

Historické změny užívání vody v českých povodích 3. řádu a naznačení možného vývoje dle nových regionálních klimatických modelů ČHMÚ

ONDŘEJ LEDVINKA, VÍT ŠŤOVÍČEK, KATEŘINA VACKOVÁ, PAVEL COUFAL

Klíčová slova: odběr vody – vypouštění vody – akumulace vody – odovlivněný průtok – přirozený průtok – klimatické scénáře – SPI index – Česká republika

ABSTRAKT

Príspevok predstavuje výsledky Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) získané při řešení dílčích cílů (DC) s názvy „Vývoj scénářů potřeb vody s ohledem na socioekonomický vývoj a vývoj klimatu“ (DC 1.1) a „Identifikace území s deficitními vodními zdroji“ (DC 1.2), jež jsou součástí projektu TA ČR č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“ a tvoří dílčí částí pracovního balíčku WP 1 zabývajícího se budoucností vody. Cílem ČHMÚ bylo vypočítat a zanalyzovat, jakým způsobem je ovlivněn průtok nad vodoměrnými stanicemi v Česku, a zjistit, jak se bude toto ovlivnění měnit v návaznosti na klimatickou změnu. Analyzována byla především měsíční data o celkovém ovlivnění průtoků ve vodoměrných stanicích za referenční období 1991–2020. 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. Dále pak proběhl pokus o identifikaci území s deficitními vodními zdroji na základě klimatických scénářů SSP2-4.5 a SSP5-8.5 s využitím regionálních klimatických modelů vyvíjených v ČHMÚ. Analýza vlivu odběrů vod a klimatických změn na vodní zdroje v Česku ukazuje značnou regionální variabilitu. V některých oblastech, jako jsou jižní Morava, severozápadní Čechy a povodí Bíliny, byly zaznamenány výrazné změny v odběrech povrchových a podzemních vod, což může ovlivnit dostupnost vody. Klimatické scénáře naznačují rostoucí teploty vzduchu, přičemž pesimističtější scénář SSP5-8.5 předpovídá nárůst teploty do konce století až o 5 °C. Co se týče srážek, obecně platí, že scénáře předpovídají variabilnější vývoj. Scénář SSP2-4.5 ukazuje na mírný nárůst srážek, zatímco scénář SSP5-8.5 předpovídá výraznější změny s vyššími úhrny srážek v západní a jižní části Česka. Výpočet SPI indexu potvrzuje výskyt extrémně suchých a vlhkých období, přičemž rozdíly mezi jednotlivými povodími naznačují potřebu přizpůsobit vodohospodářská opatření regionálním podmínkám. Je nezbytné více se zabývat adaptací na změny vodního režimu, na zlepšení politiky ochrany vodních zdrojů a prevenci dopadů extrémních klimatických jevů.

ÚVOD

Voda je nezbytná pro existenci všech živých organismů a určuje fungování lidské společnosti. V důsledku klimatické změny dochází stále častěji k extrémním výkyvům počasí, jež 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 i jiné strategické suroviny [1].

Vodnost většiny vodních toků v Česku je ovlivněna antropogenní činností, přičemž od padesátých let 20. století dochází všeobecně ve světě k extrémnímu nárůstu tlaku na vodní zdroje [2]. Hodnoty naměřené ve vodoměrných stanicích více či méně odrážejí lidské aktivity, které zahrnují odběry povrchových a podzemních vod pro potřeby zemědělství, zejména závlah, a pro zásobování

obyvatelstva a průmyslu. Na druhé straně jde o vypouštění odpadních vod do povrchových (a vzácně i do podzemních) vod, nebo záměrné zvýšení či snížení vodnosti toku manipulacemi na vodních nádržích [3].

Voda je často brána 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 do Svratky [4]. To znamená, že naměřené hodnoty v obou povodích jsou silně ovlivněny antropogenní činností, a proto nelze přirozené průtoky měřit přímo, ale musejí se počítávat [2].

Jelikož je vodní tok hlavní proměnnou, která spojuje složky ekosystému pomocí hydrologických, biologických i geomorfologických procesů a procesů kvality vody, odhad přirozeného průtoku (u nás tzv. odovlivněný průtok; obecně dále značený jako QNE) se obvykle používá jako referenční veličina pro odhad hydrologické odezvy na klimatický režim, pro hodnocení ekologického stavu řeky a pro odhad množství potenciálně dostupné vody [5].

Tato práce se zaměřuje na analýzu vlivu odběrů, vypouštění a akumulace vody na průtoky ve vodoměrných stanicích na území Česka za referenční období 1991–2020. Součástí práce je také zhodnocení regionálních rozdílů v hydrologickém režimu českých povodí a identifikace oblastí, kde dochází k výrazným změnám v dostupnosti vody. Dále se věnuje posouzení oblastí s potenciálním deficitem vodních zdrojů, a to na základě klimatických scénářů SSP2-4.5 a SSP5-8.5. Výsledky této analýzy přispějí k efektivnímu řízení vodních zdrojů a hlubšímu porozumění změn vodního režimu.

METODIKA A POUŽITÁ DATA

Analýza ovlivnění průtoků užíváním vod (DC 1.1)

Vedle činností ostatních členů konsorcia prezentovaných již v [6] byla v DC 1.1 hlavním úkolem ČHMÚ analýza ovlivnění průtoků na území Česka užíváním vod. Základem byla měsíční data o celkovém ovlivnění průtoků ve vodoměrných stanicích, vyjádřeném v procentech jako poměr změn průtoku ku QNE. Pracovně byla tato proměnná (a její časová řada) označena zkratkou OVLTOT. Formálně lze její výpočet vyjádřit jako

$$OVLTOT = \frac{DELTA - SUMA}{QNE} \cdot 100 [\%],$$

kde:

DELTA představuje celkové ovlivnění manipulacemi na nádržích v povodí nad danou stanicí (resp. rozdíl mezi objemy na začátcích měsíců)

SUMA součet ovlivnění odběry a vypouštěním

Každá proměnná související s ovlivněním byla napřed přepočtena na $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a opatřena adekvátním znaménkem. Záporné hodnoty OVLTOT pak značily převahu odběrů (včetně zadržování vody v nádržích), zatímco kladné hodnoty byly spjaty s převažujícím vypouštěním (včetně upouštění vody z nádrží). Tato data jsou pravidelně jednou ročně ukládána do databáze ČHMÚ spolu s dalšími dostupnými daty o ovlivnění platnými pro vodoměrné stanice (v souladu se zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů; s vyhláškou MZe č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci, a do jisté míry také s vyhláškou MZe č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy). Zvláštní pozornost je při výpočtu QNE věnována rozlišení mezi odběry pouze z povrchových vod (které odráží charakteristika SUMAY, při níž vznikají hodnoty průtoků v databázi značené jako QNEY) a celkovými odběry (tzn. odběry z povrchových včetně podzemních vod; jež odráží charakteristika SUMAX, při níž vznikají hodnoty průtoků v databázi značené jako QNEY). Pro zachování homogenity časových řad

vstupují do výpočtu charakteristiky SUMA jen územně příslušné objekty s povolením odebíraného nebo vypouštěného množství nad 6 000 m³ za rok, resp. 500 m³ za měsíc. Charakteristika DELTA zohledňuje pouze nádrže s povoleným objemem povrchové vody akumulované či vzduťe větším než 1 000 000 m³. Pro aktuální analýzy bylo vybráno referenční období 1991–2020, přičemž kritérium úplnosti časových řad splňovalo celkem 346 vodoměrných stanic.

Zároveň byl v ČHMÚ vyvíjen R skript pro vlastní výpočet řad QNE. Funkcionalita skriptu závisí na správném umístění ovlivňujícího objektu prostřednictvím souřadnic, a proto bylo nutné provést kontrolu souřadnic vstupních dat ovlivnění. Speciálně se dbalo na vhodnou lokalizaci začátků a konců přivaděčů v systému rozvodnic tak, aby místo odběru (resp. vypouštění) logicky zapadalo do povodí se ztrátou (resp. nabýváním) vody. S koncem prací na WP 1 (červen 2024) již byla pro umístění objektů uvažována nejpodrobnější vrstva rozvodnic zveřejněná k 1. červenci 2024 na webových stránkách ČHMÚ s otevřenými prostorovými daty [7, 8]. Tato vrstva byla zkonstruována nad Digitálním modelem reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G; [9]). Vycházející hodnoty QNE byly porovnávány s hodnotami získanými ve VÚV TGM, který doposud prováděl jejich každoroční výpočet a předával je ČHMÚ.

Z důvodů vývoje R skriptu a výpočtu katastru *M*-denních vod za referenční období 1991–2020 byla vstupní data ovlivnění průtoků porovnávána mezi třemi hlavními zdroji, jimiž byly Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (systém ISPOP), soubory (exporty) od státních podniků 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, nicméně aktualizace (i ve smyslu oprav chyb) těchto zdrojů probíhá poněkud decentralizovaně, v čemž lze spatřovat velkou nejistotu. Proto byla provedena obecná kontrola polohy objektů, jejich duplicit a hodnot odběrů a vypouštění [10].

Data z Vodohospodářského informačního portálu VODA byla brána spíše jako doplňková, protože v době zpracování (tj. k ukončení prací na WP 1) sahala jen do roku 2020 oproti stavu na portále od srpna 2024 s daty sahajícími až k roku 2014. Na základě mezery v časové řadě, příp. změny v názvu objektu a v dalších atributech, byly vybrány objekty, jež se potenciálně dají spojit či rozdělit. Prováděla se také analýza vodních ploch, kde může zároveň docházet k reportování odběrů jak z vodní plochy, tak z vodního toku. Proto byly lokalizovány objekty, jež se nacházejí v těsné blízkosti vodních nádrží. Všechny tyto informace o vytipovaných objektech byly následně zaslány pobočkám ČHMÚ k manuálním kontrolám prostřednictvím databáze PostgreSQL s podporou GIS nástrojů (tj. PostGIS).

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 její podíl k ploše povodí 3. řádu, v němž 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. Celkové procento ovlivnění v jednotlivých povodích tudíž 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 graduální změny 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 [11–13] a jeho modifikace navržená v článku [14] tak, aby docházelo v případě významného autoregresního koeficientu při předpokládaném autoregresním modelu prvního řádu ke korekci rozptylu testové statistiky [15–17]. 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 [18]. Tyto analýzy proběhly jak pro měsíční časové řady, tak pro roční časové řady.

Výsledky byly zpracovány pomocí R balíčku *modifiedmk* [19]. Případy, kdy p -hodnota klesla pod zvolenou hladinu významnosti, byly zakreslovány do map pomocí šipek lokalizovaných do míst, kde se nachází vodoměrná stanice. Šipka odchylující 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 jako to bylo prováděno i v jiných pracích zabývajících se trendy v komponentách hydrologického cyklu na území Česka [20–22]. Z těchto analýz byly následně vytvořeny mapové výstupy.

Identifikace území s deficitními vodními zdroji (DC 1.2)

Hlavním podkladem pro zpracování zde byly dva datasey s denním krokem, a to především pro průměrnou denní teplotu vzduchu a denní úhrn srážek:

- 1) gridy vzniklé prostorovou interpolací staničních časových řad reprezentující historické období 1961–2022, v ČHMÚ známé také pod označením GriSt_DenseNet (horizontální rozlišení 500 m, avšak doména omezena pouze na území Česka [23–26]),
- 2) CSV soubory představující výsledky bias korekce dvou vybraných scénářů regionálního klimatologického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro období 2015–2100 (horizontální rozlišení 2325 m [27–31]).

Za využití gridů průměrné denní teploty a denních úhrnů srážek produktu 1) byl proveden výpočet denních časových řad gridů potenciální evapotranspirace (PET; dle [32]) a klimatické vodní bilance (zde jako rozdíl mezi srážkami a PET). Podkladové CSV soubory pocházející z produktu 2) byly převedeny do formátů GeoTIFF a NetCDF. Pro analýzu byly použity pouze dva scénáře, neboť jiné k dispozici ještě nebyly: střední klimatický scénář SSP2-4.5 a pesimističtější scénář SSP5-8.5. ČHMÚ následně využil rastry těchto scénářů pro zjišťování situace v povodích 3. řádu. Pro různé jiné potřeby byly časové řady gridů taktéž agregovány do hrubších kroků, např. do měsíčního, aby byly řady a výsledky z nich pocházející porovnatelné s měsíčním krokem průtokových charakteristik.

Byla zkoumána změna průměrné měsíční teploty vzduchu a průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu za období 1991–2020 podle obou scénářů. Dále byl počítán index SPI (Standardized Precipitation Index), jenž slouží k odhadu vlhkých a suchých podmínek na základě úhrnu srážek. Tento index vychází ze směrodatné odchylky, o kterou se pozorované srážky liší od dlouhodobého průměru. Před výpočtem je však nutné časovou řadu srážek vhodně transformovat podle vybraného rozdělení pravděpodobnosti [33]. V tomto případě byl zvolen index SPI12, vypočítaný pro 12měsíční časové okno s gama distribucí. Volba tohoto okna se ukázala jako vhodná mj. z důvodu, že byl odstraněn vliv sezonnosti, jak prokázaly i statistické testy v R balíčku *seastests* [34].

Na druhou stranu je však třeba zdůraznit, že SPI zohledňuje pouze srážky a nezohledňuje teplotu vzduchu. Tento problém řeší např. index SPEI (Standardized Precipitation Evaporation Index; viz např. [35]), jenž kombinuje jak srážky, tak teplotu vzduchu, a jeho hodnota může mít významný vliv na konečné výsledky analýzy. Proto je nutné interpretovat získané údaje s určitou rezervou – spíše jako ilustraci možného vývoje srážek a jejich (ne)dostatku v tomto století.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Analýza ovlivnění průtoků užíváním vod (DC 1.1)

Jak ukazuje *obr. 1*, nejvyšších hodnot celkového ovlivnění povrchových vod dosahovala povodí na jižní Moravě a povodí Osoblahy, Labe od Orlice po Loučnou a zejména 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 Svratky 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 naměřeny naopak 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)
Fig. 1. Ratio of total discharge influence for third-order catchments (reference period 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 sledovaných skupin zjištěn u zhruba 230 z celkových 346 vodoměrných stanic (okolo 65 % všech stanic).

V případě odběrů povrchových vod včetně podzemních byl pozorován mírně klesající a mírně rostoucí trend u zhruba 8 % ze všech sledovaných stanic. Stejný poměr byl naměřen 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 (zejména 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 vytvářejí shluky v oblasti 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)
Fig. 2. Trend analysis for water withdrawals and disposals (reference period 1991–2020)

V případě odběrů pouze povrchových vod bylo naopak zjištěno pouze minimum stanic s rostoucím trendem. Klesající trendy byly zaznamenány u necelých 30 % sledovaných stanic, které jsou poměrně rovnoměrně rozloženy po celém území Česka. Převahu významně klesajících trendů lze opět pozorovat v oblasti severních Čech, zejména 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.

Identifikace území s deficitními vodními zdroji (DC 1.2)

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 1991–2020 oscilují změny průměrné měsíční teploty mezi 0 °C a +2 °C u obou scénářů přibližně do roku 2055 (*obr. 3*). Od tohoto roku lze pozorovat výraznější nárůst změny teplot vzduchu u obou scénářů, zejména u pesimističtějšího scénáře SSP5-8.5. To potvrzují i vypočtené průměrné teploty pro jednotlivé dekády 21. století. Zatímco se změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti

normálu pohybuje v prvních čtyřech dekádách (mezi lety 2020–2060) v celorepublikovém měřítku okolo +1 °C, v dekádě 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 dekádě 2080–2090.

Obr. 3. Změna průměrné měsíční teploty vzduchu oproti normálu 1991–2020 dle klimatických scénářů; tučnou čarou znázorněna LOESS regrese [36] s 95% intervalem spolehlivosti

Fig. 3. Change in average monthly air temperature compared to the 1991–2020 normal based on climate scenarios; LOESS regression [36] with a 95% confidence interval shown in bold

U srážek jsou predikce více variabilní, přičemž průběh podle různých scénářů se výrazně liší (obr. 4). Z celorepublikového hlediska se podle scénáře SSP2-4.5 měsíční úhrn srážek dlouhodobě pohybuje okolo průměru referenčního období 1991–2020 (59,9 mm/měsíc). Přibližně od roku 2040 dochází k pozitivní změně úhrnu srážek, jež 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 1991–2020. V měsíčních průměrech se očekává nárůst až o 15 % a tento trend pokračuje konstantně do konce století.

Naopak scénář SSP5-8.5 naznačuje výraznější změny, podobně jako tomu bylo u vývoje teplot vzduchu. Kolem roku 2055 dochází k pozitivní změně měsíčního úhrnu srážek oproti normálu z let 1991–2020. Podle tohoto scénáře se měsíční průměrné úhrny zvýší až o 15 %, přičemž tento růstový trend pokračuje konstantně až do konce století.

Obr. 4. Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1991–2020 dle klimatických scénářů; tučnou čarou je znázorněna LOESS regrese [36] s 95% intervalem spolehlivosti

Fig. 4. Change in average monthly precipitation totals compared to the 1991–2020 normal based on climate scenarios; LOESS regression [36] with a 95% confidence interval shown in bold

Ačkoli 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. 5 a 6) lze na první pohled rozpoznat opakující se vzor napříč jednotlivými dekádami. Tím je přechod vyšších srážkových úhrnů na západě Česka přes srážkově chudší oblast, která se táhne od severu k jihu, zpět k srážkově bohatšímu východu naší republiky. Tento přechod je zjevný zejména u scénáře SSP2-4.5. Zatímco na západě republiky převládá kladná změna měsíčního úhrnu srážek oproti normálu napříč všemi dekádami, 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-j jižní pás Česka v prvních třech dekádách zesilující negativní změnu průměrných měsíčních srážek oproti normálu 1991–2020, přičemž na východě a západě jde 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 dekádách 2070–2080 (+16,3 %) a 2090–2100 (+17,4 %).

Obr. 5. Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1991–2020 dle scénáře SSP2-4.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

Fig. 5. Change in average monthly precipitation totals compared to the 1991–2020 normal according to the SSP2-4.5 scenario in individual decades for third-order catchments

Obr. 6. Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek oproti normálu 1991–2020 dle scénáře SSP5-8.5 v jednotlivých desetiletích v povodích 3. řádu

Fig. 6. Change in average monthly precipitation totals compared to the 1991–2020 normal according to the SSP5-8.5 scenario in individual decades for third-order catchments

Pro upřesnění mapových výstupů jak teplot vzduchu, tak i srážek je třeba dodat, že hodnoty v některých pohraničních povodích se někdy mohou výrazněji lišit oproti hodnotám v sousedním povodí. 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. Nejde tedy o chybu výpočtu, nýbrž o výsledek nezbytné extrakce rastru.

Poslední provedenou analýzou byl výpočet indexu SPI, který je využíván k odhadu vlhkých/suchých podmínek na základě úhrnu srážek. Konkrétně jde 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 funkci) za využití distribuční funkce rozdělení, u kterého se předpokládá dobré vystižení empirických hodnot [33]. V tomto případě byl zvolen index vypočítaný pro 12měsíční časové okno SPI12 (s potenciálním odstraněním vlivu sezonnosti) s rozdělením gama.

Dle simulovaných hodnot úhrnu srážek využívajících scénář SSP2-4.5 lze odhadovat extrémně suchá období v průběhu dvacátých 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 čtyřicátých let a zejména v druhé polovině sedmdesátých let, v povodí Moravy pak především začátkem sedmdesátých let. Dle pesimističtějšího scénáře SSP5-8.5 se epizody sucha a vlhka tolik nestřídají. Simulována byla dvě výraznější období. 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.

ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

V příspěvku byly prezentovány základní výsledky, k nimž ČHMÚ dospěl v rámci pracovního balíčku WP 1 „*Centra Voda*“. Kromě toho byly stručně nastíněny i nedostatky a nejistoty, kterými byly a jsou analýzy doprovázeny. Jako velmi palčivou lze chápat např. situaci okolo dat týkajících se ovlivnění průtoku v českých řekách. Existuje několik zdrojů těchto dat, jež nejsou korektně aktualizována, pokud jde např. o nalezené chyby. Tato data jsou navíc využívána v různých dalších projektech, což má za následek vznik nových webových (mapových) aplikací nabízejících jejich prezentaci, a to pak zhoršuje orientaci zpracovatelů takových dat [10]. Vzhledem k tomu, že od roku 2025 (tedy nejprve s daty za rok 2024) přechází výpočet odovlivněných průměrných měsíčních průtoků pod hlavičku ČHMÚ, bude zapotřebí kvalitu dat ovlivnění pečlivě konzultovat s pracovníky státních podniků Povodí. V opačném případě může být vyvinutý R skript pro výpočet odovlivnění sebelepší, a přesto nebude dávat uspokojivé výsledky. I z toho důvodu je plánována další údržba a verzování skriptu přes vývojářskou platformu GitHub (např. <https://github.com/ledvinkao>). Možné jsou i jeho různé varianty v závislosti na zdroji dat.

Analýza ovlivnění průtoků a vodních zdrojů v Česku, a to jak v oblasti odběrů povrchových a podzemních vod, tak i ve vztahu k predikcím klimatických změn, ukazuje na složitý a regionálně diferencovaný charakter těchto změn. Výsledky analýzy ukazují na signifikantní variabilitu mezi

jednotlivými povodími, což podtrhuje potřebu individuálního přístupu k hodnocení a řízení vodních zdrojů v různých částech země. V oblastech, jako jsou jižní Morava, severozápadní Čechy a povodí Bíliny, se projevují výrazné změny v odběrech podzemních a povrchových vod, což může mít dlouhodobé důsledky pro dostupnost vody v těchto regionech. Naopak v některých oblastech jižních a východních Čech byly pozorovány nižší hodnoty ovlivnění – může to naznačovat větší stabilitu vodního režimu v těchto regionech.

Předpovědi klimatických scénářů ukazují na rostoucí teploty vzduchu v průběhu 21. století, pesimističtější scénář SSP5-8.5 naznačuje dokonce výrazné zvýšení teploty až o 5 °C na konci století. Změny teploty vzduchu budou mít přímý vliv na vodní bilanci v Česku, přičemž regiony s vyššími teplotami budou čelit zvýšenému výparu a změnám v dostupnosti vodních zdrojů. Co se týče srážek, scénář SSP2-4.5 ukazuje spíše mírný nárůst úhrnu srážek s regionálními rozdíly, zatímco scénář SSP5-8.5 naznačuje výrazně vyšší nárůst srážek zejména v západní a jižní části Česka.

Výpočet SPI indexu potvrzuje výskyt extrémních suchých a vlhkých období v průběhu 21. století a je zřejmé, že mezi jednotlivými povodími se vyskytují rozdíly. Scénář SSP2-4.5 predikuje období extrémního sucha kolem roku 2065 a v devadesátých letech, zatímco extrémní vlhko se projeví na konci čtyřicátých let a v sedmdesátých letech. U scénáře SSP5-8.5 jsou tyto výkyvy méně časté, ale přesto se očekávají častější období sucha a vlhka ve specifických dekádách, přičemž některé oblasti, např. povodí Odry, budou čelit častějším vlhkým epizodám.

Celkově výsledky ukazují na potřebu adaptace vodního hospodářství na změny, které přinese vývoj klimatu. Je nezbytné zaměřit se na regionální specifika, protože klimatické změny nepostihnou Česko rovnoměrně. Bude nutné přizpůsobit správu vodních zdrojů s ohledem na předpokládaný vývoj v povodích, jež vykazuje různé trendy v odběrech i vypouštění vod. To zahrnuje nejen zlepšení vodohospodářské politiky a strategii pro ochranu vodních zdrojů, ale i přehodnocení infrastrukturních projektů a opatření pro zmírnění dopadů extrémních klimatických podmínek, jako jsou sucha a povodně. Významnou roli zde budou hrát i preventivní opatření zaměřená na zadržování vody v krajině.

S ohledem na existenci klimatologických dat ve formě gridu, jejichž počet se bude jistě zvyšovat, má Česko vykročeno dobrým směrem. Českým vodohospodářům mohou být nápomocny další informace odvozené na bázi gridů, jako jsou např. indexy předchozích srážek nebo sezonní hydrologické predikce, jejichž vývoj de facto s těmito gridy již započal [37, 38].

Poděkování

Článek byl zpracován v rámci projektu č. SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ řešeného s finanční podporou Technologické agentury ČR v rámci podprogramu 3 – Dlouhodobé environmentální a klimatické perspektivy programu SS – Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život. Autoři děkují oběma recenzentům za podnětné připomínky, které významně přispěly ke zlepšení kvality rukopisu.

Literatura

- [1] LIEBLOVÁ, D., MATĚJA, Z. Klimatické změny a hrozba nedostatku vody v České republice. In: STEJSKAL, J., KŘUPKA, J. (eds.). *Sborník příspěvků z 11. mezinárodní konference „Veřejná správa 2016“* [on-line]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016, s. 71–78. Dostupné z: <https://fes.upce.cz/fes/veda-vyzkum/konference/verejna-sprava/archiv.html>

- [2] TERRIER, M., PERRIN, Ch., DE LAVENNE, A., ANDRÉASSIAN, V., LERAT, J., VAZE, J. Streamflow Naturalization Methods: A Review. *Hydrological Sciences Journal* [on-line]. 2021, 66(1), s. 12–36. ISSN 0262-6667, 2150-3435. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1839080>
- [3] BRANDT, M. J., JOHNSON, K. M., ELPHINSTON, A. J., RATNAYAKA, D. D. *Twort's Water Supply*. 7. vyd. Amsterdam: Elsevier, 2017. ISBN 978-0-08-100025-0.
- [4] BÁRTA, B., BORÁKOVÁ, J. 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* [on-line]. Praha: ČHMÚ, 2019. 18 s. ISBN 978-80-87577-88-2. Dostupné z: <http://cbks.cz/SbornikTrebou2019/Barta.pdf>
- [5] POFF, N. L., ALLAN, J. D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R. E., STROMBERG, J. C. The natural flow regime. *BioScience* [on-line]. 1997, 47(11), s. 769–784. ISSN 0006-3568, 1525-3244. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/1313099>
- [6] DLABAL, J., VYSKOČ, P., BIDZAR, J., POTOPOVÁ, V., SCHWARZOVÁ, P., TRNKA, M., DOSTÁL, T., DOČKAL, M., SEMERÁDOVÁ, D., ARBELAEZ GAVIRIA, J., ŠTĚPÁNEK, P., JAČKOVÁ, A., MUSIOLKOVÁ, M., KULT, A. Scénáře budoucí potřeby vody do roku 2050: sektorové analýzy a prognózy. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* [on-line]. 2024, 66(6), s. 26–44. ISSN 0322-891. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/vtei.2024.09.001>
- [7] ČÚZK. *Geoportál. ZABAGED® - Výškopis - DMR 5G. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace v S-JTSK, Bpv* [on-line]. 12. říjen 2023 [citováno 2025-01-12]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(kalbervdqcs2a3b5eics2jvn\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302](https://geoportal.cuzk.cz/(S(kalbervdqcs2a3b5eics2jvn))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=vyskopis&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=302)
- [8] TYL, R., ŠERCL, P. Nové rozvodnice povodí 1. až 4. řádu [on-line]. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2024, 66(4), 38–43. ISSN 0322-891. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/wp-content/uploads/2024/07/6669-VTEI-4-Tyl.pdf>
- [9] ČHMÚ. *Open data ČHMÚ. Otevřená prostorová data ČHMÚ* [on-line]. 2024 [citováno 2025-01-12]. Dostupné z: <https://open-data-chmi.hub.arcgis.com/>
- [10] LEDVINKA, O. Reconstructing the Database of Anthropogenic Influences on Discharge in Czechia. In: TEJKL, A., BÁČOVÁ, M., KAVKA, P. (eds.). *Hydrologie, GIS a životní prostředí 2023. Bechmerův statek, Lány & Amálie. 14.6.-15.6. 2023. Sborník Hydrologie, GIS a životní prostředí 2023* [on-line]. Praha: ČVUT v Praze, 2023, s. 10. ISBN 978-80-01-07207-3. Dostupné z: <https://storm.fsv.cvut.cz/cinnost-katedry/konference/gis-a-zp/?lang=cz>
- [11] KENDALL, M. G. A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika* [on-line]. 1938, 30(1), s. 81–93. ISSN 0006-3444. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/2332226>
- [12] KENDALL, M. G., GIBBONS, J. D. *Rank Correlation Methods*. 5. vyd. New York: Oxford University Press, 1990. ISBN 978-0-19-520837-5.
- [13] MANN, H. B. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica* [on-line]. 1945, 13(3), s. 245–259. ISSN 0012-9682. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/1907187>
- [14] YUE, S., WANG, Ch. Y. The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series. *Water Resources Management* [on-line]. 2004, 18(3), s. 201–218. ISSN 0920-4741. Dostupné z: <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>

- [15] BAYLEY, G. V., HAMMERSLEY, J. M. The „Effective“ Number of Independent Observations in an Autocorrelated Time Series. *Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society* [on-line]. 1946, 8(2), s. 184–197. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/2983560>
- [16] LETTENMAIER, D. P. Detection of Trends in Water Quality Data from Records with Dependent Observations. *Water Resources Research* [on-line]. 1976, 12(5), s. 1 037–1 046. ISSN 0043-1397. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/WR012i005p01037>
- [17] MATALAS, N. C., LANGBEIN, W. B. Information Content of the Mean. *Journal of Geophysical Research* [on-line]. 1962, 67(9), s. 3 441–3 448. ISSN 0148-0227. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/JZ067i009p03441>
- [18] SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall’s Tau. *Journal of the American Statistical Association* [on-line]. 1968, 63(324), s. 1 379–1 389. ISSN 0162-1459. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/2285891>
- [19] PATAKAMURI, S. K., O’BRIEN, N. *modifiedmk: Modified Versions of Mann Kendall and Spearman’s Rho Trend Tests* [on-line]. R package version 1. 6. 2021. Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=modifiedmk>
- [20] FIALA, T., OUARDA, T. B. M. J., HLADNÝ, J. Evolution of Low Flows in the Czech Republic. *Journal of Hydrology* [on-line]. 2010, 393(3–4), s. 206–218. ISSN 0022-1694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.018>
- [21] LEDVINKA, O. Evolution of Low Flows in Czechia Revisited. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences* [on-line]. 2015, 369, s. 87–95. ISSN 2199-899X. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/piahs-369-87-2015>
- [22] LEDVINKA, O. Nonstationarities in Technical Precipitation Series in Czechia. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2015, 16(TC 1), s. 199–207. ISSN 2644-4690.
- [23] LAMACOVA, A., LEDVINKA, O., BOHDALKOVA, L., OULEHLE, F., KREISINGER, J., VLNAS, R. Response of Spring Yield Dynamics to Climate Change across Altitude Gradient and Varied Hydrogeological Conditions. *Science of The Total Environment* [on-line]. 2024, 921, 171082. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171082>
- [24] LEDVINKA, O., LAMAČOVÁ, A. Změny ve vydatnosti pramenů na území Česka v letech 1971–2020. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (eds.). *První konference PERUN* [on-line]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023, s. 175–178. ISBN 978-80-7653-063-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.22>
- [25] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A. Experiences with Data Quality Control and Homogenization of Daily Records of Various Meteorological Elements in the Czech Republic in the Period 1961–2010. *Idojaras*. 2013, 117(1), s. 123–141. ISSN 0324-6329.
- [26] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., HUTH, R. Interpolation Techniques Used for Data Quality Control and Calculation of Technical Series: An Example of a Central European Daily Time Series. *Idojaras*. 2011, 115(1–2), s. 87–98. ISSN 0324-6329.
- [27] CANNON, A. J. Multivariate Quantile Mapping Bias Correction: An N-Dimensional Probability Density Function Transform for Climate Model Simulations of Multiple Variables. *Climate Dynamics* [on-line]. 2018, 50(1–2), s. 31–49. ISSN 0930-7575, 1432-0894. Dostupné z: [doi:10.1007/s00382-017-3580-6](https://doi.org/10.1007/s00382-017-3580-6)
- [28] DÉQUÉ, M. Frequency of Precipitation and Temperature Extremes over France in an Anthropogenic Scenario: Model Results and Statistical Correction according to Observed

- Values. *Global and Planetary Change* [on-line]. 2007, 57(1–2), s. 16–26. ISSN 0921-8181. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.11.030>
- [29] HOLTANOVÁ, E., HALENKA, T. Scénáře změny klimatu. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (eds.). *První konference PERUN* [on-line]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023, s. 27–33. ISBN 978-80-7653-063-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.03>
- [30] RÄTY, O., RÄISÄNEN, J., YLHÄISI, J. S. Evaluation of Delta Change and Bias Correction Methods for Future Daily Precipitation: Intermodel Cross-Validation Using ENSEMBLES Simulations. *Climate Dynamics* [on-line]. 2014, 42(9–10), s. 2 287–2 303. ISSN 0930-7575, 1432-0894. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2130-8>
- [31] ŠUSTKOVÁ, V., BERCHA, Š., JIRÁK, J. Long-Term Changes and Future of Snow in the Czech Republic. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (eds.). *První konference PERUN* [on-line]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2023, s. 220–235. ISBN 978-80-7653-063-8. Dostupné z: <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.28>
- [32] OUDIN, L., HERVIEU, F., MICHEL, C., PERRIN, Ch., ANDRÉASSIAN, V., ANCTIL, F., LOUMAGNE, C. Which Potential Evapotranspiration Input for a Lumped Rainfall–Runoff Model?: Part 2. Towards a Simple and Efficient Potential Evapotranspiration Model for Rainfall–Runoff Modelling. *Journal of Hydrology* [on-line]. 2005, 303(1–4), s. 290–306. ISSN 00221694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.026>
- [33] MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration of Time Scales. In: *Eighth Conference on Applied Climatology*. Anaheim, CA: American Meteorological Society, 1993, s. 179–186.
- [34] OLLECH, D. *seastests: Seasonality Tests* [on-line]. R package version 0. 15. 4. 2021. Dostupné z: <https://CRAN.R-project.org/package=seastests>
- [35] VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* [on-line]. 2010, 23(7), s. 1 696–1 718. ISSN 0894-8755, 1520-0442. Dostupné z: <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- [36] CLEVELAND, W. S., GROSSE, E., SHYU, W M. Local Regression Models. In: CHAMBERS, J. M., HASTIE, T. S. (eds.) *Statistical Models in S*. Pacific Grove, CA: Wadsworth & Brooks/Cole, 1992, Wadsworth & Brooks/Cole Computer Science Series, s. 309–376. ISBN 978-0-534-16765-3.
- [37] DANHELKA, J., TUTEJA, N., WOOD, A. *Guidelines on Seasonal Hydrological Prediction* [on-line]. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2021. WMO-No. 1271. ISBN 978-92-63-11274-3. Dostupné z: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=22062#.Yk63sP2xUuU
- [38] LEDVINKA, O., VACKOVA, K., STOVICEK, V. Predictability of Monthly Precipitation and Air Temperature in Czechia Based on Selected Large-Scale Climate Pattern Indices. In: *The 28th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics: IUGG Berlin 2023* [on-line]. Berlin: C-IN, 2023. Dostupné z: https://c-in.floq.live/event/iugg2023berlin/daily_program_iahs?objectClass=timeslot&objectId=649483f664c73802ac745a4c&type=detail

Autoři

Mgr. Ondřej Ledvinka, Ph.D.^{1,2}

ondrej.ledvinka@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-0203-7064

Mgr. Vít Štoviček^{1,3}

vit.stovicek@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-4997-8056

Bc. Kateřina Vacková^{1,2}

katerina.vackova@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-8793-9381

RNDr. Pavel Coufal⁴

pavel.coufal@chmi.cz

ORCID: 0000-0001-6291-0577

¹Český hydrometeorologický ústav, Praha (Česká republika)

²Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha (Česká republika)

³Fakulta životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze (Česká republika)

⁴Český hydrometeorologický ústav, Brno (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.01.001

ISSN 0322-8916/© 2025 Autoři. Tuto práci je kdokoli oprávněn šířit a využívat za podmínek licence CC BY-NC 4.0

HISTORICAL CHANGES IN WATER USE IN CZECH THIRD-ORDER CATCHMENTS AND INDICATIONS OF POTENTIAL TRENDS BASED ON NEW REGIONAL CLIMATE MODELS BY THE CHMI

LEDVINKA, O.^{1,2}; STOVICEK, V.^{1,3}; VACKOVA, K.^{1,2}; COUFAL, P.⁴

¹Czech Hydrometeorological Institute, Prague (Czech Republic)

²Faculty of Science Charles University, Prague (Czech Republic)

³Faculty of Environmental Sciences of the Czech University of Life Sciences Prague (Czech Republic)

⁴Czech Hydrometeorological Institute, Brno (Czech Republic)

Keywords: water withdrawal – water disposal – water accumulation – unaffected discharge – natural discharge – climate scenarios – SPI index – Czech Republic

The article presents the results of the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) obtained when addressing the sub-objectives “Scenarios of future water needs for different climate scenarios and individual sectors of water use” (DC 1.1) and “Identification of areas with deficient water resources” (DC 1.2), which are part of the TA CR project No. SS02030027 “*Water systems and water management in the Czech Republic and climate change conditions (Water Centre)*” and constitute specific tasks within WP 1 focusing on the future of water. The aim of the CHMI was to calculate and analyse how river flows upstream of gauging stations in Czechia are influenced by water use and to determine how this influence may change in relation to climate change. Mainly, the monthly data of the total streamflow

influence at gauging stations for the reference period 1991–2020 were analyzed. The emphasis was placed on identifying trends in the total influence within individual river basins and localizing areas at potential risk of declining water availability and increasing societal demands. For instance, trend slopes were compared across different time periods. Furthermore, an attempt was made to identify areas with deficient water resources based on the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 climate scenarios using regional climate models developed at the CHMI. The analysis of the impacts of water withdrawals and climate change on water resources in Czechia revealed significant regional variability. In some regions, such as southern Moravia, northwestern Bohemia, and the Bílina River basin, significant changes in surface and groundwater withdrawals were observed, potentially affecting water availability. Climate scenarios indicate rising air temperatures, with the more pessimistic SSP5-8.5 scenario predicting an increase of up to 5 °C by the end of the century. Regarding precipitation, the SSP2-4.5 scenario suggests a slight increase, while SSP5-8.5 predicts more pronounced changes with higher precipitation totals in the western and southern parts of Czechia. The calculation of the Standardized Precipitation Index (SPI) confirms the occurrence of extreme dry and wet periods, with differences between river basins highlighting the need to tailor water management measures to regional conditions. Adaptation to changes in the hydrological regime, improvement of water resource protection policies, and prevention of the impacts of extreme climatic events must become priorities.

Accepted for publication