

**Metodika pro posouzení zabezpečení vodních nádrží za
klimatické změny se zaměřením na profily s nedostatečným
pozorováním**

Roman Kožín, Martin Hanel, Ladislav Kašpárek

Cíl metodiky	2
Popis metodiky	2
Vstupní data	2
Generátory	2
Scénáře změny klimatu	3
Hydrologické modelování	4
Volba kontrolního a scénářového období	6
Nejistoty	6
Vyhodnocení ensemblových simulací	7
Zásobní funkce nádrže	7
Srovnání novosti postupů	8
Popis uplatnění certifikované metodiky	8
Ekonomické aspekty	8
Seznam použité související literatury	9
Seznam publikací, které předcházely metodice	10

1 Cíl metodiky

I přes značné nejistoty spojené s modelováním klimatu můžeme v průběhu 21. století očekávat intenzifikaci jevů nepříznivých pro vodní režim v krajině a vodní hospodářství obecně, zejména čtenější výskyt sucha. Z tohoto důvodu je věnována pozornost návrhům adaptačních opatření vedoucích ke zmírnění těchto dopadů a k zajištění udržitelného využívání vodních zdrojů. Jedním z takovýchto opatření jsou i nové vodní nádrže.

Cílem metodiky je popsat postupy vhodné pro komplexní posouzení zabezpečení zásobní funkce navrhovaných vodních nádrží v podmínkách klimatické změny. Metodika popisuje vhodnou metodu tvorby klimatických scénářů a kvantifikace nejistot pramenící z jejich použití. Poskytuje návod na využití metod hydrologické analogie v případě nepozorovaných povodí.

2 Popis metodiky

2.1 Vstupní data

Dostupnost a kvalita vstupních dat ovlivňují kvalitu a spolehlivost dat výstupních. Zpravidla se jedná o pozorované řady srážek, teploty a průtoků. Kromě přímo měřených staničních dat jsou dostupné různé gridované řady Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) např. srážky a teploty od roku 1961 do současnosti. Alternativně lze využít E-OBS data (gridovaná pozorování srážek a teploty v síti 25 km × 25 km dostupná pro téměř celou Evropu od roku 1950 do současnosti), která jsou volně dostupná na adrese <https://www.ecad.eu/download/ensembles/ensembles.php>. Případně lze ještě využít gridované datasey srážek a teploty od Climatic Research Unit v rozlišení 50 km x 50 km od roku 1901 až do současnosti, které jsou volně ke stažení z adresy <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg>.

Obecně je vhodné pro posuzování zásobní funkce nádrže, mít co nejdelší časovou řadu průtoků. Pokud taková řada není k dispozici, nabízí se řešení v podobě prodloužení původní řady pomocí hydrologického modelování, kde vstupem do modelu budou dlouhé řady srážek a teploty z výše uvedených zdrojů. Alternativně lze kratší řady prodloužit pomocí některých volně dostupných stochastických generátorů srážek a teploty.

Je-li nedostupná řada průtoků pro profil hráze, nabízí se využití kombinace hydrologické analogie a hydrologického modelování. Dále je vhodné v tomto profilu zřídit vodoměrnou stanici s kontinuálním provozem, vyhodnotit průtoky a po několikaletém pozorování zpřesnit hydrologická data.

2.2 Generátory

Pomocí generátorů lze vytvářet libovolně dlouhé syntetické časové řady na základě (zpravidla 30letých) řad pro kontrolní nebo scénářové období. Užitečnost dlouhých syntetických řad tkví v postižení různých kombinací vlivu příčinných srážek a počátečních podmínek povodí – stejná srážka při různé nasycenosti povodí vygeneruje různé odtoky. Výhodou generátorů počasí je, že mohou vyprodukovat libovolně dlouhou řadu, a rovněž je možné vytvořit časové řady pro lokality, pro něž data nejsou k dispozici. Nevýhoda generátoru počasí spočívá v tom, že změna vybraného parametru může ovlivnit více veličin - např. změna parametru ovlivňující délku období s a bez deště může vést ke změnám teploty apod. Navíc není zcela triviální generovat vybrané veličiny tak, aby byla zachována prostorová závislost.

2.3 Scénáře změny klimatu

Scénáře změny klimatu se využívají pro odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci, potažmo na zásobní funkci nádrže. Typický zdroj informací pro scénáře změny klimatu jsou klimatické modely. Regionální klimatické modely (RCM) pracují v prostorovém rozlišení v řádu jednotek až desítek km, globální klimatické modely (GCM) v řádu desítek až stovek km. Výstupy klimatických modelů je nutné chápat jako prostorové průměry, nikoliv bodové hodnoty. To má zásadní vliv např. na srážkové extrémy (výška n-leté srážky se snižuje s velikostí zasažené plochy) nebo na teplotu (zejména v členitém terénu může být teplota značně odlišná i při relativně malé horizontální vzdálenosti).

Překážkou přímé aplikace výstupů klimatických modelů je tedy často nesoulad měřítko klimatických modelů s měřítkem požadovaným (plocha povodí). Další podstatnou překážkou pro přímé využití jsou systematické chyby, pro jejichž korekci je nutné využít některou z metod statistického downscalingu. Důležitými parametry při vyhodnocování dopadů změny klimatu jsou zvolená kontrolní a scénářová období. Velmi často jsou pro jednotlivá období vytvořeny scénáře v podobě 30letých časových řad.

V metodice Hanel et al. (2014a) jsou uvedeny různé druhy přímých a nepřímých metod tvorby scénářů, které byly dále rozvinuty a publikovány v Hanel et al. (2017). Na základě publikovaných metod a výsledků simulací na 65 lokalitách vhodných pro akumulaci povrchových vod (LAPV) je pro vyhodnocení zásobní funkce nádrže v podmínkách klimatické změny doporučena kvantilová přírůstková metoda tvorby klimatických scénářů. Tato metoda upravuje srážky a teploty v jednotlivých měsících tak, aby změny distribuční funkce těchto veličin odpovídaly změnám ve vybrané simulaci klimatického modelu a zároveň aby byly respektovány měsíční i roční změny. Případné chyby pocházející ze simulace klimatických modelů nejsou tedy introdukovány do časových řad pro kontrolní období. Transformace pozorovaných dat s uvažováním časového měřítka je provedena na základě vnořené procedury navržené Haerterem et al. (2001) popř. Pegramem et al. (2009) a je zahrnuta v rovnicích (5) a (6).

Nechť H je kontrolní (historická) a F scénářová (budoucí) simulace. Pro časové měřítko $s_{[i]}$ např. měsíc, rok) metoda stanovuje faktor změn $C_{s_{[i]}}$ pro srážky na základě vztahu

$$C_{s_{[i]}} = \frac{g(F_{s_{[i]}})}{g(H_{s_{[i]}})} \quad (1)$$

a pro teplotu dle

$$C_{s_{[i]}} = g(F_{s_{[i]}}) - g(H_{s_{[i]}}). \quad (2)$$

funkce g představuje souhrnnou statistiku, nejčastěji průměr nebo v případě doporučené kvantilové metody empirickou kumulativní distribuční funkci (v tomto případě je pak $C_{s_{[i]}}$ vektor faktorů změn korespondujících s uvažovanými kvantily kumulativní distribuční funkce). Transformace je pak aplikována na pozorovaná data. Transformovaná hodnota pro srážky je dána vztahem

$$X_{s_{[i]}}^C = O_{s_{[i]}} C_{s_{[i]}} \quad (3)$$

a pro teplotu

$$X_{s_{[i]}}^C = O_{s_{[i]}} + C_{s_{[i]}} , \quad (4)$$

kde $O_{s_{[i]}}$ je pozorovaná hodnota v časovém měřítku $s_{[i]}$. Ve většině aplikací je transformace stanovena a použita pro každý měsíc zvlášť.

Konzistenci mezi časovými měřítky zaručuje vnořená procedura. Agregované faktory změn $C_{s_{[i]}}^A$ v měřítku $s_{[i]}$ lze získat porovnáním agregovaných dat z časového měřítka $s_{[i-1]}$ s pozorováním, např. nahrazením $F_{s_{[i]}}$ a $H_{s_{[i]}}$ v rovnici (1) a (2) pomocí $X_{s_{[i]}}^A$ a $O_{s_{[i]}}$. Transformaci pro více časových měřítek lze tedy provést pro srážky dle vztahu

$$X_{s_{[0]}}^M(t_0) = X_{s_{[0]}}^C(t_0) \prod_{i>0} \frac{C_{s_{[i]}}(t_i)}{C_{s_{[i]}}^A(t_i)} \quad (5)$$

a pro teploty dle

$$X_{s_{[0]}}^M(t_0) = X_{s_{[0]}}^C(t_0) + \sum_{i>0} \frac{C_{s_{[i]}}(t_i)}{C_{s_{[i]}}^A(t_i)} . \quad (6)$$

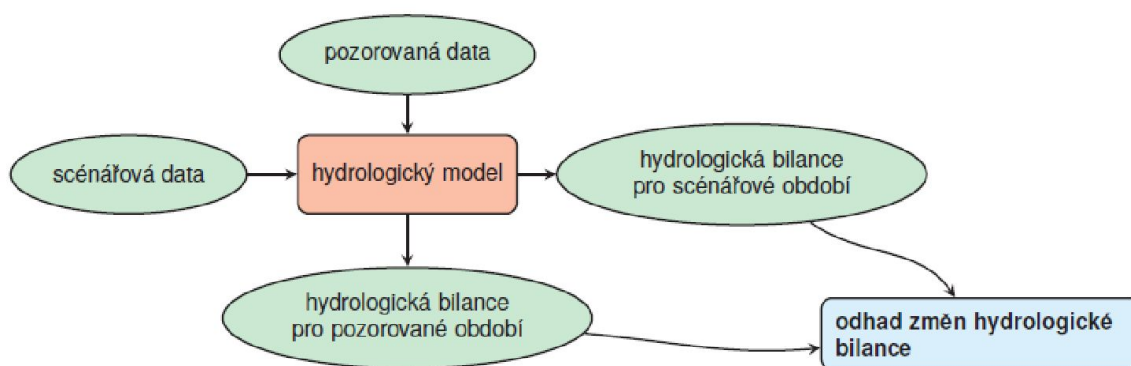
Aplikace popsaného postupu je možná pomocí softwaru Musica (Multiscale Climate Model Assessment), což je balík pro prostředí R a je volně dostupný na <https://github.com/hanel/musica>. Musica má v současnosti implementováno několik možností pro funkci g , např. průměr, empirickou distribuční funkci, lineární a loess aproximaci empirické distribuční funkce apod.

2.4 Hydrologické modelování

Pro modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim jsou relevantní především změny srážek, teploty vzduchu a evapotranspirace. Z těchto údajů lze přeneseně vyvodit informace pro změnu průtoku pro vybraná povodí. Pro porovnání je třeba posoudit odchylku scénářů klimatické změny (např. 2055) od historické časové řady (1975, 1985 apod.) vzhledem k hodnotám modelovaných průtoků.

Na datech z kontrolního období je nakalibrován hydrologický model (tj. jsou identifikovány jeho parametry) a je provedena simulace hydrologické bilance (obecně jakéhokoliv hydrologického procesu) pro toto období. Hydrologický model je matematický nástroj transformující vstupní veličiny (většinou srážky, teplotu, případně potenciální evapotranspiraci) na složky hydrologické bilance (např. odtok, zásobu vody v půdě apod.). Pro modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim není vhodné využívat čistě statistické modely, jelikož není zaručeno, že odvozené empirické vztahy budou platit i v podmínkách ovlivněných změnou klimatu, tj. např. při zvýšení teploty o několik stupňů. V podmínkách ČR se často používá hydrologický model Bilan (Horáček et al., 2009), dostupný na <http://bilan.vuvv.cz>, v zahraničí pak model HBV, HYPE a řada dalších.

Pokud nelze model nakalibrovat přímo na povodí případné nádrže, lze využít hydrologické analogie. Parametry modelu kalibrovaného na analogonu se přenesou na povodí nádrže. Analogonem je rozuměno nejbližší hydrologicky podobné povodí s pozorováním průtoků. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad (teploty a srážek) je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období. Následně se odhaduje změna hydrologické bilance, viz obr. 1. Je běžné modelovat dopady změny klimatu pro více scénářů a určení nejistoty (např. odchylka od průměru průtoku). Konkrétní podoba scénářů, včetně způsobu jejich začlenění do hydrologického modelu, a strategie postížení nejistot jsou do značné míry spojeny s analyzovaným problémem.



Obr. 1. Schéma hydrologického modelování změn klimatu

V případě použití analogonů je třeba mít na paměti nižší třídu přesnosti takto odvozených dat. Dle normy ČSN 75 1400 náleží tyto hydrologické údaje do III. případně IV. třídy přesnosti. Pro posouzení, zda je přijatelné odvozovat řadu průměrných měsíčních průtoků použitých pro vodohospodářské řešení nádrží metodou hydrologické analogie, byl použit poměr k ploch povodí.

$$k = \frac{A_n}{A_a} ; j e - l i A_a > A_n \quad (7)$$

$$k = \frac{A_a}{A_n} ; j e - l i A_a < A_n \quad (8)$$

Vycházelo se z poznatku ze studie Kašpárek (1982), ve které byl zkoumán vztah mezi poměrem k a koeficientem korelace mezi řadami průměrných měsíčních průtoků z dvojic stanic na témže toku. Podle velikosti koeficientu korelace lze vypočítat směrodatnou (střední kvadratickou) chybu odhadu, kterou je charakterizována přesnost hydrologických dat v příloze ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod. Směrodatná chyba odhadu s , viz rovnice (9), vztažená k průměru, závisí podle studie Kašpárek (1989) na koeficientu korelace r mezi řadami průtoků a na koeficientu variace C_v , ten je při aplikaci rovnice (10) u doplňované řady stejný jako u řady z analogonu.

$$s = C_v \cdot \sqrt{(1 - r^2)} \quad (9)$$

$$Q_{n[i]} = k \cdot Q_{a[i]} \quad (10)$$

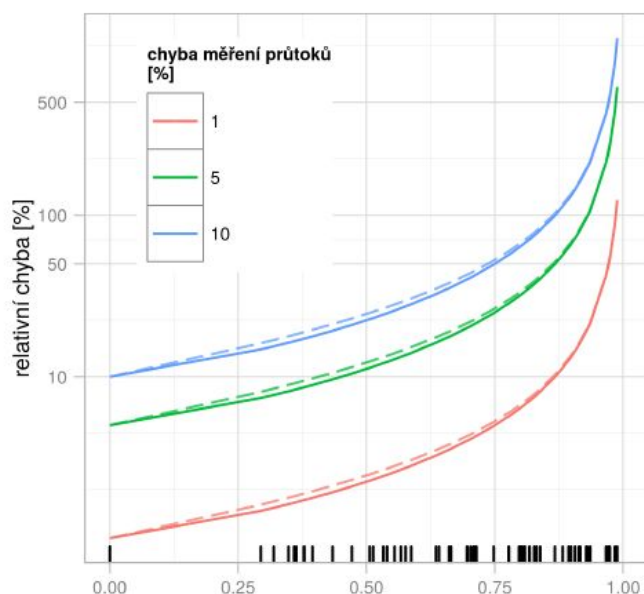
$Q_{n[i]}$ - průtok v profilu nádrže a měsíci i

$Q_{a[i]}$ - průtok ve vodoměrné stanici v analogonu na témže toku a měsíci i

k - poměr příslušných ploch povodí

Podle studie Kašpárek (1985) se koeficient variace měsíčních řad průtoků běžně vyskytuje v rozmezí 0,6 až 0,9. Koeficient korelace mezi řadami s poměrem k blízkým hodnotě 1/3 je podle studie Kašpárek (1982) v rozmezí 0,96 až 0,97. Podle rovnice (9) lze získat pro uvedený rozsah koeficientů korelace a koeficientů variace odhady směrodatné chyby v rozmezí 14 % až 25 % průměrného průtoku. To dokládá i rozbor 130 povodí v Hanel (2014b), viz obr. 2.

Pro případy nádrží, kde $k < 1/3$ lze tedy využít příslušný analogon. V opačných případech je nutné zřídit vodoměrnou stanici a provést alespoň několikaleté pozorování pro zpřesnění výsledků.



Obr. 2 Průběh relativní chyby odhadu průtoku z mezipovodí pro různé chyby měření průtoků. Vodorovná osa odpovídá $1 - k$. Čárkovaně je zobrazen nejnepríznivější případ, kdy se chyby sčítají.

2.5 Volba kontrolního a scénářového období

Kontrolní období je období, se kterým chceme výsledky modelování dopadu změn klimatu srovnávat. Je to zpravidla období, kdy se ještě neprojevily vlivy klimatické změny nebo se projevily pouze slabě. Typickým obdobím používaným jako kontrolní je období 1961-1990 apod. (např. 1970-1999). Podstatné při volbě kontrolního období je, zda jsou dostupná data pro simulaci hydrologických procesů. Zároveň by mělo být kontrolní období dostatečně dlouhé, aby bylo možné spolehlivě spočítat dlouhodobé charakteristiky, jinými slovy, aby bylo reprezentativní. Jak je naznačeno výše, standardně se využívají 30letá období.

Volba scénářového období do značné míry vyplývá z účelu analýzy. Pro vodohospodářské aplikace se v současnosti obvykle používají 3 období 2021 – 2050, 2041 – 2070 a 2071 – 2100.

2.6 Nejistoty

První zdroj nejistot při modelování hydrologického systému vyplývá z omezené přesnosti pozorovaných dat (omezená přesnost měření) a z nejistot transformace z bodových měření na údaje pro plochu povodí. Hydrologický model je vždy zjednodušením skutečnosti a použitá schematizace pak do určité míry ovlivňuje charakteristiky simulované veličiny jak v kontrolním, tak ve scénářovém období. Přirozená variabilita vstupuje do modelování klimatu na několika úrovních a pro některé veličiny je jedním z nejdůležitějších zdrojů nejistoty. To platí zejména pro extrémní hodnoty. Nejistota spojená s přirozenou variabilitou je důsledkem výpočtu charakteristik vybraných veličin z řad délky několika desetiletí, které nemohou postihnout dlouhodobé kolísání klimatu. Je evidentní, že prostým posunutím vyhodnocovaného období o několik let, dojdeme k odlišným závěrům. To platí jak pro pozorovaná data, tak pro výstupy klimatických modelů. Typickým způsobem kvantifikace tohoto druhu nejistot jsou resamplovací techniky. Vzhledem k podstatnému vlivu globálního klimatického modelu použitého pro tvorbu scénářů je nezbytné odvozovat scénáře změny klimatu ze sady (ensembly) simulací klimatických modelů.

2.7 Vyhodnocení ensemblových simulací

V případě, že modelování dopadu změny klimatu bylo provedeno dle více scénářů změny klimatu, je možné použít několik metod k zhodnocení projektovaných změn, typicky buď průměrování sady výsledků, nebo pravděpodobnostní vyhodnocení. Ideální je kombinace průměru a rozpětí (5% - 95% kvantil apod.) dané rozptylem ensembly modelů, což poskytuje informaci o nejistotě projekce. Prosté průměrování ensembly, tj. jednoduché zprůměrování všech projekcí uvažované charakteristiky (nebo jejich změn) ke zvolenému časovému horizontu - např. průměrný pokles letních průtoků, průměrný letní deficitní objem atd. - je používáno velmi často. Tento přístup nicméně může vést k zavádějícím výsledkům, zejména je-li ignorována závislost mezi klimatickými modely, které vycházejí ze stejného základu. Proto je nutné dbát na to, aby ensembly byly vyvážené, případně výpočet celkového průměru upravit tak, že nejdříve se spočítají průměry ve skupinách závislých modelů, a ty se následně zprůměrují.

2.8 Zásobní funkce nádrže

Zásobní funkci nádrže je vhodné řešit vzhledem k použití přírůstkové metody tvorby klimatických scénářů klasickou bilanční metodou (11). Touto metodou lze bez potíží také zpracovávat libovolně dlouhé řady v případě použití generátorů počasí (průtoků).

$$S_i = I_i - E_i - O_i + S_{i-1}; S_0 = 0 \quad (11)$$

Zásoba vody S_i v nádrži v měsíci i je bilancí vstupu I_i (přítok do profilu nádrže a srážky na plochu maximální zátopy), výparu z hladiny E_i (počítaného dle normy ČSN 75 2405), požadavku na odběr O_i a zásoby v předchozím měsíci S_{i-1} .

Kromě základního vyhodnocení zabezpečení dle doby trvání (12) je vhodné vyhodnotit zásobní funkci nádrže také z hlediska odolnosti (13) a zranitelnosti (14) jak uvádí např. McMahon et al. (2006).

$$Z_t = \frac{T - f_d - 0,3}{T + 0,4} \quad (12)$$

T je celkový počet měsíců a f_d je počet měsíců s poruchou.

$$\varphi = \frac{f_s}{f_d} \quad (13)$$

f_s je počet poruch. Odolnost nádrže je převrácenou hodnotou průměrného trvání poruchy a vyjadřuje tak průměrnou délku případné poruchy.

$$\eta' = \frac{1}{f_s} \sum_{j=1}^{f_s} \max(D_i) \quad (14)$$

K poruše dochází, pokud jsou požadavky na odběr větší než zásoba vody v nádrži. Velikost poruchy v měsíci i je vyjádřena nedodaným množstvím čili nedostatkovým objemem D_i . Zranitelnost vyjadřuje průměr z maximálního nedodaného množství za poruchu. Při hodnocení je výhodnější používat bezrozměrnou zranitelnost (15), která je normována konstantní hodnotou požadavku O .

$$\eta = \frac{\eta'}{O} \quad (15)$$

Standardně se vyhodnocení provádí v měsíčním kroku, pokud nejsou zvláštní důvody použít např. denní data.

3 Srovnání novosti postupů

Navržené řešení je i v kontextu mezinárodní literatury jedinečné svým komplexním přístupem. Publikované studie zabezpečení vodohospodářských funkcí nádrží v podmínkách klimatické změny se převážně zabývají jen jednou nádrží, používají jeden či malý počet scénářů změny klimatu a pouze základní metody statistického downscalingu simulací klimatických modelů (např. Li et al., 2010, Ashofteh et al. 2013). Výjimkou je studie Raje a Mujumdar (2010) uvažující více scénářů změny klimatu odvozených pokročilými technikami. Nicméně dle znalosti autorů v současnosti žádná z publikovaných studií neklade důraz na validaci simulací klimatických modelů vzhledem k reprezentaci suchých období ani se nesnaží o vyhodnocení nejistot.

Jedinečnost navrhovaného řešení je zejména v použití jednotného postupu k vyhodnocení zásobní funkce nádrží na LAPV, založení tohoto vyhodnocení na zpřesněných datech a jednotném souboru nejaktuálnějších scénářů změn klimatu a rozsahu tohoto řešení. Výsledky řešení rozšířily vědomosti o možnostech a limitech adaptačních opatření na zmírnění dopadů změn klimatu na našem území a přispěli tak k racionálnímu plánování v oblasti vodního hospodářství vedoucímu k udržitelnosti využívání vodních zdrojů.

4 Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika se uplatní při aktualizaci plánů povodí či generelu LAPV. Konkrétně u institucí zajišťujících jejich přípravu, tedy podniků povodí a společností jako Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s., Sweco Hydroprojekt, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. a další.

5 Ekonomické aspekty

Není počítáno s přímou komercializací metodiky. Ekonomický přínos lze v tomto případě kvantifikovat spíše obecně. Hlavním předpokládaným přínosem je nastavení procesu při posuzování zabezpečení zásobní funkce nádrží v podmínkách klimatické změny. Korektní posouzení možných dopadů změny klimatu může napomoci např. při výběru z několika variant, dimenzování nádrží apod. Naopak posouzení dopadu změny klimatu nestandardními způsoby může vést k zavádějícím výsledkům a doporučením.

Zavedení postupů popsaných v metodice nepředpokládá významné náklady. Metodika je navržená tak, aby ji bylo možno aplikovat s využitím volně dostupných dat, simulačních nástrojů a dat z ČHMÚ. Nicméně mohou vzniknout dodatečné náklady související s pořízením dat z ČHMÚ, případnou výstavbou vodoměrných stanic a popřípadě s odborným zpracováním scénářů. Bez těchto podkladů však není možné dopady změny klimatu kvalifikovaně posoudit. Náklady takto vzniklé je obtížné obecně kvantifikovat, nicméně jsou zpravidla ve srovnání s náklady na výstavbu nové nádrže zanedbatelné. To platí rovněž ve srovnání s možnými škodami způsobenými negativními důsledky změny klimatu, zejména suchem.

6 Seznam použité související literatury

Ashofteh, P. S., Bozorg Haddad, O., and Marino, M. A. (2013) Climate change impact on reservoir performance indices in agricultural water supply. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2), 85-97.

Efstratiadis, A., Dialynas, Y., Kozanis, V. and Koutsoyiannis, D. (2014) A multivariate stochastic model for the generation of synthetic time series at multiple time scales reproducing long-term persistence, *Environmental Modelling and Software*, 62, 139–152, doi:10.1016/j.envsoft.2014.08.017

Haerter, J. O., Hagemann, S., Moseley, C., and Piani, C. (2011) Climate model bias correction and the role of timescales, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 1065-1079, <https://doi.org/10.5194/hess-15-1065-2011>

Hanel, M., Hánová, K., Daňhelka, J., et al. (2014a) Vyhodnocení možných dopadů změny klimatu ve vodním hospodářství a při plánování v oblasti vod. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Certifikovaná metodika 4498/2014-MZE-15121 (MZe).

Hanel, M. (2014b) Modelování dopadů změny klimatu a jeho nejistoty, Česká zemědělská univerzita v Praze, Habilitační práce, 149 s.

Hanel, M. et al. (2017) An R package for assessment of statistical downscaling methods for hydrological climate change impact studies, *Environmental Modelling and Software*, 95, 22-28.

Harris, I., Jones, P., Osborn, T., Lister, D. (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3. 10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642.

Kašpárek, L. (1982) Analýza korelačních vztahů mezi průtokovými a srážkovými řadami. Práce a studie sešit 2. Praha. ČHMÚ, 38 s.

Kašpárek, L. et al. (1985) Charakteristiky řad průtoků vody, jejich časové a prostorové extrapolace. Výzkumná zpráva. Praha, ČHMÚ, 135 s.

Kašpárek, L. (1989) Odhad směrodatné chyby průtoků a jejich základních charakteristik. Výzkumná zpráva. Praha, ČHMÚ, 57 s.

Lall, U. and Sharma, A. (1996) A nearest neighbor bootstrap for resampling hydrologic time series. *Water Resources Research*, 32(3), pp. 679-693

Li, H., Sheffield, J., Wood, E.F. (2010) Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research* 115, <http://dx.doi.org/10.1029/2009JD012882>.

McMahon, T. A., Adedoye, A. J. and Zhou, S. (2006) Understanding performance measures of reservoirs. *Journal of Hydrology* 324, 359 – 382

Mehrotra, R. and Sharma, A. (2016) A multivariate quantile-matching bias correction approach with auto-and cross-dependence across multiple time scales: Implications for downscaling. *Journal of Climate* 29, 3519–3539

MZE a MŽP (2011) Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí.

Pegram, G.G., et al., (2009) A nested multisite daily rainfall stochastic generation model, *Journal of Hydrology*, 371, 142-153.

Raje, D., Mujumdar, P.P. (2010) Reservoir performance under uncertainty in hydrologic impacts of climate change *Adv. Water Resour.*, 33, pp. 312-326

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Huth, R. (2011) Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of a Central European daily time series. *IDŐJÁRÁS - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 115(1–2), 87–98.

7 Seznam publikací, které předcházely metodice

Beran, A., Hanel, M. (2015) Definování zranitelných oblastí z hlediska nedostatku vody na území České republiky. VTEI, 57(4-5).

Balvín, P., Vizina, A., Nesládková, M., Kašpárek, L. (2015) Determining Czech Republic's minimum residual discharges. The 14th International Symposium in the field of Water Management and Hydraulic Engineering.

Daňhelka, J., Hanel, M., Kulasová, B., Pretel, J., Tolasz, R. (2013) Simulace potenciálních dopadů klimatické změny na vodní hospodářství: současné možnosti a limity. Vodní hospodářství 3/2013.

Hanel, M., Vizina, A. (2010) Hydrologické modelování dopadů změn klimatu v denním kroku: korekce systematických chyb a přírůstková metoda. VTEI, 52 (mimořádné číslo 2), s. 17–21.

Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M. et al. (2011) Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., 108 s.

Hanel, M., Vizina, A., Máca, P., Pavlásek, J. (2012) A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 60(3), 152–161.

Hanel, M., Kašpárek, L., Peláková, M., Beran, A., Vizina, A. (2013) Evaluation of changes in deficit volumes: support for protection of localities suitable for construction of reservoirs. Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management.

Hanel, M., Mrkvičková, M., Máca, P., Vizina, A., Pech, P. (2013) Evaluation of simple statistical downscaling methods for monthly regional climate model simulations with respect to the estimated changes in runoff in the Czech Republic. Water Resources Management, 26.

Hanel, M. a Kožíň, R. (2016) Korekce chyb srážek a teploty z regionálních klimatických modelů – vliv na modelování odtoku, VTEI

Horáček, S. et al. (2012) Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt). VÚV T.G.M., 150 s.

Kožíň, R., Hanel, M., Kašpárek, L., Peláková, M., Vizina, A., Treml, P. (2015) Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod, VTEI, 4-5

Mrkvičková, M., et al. (2012) Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR. VÚV T.G.M. 133 s.

Pretel, J. et al. (2011) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí. ČHMÚ.

Vizina, A., Hanel, M., Kožíň, R., Horáček, S. (2015) Bias correction methods for water resources management. 2nd International Conference on Hydro-meteorological Risks and Climate Change, 11.–13. listopadu, 2015, Cholula, Puebla, Mexico.

Dedikace:

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Možnosti kompenzace negativních dopadů klimatické změny na zásobování vodou a ekosystémy využitím lokalit vhodných pro akumulaci povrchových vod, č. TA04020501.

Každý z autorů se na metodice podílel jednou třetinou.

Oponentní posudky zpracovali:

RNDr. Pavel Punčochář, CSc. - Ministerstvo zemědělství, sekce vodního hospodářství

Ing. Tomáš Berit - Povodí Vltavy, státní podnik, centrální vodohospodářský dispečink