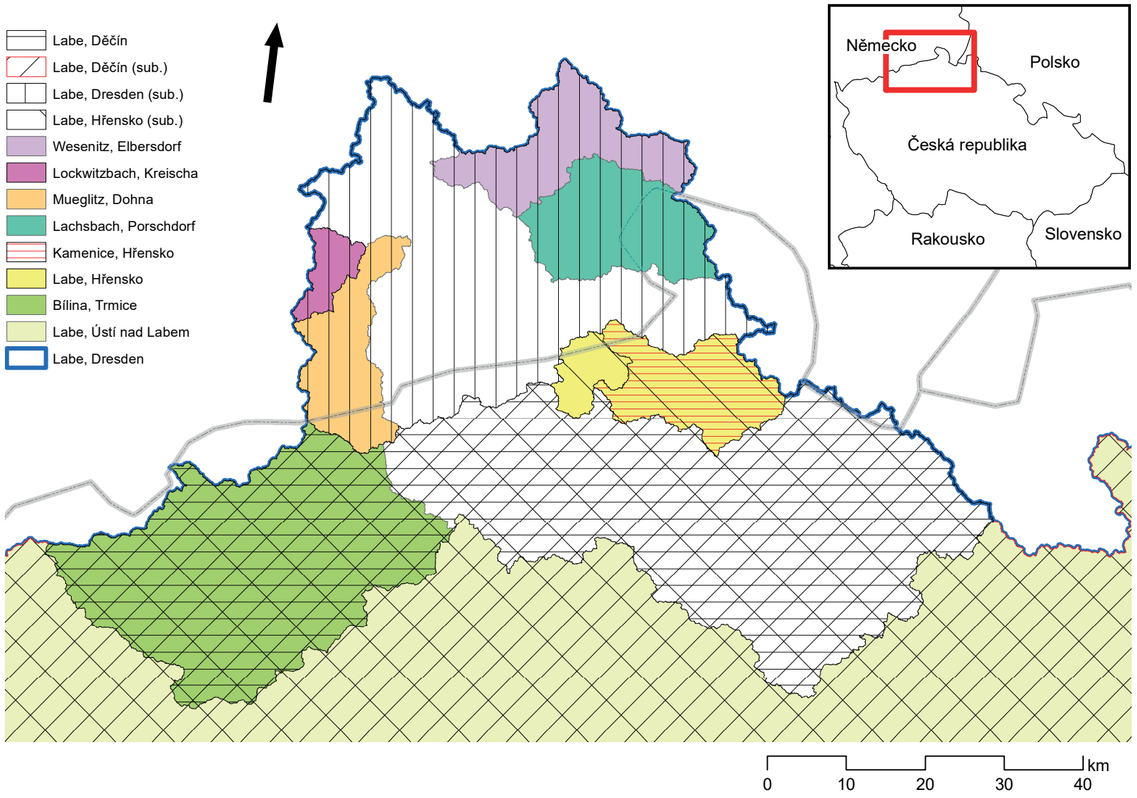
Dopady klimatické změny na bilanci povodí Labe po Drážďany

Martin Hanel, Vojtěch Havlíček, Martin Heřmanovský, Petr Máca

Dopady klimatické změny na hydrologický režim jsou klíčovým podkladem pro plánování vodohospodářské infrastruktury i management vodních zdrojů. V tomto článku shrnujeme výsledky rozsáhlejší studie, zabývající se dopadem klimatické změny na dlouhodobou hydrologickou bilanci a minimální odtoky v několika subpovodích povodí Labe po Drážďany. Přes značnou nejistotu lze konstatovat pravděpodobnou stagnaci či mírný růst celkového odtoku, pokles minimálních odtoků a výrazný pokles zásoby vody v půdě. Realizace adaptačních opatření tak bude vytvářet tlak na intenzifikaci využití vodních zdrojů v povodí.

Obr. 1 Řešené území – celkový přehled. Vypracoval kolektiv autorů



Klimatická změna a odtokové poměry

Přestože střední Evropa nepatří vzhledem k očekávaným dopadům klimatické změny k nejvážněji zasaženým oblastem (ani v rámci Evropy), i zde je nutno počítat s častějším výskytem a vyšší intenzitou extrémních událostí (např. sucho, povodně, eroze, vlny veder, lesní požáry apod.) včetně souvisejících negativních dopadů. Nicméně kromě extrémních událostí bude klimatickou změnou ovlivněn prostřednictvím změn dlouhodobých srážkových úhrnů, teploty a výparu i běžný hydrologický režim. Zatímco odhady charakteristik extrémních událostí a jejich dopadů z velké části definují požadavky na adaptační opatření (např. množství vody chybějící v období sucha, objem přímého odtoku, jenž je potřeba zadržet v krajině), změny dlouhodobého hydrologického režimu tvoří okrajové podmínky adaptace (např. množství vody, kterým můžeme potenciálně nadlepšovat vodní bilanci v období sucha).

Tento příspěvek se zabývá vyhodnocením vlivu klimatické změny na odtokové poměry vybraných povodí Labe a jeho přítoků s důrazem na úsek Ústí nad Labem – Drážďany. Tento úsek Labe odpovídá území ovlivněnému uvažovanou stavbou plavebního stupně Děčín. V souvislosti se stavbou stupně a diskusí, která se v odborné i obecné rovině ohledně tohoto záměru vede, je často opomíjena otázka budoucích odtokových poměrů. Smysluplné využití uvažované stavby a naplnění jejího účelu je přitom do značné míry závislé na odtokových poměrech na Labi a jeho přítocích, zejména v období nízkých průtoků. V následujícím textu přinášíme dílčí výsledky rozsáhlejší studie zabývající se změnami odtokových poměrů na Labi v důsledku klimatické změny.

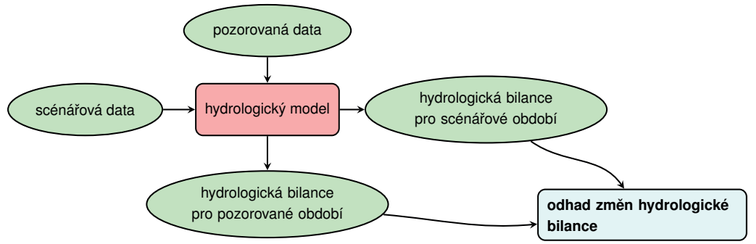
Zájmové území a vstupní data

Pro studii odtokových poměrů na Labi bylo využito 13 povodí, jejichž uzávěrové profily leží na toku Labe od Ústí nad Labem po Drážďany (viz obr. 1). Přímo na Labi se jednalo o čtyři povodí (Ústí nad Labem, Děčín, Hřensko a Drážďany). Dále bylo použito 6 významných přítoků Labe v uvažovaném úseku: Bílina (Trmice), Kamenice (Hřensko), Lachsbach (Porschdorf), Lockwitzbach (Kreischa), Müglitz (Dohna) a Wesenitz (Elbersdorf). Základní geomorfologické a hydro-klimatické charakteristiky povodí jsou uvedeny v tab. 1.

Pro každé povodí byly získány časové řady srážek (P [mm]), průměrné teploty (T [°C]) a odtoku (R [mm]) v denním časovém kroku. Časové řady P a T pocházely z E-OBS datasetu (Hofstra et al., 2009) a byly dále korigovány pomocí prostorových polí dlouhodobých průměrů srážek a teploty z databáze WorldClim (Fick a Hijmans, 2017). Zdrojem odtokových řad byl ČHMÚ (povodí v ČR) a centrum GRDC (Global Runoff Data Centre – povodí v Německu). Pro kalibraci a validaci obou modelů byly na většině povodí použity 13 let dlouhé časové řady (1980 až 1992 pro kalibraci a 1993 až 2005 pro validaci).

Tab. 1: Vybrané geomorfologické a hydro-klimatické charakteristiky analyzovaných povodí. Vypracoval kolektiv autorů

ID	Tok	Profil	Plocha [km²]	Prům. nad. výška [m n. m.]	Prům. roč. srážka [mm]	Dlouhodobý prům. průtok [m³/s]
226000	Bílina	Trmice	971,40	366,65	618,19	8,37
244000	Kamenice	Hřensko	215,30	402,18	808,06	2,61
240000	Labe	Děčín	51072,80	469,11	701,53	318,27
HR-DC	Labe	Hřensko	278,40	385,01	862,84	1,81
6340120	Labe	Dresden	53054,80	465,07	702,67	337,48
245000	Labe	Hřensko	51351,20	468,64	741,03	334,21
DR-HR	Labe	Dresden	1703,60	359,94	795,36	11,20
DC-UL	Labe	Děčín	2573,30	366,24	693,73	16,04
221000	Labe	Ústí n. L.	48499,40	474,66	701,96	297,35
6340430	Lachsbach	Porschdorf	266,50	378,56	759,96	3,16
6340415	Lockwitzbach	Kreischa	53,00	374,89	787,58	0,32
6340410	Müglitz	Dohna	195,00	548,97	722,05	2,65
6340420	Wesenitz	Elbersdorf	236,90	317,32	761,64	2,16



Obr. 2 Schéma modelování hydrologických dopadů klimatické změny. Vypracoval kolektiv autorů

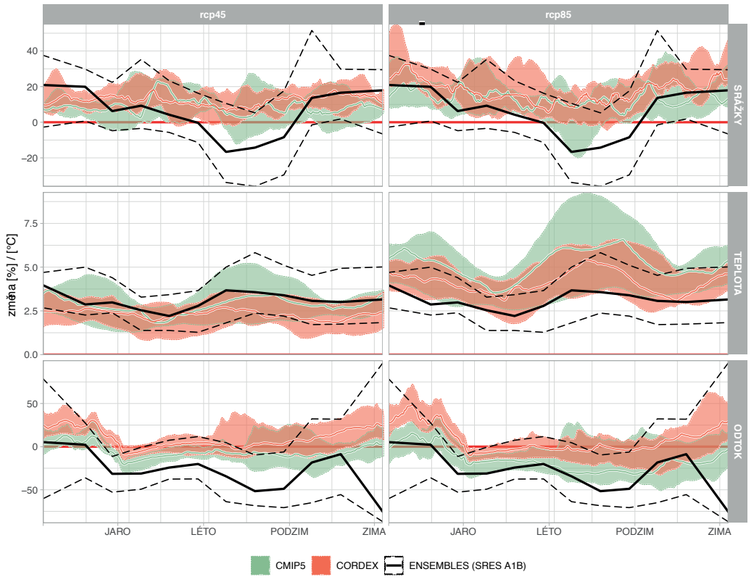
Modelování dopadů změny klimatu

Typický postup modelování dopadů změny klimatu na hydrologický režim povodí (viz obr. 2) lze stručně shrnout následovně:

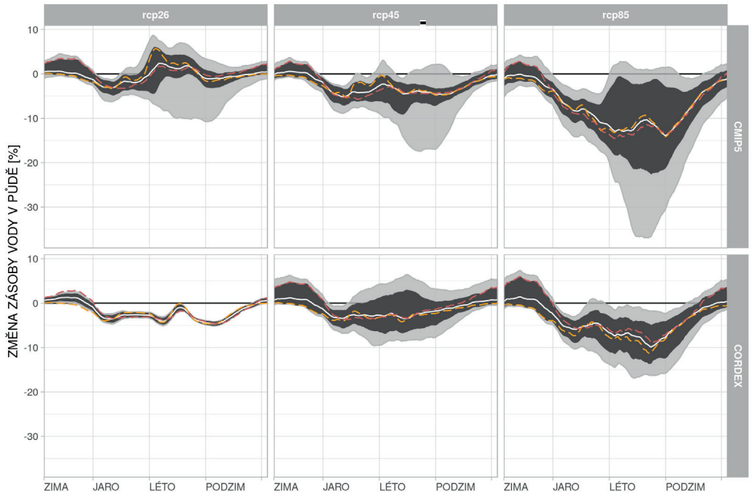
1. Kalibrace a validace hydrologického modelu (zde BILAN a GR4J) pro každé povodí na základě pozorovaných dat – odhad složek současné hydrologické bilance.
2. Vytvoření scénářových řad srážek a teploty pro každé povodí na základě simulací klimatických modelů.
3. Simulace hydrologické bilance pro scénářové řady s využitím nakalibrovaných hydrologických modelů.

Vyhodnocení scénářové hydrologické bilance a její porovnání se současností.

Pro účely odhadu hydrologické bilance zájmových povodí byly využity dva celistvé konceptuální srážko-odtokové modely schematizující povodí na soustavu nádrží: BILAN (Kašpárek et al. 2016) a GR4J (Perrin et al. 2003) doplněný o sněhový modul CemaNeige (Valléry et al. 2014). Vstupem do obou modelů jsou denní časové řady srážek, teploty a potenciální evapotranspirace. Výstupem z nich pak denní časové řady odtoku, územního výparu a případně



Obr. 3 Porovnání změn srážek (nahoře), teploty (uprostřed) a odtoku (dole) v průběhu roku pro simulace z projektů CMIP5, CORDEX a ENSEMBLES. Čáry odpovídají mediánům simulací, polygony reprezentují oblast pokrytou 50 % simulací. Vypracoval kolektiv autorů



Obr. 4 Změna zásoby vody v půdě. Bílá čára – medián simulací, barevné čáry – medián výsledků hydrologického modelu, černá oblast pokrývá 50 % simulací, světlá oblast 80 % simulací. Vypracoval kolektiv autorů

dalších veličin. Oba použité modely dosahují celkově dobrých simulačních výsledků na většině povodí. Oba modely celkem spolehlivě simulovaly nízké a střední odtoky, často však podhodnocovaly kulminace jednotlivých odtokových událostí, vzhledem k zaměření této studie směrem k nízkým průtokům nicméně nejsou tyto odchylky podstatné.

Níže uvedené výsledky odpovídají klimatické změně mezi obdobími 1970–2000 (kontrolní období) a 2070–2100 (scénářové období). Pro odvození scénářových řad bylo využito tzv. pokročilé přírůstkové metody. Tato metoda je založena na transformaci pozorovaných řad srážek a teploty tak, aby rozdíly mezi původní a transformovanou řadou odpovídaly změnám mezi kontrolním a scénářovým obdobím v simulaci klimatického modelu. Změny jsou přitom uvažovány různé během roku a jsou použity transformace, které modifikují nejen průměr dané veličiny, ale i variabilitu (Van Pelt et al. 2012). Změny srážek a teploty byly odvozeny na základě 44 simulací globálních a regionálních klimatických modelů z projektů CMIP5 a CORDEX. Klíčovou okrajovou podmínkou simulací klimatických modelů jsou koncentrace skleníkových plynů – zde uvádíme výsledky pro scénáře koncentrací RCP (Representative Concentration Pathways) RCP2.6, RCP4.5 a RCP8.5, kdy první předpokládá jen relativně nízké zvýšení koncentrací s poklesem na konci 21. století, naopak scénář RCP8.5 předpokládá výrazný systematický růst koncentrací skleníkových plynů během celého 21. století (hodnota za zkratkou RCP je změna radiačního působení oproti roku 1750 ve Wm^{-2}). Pro srovnání jsou v závěru článku diskutovány i výsledky pro simulace z dřívějšího projektu ENSEMBLES pro povodí Labe (Děčín), které využívaly jiné scénáře emisí skleníkových plynů (SRES A1B).

Dopady klimatické změny

Obr. 3 ukazuje odhadované změny teploty pro CMIP5, CORDEX a ENSEMBLES simulace. Čáry odpovídají mediánům simulací, rozpětí pokrývá změny dle 50 % simulací klimatických modelů. Pro scénářové období modely konzistentně simulují růst teploty. CORDEX modely ukazují na růst cca 2,5 °C (pro RCP4.5) až 4 °C (RCP8.5). U modelů z projektu CMIP5 dochází pro RCP8.5 k růstu o 6 °C, v případě některých modelů i o 8 °C. Růst teploty je větší v letním a zimním období než na jaře a na podzim.

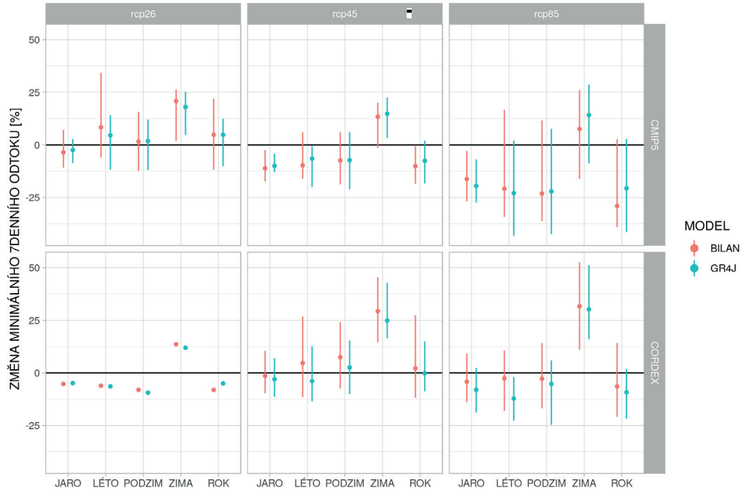
Z hlediska srážek ukazuje velká část simulací obou sad klimatických modelů růst během celého roku. Růst srážek je vyšší pro vyšší scénáře koncentrací RCP. Změna srážek je v rámci celého roku poměrně konstantní, pouze simulace dle scénáře RCP8.5 ukazují nižší růst, případně i pokles v letním období.

Změny celkového odtoku jsou do značné míry určeny změnami v dynamice sněhové pokrývky. V důsledku kombinace zvýšených srážek a dřívějšího tání sněhové pokrývky se poměrně příkře zvyšuje zimní odtok. Naopak na začátku jara můžeme pozorovat robustní pokles odtoku, který je způsoben absencí tání (sněhová pokrývka se buď vůbec nevytvořila, nebo rychle roztála). Po zbytek roku jsou změny odtoku dány bilancováním zvyšujících se srážek a rostoucího výparu. Ve výsledku dochází dle sady CMIP5 k poklesu odtoku (v létě cca 20 %), dle CORDEX modelů ke stagnaci.

Z obr. 3 je patrný rozdíl mezi změnami srážek, teploty i odtoku dle simulací z (aktuálních) projektů CMIP5 (použito pro Pátou hodnotící zprávu IPCC) a CORDEX oproti simulacím z projektu ENSEMBLES (černě). Z hlediska srážek i odtoku vykazovaly simulace ENSEMBLES modelů podstatně více negativních změn než CORDEX a CMIP5 modely, přičemž CMIP5 modely jsou modelům ENSEMBLES bližší. Rozdíl je částečně způsoben různými scénáři skleníkových plynů – z hlediska koncentrací leží SRES A1B (použitý v ENSEMBLES simulacích) mezi RCP4.5 a RCP8.5. Nová generace modelů zahrnuje oproti předchozí řadu změn v reprezentaci fyzikálních procesů i v parametrech simulace, např. rozlišení.

Odhady dopadů klimatické změny na jednotlivé složky hydrologické bilance jsou často zatíženy podstatnou nejistotou znemožňující i odhad znaménka změny. Výjimkou jsou pro ČR odhady zásoby vody v půdě (obr. 4), které vykazují systematický, poměrně silný pokles. Zejména podle scénáře koncentrací RCP8.5 dochází v letním období a na podzim k poklesu zásob vody v půdě dle téměř všech simulací klimatických modelů. To souvisí se zvyšováním výparu, který nestačí být kompenzován růstem srážek. Obrázek 4 ukazuje střední odhad a rozpětí změn průměrné denní zásoby vody v půdě pro jednotlivé simulace klimatických modelů. Střední odhad je vykreslen světlou spojitou čarou. Barevné čáry ukazují mediány simulací modelů BILAN a GR4J. Intervaly odhadu jsou rozděleny na užší, tmavě šedě vybarvený interval a širší, světle šedý interval. V užším intervalu leží 50 % simulací, v širším intervalu je 90 % všech simulací. Obrázek je sestaven jako pole grafů, kde v řádcích jsou uvedeny výsledky pro sady modelů z projektů CMIP5 a CORDEX a sloupce ukazují výsledky pro tři vybrané scénáře koncentrací skleníkových plynů (Representative Concentration Pathway) – RCP2.6 (rcp26), RCP4.5 (rcp45) a RCP8.5 (rcp85).

Změny minimálního 7denního odtoku pro CMIP5 sadu modelů (scénáře RCP4.5 a RCP8.5) a pro CORDEX modely (RCP8.5) zřetelně klesají pro všechna roční období kromě zimy. Jejich průběh je zobrazen na obr. 5. Graf zobrazuje procentuální změnu těchto odtoků pro jednotlivá roční období i pro celý rok. Změna je zde vykreslena v podobě vertikální úsečky, která představuje rozsah, ve kterém se pohybují změny odtoků simulované 80% klimatických modelů (rozsah úsečky je od 10. do 90. percentilu). Bod na úsečce představuje hodnotu mediánu. Pro scénáře RCP8.5 a sadu modelů CMIP5 je předpovídán největší pokles minimálního 7denního odtoku, který se svým mediánem blíží k hranici 25% pro období jara, léta a podzimu. Lze očekávat, že tento pokles negativně ovlivní podmínky pro plavbu a využití povrchových vodních zdrojů v období sucha v řešeném území.



Obr. 5 Změna minimálního 7denního odtoku. Tečka odpovídá mediánu, čára indikuje oblast, v níž leží 80 % simulací. Vypracoval kolektiv autorů

Souhrn výsledků studie

Výsledky studie ukazují, že v řešeném území dojde v důsledku uvažované změny klimatu k výrazným změnám odtokových poměrů. Zvyšování teploty vede k vyššímu výparu, který je nicméně z velké části kompenzován vyššími srážkami. Zvyšování teploty má zásadní vliv také na tvorbu a dynamiku sněhové pokrývky, a tedy i doplňování zásob podpovrchové vody. Výsledkem těchto procesů je zvýšený odtok doprovázený snižováním zásob vody v povodí.

Projektované změny jsou pro některé parametry negativní (zvýšení teploty, snížení zásoby vody v půdě a snížení minimálních odtoků), pro jiné pozitivní (zvýšení celkového úhrnů srážek a pravděpodobně i celkových odtoků). Z hlediska budoucího managementu povodí to z dlouhodobého pohledu znamená na jedné straně možnost adaptace prostřednictvím akumulace vody, na druhé straně zvyšující se nároky na kompenzaci dopadů sucha, nedostatku vodních zdrojů a poklesu zásoby vody v půdě. K faktorům přirozeným, modelovaným v prezentované studii, je nutné přičíst i podstatně vyšší tlak na využití povrchových vod, zejména pro závlahy. Lze navíc předpokládat, že půjde nejen o udržení současné zemědělské výroby, ale i zabezpečení jejího rozšiřování vzhledem ke zhoršování podmínek v řadě okolních států. Výsledky studie dále jednoznačně ukazují, že i přes očekávané vyšší srážky bude v případě vývoje klimatu dle scénáře koncentrací RCP8.5 splavnost Labe pro velké lodě negativně ovlivněna, zejména kvůli poklesu minimálních průtoků (v průměru zhruba o 20 %). Tato studie se nicméně věnuje primárně dopadům na hydrologickou bilanci, důsledky pro výšku hladiny v toku, a tedy splavnost úseku Labe Děčín–Drážďany, budou řešeny v navazujících pracích.

Poděkování

Studie byla financována z prostředků Ministerstva životního prostředí, prostřednictvím Správy Národního parku České Švýcarsko.

Seznam literatury je připojen k webové verzi článku na www.casopis.ochranaprirody.cz