

Odhad vlivu scénářů změny klimatu na znečištění povrchových vod dusičnany na příkladu povodí VD Olešná

Petr Krpec

Anotace

Živiny v nadměrném množství představují riziko pro kvalitu vod. Pro hodnocení vlivu scénářů managementu povodí nebo např. klimatických změn jsou potenciálně vhodné hydrologické modely simulující rovněž procesy transportu živin. V rámci práce byla provedena prognóza dopadu scénářů klimatických změn na podkladě výsledků vybraných regionálních klimatických modelů na odnos dusičnanů v povodí VD Olešná. Výsledky simulací naznačují do budoucna možné zvýšené riziko odnosu dusičnanů.

Klíčová slova: dusičnany, klimatické změny, SWAT model

Anotation

Excessive nutrients pollution affects water quality. Hydrological models simulating nutrient transport processes are potentially suitable for assessing the impact of river basin management scenarios or, e.g., climate change. A prognosis of the impact of climate change scenarios was made based on the results of selected regional climate models on nitrate load risk in the Olešná reservoir catchment area. The results of the simulations indicate a possible increased risk of nitrate removal.

Key words: nitrates, climate changes, SWAT model

1 Úvod

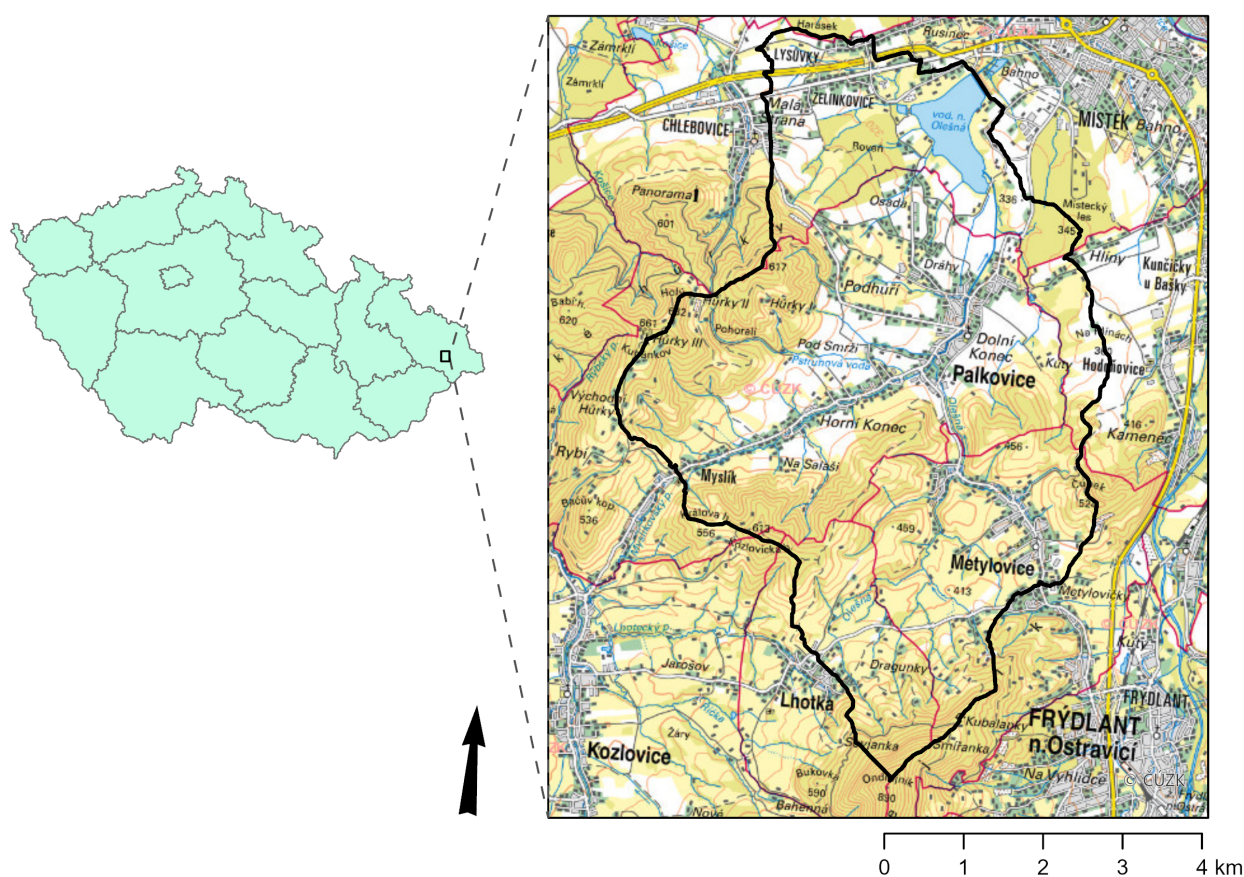
Povrchové vody jsou nejen strategickou surovinou pro lidskou společnost, ale i biotopem velkého množství druhů. Dobrá kvalita povrchových vod je tedy zcela klíčovou záležitostí i vzhledem k současnému trendu ve změně klimatu projevující se především v růstu globálních teplot a rozkolísanosti srážkových úhrnů. Při tom lze očekávat sníženou dostupnost vodních zdrojů, která se již do jisté míry v posledních letech projevila. Za znečišťující látky jsou považovány i živiny, přestože se většinou nejedná o toxické prvky, ale je jimi přímo podmíněn život organismů. Jejich zvýšený přísun do prostředí může způsobovat negativní změny. Přenosným médiem pro živiny je hlavně voda, kdy se při jejich zvýšeném přísunu z povodí postupně zvyšuje úživnost povrchových i podpovrchových vod (jsou tzv. eutrofní). S tím roste produktivita fytoplanktonu, především řas a sinic, negativně ovlivňující kvalitu vod, přičemž tyto vylučují zdravotně rizikové toxiny (alergenní účinky, záněty, vyrážky) a značně narušují kyslíkový režim (mikrobiální rozklad velkého množství biomasy), nepříjemný pro ostatní organismy. Vzhledem k těmto skutečnostem je potřeba aplikovat v povodích účinný management tohoto typu znečištění v závislosti na jeho zdrojích pro zlepšení kvality vod.

Již desítky let jsou vyvíjeny matematické modely, které s různou mírou zjednodušení popisují hydrologické procesy v povodí a na ně navázaný transport živin. Ty mohou významně pomoci při rozhodování o managementu tohoto typu znečištění při scénářích potenciální změny klimatu ve střednědobém výhledu.

2 Metodika

2.1 Zájmové území

Pro účely práce bylo vybráno povodí vodního díla Olešná v okrese Frýdek-Místek (umístění viz mapa na obr. 1). VD Olešná bylo vybudováno pro potřeby protipovodňové ochrany navazující obce Paskov. Její celkový objem je 4,4 mil. m³ a plocha maximálního zatopení dosahuje 78 ha. Po vybudování podniku Biocel Paskov a.s. pro výrobu buničiny se VD stává významným zdrojem provozní vody pro průmysl (v průměru 0,105 m³s⁻¹). Zároveň slouží i k rekreačním aktivitám jako je koupání nebo rybaření. Kvalita vody v nádrži ovšem často trpí eutrofizací vyústějící v nadměrný růst řas a sinic při koncentraci chlorofylu přes 30 µg.l⁻¹, přičemž krajská hygienická stanice v letech 2008, 2010, 2012, 2018 a 2019 upozornila na nevhodnou kvalitu vody ke koupání. Jednou z příčin je znečištění odpadními vodami z blízké obce Palkovice. Přestože kanalizace je v obci již vybudována, mnoho obyvatel stále není připojeno (v současnosti asi 40%). Navíc ostatní obce Zelinkovice a vzdálenější Metylovice na odkanalizování stále čekají. Další zdroj znečištění živinami je pak zemědělská činnost na pozemcích obklopujících vodní dílo. Podle průvodního listu útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Odry se celkový bilanční přebytek plošného znečištění dusíkem odhaduje na 120,42 kg ha⁻¹rok⁻¹. Přibližně 34 % plochy území tvoří lesy pokrývající hlavně výše položená místa. V západní části



Obrázek 1: Umístění zájmového území

se jedná především o lesy listnaté, v severní pak o lesy jehličnaté. 50 % plochy je využíváno jako zemědělská půda. Z té je 30 % tvořeno travními porosty využívanými jako louky a v malé míře jako pastviny. Zbytek zemědělských ploch tvoří především konvenčně obhospodářovaná orná půda. Z pěstovaných plodin převažují

ozimá pšenice, řepka a kukuřice na siláž, která se využívá v blízké bioplynové stanici. Z ostatních plodin jsou pěstovány ječmen jarní i ozimý, hrách, oves, jetel nachový nebo brambory.

2.2 Nastavení modelu

Byl použit světově rozšířený hydrologický model SWAT (Soil and water assessment tool), který dokáže simulovat kromě hydrologických procesů v povodí také transport živin z plošných zdrojů (Gassman et al. 2007). V rámci schématisace je povodí je členěno do subpovodí, které jsou členěny do homogenních jednotek (HRU) na základě sklonitosti, využití území a vlastností půdy.

Vstupní časové řady meteorologických dat týkající se denní minimální a maximální teploty vzduchu, úhrnů slunečního záření, relativní vlhkosti a rychlosti větru byly poskytnuty z klimatologické stanice nacházející se na letišti v Mošnově. Existuje sice klimatologická stanice přímo u VD Olešná, ovšem je v činnosti až od roku 2014. Denní data o úhrnech srážek byla k dispozici ze 4 okolních srážkoměrných stanic. Data poskytl Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Byl použit vstupní digitální model terénu (DMT) poskytovaný Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (ČÚZK) s původním rozlišením 5 m převzorkovaným na 10 m. Odtud odvozený sklon svahů byl klasifikován do 4 tříd: menší než 3°, 3–8°, 8–18° a větší než 18°. DMT je dále použit pro odvození říční sítě a vymezení rozvodnic jednotlivých subpovodí. Pro zpřesnění generované říční sítě, která úplně neodpovídá přirozeným údolnicím, byly pixely DMT sníženy v místech reálného průběhu podle vrstvy jemných úseků vodních toků z databáze DIBAVOD (poskytuje Výzkumný ústav vodohospodářský TGM).

Prostorové rozložení využití území bylo získáno vizuální interpretací ortofota (webová služba ČÚZK). Velmi důležitým vstupem je zde však zemědělský management. Většina bloků zemědělské půdy v území je využívána podnikem RenoFarma Beskyd a.s. (dříve Agro Beskyd a.s.) se sídlem v Palkovicích. S agronomem podniku byly konzultovány osevní postupy na orné půdě. O pěstovaných plodinách byly k dispozici záznamy pro jednotlivé bloky zemědělské půdy od roku 2012. K jednotlivým půdním blokům byl přiřazen 7letý slet plodin a pro zjednodušení modelu byly půdní bloky seskupeny na základě podobnosti do 13 skupin. Pro každou plodinu byly agronomem poskytnuty údaje o typickém managementu ve smyslu termínu polních prací (orba, setí sklizeň,...) a množství aplikovaných hnojiv. Koncentrace živin ve srážkách byly převzaty z měřených hodnot v lokalitě Červík (49° 27' 0.003" sš 18° 23' 0.000" vd) (uvedeny na webových stránkách ČHMÚ).

Vlastnosti půd byly odvozeny metodou digitálního mapování půd na podkladě dat z komplexního průzkumu zemědělských půd ČSSR a půdního průzkumu lesních půd od Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL). Podrobnosti jsou uvedeny v publikaci Krpec et al. 2020.

Období mezi roky 2007 a 2011 a mezi roky 2012 a 2015 (na základě dostupnosti dat monitoringu kvality vody) byly vybrány pro kalibraci, respektive pro následnou validaci. Bylo vybráno deset parametrů běžně používaných pro kalibraci v jiných studiích. Zvolené parametry jsou spojeny s procesy souvisejícími se sněhem, dobou koncentrace na povodí, základním odtokem, evapotranspirací a dusičnany. Hodnoty parametrů byly vzorkovány v rámci prostoru tvořeném potenciálními rozsahy jejich hodnot metodou latinských hyperkrychlí (LH). Vzorkování LH bylo provedeno s použitím R balíčku LHS (Carnell 2019). Pro spuštění SWAT modelů se vzorkovanými parametry bylo využito R balíčku SWATplusR (Schürz 2019) umožňujícího využití vícevláknového spuštění. Pro predikci transportu dusičnanů byly počáteční parametry upraveny podle nejlepšího modelu z předchozího LH-vzorkování týkajícího se hydrologických procesů. Celkem bylo takto v každém případě vzorkováno 2000 kombinací parametrů.

Výkon modelu v případě predikce průtoku byl hodnocen na základě denních časových řad odvozených od vodních stavů na vodoměrné stanici Palkovice poblíž přítoku do nádrže. Odnos dusičnanů byl hodnocen na základě měsíčních časových řad získaných z měsíčního monitoringu koncentrací vzorků z přítoku do nádrže, převedeno na odhadované měsíční odnosy pomocí softwaru LOADEST (Runkel et al. 2004) pomocí lineární regrese, kde průtok vody a sezónnost byly považovány za vysvětlující proměnné (R^2 95,29%):

$$\ln(L) = 3,4495 + 1,2159 \cdot \ln Q - 0,0691 \cdot \sin(2\pi dt) - 0,1113 \cdot \cos(2\pi dt) \quad (1)$$

kde L je odnos dusičnanů ($\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$), Q je průtok ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) a dt je desítkový čas.

Souhlas výstupních časových řad s pozorovanými daty byl hodnocen na základě hodnot míry výkonnosti (GOF) a to Nash-Sutcliffe (NSE) (Nash and Sutcliffe 1970) a procentuální odchylky (PBIAS), které uvádí Moriasi et al. 2015. Tito autoři uvádějí doporučené mezní hodnoty pro hodnocení výkonu modelu.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{(O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \cdot 100 \quad (3)$$

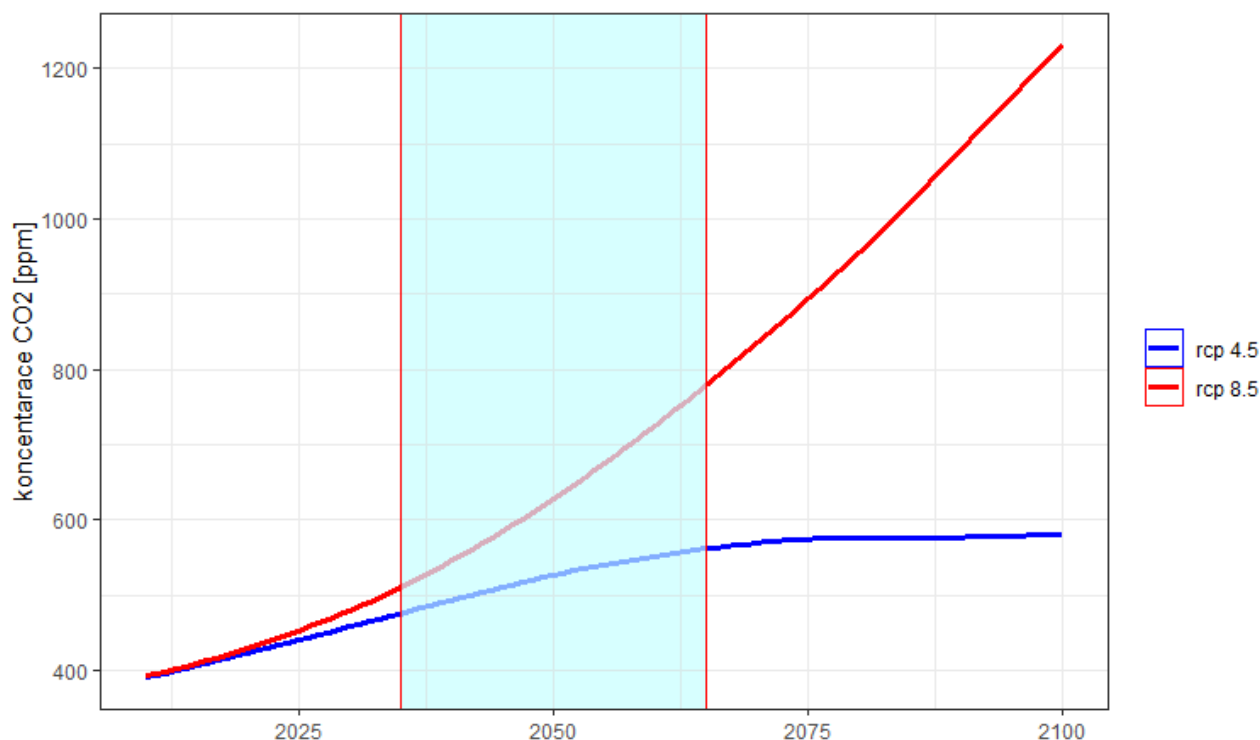
kde O je pozorovaná hodnota, P je predikovaná hodnota a $\bar{O}$ je průměr řady pozorovaných hodnot. Hodnota NSE se pohybuje mezi 1 a $-\infty$, kde 1 znamená dokonalé souhlas dvou časových řad a v případě hodnot menších než 0 je průměr pozorovaných dat lepším prediktorem než samotný model. Hodnota PBIAS určuje procentuální tendenci modelu nadhodnocovat nebo podhodnocovat, takže se může pohybovat od $-\infty$ do $\infty\%$.

2.3 Scénáře změn klimatu

Pro prognózu dopadu možných scénářů na hydrologickou bilanci a odnos živin v povodí VD Olešná bylo využito parametrizace modelu SWAT nejlépe odpovídající pozorovaným datům. Vstupní data jsou shodná s částí srovnávací půdní datasety s tím, že je dále využito lokálních půdních dat. Kromě dusičnanů je zde využito i výstupů predikce množství celkového fosforu, přestože kalibrace je v tomto případě velmi nesnadná. Hlavním zdrojem celkového fosforu jsou jednoznačně odpadní vody a nelze na základě monitoringu kvality vod oddělit složku přispívající ze zemědělské půdy. Navíc v odnosu fosforu je zde důležitý proces eroze půdy, pro který opět nejsou k dispozici dostatečná data pro srovnávání. Vychází se zde tedy hlavně z důležitosti role přímého odtoku, který je predikován s rozumnou přesností pro hodnocení změny v odnosu fosforu.

Vstupní časové řady meteorologických prvků byly převzaty ze simulací regionálních klimatických modelů (RCM) podle scénářů reprezentativních směrů vývoje koncentrací skleníkových plynů (RCP), konkrétně RCP 4.5 předpokládající stabilizaci emisí do konce století a RCP 8.5 reprezentující kontinuální růst emisí (viz obr. 2). Pro prognózu bylo zvoleno 30leté období mezi roky 2035 a 2065 představující střednědobý výhled.

Použité RCM pochází z projektu Euro-CORDEX (Jacob et al. 2014) s poměrně podrobnými výstupy v gridu $0,11^\circ$ (přibližně 12,5 km). Nebyl využit celý ansámbl dostupných modelů, ale pouze modely představující tzv. obálku klimatické změny tedy ty reprezentující střed ansámblu a jeho krajní hodnoty. Takto byly v rámci projektu SustEs řešeného Výzkumným Ústavem globální změny AV ČR vybrány tři modely na základě mnoha statistických hodnocení (viz Štěpánek 2019). Použité modely uvádí tabulka 1. Data byla v rámci tohoto projektu upravena korekcí systematických chyb upravenou metodou kvantilového mapování podle pozorovaných dat, aby lépe odpovídaly podmínkám studovaného území.



Obrázek 2: scénáře vývoje koncentrací CO_2 s vyznačením zájmového období 2035 až 2065

Tabulka 1: Přehled použitých RCM pro prognózu dopadu projekcí scénářů změn klimatu

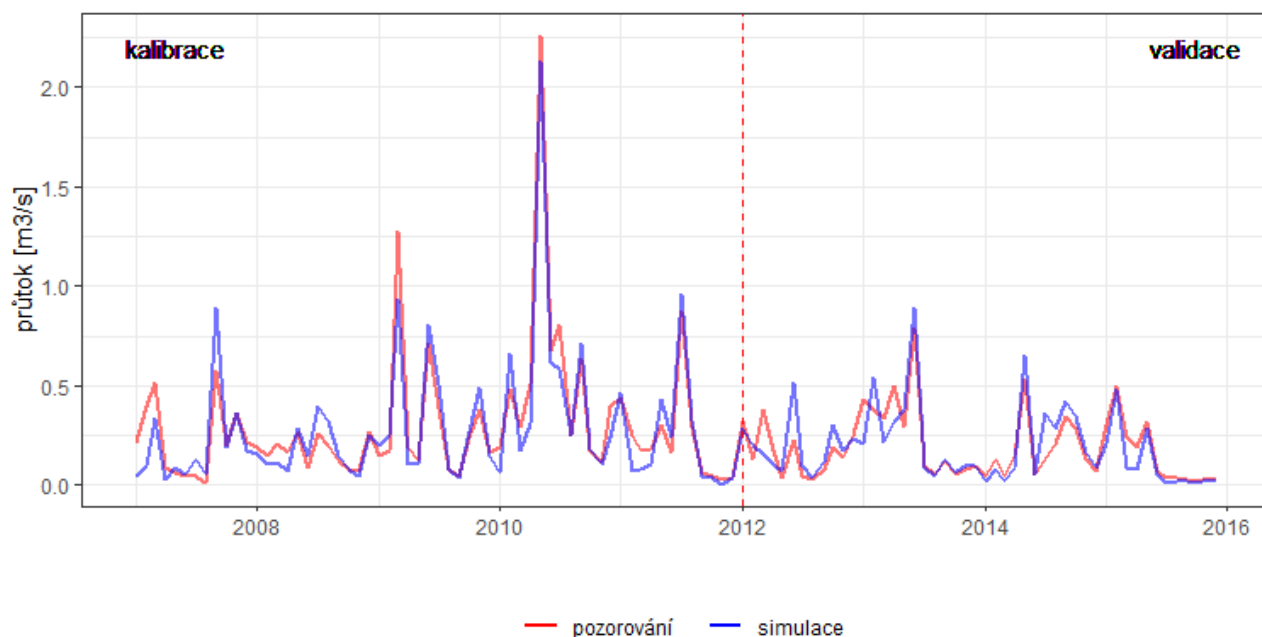
řídící globální model	regionální model	popis
MPI-ESM-LR	RCA4	Representuje v projekcích teploty a srážek ansámblový průměr
MPI-ESM-LR	CLM4.8.17	Nejstudenější model, zároveň sušší
MOHC-HADGEM-ES	RACMO22E	Nejteplejší model, zároveň vlhčí

3 Výsledky

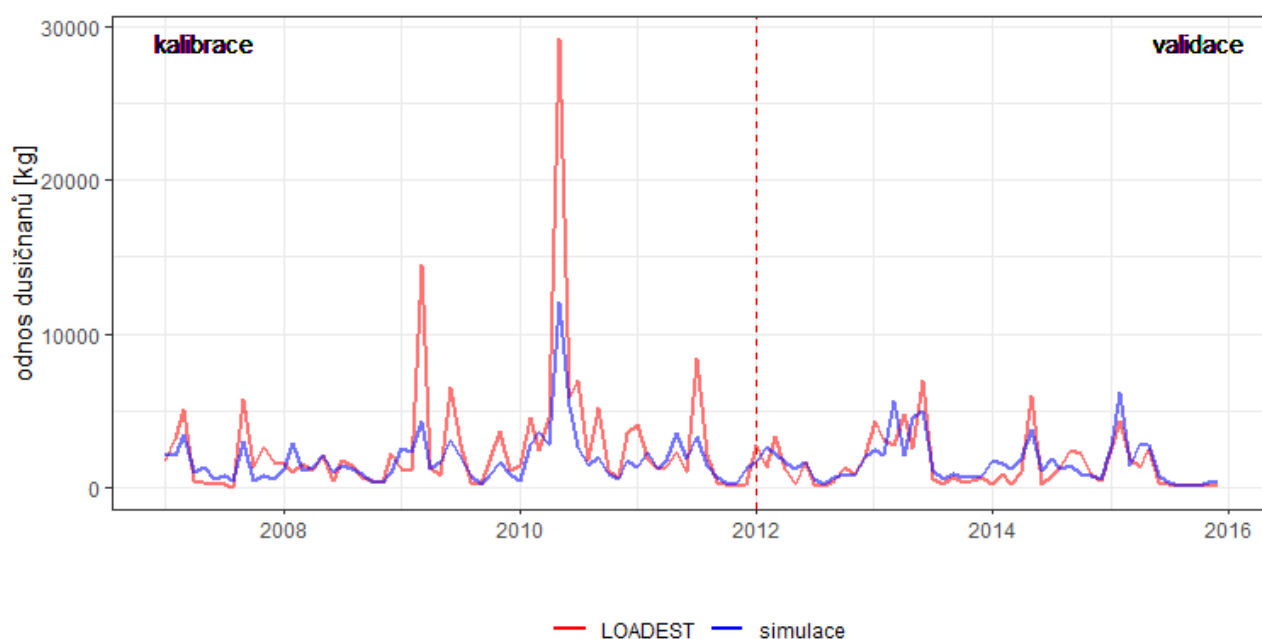
3.1 Kalibrace a validace

3.2 Použitá parametrizace modelu

Pro další užití modelu byly vybrány konkrétní parametrizace na základě nejlepších GOF hodnot. Po LH-vzorkování, byla vybrána parametrizace modelu, která při kalibračním období dosahovala NSE 0,67 a při validačním 0,55. V případě měsíčního odnosu dusičnanů dosáhl model v kalibračním období NSE 0,66 a při validačním 0,65. Grafické srovnání predikovaných časových řad měsíčních průtoků s pozorovanými je znázorněno na obr. 3 a pro měsíční odnos dusičnanů na obr. 4.



Obrázek 3: Srovnání předpovědi průměrných měsíčních průtoků s pozorovanými v profilu Palkovice



Obrázek 4: Srovnání předpovědi měsíčního odnosu dusičnanů modelem SWAT a modelem LOADEST podle pozorovaných koncentrací v profilu nad nádrží

3.3 Predikce dopadu scénářů klimatické změny

Prvním studovaným scénářem změny klimatu je scénář vývoje koncentrací skleníkových plynů RCP 4.5 reprezentující jejich stabilizaci do konce století. Podle RCM lze v rámci tohoto scénáře očekávat nárůst průměrné roční teploty od 1,15 do 2,1 °C. Největší nárůst lze očekávat v zimních měsících. Obecně je předpokládán růst počtu dní se srážkami, u dní s úhrny nad 1 mm v průměru o 4 až 7, z toho o 1 až 2 s úhrny nad 20 mm. Jak se tyto

projektované změny v klimatu mohou projevit v hydrologické bilanci zobrazují grafy na obr. 5. U úhrnu srážek lze očekávat s větší jistotou nárůst v zimních a jarních měsících (nejvíce v dubnu o 15 až 32 mm), s menší jistotou částečně i v podzimních. V letních měsících lze očekávat v rámci nejistot spíš pokles nebo malý růst. U podílu sněhových srážek je obecně predikován výrazný pokles, především v listopadu a únoru o 5 až 16 mm. Pouze u chladnějšího modelu je místy predikován mírný růst. U celkového odtoku je poměrně konzistentně predikován největší růst v zimních měsících (v únoru o 14 až 22 mm), s větší nejistotou pak v podzimních. Nejvýraznější pokles vychází u měsíce červenec o 8 až 14 mm. V objemu přímého odtoku je zde predikováno výrazné snížení specificky v období března a července. Nejjistější nárůst vychází na měsíc duben o 4 až 5 mm, u ostatních je velká nejistota mezi klim. modely.

Druhým studovaným scénářem změny klimatu je scénář vývoje koncentrací skleníkových plynů RCP 8.5 reprezentující jejich kontinuální růst do konce století. Podle RCM lze v rámci tohoto scénáře očekávat nárůst průměrné roční teploty od 1,5 do 2,6 °C. Největší nárůst lze očekávat v zimních měsících. Obecně je předpokládán růst počtu dní se srážkami, u dní s úhrny nad 1 mm v průměru o 3 až 10, z toho o 1 až 3 s úhrny nad 20 mm. Jak se tyto projektované změny v klimatu mohou projevit v hydrologické bilanci zobrazují grafy na obr. 6. U úhrnu srážek lze očekávat nárůst v zimních (v prosinci o 14 až 22 mm) a v období dubna (o 16 až 29 mm), částečně i v podzimních (především v říjnu o 20 až 31 mm). V letních měsících lze očekávat nárůst v červnu 13 až 42 mm, u ostatních je v tomto směru nejistota napříč klim. modely. U sněhových srážek je obecně predikován výrazný pokles, nejjistěji v období listopadu a února. U celkového odtoku je poměrně konzistentně predikován největší růst v zimních měsících, v menší míře pak v podzimních. Z letních měsíců je pak předpokládán růst celkového odtoku v období června o 11 až 27 mm. Nejjistěji je pokles v celkovém odtoku predikován pro období března (o 5 až 15 mm). V objemu přímého odtoku je zde predikováno nevýraznější snížení specificky v období března (o 10 až 18 mm) a nejvýraznější nárůst v období června (o 8 až 21 mm).

Predikovaná změna odnosu dusičnanů při jednotlivých scénářích prezentuje graf na obrázku 7. V odnosu dusičnanů je předpokládán největší nárůst ve všech scénářích v lednu a červnu. Relativní změny v odnosu z jednotlivých typů odtoku v povodí uvádí tabulka 2.



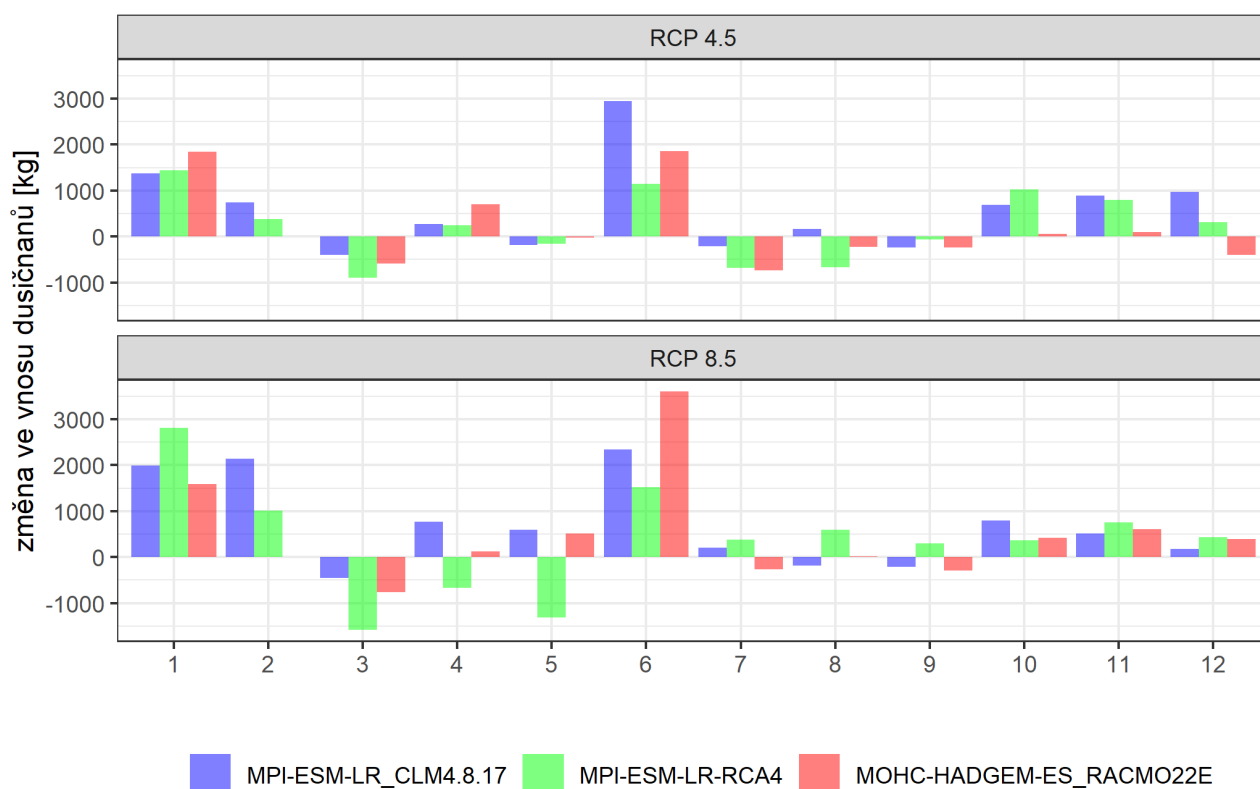
Obrázek 5: Simulace dopadu projekcí změny klimatu pro vybrané složky vodní bilance při scénáři rep 4.5



Obrázek 6: Simulace dopadu projekcí změny klimatu pro vybrané složky vodní bilance při scénáři RCP 8.5 kolem poloviny století

Tabulka 2: Relativní změny v plošných zdrojích dusičnanů při scénářích změny klimatu

	model	přímý Q	laterální Q	odvodnění	základní Q
RCP 4.5	chladný	+12,5%	+12,5%	+57,1%	+30,5%
	střední	-0,3%	+13,4%	+45,6%	+21,9%
	teplejší	-2,8%	+16,6%	+24,1%	+33,4%
RCP 8.5	chladný	+20,4%	+16,1%	+25,9%	+32,4%
	střední	+5,6%	+15,0%	+31,4%	+28,6%
	teplejší	+6,6%	+20,3%	+32,1%	+44,6%



Obrázek 7: Simulace dopadu projekcí změny klimatu na odnos dusičnanů

4 Diskuze

V příštích dekádách se předpokládá přetrvávající trend změny klimatu projevující se hlavně v růstu globálních teplot a změny charakteru srážek. Při těchto změnách lze zároveň očekávat dopad na složky hydrologické bilance, které budou mít efekt na cykly živin a jejich transport ovlivňující následně kvalitu povrchových vod. Jaké změny je možné v tomto případě očekávat lze v rámci nejistot kvantifikovat pomocí modelů jakým je i SWAT. Takovéto informace lze následně využít pro podporu rozhodování o přizpůsobení managementu určitého povodí pro minimalizaci negativních dopadů. V první řadě je však nutné poznamenat, že s výstupy z modelů nelze zacházet stejným způsobem jako s přímo měřenými daty. Výstupy z modelů spíše než data představují možné hypotézy. Změna v odnosu živin je v prognóze vázána především na změnu v odtoku a to v závislosti na změně celkového objemu a zároveň změně v poměru mezi přímým a laterálním. Celkově je u odtoku predikováno zvýšení související s růstem srážkových úhrnů. Podíl přímého odtoku je podle klim. modelů po-

važovaných za střední (MPI-ESM-LR RCA4) a teplejší (MOHC-HADGEM-ES RACMO22E) predikován jako spíše nižší, což souvisí především s menším promrzáním půdy v zimních měsících. Podle klim. modelu považovaného za chladnější (MPI-ESM-LR CLM4.8.17) se změna v promrzání půdy projevuje v menší míře a proto i predikce u změny přímého odtoku předpokládá zvýšení. U dusičnanů je v návaznosti na tuto změnu v odtoku predikováno hlavně zvýšení odnosu v laterálním a základním odtoku, přičemž u celkového odnosu dusičnanů je předpokládáno zvýšení. Do jisté míry se zde projevuje i zintenzivnění cyklu živin související ve větší míře mineralizace organické hmoty. K podobnému výsledku došli i autoři Marcinkowski et al. 2017 v případě dvou Polských povodí, při použití predikcí klim. modelů taktéž z projektu Euro-CORDEX, které se shodují na růstu srážkových úhrnů. K podobným závěrům došli i Čerkasova et al. 2018 v přeshraničním povodí mezi Lotyšskem a Běloruskem. Už dříve publikovali prognózu zvýšení odnosu dusičnanů i Martínková et al. 2011 použitím modelu SWIM (vychází z modelu SWAT) při vstupu z regionálního klim. modelu REMO. Ze současné prognózy na podkladě regionálních klimatických modelů při předpokladech vývoje koncentrací skleníkových plynů a za použití hydrologického modelu SWAT pro povodí VD Olešná tedy vyplývá pravděpodobný dostatek dostupné vody v rámci odtoku z povodí pro akumulaci. Kvalita vody může být ovlivněna zvýšením rizika odnosu dusičnanů. V případě dusičnanů bude potřeba brát více ohled na zemědělský management omezující jejich vyplavování v podzemním odtoku. Nabízí se především změna využití orné půdy v kritických zdrojových lokalitách zatravněním. Dále je vhodné využití ozimých meziplovin, které omezí vyplavování dusičnanů v období mezi hlavními plodinami (Taylor et al. 2001). Meziplovina pak může sloužit jako krmivo, příp. může být zaorána do půdy kde doplní množství organické hmoty. Při hnojení bude potřeba klást větší důraz na využití technologií tzv. precizního zemědělství. To znamená získávání co největšího množství dat o půdě (pomocí metod dálkového průzkumu Země, v současnosti využití UAV neboli dronů (Mogili and Deepak 2018)), v tomto případě aktuálního obsahu živin, a pomocí navigačních systémů aplikovat pouze potřebné množství hnojiv. Vedlejším efektem je navíc úspora prostředků. Velké množství odnosu dusičnanů v odvodňovacích stavbách může být zredukováno jejich odstraněním. Výhodnější se však ukazuje možnost využití s doplněním o mechanismy jejich regulace. V případě potřeba tak lze zvyšovat akumulaci vody v půdě a naopak, k tomu se zvyšuje využitelnost dodaných živin (Carstensen et al. 2019).

Reference

- Carnell, R. (2019). lhs: Latin Hypercube Samples. R package version 1.0.1.
- Carstensen, M. V., Børgesen, C. D., Ovesen, N. B., Poulsen, J. R., Hvid, S. K., & Kronvang, B. (2019). Controlled Drainage as a Targeted Mitigation Measure for Nitrogen and Phosphorus. *Journal of environmental quality*, 685, 677–685. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.11.0393>
- Čerkasova, N., Umgiesser, G., & Ertürk, A. (2018). Development of a hydrology and water quality model for a large transboundary river watershed to investigate the impacts of climate change – A SWAT application. *Ecological Engineering*, 124(September), 99–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.09.025>
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. (2007). The Soil and Water Assessment Tool : historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASAE*, 50(4), 1211–1250. <https://doi.org/10.1.1.88.6554>
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., ... Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Krpec, P., Horáček, M., & Šarapatka, B. (2020). A comparison of the use of local legacy soil data and global datasets for hydrological modelling a small-scale watersheds: Implications for nitrate loading estimation. *Geoderma*, 377(July). <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114575>
- Marcinkowski, P., Piniewski, M., Kardel, I., Szcześniak, M., Benestad, R., Srinivasan, R., Ignar, S., & Okruszko, T. (2017). Effect of Climate Change on Hydrology, Sediment and Nutrient Losses in Two Lowland

Catchments in Poland. *Water*, 9(3), 156. <https://doi.org/10.3390/w9030156>

NULL

- Martínková, M., Hesse, C., Krysanova, V., Vetter, T., & Hanel, M. (2011). Potential impact of climate change on nitrate load from the Jizera catchment (Czech Republic). *Physics and Chemistry of the Earth*, 36(13), 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.013>
- Mogili, U. M. R., & Deepak, B. B. V. L. (2018). ScienceDirect ScienceDirect Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *Procedia Computer Science*, 133, 502–509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>
- Moriasi, D. N., Gitau, M. W., Pai, N., & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. *Transactions of the ASABE*, 58(6), 1763–1785. <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>
- Nash, E., & Sutcliffe, V. (1970). PART I- A DISCUSSION OF PRINCIPLES * The problem of determining river flows from rainfall , evaporation , and other factors , occupies a central place in the technology of applied hydrology . It is not only the essential problem of flood forecasting but a. *Journal of Hydrology*, 10, 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Runkel, R. L., Crawford, C. G., & Cohn, T. (2004). *Load Estimator (LOADEST): A FORTRAN program for estimating constituent loads in streams and rivers* (tech. rep.).
- Schürz, C. (2019). SWATplusR: Running SWAT2012 and SWAT+ Projects in R.
- Štěpánek, P. (2019). *Očekávané klimatické podmínky v České republice Očekávané klimatické podmínky v České republice část I . Změna základních parametrů* (tech. rep.). Ústav výzkumu globální změny AV ČR. Brno.
- Taylor, P., Dabney, S. M., Delgado, J. A., & Reeves, D. W. (2001). Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7), 1221–1250. <https://doi.org/10.1081/CSS-100104110>