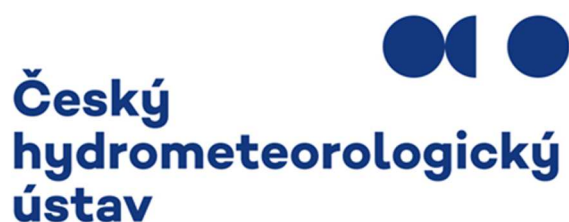


**Projekt SS02030027**  
**Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR**  
**v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)**

Dílčí zpráva za ČHMÚ

**WP 1**



Ondřej Ledvinka, Vít Šťovíček, Kateřina Vacková, Pavel Coufal, Pavel  
Kukla

## **Poděkování**

Zpráva o řešení byla vytvořena v rámci projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“, řešeného s finanční podporou Technologické agentury České republiky v rámci Programu Prostředí pro život Ministerstva životního prostředí na podporu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí v letech 2020 - 2026.

## 1 WP 1 - Analýza ovlivnění průtoků užíváním vod (DC 1.1)

Cílem studia bylo vypočítat a zanalyzovat, jakým způsobem je ovlivněn průtok nad vodoměrnými stanicemi v Česku, a příp. zjistit, jak se bude toto ovlivnění měnit v budoucnu v návaznosti na klimatickou změnu. Na základě výsledků byly vytvořeny mapy, tabulky a další grafická znázornění vhodná pro interpretaci výsledků. Mapy zobrazují ovlivnění jak povrchových, tak podzemních vod. Analyzováno bylo především referenční období 1991–2020, jakmile to dostupnost dat umožňovala. Důraz byl kladen na identifikaci trendů celkového ovlivnění v jednotlivých povodích a na lokalizaci míst s potenciálním rizikem klesajícího trendu v dostupnosti vody a rostoucího trendu v nárocích společnosti, a to např. porovnáním směrnic trendů v různých obdobích, což reflektuje požadavky dalších etap projektu.

## 2 Úvod

Voda je nezbytná pro existenci všech živých organismů a určuje fungování lidské společnosti. V důsledku klimatických změn dochází stále častěji k extrémním výkyvům počasí, které vedou k nedostatku srážek a vzniku sucha, nebo naopak k extrémním srážkám a povodním. Jednou z příčin těchto změn je lidská společnost a její neustále se zvyšující nárok na vodu a jiné strategické suroviny (Lieblová, Matěja 2016).

Vodnost většiny vodních toků v Česku je ovlivněna antropogenní činností, přičemž od 50. let 20. stol. dochází všeobecně ve světě k extrémnímu nárůstu antropogenního ovlivnění vodních toků (Terrier a kol. 2021). Hodnoty naměřené na vodoměrných stanicích jsou více či méně ovlivněny lidskou činností. Ta zahrnuje odběry povrchových a podzemních vod pro potřeby zemědělství, zejm. závlah, a zásobování obyvatelstva a průmyslu. Na straně druhé jde o vypouštění odpadních vod do povrchových (a vzácně i do podzemních) vod, nebo záměrné zvýšení či snížení vodnosti toku při manipulaci na vodních nádržích (Brandt a kol. 2017).

Voda je často odebírána z jednoho povodí a vypouštěna do jiného o několik kilometrů dále. Např. v povodí Svitavy je podzemní voda odebírána pro zásobování brněnské aglomerace pitnou vodou a po využití sváděna do čistírny odpadních vod v Brně-Modřicích, ústící ve Svatce (Bárta, Boráková 2019). To znamená, že naměřené hodnoty v obou povodích jsou silně ovlivněny antropogenní činností, a proto nelze přirozené průtoky měřit přímo, ale musejí se vypočítávat (Terrier a kol. 2021).

Protože je vodní tok hlavní proměnnou, která spojuje složky ekosystému pomocí hydrologických, biologických, geomorfologických procesů a procesů kvality vody, tak se odhad přirozeného průtoku (u nás tzv. odovlivněný průtok) obvykle používá jako referenční veličina pro odhad hydrologické odezvy na klimatický režim pro hodnocení ekologického stavu řeky a pro odhad množství potenciálně dostupné vody (Poff a kol. 1997).

## 3 Vstupní data

Základem byla měsíční data o celkovém ovlivnění průtoků ve vodoměrných stanicích, vyjádřeném v procentech jako poměr změn průtoku k odovlivněnému průtoku. Ta byla pravidelně jednou ročně počítána a ukládána do databáze ČHMÚ spolu s dalšími dostupnými daty o ovlivnění platnými pro vodoměrné stanice. Zvláštní pozornost byla věnována rozlišení mezi odběry pouze z povrchových vod (prvek OPOV) a celkovými odběry (včetně odběrů z podzemních vod, prvek OPOV + OPOD). Kromě celkového procenta ovlivnění, označovaného jako OVLTOTPOV nebo OVLTOTPOD, výzkum zahrnoval také údaje o vypouštění (prvek VYP) a zadržování či upouštění vody z nádrží, kde dochází k významným

manipulacím (prvek DELTA). Pro aktuální analýzy bylo vybráno referenční období 1991–2020 a kritérium úplnosti časových řad splňovalo celkem 346 vodoměrných stanic.

Vstupní data ovlivnění průtoků byla porovnáována mezi dvěma hlavními zdroji (systém ISPOP, soubory od s.p. Povodí a geografické vrstvy z Vodohospodářského informačního portálu VODA dostupné na <https://voda.gov.cz/>). Bylo zjištěno, že zdroje se liší počtem objektů a samotnými hodnotami. Proto byla provedena obecná kontrola polohy objektů, jejich duplicit a hodnot odběrů a vypouštění (Ledvinka 2023).

Data z Vodohospodářského informačního portálu VODA byla brána spíše jako doplňková, protože v době zpracování sahala jen do roku 2020. Na základě mezery v časové řadě, případně změně v názvu a v dalších atributech byly vybrány objekty, které se potenciálně dají spojit či rozdělit. Prováděla se také analýza vodních ploch, kde může chybně docházet k reportování odběrů jak z vodní plochy, tak z vodního toku. Proto byly lokalizovány objekty, které se nacházejí v těsné blízkosti vodních nádrží. Všechny vytipované objekty se pak zaslaly na kontrolu pobočkám ČHMÚ k manuálním kontrolám prováděných nad databází PostgreSQL s podporou GIS nástrojů (tj. PostGIS).

V ČHMÚ byl vyvíjen R skript pro výpočet odovlivněných měsíčních průtoků. Funkcionalita skriptu závisí na správném umístění ovlivňujícího objektu prostřednictvím souřadnic, a proto bylo nutné provést kontrolu souřadnic vstupních dat ovlivnění. Speciálně se dbalo na správné umístění ovlivnění převody vody do systému rozvodnic získaného z nejnovější vektorové geografické vrstvy vyvíjené v ČHMÚ. Odovlivněné průtoky byly porovnávány s výpočtem hodnot od VÚV TGM, který provádí výpočet každoročně. Snahou však je převést výpočet odovlivněných průtoků pod hlavičku ČHMÚ.

## 4 Metodika

Pro mapové výstupy celkového ovlivnění byla zvolena vrstva rozvodnic 3. řádu, zahrnující 346 vybraných vodoměrných stanic s kompletní časovou řadou o celkovém procentu ovlivnění pro hydrologické období 1991–2020. Kompletní byly taktéž časové řady ostatních zkoumaných prvků. Pro každou stanicí byla nejprve vypočtena celková plocha povodí nad ní a podíl k ploše povodí 3. řádu, ve kterém se stanice nachází. Celkové procento ovlivnění pro každé povodí bylo vypočteno jako součet celkového ovlivnění ve všech stanicích v daném povodí, přičemž vahou každé stanice byl vypočtený podíl plochy povodí nad danou stanicí. Tím pádem celkové procento ovlivnění v jednotlivých povodích odpovídá především stanicím v ústí, příp. blízko ústí, kde je odvodňována největší plocha.

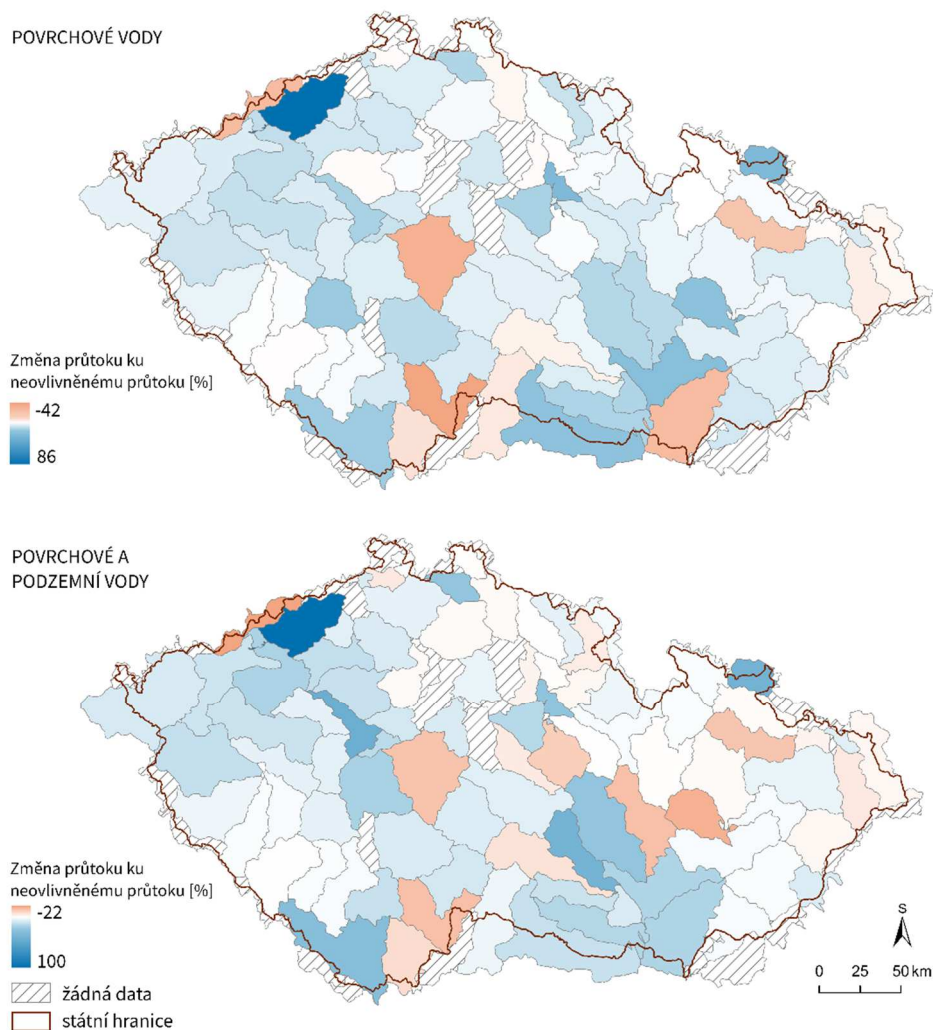
V další fázi byla provedena analýza trendu s cílem zjistit, zda ve vybraném období existují statisticky významné trendy v časových řadách prvků týkajících se ovlivnění průtoků českých řek. Byly zvoleny dvě statistické hladiny významnosti, a to  $\alpha = 0,05$  a  $\alpha = 0,01$ . Aplikován byl Mannův–Kendallův test pro přítomnost trendu (Kendall 1938; Mann 1945; Kendall, Gibbons 1990) a jeho modifikace navržená v článku Yue a Wang (2004) tak, aby docházelo v případě významného autoregresního koeficientu při předpokládaném autoregresním modelu prvního řádu ke korekci rozptylu testové statistiky (Bayley, Hammersley 1946; Matalas, Langbein 1962; Lettenmaier 1976). Výsledky pro každou stanicí a měsíc byly shrnuty do hodnoty standardizované testové statistiky  $Z$  (udávající směr případného trendu),  $p$ -hodnoty a Senova neparametrického odhadu směrnice trendu značeného SEN (Sen 1968). Tyto analýzy proběhly jak pro měsíční časové řady, tak pro roční časové řady.

Výsledky byly zpracovány pomocí R balíčku *modifiedmk* (Patakamuri, O'Brien 2021). Případy, kde  $p$ -hodnota klesla pod zvolenou hladinu významnosti, byly zakreslovány do map pomocí šipek

lokalizovaných do míst s polohou vodoměrné stanice. Šipka odchylovající se od vodorovného směru, a to podle znaménka hodnot  $Z$  či  $SEN$ , znázornila trend rostoucí (číslo hodnoty bez znaménka) nebo klesající (číslo se znaménkem minus), podobně, jak to bylo prováděno i v jiných pracích zabývajících se trendy v komponentách hydrologického cyklu na území Česka (Fiala a kol. 2010; Ledvinka 2015a; 2015b). Z těchto analýz byly následně vytvořené mapové výstupy.

## 5 Výsledky a diskuze

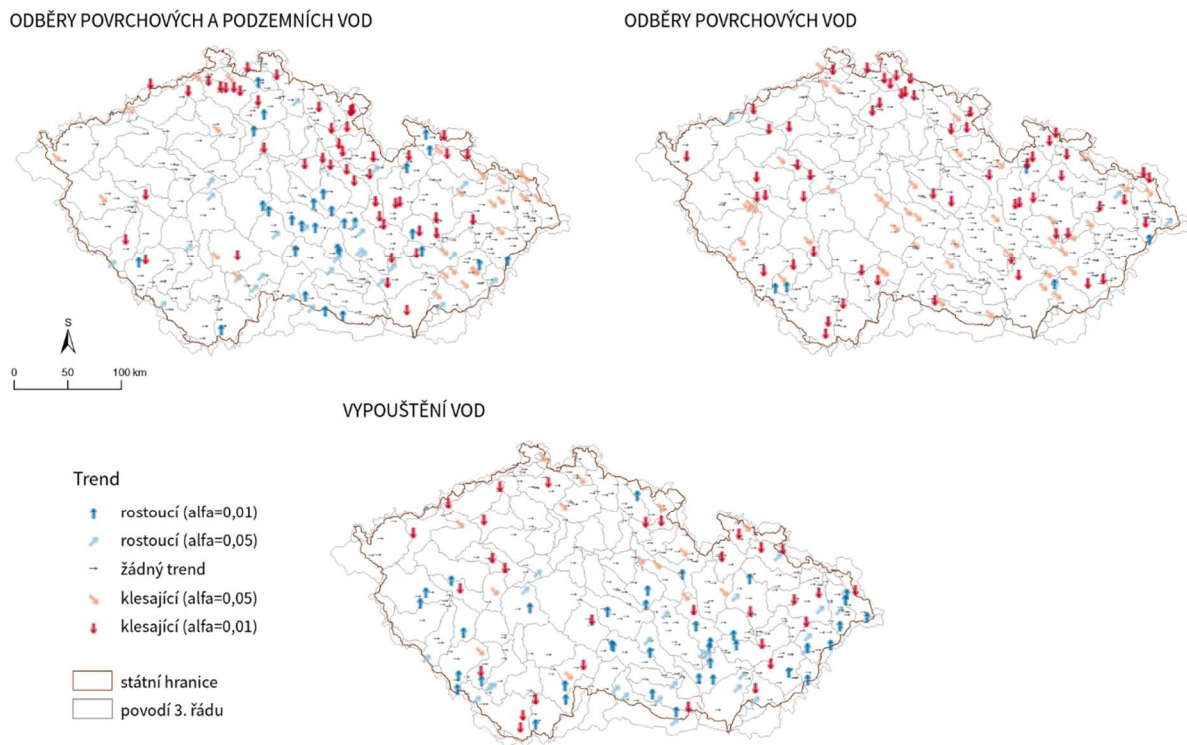
Nejvyšších hodnot celkového ovlivnění povrchových vod (Obr. 1) dosahovala povodí na jižní Moravě a povodí Osoblahy, Labe od Orlice po Loučnou a zejm. povodí Bíliny (v tomto povodí však vstupovala data pouze z jedné vodoměrné stanice). Nejnižších hodnot naopak povodí Rybné a Lužnice od Rybné po Nežárku, Sázavy od Želivky po ústí a Dyje od Svatky po ústí. Při zahrnutí odběrů z podzemních vod byly vysoké hodnoty zjištěny opět u povodí na jižní Moravě a dále v povodích západních a severozápadních Čech. Nejvyšší hodnoty míry ovlivnění lze pozorovat u povodí Loděnice, Osoblahy a Oslavy. Nejnižší hodnoty byly naopak zjištěny u přítoků Freiberské Muldy, Šopavy a Flöhy, v povodích Moravy od Bečvy po Hanou, Rybné a Lužnice od Rybné po Nežárku či Svitavy.



Obr. 1: Poměr celkového ovlivnění průtoků pro povodí 3. řádu (referenční období 1991–2020)

Z analýzy trendů pro referenční období 1991–2020 lze u odběrů a vypouštění vod vyzorovat rozdílné chování ve vybraných vodoměrných stanicích, často vytvářející nápadné shluky v několika oblastech (Obr. 2). Z celkového hlediska však převládá napříč odběry a vypouštěním vod nulový trend. Ten byl v každé ze sledované skupiny zjištěn u zhruba 230 z celkových 346 vodoměrných stanic (okolo 65 % všech stanic).

V případě odběrů podzemních vod včetně povrchových byl zjištěn mírně klesající a mírně rostoucí trend u zhruba 8 % ze všech stanic. Stejný poměr byl zjištěn u stanic s významně rostoucím trendem. U 47 stanic byl pak zjištěn významně klesající trend (necelých 14 % ze všech stanic), tvořící nápadné shluky u stanic v severních Čechách (zejm. povodí Ploučnice) a východních Čechách (povodí Metuje, Orlice od soutoku Divoké a Tiché Orlice po ústí a Loučné a Labe od Loučné po Chrudimku). Dalšími povodími s převahou významně klesajících trendů jsou povodí Moravské Sázavy a Moravy od Moravské Sázavy po Třebůvku, Třebůvky a Svitavy. Shluky mírně klesajících trendů lze pozorovat taktéž u povodí ve Slezsku (Opava po Moravici, Olše a Odra po Opavu). Naopak zjištěné rostoucí trendy vytváří shluky v oblastech Vysočiny (především povodí Sázavy po Želivku, Svratky po Svitavu či Oslavy a Jihlavy od Oslavy po Rokytou) či v povodí Dyje.



Obr. 2: Trendová analýza pro odběry a vypouštění vod (referenční období 1991–2020)

Odběry pouze povrchových vod se naopak vyznačují minimem stanic s rostoucím trendem. Klesající trendy jsou poměrně rovnoměrně rozloženy po celém území Česka a tvoří necelých 30 % ze všech stanic. Převahu významně klesajících trendů lze opět pozorovat v oblasti severních Čech, zejm. v povodích Lužické Nisy po Mandavu, Jizery a Kamenice. Další oblasti s klesajícími trendy jsou povodí Berounky a jejích přítoků, horního a středního toku Moravy a povodí jižních Čech (Vltava po Malši a Nežárka).

U vypouštění vod byla zjištěna mírná převaha rostoucích trendů (celkem 62 stanic) oproti trendům klesajícím (34 stanic). Oblasti s převahou rostoucích trendů tvoří povodí západních Čech (Mže po soutok s Radbuzou či Otava po Volyňku), jižní Moravy (Svratka a Svitava) a východní Moravy (Vsetínská a Rožnovská Bečva či Ostravice). Klesající trendy jsou více bodově rozmístěny, menší shluky se vyskytují v povodí Vltavy po Malši, Rakovnického potoka nebo Metuje.

## 6 Nejistoty

Nejistoty jsou spatřovány především v kvalitě dat o ovlivnění průtoku. Existuje hned několik verzí datových sad, přičemž o plnohodnotném databázovém řešení nelze v žádném případě hovořit. Aktualizace ani opravy dat nejsou centralizovány, a tedy hrozí riziko dalšího rozcházení jak v samotných hodnotách, tak v lokalizaci objektů (Ledvinka 2023). V neposlední řadě musí být pro budoucí vývoj zmíněn problém nehomogenity dat daný limity odběrů uvedenými v samotném vodním zákoně a jeho novelách.

## 7 Závěr

Shrneme-li výsledky, lze konstatovat, že na území Česka docházelo v období 1991–2020 převážně ke kladné změně celkového procenta ovlivnění průtoku. To znamená, že ve sledovaných stanicích byl zjištěn vyšší průtok oproti teoretickému - odovlivněnému. Jinými slovy docházelo převážně k dvěma situacím, kdy odběry převyšovalo vypouštění vod či upouštění vod z nádrží. Z dostupných dat a analýzy trendů podle Mannova-Kendalova testu lze očekávat i v budoucnosti zvyšující se procento vypouštění vod a zároveň vyšší extremitu dat o celkovém procentu ovlivnění průtoku. Tento fakt může poukazovat na probíhající tendenci vyrovnávat vypouštěním malé průtoky v obdobích hydrologického sucha, pokud taková kompenzující voda k dispozici v povodí ještě je. Na druhou stranu to ale značí, že kdyby neexistovala regulace průtoku, potýkali bychom se mnohem více s prohlubujícími se následky sucha. Všechna tato zjištění je třeba vztáhnout k množství a kvalitě vstupních dat, použité metodice, vybraným parametrům a povodím. U mapových výstupů poté především k počtu stanic, jejich umístění a nepravidelnému rozložení na území Česka.

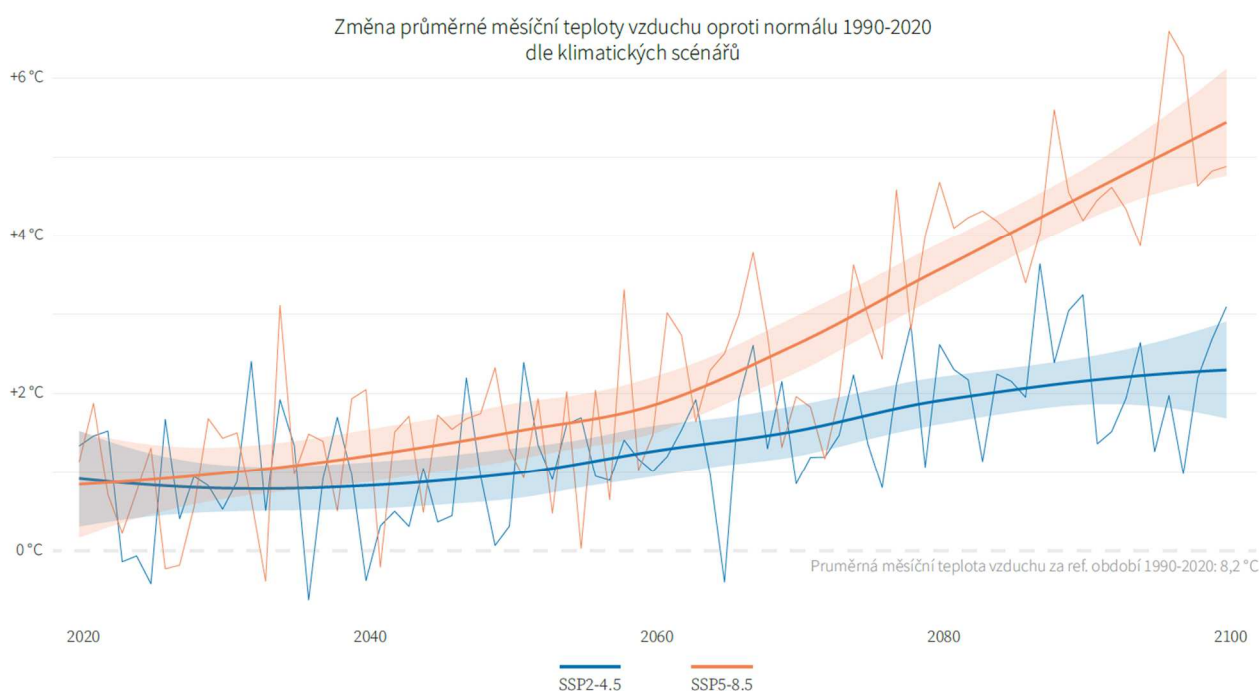
V některých profilech byl vypočten záporný odovlivněný průtok. Příčinou mohou být chybně naměřená data, chybná nebo nepřesná lokalizace ovlivnění nebo také fakt, že u dat ovlivnění nemusí jít pouze o data měřená, ale i odhadovaná. Zároveň u odběrů musí uvedené číslo v některých případech reprezentovat překročený limit pro reporting, ale ve skutečnosti se může jednat o menší, v databázích nezaznamenané hodnoty odběrů vod, které v součtu mohou být docela podstatné.

V rámci WP1 Centra byl vytvořen nový R skript pro výpočet odovlivněných průměrných měsíčních průtoků ve vodoměrných stanicích na území Česka. Tímto se řešitelé ČHMÚ přiblížili žádoucímu stavu, kdy by měl sběr dat o průtoku a odhad jeho přirozených hodnot probíhat v jedné instituci. Vzhledem ke skutečnosti, že se nepodařilo zbavit se při výpočtech záporných hodnot odovlivněných průtoků, je třeba do budoucna uvážit další možné příčiny nezahrnuté ve výpočtu, např. vícenásobné odběry vody z nádrží a ztráty výparem z volné hladiny nádrží.

## 8 WP 1 – Identifikace území s deficitními vodními zdroji (DC 1.2)

Jelikož v Centru PERUN, jehož výstupy, a to zejm. gridové produkty související se scénáři ALADIN-CLIMATE/CZ, mají být dále využívány Centrem Voda, došlo ke zpoždění, poskytli řešitelé ČHMÚ podporu řešitelům Centra PERUN ve formě převodu podkladových CSV souborů do souborů GeoTIFF a NetCDF. Týkalo se to dvou dosavadně dostupných scénářů (SSP2-4.5 a SSP5-8.5; samotné scénáře, bias korekce, historický běh). Rovněž tak proběhl zcela nově výpočet časových řad gridů potenciální evapotranspirace a klimatické vodní bilance z gridů historické průměrné teploty vzduchu a historických denních úhrnů srážek (1961–2022). Tyto produkty, využívány i v jiných kompetenčních centrech, představují potenciál pro další zpracování, jako jsou sezonní hydrologické predikce na bázi křížových korelací nebo vlnkové analýzy (Ledvinka a kol. 2023) apod. ČHMÚ následně využil rastry scénářů vývoje teplot vzduchu a úhrnu srážek k prvotním analýzám vztaženým k povodím 3. řádu.

Teploty vzduchu jsou, na rozdíl od srážek, dle očekávání rovnoměrněji rozloženy mezi jednotlivými povodími, což umožňuje analyzovat jejich změny pro celé území Česka. Ve srovnání s normálem z období 1990–2020 oscilují změny průměrné měsíční teploty mezi 0 °C a +2 °C u obou scénářů přibližně do roku 2055 (Obr. X). Od tohoto roku lze pozorovat výraznější nárůst změny teplot vzduchu u obou scénářů, zejm. u pesimističtějšího scénáře SSP5-8.5. To potvrzují i průměrné teploty v jednotlivých dekadách. Zatímco se změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti normálu pohybuje v prvních čtyřech dekadách v celorepublikovém měřítku okolo +1 °C (Obr. X a X), v dekadě 2060–2070 překračuje u scénáře SSP5-8.5 hodnotu +2 °C a průběžně roste až k extrémním +5 °C ke konci století. Naopak, podle scénáře SSP2-4.5 lze očekávat mírnější nárůst teploty vzduchu, s maximální změnou +2,4 °C v dekadě 2080–2090.

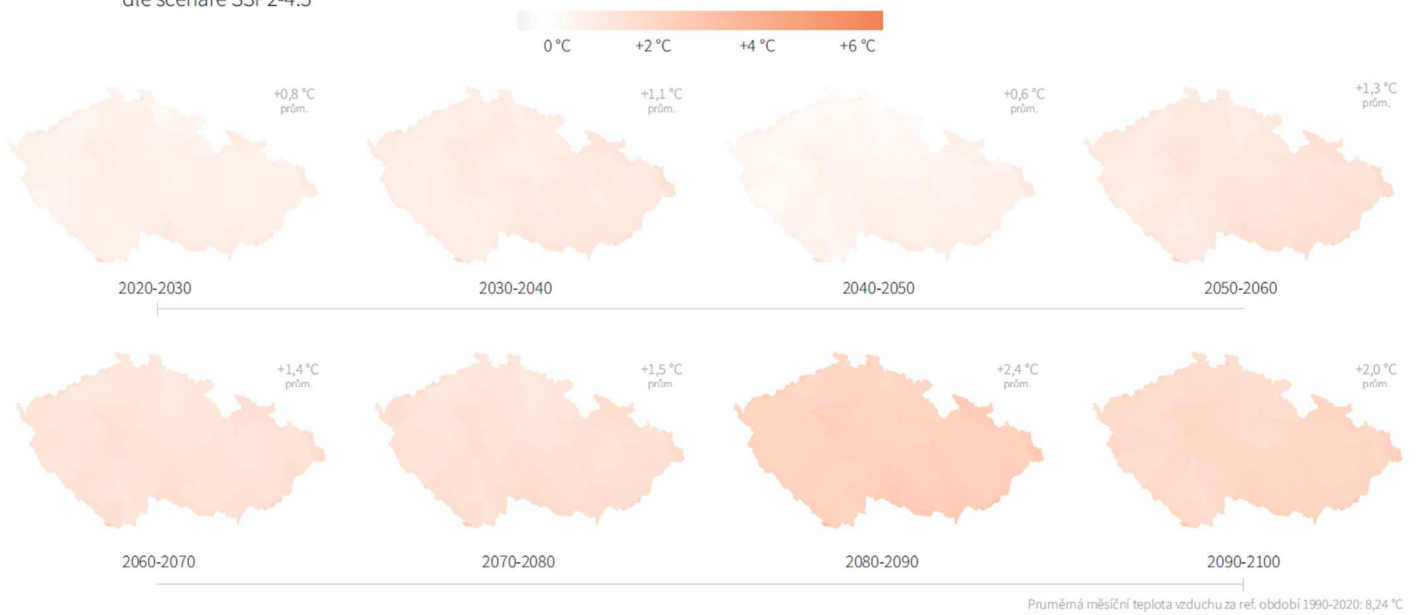


Obr. X: Změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti normálu 1990–2020 dle klimatických scénářů. Tučnou čarou znázorněna LOESS regrese s 95% intervalem spolehlivosti.



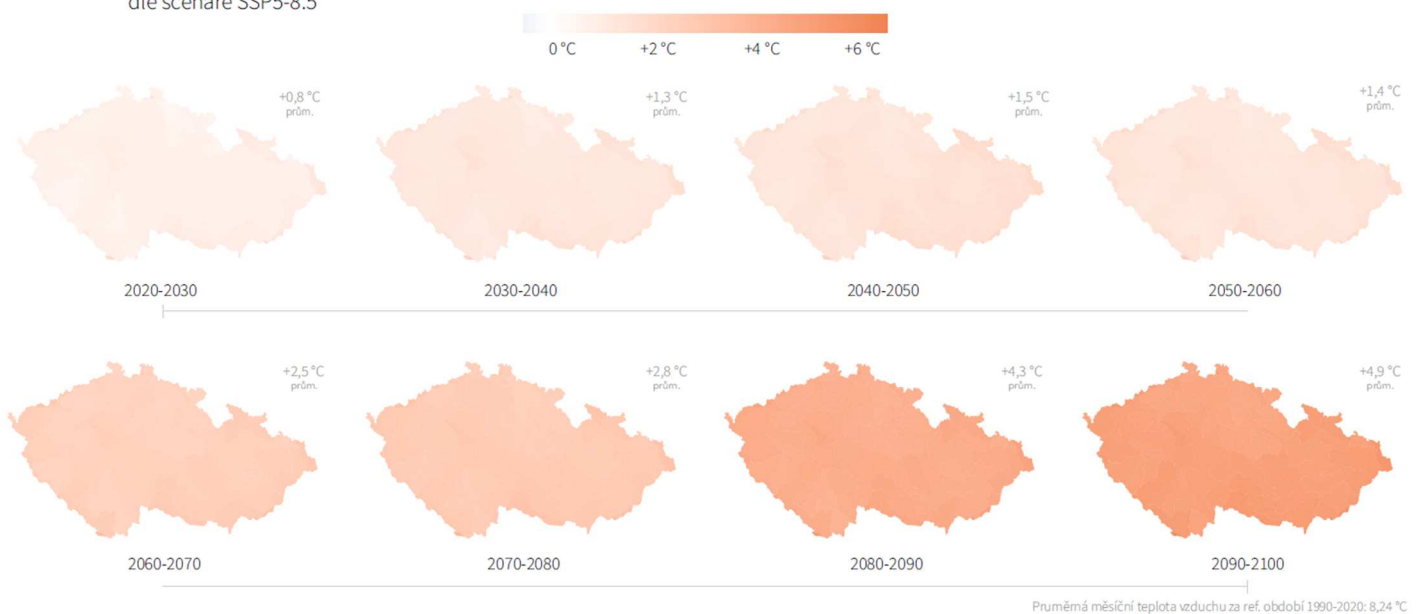
Pro upřesnění mapových výstupů jak teplot vzduchu, tak srážek je třeba dodat, že hodnoty v některých pohraničních povodích se mohou v některých případech výrazněji lišit oproti hodnotám v sousedním povodím. Daný rozdíl je způsoben oříznutím rastru určité velikosti menší plochou povodí, díky čemuž může dojít k extrakci pouze jedné hodnoty/pixelu (tj. hodnota průměrného měsíčního úhrnu srážek/teploty vzduchu) pro zájmovou část povodí. Nejedná se tak o chybu výpočtu, nýbrž o výsledek nezbytné extrakce rastru.

Změna průměrné měsíční teploty vzduchu  
oproti normálu 1990-2020  
dle scénáře SSP2-4.5



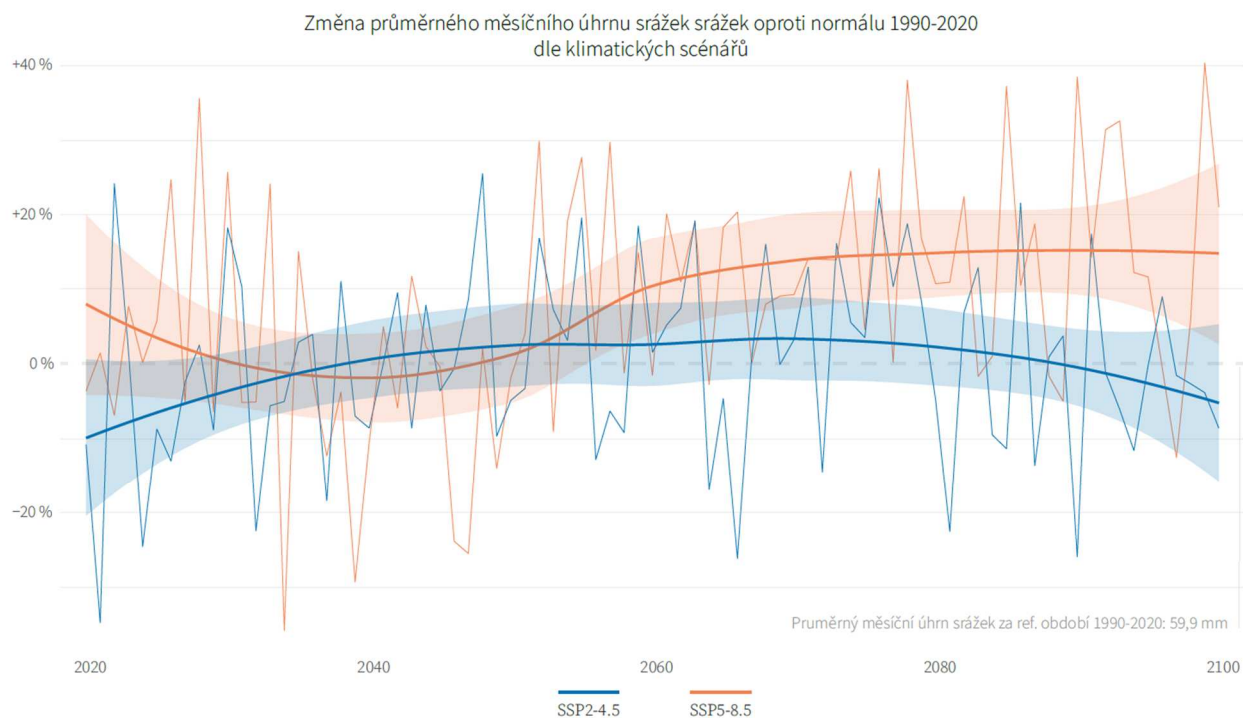
Obr. X: Změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti normálu 1990–2020 dle scénáře SSP2-4.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

Změna průměrné měsíční teploty vzduchu  
oproti normálu 1990-2020  
dle scénáře SSP5-8.5



Obr. X: Změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti normálu 1990–2020 dle scénáře SSP5-8.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

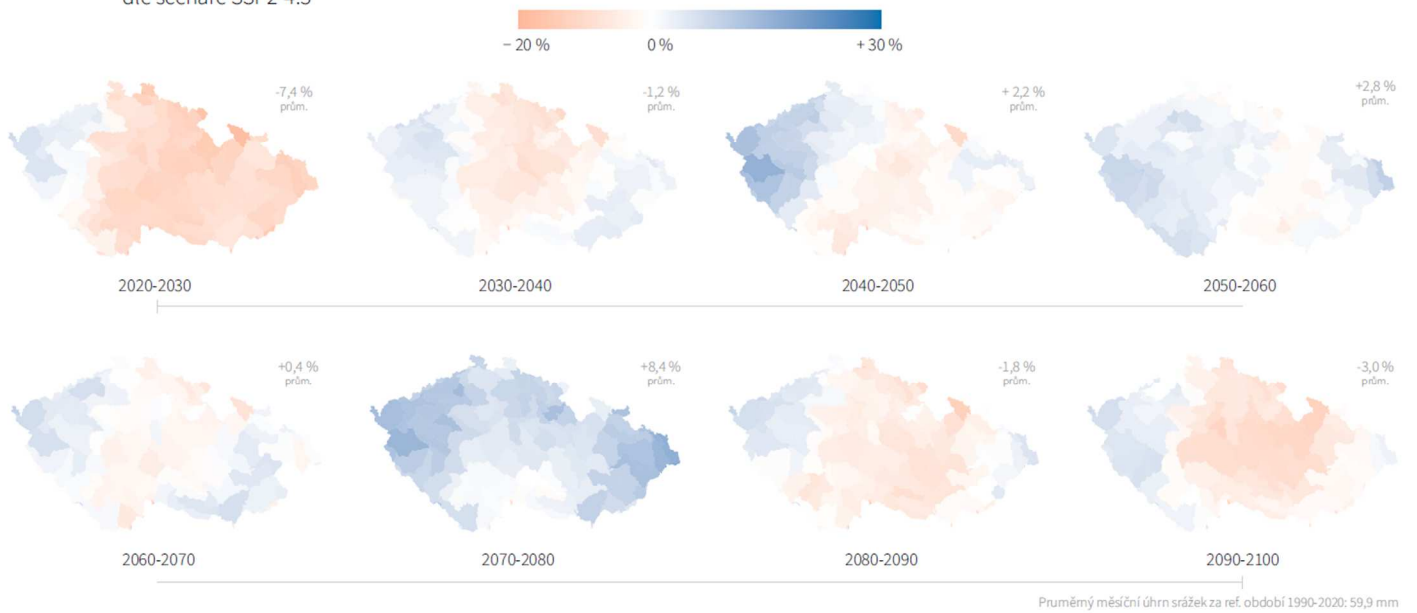
U srážek jsou predikce více variabilní, přičemž průběh podle různých scénářů se výrazně liší (Obr. X). Z celorepublikového hlediska se podle scénáře SSP2-4.5 měsíční úhrn srážek dlouhodobě pohybuje okolo průměru referenčního období 1990–2020 (59,9 mm/měsíc). Přibližně od roku 2040 dochází k pozitivní změně úhrnu srážek, která trvá téměř až do konce století. V případě scénáře SSP5-8.5 lze sledovat výraznou změnu, podobně jako u teploty vzduchu, kolem roku 2055, kdy dochází ke kladné změně úhrnu srážek oproti normálu 1990–2020. V měsíčních průměrech se očekává nárůst až o 15 %, přičemž tento trend pokračuje konstantně do konce století.



Obr. X: Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1990–2020 dle klimatických scénářů. Tučnou čarou znázorněna LOESS regrese s 95% intervalem spolehlivosti.

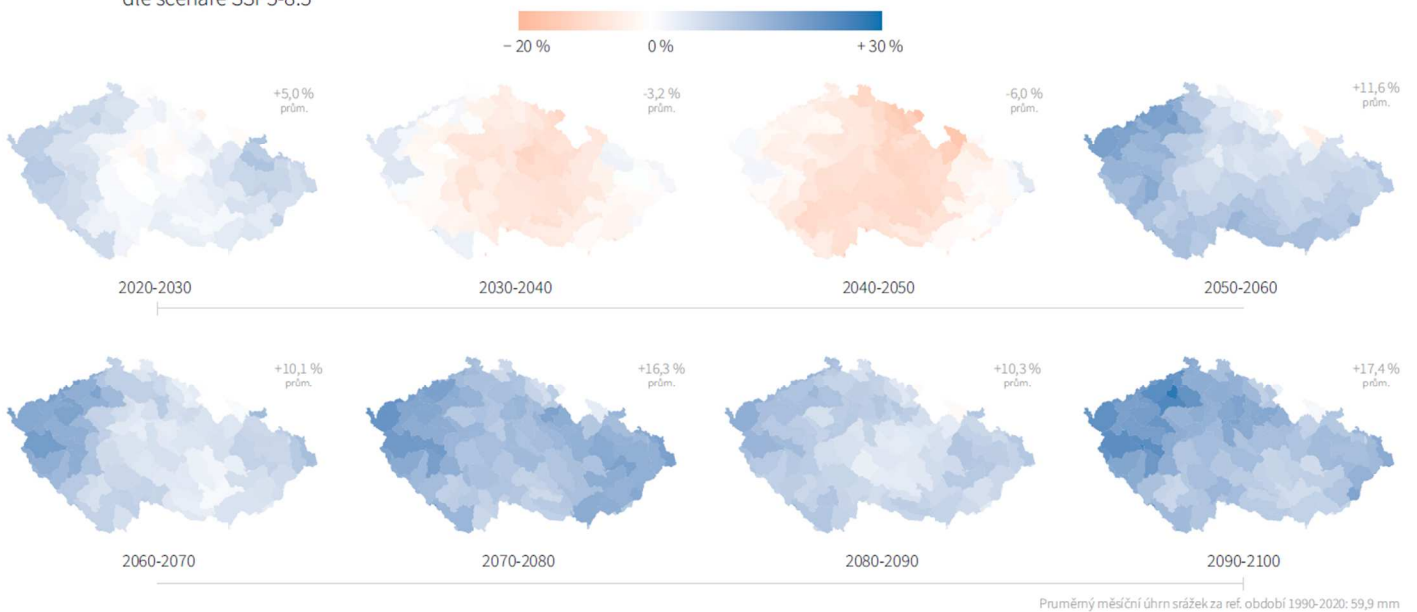
Ačkoliv výhledy celorepublikových průměrných měsíčních úhrnů srážek mohou působit poměrně optimisticky, průměry pro jednotlivá desetiletí vykazují významné rozdíly mezi povodími 3. řádu. Z mapových výstupů pro oba analyzované scénáře (Obr. X a X) lze na první pohled rozpoznat opakující se vzor napříč jednotlivými dekadami. Tím je přechod vyšších srážkových úhrnů na západě Česka přes srážkově chudší oblast, která se táhne od severu k jihu Česka, zpět k srážkově bohatšímu východu republiky. Tento přechod je zjevný zejm. u scénáře SSP2-4.5. Zatímco na západě republiky převládá kladná změna měsíčního úhrnu srážek oproti normálu napříč všemi dekadami, v severní, střední a jižní části Česka je tato změna mírně záporná. Výjimku tvoří dekáda 2020–2030, vyznačující se zápornou změnou téměř ve všech povodích (celorepublikový průměr -7,4 %) a naopak srážkově bohatá dekáda 2070–2080 (průměr +8,4 %). Scénář SSP5-8.5 predikuje pro severo-jihní pás Česka v prvních třech dekadách zesilující negativní změnu průměrných měsíčních srážek oproti normálu 1990–2020, přičemž na východě a západě se jedná o přechod z mírně kladných do nulových hodnot. Po zbytek století se ovšem predikce pohybuje výhradně v kladných změnách úhrnu srážek napříč všemi povodími. Celorepublikový průměr pak neklesne od roku 2050 pod +10 %, s maximy v dekadách 2070–2080 (+16,3 %) a 2090–2100 (+17,4 %).

Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1990-2020 dle scénáře SSP2-4.5



Obr. X: Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1990–2020 dle scénáře SSP2-4.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1990-2020 dle scénáře SSP5-8.5



Obr. X: : Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1990–2020 dle scénáře SSP5-8.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

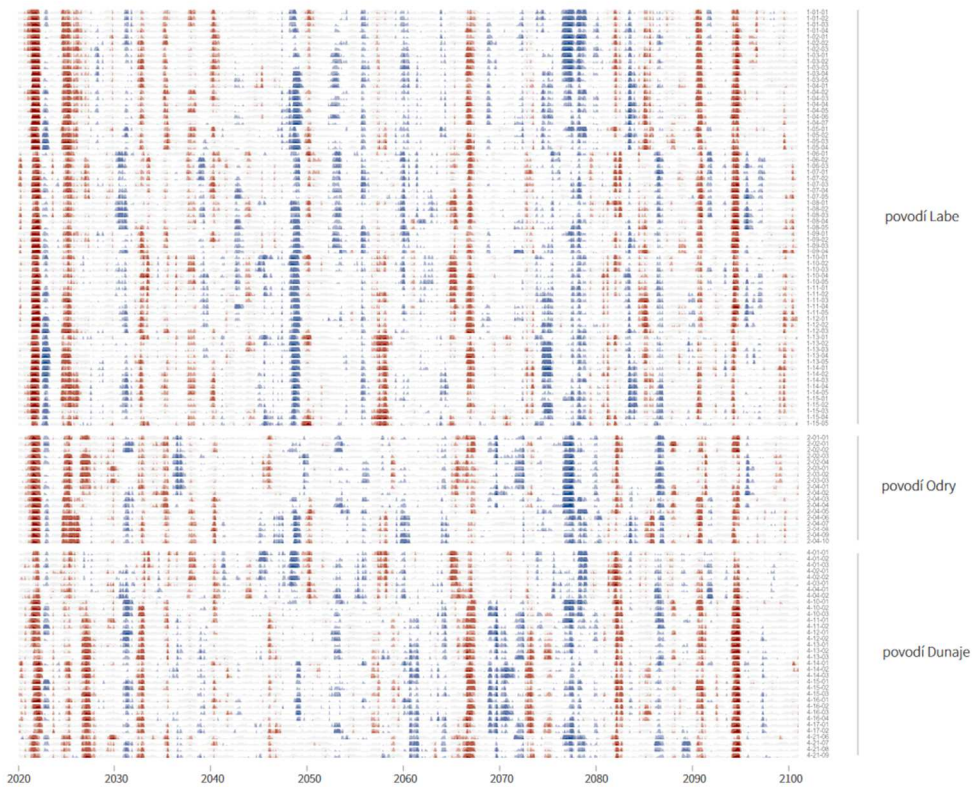
Poslední provedenou analýzou byl výpočet indexu SPI, který je využíván k odhadu vlhkých/suchých podmínek na základě úhrnu srážek. Konkrétně se jedná o směrodatnou odchylku, o kterou by se pozorované srážky lišily od dlouhodobého průměru, přičemž se před výpočtem musí časová řada srážek nejdříve transformovat na veličinu se standardním Gaussovým rozdělením (jeho kvantilovou funkcí) za využití distribuční funkce rozdělení, u kterého se předpokládá dobré vystižení empirických hodnot (McKee a kol. 1993). V tomto případě byl zvolen index vypočítaný pro 12měsíční časové okno SPI12 (s potenciálním odstraněním vlivu sezonnosti) s rozdělením gama. Legenda u obou scénářů (Obr. X a X) pak uvádí jednotlivé kategorie sucha/vlhka podle velikosti vypočtené odchylky. Je však třeba upozornit, že tento výpočet zohledňuje pouze srážky a nezahrnuje teplotu vzduchu. Tento problém řeší např. index SPEI, jehož výsledek se může výrazně pormítnout do konečného grafu. Proto je nutné brát výsledky s rezervou, spíše jako ilustraci možného průběhu srážek a jejich (ne)dostatku v tomto století.

Průběh indexu u obou scénářů kopíruje již výše zmíněná zjištění, ale i přesto umožňuje vytvořit ucelenější obraz o extrémním suchu či vlhku napříč povodími. Dle simulovaných hodnot úhrnu srážek využívajících scénář SSP2-4.5 lze odhadovat extrémně suchá období v průběhu 20. let a kolem let 2065, 2082, 2091 nebo 2094. Výjimečně až extrémně suché podmínky se vyskytují méně často v povodí Odry, naopak významnější epizodu okolo roku 2058 vykazují povodí Bíliny a Ohře. Extrémně a výjimečně vlhké podmínky napříč povodími byly simulovány koncem 40. let a zejm. v druhé polovině 70. let, v povodí Moravy pak především začátkem 70. let. Pesimističtější scénář SSP5-8.5 má naopak méně variabilní průběh, kdy se epizody sucha a vlhka tolik nestřídají. Graf by se v tomto případě dal rozdělit na dvě části. První období 2035–2050 zahrnuje čtyři výrazné epizody sucha, zatímco druhé období 2075–2095 obsahuje šest výrazných epizod vlhka. I zde lze najít zjevné rozdíly mezi povodími. Např. epizoda sucha kolem roku 2040 se neprojevuje v povodích Ostravice, Opavy a Moravy, zatímco epizoda vlhka v roce 2055 v povodí Odry a v roce 2086 v povodí Labe.

INDEX SPI12  
 měsíční vývoj v povodích  
 3. řádu mezi lety 2020 a 2100  
 dle scénáře SSP2-4.5

SPI

- extrémní vlhko > 2.5
- výjimečné vlhko 1.5 – 2.0
- mírné vlhko 1.0 – 1.5
- normální podmínky -1.0 – 1.0
- mírné sucho -1.5 – -1.0
- výjimečné sucho -2.0 – -1.5
- extrémní sucho < -2

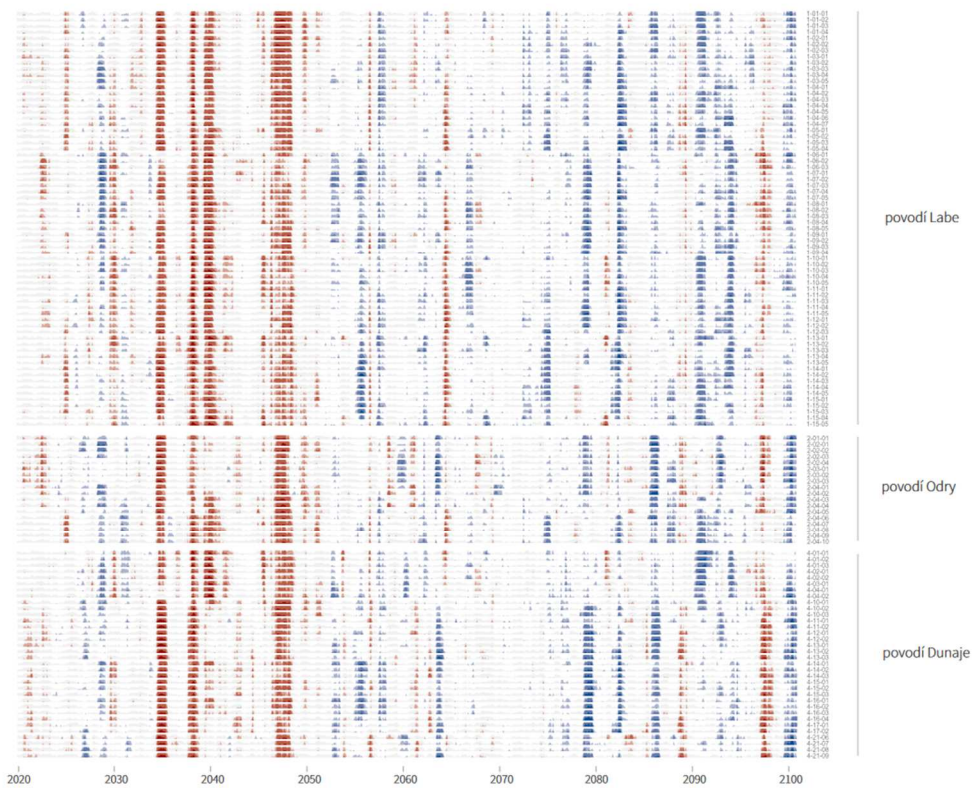


Obr. X: Měsíční vývoj indexu SPI12 v povodích 3. řádu mezi lety 2020 a 2100 dle scénáře SSP2-4.5

INDEX SPI12  
 měsíční vývoj v povodích  
 3. řádu mezi lety 2020 a 2100  
 dle scénáře SSP5-8.5

SPI

- extrémní vlhko > 2.5
- výjimečné vlhko 1.5 – 2.0
- mírné vlhko 1.0 – 1.5
- normální podmínky -1.0 – 1.0
- mírné sucho -1.5 – -1.0
- výjimečné sucho -2.0 – -1.5
- extrémní sucho < -2



Obr. X: Měsíční vývoj indexu SPI12 v povodích 3. řádu mezi lety 2020 a 2100 dle scénáře SSP5-8.5

## 9 Literatura

- BÁRTA, B., BORÁKOVÁ, J. (2019): Ovlivnění průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích ČHMÚ aneb Co (ne)teče ve vodních tocích? In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds.) Hospodaření s vodou v krajině. Třeboň 13.–14. 6. 2019. Praha: ČHMÚ. 18 s. ISBN 978-80-87577-88-2
- BAYLEY, G. V., HAMMERSLEY, J. M. (1946): The „effective“ number of independent observations in an autocorrelated time series. Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society, 2, 8, 184–197.
- BRANDT, M. J., JOHNSON, K. M., ELPHINSTON, A. J., RATNAYAKA, D. D. (2017): Hydrology and Surface Supplies. In: Twort’s Water Supply (7th ed.). Amsterdam: Elsevier, 65–116. ISBN 978-0-08-100025-0
- FIALA, T., OUARDA, T. B. M. J., HLADNÝ, J. (2010): Evolution of low flows in the Czech Republic. Journal of Hydrology, 3–4, 393, 206–218.
- KENDALL, M. G. (1938): A new measure of rank correlation. Biometrika, 1, 30, 81–93.
- KENDALL, M. G., GIBBONS, J. D. (1990): Rank Correlation Methods. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-520837-5
- LEDVINKA, O. (2015a): Evolution of low flows in Czechia revisited. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 369, 87–95.
- LEDVINKA, O. (2015b): Nonstationarities in technical precipitation series in Czechia. Acta Hydrologica Slovaca, TC 1, 16, 199–207.
- LEDVINKA, O. (2023): Reconstructing the database of anthropogenic influences on discharge in Czechia. In: TEJKA, A., BÁČOVÁ, M., KAVKA, P. (eds.) Sborník Hydrologie, GIS a životní prostředí 2023. Praha: ČVUT. s. 10. ISBN 978-80-01-07207-3
- LEDVINKA, O., VACKOVA, K., STOVICEK, V. (2023): Predictability of monthly precipitation and air temperature in Czechia based on selected large-scale climate pattern indices. In: IUGG Berlin 2023. Berlin: C-IN. Dostupné z WWW: [https://c-in.floq.live/event/iugg2023berlin/daily\\_program\\_iahs?objectClass=timeslot&objectId=649483f664c73802ac745a4c&type=detail](https://c-in.floq.live/event/iugg2023berlin/daily_program_iahs?objectClass=timeslot&objectId=649483f664c73802ac745a4c&type=detail)
- LETTENMAIER, D. P. (1976): Detection of trends in water quality data from records with dependent observations. Water Resources Research, 5, 12, 1037–1046.
- LIEBLOVÁ, D., MATĚJA, Z. (2016): Klimatické změny a hrozba nedostatku vody v České republice. In: STEJSKAL, J., KŘUPKA, J. (eds.) Sborník příspěvků z 11. mezinárodní konference "Veřejná správa 2016". Pardubice: Univerzita Pardubice. 71–78. ISSN 978-80-7560-041-7
- MANN, H. B. (1945): Nonparametric tests against trend. Econometrica, 3, 13, 245–259.
- MATALAS, N. C., LANGBEIN, W. B. (1962): Information content of the mean. Journal of Geophysical Research, 9, 67, 3441–3448.
- MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. (1993): The relationship of drought frequency and duration of time scales. In: Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim CA: American Meteorological Society, 179-186.

PATAKAMURI, S. K., O'BRIEN, N. (2021): modifiedmk: Modified Versions of Mann Kendall and Spearman's Rho Trend Tests. R package version 1.6. Dostupné z WWW: <https://CRAN.R-project.org/package=modifiedmk>

POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R. E., STROMBERG, J. C. (1997): The Natural Flow Regime. *BioScience*, 11, 47, 769–784.

SEN, P. K. (1968): Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 324, 63, 1379–1389.

TERRIER, M., PERRIN, C., DE LAVENNE, A., ANDRÉASSIAN, V., LERAT, J., VAZE, J. (2021): Streamflow naturalization methods: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 1, 66, 12–36.

WURBS, R. A. (2006): Methods for Developing Naturalized Monthly Flows at Gaged and Ungaged Sites. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1, 11, 55–64.

YUE, S., WANG, C. (2004): The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 3, 18, 201–218.