

Dopady klimatické změny na kvalitu vodních zdrojů a vyčištěných odpadních vod

Jiří Wanner, VŠCHT Praha



VŠCHT PRAHA



**ÚSTAV
TECHNOLOGIE
VODY A PROSTŘEDÍ**

VODOVODY–KANALIZACE 2025,
20.–22. května 2025

Projevy klimatické změny ve vztahu k vodnímu hospodářství ČR

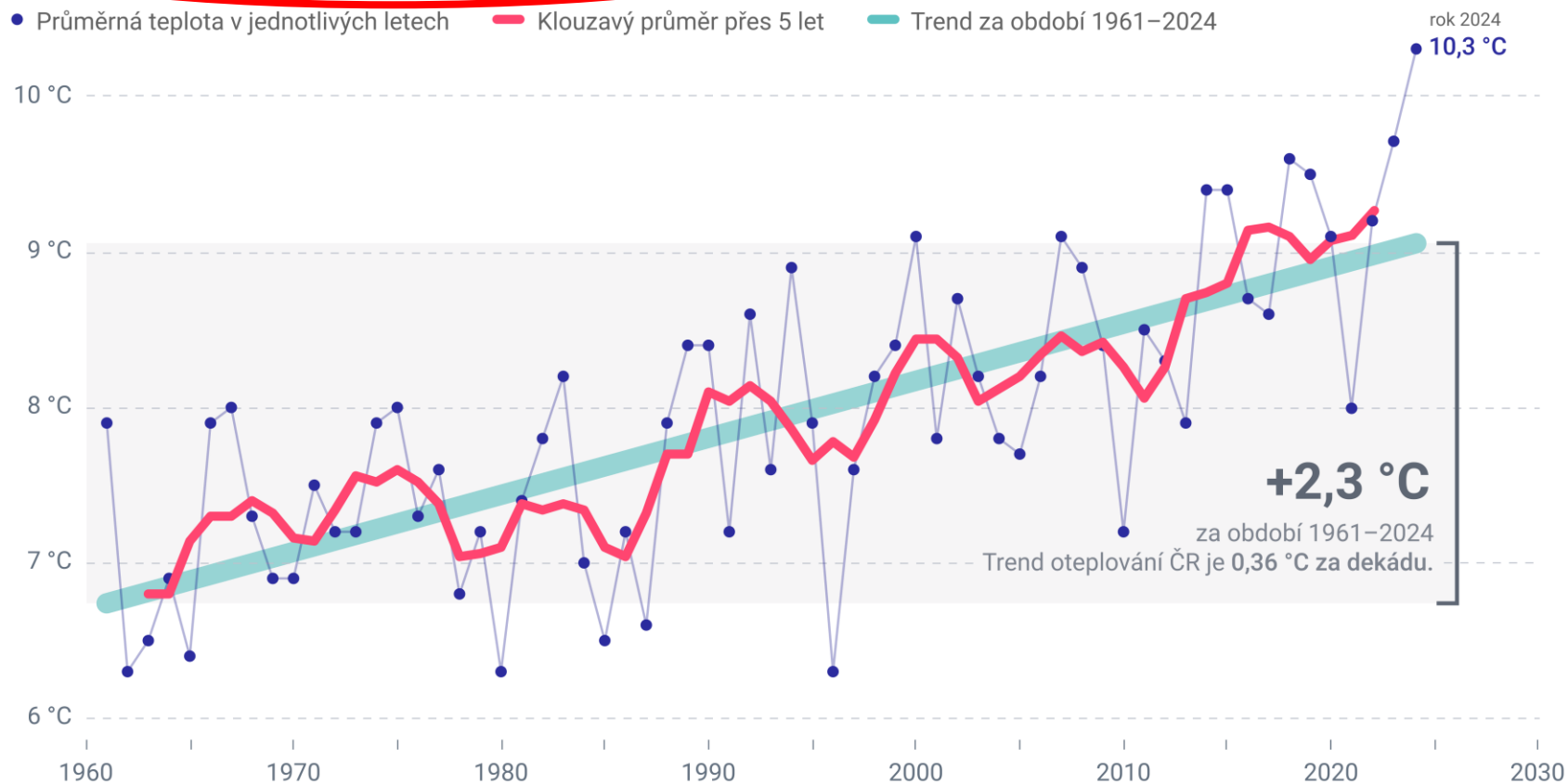
1. vzestup teploty a s tím související změny v počasí
2. změny v množství, intenzitě i charakteru srážek,
3. změny evapotranspirace a dopad na četnost srážek

Vzestup teploty a s tím související změny v počasí

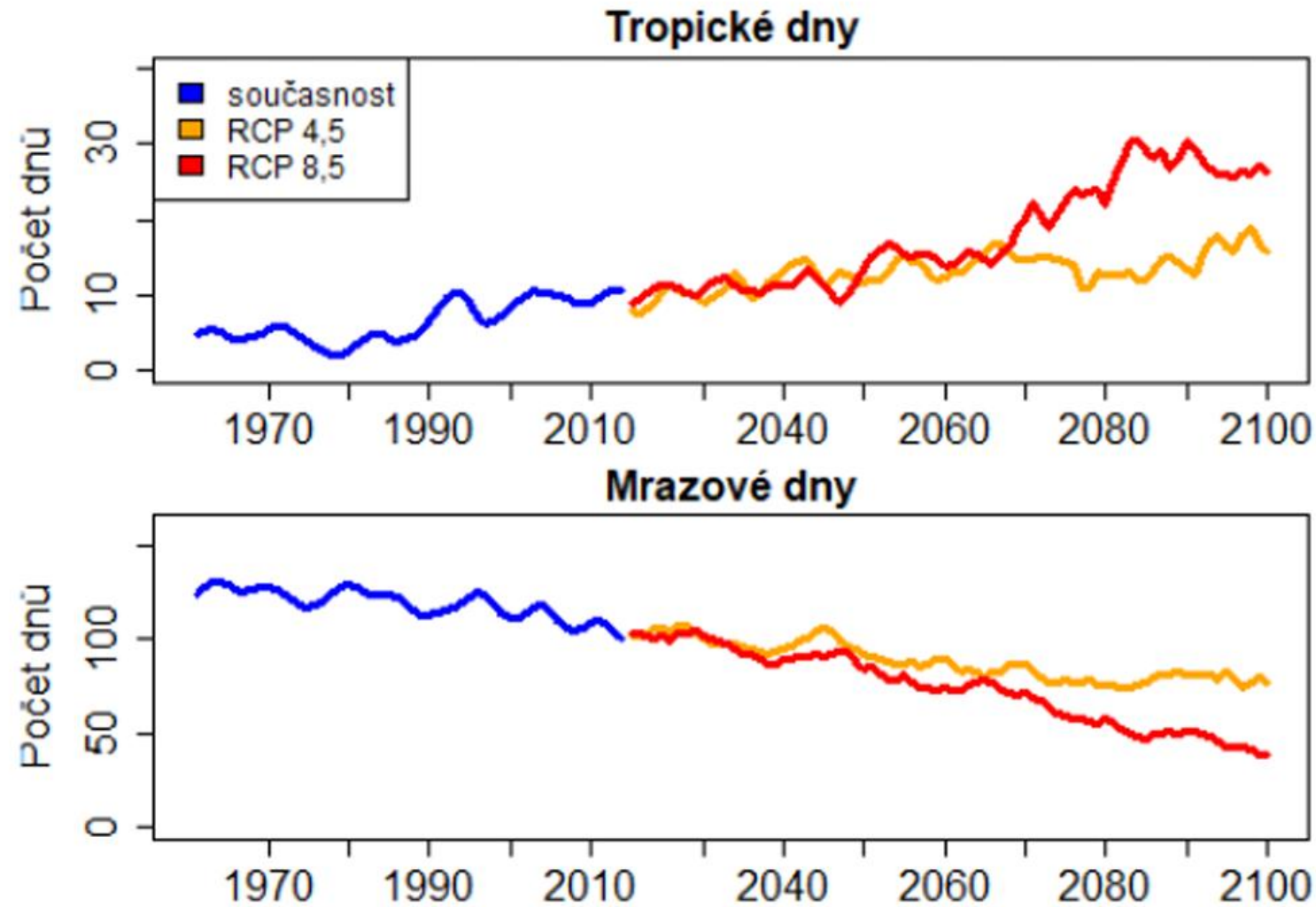
PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA V ČR



Teplota se od roku 1961 **zvýšila o 2,3 °C.**



Vzestup teploty a s tím související změny v počasí



Očekávané dopady změny klimatu v ČR
Shrnutí dopadové studie vypracované ČHMÚ
Vypracoval: Ing. Jakub Zamouřil únor 2021

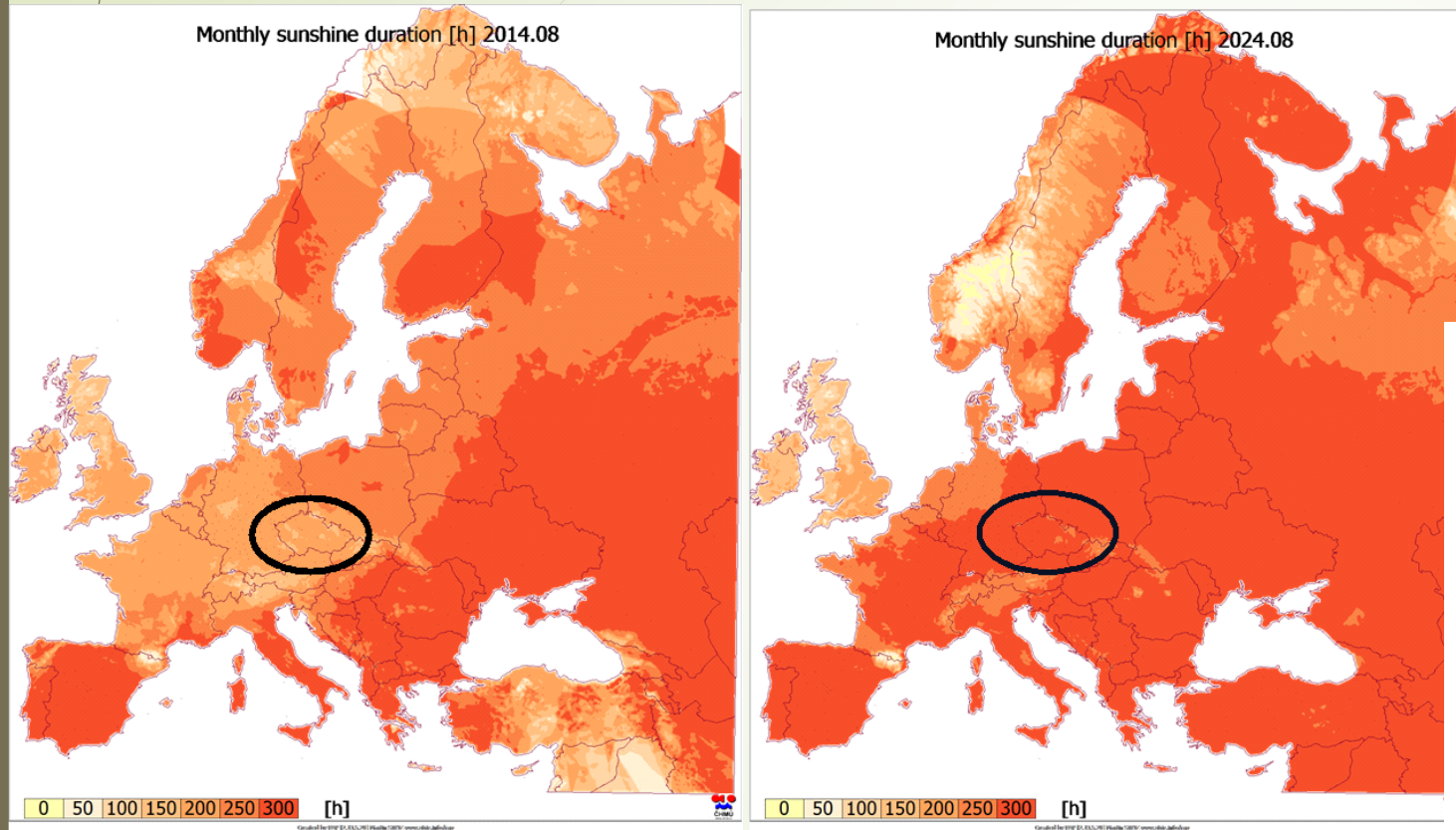
„Jak ukazují provedené modelové studie (Štěpánek et al. 2016), **v průběhu 21. století lze očekávat nárůst frekvence i délky období meteorologického sucha.** Riziko déletrvajících a intenzivnějších epizod sucha lze přitom očekávat zejména **v období od dubna do září** (Brázdil et al. 2015b).

Tropický den: max. teplota překročí 30 st.C

Mrazový den je meteorologické pojmenování pro den, kdy minimální teplota klesne pod bod mrazu

Vzestup teploty a s tím související změny v počasí

Za posledních 10 let se délka slunečního svitu u nás zvýšila řádově o 50 hodin/měsíc
Dopad na intenzitu růstu řas a sinic

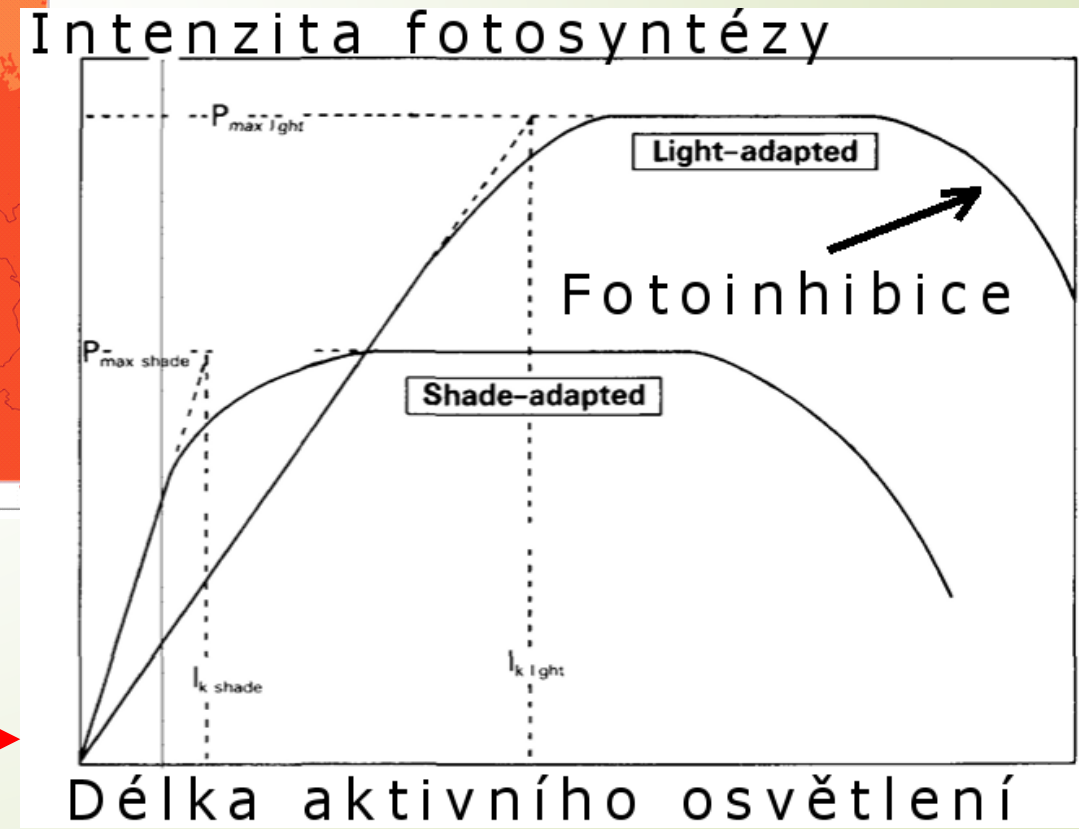


Srpen 2014

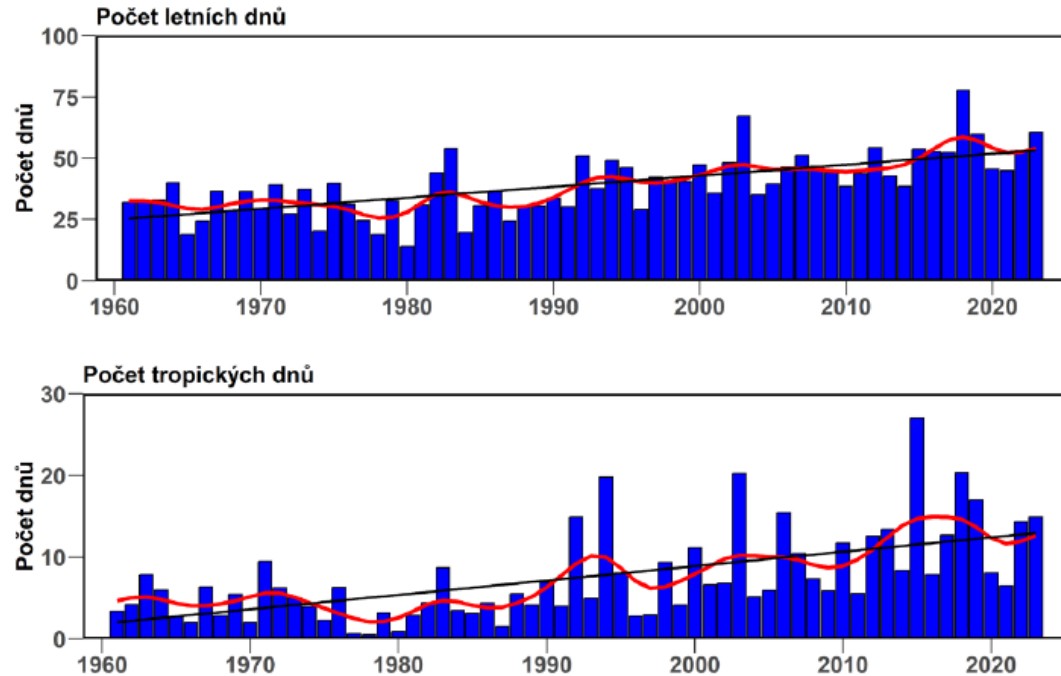
Srpen 2024

Data ČHMU

<https://doi.org/10.1080/00288330.1987.9516236>



Vzestup teploty a s tím související změny v počasí



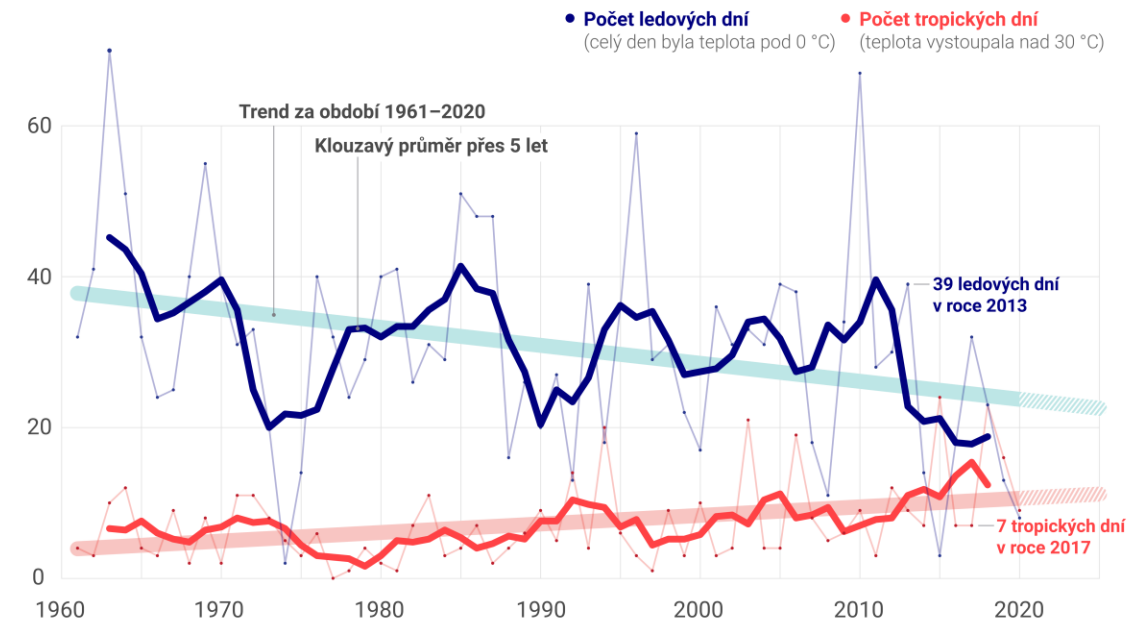
Obr. 44: Počet letních (maximální teplota 25,0 °C a více) a tropických (maximální teplota 30,0 °C a více) dnů za rok v letech 1961–2023 jako průměr ČR, červená čára je 10letý shlazený průměr, černá čára představuje trend za celé období

Letní den: max. teplota překročí 25 st.C
Tropický den: max. teplota překročí 30 st.C
Ledový den: teplota celý den pod 0 st.C

Zvyšující se počet letních a tropických dnů; Úbytek ledových dnů

TROPICKÉ A LEDOVÉ DNY V PRAZE-RUZYNI

Klimatická změna se v Praze projevuje růstem počtu tropických dnů a úbytkem ledových dnů.



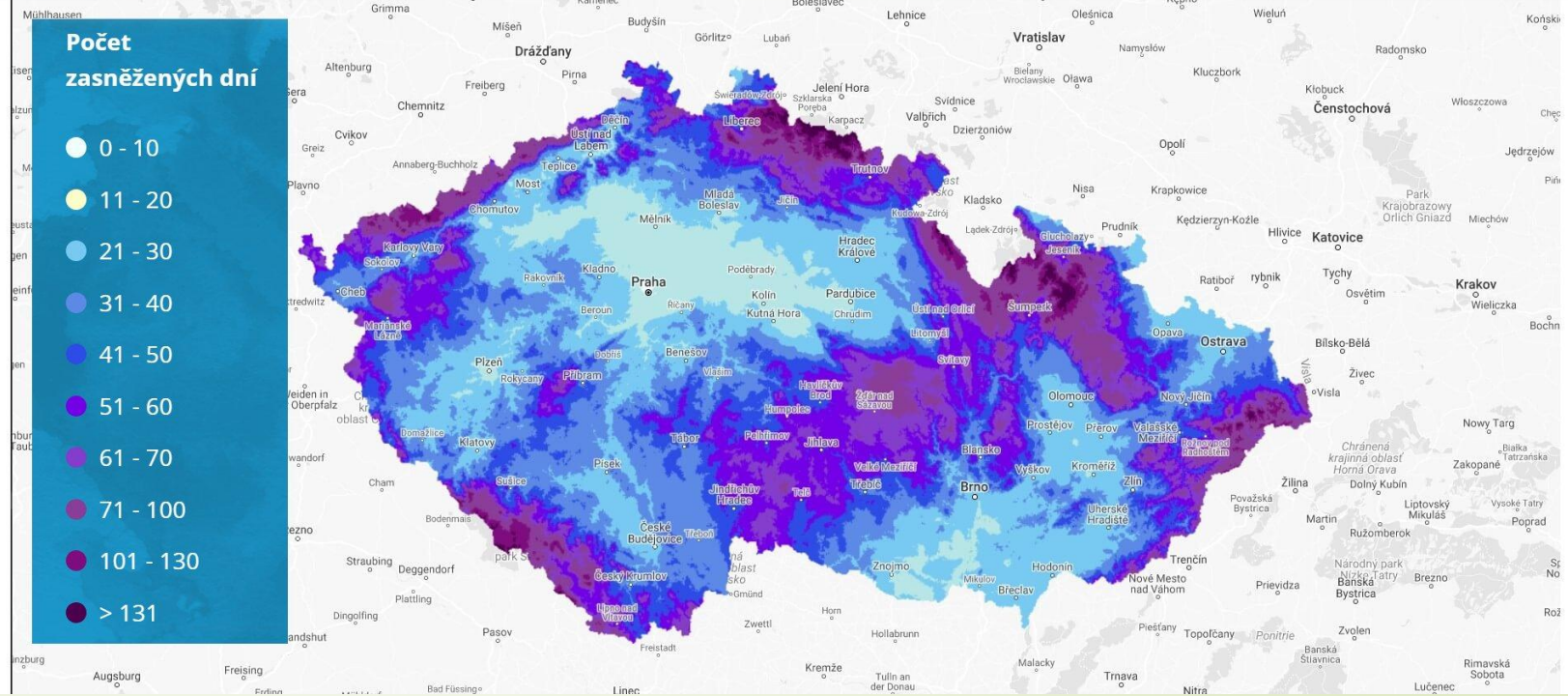
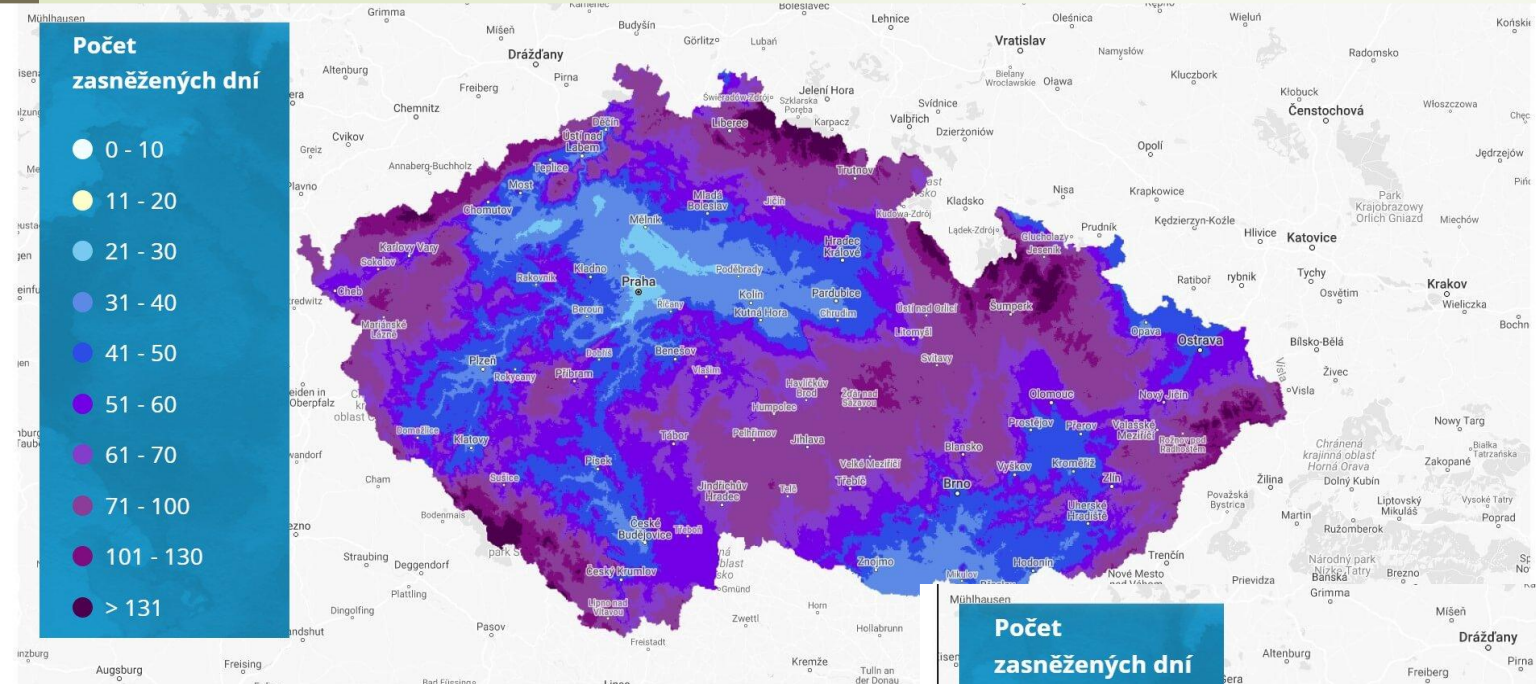
Vzestup teploty a s tím související změny v počasí

**Dopad na kvalitu zdrojů
podzemních vod – snižování
objemu a zvyšování koncentrací
přítomných látek**

Predikce pro rok 2030

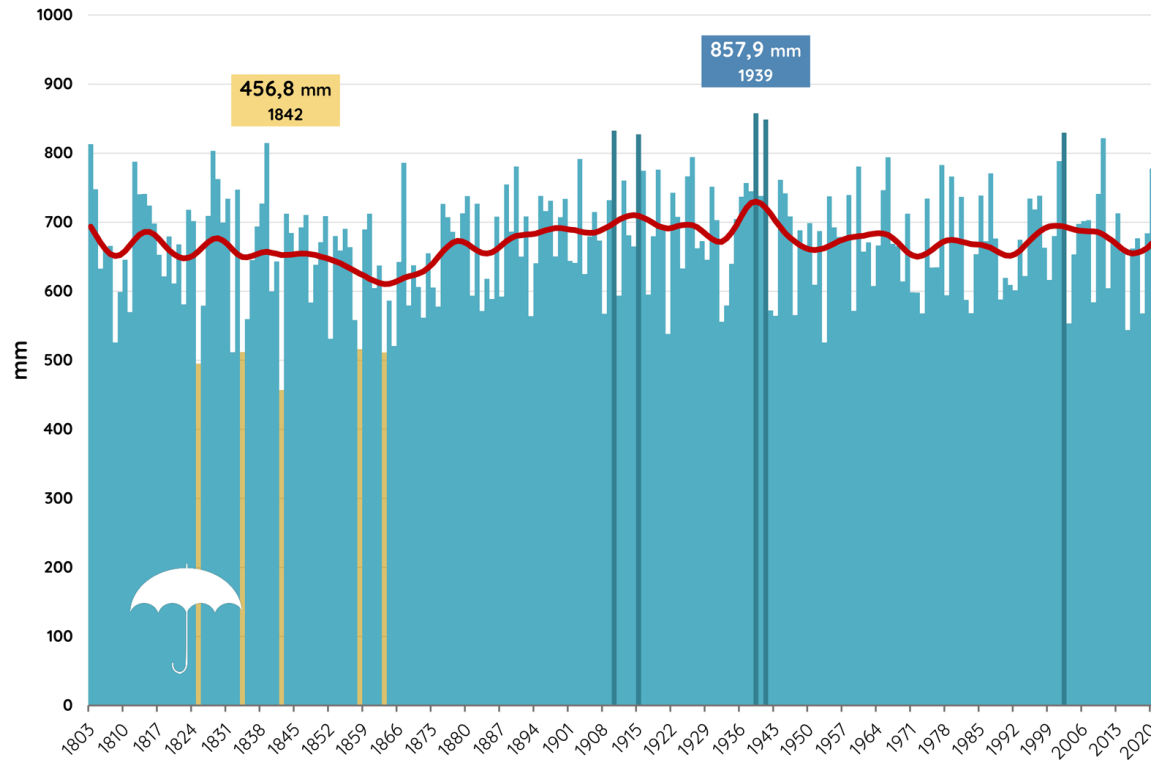
1981

**Den se sněhovou pokrývkou:
Alespoň 7 h/den souvislá
sněhová pokrývka o výšce
alespoň 1 cm!**



Změny v množství, intenzitě i charakteru srážek

Roční úhrn srážek 1803–2020, Česká republika

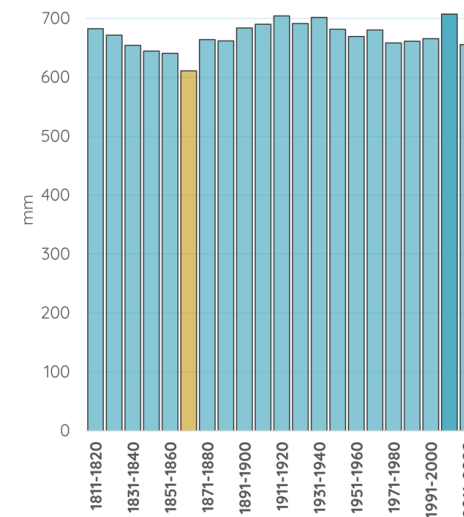


Roky s nejvyššími
ročními úhrny

1939, 1941, 1910, 2002, 1915

Roky s nejnižšími
ročními úhrny

1842, 1825, 1863, 1834, 1858



**Průměrný roční úhrn
srážek se v čase příliš
nemění**

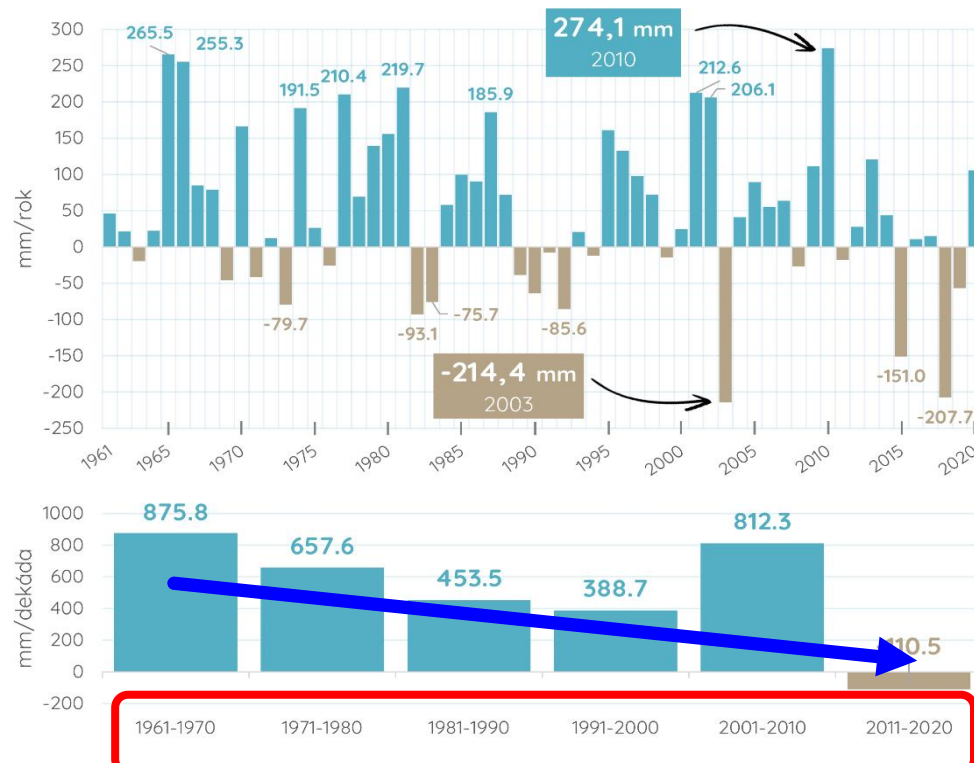
**Přesto se objevují roky
a oblasti s negativní
vodní bilancí**

Hlavní graf ukazuje hodnoty ročních úhrnů srážek v České republice za období 1803 až 2020. Vyznačeny jsou roky s historicky nejvyšším, a naopak nejnižším úhrnem. Menší graf vpravo ukazuje průměrný roční srážkový úhrn pro jednotlivá desetiletí od 1811–1820 až po 2011–2020. Z grafů je patrné, že se průměrný roční úhrn v průběhu času dlouhodobě nemění a není pozorován statisticky významný dlouhodobý trend. Krátkodobě je v některých obdobích trend významný, avšak někdy je klesající, jindy stoupající a dlouhodobě se tak průměrný úhrn nemění.

To však neznamená, že k žádným změnám v chodu srážek dlouhodobě nedochází. Celkový úhrn totiž neříká nic o distribuci srážek v průběhu roku, tedy například o tom, zda srážky spadly během několika srážkově velmi intenzivních epizod, či během dlouhodobých méně intenzivních dešťů.

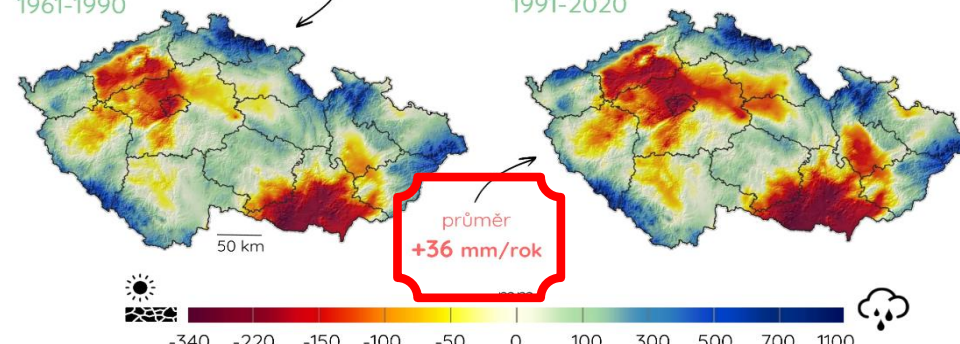
Vodní bilance a její dlouhodobé změny

1961–2020, Česká republika

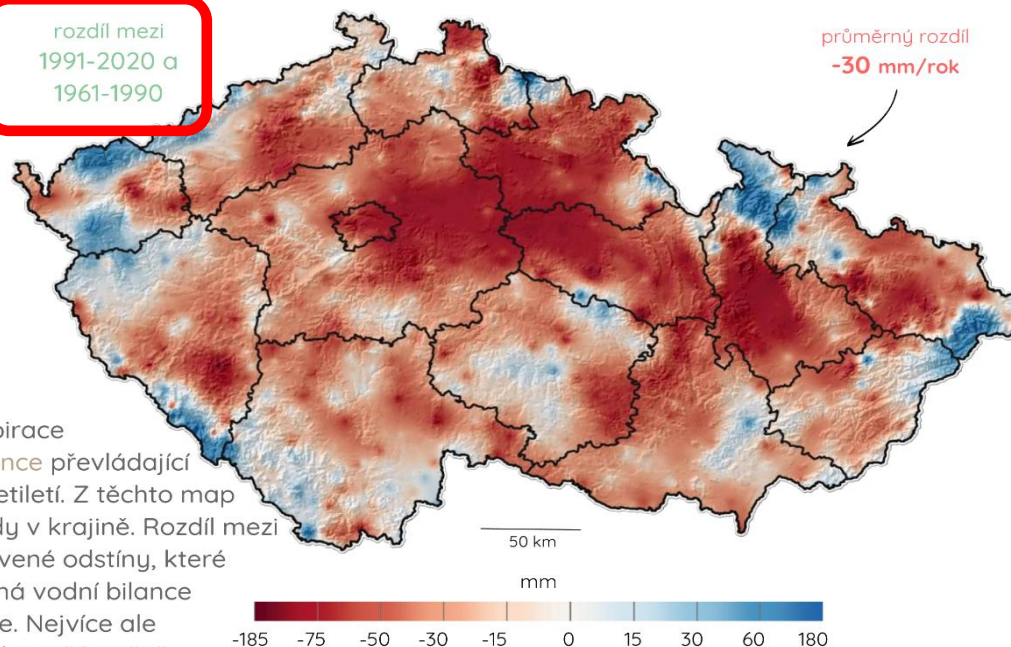


1961–1990

1991–2020



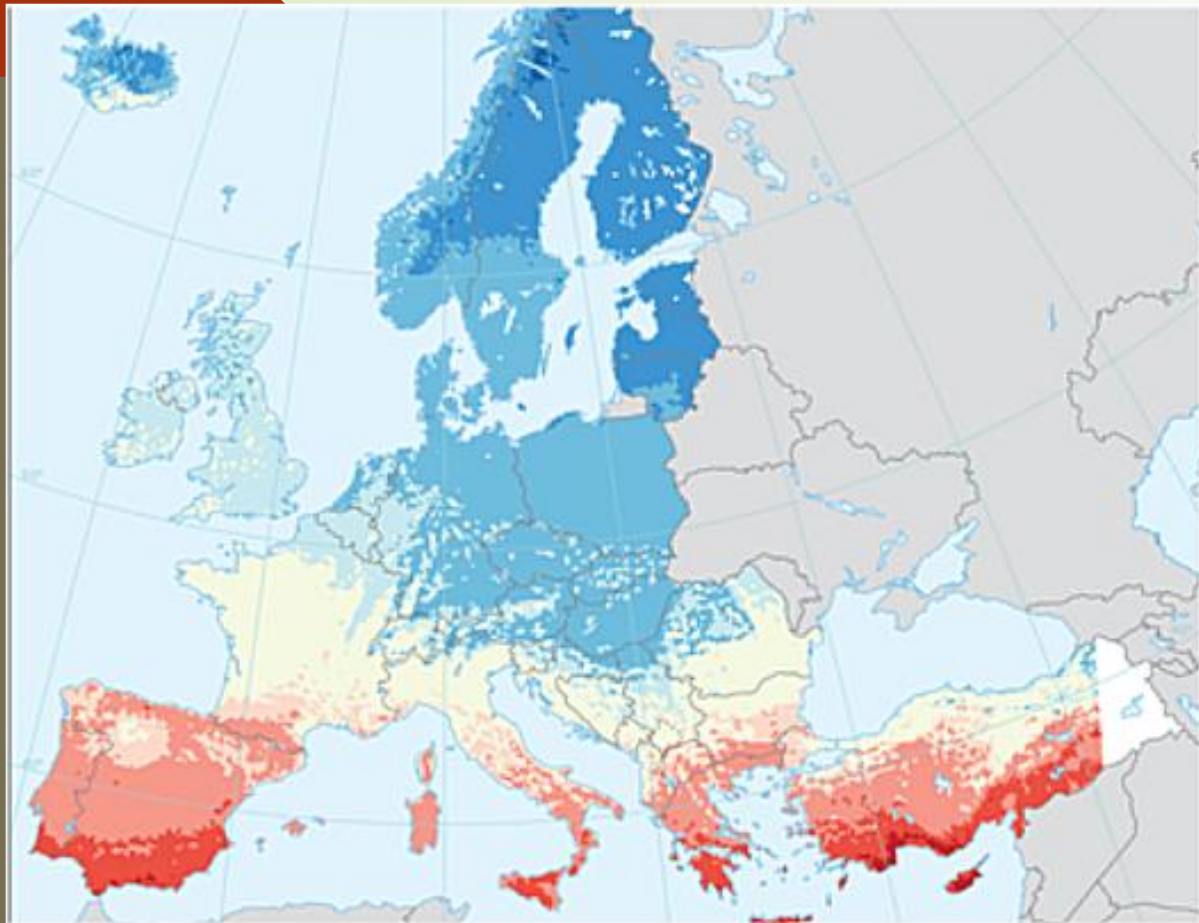
rozíl mezi
1991–2020 a
1961–1990



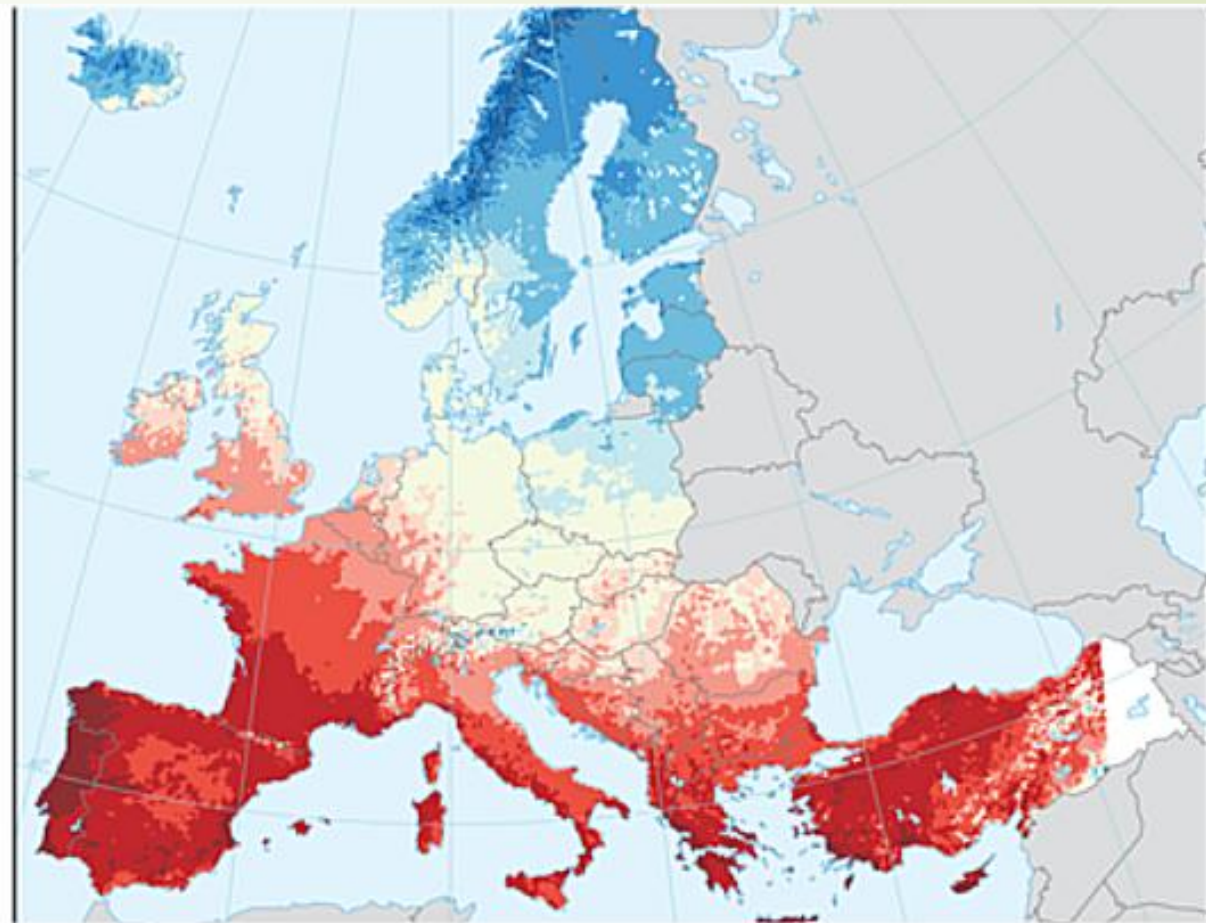
Vodní bilance ukazuje rozdíl mezi množstvím srážek a mírou potenciální evapotranspirace (vypařování). **Kladná bilance** značí převládající srážky a přebytek vody, **záporná bilance** převládající výpar a nedostatek vody. Dvě menší mapy ukazují celkovou vodní bilanci za dvě třicetiletí. Z těchto map je patrné, že období 1991–2020 ukazuje nižší hodnoty vodní bilance a větší úbytek vody v krajině. Rozdíl mezi dvěma mapami vpravo nahoře ukazuje velká mapa, kde jednoznačně převládají červené odstíny, které reprezentují snížení hodnoty vodní bilance. Dlouhodobě je nejvíce pozorována záporná vodní bilance v oblasti jižní Moravy, v menší míře také ve středních Čechách a části Ústeckého kraje. Nejvíce ale během třicetiletí došlo k úbytku vláh v oblasti kraje Pardubického, Královéhradeckého a částečně Středočeského a Olomouckého. Naopak pozitivní posun je možné pozorovat na jen velmi malém území, zejména v horských oblastech.

Celkovou průměrnou vodní bilanci za jednotlivé roky ukazuje graf vlevo nahoře. Graf pod ním ukazuje vodní bilanci pro jednotlivá desetiletí. Zde je vidět dlouhodobě sestupný trend a fakt, že v posledním desetiletí hodnoceného období (2011–2020) byla v jako jediném hodnoceném desetiletí celková vodní bilance pro ČR záporná. Primárně je to dáno velmi suchými roky 2015, 2018 a 2019.

Změna v rozložení srážek – predikce 2070



CELOROČNÍ



LETNÍ

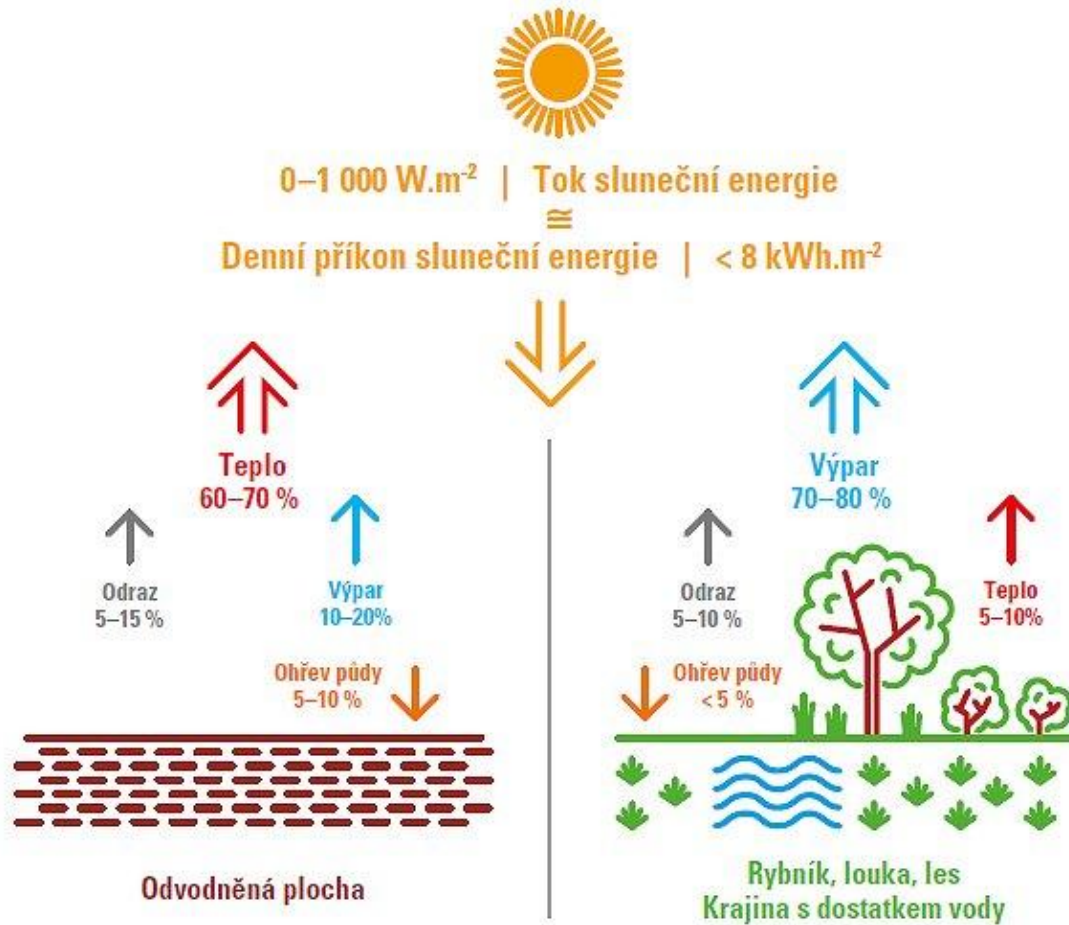
Projected change in annual (left) and summer (right) precipitation, 2071-2100

Percentage



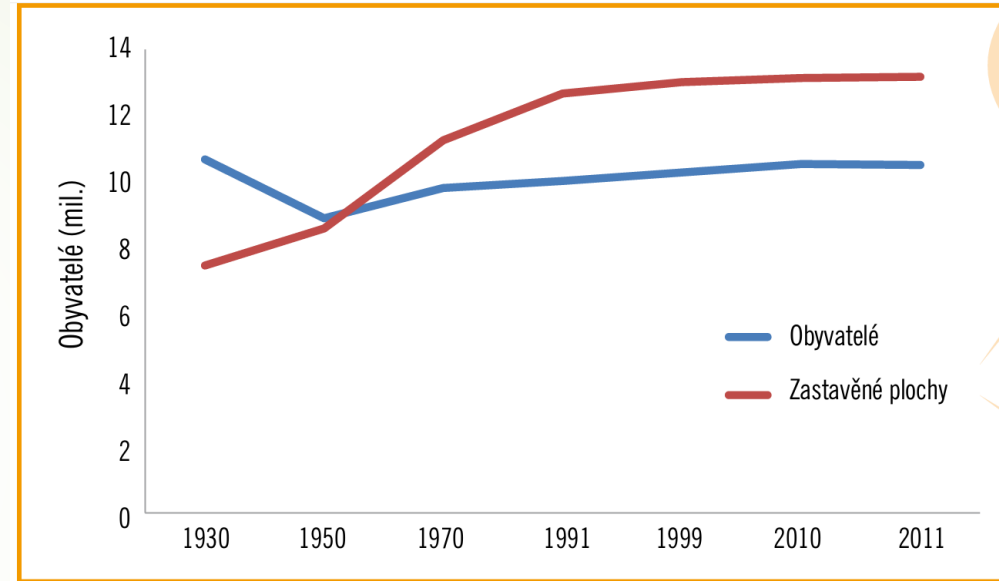
□ No data
□ Outside coverage

Změny evapotranspirace a dopad na teplotu



Obr. 3: Rozdíl v distribuci sluneční energie v krajině s vegetací a suché krajině bez vegetačního krytu a vodních nádrží. Odvodněná plocha s nedostkem vegetace se přehřívá, ohřátý vzduch stoupá vzhůru a nasává vlhkost i z okolí. Krajina s vegetací a dostatkem vody se chladí výparem vody, chladný vzduch stoupá zvolna vzhůru a brzo dosáhne rosného bodu, tvoří se mraky, mlha, voda se vrátí jako drobný déšť.

Dopady postupující zastavěné plochy ČR

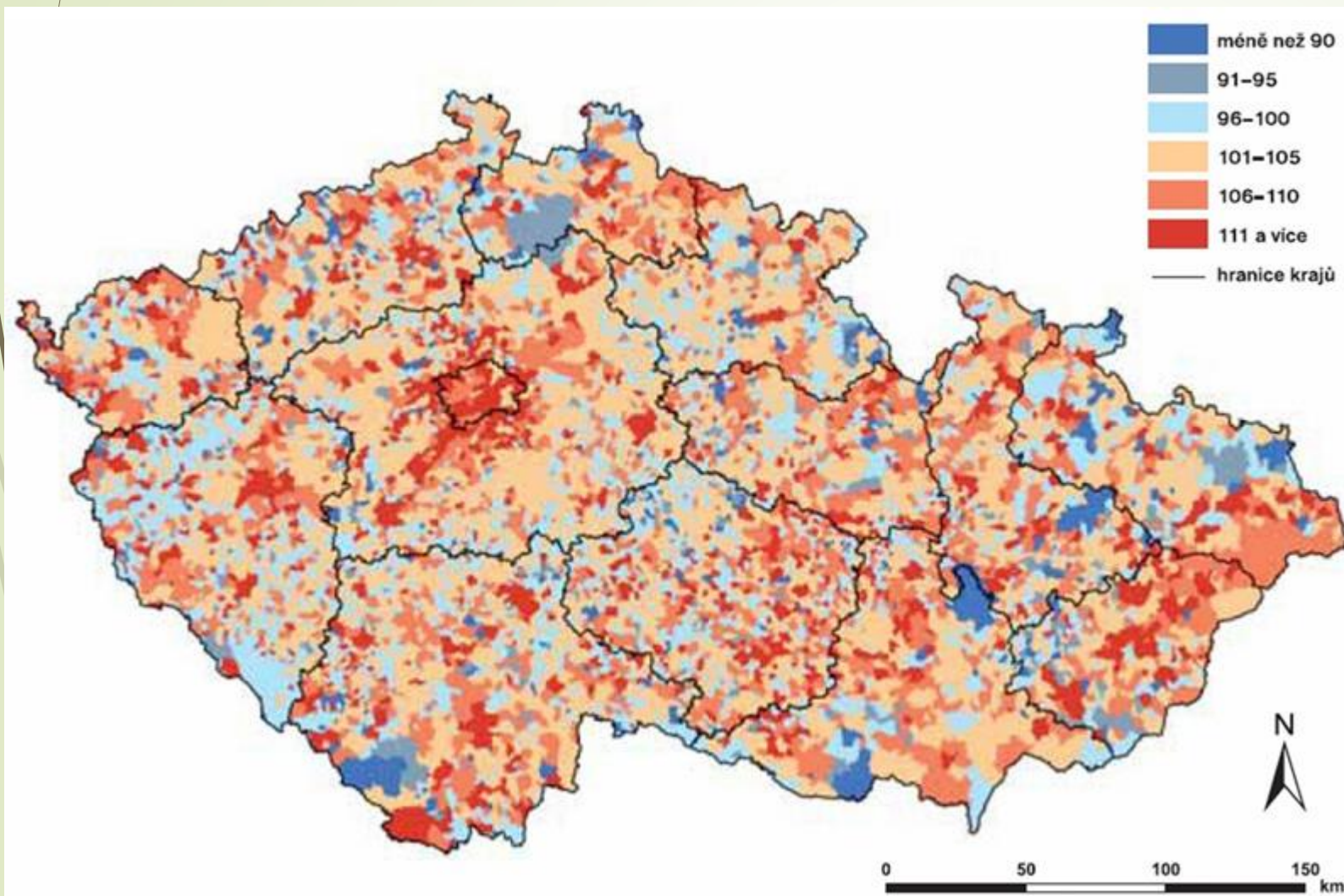


Brožura o recyklaci urbanizovaného území

IURS – institut pro udržitelný rozvoj sídel o. s . Praha 2012

Projekt TA ČR TL01000294: *Sluneční energie, voda v krajině, vegetace: nová metodika vzdělávání pracovníků městských úřadů a inovace školní výuky k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima.* ENKI, o.p.s., Třeboň 2021

Změny evapotranspirace a dopad na teplotu



Srážkové vody a urbanizace krajiny (TP 1.20.1)

Ing. David Stránský, Ph.D., Dr.
Ing. Ivana Kabelková, Ing.
Vojtěch Bareš, Ph.D., Ing. Jiří
Vítek, Ph.D., Ing. Milan
Suchánek, Ing. Karel
Plotěný, Ing. Oldřich Pírek
ČKAIT 2019

Obr. 2 Změna výměry
zastavěných ploch v České
republice v letech 1990–2000
(v %). Rozloha zastavěných

ploch ve většině
hodnocených srovnatelných
územních jednotkách
tvořených katastry či jejich
shluky (SÚJ) vykazuje nárůst
oproti roku 1990 (**hodnoty
vyšší než 100 %**), a to
především v jádrových
oblastech poblíž významných
aglomerací a dopravních
tepen (Miko a Hošek, 2009).

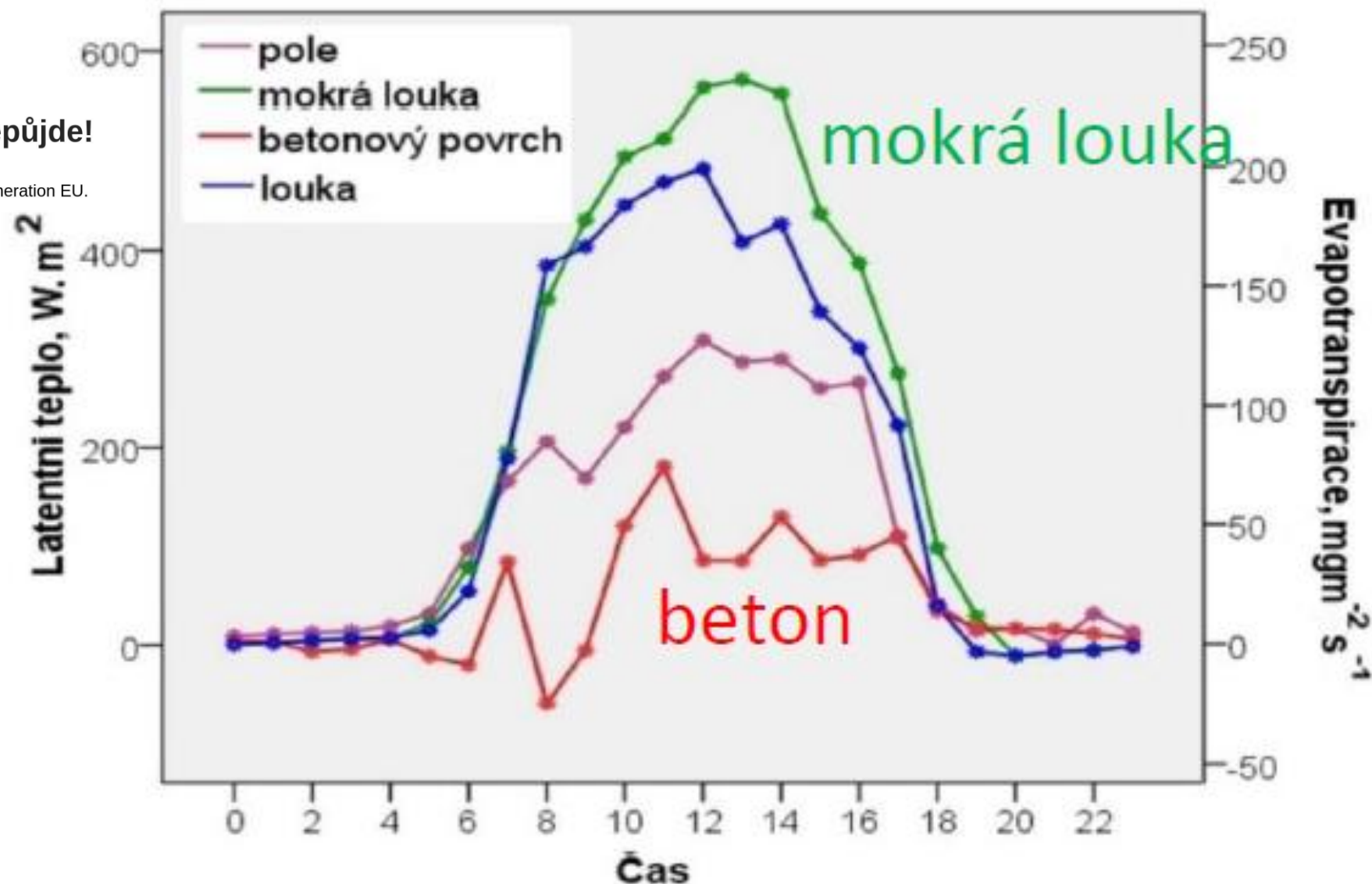
Změny evapotranspirace a dopad na teplotu

Klima? Bez vody a vegetace to nepůjde!

Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií z fondu Next Generation EU.

ENKI o.p.s. Třeboň
2023-2025

Latentní teplo je energie, kterou je nutno dodat nebo se uvolní při změně fáze látky



Většina dešťové vody dopadající na stále se rozšiřující **zastavěné území** je odvedena dešťovou kanalizací do řek a dále pryč z pevniny. Tím dochází k **destrukci malého vodního cyklu**.

Dopady klimatické změny na vodní zdroje

– www.klimatickazmena.cz



➤ Pokles průtoků v tocích

- Se zvyšující se teplotou při konstantních srážkách bude docházet ke zvýšení výparu, a tedy k poklesu množství vody dostupné pro povrchový odtok a dotaci podzemní vody. => zvyšování koncentrací polutantů: pesticidy, sloučeniny N & P, mikropolutanty, PFAS

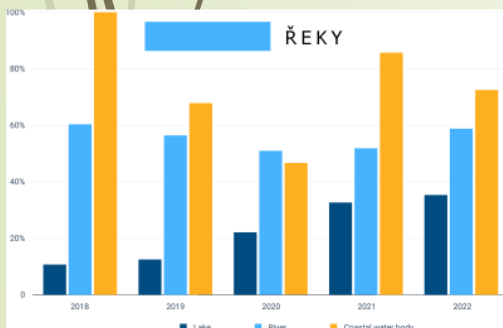
PFAS
v řekách EU

➤ Snížení zabezpečení odběrů vody

- Přímým dopadem klimatické změny je větší variabilita průtoků a celkový pokles odtoku (za delší časový úsek). Nižší průtoky v tocích přinesou méně vody dostupné pro odběry, jejichž zabezpečení bude klesat.

➤ Snižování zásoby vody ve formě sněhu

- Díky zvyšující se teplotě bude klesat počet dnů se sněhovou pokrývkou, a i celkových sněhových úhrnů. Sněhové srážky budou částečně nahrazeny deštěm. To bude mít za následek rychlejší povrchový odtok vody místo postupného zasakování vody do půdy.



Dopady klimatické změny na vodní zdroje

– www.klimatickazmena.cz

➤ Zhoršení kvality vody a vodních ekosystémů

- Minimální zůstatkový průtok. Jedná se o průtok, při kterém vodní tok díky samočisticí schopnosti zvládá udržovat vodu dostatečně čistou pro život v ní obsažený.

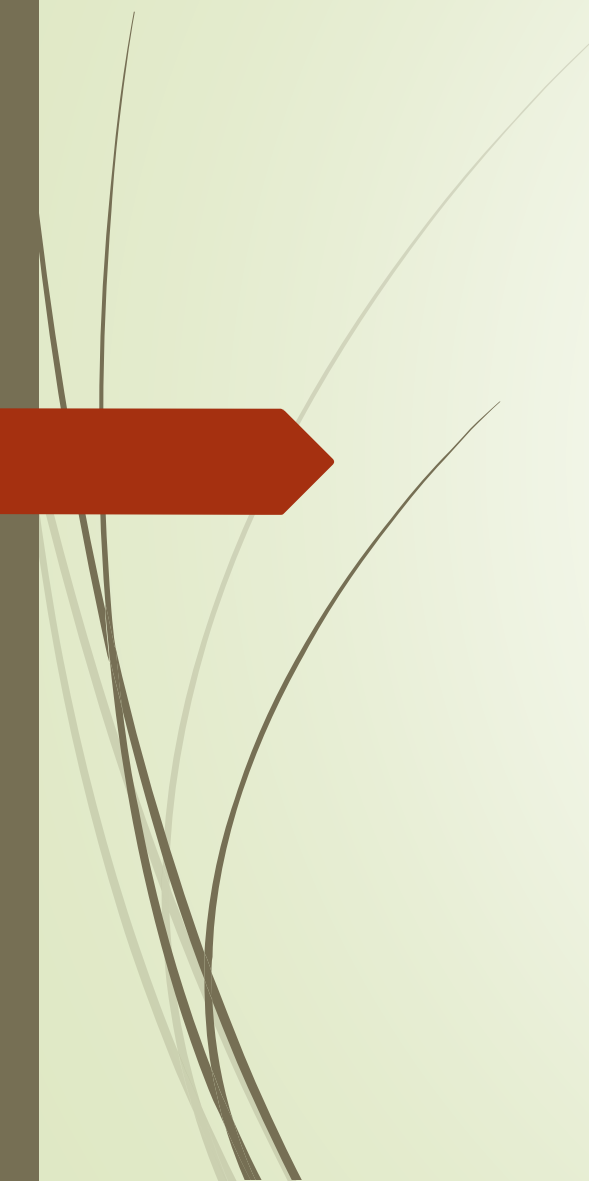
➤ Eutrofizace vodních nádrží

- Vyšší teploty spolu s nižšími přítoky do vodních nádrží budou mít za následek větší náchylnost k eutrofizaci (obohacení vody o živiny). Nadměrná eutrofizace přispívá k přemnožení zelených řas a toxických sinic.

➤ Ohrožení infrastruktury

- Častější a intenzivnější povodně („bleskové povodně“) budou **ohrožovat technickou infrastrukturu**. Povodně z přívalových dešťů často udeří na nečekaných místech. Vyschlé koryto s velkým sklonem se může během chvíle proměnit v **bahnotok s extrémní unášecí a ničivou silou**.





Kvalita podzemních vod

Kvalita podzemní vody



- Pracovní skupina pro sloučeniny dusíku a fosforu ve vodách
- Online seminář **5. 5. 2025**
- V mnoha regionech Evropy se začínají po letech objevovat opět problémy s nadlimitními koncentracemi dusičnanů v podzemních vodách

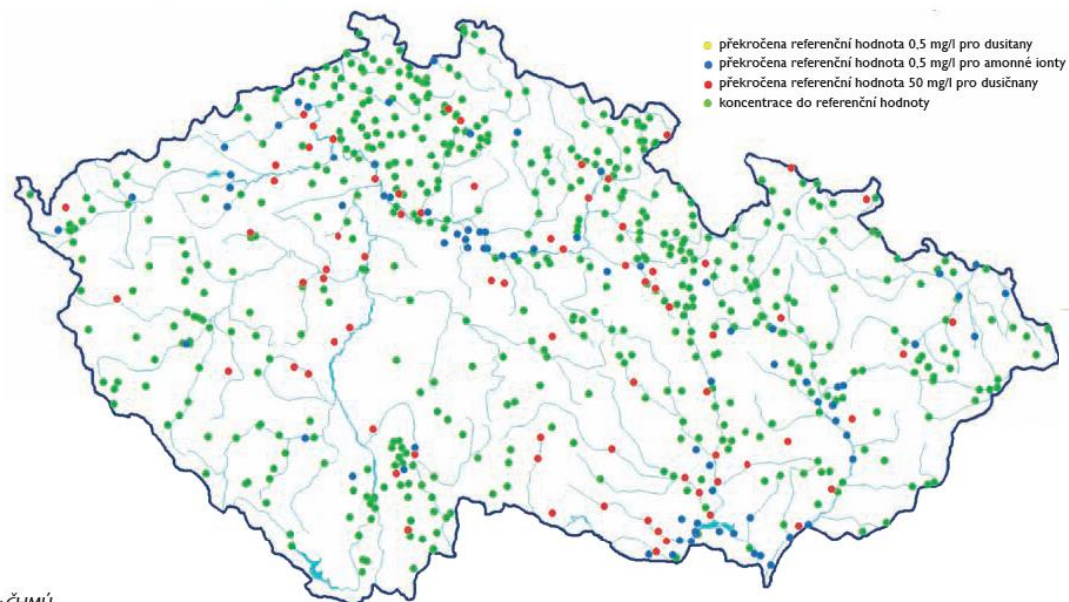
**Pokles spotřeby N & P hnojiv se v posledních letech zastavil
=> s ohledem na snížené obnovování aquiferů lze očekávat
rostoucí koncentrace v podzemních vodách**



Kvalita podzemní vody

Obrázek 3.2.1

Koncentrace dusíkatých látek v podzemních vodách v roce 2022



Pramen: ČHMÚ

Pozn.: Překročení limitních hodnot vyhlášky č. 5/2011 Sb.

Žlutá – dusitany
Modrá – amoniak
Červená – dusičnany

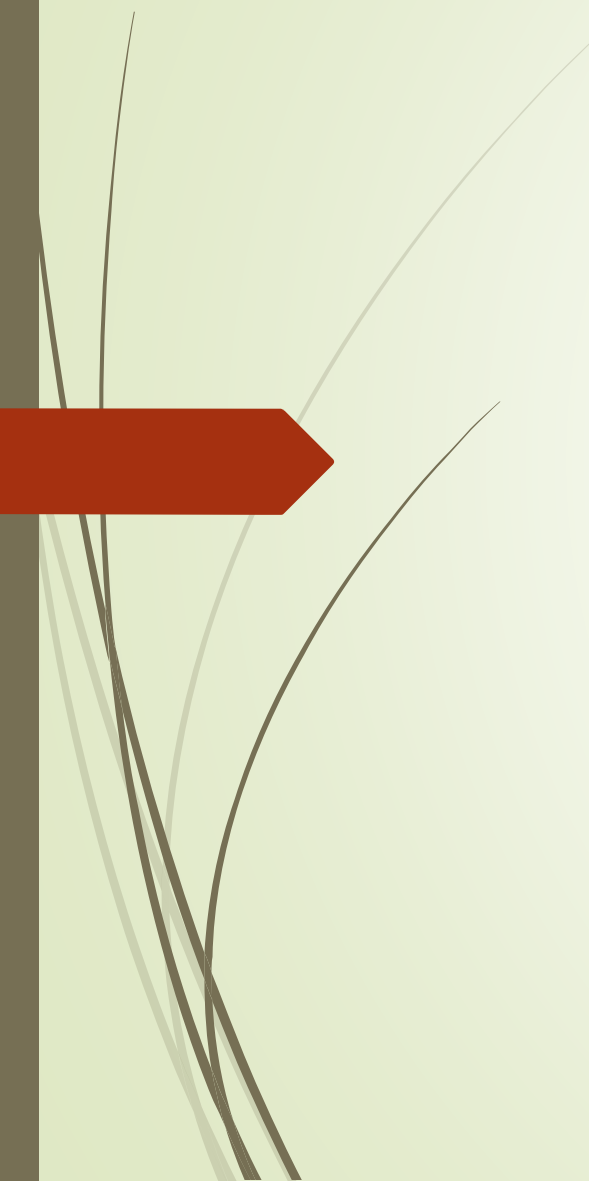
Pesticidy v podzemních vodách

Koncentrace pesticidů v podzemních vodách (látky s čtenějším překročením) v roce 2022



Pramen: ČHMÚ

● koncentrace nad referenční hodnotou
● koncentrace do referenční hodnoty
● koncentrace pod mezí stanovitelnosti



Kvalita povrchových vod

Kvalita povrchové vody

V LETECH 1999-2000

HODNOCENÍ PODLE ČSN 75 7221

Základní klasifikace

- trída
- I a II. neznečištěná a mírně znečištěná voda
- III. znečištěná voda
- IV. silně znečištěná voda
- V. velmi silně znečištěná voda



úzek 3.1.2

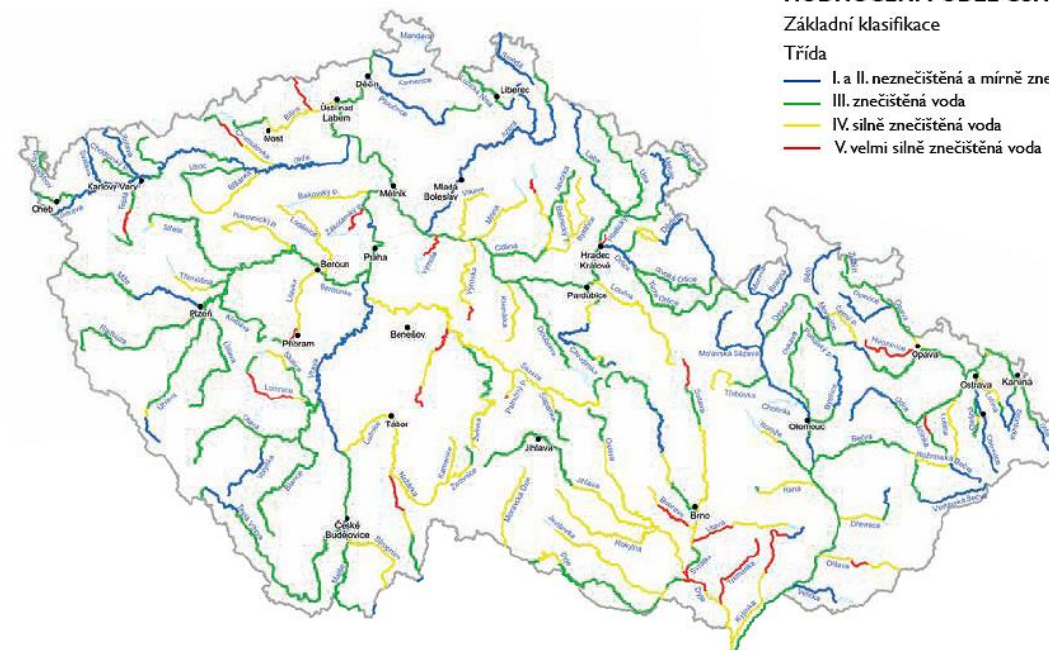
řítina povrchových vod v České republice v letech 2021–2022

HODNOCENÍ PODLE ČSN 75 7221

Základní klasifikace

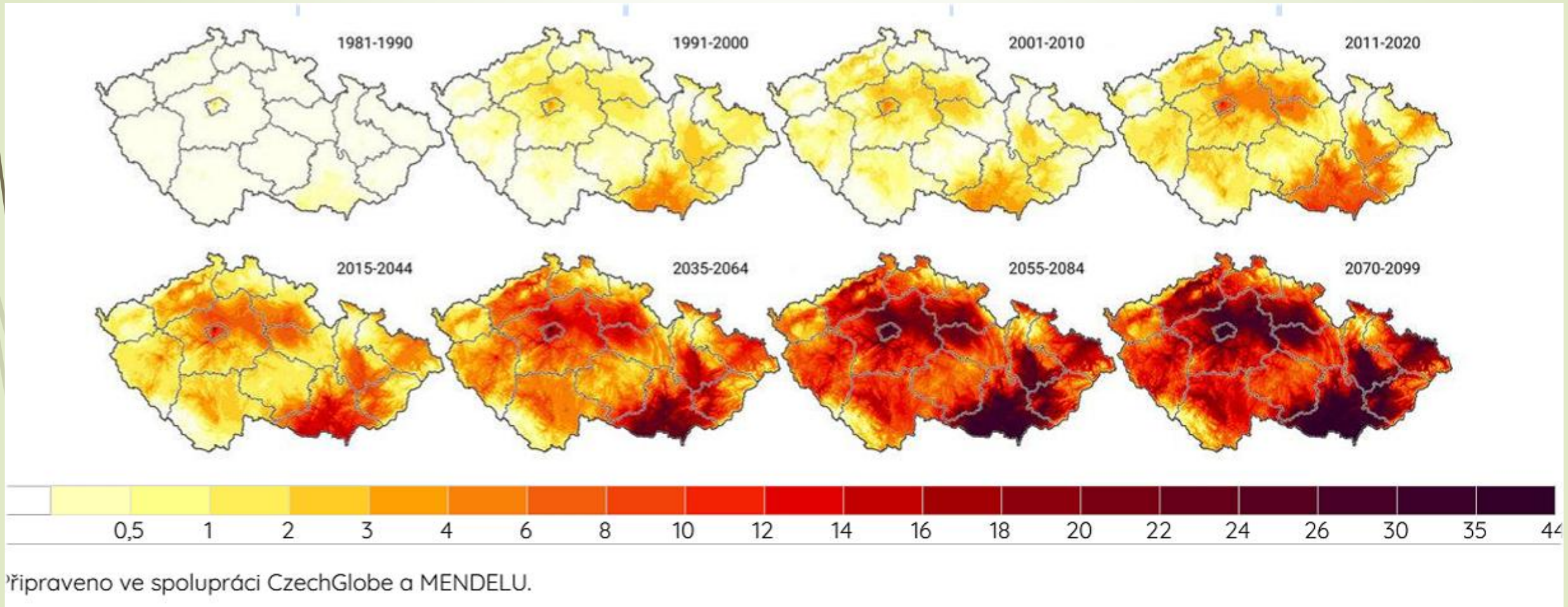
Trída

- I. a II. neznečištěná a mírně znečištěná voda
- III. znečištěná voda
- IV. silně znečištěná voda
- V. velmi silně znečištěná voda



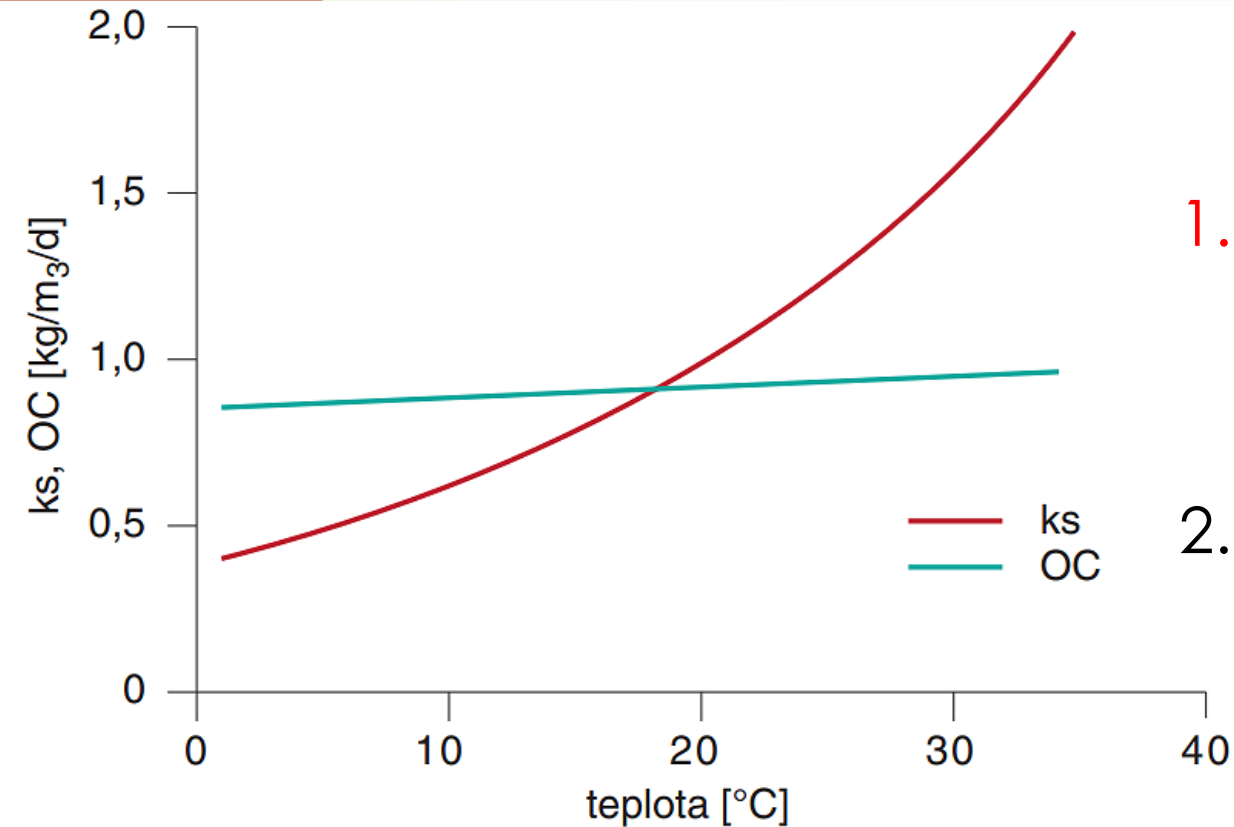
Pramen: VÚVTGM z podkladů s. p. Povodí a ČHMÚ

Kvalita povrchové vody: vliv rostoucí teploty vody



Příklad měřeného a simulovaného nárůstu teploty v rybnících ČR

Důsledky zvýšení teploty na spotřebu a přestup kyslíku



1. významné zvyšování rychlosti biochemických dějů, které lze vyjádřit zvyšováním **rychlostní konstanty k_s** ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)
2. na druhou stranu jen mírné zlepšení přestupu kyslíku do vody (**OC, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$**).

Pro vyjádření teplotní závislosti se používá zjednodušená rovnice podle Streetera a Phelpse:

$$\Theta = 1,047$$

$$k_s(T) = k_s(20) \cdot \Theta^{(T - 20)}$$

Důsledky zvýšení teploty na spotřebu a přestup kyslíku

Teplotní závislost oxygenační kapacity OC je **oproti ks** komplikovanější, protože z definice se OC sestává ze dvou částí

$$OC = K_L a \cdot c_s$$

Koeficient $K_L a$ závisí na teplotě pozitivně obdobně jako k_s , ale závislost je méně strmá, neboť teplotní součinitel Θ má nižší hodnotu (1,024):

$$(K_L a)_T = (K_L a)_{20} \cdot \Theta^{(T - 20)}$$

V součinu definujícím OC má ovšem saturační koncentrace kyslíku ve vodě negativní teplotní závislost, jak ukazuje tato křivka:



Teplotní závislost OC

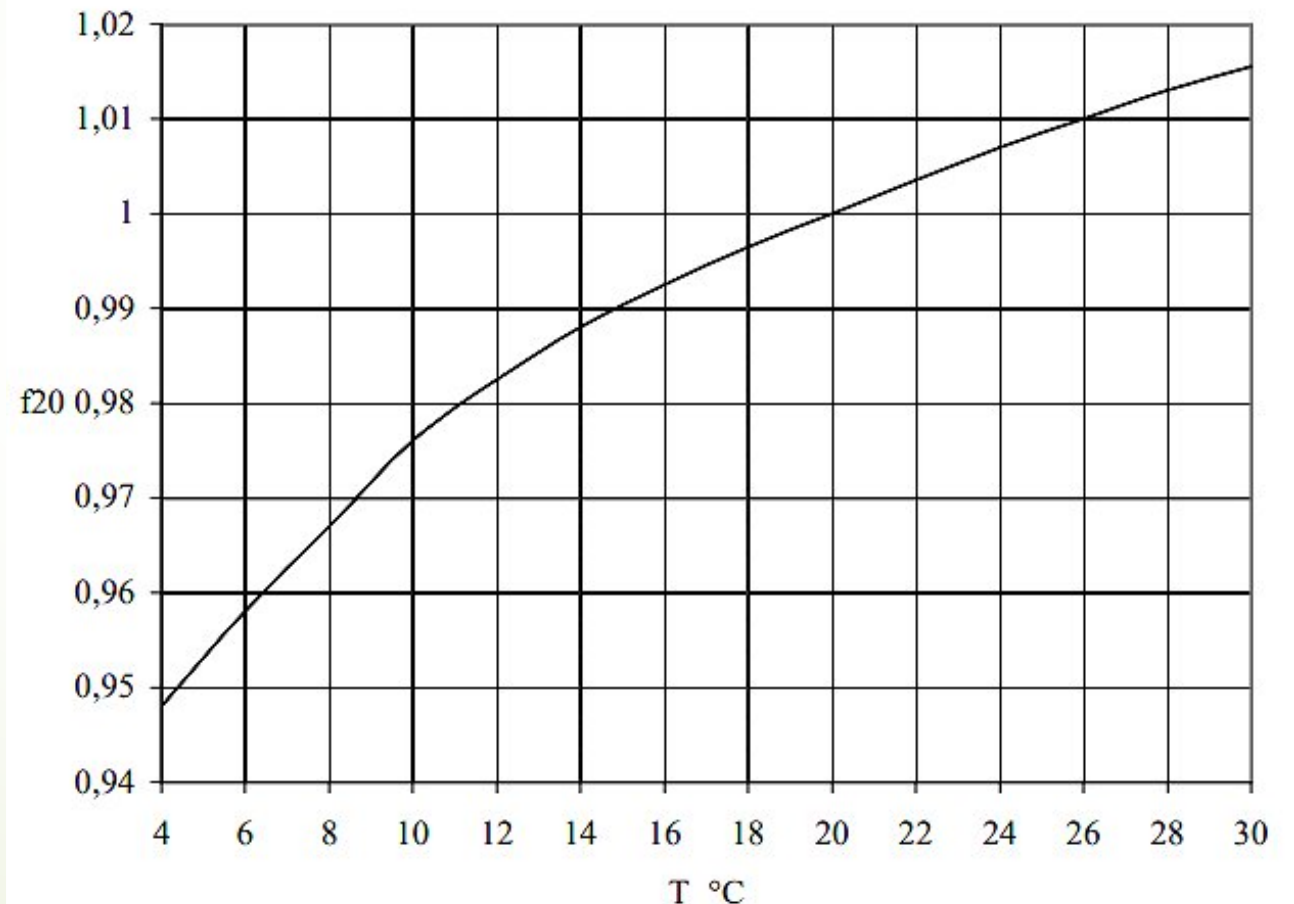
Podle: Laboratorní metody v technologii vody, kolektiv autorů, VŠCHT Praha, 1996

- Teplotní závislost OC je mnohem komplikovanější než u k_s a lze ji vyjádřit rovnicí:

- $OC(T) = f_{20} \cdot OC(20)$

- Kde

$$f_{20} = \frac{(K_L a)_{20} (c_s)_{20}}{(K_L a)_T (c_s)_T}$$



Důsledky zvýšení teploty na samočištění a křivku kyslíkového průhybu

konc.O₂

VNOS ZNEČIŠTĚNÍ

kyslíkový deficit = reaerace - deoxygenace

ČAS - DÉLKA TOKU

Při stejném množství vneseného
biologicky rozložitelného znečištění

← Nižší teplota

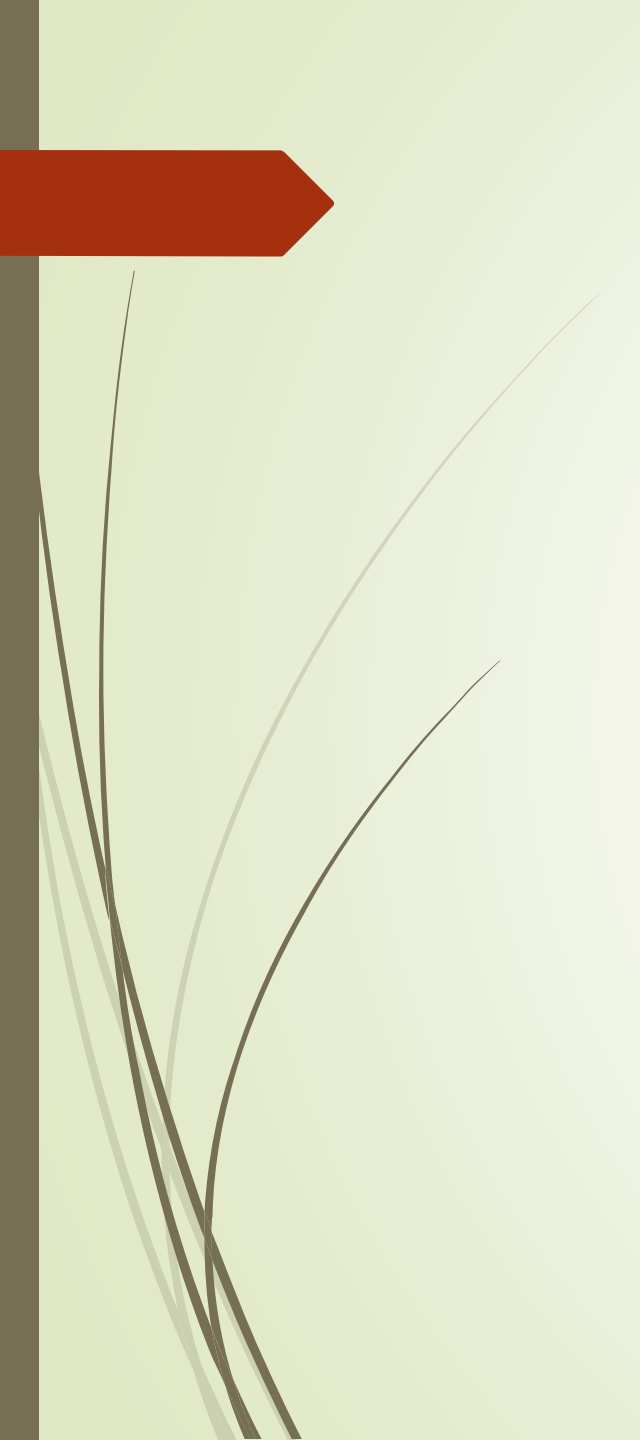
Vyšší teplota →

konc.O₂

VNOS ZNEČIŠTĚNÍ

kyslíkový deficit = reaerace - deoxygenace

ČAS - DÉLKA TOKU



Využitelnost vodních zdrojů

Upravitelnost zdrojů vody

Tabulka 3.1.1

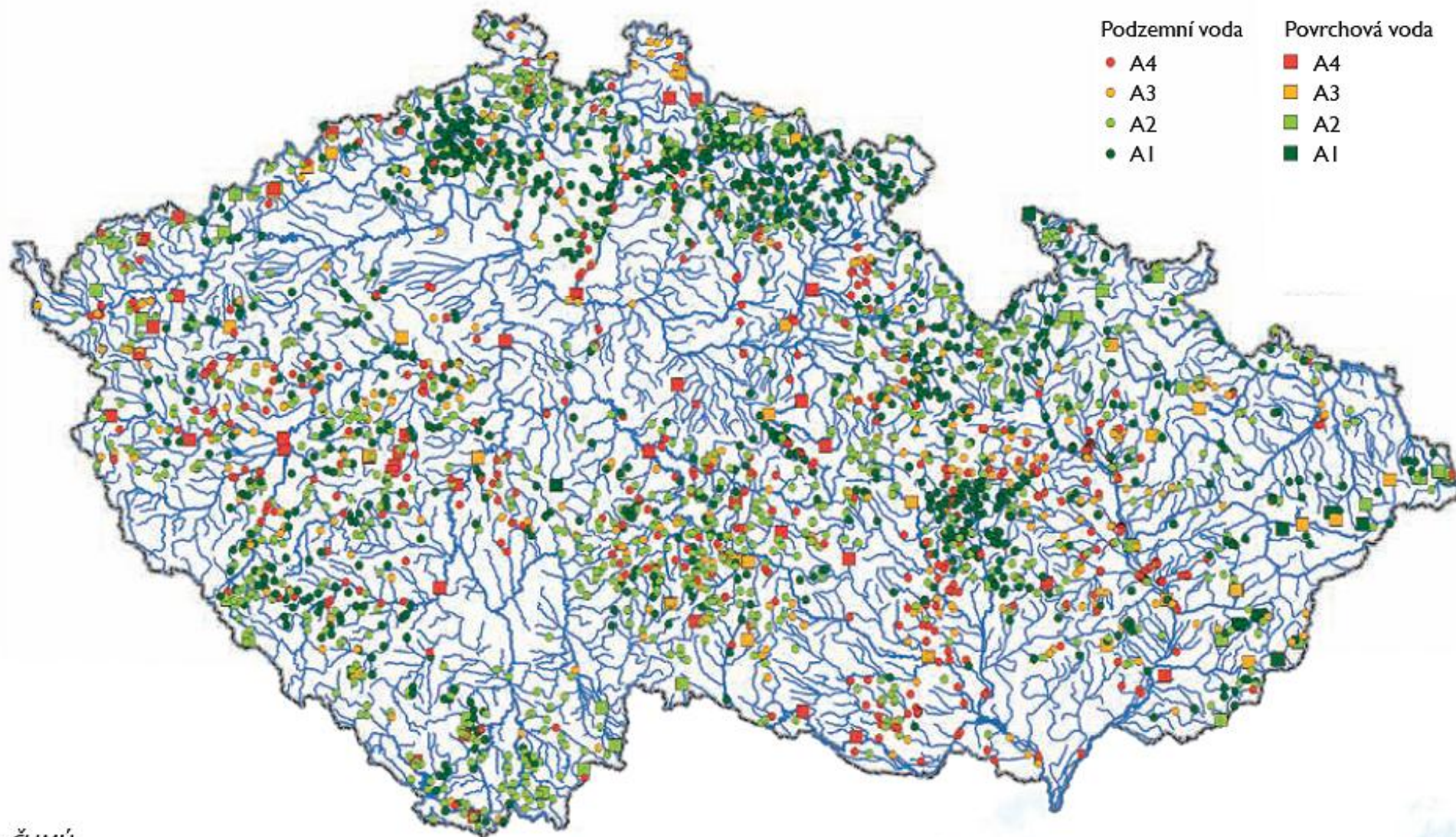
Kategorie upravitelnosti a odpovídající typy úprav

Kategorie	Typy úprav
A1	Úprava surové vody s případnou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití, a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí, a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí, popř. jejich kombinaci. Dalšími vhodnými procesy jsou například využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (například sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně.
A4	Vodu této jakosti lze výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.

Upravitelnost zdrojů vody

Obrázek 3.1.5

Kategorie upravitelnosti surové vody v místech odběru v roce 2022



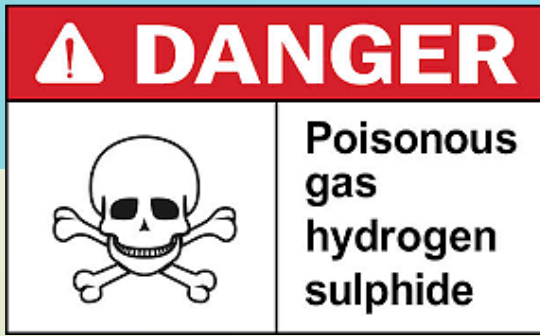
Pramen: ČHMÚ



Vliv projevů klimatické změny na odpadní vody a jejich biologické čištění

Vliv na kvalitu odpadních vod a stokovou síť

- **Změny v kvalitě surové odpadní vody:** V obdobích sucha a vyšších teplot může docházet ke snížení průtoků v kanalizaci, což vede ke koncentrovanější odpadní vodě s vyšším obsahem znečišťujících látek. Naopak, intenzivní srážky, které jsou rovněž spojovány s klimatickou změnou, mohou způsobovat zahlcení kanalizačních systémů a odlehčovacích komor, vedoucí k vypouštění nečištěných nebo jen částečně čištěných odpadních vod do vodních toků.
- **Zvýšený zápach a koroze:** Vyšší teploty odpadních vod v kanalizačních sítích mohou vést k intenzivnějšímu uvolňování zapáchajících plynů, jako je sirovodík (**septicita splašků**). Tento plyn je nejen nepříjemný a nebezpečný pro okolí, ale také přispívá ke korozi betonových a kovových částí kanalizační infrastruktury, což zkracuje její životnost a zvyšuje náklady na údržbu a opravy.



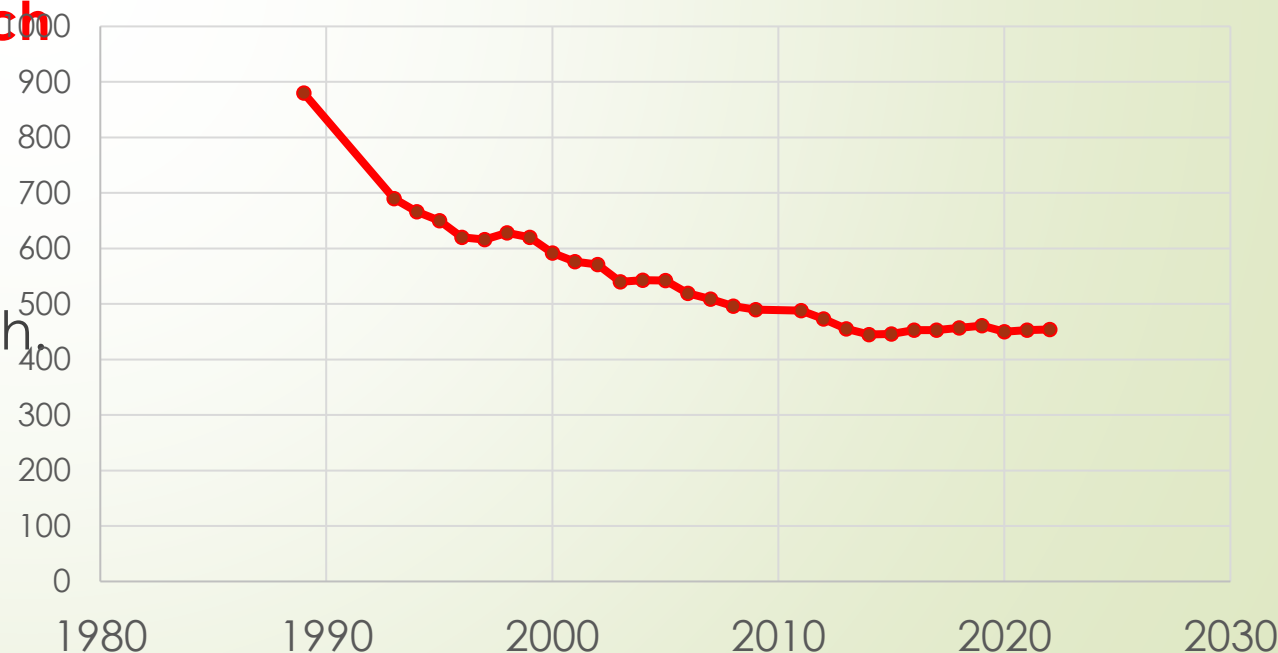
Vliv na vlastní produkci odpadních vod

V posledních 30 letech se projevuje trend poklesu množství městských odpadních vod. Ten je výsledkem několika faktorů

- 1. **Úbytek srážkových vod způsobený** snížením srážkových úhrnů **a zároveň zvyšujících se průměrnou teplotou** a tedy **urychlením odparu z povrchů**.
- 2. **Úbytek srážkových vod** způsobený preferencí **výstavby oddílných kanalizačních soustav** zejména u nové výstavby.
- 3. Významný pokles **spotřeby vody v domácnostech** i průmyslu, tzv. **„šetření vodou“**.
- 4. Pokles množství **balastních vod** ve stokách.
- Důvod: **Pokles hladiny podzemních vod**

„Modré zprávy“ MŽP a MZe

Produkce OV mil. m³/rok



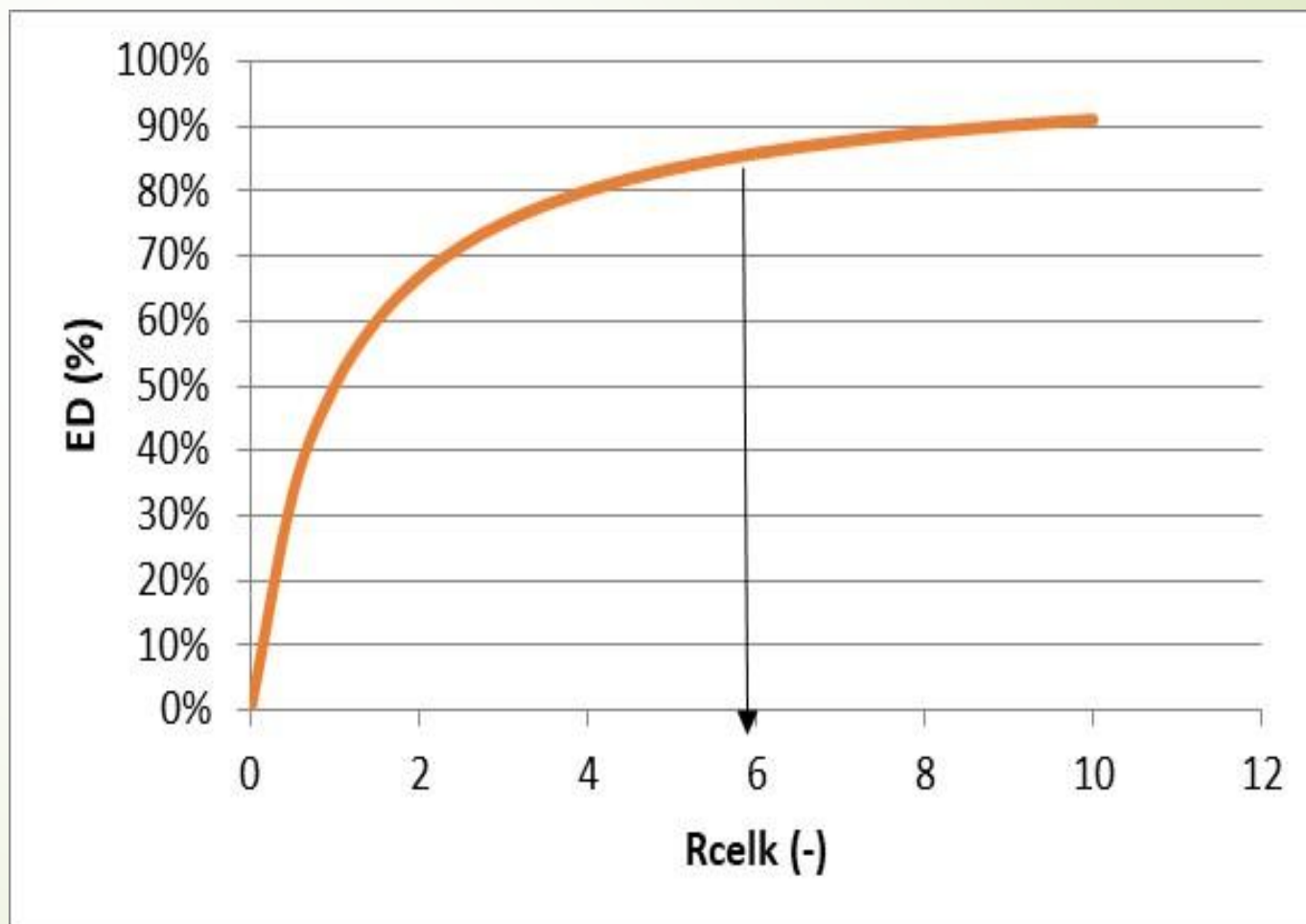
Důsledek vyšších koncentrací dusíku v přítoku:
nutnost vyšší recirkulace u aktivačních systémů
typu D-N

Zvýšená spotřeba energie na čerpání interní recirkulace

$$E_D = 100 \cdot \frac{R_C}{(1 + R_C)}$$

**Vyšší spotřeba externích
substrátů:**

- Dosažení potřebné účinnosti denitrifikace
- Snížení produkce oxidů dusíku



Nárůst teplot aktivací směsi příklad SVL ÚČOV Praha

Data PVK a.s.



Důsledky zvýšení teploty aktivální směsi

- Při těchto poměrech mezi rychlostmi reakce a oxygenační kapacitou **povede zvyšování teploty v aktiválních nádržích** k postupnému nárůstu deficitu koncentrace rozpuštěného kyslíku v biologických reaktorech, zejména pak v nitrifikačních reaktorech. **Důvod je ten**, že specifická spotřeba kyslíku pro nitrifikaci je poměrně vysoká ($4,57 \text{ g O}_2/\text{g N-NH}_4$, s přihlédnutím k syntéze biomasy $4,33 \text{ g O}_2/\text{g N-NH}_4$), **takže nitrifikace klade vysoké nároky** na dodávky kyslíku, tj. **na vysoké hodnoty OC**.

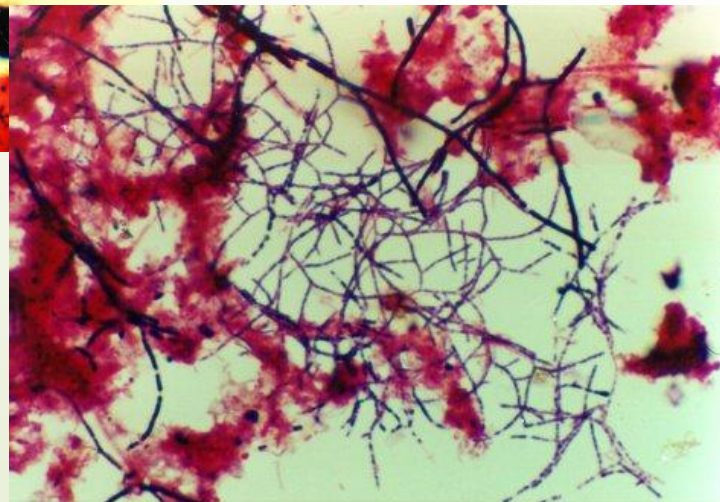
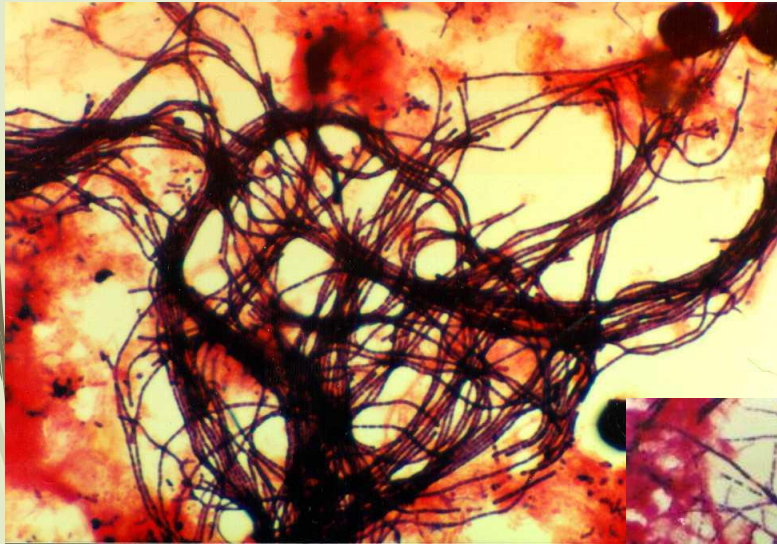
Vliv zvýšené teploty na mikrobiální ekologii aktivovaného kalu

- Složení odpadních vod hraje významnou roli v mikrobiální ekologii aktivovaného kalu. V tomto směru je důležitá zejména **frakcionace CHSK**, tj. podíl mezi snadno rozložitelným a pomalu rozložitelným, hydrolyzovatelným substrátem. Vločkotvorné i vláknité mikroorganismy se liší přístupem k těmto typům substrátu, navíc existuje různá preference substrátů i mezi vlastními vláknitými mikroorganismy.
- **S rostoucí teplotou odpadní vody a aktivační směsi se mohou v závislosti na ostatních parametrech podmínky posunout směrem k preferenci pěnotvorných vláknitých mikroorganismů.**

Vliv zvýšené teploty na mikrobiální ekologii aktivovaného kalu

Foto autor

- *Microthrix parvicella*
- Nokardioformní aktinomycety (GALO)



Vliv zvýšené teploty na mikrobiální ekologii aktivovaného kalu

➤ NITRIFIKAČNÍ BAKTÉRIE

ZIMNÍ PROVOZ

- Zvýšením teplot v aktivaci v zimním období se posuneme k teplotnímu optimu většiny nitrifikačních bakterií aktivovaného kalu, které leží mezi 15 °C až 25 °C (téměř lineární růst rychlosti s teplotou)

LETNÍ PROVOZ

- Při překročení teplotního optima bude mít vyšší teplota inhibiční účinek na rychlost nitrifikace
- Riziko deficitu rozpuštěného kyslíku (viz vliv teploty na OC)

➤ SEPTICITA ODPADNÍCH VOD

- Septicita surových OV je výsledkem produkce sulfidů/sulfanu redukcí síranů.
- Sulfát redukující bakterie jsou mezofilní s optimem růstových rychlostí při 28 °C – 30 °C.
- Při vyšších teplotách OV ve stokách rychlejší nástup anaerobních podmínek a vyšší rychlost tvorby redukovaných forem síry.

ZÁVĚRY

Bez ohledu na příčiny lze považovat klimatickou změnu na začátku 21. století za jev, pro který svědčí řada objektivních měření a pozorování.

Predikce dalšího vývoje této změny je zatížena řadou nejistot, které vyplývají zejména z komplexnosti příčin tohoto jevu. Nicméně za základní projevy klimatické změny se považují:

- **Vzestup teploty** a s tím související změny v počasí
- **Změny v množství, intenzitě i charakteru srážek**
- **Vzrůstající evapotranspirace**

Dopady klimatické změny do vodního hospodářství:

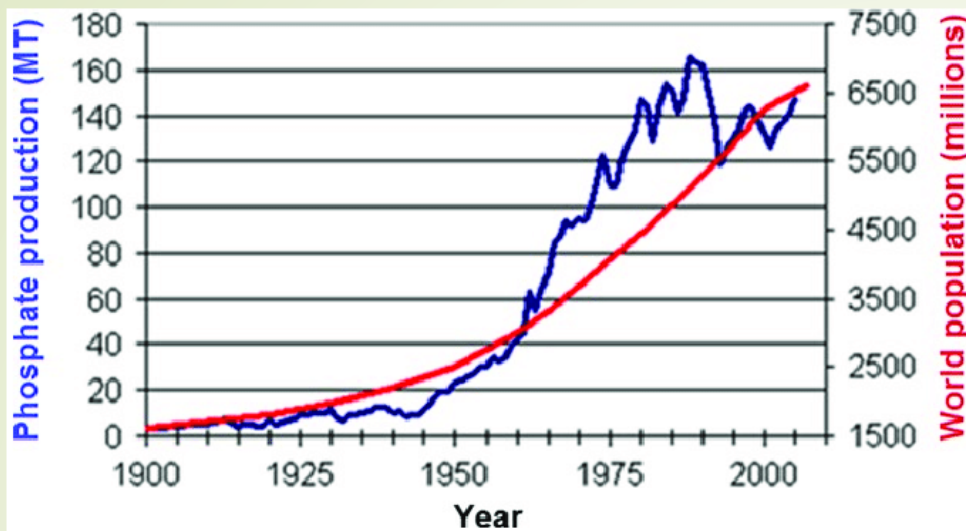
- Zhoršování jakosti zdrojů podzemních i povrchových vod
- Očekávané rostoucí problémy s upravitelností zdrojů vody v úpravárnách
- snížení množství a zakoncentrování odpadních vod
- vliv zvyšování teploty odpadní vody na kinetiku biologických dějů i přestupu kyslíku do aktivace
- změny ve složení i teplotě odpadních vod vedou i k změnám v mikrobiální ekologii aktivovaných kalů

Děkuji za Vaší pozornost!

... a závěrem jedna hypotéza příčin
globální klimatické změny



FOSFOR

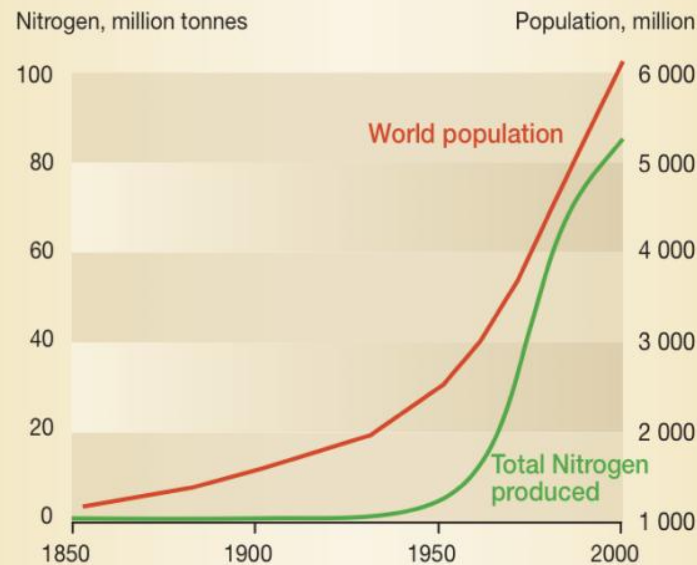


Nárůst lidské populace díky
rozvoji zemědělství
a průmyslu

https://www.researchgate.net/figure/Increase-of-world-population-and-phosphate-rock-production-during-last-century-Modified_fig3_317776789

Hypotéza poručíka Hamáčka

Production of nitrogen fertilizer in relation to world population



Source: Dawson and Hilton, 2011

DUSÍK

Dawson and Hilton: [Food Policy](#)
[Volume 36, Supplement 1](#),
January 2011, pp. S14-S22

Lidí je na světě jako

