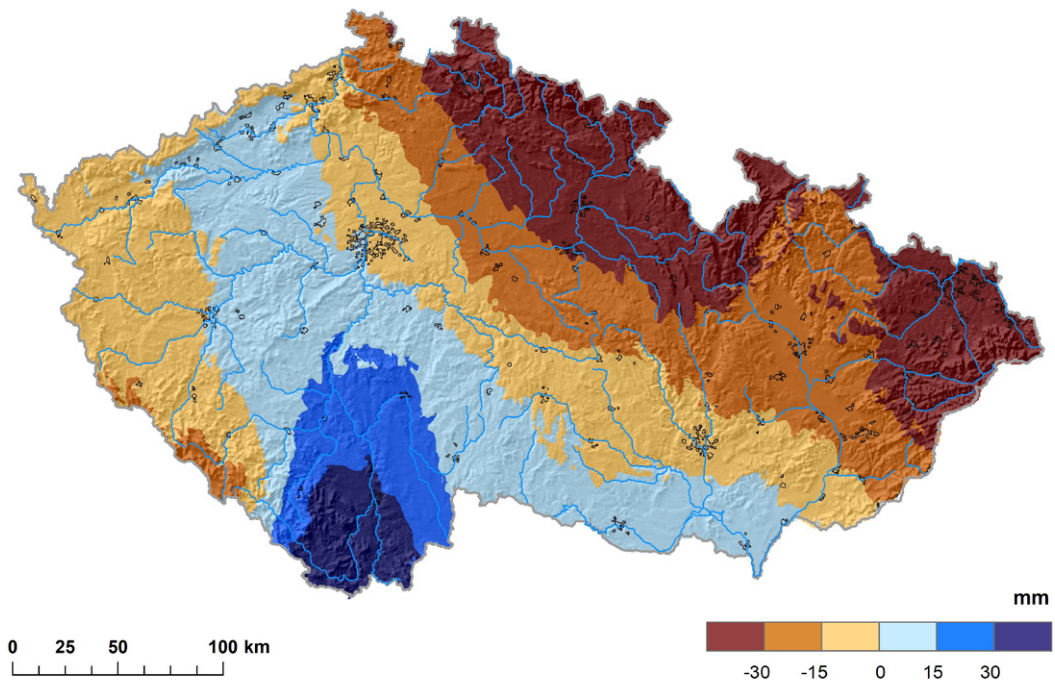
Obr. 36: Změna srážek (mm) ve vegetačním období v letech 1961–2019. Červené barvy v mapě značí klesající trend a modré stoupající (trojúhelníčky značí místa stanic se statisticky významnou změnou srážek), AMJ = April, May, June (duben, květen, červen), JAS = July, August, September (červenec, srpen, září), zdroj: Brázdil et al., (2021)

## Průměrá roční suma srážek 1991-2020



**Obr. 37:** Prostorové zobrazení průměrné roční sumy srážek v letech 1991–2020

## Změna roční sumy srážek v letech 2011-2023 oproti 1961-1990



**Obr. 38:** Prostorové zobrazení změny roční sumy srážek v letech 2011–2023 oproti 1961–1990

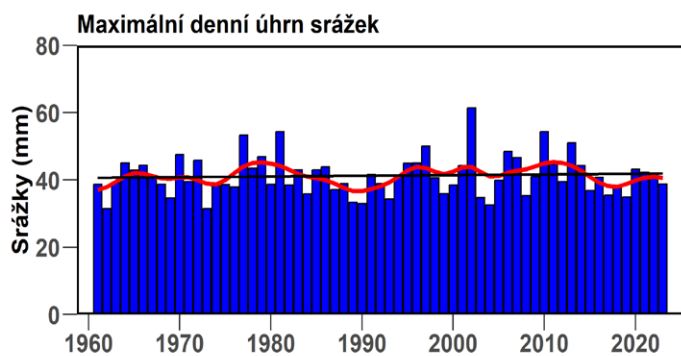


## 4. Historický vývoj klimatu

Kromě časové změny úhrnu srážek pozorujeme, že se mění i jejich prostorové rozložení. Více prší v oblasti jižních Čech a směrem na severovýchod srážek ubývá. V posledních letech (2011–2023) podstatně méně pršelo ve východních Čechách a na severovýchodě. Zde ročně napršelo v průměru nejméně o 30 mm/rok méně, než tomu bylo v minulosti. V jižních Čechách to bylo naopak aspoň o 30 mm/rok více (Obr. 38).

Pokud naprší během krátké chvíle velké množství srážek, tak to má vždy potenciál způsobit škody. Přívalové srážky a povod-

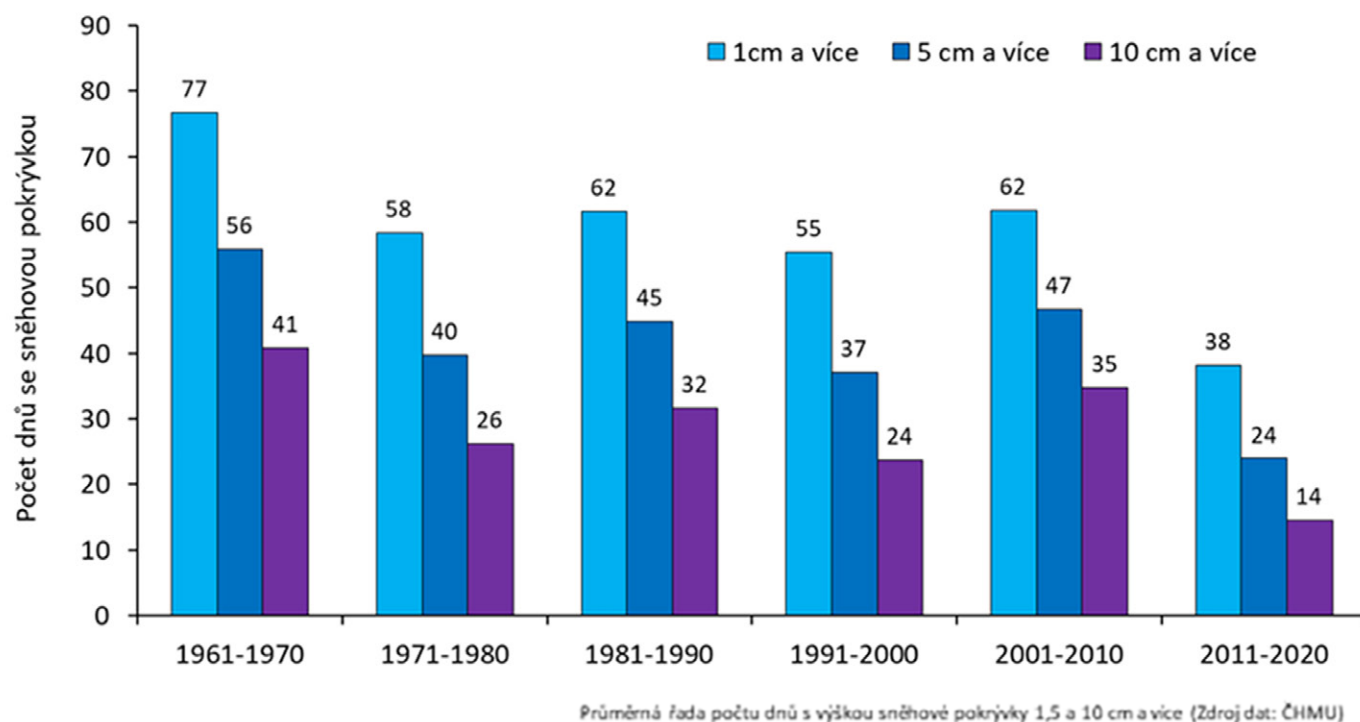
ně mohou být příčinou škod na majetku a infrastruktuře nebo eroze a odnosu zeminy. Takové srážky jsou většinou způsobeny bouřkovou činností v letních měsících. V této části roku jsou srážky nejintenzivnější a nejvydatnější. Často se také stává, že rozdíly v úhrnech na pouhých několika kilometrech mohou být i desítky milimetrů. Průměr absolutních ročních maximálních denních úhrnů srážek se pohybuje okolo 41 mm. Z dlouhodobého hlediska zde není pozorován nějaký významný nárůst v této extremitě (Obr. 39). Od roku 1961 narostla tato srážka pouze o 1,2 mm.



**Obr. 39:** Maximální denní úhrn srážek v České republice v letech 1961–2023, červená čára je 10letý shlazený průměr, černá čára představuje trend za celé období

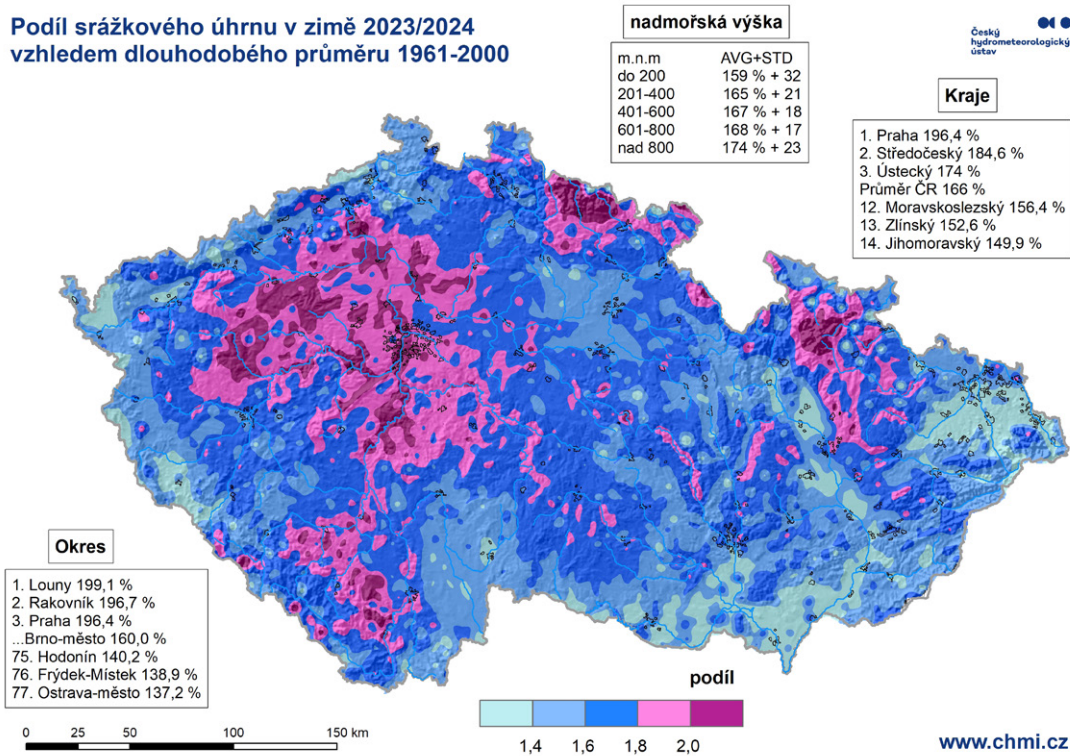
### 4.3. Sněh

Zima se otepluje stejně jako ostatní sezóny. Dlouhou dobu nebyl pozorován významný dopad, ale v posledních letech je stále více dnů, kdy jsou jen kladné teploty, a tedy místo sněžení častěji prší či se případně sníh dlouho neudrží a brzy odtává (Brázdil et al., 2023). Jako dobrý příklad může sloužit zima 2023/2024. Ta byla na srážky hodně bohatá. Dokonce spadlo o 66 % více srážek, než je dlouhodobý průměr 1961–2000 (Obr. 41). I přesto bylo sněhových srážek podprůměrné množství (Obr. 42). Napadlo jen 70 % dlouhodobých hodnot. V poslední dekádě se vyskytla jen polovina dnů se sněhovou pokrývkou s porovnáním se situací před 60 lety (Obr. 40). Dnů, kdy je vyšší sněhová pokrývka (aspoň 10 cm), tak ubylo dokonce o 2/3. V horských oblastech se sice sněhová pokrývka vyskytuje, ale trvání zimní sezóny je zde podstatně kratší.“



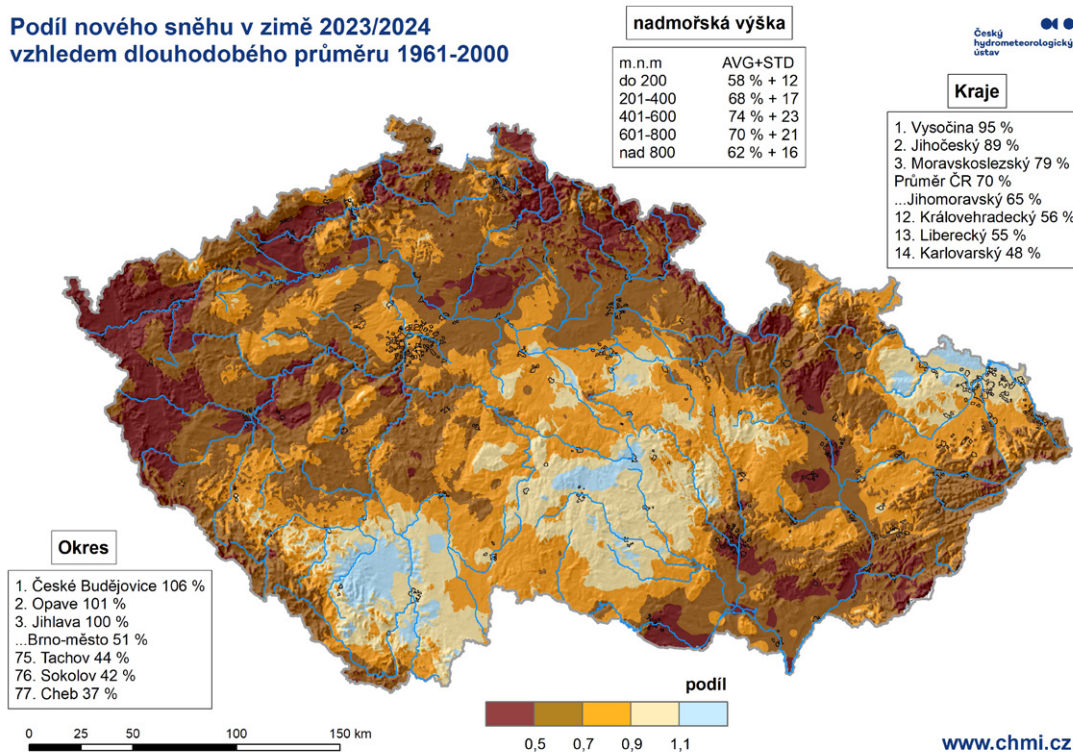
**Obr. 40:** Počet dnů se sněhovou pokrývkou 1, 5, 10 cm a více, průměr pro Českou republiku

## Podíl srážkového úhrnu v zimě 2023/2024 vzhledem dlouhodobému průměru 1961-2000

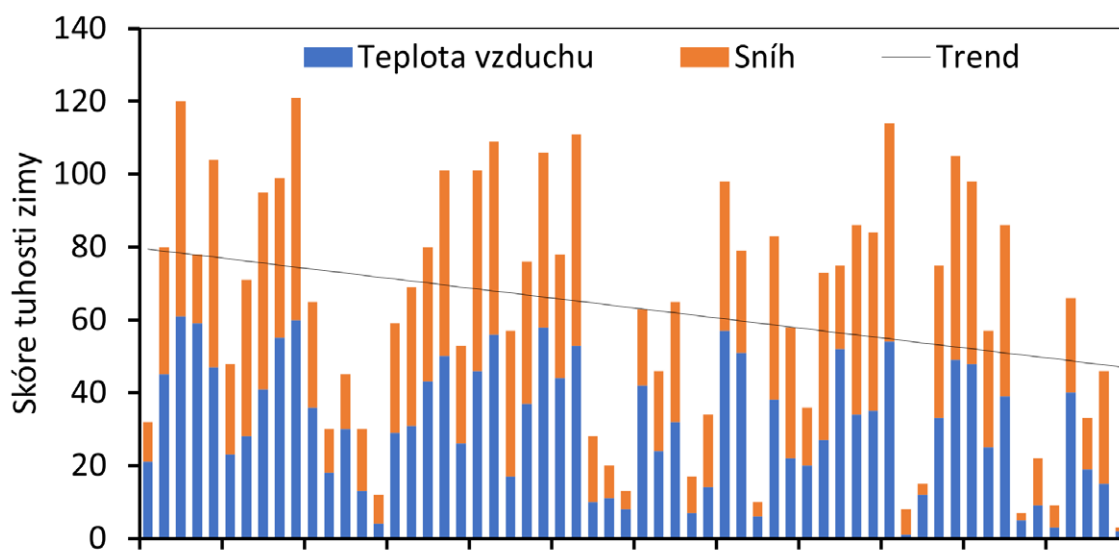


**Obr. 41:** Prostorové zobrazení podílu srážkového úhrnu v zimě 2023/2024 vzhledem k dlouhodobému průměru 1961–2000

## Podíl nového sněhu v zimě 2023/2024 vzhledem dlouhodobému průměru 1961-2000



**Obr. 42:** Prostorové zobrazení podílu nového sněhu v zimě 2023/2024 vzhledem k dlouhodobému průměru 1961–2000



**Obr. 43:** Tuhost zim v České republice v letech 1961–2021. Vyšší skóre znamená tvrdší zimu (nad hranicí 95 jsou nejtěžší, pod hranicí 5 nejmírnější). Kombinace teplotních (červená) a sněhových poměrů (modrá), zdroj: Brázdil et al., (2023)

Jednotlivé zimy se dají hodnotit i podle jejich celkové „tuhosti“. Jde o kombinaci teplotních a sněhových parametrů. Nejtvrďší zimy z tohoto pohledu byly v letech 1962/1963, 1969/1970 a 2005/2006 (Obr. 43). Naopak velmi mírné byly většinou ty v posledních 15 letech – 2013/2014, 2015/2016 a 2019/2020 (Brázdil et al., 2023). Jak vyplývá z Obr. 43, zimy jsou čím dál mírnější a tužší zimy se objevují s menší častostí.

### 4.4. Teplotní indexy

Změny teplot vzduchu se nejviditelněji projevují v tzv. teplotních indexech. To jsou například různé charakteristické dny. Například jde o letní a tropické dny, které dobře popisují změny v letních měsících. Letní den nastane, pokud teplota vzduchu během dne dosáhne aspoň 25,0 °C, a v případě tropického dne je hranice 30,0 °C. Za těchto dnů dochází ke zvýšenému výparu anebo při vysokých teplotách i ke zdravotním dopadům na obyvatelstvo anebo na ustájený dobytek. Pro charakterizování zim se často používá mrazový či ledový den. Mrazový den nastává, když teplota klesne pod bod mrazu. Většinou to nastává během noci nebo nad ránem. Ledový den nastává, pokud se během dne teplota vůbec nedostane nad bod mrazu. Za těchto dnů je velká šance na nové sněžení a na udržení stávající sněhové pokrývky.

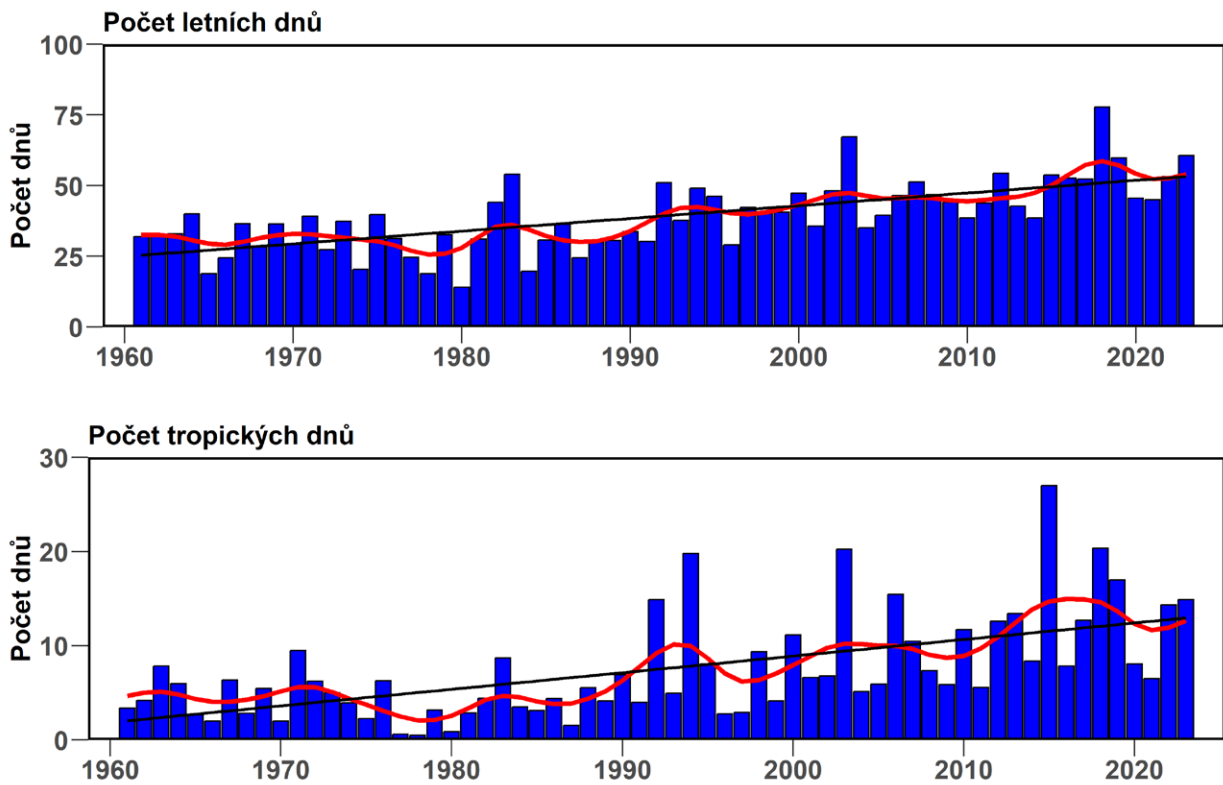
V průměru se v letech 1991–2020 objevuje 46 letních dnů za rok (Tab. 6). V období 1961–1990 jich bylo ale jen 31, naopak po roce 2011 už 52. Letních dnů je tedy téměř dvojnásobné množství, než tomu bylo před 60 lety (Obr. 44 nahoře). Ještě viditelnější změna je v počtu tropických dnů. Existují názory, že změna o 2 °C není nic zásadního, a je i těžce představitelné, co vlastně tato hranice znamená. Na příkladu tropických, tedy velmi teplých

**Tab. 6:** Počet letních, tropických, mrazových a ledových dnů v České republice v letech 1991–2020

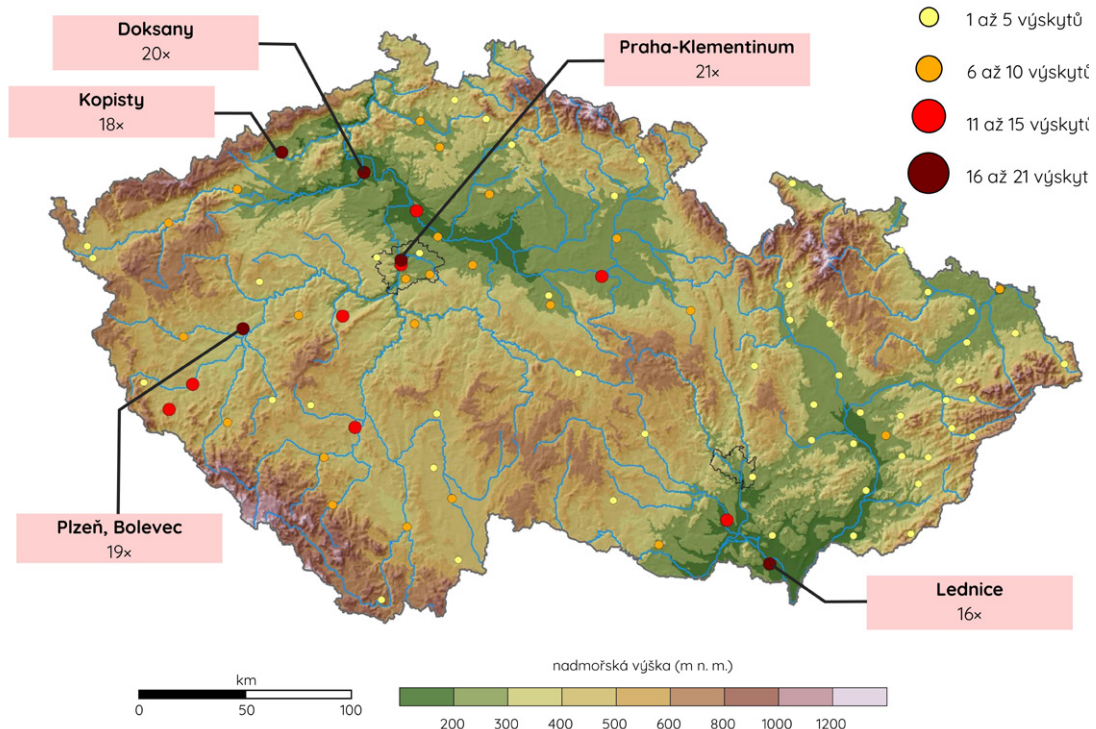
Nad. výška (m)	letní	tropický	mrazový	ledový
ČR	46,2	10,3	109,9	31,8
<300	61,5	16	95,1	23,3
301–600	45,9	9,7	109,4	30,2
601–900	24,1	3,1	130,7	47,5
>900	8,5	0,6	167,3	71,8

dnů, je však změna dobře viditelná. Změna o 2 °C u nás znamená nárůst tropických dnů na trojnásobek. V letech 1961–1990 nastávaly v průměru za celou ČR tyto dny pouze 4 za rok. V posledních 10–15 letech je už jejich výskyt trojnásobný (Obr. 44 dole). Tyto dny se prakticky nevyskytují na horách, většina horkých dnů je v nadmořských výškách do 600 m a ve městech, kde jsou teploty zesilovány i tepelným ostrovem města. V polohách do 300 m se jich ročně v průměru vyskytuje již okolo 20 (2011–2023) a v roce 2015 jich bylo 34. Výrazně se prodlužuje i období, kdy tyto dny nastávají. V minulosti tyto dny byly nejčastěji v červenci či srpnu (výjimečně i dříve či později). Teď se stále častěji vyskytují i mimo nejteplejší měsíce roku. V roce 2024 dokonce došlo k rekordnímu prvnímu výskytu, a to již 7. dubna. Celkově se období výskytu tropických dnů prodloužilo až o 30 dnů. První tropické dny v roce se nejčastěji vyskytují v centru Prahy či Doksanech, celkově více v Čechách než na Moravě (Obr. 45).



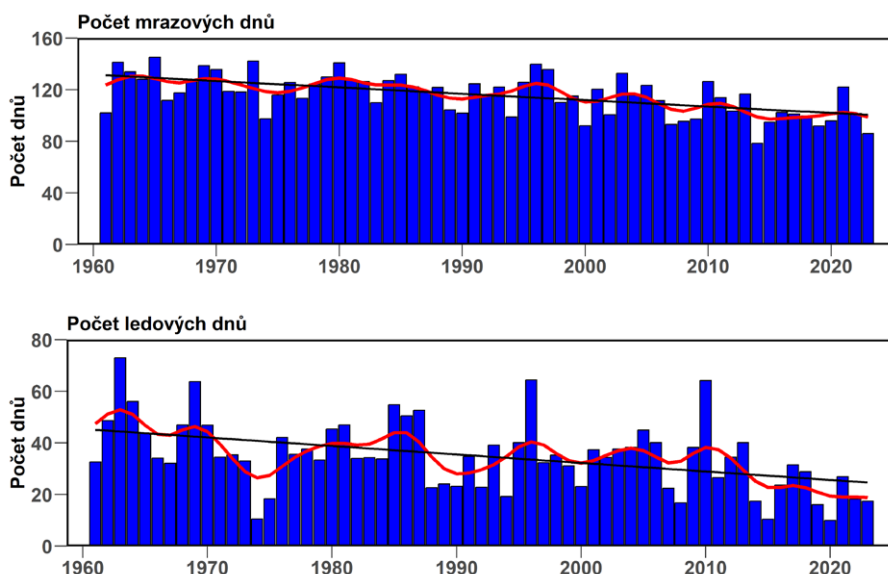


**Obr. 44:** Počet letních (maximální teplota 25,0 °C a více) a tropických (maximální teplota 30,0 °C a více) dnů za rok v letech 1961–2023 jako průměr ČR, červená čára je 10letý shlazený průměr, černá čára představuje trend za celé období

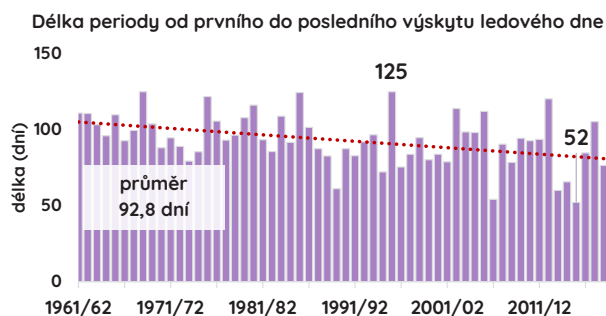
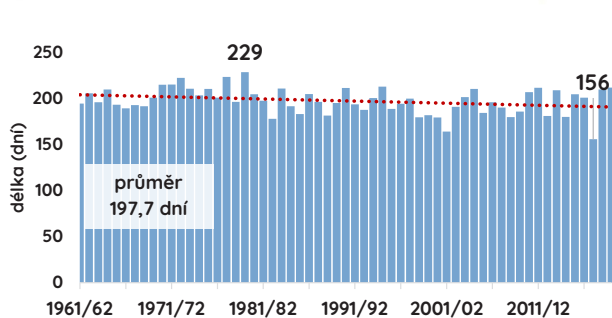
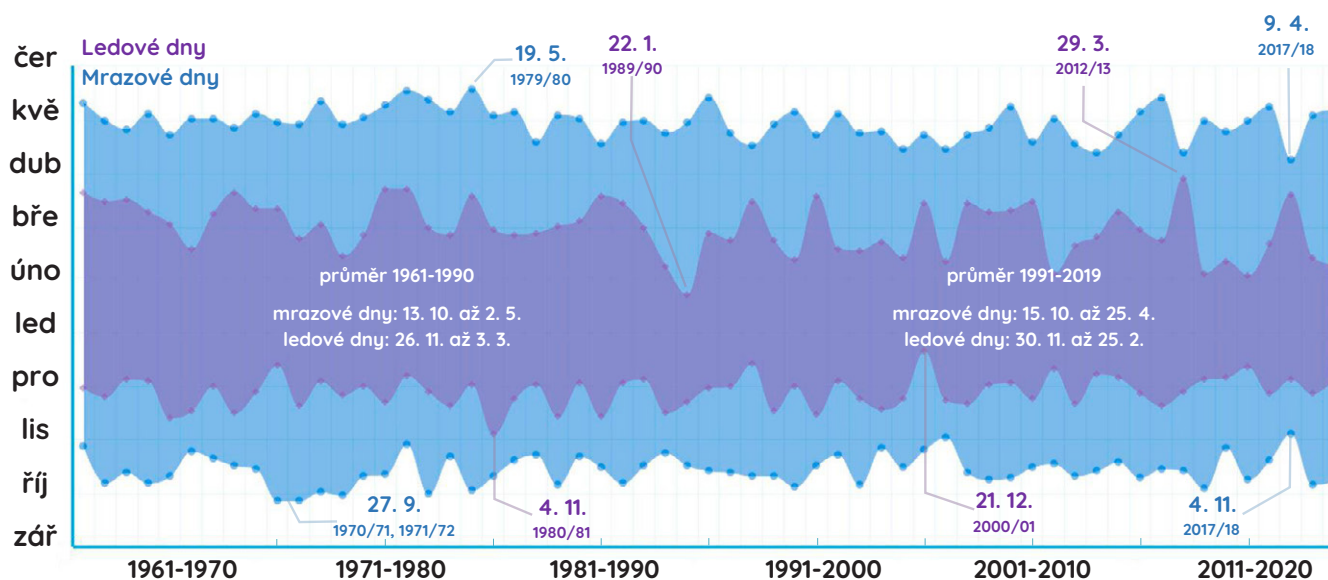


**Obr. 45:** Lokality výskytu prvního tropického (maximální teplota 30,0 °C a více) dne v roce

## 4. Historický vývoj klimatu



**Obr. 46:** Počet mrazových (minimální teplota klesne pod 0,0 °C) dnů a ledových (maximální teplota klesne pod 0,0 °C) dnů za rok v letech 1961–2023 jako průměr ČR, červená čára je 10letý shlazený průměr, černá čára představuje trend za celé období

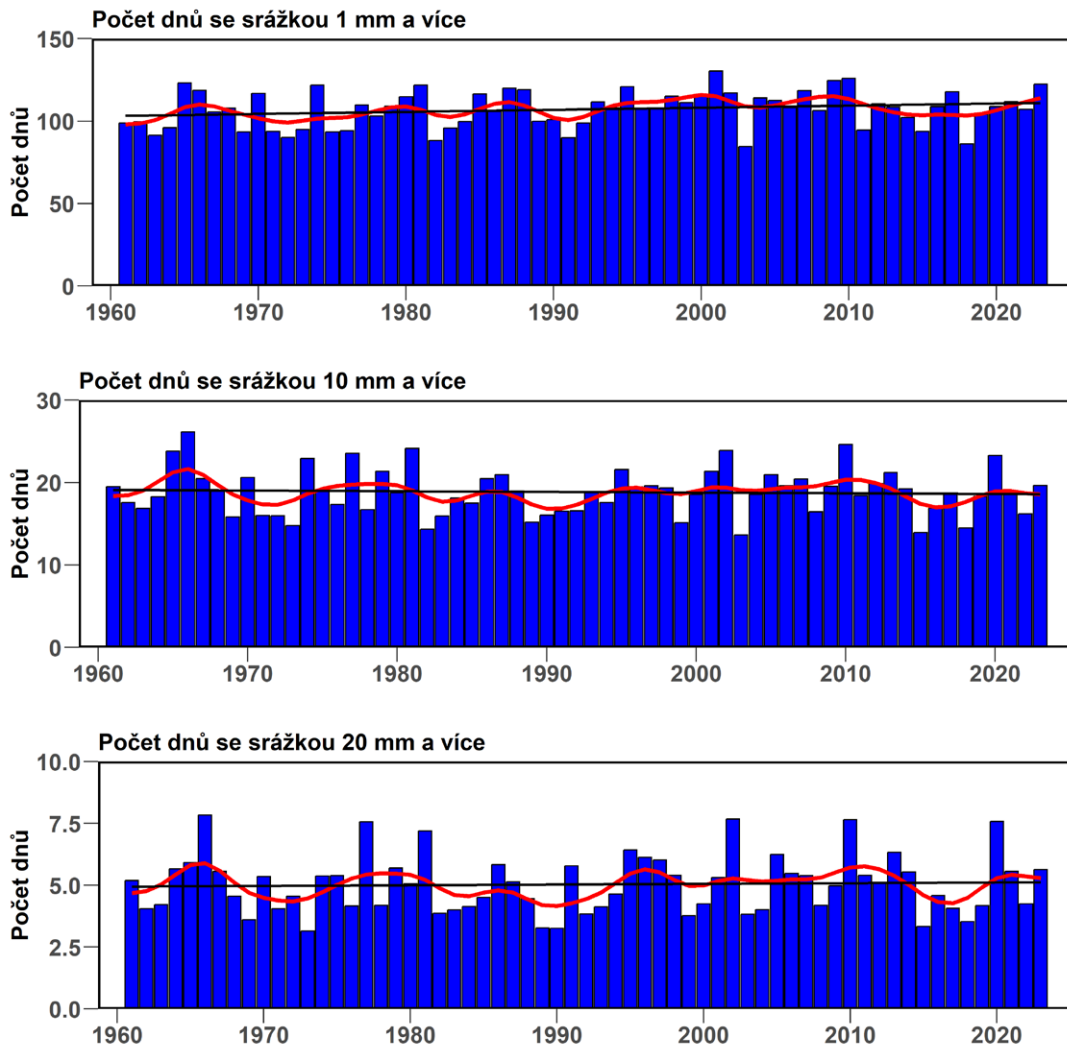


**Obr. 47:** Období, kdy v České republice mrzne, mrazový den - minimální teplota klesne pod 0,0 °C, ledový den - maximální teplota klesne pod 0,0 °C

V zimním půlroce naopak často nastávají mrazové či ledové dny. Tím, jak se zima otepluje, však výskyt těchto dnů klesá. V průměru se vyskytuje 110 mrazových a 32 ledových dnů. V horských oblastech jich je samozřejmě více než v nížinách. V posledních 10–15 letech se vyskytuje o 23 mrazových dnů méně, než tomu bylo v letech 1961–1990 (Obr. 46 nahoře). Viditelnější propad je v nížinách (o 20 %). V horských oblastech se stále vyskytuje velké množství mrazových dnů a pokles zde byl o 14 %. V horských oblastech těchto dnů spíše ubývá na začátku a konci sezóny. Dnů s celodenním mrazem není za rok takové množství, ale pokles je markantnější. Za posledních 60 let ubylo 40 % těchto dnů, hlavně po roce 2015 je vidět velký pokles (Obr. 46 dole). Mění se délka období, kdy u nás mrzne. Ta se zkracuje. Za posledních 60 let je délka období, kdy se vyskytují mrazy o 12 dnů kratší a období s celodenními mrazy je o 24 dny kratší (Obr. 47). Mrazové období trvá skoro 200 dnů (14. 10.–30. 4.) a ledové 94 dny (28. 11.–1. 3.)

## 4.5. Srážkové indexy

Jak a kde prší se nemusí zkoumat jen na srážkových měsíčních či ročních sumách, ale také podle velikosti srážky. Je totiž důležité, kolik máme dnů, kdy významněji prší (1 mm a více), což může poukazovat na případnou tendenci k suchu. Naopak větší problémy mohou způsobit větší deště za kratší dobu. To jsou například dny, kdy spadne více než 10 či 20 mm. Pokud takto naprší během dne za velmi krátkou dobu (například v řádu hodiny), může to způsobit přívalovou povodeň s rýhovou nebo plošnou erozí i sesuvy půdy z polí do obydlených a ulic obcí. V průměru se objevuje za rok 109 dnů, kdy naprší aspoň 1 mm. Na horách je těchto dnů o polovinu více než v nížinách (Tab. 7). Rozdíly mezi jednotlivými sezónami v roce nejsou dramatické. Pohybují se od 26 (podzim) do 30 dnů (léto) za sezónu. Tedy téměř třetina dané sezóny je s výskytem deště.



**Obr. 48:** Počet dnů se srážkou 1 mm a více, 10 mm a více a 20 mm a více za rok v letech 1961–2023 jako průměr ČR, červená čára je 10letý shladený průměr, černá čára představuje trend za celé období



**Tab. 7:** Počet dnů se srážkou 1 (SRA1), 10 (SRA10), 20 mm (SRA20) a více v České republice v letech 1991–2020

Nad. výška (m)	SRA1	SRA10	SRA20
ČR	108,8	18,9	5,1
<300	96,2	15,3	4,2
301–600	109,6	18,6	5,0
601–900	126,5	25,9	7,3
>900	147,0	33,6	9,8

Nejvíce těchto dnů je od května do července (okolo 10), ale také překvapivě v lednu a prosinci (9 dnů). Naopak nejméně těchto dnů se vyskytuje v únoru a dubnu. Od roku 1961 počet srážkových dnů velmi slabě narostl s výjimkou jara, kdy naopak klesá (Obr. 48 nahore). Změny ale zatím nejsou statisticky významné.

Počet dnů, kdy už jsou úhrny vyšší, a to aspoň 10 mm, je v průměru 19, v nížinách dokonce jen 15. Jelikož jsou tyto srážky vázány většinou na bouřkové situace, tak nepřekvapí, že jich je nejvíce v letních měsících (kolem 8 dnů). Tedy téměř 10 % dnů v létě je s intenzivnější srážkou. Naopak v zimě se vyskytují takové dny jen 2–3 za rok. Dlouhodobě se prakticky tento počet průměrných dnů za celou ČR nemění (Obr. 48 uprostřed), situace může být rozdílná regionálně.

Dnů, kdy naprší na daném místě až 20 mm a více, je v průměru jen 5 za rok. Na horách jich je pak dvojnásobné množství. Stejně jako u předešlé charakteristiky, i zde je to vázáno hlavně na bouřky v letních měsících. Více než polovina těchto dnů je tedy od červ-

na do srpna. V zimě se takový den objevuje v průměru jednou za dva roky. Těchto dnů ale v posledních 60 letech postupně přibývá, i když velmi mírně (Obr. 48 dole). Nejvíce těchto dnů bylo v roce 1966 a poté v letech 2002, 2010 a 2020. Ve všech těchto letech nastaly povodně.

### 4.6. Pozdní jarní mrazy

I se změnou klimatu stále dochází ke škodám způsobenými výskytem pozdních mrazů. Dokonce jejich počet stoupá. Na začátku i v průběhu jara k nám stále totiž může proniknout velmi chladný vzduch od severu či severovýchodu. Děje se to každoročně a klimatická změna na to nemá velký vliv. S tím, že se otepluje, je paradoxně tento fenomén zákeřnější. Největší problém je totiž brzký nástup jara díky mírným zimám. Vegetační klid končí podstatně dříve (posun často až o měsíc) a v době vpádu pravidelného studeného vzduchu během dubna či dokonce května je už ve stádiu, kdy mrazy způsobují škody.

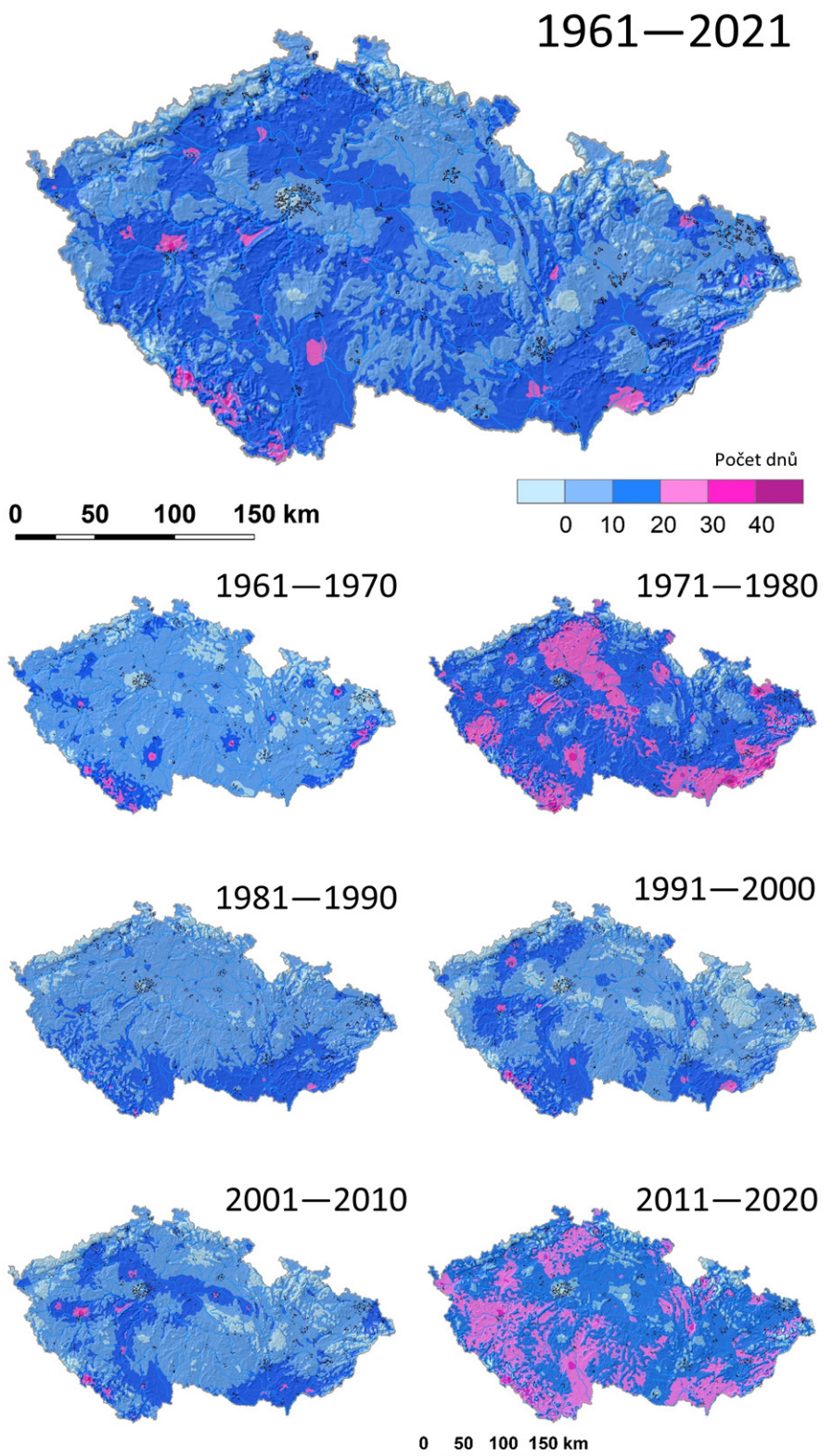
Logicky nejvíce mrazových dnů na jaře se vyskytuje v březnu. S klesající hranicí teploty vzduchu také těchto dnů ubývá (Tab. 8). Také každý den, kdy klesne teplota pod bod mrazu, nemusí být kritický, ale záleží na jeho síle. Pro vegetaci se většinou bere obecně tato hranice na úrovni  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a níže. Těchto dnů je v březnu od 10 do 13, tedy prakticky třetina měsíce. V dubnu, kdy už to má velký potenciál způsobit škody, je takových dnů okolo 3–6 a v květnu se vyskytují jednou za 3–5 let. Průměrný poslední výskyt minimální teploty pod  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  nastává od 12.–19. dubna. Je to o 4–7 dnů dříve, než tomu bylo před 60 lety a těchto dnů za celé jaro je o 3–4 méně.

**Tab. 8:** Počet dnů s minimální teplotou (TMI) pod 0,  $-1,5$ ,  $-3$ ,  $-4,5$  a  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  v březnu, dubnu a květnu, průměrný poslední výskyt takového dne v roce a o kolik je méně těchto dnů na jaře či o kolik dnů dříve tento den nastává za posledních 63 let (Zahradníček et al., 2023)

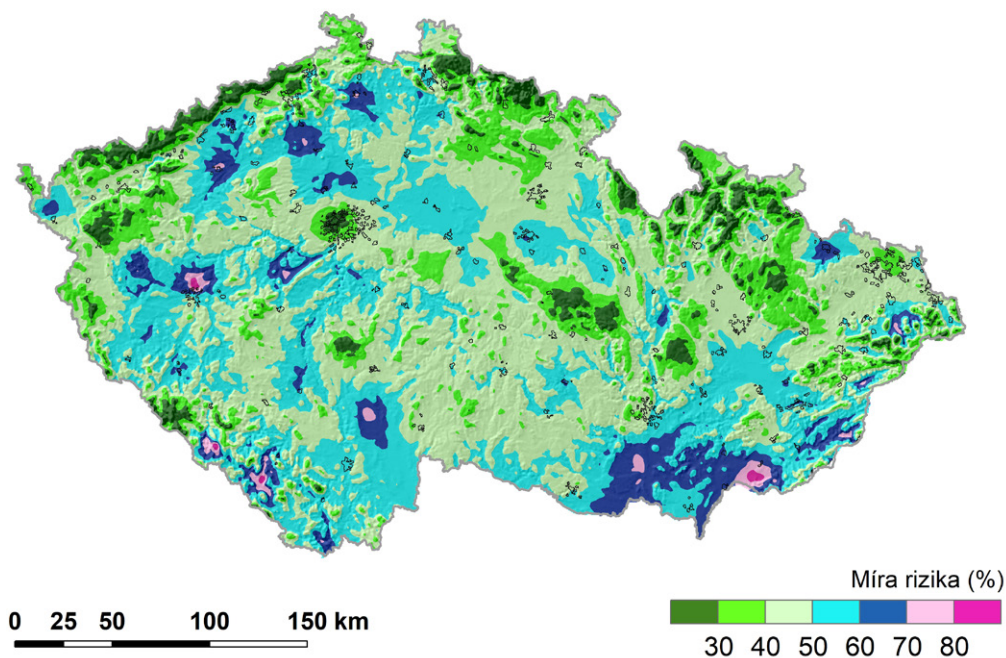
Teploty	Nad.výška (m)	březen	duben	květen	poslední výskyt	počet dnů (změna)	datum (změna)
TMI0	<300	15,3	5,5	0,5	23.4.	-4,6	-5,3
	301-600	18,1	8,1	1,2	1.5.	-7,1	-9,4
TMI-1.5	<300	10,3	2,8	0,2	12.4.	-3,0	-3,9
	301-600	13,0	4,3	0,4	19.4.	-4,4	-7,1
TMI-3	<300	6,5	1,1	0,0	28.3.	-2,7	-7,4
	301-600	8,6	1,9	0,1	7.4.	-4,1	-6,5
TMI-4.5	<300	4,1	0,4	0,0	14.3.	-1,7	-9,5
	301-600	5,6	0,8	0,0	23.3.	-3,3	-8,6
TMI-6	<300	2,5	0,1	0,0	2.3.	-0,5	-8,9
	301-600	3,8	0,3	0,0	10.3.	-1,9	-9,2

Na první pohled by to tedy mohlo vypadat, že riziko škod pozdními mrazy musí klesat, jelikož je těchto dnů méně a poslední výskyt je dříve. Jenže, jak již bylo popsáno výše, tak i vegetační období začíná dříve. Za začátek, kdy začínají být nízké teploty pro vegetaci rizikové je z klimatologického hlediska považováno 10 po sobě jdoucích dnů s maximální teplotou nad 10 °C. V naprosté většině toto období znamená konec vegetačního klidu a začátek růstu. Takováto epizoda začínala v průměru od roku 1961 podle nadmořské výšky 2. až 9. dubna. Za posledních 60 let je nástup této epizody o 8–12 dnů dříve. To má za následek, že se prodlužuje doba mezi začátkem této epizody (10 dnů po sobě s maximální teplotou nad 10 °C) a výskytem posledních mrazů. Průměrná délka této doby je okolo 12–13 dnů, ale za posledních 60 let se prodloužila o 4–5 dnů. Velký rozdíl je ale mezi jednotlivými dekadami (Obr. 49). Nejhorší situace byla v poslední dekádě, kdy na mnoha místech měly mrazy šanci poškodit vegetaci i v období delším než 20 dnů (38 % území republiky). Na 58 % republiky trvalo toto období 10–20 dnů. Bohužel se to týká například i ovocnářských, či vinohradnických oblastí. Výjimkou již nejsou i významné škody na polních plodinách (např. na řepce v roce 2024).

Pravděpodobnost toho, že po teplé vlně (10 dnů po sobě s maximální teplotou nad 10 °C) přijde ještě den s mrazy pod -1,5 °C (Obr. 50), je relativně vysoká. S tím samozřejmě souvisí i vyšší riziko škod způsobených právě mrazy. Nejvíce území republiky (43,4 %) má pravděpodobnost výskytu tohoto rizikového dne mezi 40–50 %. Vyšší pravděpodobnost je pak pozorována na 36 % území republiky. Nejrizikovější oblast je na jižní Moravě, kde na Znojemsku, Břeclavsku či Hodonínsku je možnost škod často vyšší než 60 %, místy dokonce více než 80 %.



**Obr. 49:** Průměrná délka období s rizikem poškození mrazy po nástupu teplé epizody v letech 1961–2021, zdroj: Zahradníček et al., (2023)

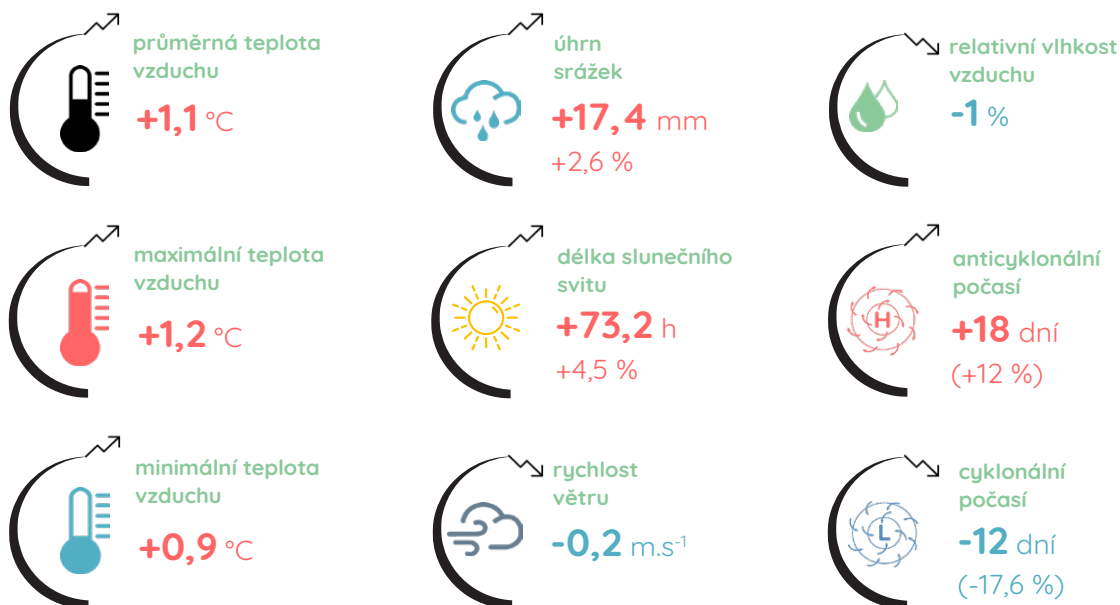


**Obr. 50:** Pravděpodobnost výskytu minimální teploty vzduchu pod hranicí  $-1,5\text{ °C}$  po nástupu teplé epizody v letech 1961–2021, zdroj: Zahradníček et al., (2023)

### 4.7.Souhrn

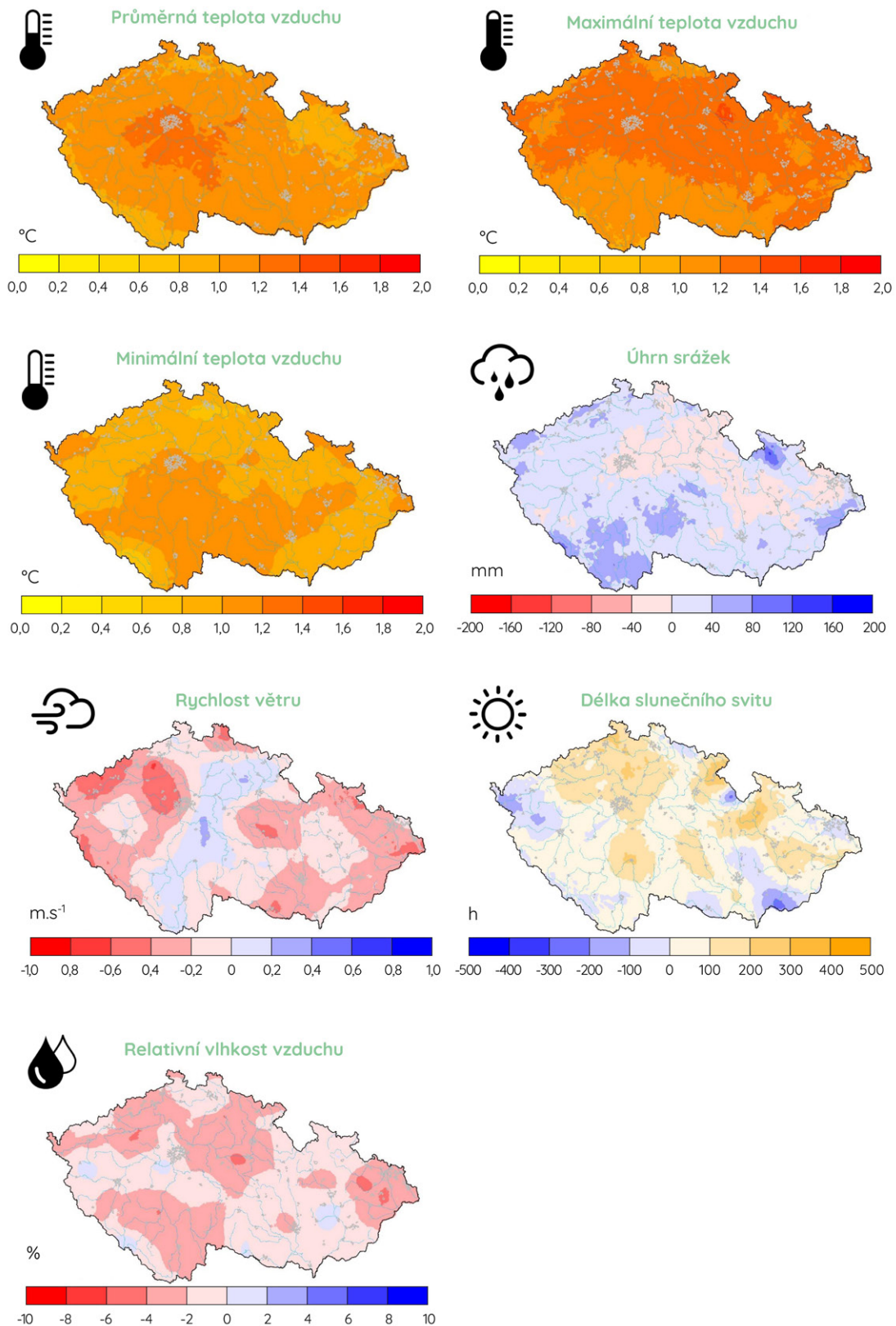
Klima se v posledních třiceti letech oproti předchozímu období změnilo. Narostla teplota vzduchu, více maximální než minimální. O trochu více je srážek, ale zároveň je více slunečního svitu.

Průměrně se mírně snižuje průměrná rychlost větru a nepatrně poklesla vlhkost vzduchu. Zároveň se mění i rozložení tlakových útvarů, které ovlivňují naše území. O 18 přibylo dnů s anticyklonálními situacemi, které většinou přináší slunečné počasí. Naopak o 12 ubylo dnů s cyklonálními situacemi, které jsou spíše zdrojem srážek a vláh (Obr. 51).



**Obr. 51:** Rozdíl základních meteorologických veličin mezi roky 1991–2020 a 1961–1990 na území České republiky





**Obr. 52:** Rozdíl základních meteorologických veličin mezi roky 1991–2020 a 1961–1990 na území České republiky

## 4. Historický vývoj klimatu

**Tab. 9:** Změna základních meteorologických veličin (T–průměrná teplota vzduchu, TMA–maximální teplota vzduchu, TMI–minimální teplota vzduchu, SRA–srážky H–vlhkost vzduchu, F–rychlost větru, SSV–délka slunečního svitu v letech 1991–2020 oproti 1961–1990 pro rok a sezóny

	rok	zima	jaro	léto	podzim
<b>T (°C)</b>	1,1	1,1	1,1	1,6	0,6
<b>TMA (°C)</b>	1,2	1,1	1,4	1,9	0,5
<b>TMI (°C)</b>	1	1	0,8	1,4	0,7
<b>SRA (mm)</b>	102,5	101,2	97,9	102,8	108,2
<b>H (%)</b>	-1,9	-1,6	-3,2	-3	0,4
<b>F (m/s)</b>	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
<b>SSV (hod)</b>	73,2	-1,4	42,4	53	-19,8

Tyto změny v jednotlivých základních meteorologických charakteristikách nejsou stejné pro území celé ČR. U teploty vzduchu je pozorován vyšší nárůst jejich hodnot v severní polovině republiky (Obr. 52). Jak už bylo popsáno v kapitole věnující se srážkám, tak srážky ubývají ve východních Čechách a přibývají na jihu Čech. Vítr neklesá v celé republice, ale v pásu od jihu Čech po Krkonoše naopak slabě roste. I v případě slunečního svitu nalezneme místa, kde celková roční suma klesá. U vlhkosti vzduchu dominuje pokles na prakticky celém území ČR s lokálními výjimkami.

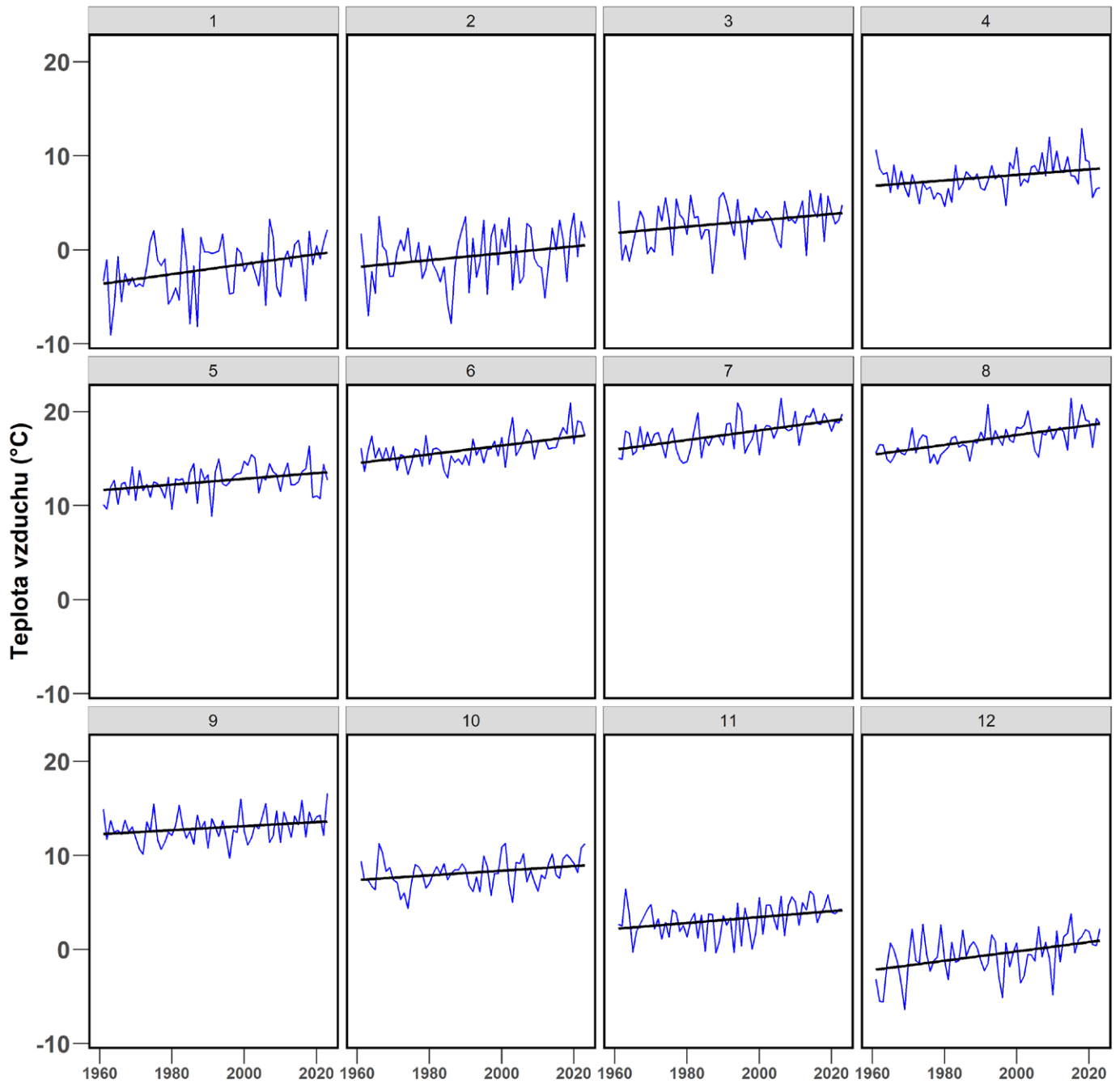
**Zima** – V této části roku dochází k rychlému oteplení (více se otepluje jen v létě). Je to pozorované hlavně v posledních 10–15 letech. I přesto, že srážek v zimě přibývá, tak sněhu ubývá. Jedná se jak o množství sněhu, které za sezonu spadne, tak i počet dnů, kdy se sněhová pokrývka na zemi udrží. Nejmarkantnější změny jsou v nižších a středních polohách. Naopak na horách se sněhová pokrývka stále udržuje, i když zde počet dnů s vyšším množstvím sněhu klesá a také se zvedá nadmořská výška, kde sníh má šanci se déle udržet. Také se zkracuje celková zimní sezóna, tedy období se zimními podmínkami nastupuje později a končí dříve. Na druhou stranu mohou nastat podmínky, kdy nasněží větší množství sněhu za krátkou chvíli. Často ale pak dochází k rychlému oteplení a tání sněhové pokrývky a mohou se zvedat hladiny vodních toků i na

povodňové stavy (viz leden 2024). V zimě je překvapivě méně slunečního svitu než v minulosti, průměrná vlhkost vzduchu neklesla tolik jako na jaře a v létě (Tab. 9).

**Jaro** – V posledních letech pozorujeme, že jarní podmínky začínají dříve. Březen se ze všech jarních měsíců otepluje nejvíce (Obr. 53). Na druhou stranu na jaře klesá množství srážek, což je hodně pozorované převážně během dubna a května (Obr. 55). Pokud přijde sušší jaro po teplé zimě, tak se většinou projevuje větší tendence k výskytu sucha buď už během jara, nebo později v létě. Je to dáno tím, že vegetace dříve čerpá vodu z půdy, ale ta se nemá příliš z čeho doplnit, jelikož v půdě chybí vlaha z roztátého sněhu a také srážek je v tomto období méně. Samozřejmě to neplatí pro každé jaro, v posledních letech se vyskytly i vlhčí a chladnější jarní měsíce (například v roce 2023). Jelikož dochází i k dřívějšímu nástupu vegetačního období, tak se stále častěji objevují škody pozdními jarními mrazy. Na jaře poklesla vlhkost vzduchu, ale je o 42 hodin více slunečního svitu. Obojí ještě společně s vyšší teplotou výrazně stimuluje výpar.

**Léto** – Otepluje se ze všech sezón nejvíce (Obr. 54). Zažíváme až trojnásobně více tropických dnů, delší a častější horké vlny. Přibývá letních dnů, noci jsou stále teplejší. Také se rozšiřuje období, kdy tyto horké dny nastávají. Jsou častější už během jara nebo i na podzim. To vše má neblahý dopad na vypařování vody z krajiny. To se projevuje buď nástupem sucha, jako například v roce 2015, kdy bylo rekordně teplé léto, nebo naopak častými bouřkovými situacemi s vyšší intenzitou srážek. Těch celkově v létě přibývá a statisticky se tak vyrovnává pokles srážek v jarních měsících. V létě také klesá vlhkost vzduchu a přibývá slunečního svitu. Obdobně jako na jaře se tak vytvářejí podmínky pro větší výpar vody.

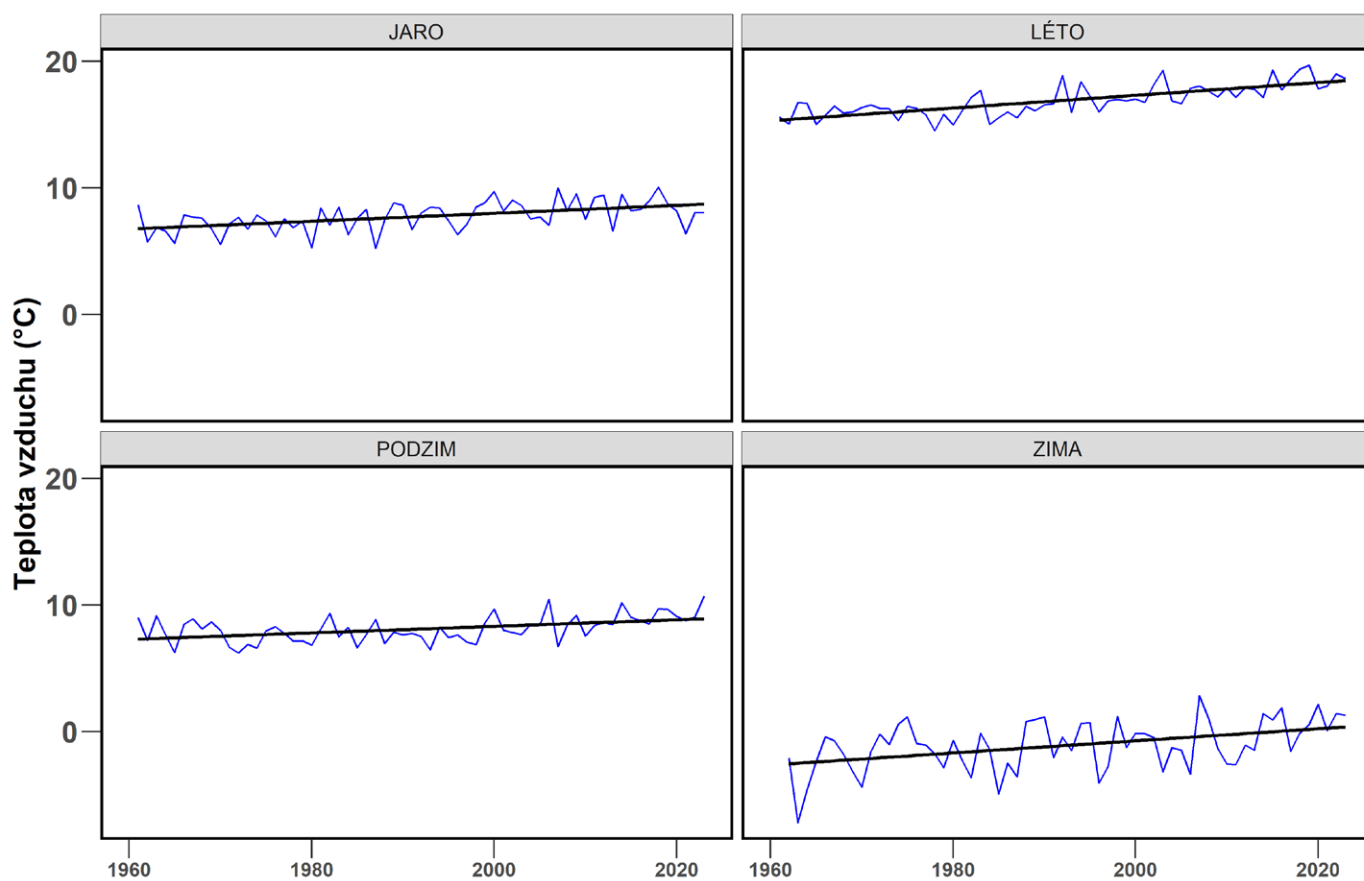
**Podzim** – Tato část roku se dlouhodobě vůbec neoteplovala. To se změnilo až na počátku nového milénia. Teploty vzduchu začaly dosti rychle narůstat a prakticky od té doby pozorujeme výskyt pouze teplotně nadprůměrných podzimních sezón. Srážek na podzim přibývá, ale neplatí to pro všechny měsíce. Nejvíce narostl srážkový úhrn během září, což by mohlo být způsobeno i prodloužením letní sezóny s častějšími bouřkami z tepla. V říjnu je nárůst už pozvolnější a v listopadu naopak dlouhodobě množství srážek ubývá (Obr. 55). Na podzim v posledních 30 letech ubylo slunečního svitu v porovnání s předchozím obdobím, ale stoupla mírně vlhkost vzduchu. Rychlost větru stejně jako v ostatních sezónách mírně klesá.



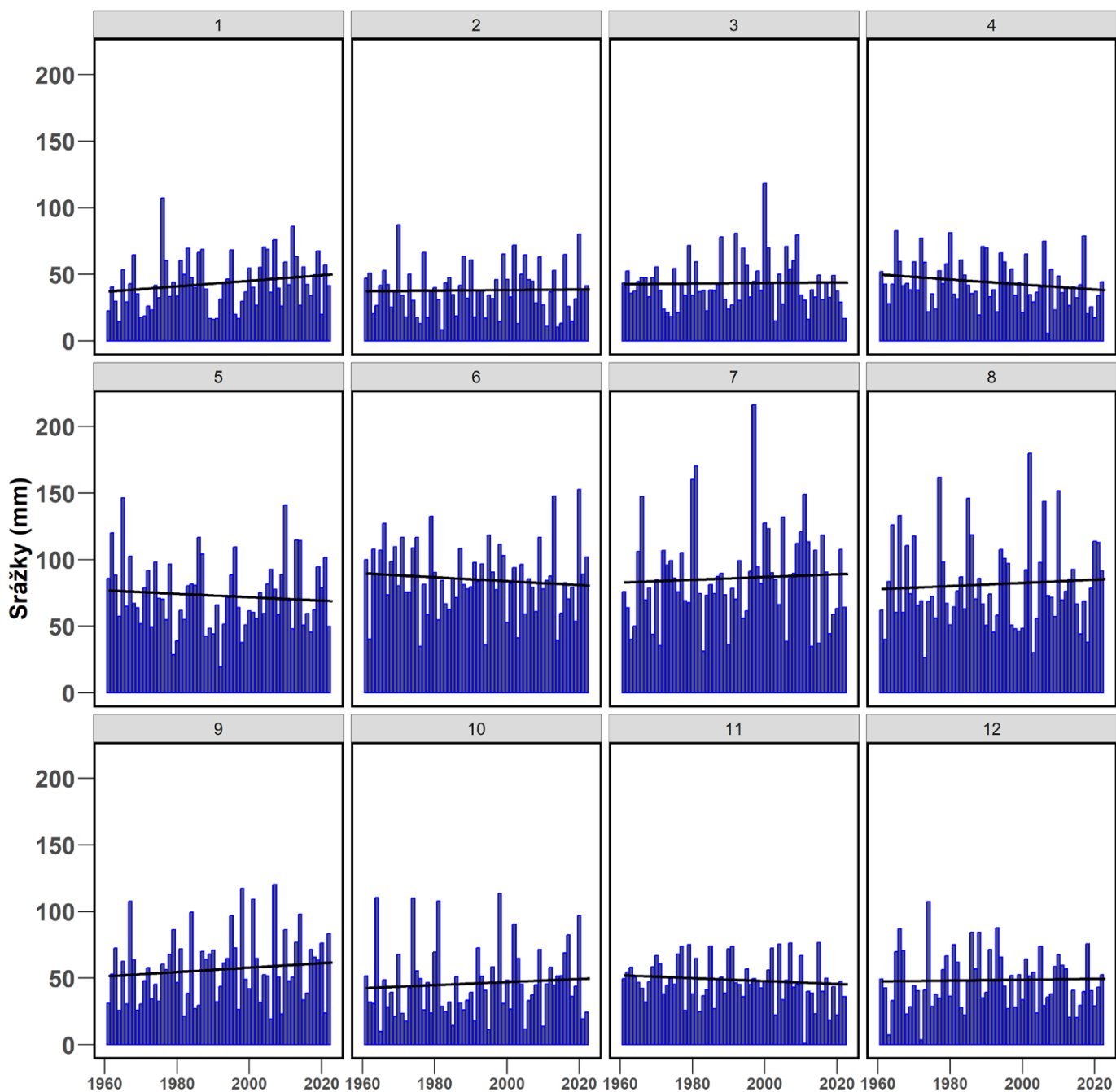
**Obr. 53:** Průměrná teplota vzduchu v České republice od ledna do prosince v letech 1961–2023



## 4. Historický vývoj klimatu

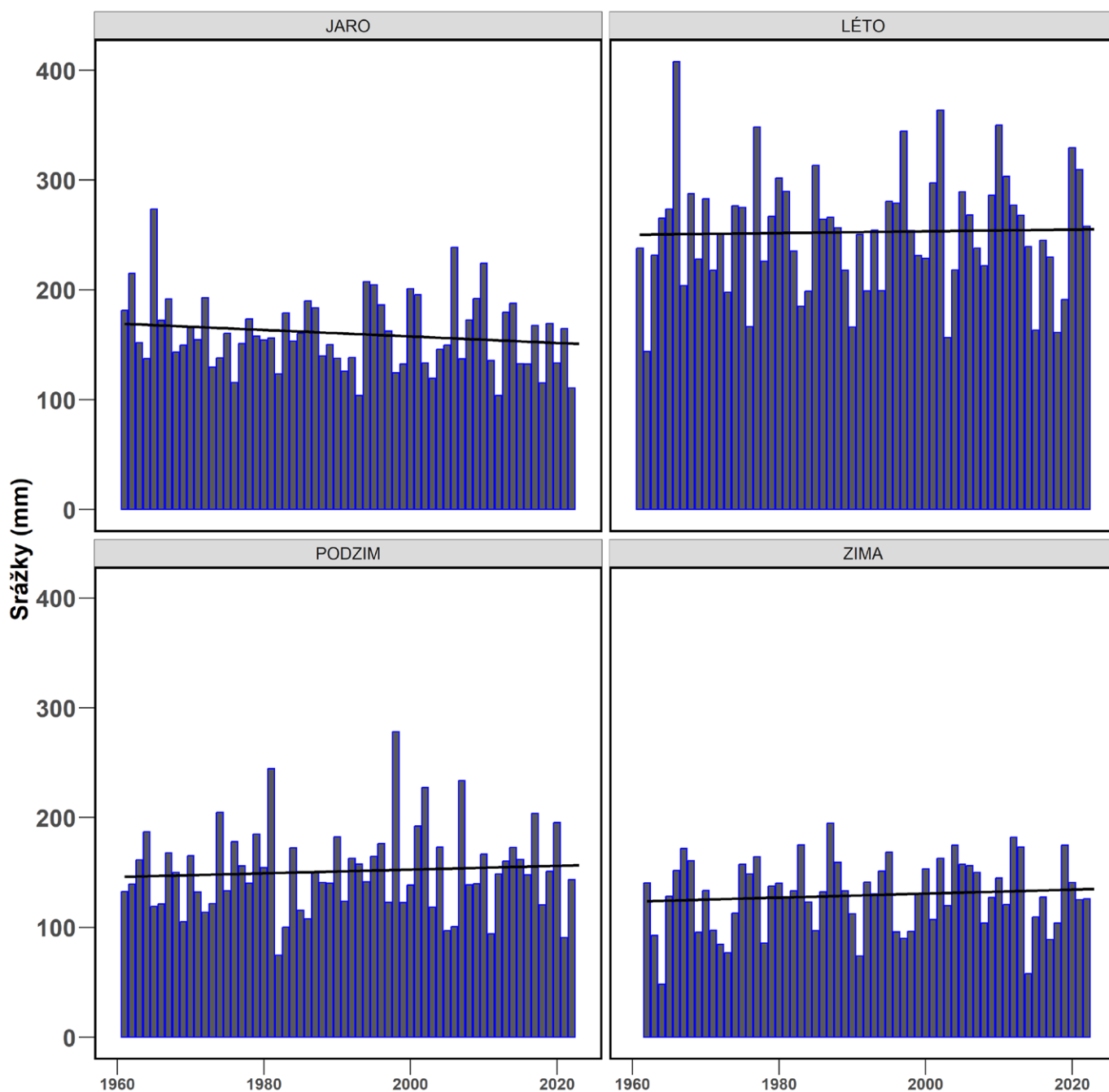


**Obr. 54:** Průměrná teplota vzduchu na území České republiky pro meteorologická roční období v letech 1961–2023. Meteorologické jaro tvoří březen, duben a květen, meteorologické léto červen, červenec a srpen, meteorologický podzim září, říjen a listopad, meteorologickou zimu prosinec, leden a únor.



**Obr. 55:** Měsíční sumy srážek na území České republiky v letech 1961–2023

## 4. Historický vývoj klimatu



**Obr. 56:** Suma srážek v České republice pro meteorologická roční období v letech 1961–2023. Meteorologické jaro tvoří březen, duben a květen, meteorologické léto červen, červenec a srpen, meteorologický podzim září, říjen a listopad, meteorologickou zimu prosinec, leden a únor.



# 5. PŘÍČINY A VÝVOJ KLIMATICKÉ ZMĚNY

Nedávno byla publikována krásná věta „Když se na něčem shodnou kanadský dřevorubec, somálský zemědělec, japonský rybář a brazilský pěstitel kávy, bude to asi pravda“. Ano, jedná se o skutečnost, že všechny ekosystémy jsou dotčeny měnicími se klimatickými podmínkami. Jejich vývoj je poměrně rychlý a dopady nejen v zemědělství můžeme pozorovat již v průběhu jednoho lidského života. Podle slov bývalého prezidenta USA Baracka Obamy je jeho generace první, která pocítuje její dopady a poslední, která s tím může něco udělat. Je měnicí se klima v současnosti náhoda? Přírozený výkyv? Vždyť klima se na naší planetě měnilo vždy. Tak proč se divíme? Podle řady názorů se vlastně nic neděje, resp. se jedná o normální přirozený vývoj. Ale je tomu tak?

Obecně platí, že klima (podnebí) na naší planetě je výsledkem vzájemné interakce řady faktorů. Ty lze z velmi hrubého měřítka rozdělit na extraterestrické (mimozemské) jako je např. sluneční záření či změny parametrů oběžné dráhy Země, dále terestrické (vlastnosti zemského povrchu jako je jeho typ, dále rozložení pevnin a oceánů, sopečná činnost, přítomnost a druh vegetace, mořské proudy, cirkulace vzduchu, koloběh vody apod.) a antropogenní (např. emise skleníkových plynů, způsob využívání krajiny). Ostatně této problematice je věnována první kapitola.

Ale co 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 několikaleté variabilitě. Pak je na místě se zamyslet, jaké jsou příčiny. Některý faktor se prostě začal měnit a jeho vliv se přenáší do změn v klimatickém systému. Logicky tyto změny mohou být podmíněny faktorem mimo vliv člověka. Ano, klima se mění od doby existence naší planety a vzdělaný technologiemi vybavený člověk byl teprve vzdálenou budoucností. V geologické minulosti Země docházelo neustále ke změnám klimatu, a to vlivem působení přirozených klimatotvorných faktorů, které jsou součástí klimatického systému a přirozeného vývoje Země.

Rychlost těchto změn se však na rozdíl od současnosti odehrávaly v řadu tisíců až milionů let. Patří mezi ně:

- **tektonika (pohyb, deformace) zemských desek – změna rozložení pevnin a oceánů** rozhodně ovlivňuje klima na naší planetě. Vzhledem k délce těchto procesů, kdy se bavíme o desítkách až stovkách milionech let rozhodně nejsou příčinou současné změny klimatu.

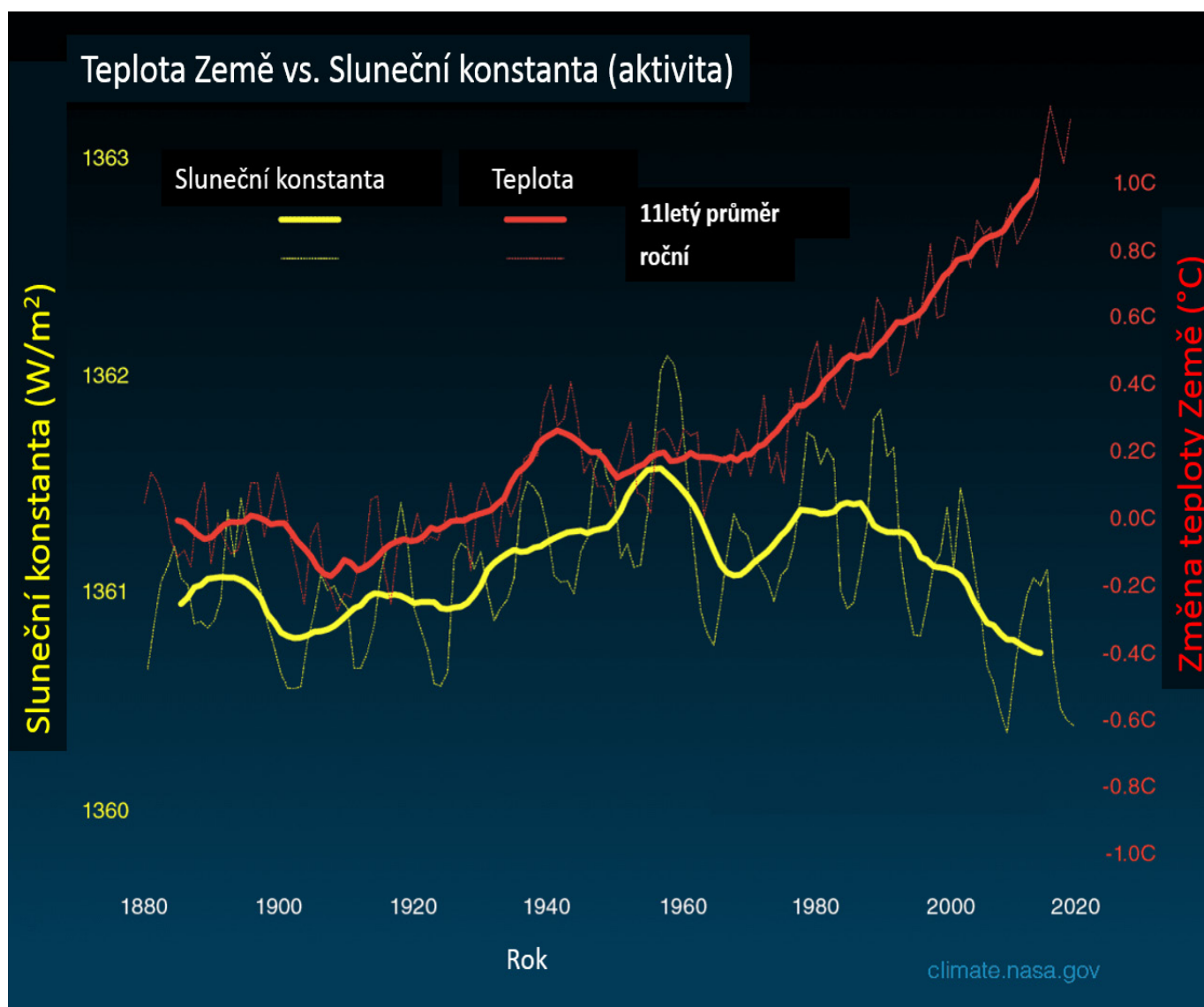
- **astronomické cykly (změna oběžné dráhy Země kolem Slunce, naklonění zemské osy)** – způsobují střídání dob ledových a meziledových ve čtvrtohorách (tedy posledních 2,6 mil. let). Toto oteplování a ochlazování je vyvoláváno astronomickými cykly Země, konkrétně cyklickými změnami oběžné dráhy Země a polohy zemské osy vůči ní. Způsobovaly dlouhodobé změny v letním oslunění vysokých severních šířek s důsledky řady vazeb významně ovlivňujících stav a projevy klimatického systému Země, zejména odrazivost zemského povrchu, mořské proudy či toky oxidu uhličitého mezi oceánem a atmosférou. Cykly mají desetitisíce až statisíce let. Tyto tzv. Croll–Milankovičovy cykly také nemohou být příčinou současných rychlých změn, a navíc v současnosti jejich trend směřuje k ochlazování.

- **Sluneční aktivita** se projevuje mj. množstvím slunečních skvrn, které kolísá zhruba v jedenáctiletém cyklu. S nimi souvisí i změna zářivého výkonu Slunce. Tento kratší cyklus však rozhoduje o minimálních teplotních změnách, setinách maximálně desetině stupně celsia. Rozdíl mezi příkonem energie na Zemi v období maxima slunečních skvrn oproti jejich minimu je jen cca několik desetin  $W/m^2$ , což je změna o řád menší, než činí nynější přebytek příjmu energie Zemí oproti výdeji do vesmíru. Hodnoty maxim se nepravidelně mění, v důsledku toho zářivý výkon Slunce v posledních staletích mírně narůstal. Tento mírný nárůst svojí dlouhodobostí mohl mít určitý oteplující vliv. Od roku 1960 však zářivý výkon Slunce spíše klesá. Změny Sluneční aktivity tedy také nemohou být příčinou současného oteplování. Více vysvětluje Obr. 57.

Je skutečností, že do našeho klimatického systému zasáhly i rychlé změny 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 trvajících éry dinosaurů.

Výkyv klimatu může způsobit i sopečná činnost. Např. v roce 1883 erupce na ostrově Krakatoa (mimořadně, název inspiroval Karla Čapka pro pojmenování románu Krakatit) vyvrhla tolik aerosolů (aerosoly = tekuté a pevné částice rozptýlené v plynu, např. prach), že došlo na několik let ke snížení průměrné teploty Země (až o 1,2 °C). Tento klimatický výkyv je i globálně zaznamenan v letokruzích dřeva stromů formou významně nižšího přírůstu.

Jsou i další jevy mimo sluneční záření, které ovlivňují klima, např. projevy globálních klimatických oscilací, jak je již v první kapitole



**Obr. 57:** Porovnání globální povrchové teploty (červená čára) a energií Slunce přijatou Zemí (žlutá čára odpovídající sluneční konstantě) ve wattech (jednotky energie) na metr čtvereční od roku 1880. Tenčí čáry ukazují roční úrovně, zatímco silnější čáry ukazují průměrné trendy za 11 let, zdroj: National Aeronautics and Space Administration (NASA)

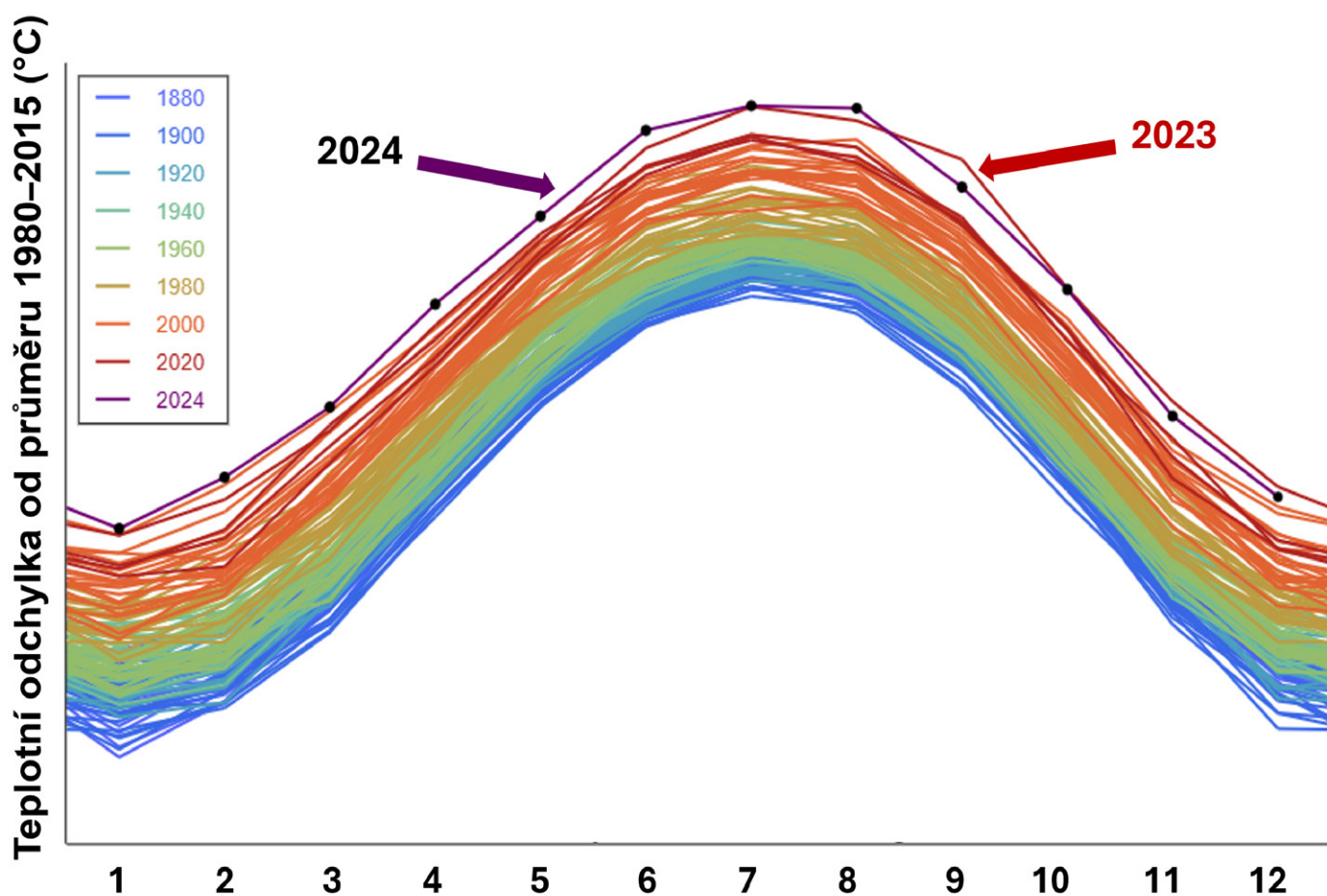
popsané ENSO či NAO. Brázdil a kol. (2015) v publikaci „Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost“ pomocí poměrně složitých statistických vztahů posoudili všechny tyto potenciální příčiny a současně je vyloučily jako možného viníka současných trendů na našem území.

Vzhledem k současné velmi rychlé změně, která se vymyká dlouhodobým faktorům a vzhledem k významnému zvýšení koncentrace některých plynů v atmosféře je za příčinu současné změny klimatu považováno zesílení skleníkového efektu atmosféry vlivem těchto plynů.

Jak to funguje a proč se jejich koncentrace v atmosféře zvyšuje?

## 5.1. Skleníkový efekt

Teorie zdůvodňující současnou změnu klimatu, ke které se v současnosti kloní světová komunita klimatologů, je teorie zesílení skleníkového efektu. Co skleníkový efekt vlastně je? Pro jeho pochopení, je nutné si uvědomit, že naše planeta komunikuje s vesmírem energií ve formě záření. Od zdroje, což je „horké“ Slunce, přichází energie na Zemi formou tzv. krátkovlnného záření a „studená“ Země vyzařuje do vesmíru svoji energii tzv. dlouhovlnné záření. Vysvětlení tohoto faktu podává Wienův zákon posunu, který



**Obr. 58:** Vývoj globální (světové) teploty od roku 1880–2024 vyjádřený měsíční teplotní odchylkou (°C) od průměru 1980–2015. Doposud nejteplejší roky byly 2023 a 2024, zdroj National Aeronautics and Space Administration, (NASA)

lze jednoduše interpretovat větou: čím je hmota teplejší tím kratší vlnové délky vyzařuje. Bilance (příjem a výdej) obou toků záření za dostatečně dlouhé období (rok a více) 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 přijme). Vyrovnaná bilance je i na jiných planetách, jež mají podobně jako Země atmosféru, např. na Marsu (bilance vyrovnaná při průměrné teplotě  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nebo Venuši (bilance vyrovnaná při průměrné teplotě  $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Průměrná teplota naší planety závisí na této bilanci, tzv. globální teplota počítaná jako průměr z celosvětové měřicí sítě je v současnosti těsně pod  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ale postupně se zvyšuje. (Obr. 58). Ano, je to teplota, která na rozdíl od teplot na Marsu a Venuši umožňuje na planetě Zemi život. V tomto okamžiku je nutné vysvětlit, jak do hry vstupuje atmosféra, resp. v ní obsažené plyny. Na hodnotě  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  se výrazně podílí některé v atmosféře obsažené plyny (tzv. radiačně aktivní plyny či známěji skleníkové plyny). Tyto sluneční krátkovlnné záření konstantně propouští, to je následně pohlceno

zemským povrchem. Ten vzhledem ke své výrazně nižší teplotě teplotě vyzařuje záření dlouhovlnné. A to je významně pohlcováno skleníkovými plyny. Čím je skleníkových plynů v atmosféře více, tím více zachycené energie vyzařují zpět na zemský povrch. A proto se zvyšuje množství energie akumulované v celém klimatickém systému Země. Země tedy pohlcuje stále stejné množství energie od Slunce, avšak zpět do vesmíru vrací méně energie a tak dlouhodobá radiační bilance není vyrovnaná. Základní teorie problematiky pozorované a očekávané změny klimatu tedy vychází ze zesílení skleníkového jevu vlivem zvýšené koncentrace skleníkových plynů, tím způsobené akumulace energie v klimatickém systému Země (nejvíce v oceánech) a s tím souvisejícím porušením vyrovnané radiační bilance systému Země – vesmír.

Pokud by plyny obsažené v atmosféře neměly možnost zachycovat dlouhovlnnou zemskou radiaci, byla by teplota na naší planetě výrazně nižší (asi  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ale protože by byla zaledněná, více sluneční energie by odrazela a tak teplota na Zemi by byla ještě mnohem nižší). Přirozená přítomnost tohoto jevu je tedy pro teplotu



umožňující výskyt života nezbytná. Tento jev se nazývá ne zcela správně „skleníkový efekt“, neboť vyvolává analogii s podmínkami ve skleníku. Skutečný skleník si však udržuje teplo převážně díky bránění mísení zahřátého vzduchu s okolním chladným ovzduším. Ale i tak by bez skleníkového efektu nefungoval. Sklo skleníku stejně jako skleníkové plyny dovnitř propouští krátkovlnné sluneční záření a povrchy uvnitř se ohřívají, ale významně omezuje únik dlouhovlnného vyzařování těchto povrchů.

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

### 5.1.1. Skleníkové plyny

Atmosféra je tvořena směsicí plynů, která se nazývá vzduch. Prakticky 99,9 % objemu suché atmosféry tvoří dusík ( $N_2$ ) 78 % s kyslíkem ( $O_2$ ) 21 % a argonem (Ar) 0,9 %. Koncentrace oxidu uhličitého je významně nižší (0,045 %) a zbylé množství připadá na plyny často stopového výskytu. Složení suché atmosféry se přibližně do 90–100 km nad zemským povrchem až na výjimky (např. koncentrace ozonu v ozonosféře ve výšce 15–35 km) nemění. Kromě součástí vzduchu nacházíme v atmosféře tzv. příměsi tuhého (např. aerosoly jako je prach, pyl), kapalného (aerosoly jako je voda, slabé kyseliny) či plynného skupenství (oxidy síry, dusíku, tisíce chemických látek syntetického původu). Některé z těchto plynů, ať již tvořící vzduch či jsou přítomné jako příměsi, mají schopnost pohlcovat dlouhovlnné záření zemského povrchu, a tím udržovat nezbytnou energii, resp. teplotu vhodnou pro živé organismy. Nejdůležitějším plynem zachycujícím dlouhovlnné záření vyzařované zemským povrchem je vodní pára, která má na přirozeném skleníkovém efektu podíl 36–70 % (bez započtení vlivu oblačnosti), následuje oxid uhličitý (9–26 %), metan (4–9 %), ozon (3–7 %) a oxid dusný.

Vodní pára je součástí koloběhu vody, do atmosféry se dostává vypařováním ze zemského povrchu. Lidská činnost vodní páru do atmosféry přidává minimálně. Teplejší vzduch ale 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. Mimo jiné tento proces je příkladem tzv. pozitivní zpětné vazby podporující oteplování. Detailněji jsou zpětné vazby vysvětleny v následující kapitole.

Mezi skleníkové plyny, jejichž koncentrace v atmosféře je antropogenně podmíněná, patří:

**Oxid uhličitý ( $CO_2$ )** – je přirozeně se vyskytující plyn, který vytváří tzv. uhlíkový cyklus coby produkt dýchání živých organismů a zdroj uhlíku pro fotosyntézu. Dále vzniká spalováním každého materiálu organického původu, tedy i fosilních paliv, dnes stále hlavního zdroje energie. Tímto způsobem se do atmosféry uvolňují zásoby uhlíku miliony let ukládané do litosféry (zemská kůra a nejsvrchnější vrstvy zemského pláště do cca 100 km). Na celkovém oteplování (zesilování skleníkového efektu) se, ze všech člověkem emitovaných plynů (tedy mimo vodní páru), podílí oxid uhličitý asi 60 %, z čehož rozhodující podíl tvoří právě spalování fosilních paliv (2/3) a odlesňování, kdy uhlík původně vázaný v půdě a lesní biomase emituje ve formě  $CO_2$  do atmosféry. Fotosyntéza rostlin totiž odstraňuje oxid uhličitý (tedy uhlík) z atmosféry a ukládá jej do organické hmoty. Další zdroje, jako je výroba cementu, železa či jeho přirozené uvolňování při výbuchu sopek, tvoří jen minoritní podíl. Obsah  $CO_2$  v atmosféře se v současnosti zvyšuje tempem přibližně 0,5 % za rok a jeho koncentrace vzrostla od doby předindustriální éry (1750) již o 50 % z 280 ppm (parts per milion, počet částic na milion částic vzduchu) na 425 ppm (stav listopad 2024).

**Metan ( $CH_4$ )** – se podílí na zesílení skleníkového jevu (mimo vodní páry) přibližně 20 %. Hlavními antropogenními zdroji (z aktivit člověka) jsou anaerobní pěstování rýže, úniky zemního plynu při těžbě ropy a uhlí, skládky, ale i digestivní pochody chovaných přežvýkavců. Obsah metanu v atmosféře se od předindustriální doby více než zdvojnásobil. Otázkou a velkým rizikem zůstává postupné potenciální uvolňování metanu z mořského dna z důvodu zahřívání vody oceánů, kdy teplejší voda může uvolnit jeho sublimáty (tzv. hydráty metanu). Obdobně je zde silná vazba na permafrost, jehož tání uvolňuje obrovská množství tohoto plynu. A do třetice málo se ví o jeho vypouštění v době embarg kvůli vojenským konfliktům, kdy je zemní plyn často vypouštěn do atmosféry. Nárůst metanu v atmosféře v současné době činí necelé 1 % za rok a od předindustriální doby (1780) se jeho koncentrace více než zdvojnásobila. Metan v atmosféře zachycuje dlouhovlnnou zemskou radiaci asi 25krát účinněji než  $CO_2$ . Doba jeho životnosti v ovzduší je od 10–15 let.

**Oxid dusný ( $N_2O$ )** – se podílí na zesílení skleníkového jevu (mimo vodní páry) asi 6 %. Zdrojem jsou opět fosilní paliva, tedy spalovací procesy, ale hlavně denitrifikace zemědělských hnojiv. Roční nárůst atmosférické koncentrace oxidu dusného činí 0,3 %.  $N_2O$  je 300krát radiačně účinnější než  $CO_2$ . V atmosféře zůstává přibližně 110 let. Od počátku průmyslové revoluce vzrostla koncentrace oxidu dusného v atmosféře přibližně o polovinu.

**Freony** – jsou uměle vytvořené látky, a i přes jejich nepatrnou (stopovou) atmosférickou koncentraci patří díky své vysoké schopnosti pohlcovat dlouhovlnnou radiaci mezi velmi významné skleníkové plyny. Na zesílení skleníkového plynu (mimo vodní páry) se podílí cca ze 14 %. Významné jsou čtyři druhy fluorovaných plynů, které byly vyvinuty speciálně pro použití v průmyslu: částečně fluorova-

**Tab. 10:** Změna koncentrace hlavních skleníkových plynů v atmosféře od preindustriální éry (1780), nárůst za rok, hlavní antropogenní příčiny jejich růstu, jejich relativní účinnost (umožňuje přepočítání na CO<sub>2ekv</sub>), doba setrvání v atmosféře.

Plyn	antropogenní zdroj	Koncentrace v atmosféře		nárůst za rok	relativní účinnost	doba působení v atmosféře (roky)
		1780	2024			
CO <sub>2</sub>	spalování fosilních paliv, odlesňování, doprava	280 ppm*	425 ppm	0,5 %	1	50–200
CH <sub>4</sub>	rýžová pole, trávící pochody, úniky zemního plynu, skládky	0,70 ppm	1,9 ppm	0,9 %	25	12
N <sub>2</sub> O	hnojení, spalování fosilních paliv	0,22 ppm	0,34 ppm	0,8 %	300	110
freóny	průmysl	0 ppm	0,0007 ppm	3 %	7500	5–100

\*ppm = parts per milion neboli počet částic sledovaného plynu na milion částic vzduchu

né uhlovodíky (HFC), zcela fluorované uhlovodíky (PFC), fluorid sírový (SF<sub>6</sub>) a fluorid dusitý (NF<sub>3</sub>). Tyto plyny nemohou mít delší historii, neboť neexistovaly do poloviny 20. století. Nejrozšířenější z nich jsou více než 10 000krát radiačně účinnější než CO<sub>2</sub> a v atmosféře mohou zůstat stovky až tisíce let. Nárůst v současné době činí asi 3 % každý rok. Mezi ně musíme počítat i freony nové generace, které se nepodílejí na destrukci ozonové vrstvy.

Protože se skleníkové plyny v atmosféře dobře promíchávají a jsou téměř nezávislé na místě vypouštění, hovoříme o tzv. globálním problému, tedy problému všech států, problému všech světových ekosystémů. I těch států, jež jej nezapříčinily, i těch obyvatel planety, kteří o něm kvůli nižší úrovni vzdělání ani neví. A opačně platí, že globální problém vyžaduje globální řešení. Žádný stát či skupinka států ho samostatně nevyřeší. Ale svět má pozitivní precedent. Dovedl se spojit při řešení problémů s ubýváním ozónu, celosvětově dramaticky omezil, resp. zakázal výrobu látek poškozujících ozónovou vrstvu, která nás chrání před nebezpečným slunečním UV-B (ultrafialovým zářením 290–315 nm). Důsledkem je pomalí zlepšující se stav tohoto rovněž globálního problému.

### 5.1.2. Klimatická změna a zpětné vazby

Na úvod jedno terminologické vysvětlení. Pozitivní vazby mají z pohledu člověka negativní dopad (zesilují změnu klimatu) a naopak negativní vazby mají pozitivní dopad (zeslabují změnu klimatu). Proč se tedy tak jmenují? Jde o princip. Z logiky věci obecně platí, že pozitivní vazba je ta, která daný efekt akceleruje, zatímco negativní ho zmiňuje.

**Nejvýznamnější pozitivní zpětné vazby (Obr. 59) jsou:**

- Rostoucí teplota způsobuje vyšší výpar. Vodní pára je nejvýznamnější skleníkový plyn a zesiluje tak skleníkový efekt. To vede k dalšímu oteplení. A že zase zkondenzuje na kapalné skupenství a bude více srážek? Teplejší vzduch přeci pojme více vodní páry (např. m<sup>3</sup> vzduchu o teplotě 15 °C necelých 13 g zatímco m<sup>3</sup> vzduchu o teplotě 20 °C až 17 g), tedy k tomuto jevu nedojde.
- Roste teplota a tají pevninské i horské ledovce. A ty mají bílou barvu. Bílá barva znamená vyšší albedo (odraz slunečního záření), méně bílé barvy znamená menší albedo, vyšší absorpci a rychlejší tání.
- Roste teplota a taje permafrost (celoročně zmrzlá půda). Z ní se uvolňuje velké množství doposud uzavřeného metanu. A ten zesiluje skleníkový efekt. Ano, proti tomu působí biomasa, která na rozmrzlém permafrostu začíná růst a ukládá při fotosyntéze CO<sub>2</sub> do své biomasy.
- Roste teplota oceánů. Součástí přirozeného uhlíkového cyklu je rozpouštění oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) v oceánech, které se tak statisíce let podílelo na udržování stability skleníkového efektu. Platí však, že teplejší oceán pohlcuje a rozpouští méně CO<sub>2</sub>. Pokud tedy lidstvo přidává do atmosféry CO<sub>2</sub>, zvyšuje se nejen teplota atmosféry, ale i oceánu.

**Nejvýznamnější negativní zpětné vazby (Obr. 59) jsou:**

- Roste teplota zemského povrchu a podle Stefan-Boltzmanova zákona (čím je hmota teplejší, tím více vyzařuje) tak vyzařuje více energie, a tím se více ochlazuje.
- Více vodní páry znamená, že může vznikat více oblačnosti, která odráží více slunečního záření. Jedná se o stejný efekt jako např. znečištění atmosféry, které paradoxně vede k vyššímu odrazu slunečního záření, stejně jako zvýšení dalších aerosolů (již zmíněný výbuch sopky Krakatoa, či dalších).



**Obr. 59:** Hlavní pozitivní a negativní zpětné vazby zesilující a zeslabující změnu klimatu, zdroj: <https://commons.wikimedia.org/>

- Více CO<sub>2</sub> znamená vyšší intenzitu fotosyntézy, tvorby rostlinné hmoty a ukládání uhlíku do biomasy. Častou limitní podmínkou pro výraznější projev této negativní zpětné vazby je dostatečné množství vody a živin.

Výsledná bilance obou typů vazeb záleží na regionu (např. s ledem, s vegetací, s aerosoly nebo bez, povrchem je voda nebo pevnina atd.). Např. v polárních oblastech dopady změny klimatu výrazně zesilují, v jiných oblastech např. tropických s dostatkem vody a živin mohou změnu klimatu i tlumit. Vzhledem k bezprecedentnímu a rychlému nárůstu globální teploty je však jasné, že negativní vazby nejsou schopny brzdit ani kompenzovat probíhající změnu klimatu. Naopak je velkou a doposud nezodpovězenou výzkumnou otázkou, zda by i při nulových emisích skleníkových plynů došlo k zastavení nárůstu globální teploty kvůli velmi silným spirálovitým pozitivním vazbám.

## 5.2. Uhlíková stopa

V současné době hojně používaný, často až s ironickým podtextem vyslovovaný pojem. Co to vlastně je? Pro pochopení je napřed nutné vysvětlit pojem ekvivalent oxidu uhličitého.

Jednotka tuna CO<sub>2</sub> udává výhradně množství oxidu uhličitého. Jednotka tuna CO<sub>2ekv</sub> (zapisován i jako CO<sub>2eq</sub>, CO<sub>2eq</sub> nebo CO<sub>2e</sub>) pak vyjadřuje úhrnné množství více druhů skleníkových plynů přepočtených na ekvivalentní množství CO<sub>2</sub>. Přepočet provádíme pomocí koeficientů radiační účinnosti (viz předchozí popis skleníkových plynů a Tab. 10) metan 25, oxid dusný 300, freony podle typu 1 000–25 000. Je to stejné jako přepočet koruny na eura, dolary apod., kdy víme, že jedna koruna není jedno euro. To má cca 25krát vyšší hodnotu. Stejně tak neplatí, že jedna molekula oxidu uhličitého je stejně účinná jako jedna molekula metanu, která je 25krát účinnější (pohltní 25krát tolik dlouhovělného záření vycházejícího ze zemského povrchu).

Uhlíková stopa je definována jako suma všech vypuštěných skleníkových plynů (vyjádřená v ekvivalentech CO<sub>2ekv</sub>) souvisejících s danou aktivitou. Může se vztáhnout na spotřebu člověka, na jeho cestování, na produkci výrobku, na výrobu energie, na technologii a prakticky na cokoliv. Třeba i pro pěstování jakékoliv plodiny jako CO<sub>2ekv</sub> při aplikaci hnojiv, pesticidů, PHM atd. I každý sektor má svoji uhlíkovou stopu (viz zemědělství v následující kapitole). Zajímavý je pohled na vymezení uhlíkové stopy lidí z pohledu různého stylu stravování, kdy např. v roce 2014 (zdroj wikipedia.cz) byla ve Velké Británii provedena studie s následujícími výsledky:

Průměrné emise CO<sub>2ekv</sub> v kg za den byly:

- 7,19 kg u lidí s vysokou konzumací masa
- 4,67 kg u lidí s nízkou konzumací masa
- 3,91 kg u lidí, kteří konzumují z masa pouze ryby
- 3,81 kg pro vegetariány
- 2,89 kg pro vegany

I přes jasná čísla velikosti uhlíkové stopy (vegan versus člověk s vysokou konzumací masa) je nutné zvážit další faktory hovořící ve prospěch chovu domácích hospodářských zvířat. Jde o nezastupitelný význam živočišných aminokyselin (např. selenocysteinu) jako součástí zdravého a vyrovnaného stravování, produkci organické hmoty hospodářskými zvířaty, diverzitu pěstovaných plodin (krmiva pro hospodářská zvířata jsou často ze zlepšujících plodin), uhlíkovou stopu z dovozu masa apod. Naopak silným argumen-

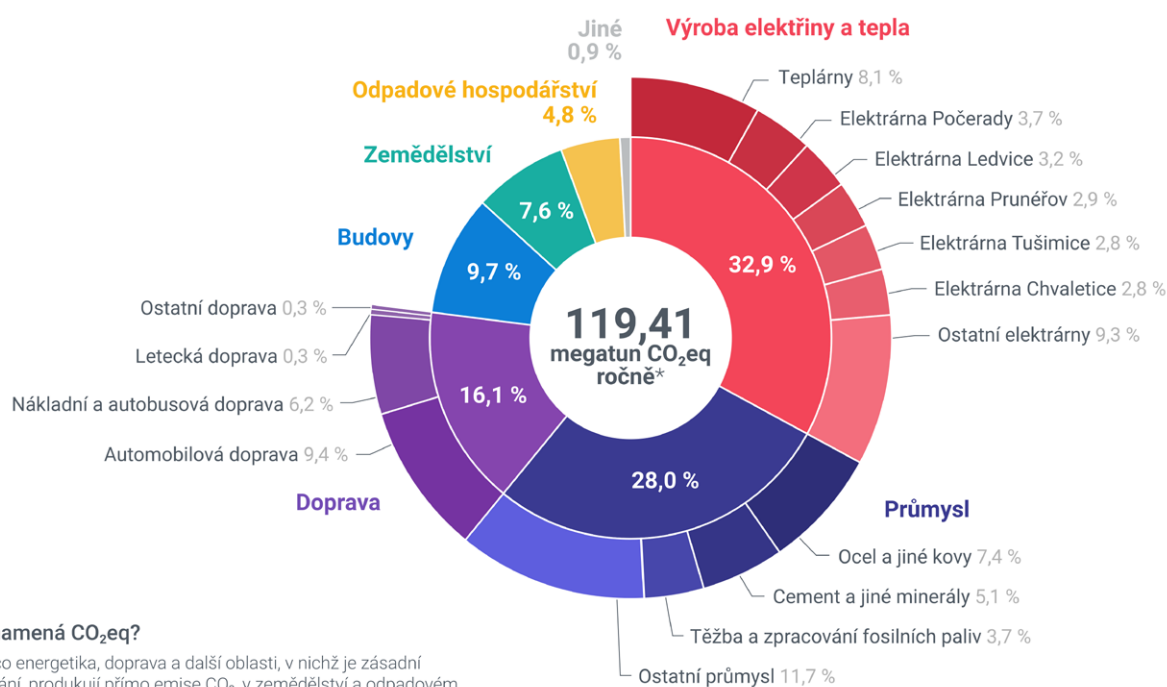
tem pro omezení spotřeby masa je zemědělská plocha potřebná na výživu vegana nebo vegetariána, která je výrazně menší.

### 5.3. Podíl zemědělství na produkci skleníkových plynů

Podíl celosvětových emisí ze zemědělství je cca 25 %, evropských 10 % (v EU 13 %) a českých jen necelých 8 %. Zatímco globálně je zemědělství dominantním zdrojem emisí, v ČR i EU je to energetika, průmysl a doprava (Obr. 60 a Obr. 61).

## EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ

Celkové emise České republiky za rok 2021.



#### Co znamená CO<sub>2</sub>eq?

Zatímco energetika, doprava a další oblasti, v nichž je zásadní spalování, produkují přímo emise CO<sub>2</sub> v zemědělství a odpadovém hospodářství jde především o emise metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O). Ty se přepočítávají na množství oxidu uhličitého, které by mělo stejný oteplovací efekt (ekvivalent CO<sub>2</sub>).

VERZE 2023-10-03 LICENCE CC BY 4.0  
více info na [faktaoklimatu.cz/emise-cr](https://faktaoklimatu.cz/emise-cr)

\* Sektor **lesnictví a využití půdy** (tzv. LULUCF) nezobrazujeme, tento sektor by **zvýšil** celkové emise o **8,36 Mt CO<sub>2</sub>eq** (7 % ze zobrazených 119,41 Mt)

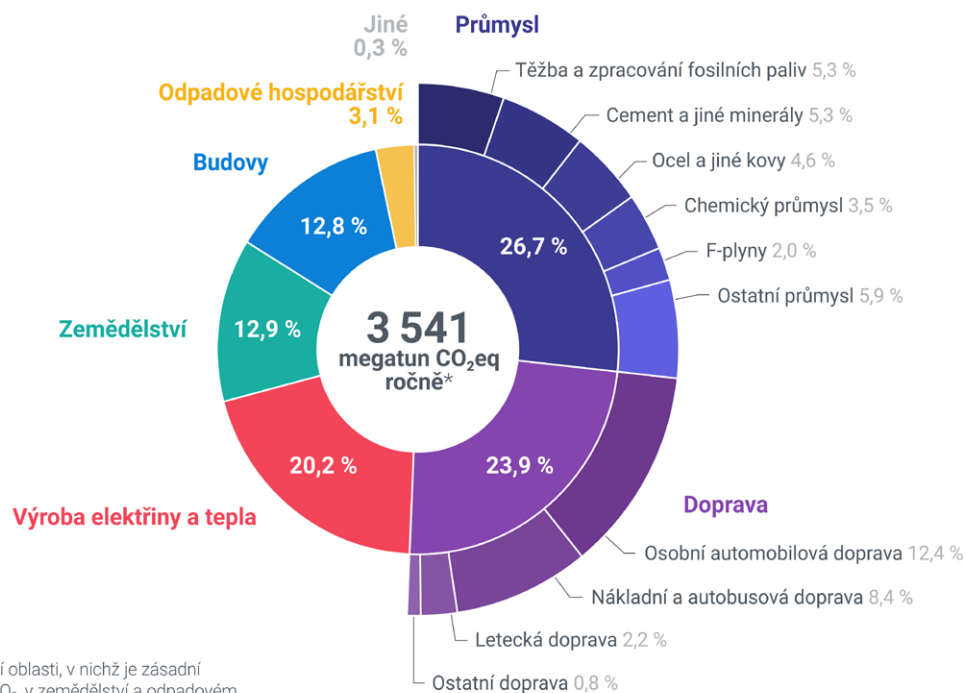
zdroj dat: Evropská agentura pro životní prostředí

**Obr. 60:** Emise podle sektorů v ČR, data z roku 2021 Všechny hodnoty v grafu jsou antropogenní emise skleníkových plynů CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> a freonů vyjádřené jako CO<sub>2ekv</sub>, zdroj: faktaoklimatu.cz



## EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNU V EU PODLE SEKTORU

Celkové emise Evropské unie za rok 2021.



### Co znamená CO<sub>2</sub>eq?

Zatímco energetika, doprava a další oblasti, v nichž je zásadní spalování, produkují přímo emise CO<sub>2</sub>, v zemědělství a odpadovém hospodářství jde především o emise metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu dusného (N<sub>2</sub>O). Ty se přepočítávají na množství oxidu uhličitého, které by mělo stejný oteplovací efekt (ekvivalent CO<sub>2</sub>).

VERZE 2023-10-03 LICENCE CC BY 4.0  
více info na [faktaoklimatu.cz/emise-eu-detail](https://faktaoklimatu.cz/emise-eu-detail)

\* Sektor **lesnictví a využití půdy** (tzv. LULUCF) nezobrazujeme, tento sektor by **snížil** celkové emise o **230 Mt CO<sub>2</sub>eq** (6 % ze zobrazených 3 541 Mt)

zdroj dat: Evropská agentura pro životní prostředí

**Obr. 61:** Emise podle sektorů v Evropě, data z roku 2021. Všechny hodnoty v grafu jsou antropogenní emise skleníkových plynů CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> a freonů vyjádřené jako CO<sub>2</sub>ekv. Platí, že od 90. let emise v EU klesly o 28 %. Kromě nárůstu z dopravy (+18 %), klesly v průmyslu (-39 %), ve výrobě elektřiny a tepla (-42 %), budovy, (-27 %) zemědělství (-21 %) nebo v odpadovém hospodářství (-41 %), zdroj: faktaoklimatu.cz

### 5.3.1. Zemědělství a oxid uhličitý

V porovnání s jinými sektory, představuje zemědělství v ČR relativně velmi nízký zdroj emisí CO<sub>2</sub>. Souhrnně zemědělství přispívá k celkovým emisím skleníkových plynů v přepočtu na ekvivalent CO<sub>2</sub> asi 7,6 % (Obr. 60), v Evropě se jedná o 12,9 % (Obr. 61), nicméně v ČR samotné CO<sub>2</sub> z tohoto malého podílu představuje jen 16 % a hlavní část emisí skleníkových plynů ze zemědělství je tvořena metanem (CH<sub>4</sub>), který vzniká především enterickou fermentací (mikrobiálním rozkladem krmiva v trávicí soustavě zvířete) přežvýkavců a při skladování organických hnojiv, ale také oxidem dusným (N<sub>2</sub>O), který vzniká v půdě při hnojení a přehnojování syntetickými dusíkatými hnojivy. V případě samotného CO<sub>2</sub> zemědělství tedy přispívá jako emitent skleníkových plynů pouhými

1,2 %, přičemž hlavní část tvoří paliva nezbytná k hospodaření na půdě (zemědělská mechanizace a doprava). Pomineme-li tedy emise z práce zemědělské mechanizace a dopravy v zemědělství pak oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) opravdu není zásadním skleníkovým plynem uvolňovaným ze zemědělské činnosti.

Na tomto místě je však třeba říci, že zemědělství a lesnictví je schopno velké množství uhlíku ukládat. Hovoří se až o 24–27 % celkových světových emisí (IPCC, 2014). V této souvislosti je třeba vysvětlit zkratku LULUCF (Land use, Land-use change, And Forestry) (v češtině Využití krajiny, změny krajiny a lesnictví). LULUCF zahrnuje procesy uvolnění, ale i pohlcování skleníkových plynů, které se týkají změn v používání krajiny, jako jsou změny v lesních ekosystémech, zemědělských plochách, mokřadech a dalších typech krajiny, a jak tyto změny ovlivňují emisní bilanci skleníkových plynů. Jeho hlavní složky jsou:

- **Využití krajiny (Land Use)** – popisuje způsob, jakým je krajina v současnosti využívána, například pro zemědělství, lesnictví, urbanizaci nebo rekreaci.
- **Změny využití krajiny (Land-Use Change)** – odkazuje na procesy, při kterých dochází ke změnám v používání krajiny, jako je například změna lesních ploch na zemědělské plochy nebo naopak. Takové změny mohou ovlivnit schopnost krajiny absorbovat nebo uvolňovat skleníkové plyny.
- **Lesnictví (Forestry)** – součástí LULUCF je také lesnictví, které se zaměřuje na správu a ochranu lesů. Lesy hrají klíčovou roli v regulaci změny klimatu, protože fungují jako pohlcovače uhlíku (absorbují CO<sub>2</sub>).

LULUCF je součástí mezinárodních klimatických dohod, jako je Pařížská dohoda, a jeho monitorování a řízení je klíčové pro dosažení cílů v oblasti zmírnění změny klimatu. V rámci těchto dohod se země zavazují snižovat emise skleníkových plynů, a to i prostřednictvím udržitelných postupů v oblasti využívání krajiny a lesnictví.

Můžeme tedy konstatovat, že zemědělství a lesnictví mají obrovský potenciál tento plyn ukládat v půdě a případně také v biomase. Klíčovým procesem přispívajícím k ukládání uhlíku je fotosyntéza, ve které je CO<sub>2</sub> vázán do organických sloučenin. Uhlík se tak ukládá do biomasy, což v případě dřevin může být i na desítky let nejen do živých stromů, ale i výrobků ze dřeva. V případě zemědělství je na rozdíl od lesnictví potenciál uložení CO<sub>2</sub> v biomase poměrně omezený, nicméně narůstající podpora a popularita agrolesnictví, případně zalesňování ploch s velmi nízkou produktivitou představuje potenciál významnějšího navýšení této složky.

Druhým obrovským potenciálním úložištěm uhlíku je půda, která je největším terestrickým zásobníkem uhlíku. V půdě se vyskytuje jak v anorganické formě, což jsou zejména karbonáty (uhličitan jako např. vápence, dolomity), tak zejména v organické formě vzniklé rozkladem a přeměnou rostlinných zbytků, odumřelých živočichů či exkrementů hospodářských zvířat. Anorganickému uhlíku, který není součástí organické hmoty, se logicky věnuje daleko méně pozornosti, i když z pohledu jeho vázání v půdě samozřejmě má rovněž svůj význam. V praxi se zkouší například aplikace čedičové moučky do půdy, která vede poutání CO<sub>2</sub> za vzniku anorganických sloučenin uhličitanu vápenatého či uhličitanu hořečnatého.

Naprosto zásadní význam pro ukládání uhlíku v půdě má ovšem uhlík organický. Množství uloženého uhlíku je z převážné části závislé na kvalitě půdy a její schopnosti podporovat produkci biomasy, která je téměř výhradním prostředkem pro dlouhodobé ukládání uhlíku v půdě (Bispo et al., 2017). Ve svrchní vrstvě půdy do hloubky 1 m je uloženo celosvětově mezi 1500–2400 Gt organického uhlíku, což je více než součet množství uhlíku v atmosféře a rostlinné biomase (Ciais et al., 2013). V orné půdě ovšem došlo za posledních 150–200 let díky intenzivnímu hospodaření (zejména intenzivnímu zpracování půdy) k dramatickému poklesu obsahu organického uhlíku o více jak polovinu původního množství. Například v písčitých půdách vedlo intenzivní obdělávání k průměrnému poklesu obsahu organického uhlíku v půdě o 0,16 t C ha/rok (Stevenson et al., 2024). V České republice se na ztrátách obsahu organické hmoty v půdě odrazila rovněž složitá topografie v kom-

binaci s intenzivním obděláváním, která se v důsledku probíhající eroze projevila na svažitých pozemcích poklesem celkové zásoby organického uhlíku v půdě o 28,2 t/ha za období posledních 50 let (Juřicová et al., 2022). V průměru je možné počítat, že došlo za celé období intenzivního obdělávání půdy ke ztrátě více jak 1 % organického uhlíku v absolutním vyjádření, což pro vrstvu půdy do 30 cm znamená úbytek přibližně o 35–40 t organického uhlíku na ha. Významným způsobem k poklesu organického uhlíku přispěla rovněž změna hospodaření v krajině, přičemž je dokumentován pokles způsobený přeměnou přirozených ekosystémů na zemědělskou půdu o 25–30 % v důsledku zvýšené rychlosti rozkladu a snížení přísunu organické hmoty (Badole et al., 2020). Tyto zásadní změny na jednu stranu vedly k významnému zhoršení půdních vlastností a úrodnosti, včetně schopnosti zadržovat vodu, ale současně ukazují také na potenciál opětovného dlouhodobého uložení uhlíku v orné půdě.

Uhlíkaté látky jsou zdrojem i zásobárnou živin pro rostliny, podílí se na stabilitě půdních agregátů a sorpčních vlastností půdy. ÚKZÚZ sleduje obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), který představuje jeden ze zásadních indikátorů obsahu organické hmoty v půdě integrující v sobě jak stabilní, tak i labilní složku půdní organické hmoty. Jedná se o primární organickou hmotu v podobě rozložených i nerozložených kořenů, kořenového vlášení, exudátů, posklizňových zbytků, odumřelých mikroorganismů, dodaných organických hnojiv a dále humusové kyseliny a fulvokyseliny.

Dlouhodobé polní pokusy ovšem ukazují, že předchozí snahy o dlouhodobé ukládání uhlíku v půdě, založené v naprosté většině na dodávání odumřelé biomasy do půdy (ať již ve formě statkových hnojiv či zaorávání slámy), jsou ovšem poměrně málo úspěšné, přičemž doba reálného uložení uhlíku s použitím běžně doporučených metod dosahuje pouze jednotek let. Navzdory veškerému úsilí a existujícím podporám i v ČR objem organického uhlíku v půdě vytrvale klesá.

Hlavní podstatu tohoto problému pomohly odhalit teprve nedávné vědecké studie, zaměřené na význam stability frakcí organického uhlíku, které rozdělují půdní organický uhlík na tzv. „particulate organic matter“ – POM tedy organický uhlík představovaný fragmenty odumřelé rostlinné biomasy tvořené převážně celulózou a ligninem, a tzv. „mineral-associated organic matter“ – MAOM, tedy organický uhlík poutaný na minerální částice v půdě (Lavallee et al., 2020). POM přitom podléhá velmi rychlému rozkladu mikroorganismy a jeho stabilita se počítá pouze v jednotkách let. Velmi časté navíc je, že dodávání organického uhlíku založeného na POM vede dokonce k tzv. „priming efektu“ tj. nastartování zrychleného rozkladu, přičemž po krátkodobém zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě dochází k následnému poklesu dokonce pod původní úroveň (Kuzyakov, 2010). Naopak organický uhlík poutaný na minerální částice (MAOM) vykazuje stabilitu v desetiletích a spíše pak v řádech stovek let, protože tento organický uhlík je chráněn před přímým mikrobiálním rozkladem chemickými vazbami jednoduchých organických sloučenin na minerální částice (jíl a prach), a tyto jsou navíc fyzikálně chráněny uzavřením uvnitř mikropórů či malých půdních agregátů (Cotrufo et al., 2019).

Poutání organického uhlíku v půdě na minerální částice probíhá obvykle ve formě jednoduchých sloučenin (především aminocukrů) jejichž původem jsou buďto přímo rostliny, které je vylučují ve formě kořenových exsudátů, nebo jsou přeměňovány půdními mikroorganismy (zejména mykorhizními houbami), v obou případech je ovšem zdrojem tohoto uhlíku živá rostlina. Pro dlouhodobé uložení uhlíku je tedy zcela zásadní trvalý vegetační pokryv, při kterém jsou rostlinami kontinuálně dodávány do půdy jednoduché organické sloučeniny vytvářené v procesu fotosyntézy, přičemž tento podíl může tvořit až 40 % fotosynteticky fixovaného uhlíku (většinou ale do 20 %). Trvalý vegetační pokryv na orné půdě je dosažitelný kombinací pěstování druhově bohatých meziplodin a tzv. štafetového intercroppingu (pěstování hlavní plodiny s pomocnými rostlinami, které vegetují po sklizni hlavní plodiny), případně i dosažením dvou sklizní hlavních plodin. Naopak ponechání holé půdy bez vegetace (černý úhor) vede k průměrnému ročnímu poklesu obsahu organického uhlíku až o 0,5 t/ha (Tiefenbacher et al., 2021). Podobně lze významným způsobem zvýšit uložení uhlíku přeměnou orné půdy na louky a pastviny. V půdě na pastvinách se celosvětově nachází o cca 50 % více organického uhlíku než v lesní půdě. Přitom platí, že přeměnou orné půdy na pastvinu je možné zvýšit množství organického uhlíku až o 40 %.

Další klíčovou podmínkou dlouhodobého ukládání uhlíku v půdě by mělo být co nejmenší narušování půdního prostředí kultivací, tj. používání bezorebných nebo strip-till technologií, které představují významný prvek z pohledu stability agregátů, a tím fyzikální ochrany organického uhlíku před rozkladem, a současně jsou nezbytné pro rozvoj mykorhizních hub, které jsou intenzivním zpracováním půdy narušovány. Bezorebné technologie zásadně přispívají ke zvýšení poměru mezi houbami a bakteriemi v půdě, přičemž mikrobiální společenstva vykazující vyšší zastoupení hub vedou ke kvantitativně i kvalitativně (vyšší stabilita) vyššímu ukládání uhlíku v půdě (Six et al., 2006). Jak ovšem uvádí (Powlson et al., 2014), potenciál samotného bezorebného hospodaření na zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě je poměrně malý a obvykle průkazný pouze ve svrchní vrstvě půdy do hloubky 10 cm. Zásadní efekt těchto technologií na dlouhodobé ukládání uhlíku se pak dostavuje, zejména pokud jsou kombinovány s dalšími opatřeními, která zajišťují trvalý zelený pokryv. Veloso et al. (2018) prokázali největší roční nárůst organického uhlíku v půdě, pokud byla bezorebná technologie kombinována s pěstováním meziplodiny zahrnující leguminózu a současně při použití přiměřených dávek dusíku eliminujících počáteční limitaci dusíkem, přičemž průměrná rychlost ukládání uhlíku u této technologie činila 1.15 t/ha za rok do hloubky 100 cm.

Organické formy uhlíku podléhají mineralizaci (přeměně organické formy na jednoduché sloučeniny), např. přeměně uhlíku na oxid uhličitý, ale i na  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a další živiny. Samotná mineralizace závisí na počtu mikroorganismů, je zdrojem energie pro jejich aktivitu, závisí ale také na podmínkách půdního prostředí a složení organické hmoty. Mezi mikroorganismy řadíme bakterie, archeobakterie, aktinobakterie a půdní houby. Jejich rychlost je od řádu týdnů (jemné kořínky), měsíců (zelené hnojení) až desítek let (fulvokyseliny, huminové kyseliny) dle Šarapatky et al. (2010).

Kromě toho vliv na množství uhlíku a jeho uvolňování mají tyto faktory:

- o zejména původní zásoba uhlíku,
- o teplota a její změna,
- o množství srážek,
- o typ ekosystému – největší ztráty lze očekávat v oblasti severské tajgy (pás jehličnatých lesů), v případě tundry (stále zmrzlá půda) se naopak očekává nárůst sekvestračního (ukládacího) potenciálu (kvůli většímu množství vegetace, jemuž oteplování poskytne vhodné podmínky). Pozn. pozor nepleťme si vliv metanu ( $\text{CH}_4$ ), kde u oteplení a rozmrazení permafrostu je situace zcela opačná.

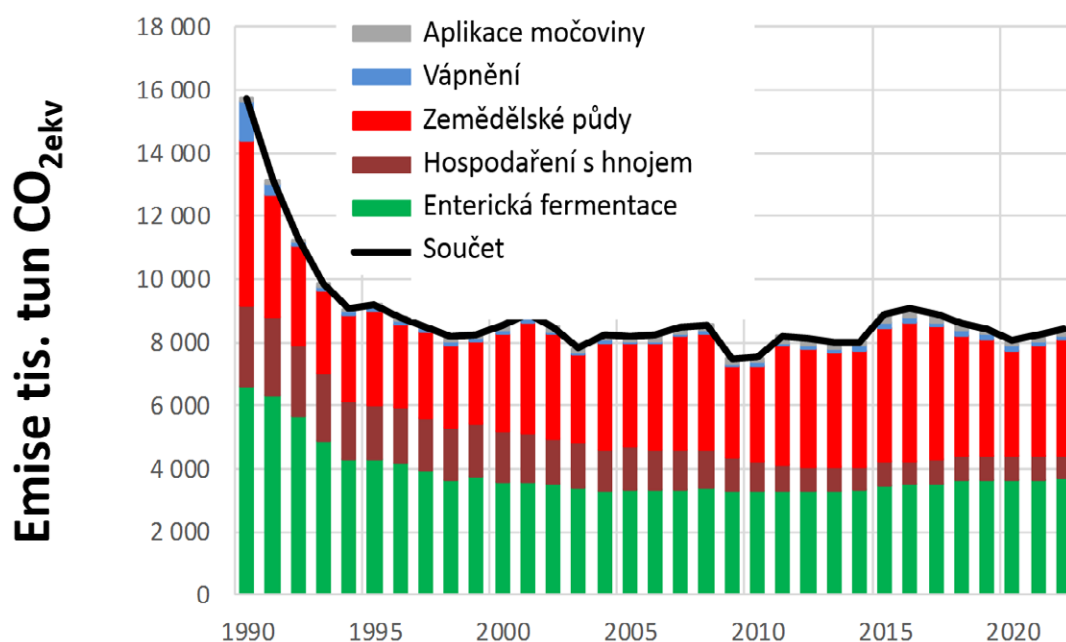
Na množství uhlíku uvolněného z půdy formou  $\text{CO}_2$  se podílí nemalou měrou člověk i to změnami ve využívání půdy. Například pokud jsou původně travní půdy obdělávané, půda se rozruší a obsah organického materiálu v ní klesá. To je způsobeno tím, že narušením půdy se zlepší podmínky (vlhkost, provzdušnění) pro mikrobiální aktivitu, která organický materiál rychleji rozkládá. Kromě toho je část primární produkce odstraněna s úrodou (Six et al., 1998). Stejný efekt má i převedení lesních porostů na zemědělskou půdu nebo vysušení rašelinišť, kde je uložena velká vrstva organického materiálu a při odstranění vody se tento materiál stane snadno dostupným pro mikroorganismy.

Jedním ze směrů, který bezesporu daný cíl (uložení uhlíku do půdy) naplňuje, je tzv. regenerativní zemědělství, jehož cílem je posílení půdní úrodnosti na základě obnovení života v půdě vytvořením optimálních podmínek pro mykorhizní (mycés – houba, rhizó – kořen) symbiotický vztah mezi houbami a kořeny rostlin. Mykorhizní houby následně produkují spoustu enzymů, které uvolňují minerální živiny z organické hmoty, a ty jsou takto přístupnější rostlinám. Principy setí do nezpracované půdy, druhově pestrých meziplodin, aplikace kompostu a dalších pro regenerativní zemědělství zásadních principů v důsledku představují efektivní způsob přesunu  $\text{CO}_2$  z atmosféry (má přebytek uhlíku) do půdy (má nedostatek uhlíku).

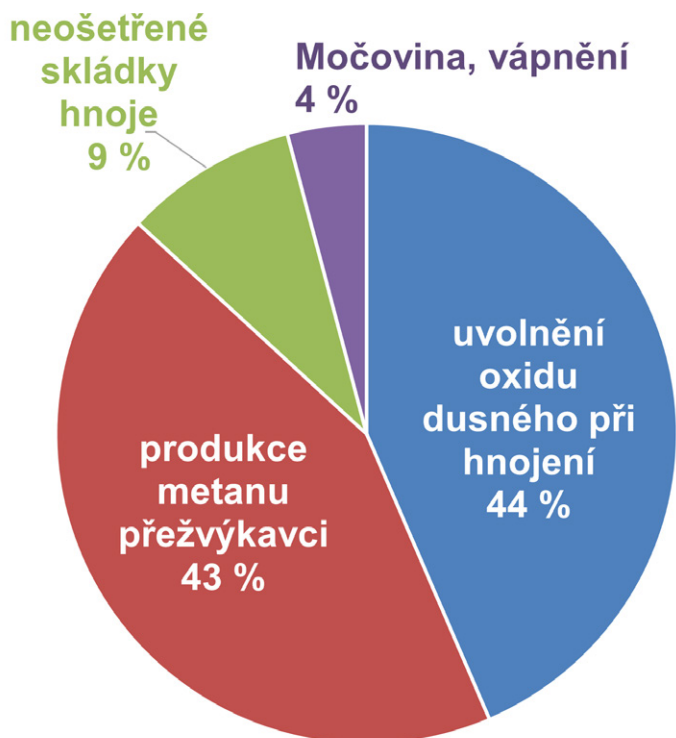
### 5.3.2. Hlavní emise ze zemědělství – metan a oxid dusný

Hlavními emisemi v českém zemědělství je metan ( $\text{CH}_4$ ) ze živočišné výroby (enterická fermentace přežvýkavců) a uvolňování oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ze zemědělských půd. K tomu lze připočítat další zdroje, jako je aplikace močoviny v nevhodných podmínkách ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hospodaření s hnojem ( $\text{CH}_4$ ) a minoritně i vápnění ( $\text{CO}_2$ ). Jejich vývoj od roku 1990 a současná stav lze vidět na Obr. 62 a Obr. 63. Z obrázků lze vyvodit následující závěry:

Nejvýznamněji se podílí na skleníkových plynech ze zemědělství enterická fermentace v předžaludku přežvýkavců (naprosto dominantně skotu) a uvolnění oxidu dusného následkem nadměrného hnojení minerálními hnojivy. Množství emisí ze zemědělství od počátku 90. let kleslo o cca polovinu především z důvodu snížení stavu skotu. Naproti tomu emise  $\text{N}_2\text{O}$  ze zemědělské půdy narůstaly mírně až do roku 2010 a nyní zůstávají na stabilní úrovni.



**Obr. 62:** Vývoj emisí z českého zemědělství od roku 1990, zdroj: Národní inventarizační zpráva NIR skleníkových plynů České republiky 2024 (data z 2022)



**Obr. 63:** Podíl skleníkových plynů metanu  $\text{CH}_4$ , oxidu dusného  $\text{N}_2\text{O}$  a oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  z českého zemědělství, zdroj: Národní inventarizační zpráva NIR skleníkových plynů České republiky 2024 (data z 2022) (Mimo LULUCF, viz kap. 5.3.1)

### 5.3.3. Možnosti redukce oxidu dusného a metanu v zemědělství

Lze redukovat emise ze zemědělství? Velmi jednoduše. Stačí přestat hnojit hnojivy obsahující dusík a snížit počty chovaných zvířat. Ale teď pomejme tyto nesmyslné úvahy a zamysleme se nad problémem seriózně. U dusíkatých hnojiv musí být cílem jejich maximální efektivita využití, která vede k omezení množství minerálního dusíku v půdě nevyužitého rostlinami, a tím i k zásadnímu snížení nabídky pro přeměnu minerálního dusíku na  $\text{N}_2\text{O}$  půdními mikroorganismy. To má kromě snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$  zásadní dopad také na ekonomiku rostlinné produkce. Na půdách nehojených dusíkem jsou emise oxidu dusného velmi nízké, naopak při hnojení dusíkem v minerální i organické formě se emise oxidu dusného zvyšují exponenciálně s dávkou, respektive s množstvím dusíku nevyužitého rostlinami (Maaz et al., 2021).

Zásadním opatřením pro snižování emisí  $\text{N}_2\text{O}$  je proto omezení nadbytku minerálního dusíku v půdě (zejména nitrátového), který není okamžitě přijímán rostlinami a může být za anaerobních podmínek (například po intenzivním dešti) transformován zejména v procesu denitrifikace na  $\text{N}_2\text{O}$ . Využití metod precizního zemědělství, výnosových a půdních map založených na metodách dálkového průzkumu země a půdního vzorkování a zavedení řízené aplikace dusíku by mělo být během několika let samozřejmostí hospodaření na orné půdě. Správně načasovaná aplikace vzhledem k srážkám a stavu půdy, zvýšení efektivity využití dusíku po-



mocí inhibitorů ureázy (zpomalí přeměnu močoviny na amoniak o jeden až dva týdny) a nitrifikace (zpomaluje přeměnu dusíku amonné formy na mobilní nitrát o šest až deset týdnů) pro postupné uvolňování dusíku mohou být rovněž účelnou cestou.

Uvolnění oxidu dusného, který vzniká procesy nitrifikace ( $\text{NH}_4\text{-NO}_3$ ) a denitrifikace ( $\text{NO}_3\text{-N}_2\text{O}$ ), nelze zcela eliminovat. Je ale rozdíl, a ovlivnit lze, zda se z aplikované dávky uvolní 1 % ve formě  $\text{N}_2\text{O}$  nebo procent více. Pokud dojde k nasycení půdy vodou, je proces denitrifikace, a s tím spojené emise  $\text{N}_2\text{O}$ , nevyhnutelný. Rovnoměrným zásobováním rostlin dusíkem v množství, které jsou rostliny schopny velmi rychle využít, vede k zásadnímu snížení emisí  $\text{N}_2\text{O}$ . Například v Evropě se podařilo díky specifickým opatřením v zemědělství zaměřeným na množství vstupů tzv. reaktivního dusíku snížit emise  $\text{N}_2\text{O}$  o 37 % (Petrescu et al., 2019). Stejně tak může pozitivně přispívat ke snižování emisí  $\text{N}_2\text{O}$  zajištění vysokého podílu makropórů v půdě, pro které je nezbytná stabilita půdních agregátů. V takové půdě se udržuje dostatečné provzdušnění i při vydatnějších srážkách. Obdobně je v zájmu každého pěstitelů skladovat dusíkatá hnojiva v optimálním suchém prostředí.

Ještě absurdnější je volání po ukončení chovu skotu, jako hlavního zdroje produkce metanu ( $\text{CH}_4$ ). Kam by to vedlo, bylo naznačeno v předchozí kapitole. Nejen ke snížení diverzity naší krajiny (omezení pěstování víceletých krmivových píceň, tedy zlepšujících plodin), ale i k dovozu masa za vyšší ceny, resp. stejné ceny s nižší kvalitou a s podstatně vyšší uhlíkovou stopou. O absenci již tak malého množství hnoje a snížení kvality půdy ve smyslu úrodnosti a schopnosti zadržet vodu ani nemluvě. Jen pro zajímavost ČR má v roce 2024 cca 0,3 VDJ/ha (pozn. 1 VDJ = 500 kg živé hmotnosti zvířat, což je podle průměrných hmotností kráva = 1, ovce = 0,1, drůbež = 0,004, prase = 0,2) zatímco naši sousedé Rakousko, Německo, Polsko jsou na tom dvojnásobně lépe. Státy jako Holandsko, Španělsko nebo Dánsko se dostávají i nad 2 VDJ.

Lze tedy snížit produkci metanu bez další redukce stavů přežvýkavců? Bachor přežvýkavců je unikátní „zařízení“ schopné získat živiny i z potravy, ve které jsou pro jiná zvířata prakticky nedostupné. Nachází se v něm specifická mikloflóra nezbytná pro trávení krmiva včetně celulózy. Při tomto procesu vzniká metan. Vzniklý metan není využíván samotným zvířetem, ale představuje energetickou ztrátu a je následně odstraněn z organismu. Kráva ho z naprosté většiny vypouští předem (eruktací = říháním). Men-

ší část metanu (10–15 %) vzniká ve střevech a odchází přirozeně konečným v procesu zvaném flatulence. Jedna kráva (býk) je schopna uvolnit denně až 0,3 kg metanu, ročně podle kvality krmení až 100–160 kg metanu (Hristov et al., 2015).

Jak uvádí Smith et al. (2021) podíl zemědělství na antropogenní světové produkci metanu je dominantní a činí 68 % (enterická fermentace, produkce rýže, nakládání s hnojem), zbytek jsou zdroje mimo zemědělství hlavně úniky zemního plynu a skládky. Jak již bylo uvedeno, největší podíl v zemědělství připadá na enterickou fermentaci přežvýkavců a pěstování rýže. Mimochodem, víte proč se rýže pěstuje prakticky v trvale vodním prostředí? Kde se následně po anaerobních procesech uvolňuje metan? Rýže výborně snáší zamokření, ale na ni navázané plevele a některé choroby ani škůdci ne. Voda v tomto ohledu působí jako pesticid a rýži ochraňuje. Produkce metanu je enormní a je skutečností, že v mnoha oblastech pěstování rýže nyní převládá mezisezónní odvodňování.

Zpět ale k produkci metanu. Jaké jsou tedy cesty ke snížení produkce metanu v živočišné produkci:

- Vývoj krmných aditiv (doplňkové látky), které neškodně potlačují mikroorganismy v bachoru, resp. metanogenezi např. Roque et al. (2021) dokázali snížit produkci metanu pomocí mořských řas (*Asparagopsis taxiformis*) až o desítky procent. Metanogenezi mohou ovlivňovat také přírodní rostlinné produkty na bázi taninů, saponinů či esenciálních olejů (Gerber et al., 2013). I na našem trhu jsou v současnosti dostupná aditiva omezující enterickou fermentaci a produkci metanu.
  - Úprava krmných dávek a zvýšení efektivity konverze (účinnosti) krmiva – efektivnější konverze vede nejen k menší produkci metanu, ale i hnoje, ze kterého se rovněž metan uvolňuje (např. Darabighane et al., 2021).
  - Šlechtění – snížení produkce metanu na genetické úrovni, cílem je přijímat méně krmiva a produkovat více mléka s upravenými bakteriemi v bachoru, které snižují produkci metanu.
  - Další opatření směrem k snižování metanu jsou spojená s hospodařením s hnojem a kejdou (anaerobní fermentory, kryté skladování, ošetření enzymatickými látkami), další technická opatření jako je využití biofiltrů a omezení emisí metanu u větraných stájí (prasata, drůbež), ale i udržování dobrého zdravotního stavu u zvířat (omezení mastitid).
- Nezapomeňme, že zásadní opatření je i změna chování člověka k potravinám ve směru omezení jejich plýtvání!

# 6. PRAVDĚPODOBNOU VÝVOJ KLIMATU V ČR

K oblíbeným bonmotům na adresu klimatologů patří otázka: „Jak můžete předpovídat, jak bude za padesát let, když ani pořádně nevíte, jaké počasí bude pozítří.“ Tento bonmot vyplývá z neznalosti rozdílu mezi předpovědí počasí a předpovědí vývoje klimatu v budoucnosti. Rozdíl mezi počasím a klimatem je popsán hned na začátku první kapitoly. Klimatolog se nesnaží zjistit (a ani nemůže), jaké bude počasí dne 1. července 2050, ani jak slunný bude konkrétní rok 2050. To prostě nelze, z důvodu variability počasí. Co umí klimatolog je, že na základě vývoje klimatu v minulosti, znalosti citlivosti počasí k určitým parametrům, matematického vyjádření fyzikálních procesů tvořících počasí a na základě určitých předpokladů možné změny některých parametrů dokáže s určitou statistickou přesností namodelovat trend vývoje budoucího klimatu. Takže neřeší, jaké bude kdy počasí v konkrétním roce, ale jaká pravděpodobně bude např. průměrná teplota v období 2030–2060 nebo 2040–2070 atd. Klimatolog tedy neřeší počasí v budoucích letech, ale trend vývoje klimatu do budoucnosti.

Pro popis vývoje klimatu ČR jsou nejčastěji použity nejnovější výstupy globálních klimatických modelů CMIP6 (z anglického Coupled Model Intercomparison Project). Ty mají různé prostorové rozlišení. Projekce klimatu je pro každý bod ve vzdálenosti 50 až 250 km od toho dalšího. To by bylo pro podmínky ČR nevyhovující, proto byly statisticky převedeny do rozlišení 0,5 km, což umožňuje popsat věrně změnu klimatu i v tak složitém terénu, jako je v ČR.

Globální klimatické modely (z anglického Global climate models, dále GCM) jsou navázány na tzv. socioekonomické scénáře. Ty reflektují různé možné budoucí trajektorie vývoje světa nejen z pohledu emisí či výsledných koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, nýbrž i z hlediska různého hospodářského a společenského vývoje na planetě. Poslední 6. hodnotící zpráva IPCC (AR6) pracuje se scénáři socioekonomického vývoje, tzv. Shared Socioeconomics Pathways (SSP).

V jednoduchosti lze jednotlivé scénáře změny klimatu používané na vstupu GCM simulací interpretovat takto:

- ▶ SSP1–2.6: udržitelná cesta vývoje, jsou realizována úspěšná opatření na ochranu klimatu, koncentrace CO<sub>2</sub> v roce 2100 je očekávána na mírně vyšší než současná hodnota, a to na 446 ppm (parts per million), nárůst globální (světové) teploty je na úrovni 1,6 °C.
- ▶ SSP2–4.5: střední cesta, probíhá degradace environmentálních systémů, ale jsou některá zlepšení týkající se využívání zdrojů energie, jsou realizována částečně úspěšná opatření na ochranu klimatu, koncentrace CO<sub>2</sub> v roce 2100 by měla být 603 ppm, nárůst globální (světové) teploty je na úrovni 2,8 °C.

- ▶ SSP3–7.0: regionální rivalita a konflikty umožňující jen malý ekonomický rozvoj, velmi nízká ochrana klimatu, koncentrace CO<sub>2</sub> v roce 2100 je předpokládána na úrovni 867 ppm, nárůst globální (světové) teploty je na úrovni 4,4 °C.
- ▶ SSP5–8.5: vývoj založený na fosilních palivech, žádná ochrana klimatu, koncentrace CO<sub>2</sub> v roce 2100 je předpokládána na úrovni 1135 ppm, nárůst globální (světové) teploty je na úrovni 5,8 °C.

Označení SSP5–8.5 a SSP3–7.0 signalizují, že na konci století bude radiační působení větší než 8,5 W/m<sup>2</sup>, respektive 7,0 W/m<sup>2</sup>. V SSP1–2.6 a SSP2–4.5 je však radiační působení sníženo na 2,6 W/m<sup>2</sup>, resp. 4,5 W/m<sup>2</sup> prostřednictvím dodatečných opatření na ochranu klimatu.

Pro získání robustnějších výsledků jsou jednotlivé modely a scénáře zpracovány ve společném ansámblu (zohlednění vícenásobného modelového přístupu), a uživateli je tak předložena nejpravděpodobnější očekávaná změna, včetně vyjádření nejistoty. Ta je konstruována tak, že obsahuje dvě nižší a dvě vyšší úrovně projekcí (například teplejší a chladnější nebo sušší a vlhčí). **Tento přístup je aplikován i v kompozitních obrázcích v dalších kapitolách (např. Obr. 65).** Nejpravděpodobnější scénář reprezentuje největší shodu na očekávané změně ze všech použitých klimatických modelů. Z pohledu jednotlivých scénářů to bude nejbližší SSP2–4.5. Nejnížší mez predikcí zobrazena v grafu či v tabulce (např. „chladný“) znamená, že je 95 % šance, že dané hodnoty bude dosaženo (při dodržení opatření daných příslušným scénářem). Nejvíce to odpovídá scénáři SSP1–2.6. Naopak opačná nejvyšší mez říká, že existuje 5 % šance, že tato hodnota bude překročena. Ta v případě teplot vzduchu nejčastěji odpovídá scénáři SSP5–8.5. Menší míry nejistoty vyznačené v grafu nebo v tabulce (např. „mírně teplejší“) určují 75 % respektive 25 % šanci, že k takové změně dojde. Z jednotlivých scénářů budou nejvíce odpovídat SSP2–4.5, chladnějším modelům ve variantě SSP5–8.5 či teplejším variantám SSP1–2.6.

## 6.1. Očekávaná změna klimatu

V této kapitole je popsán výhled projekcí základních prvků či klimatických indexů, které dokáží reprezentovat rizika spojená s teplotou vzduchu, extrémními srážkami či povodněmi, anebo naopak se suchem či lesními požáry. Výstupy jsou prezentovány jako průměr za celé území České republiky.

### 6.1.1. Teplota vzduchu

I v té nejchladnější variantě předpokládají klimatické modely, že bude nadále docházet k postupnému oteplování (Obr. 64). V polovině století se podle nejpravděpodobnějšího scénáře oteplí o 2 °C (1,8–2,5 °C) a ke konci století o 3,1 °C (2,5–3,9 °C). Pokud se nám nepodaří zmírnit tempo nárůstu teplot vzduchu, tak v nejpessimističtější variantě s malou mírou pravděpodobnosti se může oteplít i přes 5 °C (Tab. 11). Naopak pokud se budeme snažit dělat vhodná opatření a podaří se snížit množství antropogenních skleníkových plynů, tak by mohlo dojít k oteplení „jen“ o 1,4 °C oproti období 1981–2010. To by se pak klima vesměs vrátilo k aktuálním podmínkám (Obr. 65).

**Tab. 11:** Rozdíl průměrné teploty vzduchu (°C) pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s teplotou roku 1995. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

	varianta	chladná	mírně chladná	střední	mírně teplá	teplá
Teplota (°C)	1995			8		
Rozdíl (°C)	2005			+0,5		
	2025	+1	+1,1	+1,2	+1,5	+2
	2035	+1,3	+1,4	+1,6	+2	+2,7
	2045	+1,4	+1,8	+2	+2,5	+3,2
	2055	+1,5	+2,2	+2,5	+2,9	+3,8
	2065	+1,5	+2,4	+2,9	+3,4	+4,4
	2075	+1,4	+2,5	+3,1	+3,9	+5,1

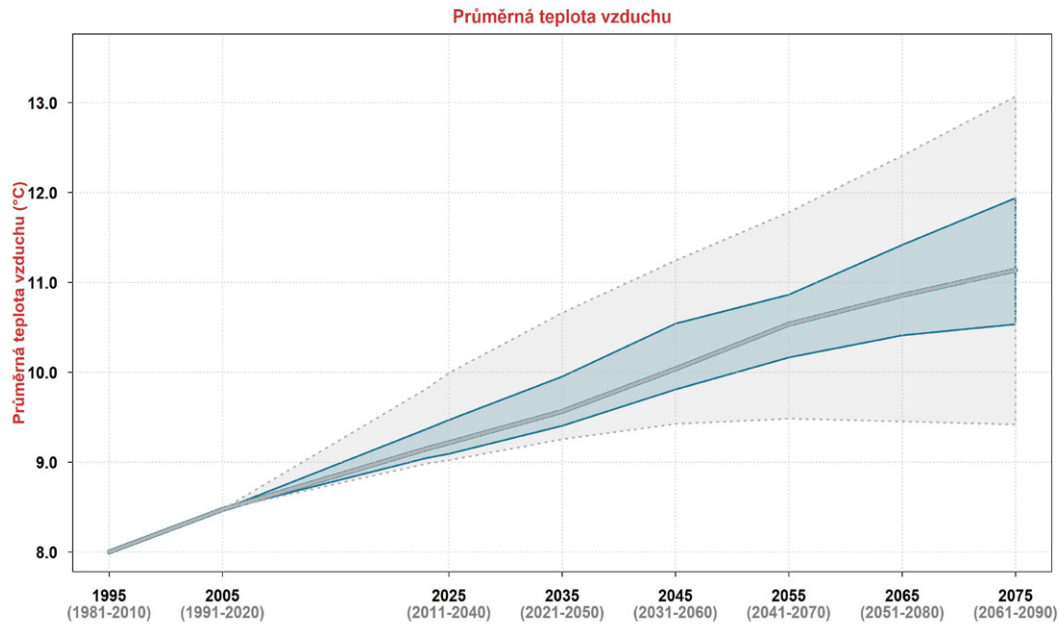
**Tab. 12:** Rozdíl průměrné teploty vzduchu (°C) v jednotlivých sezónách od teploty roku 1995 podle nepravděpodobnější varianty vývoje klimatu. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

		zima	jaro	léto	podzim	duben -září	říjen -březen
Teplota (°C)	1995	0,1	8,1	17,1	8,0	14,2	1,8
	2005	+0,6	+0,3	+0,6	+0,3	+0,5	+0,5
Rozdíl (°C)	2025	+1,3	+1,0	+1,4	+1,2	+1,3	+1,2
	2035	+1,4	+1,4	+1,9	+1,4	+1,7	+1,5
	2045	+1,8	+2,1	+2,5	+2,0	+2,3	+2,0
	2055	+2,3	+2,4	+2,9	+2,3	+2,7	+2,4
	2065	+2,7	+2,6	+3,3	+2,8	+3,0	+2,8
	2075	+3,0	+2,8	+3,6	+3,1	+3,3	+3,1

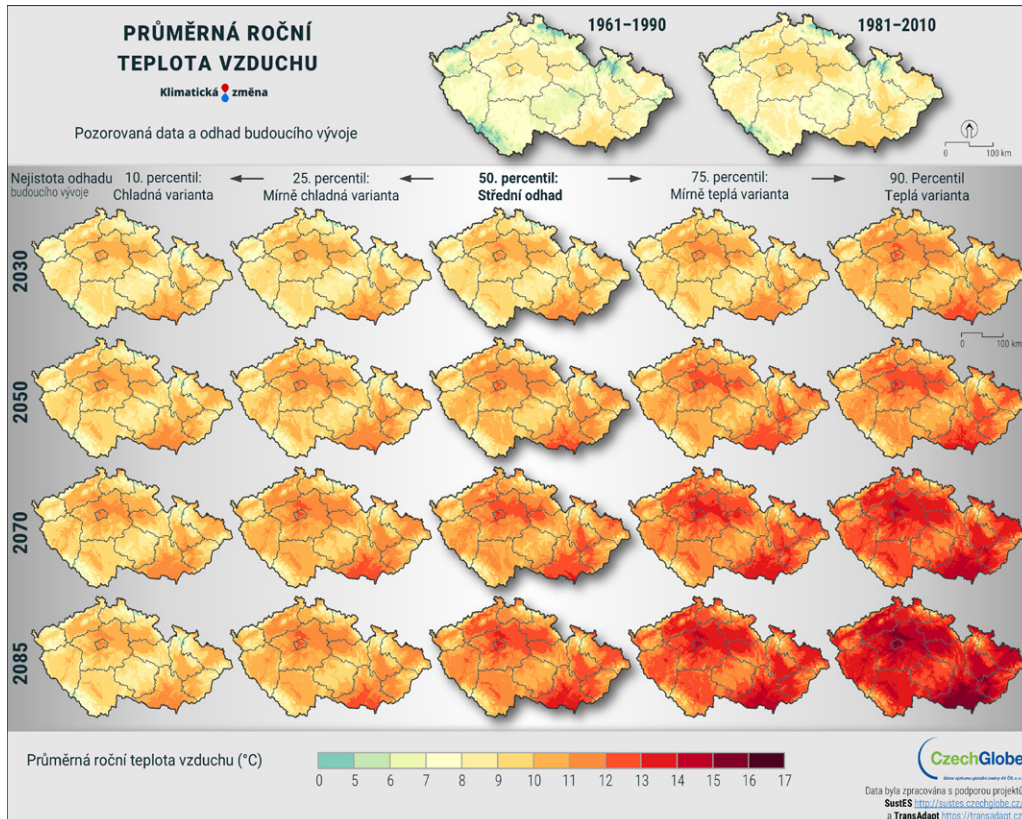
Oteplovat se bude nadále v rámci celého roku. Nejvyšší nárůst teplot vzduchu by měl být v letních měsících, a to v polovině století o +2,5 °C podle nejpravděpodobnějšího scénáře a ke konci století až o +3,6 °C (Tab. 12).

#### Horké dny

Jedním z významných negativních dopadů oteplování je logicky i růst horkých dnů v letním půlroce (Zahradníček et al., 2022). Typickou charakteristikou pro naše oblasti je tzv. tropický den, což znamená, že teplota vzduchu dosáhne aspoň 30 °C. Pokud je těchto dnů více za sebou, tak nastává tzv. horká vlna, která bohužel neblaze působí na lidské zdraví a také na přírodu. Například v roce 2022 způsobily horké vlny jen v Evropě kolem 60 tis. nadúmrtí. Stejně tak je nebezpečný i výskyt tzv. tropických nocí, kdy teplota vzduchu neklesne pod hranici 20 °C. Tento fenomén je spjatý i s tepelným ostrovem města, který kvůli horší ventilaci městského prostředí nechává město vyhřáté vlivem povrchů i v noci.



**Obr. 64:** Nárůst teploty vzduchu (°C) v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu), zdroj: climrisk.cz



**Obr. 65:** Průměrná teplota vzduchu (°C) podle jednotlivých variant a období

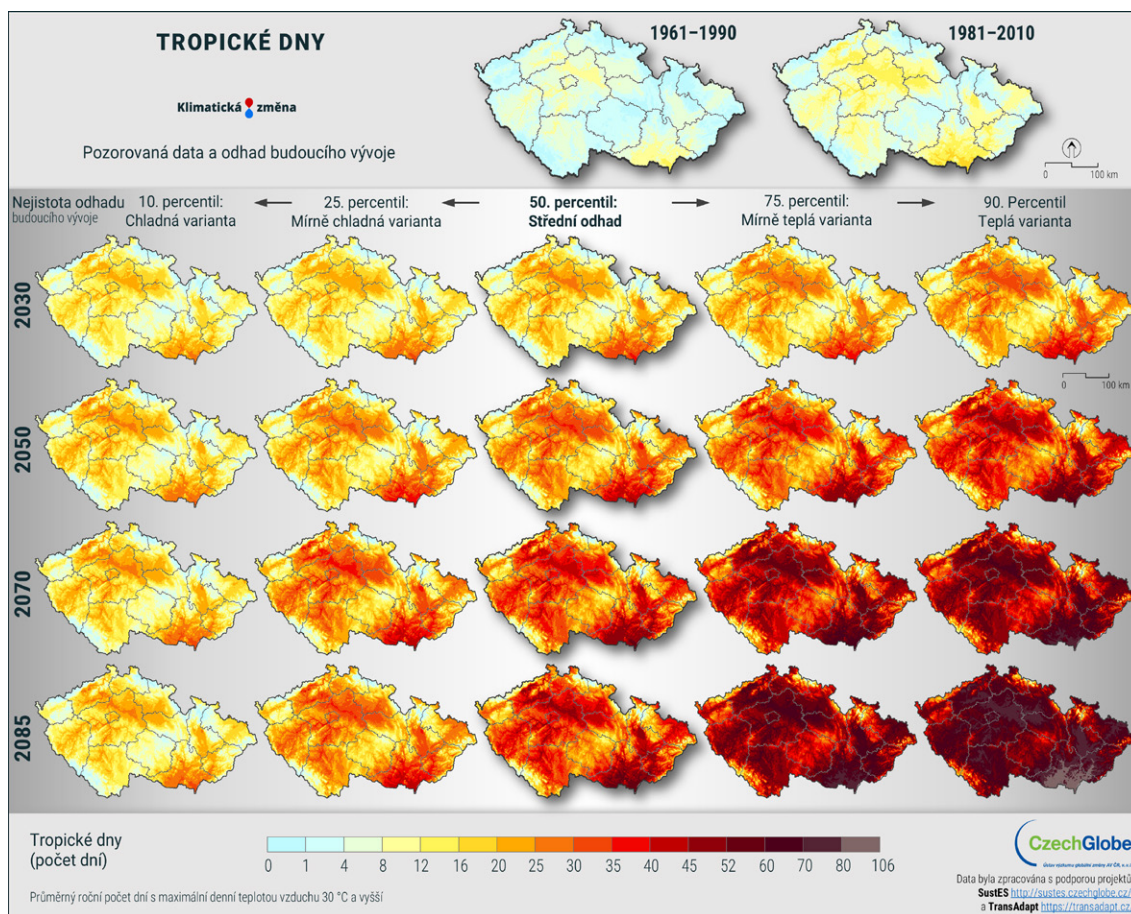


## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR

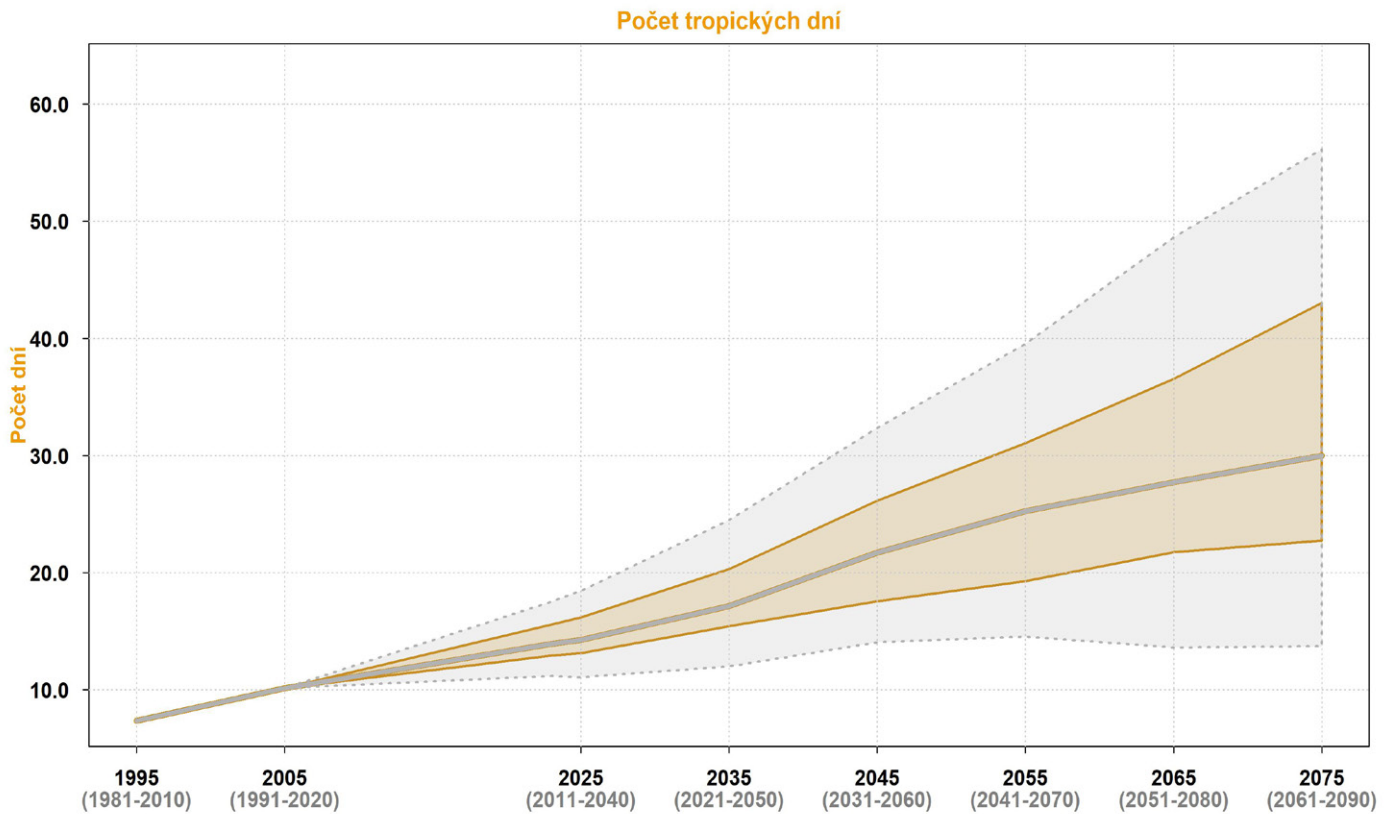
varianta	chladná	mírně chladná	střední	mírně teplá	teplá
1995			7,4		
2005			10,1		
2025	11,1	13,1	14,3	16,2	18,5
2035	12,0	15,4	17,2	20,3	24,5
2045	14,1	17,6	21,7	26,2	32,4
2055	14,5	19,3	25,3	31,0	39,5
2065	13,6	21,8	27,7	36,6	48,7
2075	13,7	22,8	30,0	43,0	56,2

**Tab. 13:** Počet tropických dnů pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný počet z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

V období 1981–2010 se objevovalo v průměru za celou republiku 7 tropických dnů za rok (Tab. 13). Logicky v nižších polohách to bylo podstatně více než na horách, kde se tyto dny vyskytují sporadicky (Obr. 66). V polovině století by podle nejpravděpodobnějšího scénáře mělo dojít k nárůstu na 22 dnů, tedy na trojnásobek. V nejpesimističtější scénáři by byl průměr za rok okolo 32 dnů. Ke konci století by se mohlo vyskytovat v průměru 23 až 43 tropických dnů za rok, což je nárůst o troj až téměř šestinásobek (Obr. 67). Pokud by nastala varianta s výrazným omezením skleníkových plynů, tak těchto dnů bude v průměru jen 14 za rok, což je již jen mírně vyšší číslo, než nyní pozorujeme.



**Obr. 66:** Počet tropických dnů (maximální teplota vystoupí na 30,0 °C a více) podle jednotlivých variant a období



**Obr. 67:** Nárůst počtu tropických dnů (maximální teplota vystoupí na 30,0 °C a více) v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu) zdroj: climrisk.cz

**Tab. 14:** Počet mrazových dnů pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný počet z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

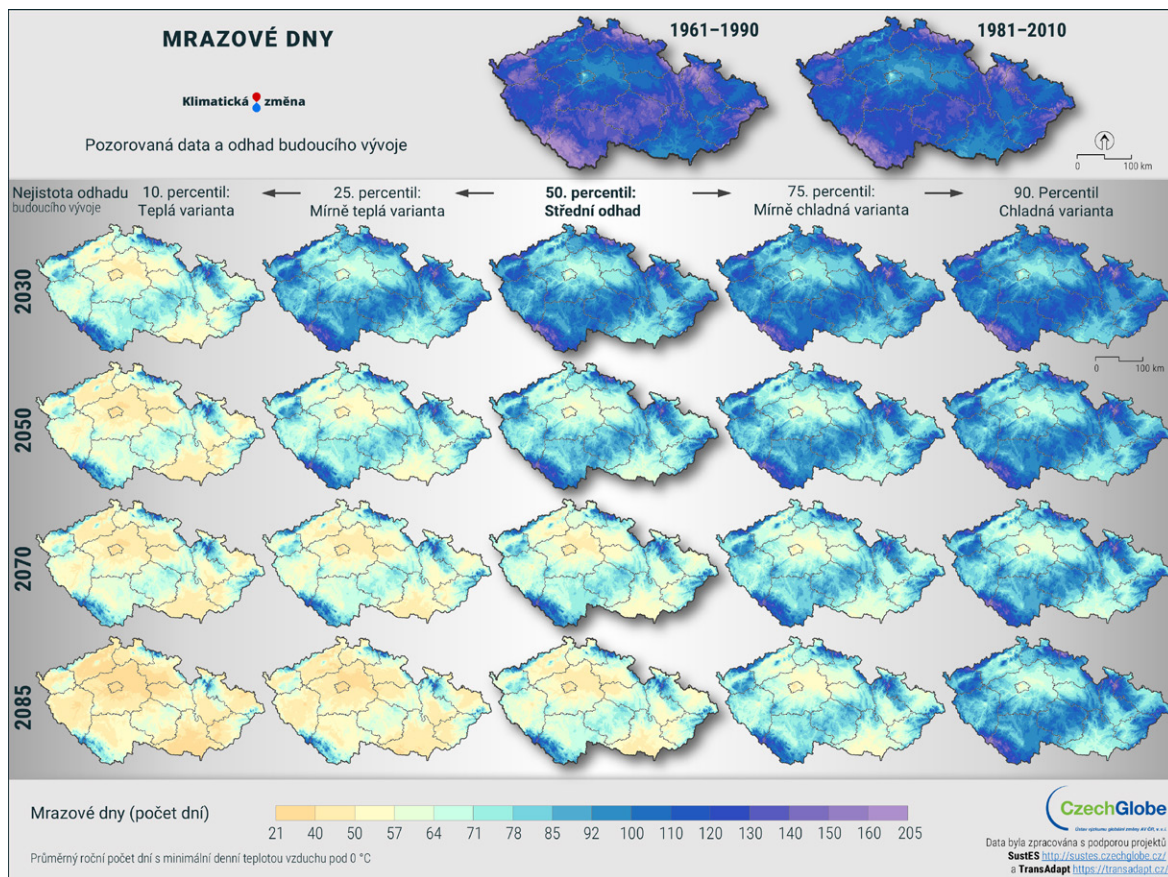
#### Mrazové dny

Důležitým faktorem pro zimní sezónu jsou teploty vzduchu pod bodem mrazu. Den, kdy klesne teplota během dne pod 0 °C, nazýváme jako mrazový. V tyto dny se mohou objevit srážky ve formě sněžení a může se vyskytnout sněhová pokrývka. S rostoucí nadmořskou výškou počet těchto dnů roste. Jenže v posledních dekádách pozorujeme setrvalý pokles, a to i v horských oblastech. Mrazové dny jsou navíc také významným faktorem během jarních měsíců, ve kterých způsobují častější škody na vegetaci (Zahradníček et al., 2023).

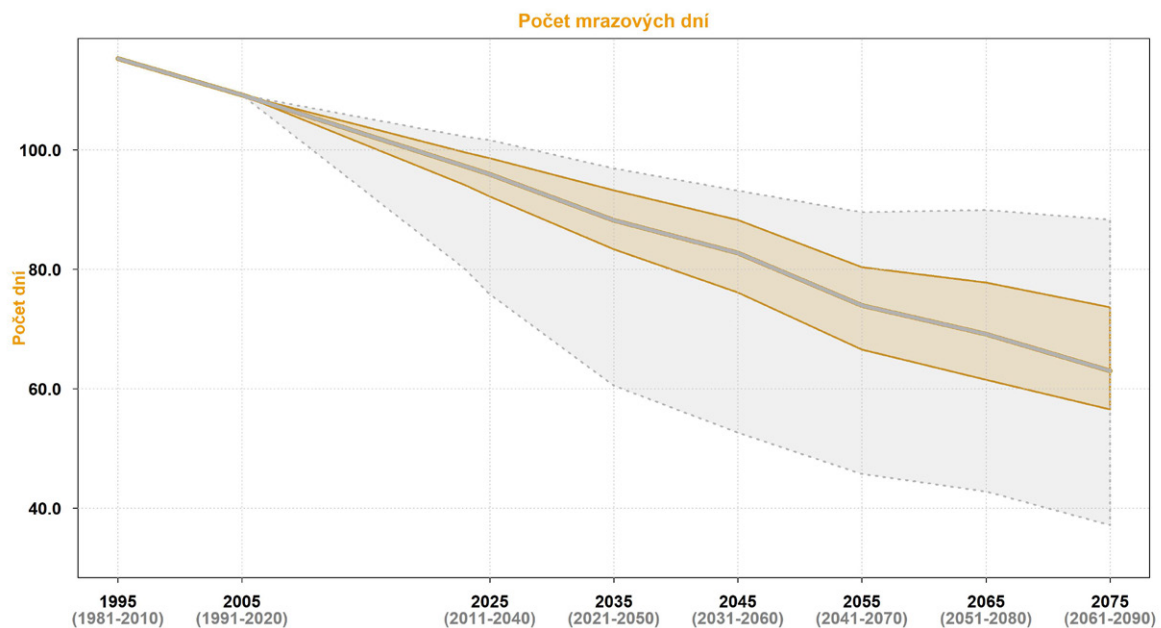
Mrazových dnů bylo v průměru 115 v období 1981–2010 (Tab. 14). Už v posledních 30 letech byl zaznamenán pokles o více než 5 %, a to se mírnější zimy začaly projevovat hlavně až v poslední dekádě. Do poloviny století má klesnout počet těchto dnů zhruba o 30 % a ke konci století prakticky na polovinu v tom nejpravděpodobnějším scénáři (Obr. 68). S pravděpodobností okolo 5 % může tento počet dnů ke konci století klesnout prakticky o 2/3. Naopak s 95% jistotou bude mrznoucích dnů minimálně o 25 % méně (Obr. 69).

varianta	chladná	mírně chladná	střední	mírně teplá	teplá
1995			115,3		
2005			109,2		
2025	75,8	92,2	95,9	98,6	101,7
2035	60,5	83,4	88,2	93,3	96,9
2045	52,7	76,1	82,7	88,3	93,2
2055	45,8	66,6	73,9	80,4	89,6
2065	42,8	61,5	69,2	77,8	89,9
2075	37,2	56,5	63,0	73,6	88,3

## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR



**Obr. 68:** Počet mrazových dnů (minimální teplota klesne pod 0,0 °C) podle jednotlivých variant a období



**Obr. 69:** Počet mrazových dnů (minimální teplota klesne pod 0,0 °C) v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu) zdroj: climrisk.cz



### 6.1.2. Srážky

Podle klimatických modelů do budoucna čekáme stále velkou variabilitu srážek. Tedy kromě vnitřní variability jednotlivých modelů očekáváme i větší rozdíly mezi modely samotnými (Obr. 70). Část má tendenci k vlhčímu klimatu v budoucnosti a část k suššímu (Tab. 15). Podle nejpravděpodobnějšího scénáře očekáváme v ročním úhrnu velmi mírný růst srážek, a to po celé období zhruba o 2–4 %. V polovině století čekáme nárůst srážek o 3,6 % s nejistotou -5 až +9 %. Ke konci 21. století je nárůst srážek oproti současnosti o 3,4 % a nejistota je už logicky vyšší (Obr. 71). Suchá verze očekává pokles srážek o 9 %, a naopak vlhká varianta předpokládá nárůst až o 12 %.

**Tab. 15:** Rozdíl srážkových úhrnů (%) pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

	varianta	suchá	mírně suchá	střední	mírně vlhká	vlhká
	Srážky (mm)	1995	664,8	664,8	664,8	664,8
Rozdíl (%)	2005	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
	2025	93,8	97,5	100,1	102,1	103,9
	2035	94,1	99,1	102,5	105,3	107,2
	2045	95,2	100,3	103,6	106,3	108,9
	2055	94,7	100,3	103	105,6	109,5
	2065	92,2	98,3	102,4	104,9	109,4
	2075	91	98,1	103,4	107,1	111,8

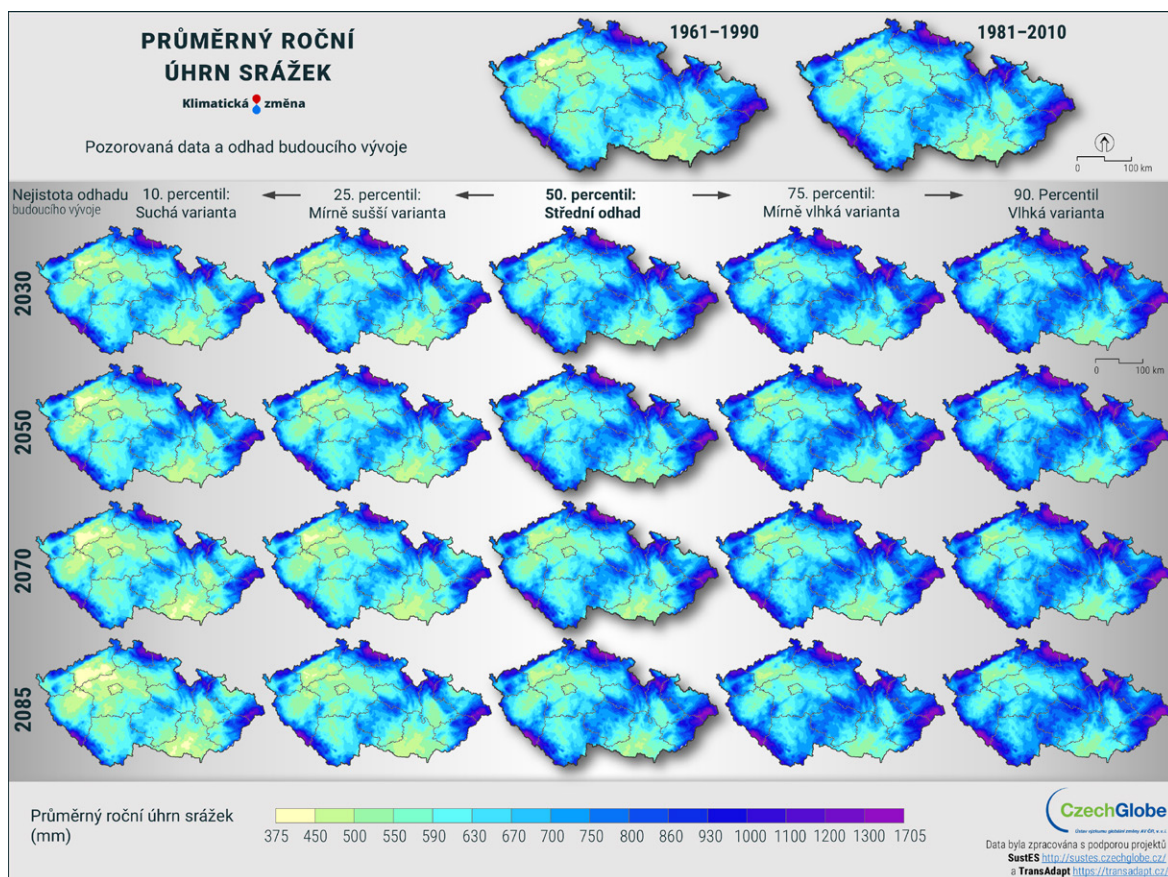
Změny se pak očekávají i v jednotlivých sezonách (Tab. 16). Podle nejpravděpodobnější verze porostou srážky hlavně na jaře, což odporuje dlouhodobým trendům za posledních 60 let, i když v posledních letech bylo několik vlhkých jarních sezón. Mírně porostou srážky i v zimě, což je pozorované i v současném klimatu, i když jde většinou o dešťové srážky na úkor sněžení. Viditelný pokles se pak očekává v letních měsících, což v kombinaci s vysokými teplotami může vést k nástupu „bleskového“ sucha, které se rozvíjí během několika dnů nebo týdnů. Z modelů také vyplývá, že celý teplý půlrok má mít spíše tendenci k menšímu úhrnu srážek v porovnání s obdobím 1981–2010.

**Tab. 16:** Rozdíl srážkových úhrnů (%) v jednotlivých sezonách podle nepravděpodobnější varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

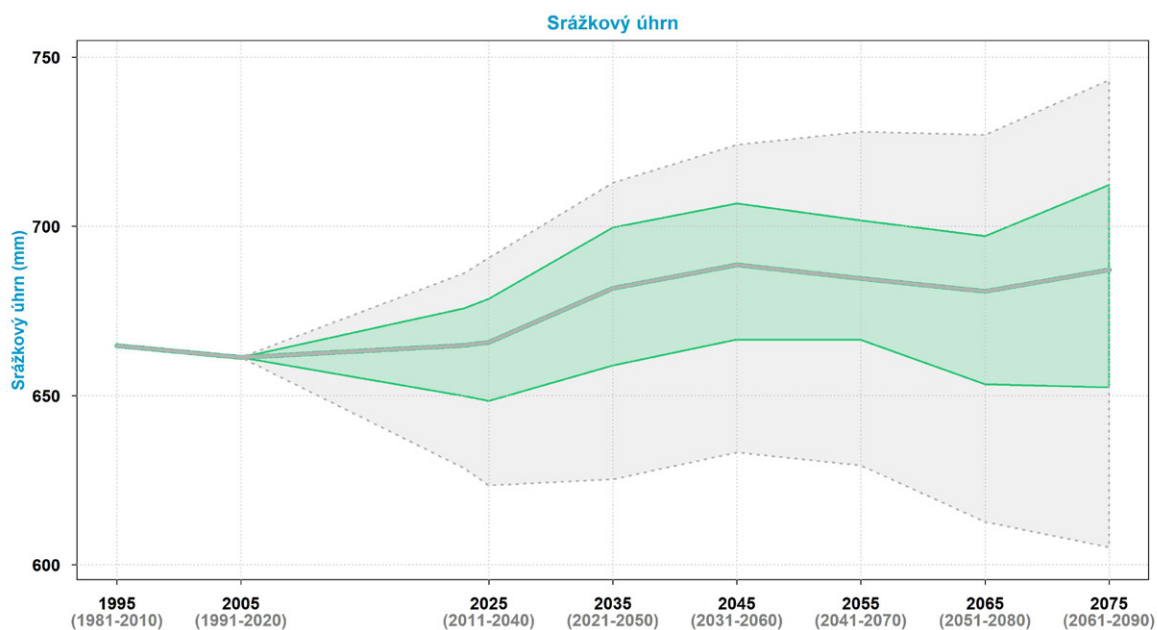
		zima	jaro	léto	podzim	duben -září	říjen -březen
Srážky (mm)	1995	136,9	153,7	240,8	144,0	403,9	260,8
	2005	94,5	97,3	101,1	102,5	100,4	98,1
Rozdíl (%)	2025	98,1	101,4	98,2	99,1	100,0	99,7
	2035	102,5	106,3	98,9	101,5	101,4	104,3
	2045	102,7	109,1	98,4	102,5	100,6	108,5
	2055	105,7	110,0	94,6	103,5	98,7	109,0
	2065	104,7	108,9	93,8	101,1	97,0	108,6
	2075	104,5	111,6	94,3	104,1	98,2	109,5



## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR



**Obr. 70:** Srážkové úhrny podle jednotlivých variant a období



**Obr. 71:** Průměrný roční úhrn srážek v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu), zdroj: climrisk.cz

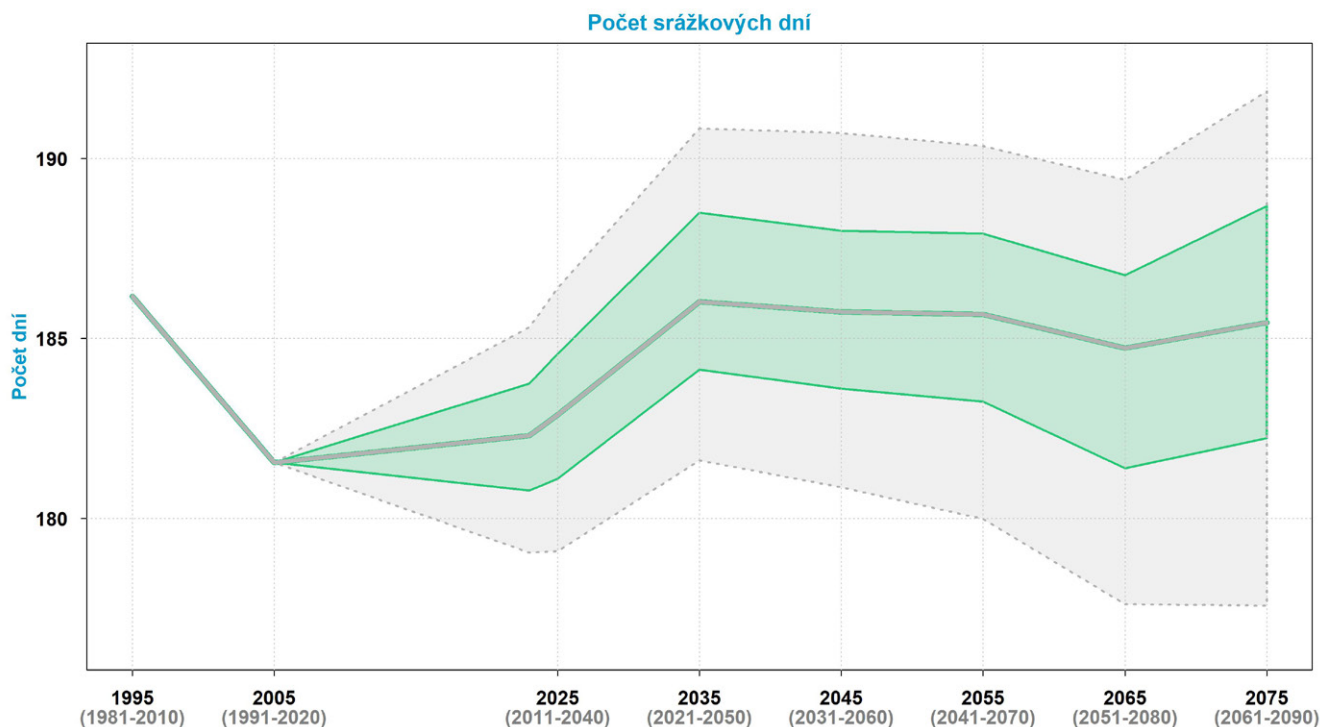
**Počet srážkových dnů**

Změny ve vlhkostních poměrech je nutné zkoumat nejen na základě srážkových úhrnů, ale také na základě toho, jak často a jak intenzivně prší. Proto je nutné využít více srážkových indexů. Ty lze využít pro rizika spjatá se suchem (např. závlahami) a přírodními požáry. Jsou důležité i pro hodnocení dalších aspektů vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví. Počet dnů, kdy padají srážky, poukazuje na vlhkostní poměry dané lokality i s ohledem na roční chod či charakter srážek.

Ročně bylo v období 1981–2010 okolo 186 srážkových dnů (Tab. 17). Už v současném klimatu dochází k malému poklesu dnů, kdy se aspoň minimální srážky objevují (Obr. 72). Klimatické modely ale nepředpokládají do budoucnosti zásadní změnu tohoto parametru. Do poloviny století v nejušší variantě poklesne počet srážkových dnů o 3 % a v nejlhčí se zvedne o 2,5 %. Ke konci století se předpokládá rozpětí -4,5 % až +3,1 %. To lze považovat v rámci velké variability za zanedbatelnou změnu. Významnější změna je ale v rámci ročního chodu. V létě je těchto dnů nejvíce, ale zároveň je změna do budoucnosti nejvyšší. Podle klimatických modelů se očekává v létě pokles srážkových dnů ke konci století o 5 % v nejpravděpodobnějším scénáři. Naopak v létě by mělo být těchto dnů více, a to o 3 %.

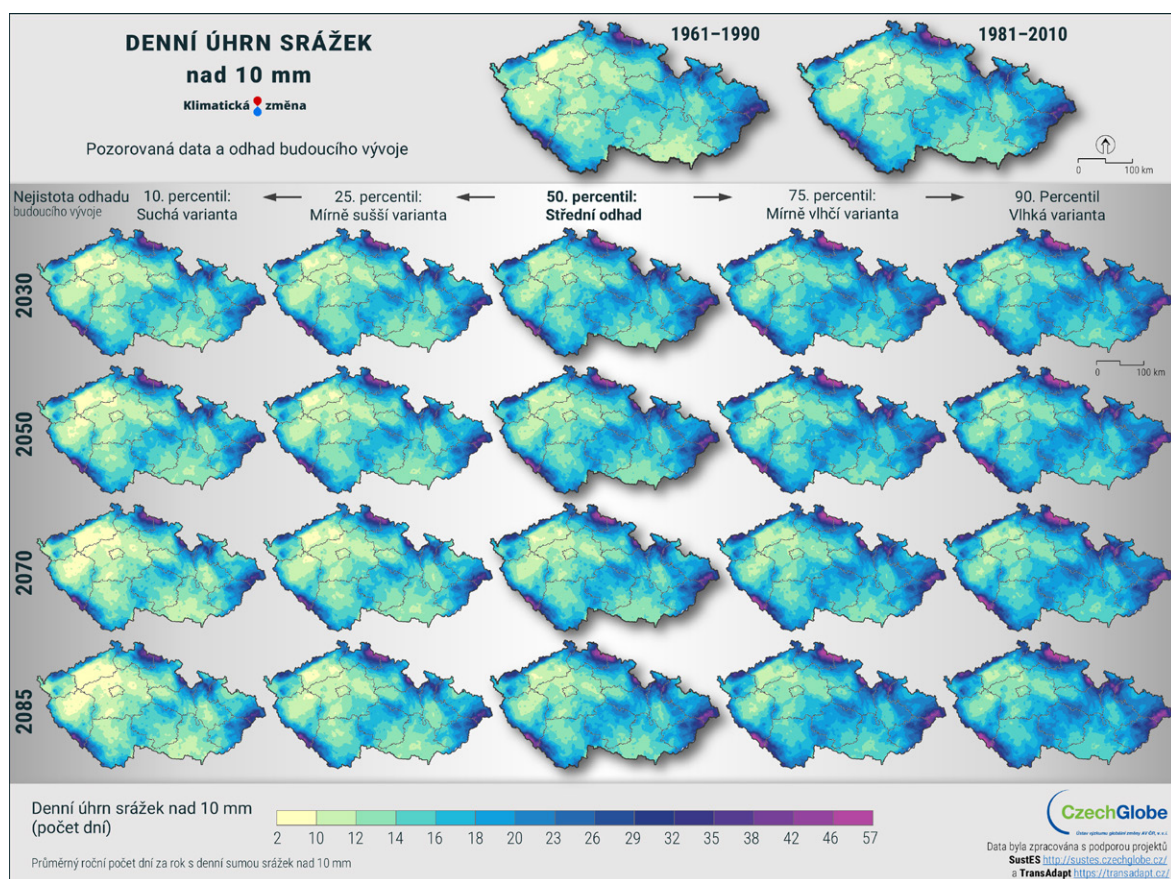
**Tab. 17:** Rozdíl počtu srážkových dnů (%) pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

	varianta	suchá	mírně suchá	střední	mírně vlhká	vlhká
Počet dnů	1995			186,2		
Rozdíl (%)	2005			97,5		
	2025	96,2	97,3	98,2	99,1	100,1
	2035	97,6	98,9	99,9	101,3	102,5
	2045	97,2	98,6	99,8	101	102,4
	2055	96,7	98,4	99,7	100,9	102,2
	2065	95,4	97,4	99,2	100,3	101,7
	2075	95,4	97,9	99,6	101,4	103,1

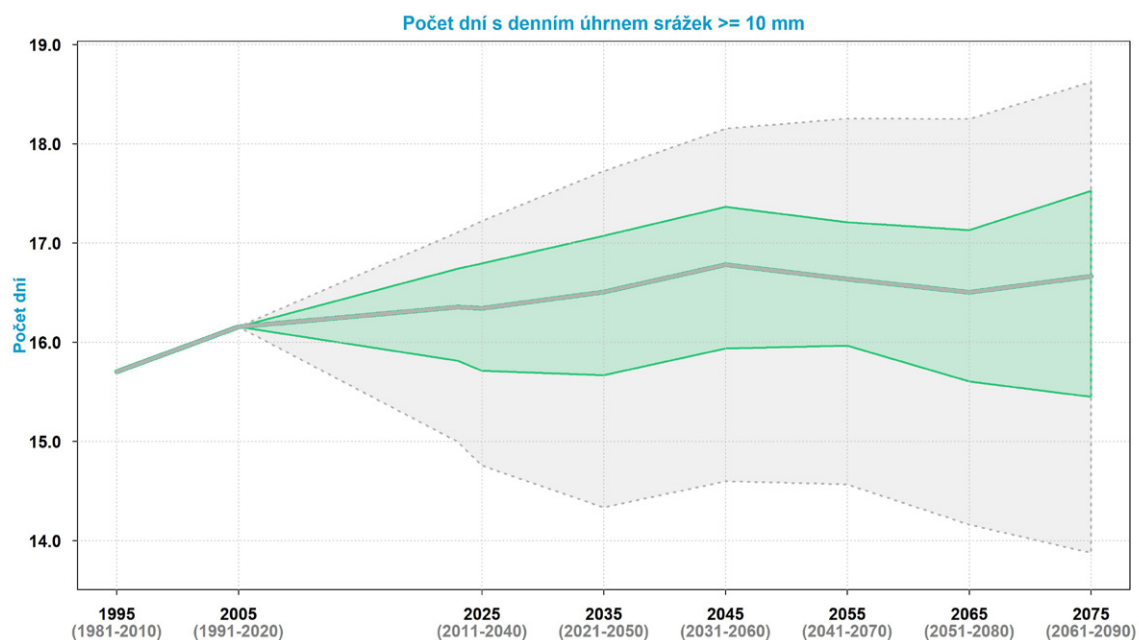


**Obr. 72:** Počet srážkových dnů v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu), zdroj: climrisk.cz

## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR



**Obr. 73:** Počet dnů se srážkovým úhrnem 10 mm a více podle jednotlivých variant a období



**Obr. 74:** Počet dnů se srážkou 10 mm a více v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu), zdroj: climrisk.cz



**Počet srážkových dnů s úhrny 10 mm a více**

Tato charakteristika poukazuje na dny s vyšší intenzitou či úhrny srážek. To může sloužit na posuzování rizika spjatého s povodněmi. Dále může doplnit výpočty související s dimenzováním kanalizačních sítí, retenčních nádrží na zadržování dešťové vody či problémy s erozí půdy.

V průměru se v České republice v letech 1981–2010 objevilo téměř 16 dnů s úhrnem srážek aspoň 10 mm za den (Tab. 18). Už v současném klimatu došlo k mírnému navýšení. Do budoucnosti vykazují modely ještě větší nejistotu než u standardní sumy srážek. Nejpravděpodobnější vývoj předpokládá nárůst o 5–7 % v dalších dekádách. V té nejsušší variantě může být pokles až o 11 % ke konci století, ale jde spíše o nepravděpodobný vývoj. Naopak většina modelů se shoduje na navýšení vydatnějších srážek (Obr. 73 a Obr. 74). V nejvlhčí variantě to může být ke konci století až o 19 %. Zajímavostí je, že modely předpokládají navýšení vyšších srážkových úhrnů ve všech sezónách s výjimkou léta, kdy se ve shodě s odhadem poklesu srážek očekává výskyt menšího počtu takových dnů.

**Tab. 18:** Rozdíl počtu srážkových dnů s úhrny 10 mm a více (%) pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný rozdíl z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

	varianta	suchá	mírně suchá	střední	mírně vlhká	vlhká
Počet dnů	1995			15,7		
Rozdíl (%)	2005			102,9		
	2025	94	100,1	104,1	106,9	109,7
	2035	91,3	99,8	105,1	108,7	112,9
	2045	93	101,5	106,9	110,6	115,6
	2055	92,8	101,7	105,9	109,6	116,3
	2065	90,2	99,4	105,1	109,1	116,2
	2075	88,4	98,4	106,1	111,6	118,6

**Sněhové poměry**

Zima se otepluje stejně jako ostatní sezóny. Dlouhou dobu nebyl pozorován významný dopad, ale v posledních letech je stále více dnů, kdy jsou jen kladné teploty, a tedy místo sněžení častěji prší či se případně sníh dlouho neudrží a brzy odtává (Brázdil et al., 2023). V poslední dekádě jsme měli na území republiky jen polovinu dnů se sněhovou pokrývkou s porovnáním se situací před 60 lety. Dnů, kdy máme vyšší sněhovou pokrývkou (aspoň 10 cm), tak ubylo dokonce o 2/3. V nižších a středních polohách se sníh stává vzácnějším. V horských oblastech sníh leží, ale neudrží se a zimní sezóna zde bývá kratší. Stejný trend očekáváme i do budoucnosti. Například na jižní Moravě poklesne ke konci 21. století počet dnů se sněhovou pokrývkou 3 cm a více o 60 %. U horských oblastí (například Špindlerův Mlýn) se očekává pokles počtu dnů s vyšší sněhovou pokrývkou nad 30 cm o 40 %.

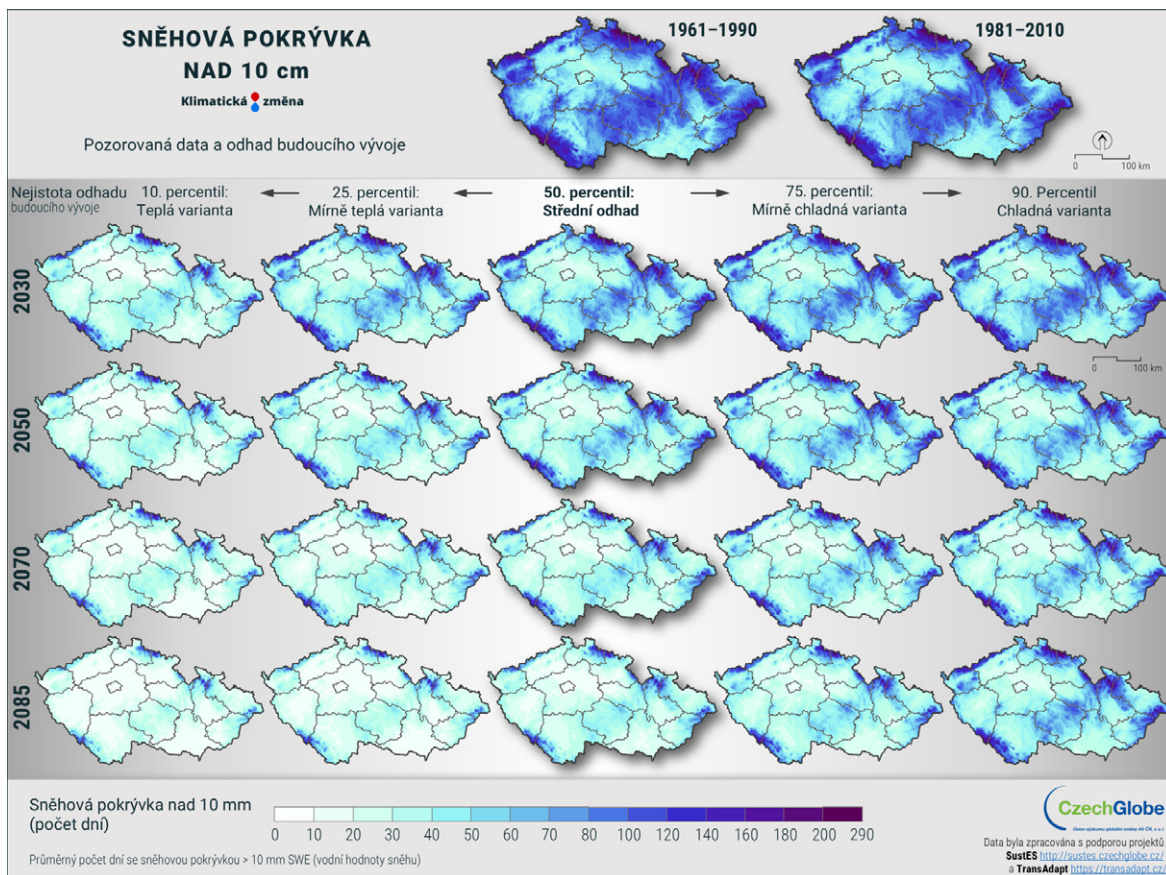
**Tab. 19:** Počet dnů se sněhovou pokrývkou 10 cm a více pro jednotlivé varianty vývoje klimatu v porovnání s rokem 1995. Do tabulky je přidán i skutečný počet z roku 2005. (Pozn. roky ve skutečnosti reprezentují období +/- 15 let, např. rok 1995 vyjadřuje průměr období 1981–2010)

varianta	chladná	mírně chladná	střední	mírně teplá	teplá
1995			71,9		
2005			60,7		
2025	54,8	50,2	48,0	43,6	30,6
2035	51,2	45,7	42,7	37,3	21,3
2045	49,0	45,2	39,8	34,9	17,6
2055	42,5	38,1	31,6	26,4	13,3
2065	45,2	37,2	29,5	25,0	11,4
2075	42,2	31,1	24,4	19,3	8,1

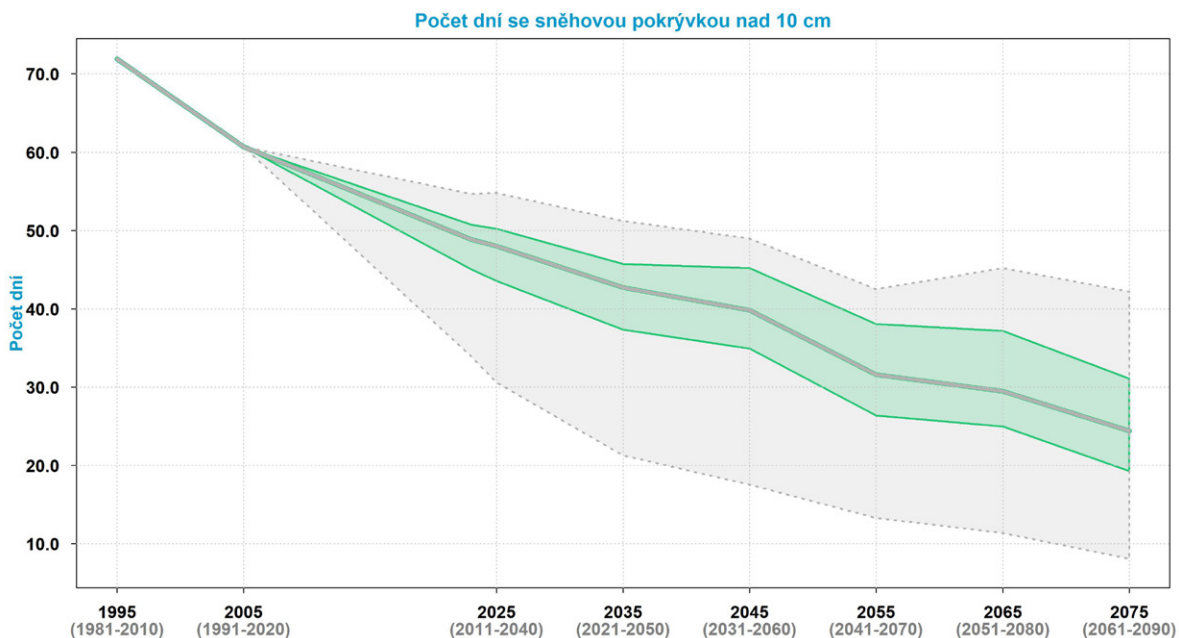
V letech 1981–2010 mělo průměrně 72 dnů sněhovou pokrývkou alespoň 10 cm. Do poloviny století má tento počet dnů klesnout podle nejpravděpodobnější varianty prakticky na polovinu a ke konci století až na třetinu (Tab. 19). S 5% pravděpodobností to dokonce může být ke konci století jen desetina. Naopak s 95% pravděpodobností bude pokles aspoň o 40 % oproti letům 1981–2010 (Obr. 75 a Obr. 76)



## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR



**Obr. 75:** Počet dnů se sněhovou pokrývkou nad 10 cm podle jednotlivých variant a období



**Obr. 76:** Počet dnů se sněhovou pokrývkou nad 10 cm v letech 1981–2090 pro nejpravděpodobnější variantu (tučná čára) spolu s nejistotou (varianty jsou popsány výše v textu), zdroj: climrisk.cz

**Tabulkový souhrn**

V této části je uveden souhrn průměrných hodnot jednotlivých meteorologických parametrů (prvky a indexy) pro jednotlivá období podle nejpravděpodobnějšího scénáře na území ČR. Zjed-

nodušeně to lze shrnout, že porostou teploty vzduchu, mírně porostou srážky, bude klesat vlhkost vzduchu, vítr bude vanout stále stejně a bude více slunečního svítu (Tab. 20 a Tab. 21). Tyto trendy už pozorujeme v současném klimatu (Brázdil et al., 2022, Obr. 77)

**Tab. 20:** Hodnoty jednotlivých meteorologických prvků nepravděpodobnější varianty změny klimatu (roky reprezentují období +/- 15 let, např. 1995 vyjadřuje období 1981–2010)

	1995	2005	2025	2035	2045	2055	2065	2075
<b>T</b>	8,0	8,5	9,2	9,6	10	10,5	10,9	11,1
<b>TMA</b>	12,7	13,3	14	14,4	15	15,4	15,7	16
<b>TMI</b>	3,6	4,1	4,8	5,1	5,6	6,1	6,4	6,7
<b>SRA</b>	664,8	661,2	665,8	681,7	688,6	684,7	680,8	687,2
<b>H</b>	78,3	77,5	76,9	76,9	76,6	76,1	75,5	76
<b>F</b>	2,5	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>RAD</b>	3727,7	3756,9	3908,5	3972,9	4030,7	4047,3	4099,2	4100,1
<b>SSV</b>	1709,5	1728,3	1852,5	1899,3	1952,1	1962,5	2008,6	2001,7

**Tab. 21:** Hodnoty jednotlivých meteorologických indexů nepravděpodobnější varianty změny klimatu (roky reprezentují období +/- 15 let, např. 1995 vyjadřuje období 1981–2010)

Index	1995	2005	2025	2035	2045	2055	2065	2075
<b>RAINDAY</b>	186,2	181,6	182,9	186	185,7	185,7	184,7	185,4
<b>SRA10</b>	15,7	16,2	16,3	16,5	16,8	16,6	16,5	16,7
<b>SRA20</b>	3,7	3,9	3,9	4	4,1	4,1	4	4,1
<b>SNO3</b>	95,4	83,5	69,2	63,4	59,7	49,6	46,6	40,3
<b>SNO10</b>	71,9	60,7	48	42,7	39,8	31,6	29,5	24,4
<b>SNO30</b>	18,5	14,6	9,4	9,1	7,9	6,2	5,2	4,2
<b>DRY40</b>	9,2	10,2	12,5	13,5	15,2	17,2	19	19,3
<b>DRY100</b>	6,6	7,1	8,5	9,2	10,3	11,8	13,1	13,4
<b>DRYEX40</b>	1,2	1,5	2	2,2	2,6	3,2	3,7	3,8
<b>RYEX100</b>	0,6	0,7	1	1,1	1,3	1,7	2	2
<b>VCOLDW</b>	23,3	19,5	14,1	12,5	10,9	9,2	7,5	6,7
<b>COLDW</b>	29,3	25,3	18,3	16,4	14,6	12,5	10,3	9,2
<b>FROST-DAY</b>	115,3	109,2	95,9	88,2	82,7	73,9	69,2	63

## 6. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR

Index	1995	2005	2025	2035	2045	2055	2065	2075
ICEDAY	35,1	30,6	23,3	21,1	18,9	16,7	14,2	13
HEATW	0	0	0	0,2	0,3	0,7	0,8	1,3
HOTDAY	0,3	0,6	1,3	2,3	2,8	4,2	4,4	5,1
TROPDAY	7,4	10,1	14,3	17,2	21,7	25,3	27,7	30
TROPN	0,1	0,2	0,5	1,1	1,8	3,1	4,1	5,6

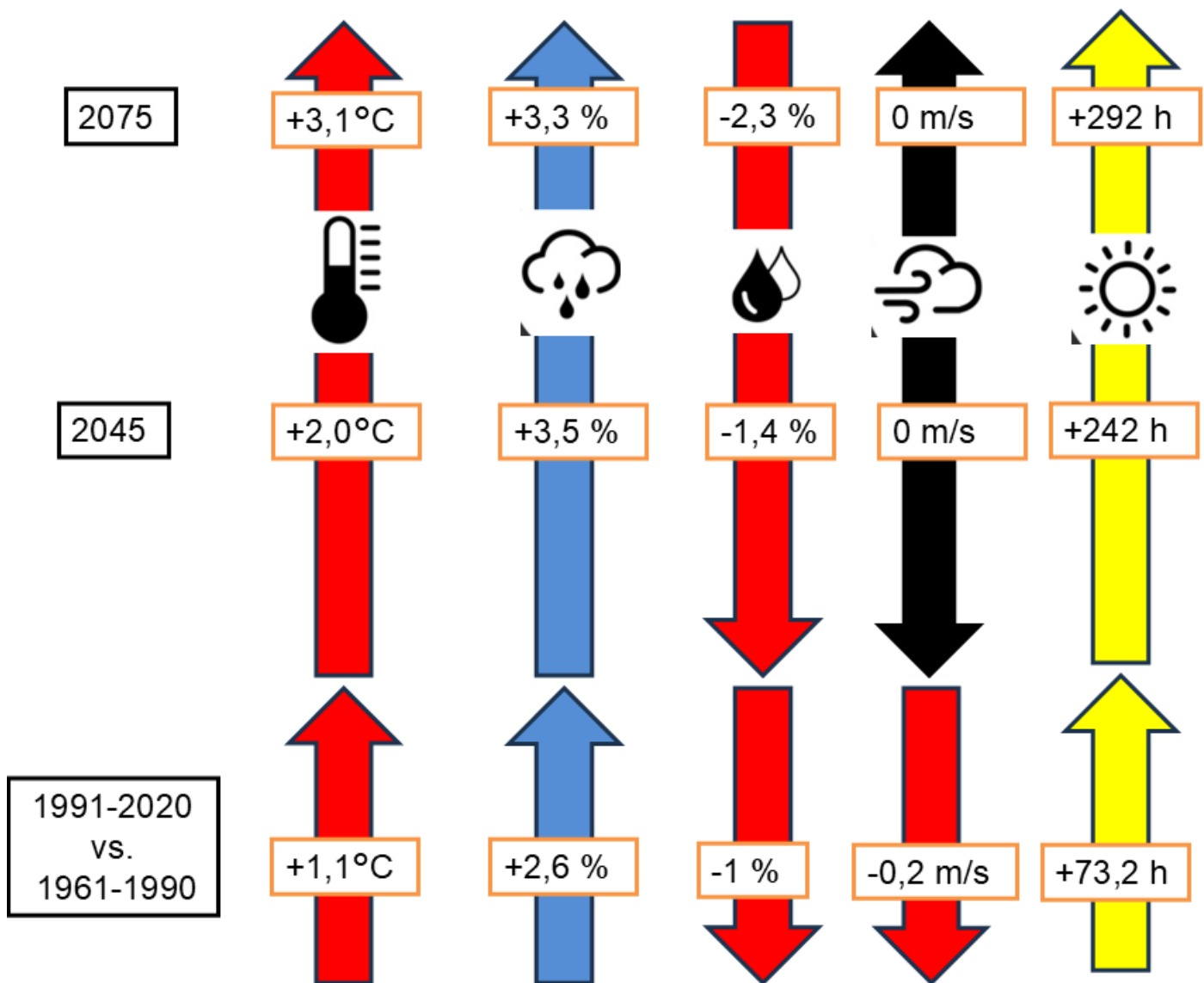
### Zkratky:

Zkratka	Meteorologický prvek/index	Jednotka	Popis
T	Průměrná teplota vzduchu	°C	průměrná denní teplota vzduchu, průměr za dané období.
TMI	Minimální teplota vzduchu	°C	minimální denní teplota vzduchu, průměr za dané období.
TMA	Maximální teplota vzduchu	°C	maximální denní teplota vzduchu, průměr za dané období.
SRA	Srážkový úhrn	mm	suma srážek za dané období (část roku), průměr za dané období
H	Relativní vlhkost vzduchu	%	průměrná denní relativní vlhkost vzduchu (%), průměr za dané období
F	Průměrná rychlost větru	m/s	průměrná denní rychlost větru (m/s), průměr za dané období
RAD	Globální radiace	MJ/m <sup>2</sup>	suma globální radiace za dané období (část roku), průměr za dané období
SSV	Délka slunečního svitu	h	suma délky slunečního svitu za dané období (část roku), průměr za dané období
RAINDAY	Počet srážkových dní	Dny	Počet dní s denním úhrnem srážek $\geq 0.1$ mm, průměr za dané období
SRA10	Počet dní s denním úhrnem srážek $\geq 10$ mm	Dny	Počet dní s denním úhrnem srážek $\geq 10$ mm, průměr za dané období
SRA20	Počet dní s denním úhrnem srážek $\geq 20$ mm	Dny	Počet dní s denním úhrnem srážek $\geq 20$ mm, průměr za dané období
SNO3	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 3$ cm	Dny	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 3$ cm, průměr za dané období
SNO10	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 10$ cm	Dny	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 10$ cm, průměr za dané období
SNO30	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 30$ cm	Dny	Počet dní se sněhovou pokrývkou $\geq 30$ cm, průměr za dané období

Zkratka	Meteorologický prvek/index	Jednotka	Popis
<b>DRY40</b>	Počet dní s nízkou vlhkostí půdy do 40 cm	Dny	Počet dní s nízkou vlhkostí půdy do hloubky 40 cm, kdy AWR (relativní vlhkost půdy – vody dostupné pro rostliny) je pod 30 %, průměr za dané období
<b>DRY100</b>	Počet dní s nízkou vlhkostí půdy do 100 cm	Dny	Počet dní s nízkou vlhkostí půdy do hloubky 100 cm, kdy AWR (relativní vlhkost půdy – vody dostupné pro rostliny) je pod 30 %, průměr za dané období
<b>DRYEX40</b>	Počet dní s extrémně nízkou vlhkostí půdy do 40 cm	Dny	Počet dní s extrémně nízkou vlhkostí půdy do hloubky 40 cm, kdy AWR (relativní vlhkost půdy – vody dostupné pro rostliny) je pod 15 %, průměr za dané období
<b>DRY100</b>	Počet dní s extrémně nízkou vlhkostí půdy do 100 cm	Dny	Počet dní s extrémně nízkou vlhkostí půdy do hloubky 100 cm, kdy AWR (relativní vlhkost půdy – vody dostupné pro rostliny) je pod 15 %, průměr za dané období
<b>VCOLDW</b>	Počet dní ve velmi studené vlně	Dny	Počet dní, velmi studená vlna je definovaná jako minimálně 3 po sobě jdoucí dny s maximální teplotou $\leq 0$ °C a minimální teplotou alespoň jednou dosahující pod $-10$ °C
<b>COLDW</b>	Počet dní ve studené vlně	Dny	Počet dní, studená vlna je definovaná jako minimálně 3 po sobě jdoucí dny s maximální teplotou $\leq 0$ °C
<b>FROST-DAY</b>	Počet mrazových dní	Dny	Počet dní s minimální teplotou vzduchu $< 0$ °C, průměr za dané období
<b>ICEDAY</b>	Počet ledových dní	Dny	Počet dní s maximální teplotou vzduchu $< 0$ °C, průměr za dané období
<b>HEATW</b>	Počet dní v horké vlně	Dny	Počet dní, horká vlna je definovaná jako minimálně 3 po sobě jdoucí dny s maximální teplotou $\geq 30$ °C, kdy alespoň jednou je překročeno $35$ °C a s minimální teplotou trvale $\geq 20$ °C
<b>HOTDAY</b>	Počet dní s extrémně vysokými teplotami	Dny	Počet dní s maximální denní teplotou vzduchu $\geq 35$ °C, průměr za dané období
<b>TROPDAY</b>	Počet tropických dní	Dny	Počet dní s maximální denní teplotou vzduchu $\geq 30$ °C, průměr za dané období
<b>TROPN</b>	Počet tropických nocí	Dny	Počet dní s minimální denní teplotou vzduchu $\geq 20$ °C, průměr za dané období



# Klimatická změna v České republice



**Obr. 77:** Očekávaná změna základních meteorologických prvků (teplota vzduchu) první sloupec, srážky – druhý sloupec, relativní vlhkost vzduchu – třetí sloupec, rychlost větru – čtvrtý sloupec a sluneční svit – pátý sloupec) podle nejpravděpodobnějšího scénáře do budoucna

# 7. DOPADY KLIMATICKÉ ZMĚNY NA ZEMĚDĚLSTVÍ

Klimatická změna postupuje velmi rychle, což může z vlastní zkušenosti potvrdit každý, kdo již delší dobu hospodář. Prakticky během jedné generace došlo k zásadním proměnám, které mění zažité vzorce chování přírody, včetně zemědělsky obdělávaných ploch. V následující kapitole se pokusíme o stručné shrnutí zásadních dopadů a rozčlenění jejich výskytu v jednotlivých ročních obdobích. Dříve než se zaměříme na jednotlivé konkrétní dopady, projdeme si stručně zemědělský rok v měnícím se klimatu.

## 7.1. Zemědělský rok v kontextu klimatické změny

Ještě před analýzou dopadů měnícího se klimatu je nutné shrnout pozici zemědělství vůči klimatické změně.

Platí, že zemědělství

- je zdrojem skleníkových plynů a přispívá tak svým podílem k jejich vyšší koncentraci v atmosféře,
- současně má obrovský (ze všech sektorů nejvyšší) potenciál pro uložení uhlíku do půdy a vegetace, který vede ke zmírnění průběhu klimatické změny
- je ke změně klimatu velmi exponovaný sektor a významná „oběť“ dopadů klimatické změny.

Shrnutí dopadů změny klimatu na zemědělství

Změna klimatických podmínek má a bude mít v zemědělství řadu konkrétní dopadů, které jsou přímo či nepřímo spojené se zvyšující se teplotou.

- 1) 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 negativnější vodní bilanci.
- 2) Druhá skupina dopadů souvisí se zvýšeným výskytem hydro-meteorologických extrémů, z nichž dominuje vyšší intenzita a častější frekvence suchých epizod spojená s vlnami veder a bezsrážkovými epizodami. Současně se mění rozložení srážek a zvyšuje se jejich intenzita.
- 3) Třetí velmi významnou skupinou rizik spojených se změnou klimatu je zvýšený tlak infekčních chorob a výskyt škůdců, ať již domácích či invazivních. Jde především o posun těchto biotických rizik do vyšších nadmořských výšek či objevení se ve více generacích.
- 4) Čtvrtou změnou je zvýšení rizik pro samotné pracovníky v zemědělství a jejich pracovní podmínky především v letním období.

### Zimní období

V zimním období pozorujeme dopady změny klimatu nejzřetelněji. Zatímco zvýšení o 1–2 °C v létě je často stále komentováno slovy, vždyť v létě bylo horko vždy, tak v zimním období toto oteplení pozorujeme zcela jednoznačně úbytkem trvání sněhové pokrývky. Především ve středních a nižších polohách. To má vliv především na přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu silných holomrazů (výrazný pokles teploty vzduchu pod bod mrazu a současná absence sněhová pokrývky) postiženy vymrzáním, neboť nejsou chráněné izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových (maximální teplota je pod 0 °C) i arktických (maximální teplota je pod 10 °C) dní, nelze výskyt těchto dnů vyloučit. Na základě četných pozorování lze konstatovat, že již 5 cm vrstva sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývky prakticky eliminuje účinky i silných mrazů.

Především u dvou klíčových ozimých plodin (pšenice a řepka) je možné pozorovat regionální postižení vlivem mrazu. Mrazové teploty vedou buď k zamrznutí vody v rostlinách, která následně zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva, nebo k zmrznutí vody v půdě. Následně dochází k pohybu kořenů a jejich poškození případně při opětovném zamrznutí a rozmrznutí půdy k vytahování rostlin. Samozřejmě některé porosty mohou při dobré další konstelaci počasí velmi dobře na jaře regenerovat, přesto jde o možné oslabení výnosového potenciálu. Další projev změny klimatu je spojený s vyššími zimními teplotami, které způsobují, že padá více srážek ve formě kapalné než pevné. Ty mohou především na svazích odtéci a důsledkem je nižší akumulace vody ve sněhové pokrývce a nedostatek vody, která se z ní potenciálně může uvolnit na začátku vegetačního období. Kromě toho vyšší zimní teploty způsobují vyšší výpar, který i v zimním období za teplejších epizod může hrát významnou negativní roli ve vodní bilanci. Všechny tyto důsledky lze v posledních letech pozorovat v zemědělsky intenzivních oblastech, např. Polabí či jižní a střední Moravy, kde se zima beze sněhu, respektive s kratší dobou trvání a nižší výškou sněhové pokrývky stává prvním předpokladem jarního sucha.

### Jarní období

Zvyšování teploty má za následek dřívější nástup velkého (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C), ale i hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 10 °C) vegetačního období. Již jen porovnáním dvou normálových období 1961–1990 a 1991–2020 (Obr. 78) pro velké vegetační období je evidentní jeho prodloužení až o 15 dní. Velké vegetační období v nižších polohách začíná již počátkem března a končí v poslední dekádě října.

## 7. Dopady klimatické změny na zemědělství

Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivňují růst a především vývoj plodin tak, že budeme stále častěji pozorovat dřívější vzházení a nástupy dalších fenofází včetně dozrávání. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2050 mohlo být uspíšeno v nižších polohách (do 400 m n. m.) o dalších 10–14 dnů, ve vyšších o 15–20 dnů.

Zrychluje se dosažení teplotních sum, což vede k dřívějšímu dosažení jednotlivých fenologických fází. Paradoxně vegetační období se prodlužují a fenologické fáze zkracují. 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 (advektivní mrazíky) nebo radiačnímu ochlazení. Na základě ubývající vlhkosti půdy, která je způsobena jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce, ale také právě dřívější aktivitou vegetace a vyšší potřebou vláhy na transpiraci, dochází k častějšímu výskytu jarního sucha. Sázka na rané odrůdy s dobrou myšlenkou „ať využijí zimní vláhu“ tak často nevyjde.

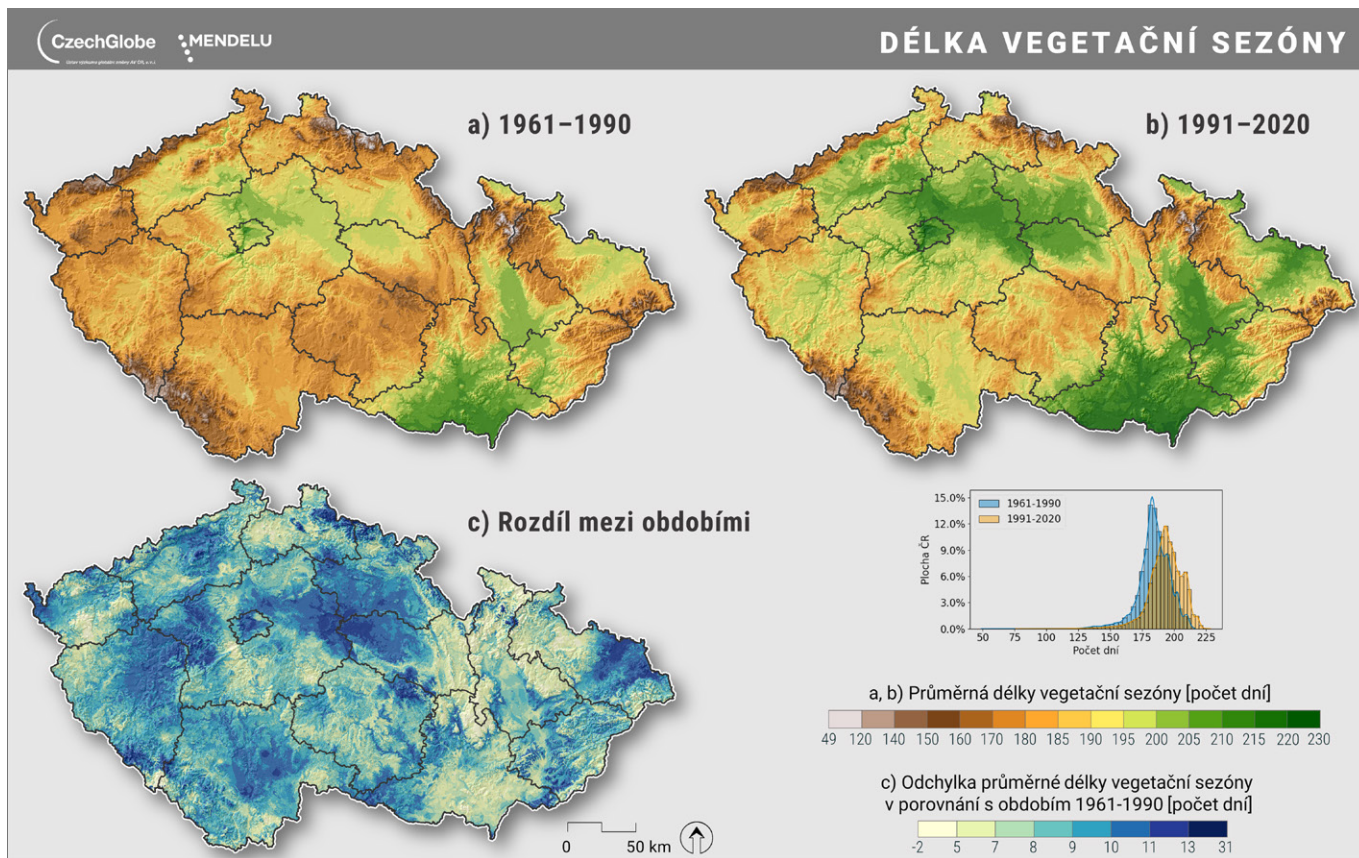
Sucho v období jara bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke zvýšení neproduktivního výparu (evaporaci), ale i k zesílení vzestupných konvekčních proudů a změně rozložení srážek, a to ve smyslu ubývání jak srážkových dnů (srážkový den = den, kdy napadne jakékoliv množství srážek), tak i dnů

s nižšími srážkovými úhrny v tomto pro rostliny klíčovém období (Žalud et al., 2020).

A je tu ještě jeden dopad. Podle údajů VÚMOP (Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd) vzrůstá procento půd ohrožených větrnou erozí (Obr. 79). V roce 2010 bylo ohroženo větrnou erozí cca 10 % zemědělských půd, v současnosti jde až o dvojnásobek. Příčina nárůstu je zvyšující se sucho, delší doba jeho trvání včetně jarních měsíců (Obr. 80) a vyšší náchylnost vyschlého povrchu půdy na odnos půdních částic.

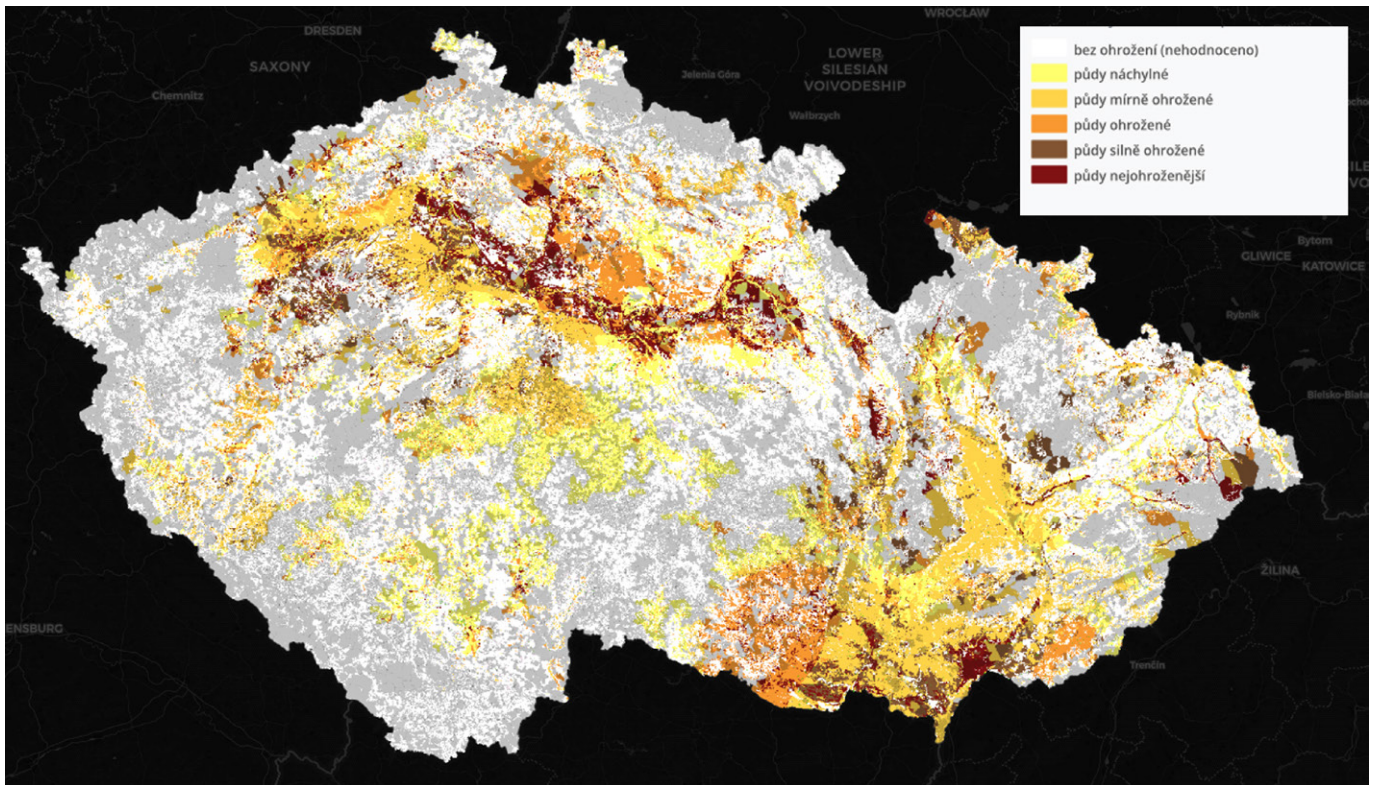
### Letní období

V letním období pozorujeme dopady spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změnami jejich rozložení (obdobně jako v jarním období více přívalů) a výskytem hydrometeorologických extrémů (např. Urban et al., 2018). Nástup teplejších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a těžkosti s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Zvyšující se počet letních (maximální teplota vyšší než 25,0 °C) a tropických dnů (maximální teplota vyšší než 30,0 °C) a s nimi spojených horkých vln (několik tropických dnů za sebou) ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny, a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy. Ten se však snižuje a obdobně jako v období jarním pozoruje



**Obr. 78:** Délka vegetační sezóny vyjádřená velkým vegetačním obdobím (souvislý počet dnů nad 5 °C) v období 1961–1990 a 1991–2020





**Obr. 79:** Mapa oblastí potenciálně ohrožených větrnou erozí na podkladu půdních a klimatických faktorů podle BPEJ, zdroj: VÚMOP



**Obr. 80:** Větrná eroze 4. 4. 2019 na Znojemsku, foto: Matěj Orság

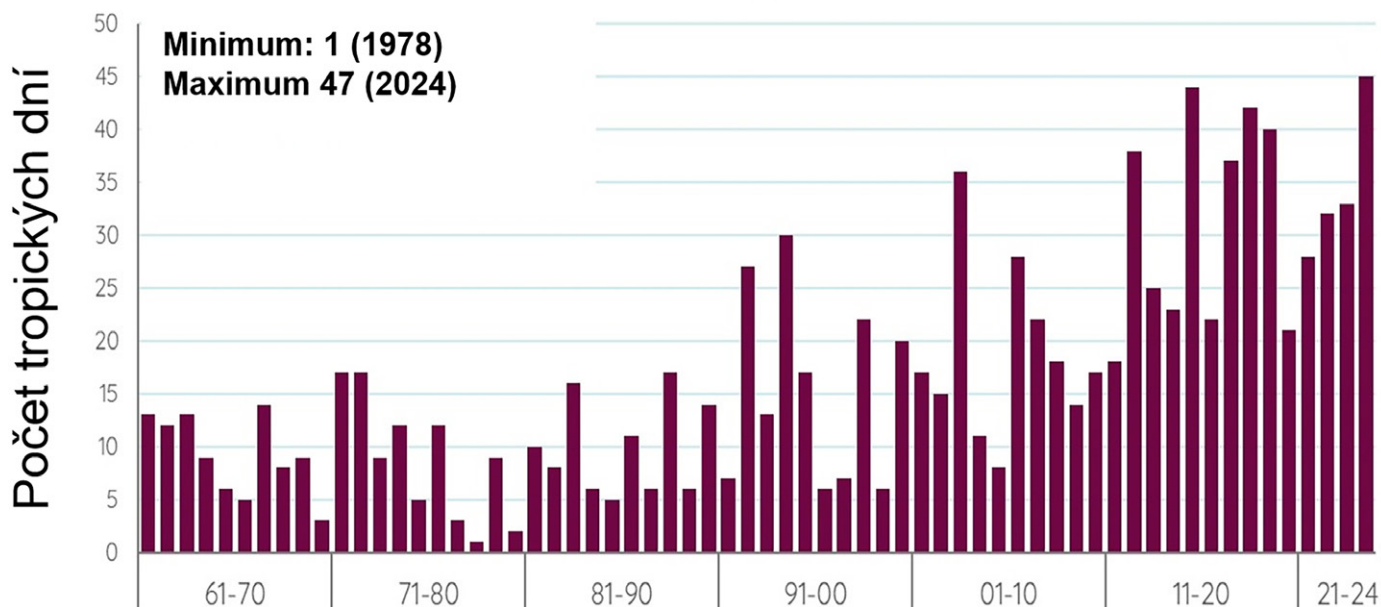
jeme nárůst zemědělského sucha, tedy snižování půdní vlhkosti. Dopady sucha na plodiny jsou a budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů (např. Hlavinka et al., 2009, Kolář et al., 2014, Kahiluoto et al., 2018). Jedním z dalších aspektů budou i nižší průtoky 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 (Trnka et al., 2017), které by mohly posunout zemědělské podniky postihované suchem ke stabilitě a rentabilitě produkce. Samozřejmě se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách polních plodiny však vzhledem k potřebě velkého množství vody a omezených zdrojích uvažovat do budoucna nelze. Na druhé straně očekáváme i vyšší počet intenzivních srážek související s vyšší variabilitou extrémů (střídání sucha a povodní). Často budou v letním období příčinou problémů se sklizní a budou se vyskytovat prakticky na celém území České republiky.

Sucho je často spojeno s vlnami veder a výskytem tropických dnů. Mimořádně vysoké teploty (maximální teplota je daný den vyšší než 30 °C) jsou kritické dny, které způsobují diskomfort hospodářským zvířatům. Vzpomínáte na rok 2015? Tehdy se na jižní Moravě vyskytlo až 30 tropických dnů. Nebo rok 2024? To jich na stanici Strážnice bylo dokonce 47 (Obr. 81). Tento pro současné klima extrémní počet bude kolem roku 2050 běžnou hodnotou. Např. u krav je prokázána negativní vazba mezi výskytem extrémně vysokých teplot a hmotnostními přírůsty, reprodukci či výskytem mastitid, které negativně ovlivňují jejich doживost.



## Počet tropických dní na stanici Strážnice 1961-2024



**Obr. 81:** Počet tropických dní (den s maximální teplotou nad 30,0 °C) na stanici Strážnice (jižní Morava), zdroj: ČHMÚ

### Podzimní období

Přechod mezi letním a podzimním obdobím je významný z pohledu sklizně plodin s delší vegetační dobou (např. některé ovoce, vinná réva, cukrová řepa, kukuřice na zrno) a zakládání porostů ozimých obilnin. Z pohledu dopadů změny klimatu se jedná o roční období, které bude relativně nejméně ovlivněno. Podzim se stává v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období a v jeho průběhu se prodlužuje počet dnů umožňujících růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu také projevuje nárůst srážek včetně rizika výskytu povodňových situací. Zvýšení teploty sice přináší vyšší evapotranspiraci, ale dopady už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový negativní vliv jako v období jarním a časně letním. Naopak zvyšuje se počet meteorologicky příznivých dní k podzimním polním pracím. Podzimní riziko lze spatřit v letech s následujícím scénářem. Teplá jara a horká léta povedou ke zkrácení vegetačního cyklu, dřívější zralosti a sklizním. Může však následně nastat chladnější říjen a návrat teplých dnů v listopadu. Řada rostlinných druhů (včetně ovocných stromů, keřů) může zareagovat zahájením dalšího vegetačního cyklu. Samozřejmě následující zima ho rychle ukončí, ale škody na těchto druzích způsobené jejich vysílením mohou být velmi vysoké.

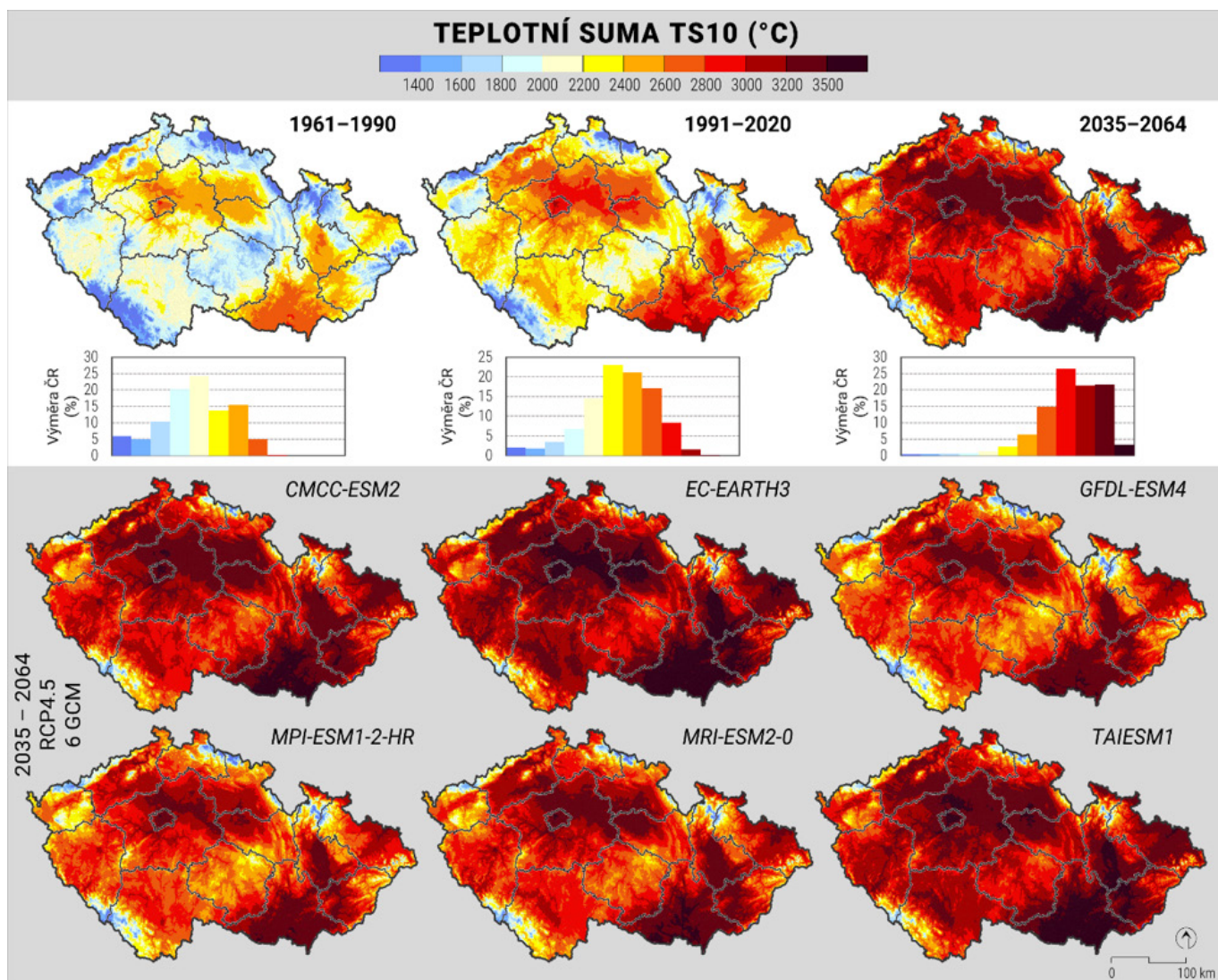
## 7.1.1. Klimatický vývoj výrobních oblastí

Dělení území do výrobních oblastí je pravděpodobně nejrozšířenějším agroklimatickým produktem používaným v zemědělské praxi a díky tomu i velmi vhodným nástrojem pro přiblížení možných dopadů klimatické změny odborné veřejnosti. V současnosti je u nás stále v platnosti klasifikace publikovaná Němcem (2001), ze které je v Tab. 22 popsáno klimatické vymezení, pěstované hlavní zemědělské plodiny a potenciální produktivita. Jen zde byla sloučena obilnářská a bramborářská výrobní oblast, neboť tyto dvě oblasti se od sebe klimaticky významněji neliší. Liší se v jiných orografických či pedologických parametrech.

Klíčové parametry pro rajonizaci jsou TS10 (°C) teplotní suma nad 10 °C, tedy součet průměrných denních teplot nad 10 °C v období bez mrazu (Obr. 82) a K<sub>VI-VIII</sub> (mm) – index zavlažení, tedy vodní deficit během měsíců červen-srpen vyjádřený jako tříměsíční rozdíl mezi srážkami a potenciálním výparem (Obr. 83). Zatímco TS10 je poměrně dobrým indikátorem trvání hlavního vegetačního období, K<sub>VI-VIII</sub> poskytuje integrovaný pohled na vodní bilanci během letních měsíců, kdy mají rostliny nejvyšší poptávku na vodu. Maximální produkční schopnost je určena podle Němce (2001).

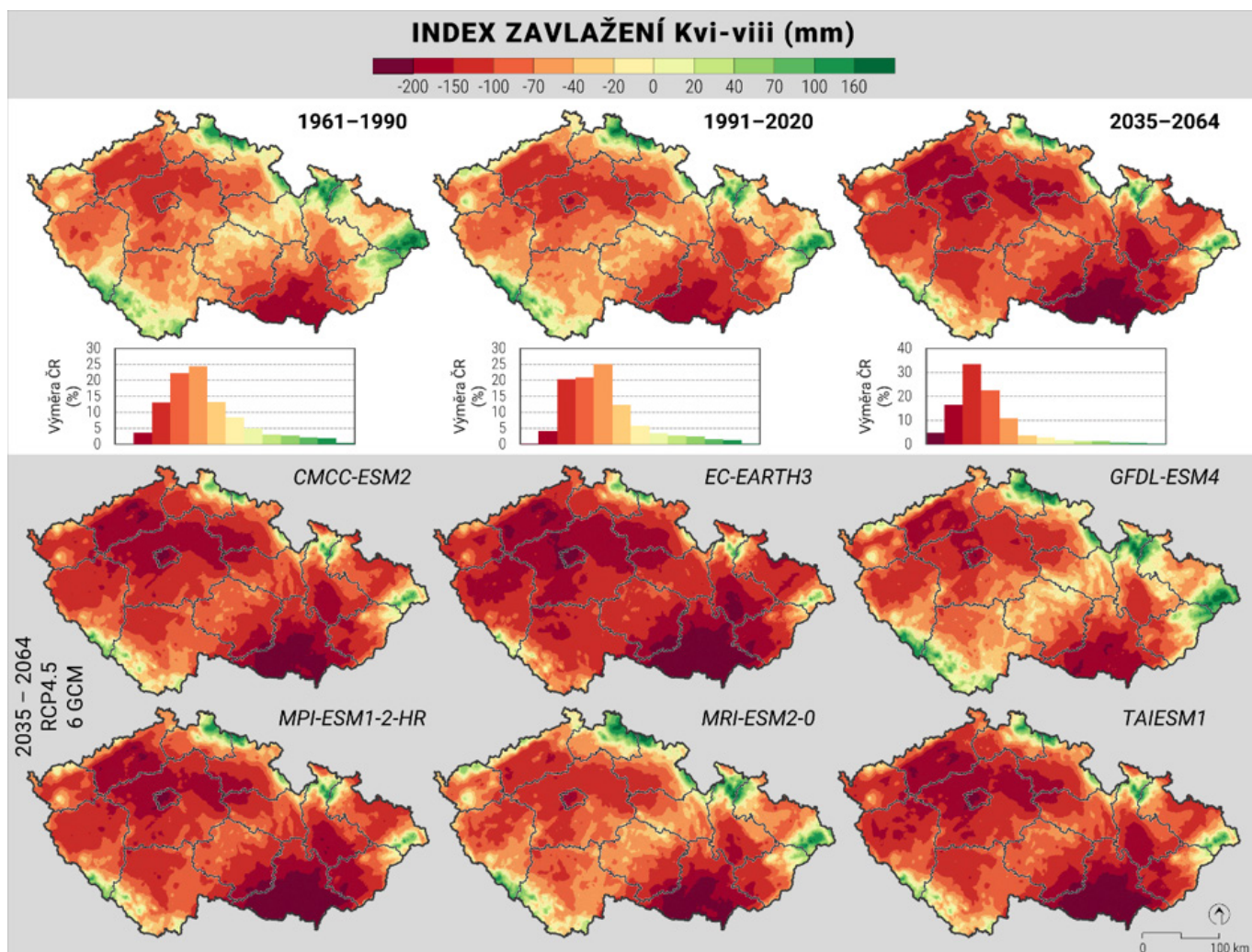
**Tab. 22:** Čtyři agroklimatické zóny definovány Němcem (2001), určené na základě klimatických parametrů a pojmenované podle nejtypičtější plodiny pěstované v odpovídajícím regionu

	<b>Kukuřičná oblast (K)</b>	<b>Řepařská oblast (Ř)</b>	<b>Obilnářsko-bramborářská oblast (O)</b>	<b>Pícninářská oblast (P)</b>
<b>Nadmořská výška (m)</b>	<250	250–350	300–650	>600
<b>Průměrná roční teplota (°C)</b>	9–10	8–9	5–8,5	5–6
<b>Průměrné roční srážky (mm)</b>	500–600	500–650	550–900	>700
<b>Teplotní suma TS10 °C</b>	2800–3100	2550–2950	2100–2700	<2150
<b>Index zavlažení KVi-Viii (mm)</b>	-180 do -100	-140 do -100	-90 do 120	> -30
<b>Hlavní zemědělské plodiny</b>	kukuřice na zrna, cukrovka, teplomilné ovoce, vinná réva, teplomilné zeleniny, kvalitní pekařská pšenice, sladovnický ječmen	cukrovka, kvalitní pšenice, sladovnický ječmen, kořenová zelenina, v některých oblastech chmel, rané brambory	obilniny, technické plodiny, řepka, pěstování brambor a cukrovky není příliš výhodné konzumní, průmyslové a sadbové brambory, krmné obilniny, řepka, len	částečně sadbové brambory, len, převážně louky a pastviny
<b>Maximální produkční schopnost</b>	>82	>84	>56	>34



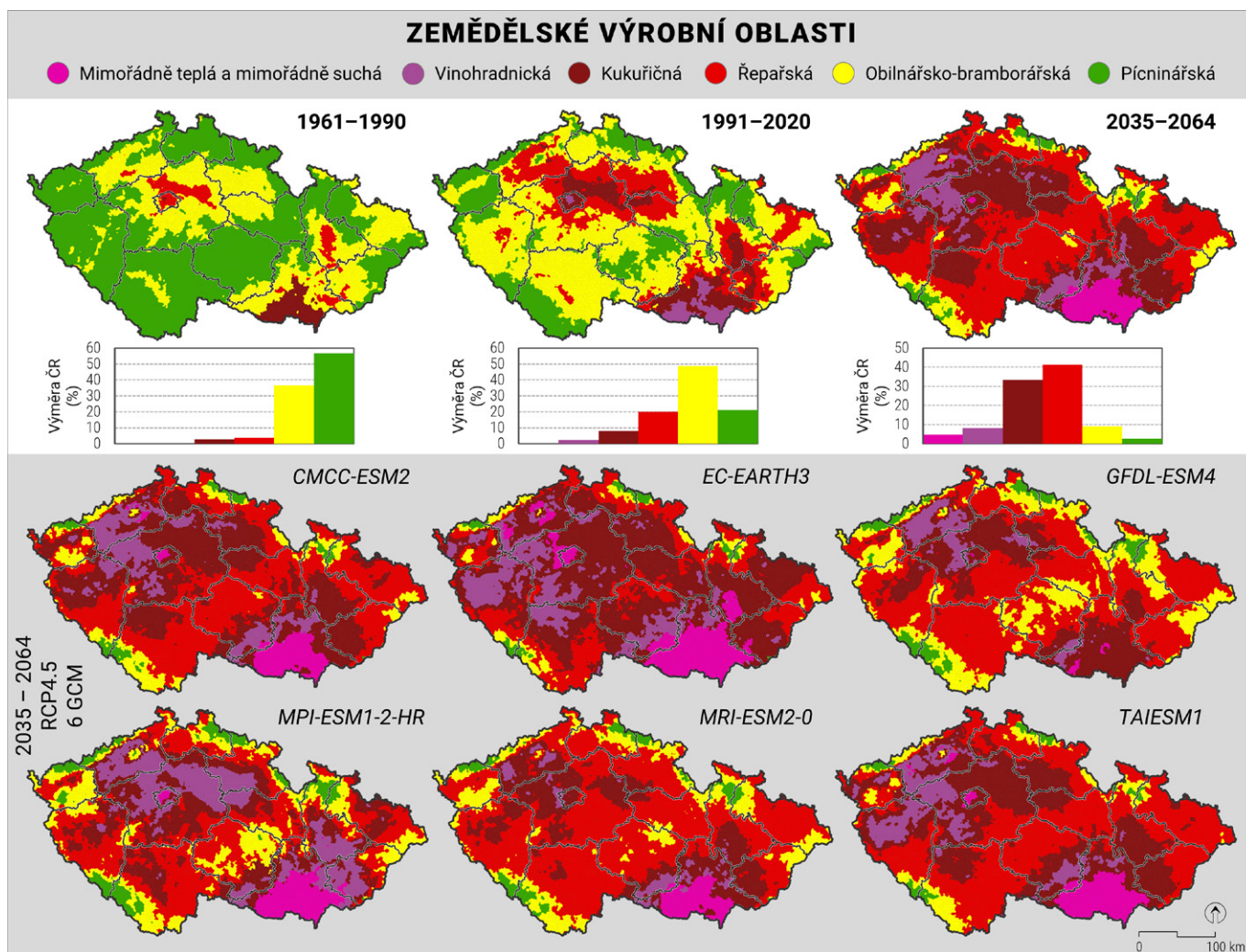
**Obr. 82:** Změny hodnot TS10 (°C) pro území ČR. Mapa v pravém horním rohu představuje průměr šesti scénářů změny klimatu pro období 2035–2064, jednotlivé GCM scénáře jsou individuálně zobrazeny ve druhém a třetím řádku pro stejné časové období, zdroj a popis scénářů: Žalud et al. (2022)





**Obr. 83:** Změny hodnot Indexu zavlažení Kvi-Viii (mm) pro území ČR. Mapa v pravém horním rohu představuje průměr šesti scénářů změny klimatu pro období 2035–2064, jednotlivé GCM scénáře jsou individuálně zobrazeny ve druhém a třetím řádku pro stejné časové období, zdroj a popis scénářů: Žalud et al. (2022)





**Obr. 84:** Prostorová změna výrobních oblastí pro rozmezí let 1961–1990 a 1991–2020 a dále výhled do budoucnosti kolem roku 2050 (období 2035–2064). Mapa v pravém horním rohu představuje průměr šesti GCM scénářů změny klimatu, které jsou individuálně zobrazeny ve druhém a třetím řádku, zdroj a popis scénářů: Žalud et al. (2022)

Jak ukazuje Obr. 84 vínogradnická oblast má minimální zastoupení v již nedávno skončeném normálovém období 1991–2020 a pro 2034–2065 se stává dominantní na jihovýchodě, ale i ve středních Čechách a obsáhne téměř 8 % orné půdy ČR. Oblast MTMS pro tento časový úsek obsadí 5 % plochy našeho státu, což však bude více než nejchladnější pícninářská oblast. Z pohledu procentního podílu se významně v budoucnu zvýší plochy kukuřičné a řepařské oblasti, zatímco u obilnářsko-bramborářské po nárůstu pro 1991–2020 následuje poměrně dramatický pokles.

I když na první pohled je změna v agroklimatických podmínkách relativně příznivá, neboť zóny se suboptimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány oblastmi s lepším agroklimatem řepařské výrobní oblasti, dochází zároveň k „pronikání“ kukuřičné výrobní oblasti a sušších agroklimatických režimů do klíčových oblastí střední Moravy a Polabí, kde se

v současnosti setkáváme téměř s optimální kombinací klimatických a půdních podmínek pro bezzávlahové zemědělství, tj. řepařskou výrobní oblastí na kvalitních půdách. Oblasti, ve kterých dochází k přechodnému zlepšení agroklimatických podmínek, se s ohledem na kvalitu půdy nemohou s oblastí Hané ani Polabí měřit. Nástup teplejších, ale většinou 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. Pěstování plodin bez využití závlah se postupně bude stávat v oblastech úvalů a Podunajské nížiny nerentabilní za předpokladu realizace v současnosti uznávaných scénářů vývoje budoucího klimatu. Vznik oblasti MTMS naznačuje potřebu hledat nové odrůdy, resp. plodiny (např. čirok, proso, bér), které jsou přizpůsobené pro změněné regionální podmínky. Lze však ale očekávat, že oblasti doposud produkčně znevýhodně-

né (např. Českomoravská vrchovina), budou z této změny do jisté míry profitovat, neboť odpadne řada klimatických limitů pro pěstování zemědělských plodin. Co však musíme vzít v úvahu, je fakt, že naplněním výše uvedených odhadů dojde k posunu agroklimatických podmínek, který nemá minimálně v novodobých dějinách zemědělství na našem území obdoby. Změna nastává nikoli během století, ale spíše dekád.

## 7.1.2. Extrémy počasí

Klimatická změna není záležitost daleké budoucnosti, ale s jejími konkrétními dopady se setkáváme již řadu let. V naší krajině můžeme v poslední době pozorovat řetězení dříve ojedinělých projevů extrémního počasí. Jedná se např. o sucho, povodně, jarní mrazíky, posun bouřkového období, nárůst tropických dnů a delších horkých vln, absence sněhu apod. Na druhé straně je nutné zdůraznit, že ne každá extrémní bouře, povodeň či suchá epizoda je dopadem změny klimatu. Určitá změna nejen v klimatických podmínkách, ale i v živém světě zde byla vždy a nazývá se variabilitou daného jevu. To, co ale je dopadem změny klimatu, je jejich zvyšující se intenzita, četnost, případně oboje. Nejvýznamnějším dopadem měnícího se klimatu je úbytek vody v krajině a její nedostatek pro významné sektory hospodářství, mezi které patří i zemědělství a produkce potravin.

### 1. Sucho

Nejvýznamnějším extrémem počasí s nejvýznamnějším dopadem do zemědělství je sucho (např. Trnka et al., 2016). 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 (Wilhite, 1992) jej rozděluje na:

Meteorologické sucho je definováno jako nižší množství srážek ve srovnání s "normálními" hodnotami za určité období. V posledních desetiletích se objevuje druhá významná příčina meteorologického sucha, která je spojená s vyššími teplotami a narůstajícím výparem. Meteorologické sucho se tak objevuje i v letech (měsících), kdy jsou srážky normální, ale kvůli vysokému výparu se vodní bilance (srážky-výpar) dostává do záporných hodnot. Meteorologické sucho nemusí být pro zemědělce problém, záleží na jeho načasování. Dokonce existují dvě období (setí a sklizeň), kdy je meteorologické Zemědělské (lesnické, zahradnické někdy označované i jako půdní) sucho lze zjednodušeně popsat jako nedostatek vláhy pro rostliny. Z podstaty definice je to jev negativní. Nedostatek vody významně omezuje růst rostlin. Pokud bychom chtěli na zemědělském suchu najít alespoň nějaké pozitivum, pak např. u ozimů může mírné podzimní sucho posílit tvorbu kořenů, které se mohou stát rozhodujícím produkčním faktorem v době výskytu silnějšího jarního sucha. Časově následuje zemědělské su-

cho po suchu meteorologickém. Zásadním opatřením pro zmírnění dopadů zemědělského sucha je stav půdy a její schopnost zachycovat srážky. Jde tedy o retenci vody. Právě tento typ sucha je monitorován na [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz), kde pro monitorovaný den najdete intenzitu sucha hodnocenou jako odchylku množství vláhy od dlouhodobého průměru (1961–2015) na daném místě až do jednoho metru pod povrchem, a to v detailním rozlišení 500x500 m pro celou ČR.

Hydrologické sucho je spojeno s poklesem povrchové nebo pod-povrchové vody viděno jako poklesu průtoků, hladin nádrží a jezer, či mělké podzemní vody. 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 po meteorologickém a zemědělském hrozí i hydrologické sucho, které lze pouze zmírnit opatřeními, která pomohou k akumulaci vody v krajině. Mezi významná opatření patří budování vodních prvků (rybníčky, mokřady, tůňe), ale i nádrží na vodních tocích, resp. samostatných nádrží napojených na závlahové kanály. Časově následuje hydrologické sucho po suchu zemědělském.

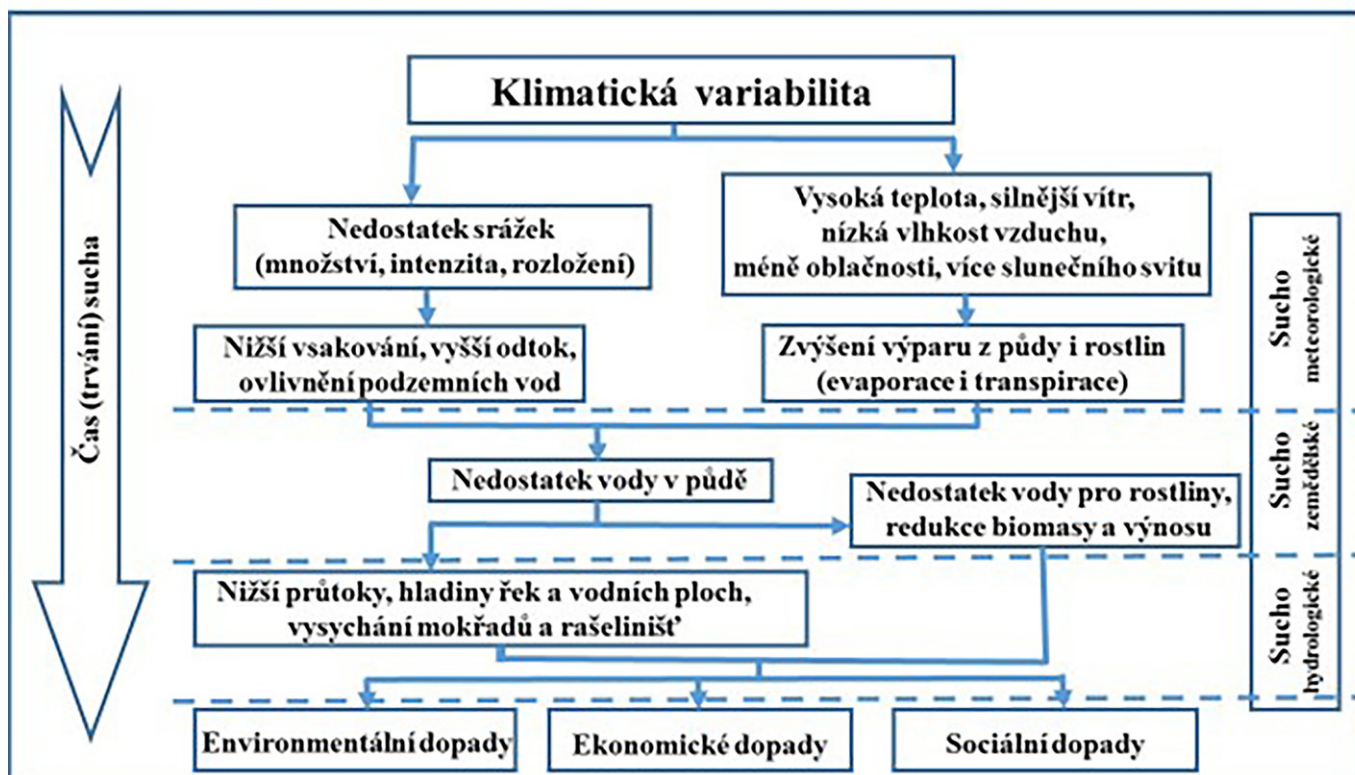
Pro odpůrce budování vodních nádrží jen několik faktů. Vodní blahobyt, který ČR má je díky vodárenským nádržím. Ani v době extrémně suché periody 2015–2018 nedošlo k vyschnutí jediné z nich a obyvatelstvo napojené na vodovodní řád bylo plynule zásobováno. Přesto jsou v ČR lokality, kde v době sucha došlo k omezení dodávek pitné vody, kde nemohly být na řekách nadlejšovány průtoky vypouštěním vody z nádrží a naopak a kde nemůže být zachycena povodňová vlna. To, že vhodně vybudovaná nádrž má i rekreační, energetický a v oblasti zemědělství i závlahový potenciál, je zcela zřejmé.

Jednotlivé kategorie se projevují v ekonomické, resp. sociální oblasti (Obr. 85), proto se často hovoří i o čtvrtém stupni tzv. socio-ekonomického suchu. Typickými projevy socio-ekonomického sucha je zvýšené napětí ve společnosti, nedostatek vody má ekonomické dopady (nižší sklizeň, vyšší cena krmiva, omezení lodní dopravy, problémy v energetice apod.)

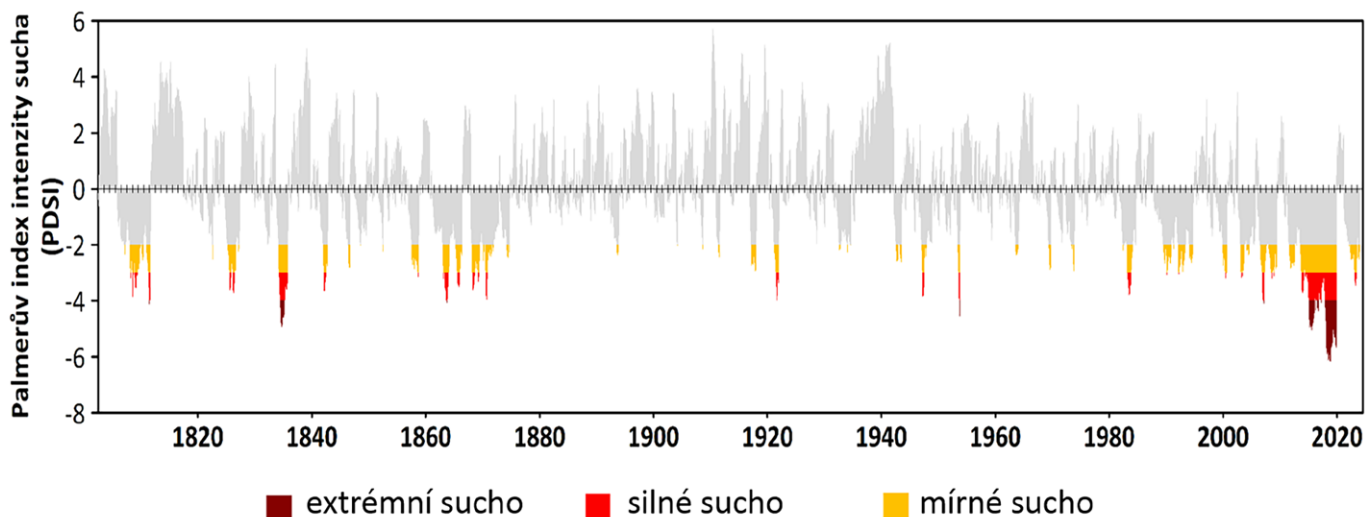
Od roku 1803 jsou na několika stanicích v ČR měřeny dva základní meteorologické prvky nezbytné pro posouzení intenzity půdního sucha. Jedná se o teplotu a srážky. Pro dlouhodobé posouzení vývoje sucha je vhodný tzv. Palmerův index intenzity sucha (PDSI - Palmer Drought Severity Index, Palmer 1965), který je schopen na základě jednoduché půdní vodní bilance určit podmínky zemědělského (půdního) sucha. Při jejich určité kombinaci se vyskytují v naší krajině pravidelně suché epizody, které byly, jsou a budou součástí našeho klimatu. Otázkou je četnost a intenzita suchých epizod. Ta je v současnosti zesilována probíhající změnou klimatu (Obr. 86)

Existuje i řada dalších indikátorů popisující zemědělské sucho. Jedná se např. o počty dnů s obsahem vody v půdě pod určité procento. Nejčastěji se využívá počet dnů pod 50 % (mírný stres pro rostliny). Jedná se o snížení zásoby vody pod 50 % maximální retenční kapacity, která je definovaná jako rozdíl mezi tzv. polní

## 7. Dopady klimatické změny na zemědělství



**Obr. 85:** Časová souslednost a základní atributy meteorologického, zemědělského a hydrologického sucha, zdroj: Wilhite (2000)

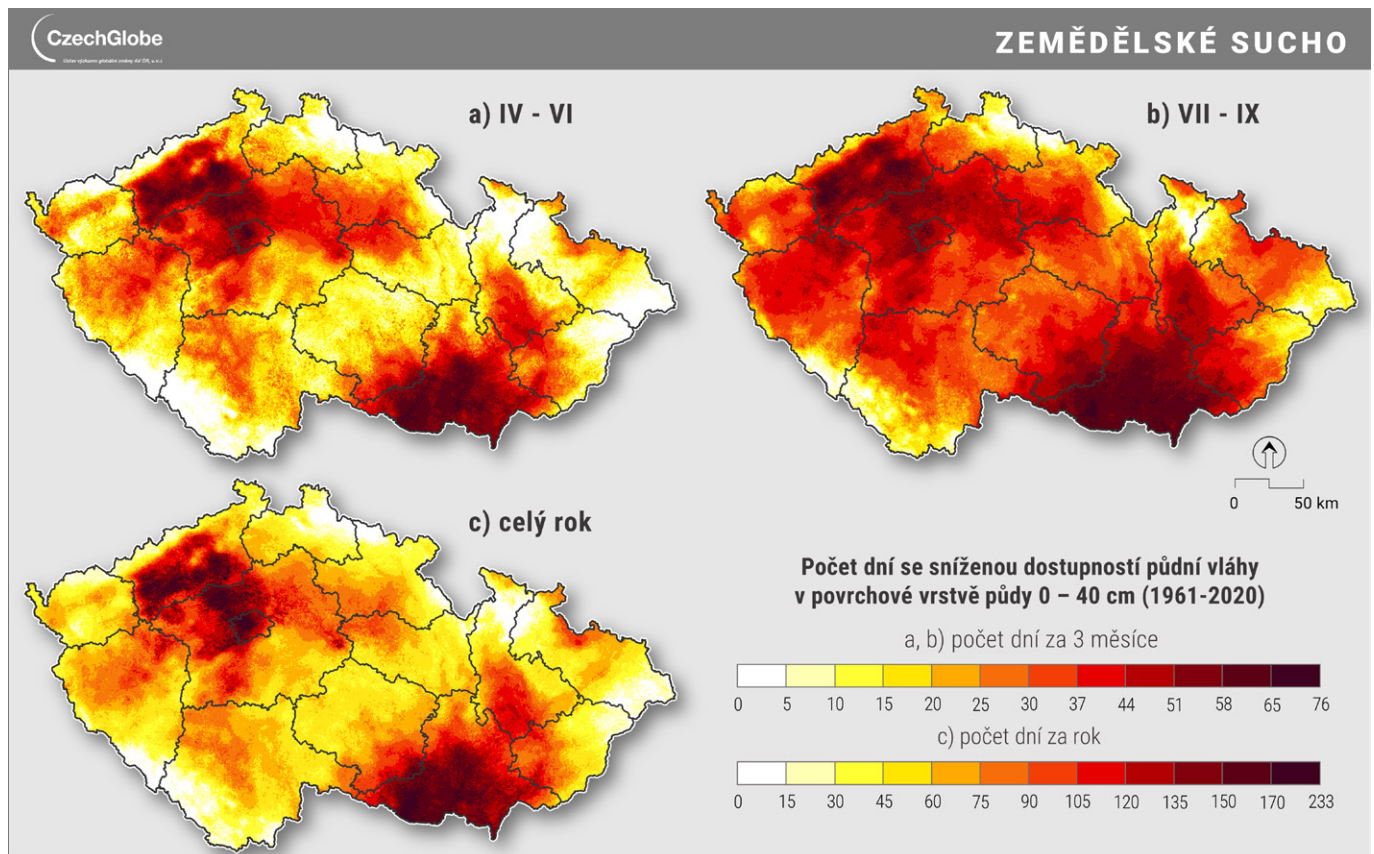


**Obr. 86:** Intenzita zemědělského sucha na území ČR vyjádřená pomocí měsíčních hodnot PDSI od roku 1803–8/2024. PDSI je index zohledňující nejen srážky a teplotu, ale i složky vodní bilance a schopnost půdy zadržovat vodu, zdroj: [www.intersucho.cz](http://www.intersucho.cz)



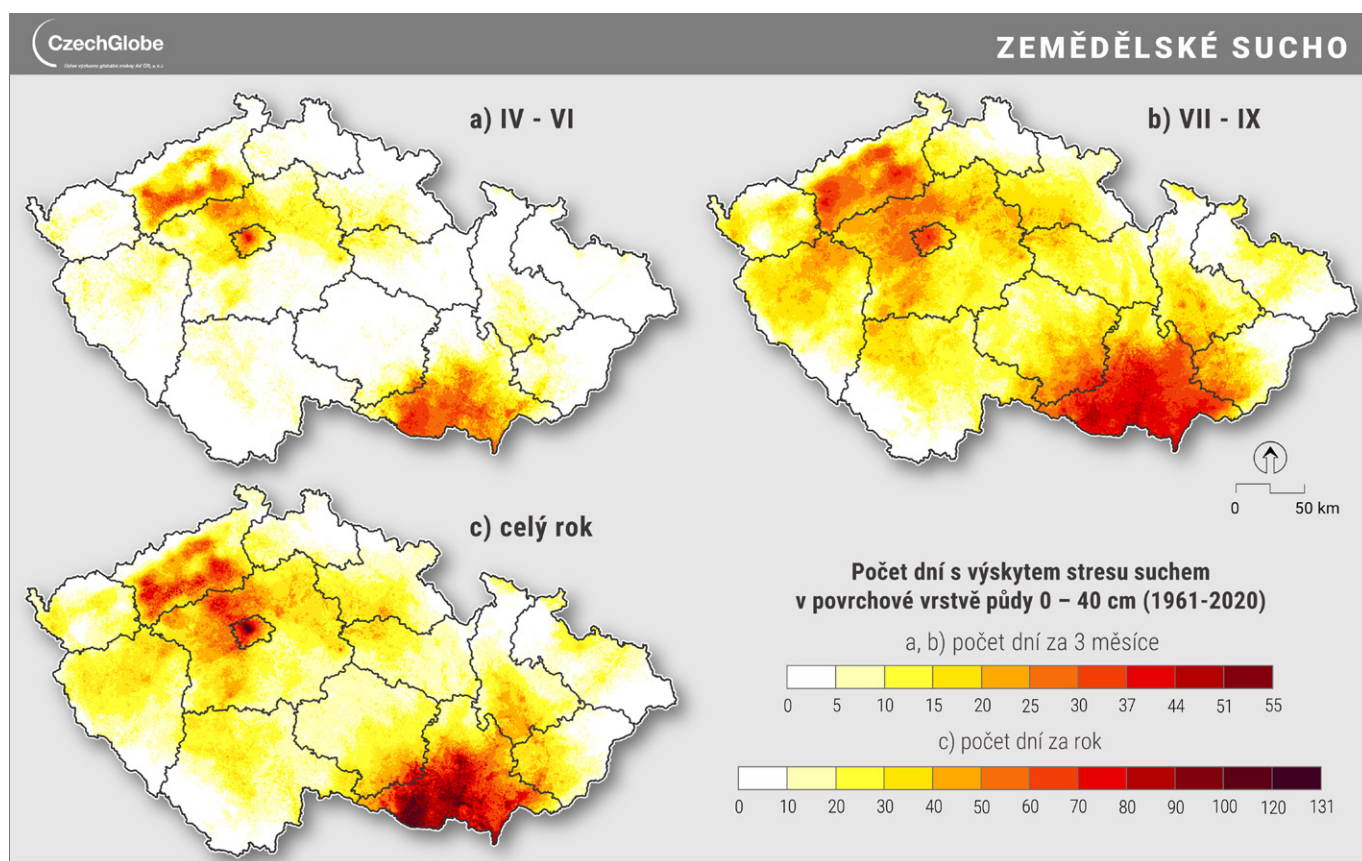
kapacitou a bodem vadnutí Obr. 87. Jde o stav, kdy se může nedostatek vláhy projevovat a kdy se podle terénních sledování, měření dopadů i empirických studií skutečně mírně projevuje. Jednoduše je to bod, kdy rostliny vyčerpaly více než 50 % disponibilní vody vázané v půdě. Tento stav ještě není kritický, je to taková varovná hranice, že začíná hrozit nedostatek vláhy a při poklesu relativního nasycení profilu přibližně pod tuto hranici začíná docházet i k postupnému zhoršování dostupnosti vody pro kořeny rostlin. Nicméně sama snížená dostupnost vláhy nemusí vést k propadu výnosu, a v kombinaci s jinak příznivým průběhem povětrnostních podmínek může v určitých fázích vývoje mít i pozitivní dopad, a to jak díky potenciálně stimulačnímu vlivu na rozvoj kořenového systému či zlepšené dostupnosti pozemků, která umožňuje provádět nezbytné agrotechnické zásahy v požadovaných termínech a kvalitě. Sušší charakter počasí, který vývoj takového vláhového deficitu provází, je obvykle doprovázen i vyššími úhrny sluneční radiace, což je další předpoklad pro dosažení vyšších výnosů u řady plodin.

Jiná situace nastává, pokud se zásoba vody dostane pod 30 % maximální retenční kapacity, která je, jak bylo již výše napsáno, vymezena rozdílem mezi tzv. polní kapacitou a bodem vadnutí. Pokles disponibilní půdní vláhy pod 30 % již vede k projevům silného stresu suchem a stagnaci růstu. Nedostatek vláhy v období od dubna do června je zásadním předpokladem pro ekonomicky rentabilní produkci a případný nedostatek vláhy v tomto období představuje obvykle zásadní problém (např. Hlavinka et al., 2018). Dlouhodobé přetrvávání půdní vlhkosti pod hodnotou 30 % dostupné vláhy vede k zásadnímu propadu výnosů (jak např. ukázala situace z roku 2012 nebo 2015). Jak ukazuje Obr. 88 zachycující situaci v povrchové vrstvě do 40 cm, nejde o jev, který by se na našem území jako celku vyskytoval ve vysoké intenzitě, ale setkáváme se s ním v určitém rozsahu prakticky ve všech důležitých produkčních oblastech. Výskyt stresu suchem je logicky typický spíše pro druhou polovinu vegetačního období, kdy není dopad zimní zásoby vody v půdě.

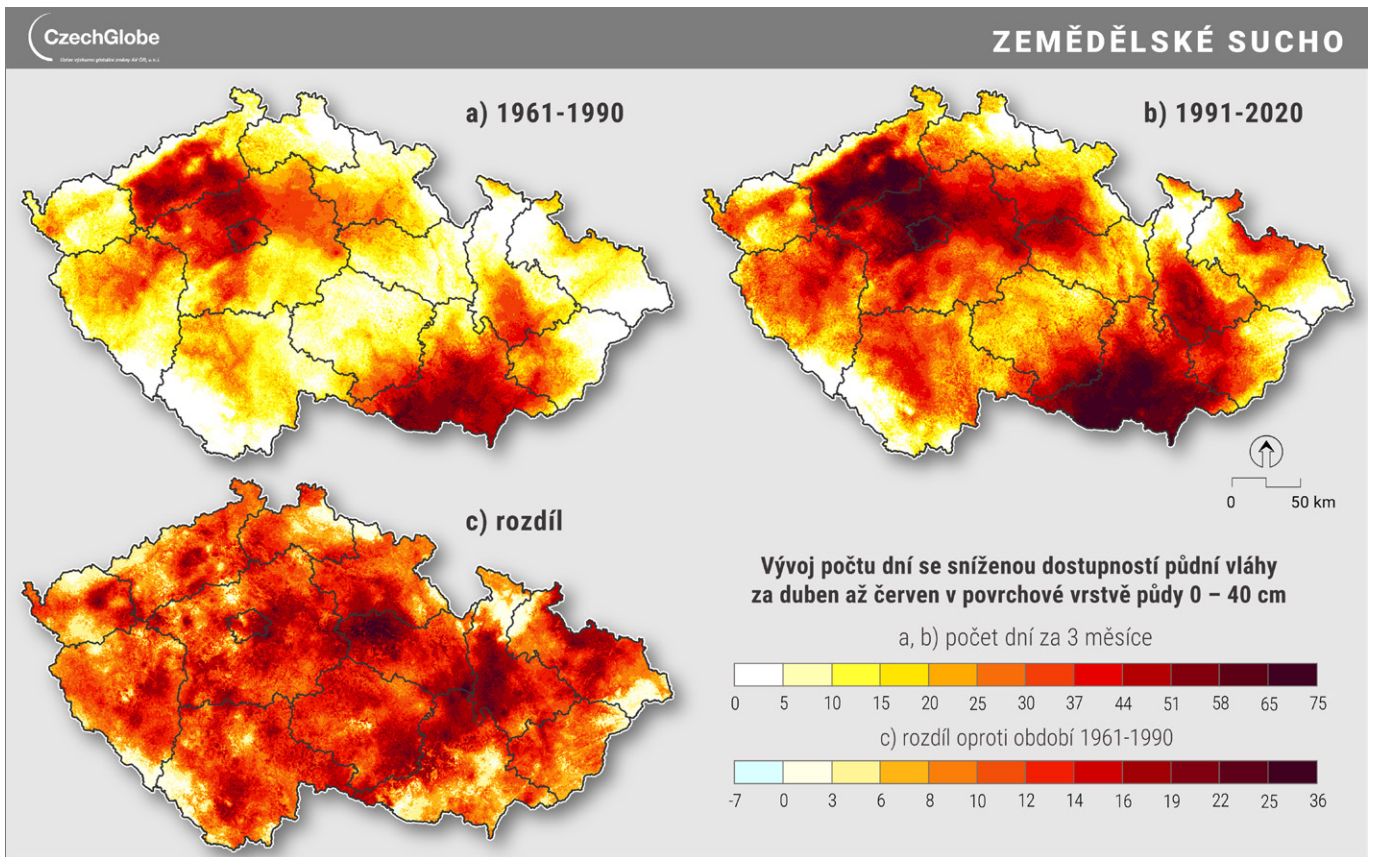


**Obr. 87:** Dlouhodobý průměr (1961–2020) počtu dní se sníženou dostupností půdní vláhy pod 50 % maximální retenční kapacity (mírný stres) pro a) jaro (mapa vlevo nahoře), b) léto (vpravo nahoře), c) celý rok (dole)





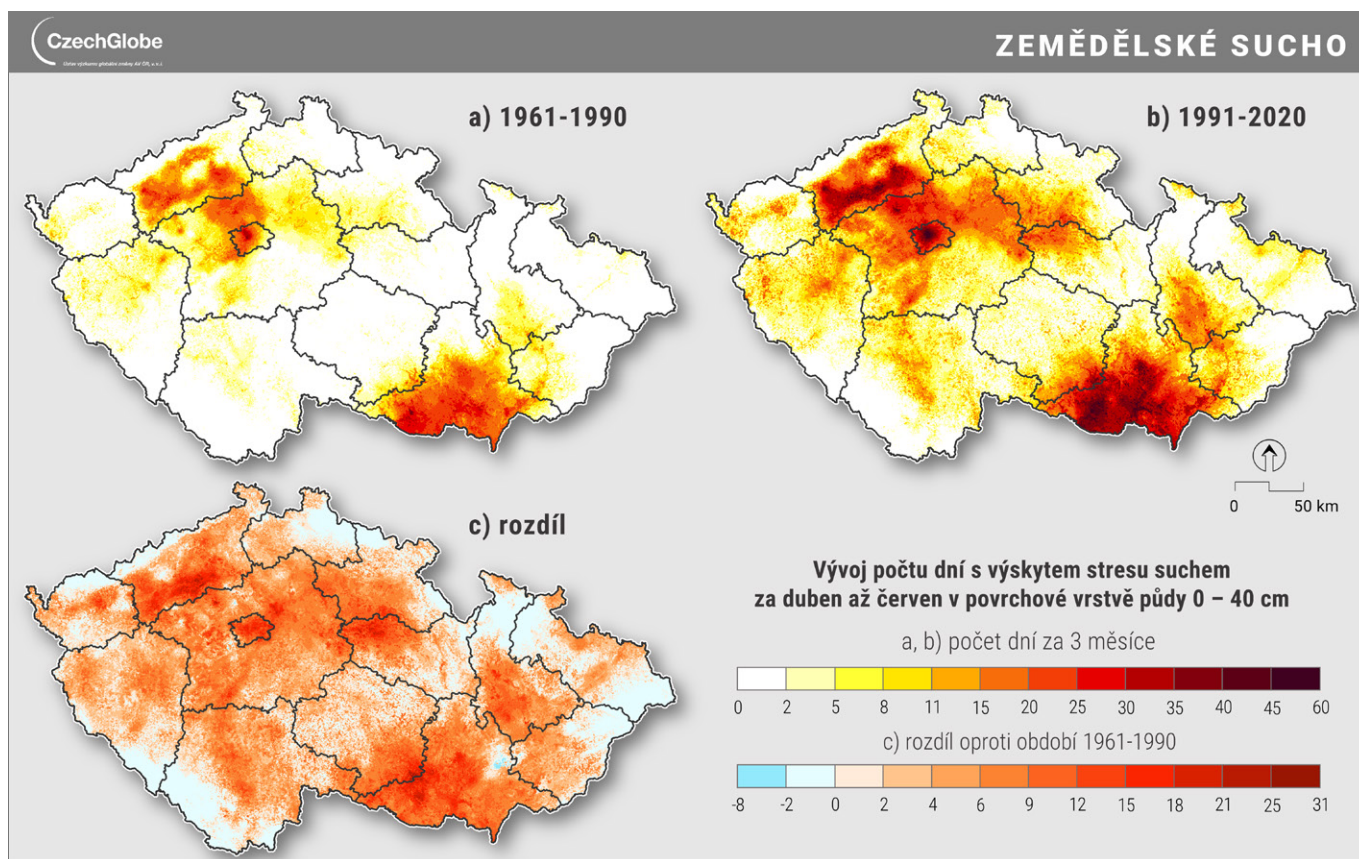
**Obr. 88:** Dlouhodobý průměr (1961–2020) počtu dní se sníženou dostupností půdní vláhy pod 30 % maximální retenční kapacity (silný stres) pro a) jaro (mapa vlevo nahoře), b) léto (vpravo nahoře), c) celý rok (dole)



**Obr. 89:** Počet dní se sníženou dostupností vláh pod 50 % maximální retenční kapacity (mírný stres) vrstvy půdního profilu (0–40 cm) v jarním období duben–červen pro 1961–1990 a 1991–2020. Mapa dole zachycuje rozdíl obou map. Někde za jarní období přibýlo až kolem 30 dní s mírným stresem.

Zásadní otázky jsou. Mění se počty dní mírného a silného stresu? A kde se situace zhoršuje nejvíce? Velmi znepokojivý vývoj obou parametrů dokazuje Obr. 89 a Obr. 90. Srovnávají se na nich jarní období duben–červen pro 1961–1990 a 1991–2020 a ukazují, kde nejvíce na jaře půda vysychá. Znepokojivý je vývoj počtu dnů

se silným stresem (Obr. 90) zejména v oblasti severovýchodních Čech, jižní Moravy, ale poměrně silně vysychají i jižní Čechy a střední Morava, avšak opět se s ním setkáme v určitém rozsahu prakticky ve všech důležitých produkčních oblastech



**Obr. 90:** Počet dní se sníženou dostupností vláhy pod 30 % maximální retenční kapacity (silný stres) vrstvy půdního profilu (0–40 cm) v jarním období duben–červen pro 1961–1990 a 1991–2020. Mapa dole zachycuje rozdíl obou map. Někde za jarní období přibylo až kolem 25 dní se silným stresem.

### 2. Povodně

Povodeň je přírodní jev, který je součástí krajiny. Katastrofou se tato událost stává jen z pohledu člověka.

Není náhoda, že epizody sucha bývají často zakončené povodněmi. Sucho a povodně spolu velmi často souvisí a jsou obrazně řečeno dvěma stranami jedné mince. Nejčastější povodně jsou z intenzivních nebo dlouhodobých srážek. Stále teplejší atmosféra je schopna pojmout více vodní páry. Na 1 °C se jedná o cca 7 %. Například jeden m<sup>3</sup> vzduchu o teplotě 15 °C pojme v případě maximálního nasycení vodní parou 12,7 g, ale vzduch o teplotě 16 °C již 13,6 g. A vzduch 33 °C až 35 g/m<sup>3</sup>. Při prudkém ochlazení tak může v teplejším vodním parou vysoce nasyceném vzduchu kondenzovat více vodní páry a srážky jsou intenzivnější. Vzpomínáte na povodně 2024? Přišly po neobyčejně dlouhé horké vlně, došlo k výparu z extrémně zahřátého Středozemního moře (teplota vody až 30 °C), tím i v této oblasti k nasycení teplého vzduchu a jeho přesunu nad ČR, kde se velmi rychle ochladil. Důsledkem byly několikadenní srážky v řádu až stovek milimetrů.

Příčiny povodní jsou:

- ▶ cyklonální srážky – při výskytu stacionárních tlakových níží, kdy povodně mohou zasáhnout větší prostor a jejich důsledky se následnou povodňovou vlnou mohou šířit i do míst srážkami nezasaženými, např. případ povodní 1997, 2002, 2013 či 2024, na povodních se podílí jak srážky z oblaků cumulonimbus, tak nimbostratus;
- ▶ intenzivní lokální srážky s výrazným místním dopadem z oblaku typu cumulonimbus způsobující přívalové povodně–, těžce se předpovídá jejich prostorový výskyt, vyskytují se na území ČR každoročně. Protože jsou bodové, zdaleka nemají takový mediální ohlas jako povodně prostorové. Jejich škodlivost je však na daném místě vysoká a překvapivá, protože přicházejí v řádu desítek minut;
- ▶ jarní tání sněhu – při intenzivním odtávání sněhu na jaře způsobeném rychlým vzestupem teplot vzduchu; významným negativním a zesilujícím faktorem se stává skutečnost, že může být v této době stále ještě půda (vodní roztok v ní) zamrzlá, a tedy nemá žádnou retenční (záchytnou) schopnost;
- ▶ přehrazení vodních toků – nahromaděním překážek především v užších místech, pod mosty (např. ledové kry, kmeny stromů) či



vzniklé sesuvem půdy a následným vytvořením přírodní hráze. Existuje i biotický faktor, bobr evropský, který na menších tocích kvůli potravě, ale i ochraně svých nor před predátory staví hráze. Ty mohou být příčinou menších povodňových situací.

Intenzivní deště a povodně přináší řadu negativních dopadů do zemědělství, kdy kromě zvýšené eroze může dojít k zaplavení porostů a plodin, omezení přístupnosti pozemků. Nastávají tak např. problémy se setím, či sklizní, kdy může dojít k jejímu zpoždění spojené např. s poklesem pšenice z kvality potravinářské do krmné. V extrémním případě může dojít až ke klíčení zrna v klasech tzv. porůstání Obr. 91.



**Obr. 91:** Klíčení zrna v klasu jako důsledek nemožnosti provést včasnou sklizeň, foto: Vladimír Smutný

Ještě jeden pojem je nutné vysvětlit. Zaznamenali jste, že za posledních 30 let jsme na našem území měli několikrát stoletou povodeň? Stoletá povodeň (či průtok, srážka apod.) skutečně znamená, že se skutečně vyskytne jednou za sto let, a když nastane, tak že se dalších 99 let nevyskytne. Jde o to, že statistická pravděpodobnost výskytu daného jevu je v daném roce 1 %. A tedy se skutečně může vyskytnout i několikrát během relativně krátkého období. Stejně tak platí pravděpodobnost výskytu pro každý rok tisícileté povodně 0,1 %, padesátileté 2 %, dvacetileté 5 %, desetileté 10 %, pětileté 20 %.

### 3. Jarní vegetační mrazy

V důsledku vyšších teplot dochází k prodlužování vegetační sezóny, dřívějšímu jarnímu startu vegetačního období, a tím i k navýšení počtu dnů ohrožující naše plodiny. Jak bylo již zmíněno v předchozích kapitolách jarní mrazy u nás vždy byly, jsou a budou. Jen se mění období, kdy mohou naše kultury poškodit. Od 60. let minulého století se tento počet rizikových dnů zvýšil z cca deseti na trojnásobek.

Agrometeorologicky rozlišujeme poškození chladem – teplotami i těsně nad 0 °C (např. citrusy, některá zelenina) a poškození mra-

zem – teplotami pod 0 °C. Mnoho druhů může být poškozeno již při teplotě -1 °C z důvodu tvorby krystalů ledu v buňkách, jenž mechanicky poškozují buněčné membrány, ale také na sebe selektivně váží vodu. Potom v buňce zůstane roztok, jehož nadměrná koncentrace pro ni může být letální.

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

- **radiační** – inverzní mrazy, vznikající pouze v ranních hodinách. Jejich rysem je vznik inverze, kdy při zemi je nejstudenější vzduch a nad ním vzduch teplejší. Inverze může mít vertikální rozměr několik decimetrů, metrů nebo i desítek metrů. Vysoké vedení u vinohradů používáme, abychom květenství (správně laty, nesprávně hrozny) dostali výše, aby byly méně ohroženy inverzními jarními mrazy. Tato ranní inverze vzniká za souběžného působení tří faktorů. K jejich vzniku přispívá jasná obloha v průběhu noci (je velmi intenzivní vyzářování dlouhovlnné radiace ze zemského povrchu, který se tak rychle ochlazuje), nízká relativní vlhkost (při vysoké vlhkosti např. 80 % by při ochlazení vzduchu došlo k nasycení vodní parou, vznikla by rosa a uvolnilo by se latentní-fázové teplo, které by působilo proti výskytu mrazíku) a bezvětří či pouze mírná rychlost větru (silnější vítr by „nedopustil“ inverzi, neboť by promíchal teplejší vyšší a chladnější nižší vrstvy vzduchu). Velmi často se vyskytují v tzv. mrazových kotlinách (Obr. 92). Pokud klesne teplota vzduchu pod nulu, začíná na povrchu působit mráz.
- **advekcí** – (advekce je horizontální pohyb vzduchu, převažující složkou větru je právě horizontální pohyb) nízké teploty vzduchu jsou dosaženy přesunem chladných vzduchových hmot především ze severovýchodu. Známy je pojem tlakové výše s názvem „Beast from East“ (bestie z východu), která mnohdy při svém postupu Evropou může v březnu či dubnu přinést sněžení i ve Španělsku. Advekcí mrazy jsou plošnějšího charakteru a mohou trvat i několik dní.
- **radiačně – advekcí** – kombinace obou příčin.



**Obr. 92:** Problematicky založený ovocný sad, ze všech čtyř stran je obklopen svahy, po kterých bude studený vzduch stékat do údolí, foto: Zdeněk Žalud

Jarní mrazy jsou pěstitelsky velmi nebezpečné situace, kdy i v teplých krajinách v oblasti subtropů jsou ztráty na zemědělských komoditách významné. Např. v Izraeli tvoří jednu z nej-



## 7. Dopady klimatické změny na zemědělství

vyšších položek v zemědělském pojištění. V našich podmínkách patří údolí jižní Moravy k typickým obilnářským polohám, zatímco ovocné stromky či vinná réva by měly být pěstovány v horní části svahů. Nicméně zhoršující se dostupnost vody přispívá k využívání údolních poloh pro vinařství a ovocnářství s následným vyšším rizikem mrazu.

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 mandloní, meruněk (Obr. 93) a broskvoní, až o několik dní později rozkvétají třešně, slivoně, hrušně a nejpozději jabloně a vinná réva. V rámci plodin je fáze kvetení silně ovlivněna odrůdou. 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, řepku i obilniny. Otázkou je regenerace plodin, kdy např. rané brambory ji mají velmi dobrou, ale za cenu ztráty ekonomicky zásadního času.



**Obr. 93:** Květy meruněk na přelomu března a dubna 2019; a) 28. 3. pupeny se otvírají; b) 30. 3. plný květ; c) 1. 4. první poškození při  $-4^{\circ}\text{C}$ , d) 3. 4. odumření květů a zničení úrody při  $-7^{\circ}\text{C}$ , foto: Zdeněk Žalud



### Metody protimrazové ochrany

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

Při zavlažování dochází ke třem procesům:

1. uvolňování latentního tepla při mrznutí vody – povrch se pomaleji ochlazuje,
2. zvýšení její tepelné vodivosti půdy zavlažením, a tím rychlejší přísun tepla z hloubky k povrchu – povrch se pomaleji ochlazuje,
3. omezení vyzařování dlouhovlnné radiace z povrchu půdy i rostlin, protože ledová krusta omezuje dlouhovlnné vyzařování, dále omezení efektivního vyzařování, protože zvýšením vlhkosti vzduchu se mírně zesílí skleníkový efekt a radiační ztráty povrchu se sníží (sníží se efektivní vyzařování, tedy rozdíl mezi výdejem energie vyzařováním povrchu a příjmy energie vyzařované skleníkovými plyny) a povrch se pomaleji ochlazuje.

**Zadýmování** – při kterém se sníží efektivní vyzařování z povrchu, tím že se vytvoří umělá mlha, která také pohlcuje a zpětně vyzařuje energii vyzařovanou povrchy. Tento způsob je velmi častý např. ve Španělsku, kdy se před radiačními mrazíky chrání v ranním období dozrávající pomerančovníky.

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

**Přikrývání rostlin** – mulčování, při němž je snahou zvednout aktivní povrch, na kterém dochází k maximálnímu ochlazení, 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 parafinových svící. Při optimálních podmínkách = bezvětří, bez sněžení, vydrží hořet 9+ hodin. Svíce je nutné rovnoměrně rozmístit do řad mezi stromy, keře vinné révy nebo sazenice. Jedna standardní svíce (4,5 kg) ovlivní cca 25 m<sup>2</sup> při teplotě -6 °C až 50 m<sup>2</sup> při teplotě -2 °C. Výhodou je dobrá účinnost, nevýhodou jsou vysoká cena (kolem 350 Kč za jednu svíci o hmotnosti 4,5 kg) nebo nároky na skladování.

**Aplikace růstových regulátorů** – oddaluje u ovocných stromků začátek vegetace a posunuje na nízkou teplotu citlivé fenologické fáze o několik dní až týdnů

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.

### 4. Vyležení

Nepravidelnost příchodu sněhových srážek může způsobit vyležení porostů. Vyležením porostů ozimých obilnin, řepky nebo 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 ornice je nedostatečně promrzlá, kdy se teplota pod sněhem pohybuje kolem bodu mrazu. V takových podmínkách je limitována fotosyntéza (sněh nepropustí světlo), ale rostlina stále prodýchává zásobní látky a netvoří fotosyntézou nové. Dochází k oslabení nebo i k hynutí rostlin vyčerpáním a napadení jejich pletiv houbovými chorobami. Vyšší vrstva sněhu a její postupné ztuhnutí poškození rostlin ztěžuje, negativně působí i pomalé odtávání sněhu na jaře, který zůstává delší dobu mokrá. Bezprostředně po roztání sněhu se objevují na porostu bělavé až růžově zabarvené skvrny konidii plísní, které se v teple ztrácejí a jsou pak patrné poškozené a odumřelé listy rostlin (Obr. 94). Výsledkem jsou mezerovité nebo zcela uhynulé plochy porostů. Více citlivé na vyležení jsou žita a triticales než pšenice a ječmeny, z trav jílký a psinečky pak i další trávy. Byly popsány i odrůdové rozdíly (např. Ergon et al., 2003). 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.



Obr. 94: Vyležení porostu triticales, foto: Vojtěch Heger

### 5. Vymáčení

Klimatická změna, intenzivnější a nerovnoměrnější rozložení sněhových i kapalných srážek jsou stále častější příčinou tohoto jevu. Vymáčení ozimů způsobuje dlouhotrvající setrvání volné vodní hladiny na polích především s ozimy, kdy rostliny jsou pod vodou (Obr. 95). Škody na porostech jsou vyvolány především nedostatkem kyslíku, ale i oxidu uhličitého. Vymáčení se nejčastěji objevuje na jaře po roztání sněhu. Příčinou vymáčení však nemusí být jen tající sníh na nerozmrzlé půdě, ale i výstup podzemní



vody při dlouhotrvajících deštích, či normální srážky dopadající na utuženou půdu. V letním období hrozí při vymáčení nebezpečí, že pokud přijdou vysoké teploty, rostliny začnou rychle odumírat a hnit (mikrobiální rozklad organických látek za nedostatku vzdušného kyslíku, který vede ke vzniku zápachajících produktů zejména methanu ( $\text{CH}_4$ ), amoniaku (dříve čpavek  $\text{NH}_3$ ) a sulfanu (dříve sirovodík;  $\text{H}_2\text{S}$ ).



**Obr. 95:** Vymáčení jako důsledek zaplavení porostu vodou, foto: Ilja Tom Prášil

### 6. Vymrznutí

Příčinou vymrzání porostů je absence sněhové pokrývky (již 5 cm sněhu výrazně snižuje možnost vymrznutí) a výskyt velmi nízkých teplot. Jedná se o tzv. holomrazy. Vymrznutí a poškození ozimů v mrazem zimním období je spojeno s tvorbou ledu (ledových krystalů) v rostlinných pletivech. Led má při stejné hmotnosti větší objem než kapalná 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 (Obr. 96). U většiny odrůd řepky a pšenice se známky vymrzání dostávají při poklesech pod  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ . Kritickým orgánem pro přežití obilnin v zimě je odnožovací uzel, u řepky bazální hypokotylová část. Ostatní části mohou poměrně dobře regenerovat. 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. V našich podmínkách je mráz a vymrznutí plodin hlavním faktorem vyzimování (souhrnný pojem pro vymrzání, vyležení a vymáčení) porostů ozimů. Stačí i dílčí poškození rostlin mrazem, aby byly porosty ozimů citlivější k dalším stresům na jaře a došlo k poklesu jejich výnosu.



**Obr. 96:** Vymrzlý porost řepky, foto: Ilja Tom Prášil

### 7. Polehnutí

Poléhání, které postihuje především obilniny, je vyvoláno silným větrem či intenzivními srážkami (často spojenými s oblakem typu cumulonimbus, tedy bouřkou a kroupami), které nasycují až přemokřují půdu (Obr. 97). Významným meteorologickým impulsem, často podporujícím poléhání, jsou i vysoké teploty přes  $32\text{ }^\circ\text{C}$ . Větrně způsobené plošné položení stébel je často rovnoběžné s jeho směrem. Pro samotnou intenzitu poléhání je však potřeba zhodnotit i náchylnost porostu k tomuto jevu, která je daná řadou faktorů. Především se jedná o nadstandardní úroveň dusíkaté výživy včetně uvolňování dusíku při mineralizaci (přeměny organické



**Obr. 97:** Polehlý porost pšenice následkem intenzivních srážek a krup, foto: Zdeněk Žalud



kých složitých látek na anorganické jednoduché základní sloučeniny), dále o předplodinu. Vliv má i mechanická náchylnost odrůdy daná např. průměrem stébla, velikostí klasu a rostlin, dále nerovnoměrná hloubka setí, hustota porostu, kdy příliš hustý porost je stejně náchylný jako příliš řídký. 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.

### 8. Vysoké teploty a rostlina

Vyšší teplota podporuje dělení buněk, urychluje tak fenologický vývoj a zkracuje životní cyklus rostliny. Příliš rychlý vývoj, však nemusí být optimální. Dochází tak k již zmíněnému 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.

Platí rovněž, že zvýšená teplota může zásadně ovlivňovat interakce mezi opylovači a rostlinami, škodlivými organismy, hostitelskými rostlinami apod., přičemž tyto vlivy mohou být jak negativní, tak i pozitivní v závislosti na typu organismů a interakce.

Z hlediska působení vysokých teplot na vegetaci je nutné rozlišovat, zda se jedná o rostliny s typem fotosyntézy C3 nebo C4. Přibližně 95 % rostlin na Zemi jsou rostliny C3. Mezi rostliny C4 patří cukrová třtina, čirok, kukuřice a velké množství trav včetně významných plevelů. Rostliny C4 vyžadují vyšší intenzitu slunečního záření (proto jde o původem rostliny z tropů a subtropů), ale na druhou stranu efektivněji přijímají oxid uhličitý. Díky tomu ztrácí méně vody výparem skrze průduchy, což je výhoda, která se naplno uplatňuje v sušších podmínkách. Současně C4 mají vyšší výťažnost fotosyntézy při vyšších teplotách, což přispívá jejich lepší toleranci vyšších (ne však extrémních) teplot oproti rostlinám C4. C3 – (rostliny chladnějšího pásma) mají jako karboxylační enzym 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 15–5 °C

C4 – (rostliny původem z tropů subtropů) mají karboxylační enzym PEP karboxyláza (karboxyluje fosfoenolpyruvát – PEP) a prvním produktem fixace uhlíku je čtyřuhlíkatá kyselina oxaloctová (OAA).

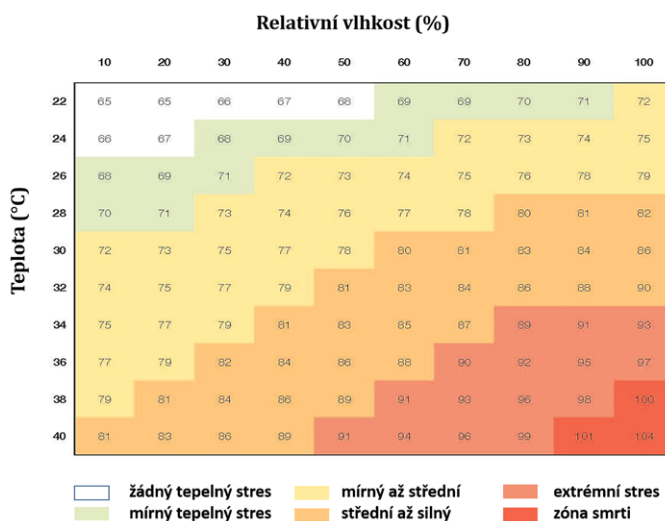
- Energeticky více náročný typ fotosyntézy
- Reagují mírněji na změnu CO<sub>2</sub>
- Optimum pro fotosyntézu a aktivní růst je 25–40 °C

Z uvedeného je zřejmé, že v našich podmínkách, a to hlavně v nižších polohách, se ze změnou klimatu vytváří lepší podmínky pro rostliny typu C4 než doposud.

### 9. Vysoké teploty a zvířata

Hospodářská zvířata mají zcela jiné vnímání teploty než člověk. U dojnic je vyšší význam tepelného stresu spojen s klesající denní produkcí a kvalitou mléka, ale i s dopady na reprodukci a výskyt mastitid. Dopadem žádoucí rostoucí užitkovosti, která je spojena s vysokou intenzitou metabolismu a syntézou mléka, je vzestup produkce metabolického tepla, a tím i zvýšení vnitřní tepelné zátěže jednotlivých zvířat (Purwanto et al., 1990). Vysoká teplota a relativní vlhkost stájového vzduchu může narušit schopnost odvádět metabolické teplo, přičemž lze tento stav označit za tepelný stres. Pro vyjádření těchto podmínek se využívá indexu THI (Temperature humidity index, Teplotně vlhkostní index, Obr. 98), který vykazuje vysokou korelaci s fyziologickými parametry včetně rychlosti dýchání a tělesné teploty u tepelně stresovaných dojnic (Yan et al., 2021). Když dojde k překročení hranice THI 68, krávy nedokážou zvládnout svou tepelnou rovnováhu, dochází k tepelnému stresu. Při něm dochází k narušení produkce mléka, dochází k poruchám reprodukce, přičemž je narušena celková pohoda zvířat (Becker et al., 2020). Ve výsledku to vede k velkým ekonomickým ztrátám (Gunn et al., 2019).

Tepelný stres je klíčovým faktorem ovlivňující zdravotní stav, reprodukci, mléčnou, ale i masnou užitkovost a je zásadním bodem ekonomiky chovu. U krav se udává teplotní optimum v rozmezí od -5 do 24 °C (ideálně 5–10 °C), při kterém bylo dosahováno nejvyšší užitkovosti. Teploty mohou při překročení 24 °C při relativní vlhkosti nad 70 % způsobovat mírný stres. Novější informace snižují horní hranici zóny pohody na 21 °C, která se týká dojnic s produkcí vyšší než 6 500 kg mléka za laktaci. U vysoko produkčních dojnic, s užitkovostí převyšující 12 000 kg mléka je tato horní hranice teploty snížena na 18 °C (Armstrong et al., 2023).



**Obr. 98:** Teplotně vlhkostní index jako kombinace teploty a vzduchu ve vztahu k welfare skotu, zdroj: Hahn (2009)

Obecně většinou platí, že u krav narůstá denní produkce od jara do léta a poté, kvůli vysokým teplotám, tento nárůst ustane, či klesá. Zmírnění dopadů tepelného stresu v chovech zvířat a zvýšení

jejich užítkovosti v letním období je multidisciplinární záležitostí, 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. V létě stále častěji dochází k rapidnímu propadu denních dodávek do mlékárny, pokud je teplota vzduch vyšší než 25 °C.

Velké množství metabolického tepla vzniká trávením objemného krmiva. 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. Je to způsobeno tím, že zvířata vycítí, že při fermentaci objemného krmiva v bacheru vzniká další teplo, které organismus zvířete ještě více zatěžuje. Aby zvířata pokryla potřebu energie, spotřebu jádra neomezují v takovém měřítku. Při příjmu jádra v bacheru však může vznikat vyšší množství kyseliny mléčné a následně se u krav v extrémním případě rozvíjí bacherová acidóza. Je to dáno tím, že nízké pH neprospívá celulolytickým bakteriím a dochází k poklesu mléčného tuku (Dunière et al., 2013), což se někdy označuje jako „syndrom snížené tučnosti mléka“. A jak se rozezná tepelný stres a jeho projevy u zvířat? Např. tělesná teplota měřená v konečniku překračuje 39,4 °C a frekvence dýchání zvířete přesáhne 100 výdechů/min. Vysoký tepelný stres může vyvolat finanční ztráty ve výši jednotek (6-10) 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.

Strategie omezení tepelného stresu lze rozdělit do několika kategorií, které na sebe navazují a jsou ve vzájemné interakci. Jedná se o konstrukční parametry stáje, nutriční strategie, šlechtění zvířat, stejně jako péči o zdraví zvířat. Technické prvky, které významně rozhodují o budoucím mikroklimatu stáje, spočívají v uspořádání stáje, její orientaci vůči slunci, využití stínu pro zvířata, nebo využití chladících systémů.

Nutriční strategie vyžadují specifické techniky krmení, dávkování vlákniny, tuků a koncentrátů, při doplnění vitamínů a minerálů. Nedílnou součástí je i zajištění chladné pitné vody. Genetické a šlechtitelské přístupy využívají charakteristiky genetické variability zvířat, selekční výběr termotolerantních zvířat s pomocí genomických a proteomických přístupů, dále transfer embryí a šlechtění plemen odolných vůči stresu.

### Izolované střechy a ochlazování konstrukce stájí

Základem omezení tepelného stresu je objekt s tepelně izolovanou střechou, která brání sálání sluncem rozpálené střechy směrem do stáje, a udržuje tím vnitřní prostor chladnější. Bez izolace dosahuje povrch střešní krytiny z vnitřní strany teploty v letním období často i přes 50 °C. V poslední době se hodně rozšířily sendvičové střešní panely vytvořené z tvarovaných plechových pásů spojených izolační mezivrstvou (často polyuretanová pěna a minerální vlákno). Dobrá tepelná izolace střechy stáje může omezit nepříznivé účinky vysokých teplot okolí stáje (Calegariet et al., 2012). Montáž izolace do střešní konstrukce otevřené stáje dokáže

snížit vzduchu až o 1,2 °C. V takto upravené stáji došlo ke zlepšení příjmu krmiva o více než 0,2 kg/den se zvýšenou produkcí mléka o 0,6 kg/den.

### 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 nejlépe odvádějí teplý vzduch ve středu stáje, a zvyšují tak proudění vzduchu v podélné ose stáje. Použití ventilátorů ve stáji však zvyšuje účinek nejrozšířenějšího a velmi účinného evaporačního ochlazování.

Ochlazování zóny chlazení nebo chlazení zvířat využívá proudění vzduchu na hlavu a krk zvířat (West, 2003). Při pokusu, kdy bylo ochlazování laktujících holštýnských krav zajišťováno přívodem chlazeného vzduchu na teplotu 19,4–27,8 °C, přičemž kontrolní skupina byla chována ve stáji o teplotě prostředí 32,2–40,5 °C, došlo u ochlazovaných krav ke snížení rektální teploty a frekvenci dechu. V případě využití chlazeného inspiračního vzduchu pak došlo k 19% zvýšení produkce mléka.

### Evaporační ochlazování vzduchu ve stáji

Tato metoda je založena na fyzikálním jevu tzv. výparného tepla, které se odebrává (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 částicemi 0,02–0,05 mm. Tato metoda však rychle ztrácí účinnost v případě vysoké relativní vzdušné vlhkosti.

### Přímé ochlazování zvířat

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

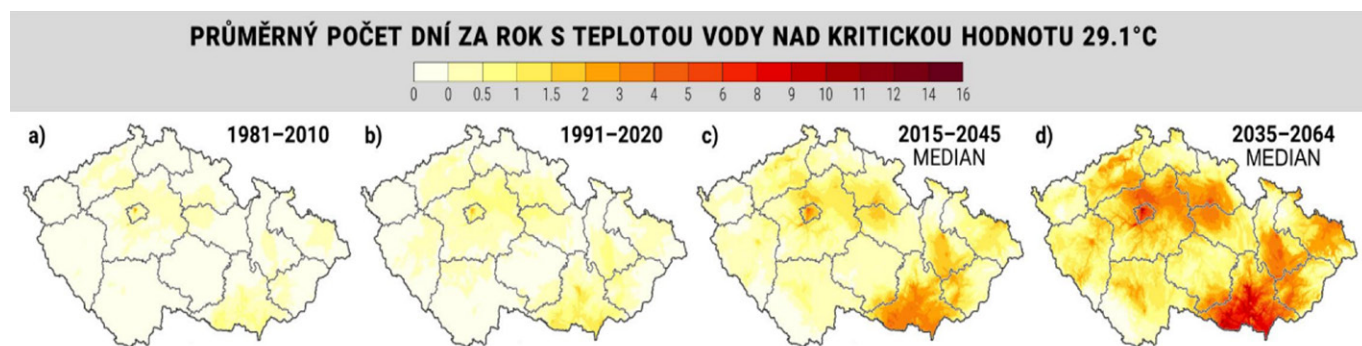
### 10. Vysoké teploty a chov ryb

Teplota vody je jedním z významných ukazatelů jakosti vody z hlediska života vodních organismů a klíčovým ukazatelem charakterizujícím fungování ekosystému. Z hlediska chovu ryb je hlavní význam teploty vody v ovlivnění nasycení vody kyslíkem (vyšší teplota snižuje obsah kyslíku) a vlivu na míru toxicity amoniakálního dusíku (vyšší teplota zvyšuje podíl toxické formy amoniakálního dusíku). Vysoké teploty vody jsou mimořádně nepříznivé i pro akvakultury, a tak i tradiční způsoby chovu ryb nepochybně budou a často již jsou výrazně ovlivněny. Optimální hodnoty teploty vody pro růst a vývoj kaprovitých ryb jsou 18–28 °C u lososovitých 8–18 °C (např. Kopp, 2015). Klimatická změna a s ní související stále rostoucí teplota vody vedou k urych-

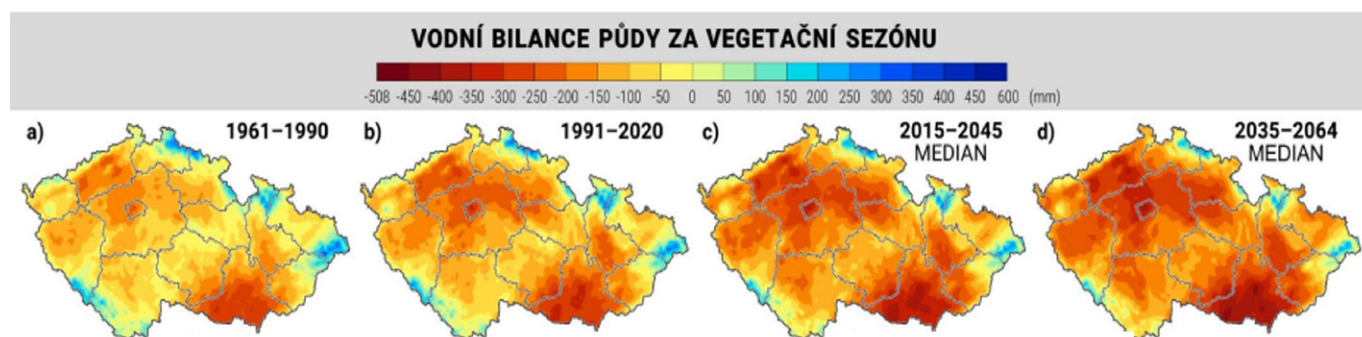
lení a znásobení mikrobiálních procesů ve vodním prostředí, což negativně ovlivňuje rybářské hospodaření v rybnících a zvyšuje riziko úhynu ryb i dalších organismů. Např. den s kritickou teplotou vody nad 29,1 °C se v rybnících před rokem 1980 prakticky nikdy nevyskytl. Na druhou stranu v období 1981–2020 je v průměru ve většině rybníčních pánví dosažena tato teplota alespoň jednou ročně. Jejich řetězení podle scénářů změny klimatu prudce roste pro milníky let 2030 a 2050. Při použití prahové teploty 29,1 °C, která překračuje obvykle uváděné teplotní rozmezí pro chov kapra, se v oblasti jižní Moravy již v současnosti začínáme s touto teplotou vody běžně setkávat. V horizontu roku 2030 tako-

vých kritických dnů zde očekáváme kolem pěti a kolem roku 2050 i deset. V těchto obdobích se i většina jinak „bezpečné“ jihočeské pánve stává rovněž rizikovou oblastí.

Jak dokumentuje Obr. 99 změna teplot nebude jediným rizikem pro rybníční soustavy. Je zřejmé, že probíhající klimatická změna může mít značný dopad na klimatickou vodní bilanci Obr. 100. Kombinace extrémně teplé vody a minimálního přítoku může zesílovat dopad obou rizikových faktorů. Mapové podklady jasně ukazují, na zhoršení klimatologické vodní bilance na naprosté většině území a ve všech rybníčních pánvích.



**Obr. 99:** Průměrný počet dní s teplotou vody nad 29,1 °C pro jednotlivá časová období v rozlišení 500 m. Odhady pro období 2015–2044 a 2035–2064 jsou prezentovány jako střední odhad (medián). Pro tato období byly využity scénáře změny klimatu CMCC (Fondazione Centro EuroMediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Itálie), ECMWF (European Centre of Medium Range Weather Forecast), GFDL (Geophysical Fluid dynamics Laboratory NOAA, USA), MPI (Max Planck Institute for Meteorology, Německo), MRI / Meteorological Research Institute of the Japan Meteorological Agency, Japonsko) a TaiESM1 (Taiwan Earth System Model, Thajsko). Využit byl střední emisní scénář SSP2 a RCP4.5, detaily v publikaci Trnka et al. (2023)



**Obr. 100:** Klimatická vodní bilance (rozdíl sumy srážek a potenciální evapotranspirace) za teplý půlrok, tj. období duben–září, které reprezentuje hlavní vegetační období. Vodní bilance vyjadřuje průměr pro jednotlivá časová období v rozlišení 500 m. Odhady pro období 2015–2044 a 2035–2064 jsou prezentovány jako střední odhad (medián). Pro tato období byly využity scénáře změny klimatu CMCC (Fondazione Centro EuroMediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Itálie), ECMWF (European Centre of Medium Range Weather Forecast), GFDL (Geophysical Fluid dynamics Laboratory NOAA, USA), MPI (Max Planck Institute for Meteorology, Německo), MRI / Meteorological Research Institute of the Japan Meteorological Agency, Japonsko) a TaiESM1 (Taiwan Earth System Model, Thajsko). Využit byl střední emisní scénář SSP2 a RCP4.5, detaily v publikaci Trnka et al. (2023)



### 11. Nízké teploty a zvířata

Nízké teploty nejsou až na výjimky v našich podmínkách pro hospodářská zvířata problémem. 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, ocasy) 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 (slechů) u zajíce evropského a polárního.

## 7.2. Dopady na biotické škodlivé organizmy

### 7.2.1. Plevel

Plevel, stejně jako choroby a škůdci, patří mezi biotické škodlivé organismy. Plevel společně s pěstovanou plodinou v konkrétních agroekologických podmínkách tvoří společenství (agropytocenózu). Obě složky agropytocenózy využívají vegetační faktory na stanovišti (tj. vodu, živiny a prostor). Vzniká konkurence (kompetice), která je zcela převládajícím vztahem, jejímž výsledkem je zpravidla pokles produkce (výnosu) pěstované plodiny. Ztráta na výnosu pěstovaných plodin je obecně odhadována na 34 %, kdežto škody škůdci či chorobami na 18 resp. 16 % (Oerke, 2006). Snahou pěstitele je vytvořit vhodné podmínky pro založení a vývoj porostu pěstované plodiny v průběhu vegetace, a tím posílit její konkurenční schopnost. K tomu jsou využívány různé pěstitelské zásahy, ale i preventivní opatření omezující výskyt a šíření plevelů. Vzhledem k tomu, že plevely mají velkou adaptační schopnost (efektivněji využívají vegetační faktory), ale i přímou konkurenci vůči pěstovaným plodinám, využíváme k jejich regulaci také přímé metody, které redukuje intenzitu zaplevelení.

Druhové spektrum plevelů je ovlivňováno mnoha faktory. Vedle vlivu stanovištních (půdních a klimatických) podmínek mezi ně patří i ty, které jsou ovlivněny člověkem. Jde o strukturu pěstovaných plodin, zpracování půdy, výživu a hnojení či použití herbicidů. Tyto faktory většinou nepůsobí samostatně, ale ve vzájemné interakci.

Výskyt plevelů může být významně ovlivněn i změnou klimatu, která je charakterizována vyššími teplotami vzduchu, méně častými mrazy v zimním období, rychlým nástupem vysokých teplot na jaře, častějšími a déletrvajícimi vlnami veder a změnami v rozložení srážek a větší četností period sucha. To vše ovlivňuje vzházení, dynamiku růstu, rozmnožování, a tedy možnosti uplatnění plevelů v porostech polních plodin (Valerio et al., 2013).

S nárůstem teplot lze očekávat rozšíření plevelů patřících mezi C4 rostliny, zejména právě 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 mračník Theofrastův (*Abutilon theophrasti*), laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), durman obecný (*Datura stramonium*, Obr. 101) 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 škodlivých rostlin, které jsou k nám soustavně a opětovně zavlečeny z teplejších (jižnějších) oblastí a mají schopnost trvalé reprodukce. 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 kon-



**Obr. 101:** Durman obecný (*Datura stramonium*) je teplomilný jedovatý plevel, jehož šíření je podporováno změnou klimatu, foto: Vladimír Smutný

kurenční vlastnosti brání v přítomnosti domácím druhům, které intenzivně vytlačují. Nejznámější z nich jsou křídlatka japonská (*Reynoutria japonica*), netýkavka žláznatá (*Impatiens glandulifera*), netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*), zlatobýl obrovský (*Solidago gigantea*), bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*), astříčka kopinatá (*Symphotrichum lanceolatum*) a další.

Vzhledem k poměrně velké členitosti našeho území dochází k šíření teplomilných plevelných druhů od nížin do vyšších poloh. Příkladem je ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli*), bytel metlatý (*Kochia scoparia*), čirok halepý (*Sorghum halepense*), laskavce (*Amaranthus* sp.), dále pak bér zelený (*Setaria viridis*), lilek černý (*Solanum nigrum*), durman obecný (*Datura stramonium*), ambrózie peřenolistá (*Ambrosia artemisiifolia*). 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. Výše popsané změny klimatu mohou tedy vyvolat i změny v druhovém spektru plevelů.

První oblastí těchto změn je zaplavení v časně setých jarních plodinách (např. v jarním ječmeni, máku a hrachu). Vyšší teploty v době setí a vzcházení těchto plodin umožňují klíčení plevelů ze skupiny pozdně jarních (merlík bílý, laskavec ohnutý, ježatka kuří noha).

Druhou oblastí změny druhového spektra plevelů je období sklizně obilnin a řepky. Intenzivní deště v období konce vegetace (před sklizní plodin) iniciují vzejtí především pozdně jarních druhů (výše uvedené), které v podmínkách dostatku vody a vyšších teplot velmi rychle vytvářejí velké množství biomasy. Jedná se o tzv. sekundární zaplavení, čímž se zvyšuje vlhkost zrna a obsah zelených příměsí ve sklizeném zrně. Zároveň se tím komplikuje sklizeň (navíc nemůžeme porosty desikovat) a jsou vyšší ztráty. V takových případech je pak nutné sušení a čištění, což zvyšuje náklady a snižuje rentabilitu pěstování.

Třetí oblastí je výskyt extrémně suchých období, při nichž je pěstovaná plodina silně stresována, což se projevuje zpomalením či zastavením růstu. Vzniká prostor, který dokáží využít plevel, které se vyznačují lepší adaptační schopností. Velmi dobře se pak prosazují druhy odolné či adaptované k suchu, jako je pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*), nebo druhy hlubokokořenicí, jako je pcháč rolní (*Cirsium arvense*) a kamyšník přímořský (*Bolboschoenus maritimus*). Déletrvající periody sucha mají také přímý vliv na fyziologické procesy a samotný habitus plevelů. Příkladem je silnější vosková vrstva na povrchu některých plevelných druhů, která je obranným mechanismem vůči suchu, ale zároveň snižuje citlivost plevelů k herbicidům. I proto vykazují registrované dávky sníženou účinnost a je nutné např. podle Riederera a Schonherra, (1985) využívat smáčedla apod.

Pátou oblastí je výskyt mírných zim, které mohou vést k rozšiřování řady druhů plevelů. Opakující se téměř bezmrazové zimy v posledních letech umožňují prakticky každoroční přežívání i těch druhů plevelů, které by normálně vymrzly. Jedním z druhů, které mírné zimy posledních let pravidelně přežívají, je oves hluchý (*Avena fatua*). Tento dříve výhradně jarní plevel se díky

tomu vyskytuje v porostech ozimých obilnin, kde je jeho regulace poměrně obtížná. Také některé přezimující plevele během zimy rostou (např. ptačinec prostřední – *Stellaria media*), čímž vytvoří silné rostliny v jarním období, které brzy vytvářejí semena. Tyto rostliny ve vyšší růstové fázi jsou hůře hubitelné mechanickými zásahy, ale i herbicidy.

Závěrem lze říci, že klimatická změna může vyvolat pokles výskytu těch druhů, které se této změně nebudou schopny přizpůsobit a na jejich uvolněné místo mohou nastoupit druhy nové. Nástup změn v druhovém složení plevelů se nedá přesně odhadnout, ale může být poměrně velmi rychlý. Z tohoto důvodu je velmi důležité plevele monitorovat a mapovat.

## 7.2.2. Choroby

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 změně 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 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 epidemii (epifytocií).

V případě teploty nemusí mít klimatická změna jednoznačný dopad. Většina patogenů je aktivních v poměrně širokém teplotním rozmezí, a proto jim mohou vyhovovat současně i změněné podmínky. Pouze za nižších teplot je rychlost vývoje velmi nízká, neboť optimální teploty se většinou pohybují v intervalu 18–24 °C. Jenom během 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 může být současně podpořeno i nedostatkem vody potřebné pro jeho vývoj a šíření. Vlivem nárůstu teplot ve vegetačním období, poklesu úhrnů horizontálních srážek (např. rosa) a především jejich nerovnoměrnému rozdělení lze očekávat spíše pokles škodlivosti chorob rostlin, případně jen mírné zvýšení škodlivosti v období počátku a konce vegetace, tedy na jaře a na podzim. V teplejších suchých letech může docházet k poklesu počtu vývojových cyklů 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 patogenů. Výjimku představují xerothermofilní (tzn. teplomilné a suchomilné) patogeny, např. původci padlí rodů *Podosphaera*, *Sphaerotheca*, *Uncinula* a snětí, např. druhy rodu *Ustilago*, kterým mohou teplejší a sušší podmínky za klimatické změny vyhovovat a jejich význam může narůstat.



Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nebudou mít významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří v půdě speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí kterých přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhé období i několika let (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 inoculum 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 inoculum 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 napadených rostlin.

Kromě houbových patogenů může být ovlivněn také výskyt, rozšíření a škodlivost virových a bakteriálních patogenů. 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 tropického pásu do oblastí subtropických.

### 7.2.3. Škůdci

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 klimatická změna 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. V úvahu musíme vzít ale také skutečnost, že kromě klimatických podmínek ovlivňují výskyt i početnost škodlivých druhů další faktory, zejména přítomnost vhodných hostitelských rostlin, celkový charakter prostředí, které musí splňovat veškeré požadavky na jejich dlouhodobou existenci (místa pro přezimování, rozmnožování, úkryty, dostatek potravy i pro stadia, která neškodí apod.). Podrobněji viz např. Šefrová a Laštůvka (2022, 2024).

Konkrétně klimatická změna ovlivňuje škůdce následujícími způsoby:

#### 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*) (Obr. 102) 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 vojtěšková (*Contarinia medicaginis*), kovaříci (resp. jejich škodlivé larvy zvané drátovci), hádátka a slimáci. Škodlivost některých druhů může narůstat



**Obr. 102:** Častější a početnější výskyt přástevníčka amerického (*Hyphantria cunea*) na jižní Moravě po roce 2000 může souviset s klimatickou změnou, jeho housenky škodí na ovocných i okrasných dřevinách, foto Zdeněk Laštůvka



ve vyšších polohách a severnějších oblastech, např. mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), příp. dojde ke geografickému posunu oblastí největších škod a častých přemnožení určitého škůdce.

#### b) rychlejší vývoj a větší počet generací

Zvýšení teploty vzduchu a časnější nástup vegetačních období vede k urychlení a uspišení 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 (*Comstockaspis perniciososa*), mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), obaleč jednopásý (*Eupoecilia ambiguella*), obaleč ovocný (*Pandemis heparana*) a další druhy obalečů rodu *Pandemis*, či osenice polní (*Agrotis segetum*). Zvýšený počet generací ovšem nemusí být vždy výhodou pro škůdce a špatnou zprávou pro pěstitele rostlin. Většina druhů hmyzu je schopná přezimovat jen v určitém vývojovém stadiu a jedinci v jiných fázích vývoje hynou. Tak např. bělásek zelný (*Pieris brassicae*) je schopen přežít zimu pouze ve stadiu kukly. V teplém roce housenky nadpočetné generace sice mohou způsobit škody na podzimní brukvovité zelenině, ale obvykle nestačí dokončit vývoj a hynou před zakuklením. To se pak může projevit méně početným výskytem bělásky zelného v následujícím roce. Totéž platí pro osenici polní a některé další druhy osenic.

Na tomto místě lze zmínit nejvýznamnějšího škůdce v našich lesích (a ekonomicky nejvýznamnějšího škůdce vůbec), který způsobil na mnoha místech našeho území rozpad smrkových lesů a zvýšil podíl nahodilé těžby (těžba prováděná za účelem zpracování stromů suchých, vyvrácených, nemocných nebo poškozených) až na 90%, a to kůrovce lýkožrouta smrkového (*Ips typographus*) z řádu brouci (*Coleoptera*), podčeledi kůrovci (*Scolytinae*). Je nutné zdůraznit, že jeho výskyt v našich lesích je stálý, škody variabilní, ale jen výjimečně kalamitní. Jeho poslední, pozvolná končící přemnožení, vrcholící v letech 2018–2021, mají na svědomí především povětrnostní podmínky, a to konkrétně zvýšená teplota a sucho. Zvýšená teplota způsobila nárůst počtu jeho generací o jednu. Sucho způsobilo, že napadené stromy nebyly schopny vytvořit dostatečné množství pryskyřice, kterou by se bránily (lidově by lýkožrouta pryskyřičí zalily). Změnilo se klima a ne lýkožrout.

#### 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 středoevropských škůdců přežívá zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě, často pod bodem mrazu, a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdárný vývoj je proto nevhodnější dlouhá mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 °C vedou

k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také např. vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Pokud se klimatická změna projevuje nástupem bezmrazových zim, je většina středoevropských škůdců ovlivněna negativně a význam některých může klesat. Zimním oteplením jsou pozitivně ovlivněny nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje, při ochlazení pouze snižují aktivitu, např. blyšavka mramorovaná (*Phlogophora meticulosa*). Bezmrázové zimy mohou pozitivně ovlivnit i některé migranty (tažné druhy), kteří pak mohou na našem území (ve střední Evropě) početněji přezimovat, a jejich početnost tak není závislá jenom na sezónních přistěhovalcích. Příklady těchto druhů jsou kovolesklec gama (*Autographa gamma*) a černopáska bavlníková (*Helicoverpa armigera*) (Obr. 103).

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 patogenů i škůdců. Změna (urychlení) fenologie plodin některé škůdce utlumuje, naopak jiní nabývají na významu. Příkladem může být krytosonec čtyřzubý (*Ceutorhynchus pallidactylus*), na kterého je nutné v současné době v řadě netradičních lokalit v porostech řepky používat dvě aplikace místo jedné, i když je tento škůdce poměrně silně redukován mírnou zimou.



**Obr. 103:** Černopáska bavlníková (*Helicoverpa armigera*) byla na našem území poprvé pozorovaná až v polovině 60. let 20. století, zhruba po roce 1990 k nám přiletuje početněji a v posledních 15 letech stále častěji u nás také ve stadiu kukly přezimuje, patrně v souvislosti s teplejšími zimami, foto: Zdeněk Laštůvka

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

Mezi škůdcem a jeho hostitelskou rostlinou se postupně vytváří těsný vztah provázený vznikem nejrůznějších adaptací obou populací. Tento vztah může být odlišným klimatem narušen nebo změněn. Může dojít k fenologické asynchronizaci hmyzu a hostitelských rostlin, což ovšem zpravidla zvýhodní rostlinu oproti škůdci (má-li za současného klimatu výhodu škůdce, dosahuje vy-

soké početnosti a škodí). Jako příklad možného vzniku časového nesouladu je často uváděna píďalka podzimní (*Operophtera brumata*). Stejně tak může dojít opačně k lepší synchronizaci při vyšší teplotě a škodlivost konkrétního druhu může narůstat.

### e) šíření škůdců z teplejších oblastí

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 Česka odněkud šíří nebo opačnými směry ustupují. Šíření v důsledku klimatické změny může probíhat v zásadě dvěma způsoby. V prvním případě je konkrétní druh schopen okamžitě reagovat na měnící se klima. Jeho šíření je pak poměrně pomalé a musí být s oteplováním v korelaci (nemůže je předstihnout). Takový druh musí mít trvalý potenciál k šíření a nesmí být jeho rozšíření limitováno jinými faktory (hostitelskou rostlinou, vhodnými stanovišti, malou pohyblivostí). Ve druhém případě jsou všechny důležité podmínky již dlouho splněny, klimatické limity se dávno posunuly, ale druhu schází impulz (potenciál) k šíření. Pokud takový impulz dostane, šíří se pak velmi rychle a za relativně krátkou dobu „dohání“ svůj klimatický limit a zdánlivě „předstihuje“ oteplování. Šíření takových druhů je pak často nápadné, upoutá pozornost a jsou to právě ty, které jsou jako příklady druhů šířících se vlivem klimatické změny často uváděny. Ta je v tomto případě samozřejmě primárním předpokladem, ale není impulzem k šíření.

Šíření v důsledku klimatické změny je již dokumentováno nebo prognózováno v různých skupinách hmyzu. V naprosté většině se týká „neškodlivých“ druhů, mezi škůdci jsou takové případy prozatím naprostou výjimkou. Je to dáno tím, že škůdci jsou většinou klimaticky (a obecně ekologicky) velmi tolerantní (a již zde v naprosté většině jsou), proto také dosahují vysokých početností a působí škody. Rozhodující podmínkou výskytu většiny z nich je přítomnost hostitelské rostliny (pěstované plodiny). Přitom druhové spektrum škůdců jednotlivých plodin je v rámci Evropy více méně stejné. Proto obvykle nemůžeme očekávat příchod nového škůdce některé z běžně pěstovaných plodin. Případá to v úvahu při zavádění zcela nových plodin, s nimi se k nám pak mohou šířit i jejich škůdci.

### f) invazní škůdci

Poněkud odlišná situace je u invazních druhů. Jsou to druhy zavlečené člověkem z oblastí (jiných částí světa) s obdobným klimatem. V novém území pak zaujímají nový sekundární areál. Jeho velikost je ovlivněna jejich klimatickými nároky, ale také přítomností hostitelských rostlin i vhodných biotopů. Šíření invazních druhů je různě rychlé, většinou všemi směry z místa zavlečení a jejich invaze nesouvisí s klimatickou změnou. Šíří se tak dlouho, než dosáhnou ekologického limitu (klima, biotopy, hostitelská rostlina). Aktuálním příkladem velmi rychlého šíření je bronzovníček ořešákový (*Coptodisca lucifluella*), pocházející ze Severní Ameriky. V Evropě byl poprvé zaznamenán v jižních částech Itálie v roce 2010 (Bernardo et al., 2012). Již v roce 2017 byl zjištěn poprvé ve střední Evropě v Maďarsku (Takács et al., 2020) a v roce 2018 také na našem území. Dnes se patrně vyskytuje na většině území střední Evropy (Laštůvka et al., 2021). Dalším příkladem invazního

druhu nesouvisejícího s klimatickou změnou je zavíječ zimozrázový (*Cydalima perspectalis*), byl v Evropě poprvé zaregistrován v roce 2007 a během následujících necelých 15 let zaplavil většinu území západní, střední, východní a jižní Evropy (blíže např. Šefrová et al., 2019).

Vliv klimatické změny je možné analyzovat teprve u těch invazních druhů, jejichž invaze proběhla v minulosti a sekundární areál je již více méně stabilní. Pak na klimatickou změnu reagují úplně stejně jako naše domácí (autochtonní) druhy a je možné sledovat, zda při oteplování dochází k zvětšování jejich areálu, jeho posunu (nebo naopak u chladnomilných druhů k jeho zmenšování) nebo jsou jeho hranice limitovány jinými faktory a zůstávají beze změny. Vliv klimatické změny můžeme jen velmi obtížně analyzovat u druhů, jejichž invaze aktuálně probíhá, jako jsou např. bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*), síňatka dubová (*Corythucha arcuata*), kněžice mramorovaná (*Halyomorpha halys*) nebo kněžice zeleninová (*Nezara viridula*). Možné je to u druhů, jejichž invaze proběhla již před několika desítkami let. Takovými druhy jsou např. štítenka zhoubná (*Comstockaspis perniciosus*), štítenka brslenová (*Unaspis euonymi*), křísek révový (*Scaphoideus titanus*), mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*), přástevníček americký (*Hyphantria cunea*) a snad i vrtule ořechová (*Rhagoletis completa*).

Štítenka brslenová (*Unaspis euonymi*) byla do Evropy zavlečena již před rokem 1900, ale do střední Evropy se rozšířila až v posledních dvou desetiletích a na našem území byla zaregistrována až v roce 2015. Obdobně křísek révový (*Scaphoideus titanus*) byl v Evropě zaznamenán už počátkem 20. století, ale k nám se rozšířil až kolem roku 2015. U přástevníčka amerického byly posuny severní hranice rozšíření ve střední Evropě v závislosti na teplejších víceletých periodách pozorovány opakovaně a klimatická změna by tak k trvalejšímu posunu směrem na sever mohla vést. Ukazují na to také stále severnější nálezy tohoto druhu v prostoru jižní Moravy. Vrtule ořechová (*Rhagoletis completa*) byla zjištěna v Evropě v roce 1991, ale prudké šíření je evidováno až v posledním desetiletí. Můžeme se tak domnívat, že za aktuálním šířením těchto druhů stojí klimatická změna, ale jednoznačné závěry musíme v tomto ohledu vždy přijímat s určitou mírou pravděpodobnosti a s opatrností.

Variabilita počasí se stává rozhodujícím produkčním faktorem. Přesná předpověď je základem pro načasování agronomických prací. I z tohoto důvodu vznikl ve spolupráci řady institucí systém včasné výstrahy umístěný na [www.agrorisk.cz](http://www.agrorisk.cz), jehož primárním cílem je poskytovat zemědělcům aktuální informace a předpovědi, které pomohou při jejich rozhodování o provedení klíčových opatření ve výživě rostlin a ochraně zemědělských plodin před abiotickými faktory, chorobami a škůdci, včetně poskytnutí denně aktualizované 9denní předpovědi o jejich výskytu v následujících dnech. Kromě omezení škod a významné úspory nákladů, systém zásadním způsobem přispívá k omezení používání hnojiv a přípravků na ochranu rostlin tzv. naslepo nebo v podmínkách nepříznivých pro jejich použití, které pak vedou k nízké účinnosti. Vedle dopadu na ekonomiku tak systém poskytuje zásadní přínos ke snižování zátěže na životní prostředí, a to v podobě nižšího znečištění zdrojů pitné vody, omezení vlivu na necilové organismy a udržení biodiverzity.

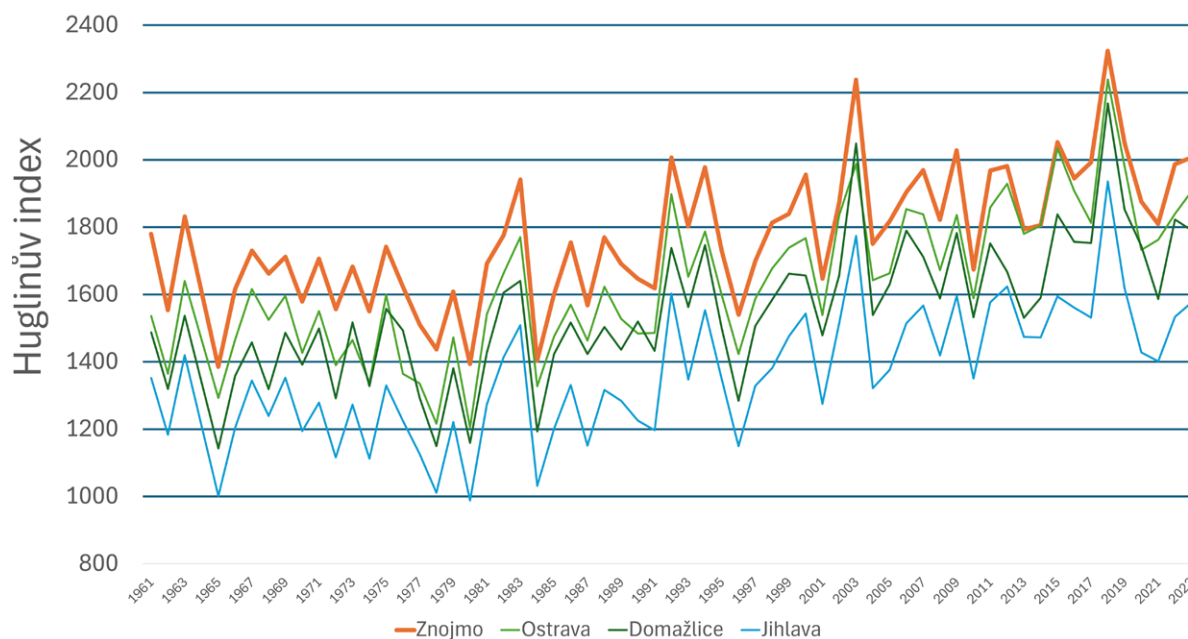
### 7.3. Klimatická změna a příležitosti – pozitivní dopady

Každá změna v přírodě (tedy i klimatická) přináší i příležitosti. První z nich je využití zvýšené koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Jedná se o plyn, který přijímá rostlina ze vzduchu přes speciální buňky - průduchy a následně vstupuje do fotosyntézy. Jeho současná koncentrace není pro optimální intenzitu tohoto procesu dostatečná. Nárůst CO<sub>2</sub> rostlinám vyhovuje. Ano, zvýšená atmosférická koncentrace CO<sub>2</sub> představuje jednoznačně pozitivní faktor z pohledu stimulace fotosyntézy a tvorby biomasy. Tento proces vede i k efektivnějšímu hospodaření rostlin s vodou (tzv. WUE – Water Use Efficiency). I když vyšší tvorba biomasy znamená zvýšenou potřebu živin, které se tak často pro procesy růstu stávají limitem.

Zvyšování teploty má vliv i na rajonizaci zemědělských kultur. Obecně se dá říci, že oblasti ve středních nadmořských výškách se i přes handicap méně kvalitních půd stávají z pohledu pěstování plodin produkčnější. Významně se zde začíná projevovat právě výhodnější klimatický potenciál, ať jsou to vyšší teploty, relativně dostatek srážek a i přes ubývání sněhové pokrývky její přeci jen delší trvání a s tím spojené jarní dosycení půdního profilu. Vyšší produktivita ve vyšších nadmořských výškách je však jen dočasná, protože i zde nás klimatická změna v řádu desetiletí dožene. V současnosti je ale fakt, že kraj Vysočina má lepší podmínky pro tradiční plodiny než např. Jižní Morava. Stačí se podívat na Český statistický úřad a porovnat si výnosy pšenice, řepky, ječmene např.

za posledních 10 let. Jednoduše lze konstatovat, že se optimální klimatické podmínky pro pěstování zemědělských plodin posunuly o cca 200 až 300 m výše.

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. 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. Okamžitě je však nutné dodat, že se mění i obsah kyselin, což není vždy ku prospěchu. Značné problémy s tím mají i prestižní světová vinařství ve Francii, která nejsou schopná kvůli změně klimatu udržet tradiční a zákaznicky žádanou chuť vína. Rozšířeným a uznávaným parametrem pro posouzení vhodnosti pěstování odrůdy vinné révy je Huglinův index (Huglin, 1978), který shrnuje teplotní sumu nad 10 °C od 30. 9. do 1.4, respektuje maximální teplotu vzduchu i korekční faktor na zeměpisnou šířku. Jeho stoupající hodnoty (Obr. 104) vytváří předpoklady pro pěstování odrůd vinné révy i ve vyšších nadmořských výškách. Např. rozpětí 1500 ≤ HI < 1600 je vhodné pro Müller Thurgau nebo Modrý Portugal; 1600 ≤ HI < 1800 jsou vhodné hodnoty pro Sylvánské zelené, Chardonnay, Rulandské modré, Ryzlink rýnský, Tramin; 1800 ≤ HI < 1900 pro Frankvku, Merlot; 1900 ≤ HI < 2000 Cabernet Sauvignon, Ryzlink vlašský, Chenin blanc, Merlot, Cabernet Sauvignon. Kvůli klimatické změně bude Huglin index v příštích desetiletích nadále stoupat a vhodnost oblastí pro konkrétní odrůdy vinné révy se bude i nadále měnit.



**Obr. 104:** Hodnoty Huglinova indexu, teplotní sumy vymezující dozrání odrůd révy vinné pro Znojmo (290 m n. m.), Litoměřice (136 m n. m.), Ostrava (260 m n. m.), Domažlice (428 m n. m.) a Jihlava (525 m n. m.)



# Literatura:

- Allen, R.G. et al. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome
- Armstrong, J., Janni, K. (2023). Extension bioproducts and biosystems engineer. <https://extension.umn.edu/dairy-milking-cows/heat-stress-dairy-cattle>.
- Badole, S., Datta, A., Krishna Chaitanya, A., Majumder, S.P., Mandal, B. (2020). Soil Carbon Dynamics Under Different Land-Use and Management Systems, in: Ghosh, P.K., Mahanta, S.K., Mandal, D., Mandal, B., Ramakrishnan, S. (Eds.), Carbon Management in Tropical and Sub-Tropical Terrestrial Systems. Springer, Singapore, pp. 103–121. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9628-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9628-1_7)
- Bartošová, L., Hájková, L., Pohanková, E., Možný, M., Balek, J., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Dížková, P., Trnka, M., Žalud, Z. (2024) Differences in shifts of the phenological terms of field crops and wild plants – is it the same response to climate change in Central Europe?. *International Journal of Biometeorology*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4593984/v1>
- Bartošová, L., Dížková, P., Bauerová, J., Hájková, L., Fischer, M., Balek, J., Trnka, M. (2022). Phenological response of flood plain forest ecosystem species to climate change during 1961–2021. *Atmosphere*, 13(6), 978.
- Bauer, Z., Trnka, M., Bauerová, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová, L., Žalud, Z. (2010). Changing climate and the phenological response of Great Tit and Collared Flycatcher populations in floodplain forest ecosystems in Central Europe. *Int. J. of Biometeorology*, 54, 99–111.
- Becker, C. A., Collier, R. J., Stone, A. E. (2020). Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *Journal of dairy science*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4593984/v1>
- Bernardo, U., Sasso, R., Gebiola, M., Viggiani, G. (2012). First record of a walnut shield bearer *Coptodisca* (Lepidoptera: Heliozelidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136: 638–640.
- Bispo, A., Andersen, L., Angers, D.A., Bernoux, M., Brossard, M., Cécillon, L., Comans, R.N.J., Harmsen, J., Jonassen, K., Lamé, F., Lhuillery, C., Maly, S., Martin, E., Mcelnea, A.E., Sakai, H., Watabe, Y., Eglin, T.K. (2017). Accounting for Carbon Stocks in Soils and Measuring GHGs Emission Fluxes from Soils: Do We Have the Necessary Standards? *Frontiers in Environmental Science* 5.
- Brázdil, R., Trnka, M., Řezníčková, L., et al. (2015). Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Ústav výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s.
- Brázdil, R., Zahradníček, P., Dobrovolný, P., Štěpánek, P., Trnka, M. (2021). Observed changes in precipitation during recent warming: The Czech Republic, 1961-2019. *International Journal of Climatology* 41(7): 3881-3902,
- Brázdil, R., Zahradníček, P., Dobrovolný, P., Řehoř, J., Trnka, M., Lhotka O., Štěpánek, P. (2022) Circulation and Climate Variability in the Czech Republic between 1961 and 2020: A Comparison of Changes for Two “Normal” Periods. *Atmosphere*. Basel: MDPI, 13(1), 1–30. ISSN 2073-4433. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.3390/atmos13010137>.
- Brázdil, R., Zahradníček, P., Chromá, K., Dobrovolný, P., Dolák, L., Řehoř, J., Zahradník, P. (2023). Severity of winters in the Czech Republic during the 1961–2021 period and related environmental impacts and responses. *International Journal of Climatology*, 1-23,
- Büntgen, U., Piermattei, A., Krusic, P.J., Esper, J., Sparks, T., Crivellaro, A. (2022). Plants in the UK flower a month earlier under recent warming. *Proc. R. Soc. B* 289, 20212456.
- Calegari, F., Calamari, L., Frazzi, E. (2012). Misting and fan cooling of the rest area in a dairy barn. *International journal of biometeorology*, 56, 287–295.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quéré, C., Myneni, R.B., Piao S., Thornton, P. (2013). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. 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
- Cotrufo, M.F., Ranalli, M.G., Haddix, M.L., Six, J., Lugato, E. (2019). Soil carbon storage informed by particulate and mineral-associated organic matter. *Nat. Geosci.* 12, 989–994. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0484-6>
- Český hydrometeorologický ústav (1987). Metodický předpis č. 10, Návod pro činnost fenologických stanic, Lesní rostliny, Praha.
- Darabighane, B., Tapio, I., Ventto, L., Kairenius, P., Stefański, T., Leskinen, H., Shingfield, K.J., Vilkkilä, J., Effects of Starch Level and a Mixture of Sunflower and Fish Oils on Nutrient Intake and Digestibility, Rumen Fermentation, and Ruminant Methane Emissions in Dairy Cows. *Animals*, 11, 1310. <https://doi.org/10.3390/ani11051310>
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., Sergentet, Delphine. (2013). Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*. 182. 1-15. [10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006)
- Ergon, Å., Skinnes, H., Tronsmo, A.M. (2003). Testing Snow Mould Resistance of Winter Wheat: Inoculation Experiments with *Microdochium nivale* in the Field, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 53:3, 110-117, DOI: 10.1080/09064710310009055
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, 7, 220–234. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- Gvoždíková, B., Müller, M. (2021). Predictability of moisture flux anomalies indicating central European extreme precipitation events. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(739), 3335–3348. <https://doi.org/10.1002/qj.4131>
- Hahn, G.L., Mader, T.L., Gaughan, J.B., Eigenberg, R.A. (2009) Chapter 5: Thermal indices and their applications for livestock environments. p.113-130. In: *Livestock energetics and thermal environmental management*. DeShazer, J. A., ed. ASABE, St. Joseph, MI.
- Hájková, L., Voženílek, V., Tolasz, R. (2012). Atlas fenologických poměrů Česka. Český hydrometeorologický ústav. Počet stran: 311. ISBN: 978-80-86690-98-8.
- Hess, M., Barlis, G., Mleiholder, H., Buhr, L., Eggers, T., Hack, H., Stauss R. (1997). Use of the extended BBCH scale - general for the descriptions of the growth stages of mono- and dicotyledonous weed species, *Weed Research*, 37, 433–411.
- 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.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Zalud, Z., Možný, M. (2009). Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric. For. Meteorol.* 149, 431–442.

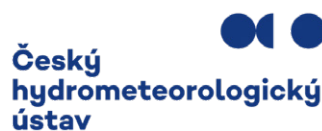
- Huglin, P. (1978). Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermique d'un milieu viti-cole. C. R. Académie d'Agriculture (Acad. Agric.), 1117–1126, 1978
- IPCC (2014). Climate Change (2014). Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J. C. (Eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Juřicová, A., Chuman, T., Žižala, D. (2022). Soil organic carbon content and stock change after half a century of intensive cultivation in a chernozem area. CATENA 211, 105950. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105950>
- Kahiluoto, H et al., (2018). Decline in climate resilience of European wheat, PNAS January 2, 2019 116 (1) 116(1), 123–128., <https://doi.org/10.1073/pnas.1804387115>
- 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.
- Kopp, R. (2015). Hydrochemie nejen pro rybáře. Mendelova univerzita v Brně, Astron studio CZ, a.s., 120 s. ISBN 978-80-7509-352-3
- Kuzyakov, Y., (2010). Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. Soil Biology and Biochemistry 42, 1363–1371. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.003>
- Laštůvka, A., Šefrová, H., Laštůvka Z. (2021). Dva nové nepůvodní druhy minujících motýlů na orešácích osídlují naše území. Rostlinolékař, 32 (5): 19–21.
- Lavallee, J.M., Soong, J.L., Cotrufo, M.F. (2020). Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. Global Change Biology, 26, 261–273. <https://doi.org/10.1111/gcb.14859>
- Maaz, T.M., Sapkota, T.B., Eagle, A.J., Kantar, M.B., Bruulsema, T.W., Majumdar, K. (2021). Meta-analysis of yield and nitrous oxide outcomes for nitrogen management in agriculture. Global Change Biology 27, 2343–2360. <https://doi.org/10.1111/gcb.15588>
- Meier, U., (2001). Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph. 2. edition. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 158.
- Menzel, A., Yuan, Y., Matiu, M., Sparks, T., Scheifinger, H., Gehrig, R., Estrella, N. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology.
- Min, B.R., Solaiman, S., Waldrip, H.M., Parker, D., Todd, R.W., Brauer, D., (2020). Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. Animal Nutrition 6, 231–246. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002>
- Němec, J. (2001). Assessment and Evaluation of Farm Land in the Czech Republic. Prague, Research Institute of Agriculture Economics. ISBN 808589890X (In Czech)
- Novák, V., Šimek, J. (1926): Fenologická pozorování na Moravě a ve Slezsku v r. 1923 a 1924, Fenologická ročenka, Praha
- Oerke, EC. (2006). Crop losses to pests. J Agric Sci 144:31–43. doi:10.1017/S0021859605005708
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological Drought. Res. Paper No.45, 58pp., Dept. of Commerce, Washington, D.C.
- Petrescu, A.M.R., Peters, G.P., Janssens-Maenhout, G., Ciais, P., Tubiello, F.N., Grassi, G., Nabuurs, G.-J., Leip, A., Carmona-Garcia, G., Winiwarter, W., Höglund-Isaksson, D., Solazzo, E., Kiesow, A., Bastos, A., Pongratz, J., Nabel, J.E.M.S., Conchedda, G., Pilli, R., Andrew, R.M., Schelhaas, M.-J., Dolman, H. (2019). European anthropogenic AFOLU emissions and their uncertainties: a review and benchmark data. Earth System Science Data (ESSD). <https://doi.org/10.5194/essd-2019-199>
- Pidwirny, M. (2006). "El Niño, La Niña and the Southern Oscillation". Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7z.html>
- Powelson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M.L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G. (2014). Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. Nature Clim Change 4, 678–683. <https://doi.org/10.1038/nclimate2292>
- Purwanto, B.P., Abo, Y., Sakamoto, R., Furumoto, F., Yamamoto, S. (1990). Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. The Journal of Agricultural Science, 114(2), 139–142.
- Riederer, M., Schonherr, J. (1985). Accumulation and transport of (2,4-dichlorophenoxy) acetic acid in plant cuticles: II. Permeability of the cuticular membrane. Ecotoxicol. Environ. Safety, 9, 196–208.
- Roque, B.M., Venegas, M., Kinley, R.D., de Nys, R., Duarte, T.L., Yang, X., Kebreabet, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. PLoS ONE 16(3): e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Six J., Elliott E.T., Paustian K., Doran J.W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils, Soil Science Society of America, 63, 1350–1358
- Six, J., Frey, S.D., Thiet, R.K., Batten, K.M. (2006). Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. Soil Science Society of America Journal 70, 555–569. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>
- Smith, P., Reay, D., Smith, J. (2021). Agricultural methane emissions and the potential for mitigation. Phil. Trans. R. Soc. A 379: 20200451. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0451>
- Stevenson, A., Zhang, Y., Huang, J., Hu, J., Paustian, K., Hartemink, A.E., (2024). Rates of soil organic carbon change in cultivated and afforested sandy soils. Agriculture, Ecosystems & Environment 360, 108785. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108785>
- Šarapatka, B. (2010). Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Olomouc: Bioinstitut, ISBN 978-80-8731-10-7.
- Šefrová H., Laštůvka Z. (2022). Noví hmyzí škůdci kulturních rostlin a rizika jejich šíření. Agromanuál, 17 (2): 72–75.
- Šefrová, H., Laštůvka, Z. (2024). Měli bychom se obávat nově zavlečených škůdců a jejich šíření v souvislosti s klimatickou změnou? Agromanuál, 19 (6): 40–42.
- Šefrová H., Laštůvka Z.v Laštůvka A. (2019). Zavíječ zimozrázový nás trápí stále víc. Agromanuál, 14 (8): 52–54.
- Takács, A., Szabóky, C., Tóth, B., Bozsó, M., Kutas, J., Molnar, S., Richter, I. (2020). Nearctic walnut leafminers invade Europe: first *Coptodisca lucifluella* (Clemens, 1860) and now *Coptodisca juglandiella* (Chambers, 1874) (Lepidoptera, Heliozelidae). Nota Lepidopterologica, 43: 77–93.
- Tiefenbacher, A., Weigelhofer, G., Klik, A., Mabit, L., Santner, J., Wenzel, W., Strauss, P. (2021). Antecedent Soil Moisture and Rain Intensity Control Pathways and Quality of Organic Carbon Exports from Arable Land. CATENA, 105297, doi:10.1016/j.catena.2021.105297
- Tolasz, R. et al., (2007). Atlas podnebí Česka = Climate atlas of Czechia. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s. ISBN 978-80-244-1626-7.
- Trnka M., Drbal K., Dumbrovský M., Novotný I., Žalud Z., Vizina A., Chuchma F., Růžek P., Trantinová M. (2017). Generel vodního hospodářství krajiny České republiky. Státní pozemkový úřad Brno, 423 s.

- Trnka, M., Hlavinka, P., Balek, J., Meitner, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová, L., Semerádová, D., Bláhová, M., Kudláčková, L., Lukas, V., Žalud, Z. (2018). Regionální předpověď výnosů plodin pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě, metodika pro praxi, ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav a Mendelova univerzita v Brně, 45 s.
- Trnka, M., Kopp, R., Mareš, J., Orság, M., Fischer, M., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Balek, J., Semerádová, D., Hanuš, J., Možný, M., Kudláčková, L., Bláhová, M., Vizina, A., Meitner, J., Žalud, Z. (2023). Stanovení rizika dosažení kritických hodnot kyslíku v rybnících, mapa se specializovaným obsahem, 25769/2023 - MZE - 16232, s. 21, <http://rybarstvi.eu/pub%20rybari/mkyslik.pdf>
- Trnka, M., Semerádová, D., Novotný, I., et al. (2016). Assessing the combined hazards of drought, soil erosion and local flooding on agricultural land: a Czech case study. *Climate Research*, Volume 70, Issue 2-3, st. 231–249, ISSN: 0936-577X
- Urban, O., Hlaváčová, M., Klem, K., Novotná, K., Rapantová, B., Smutná, P., Horáková, V., Vopravil, J. et al. (2010). Půda a její hodnocení v ČR – díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 148 s.
- Valerio, M., Tomecek, M., Lovelli, S., Ziska, L. (2013). Assessing the impact of increasing carbon dioxide and temperature on cropweed interactions for tomato and a C3 and C4 weed species. *Eur. J. Agron.* 50, 60–65
- Veloso, M. G., Angers, D. A., Tiecher, T., Giacomini, S., Dieckow, J., Bayer, C. (2018). High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 268, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.024>
- Wilhite, D.A. (2000). Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions" (2000). Drought Mitigation Center Faculty Publications. 69. <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/69>
- Wilhite, D.A. (2000). "Drought" (1992). Drought Mitigation Center Faculty Publications. 64. <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/64>
- Yan, G., Liu, K., Hao, Z., Shi, Z., Li, H. (2021). The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 100, 103041.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, F. C., (1974). Decimal cod efor growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421.
- Zahradníček, P., Brázdil, R., Řehoř, J. et al. (2024). Past and present risk of spring frosts for fruit trees in the Czech Republic. *Theor Appl Climatol* 155, 965–984 <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04671-2>
- Zahradníček, P.; Brázdil, R.; Řehoř, J.; Lhotka, O.; Dobrovolný, P.; Štěpánek, P.; Trnka, M. Temperature extremes and circulation types in the Czech Republic, 1961–2020 (2022). *International Journal of Climatology* 42(9): 4808, Article number 4829, 2022
- Zahradníček, P.; Brázdil, R.; Řehoř, J.; Trnka, M.; Bartošová, L.; Rožnovský, J. (2023). Past and present risk of spring frosts for fruit trees in the Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology* 154(2): 965-984
- Zahradníček, P., Brázdil, R., Štěpánek, P., Řezníčková, L. (2018). Differences in wind speeds according to measured and homogenized series in the Czech Republic, 1961–2015. *International Journal of Climatology*. 39. 10.1002/joc.5800.
- Zahradníček, P., Brázdil, R., Štěpánek, P., Trnka, M. (2021). Reflections of global warming in trends of temperature characteristics in the Czech Republic, 1961–2019. *International Journal of Climatology* 42(9): 1211-1229
- Žalud, Z. (2015). *Bioklimatologie*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 167 s. ISBN 978-80-7509-189-5.
- 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.
- Žalud, Z., Trnka, M., Hlavinka, P. et al. (2020). *Zemědělské sucho v České republice - vývoj, dopady a adaptace*. Praha: Agrární komora České republiky, ISBN 978-80-88351-02-3.
- Žalud, Z., Možný, M., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Balek, J., Semerádová, D., Kudláčková, L., Bláhová, M., Hlavinka, P., Prášil, I., Fischer, M., Růžek, P., Klem, K., Svobodová, E., Trnka, M. (2022). Klimaticky podmíněný posun výrobních oblastí na území ČR do roku 2050. Specializovaná mapa s odborným obsahem Osvědčení ke smlouvě 2/2022/SPU/S se Státním pozemkovým úřadem vydal Odbor průřezových činností MZE

**Internetové zdroje:**

agrorisk.cz  
 faktaoklimatu.cz  
 fenofaze.cz  
 intersucho.cz  
 lovcibourek.cz  
 wikipedie.cz





- Mendelova
- univerzita
- v Brně
- 

#### VYDALA:

**Agrární komora České republiky**

2025

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: +420 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

**[www.akcr.cz](http://www.akcr.cz), [www.eagri.cz](http://www.eagri.cz)**

ISBN: 978-80-88-351-29-0



**ISBN - 978-80-88351-29-0**