

Runoff Prophet | Nástroj pro dlouhodobé hydrologické prognózy v podmínkách změny klimatu

Kateřina Knoppová

Anotace

V příspěvku je představen srážko-odtokový model Runoff Prophet, který umožňuje dlouhodobé prognózy vodnosti toků bez nutnosti popisu geografických charakteristik povodí. Je provedena aplikace vyvinutého softwaru na konkrétním povodí a nastíněny možnosti vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova: Runoff Prophet, koncepční srážko-odtokový model, hydrologické modelování, klimatická změna, Nash-Sutcliffe

Annotation

In this paper, rainfall-runoff model Runoff Prophet is presented, which enables long-term prognosis of water flow with no need of basin geographic characteristics specification. Practical use of developed software on chosen basin is shown and potentialities of results evaluation are outlined.

Keywords: Runoff Prophet, conceptual rainfall-runoff model, hydrological modelling, climate change, Nash-Sutcliffe

1 Úvod

V posledních letech začínáme silně pociťovat některé dopady klimatických změn, které se budou v budoucnu pravděpodobně dále prohlubovat (CzechGlobe 2018). Z důvodu provázanosti s hydrologickým režimem krajiny má snaha popsat důsledky změn klimatu v oboru vodního hospodářství své nepopíratelné místo. Vyplyvá to i z doporučení Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu (MŽP 2015), který mimo jiné podporuje výzkum a modelování dopadů změny klimatu na vodní režim a navrhuje důsledné promítání výsledků do příslušných národních i mezinárodních strategií.

Studiem měnícího se klimatu se v současné době zabývá široké spektrum vědeckých organizací. Jednou z těch nejvýznamnějších je IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) – Mezivládní panel pro změny klimatu, založený pod záštitou OSN. Ten mimo jiné definuje klimatické scénáře, které vyjadřují možné směry vývoje budoucího klimatu. Pro jednotlivé scénáře jsou pak pomocí propracovaných globálních klimatických modelů (GCM) simulována konkrétní klimatická data. Tyto modely mají poměrně hrubé rozlišení, a proto se pro další využití provádí downscaling, a to například pomocí tzv. generátorů počasí. Takto získaná data můžeme využít i pro studium dopadů na hydrologický režim.

Prognóza hydrologické situace, respektive průtoku, založená na predikovaných klimatických datech je možná pouze tehdy, pokud jsme schopni popsat fungování srážko-odtokového procesu v povodí. Transformace srážky na odtok je ovlivňována mnoha faktory, ať už velikostí a topografií povodí, uspořádáním hydrografické sítě, geologickými a půdními vlastnostmi, krajinným pokryvem nebo charakterem srážek, nasycením půdy a teplotními poměry. Jedná se o složitý přírodní proces a nalezení jasných vztahů mezi klimatickými daty a odtokem není jednoduchý úkol.

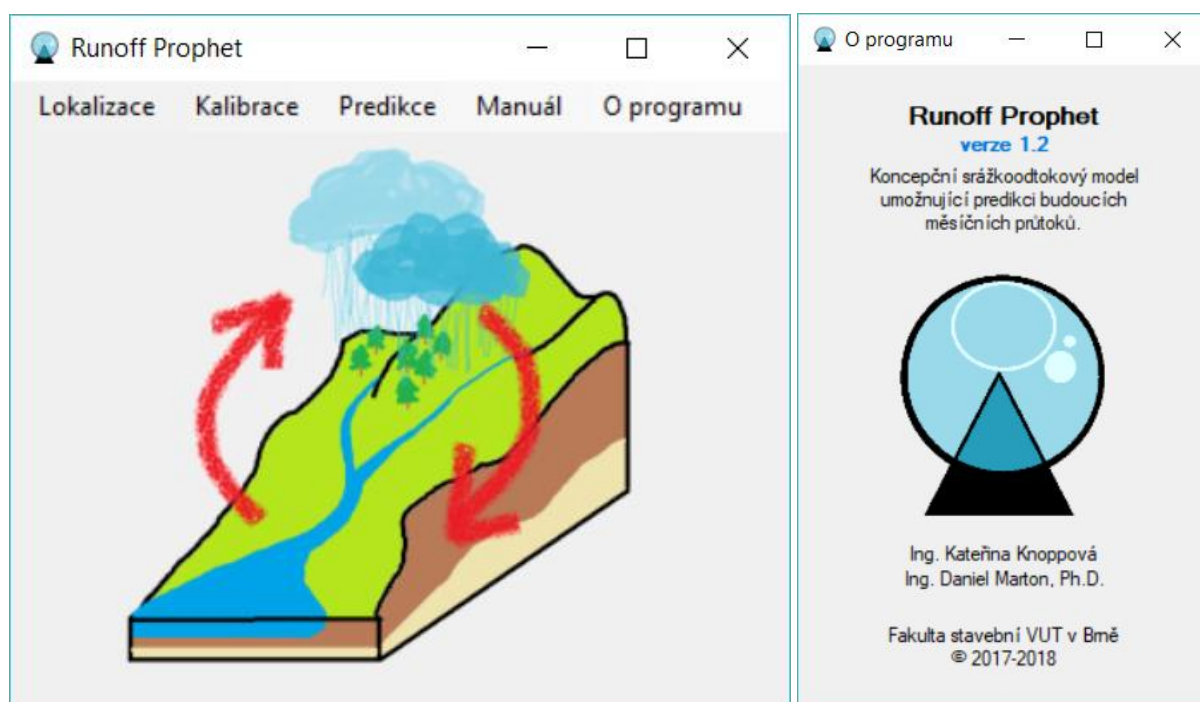
Nástroje, které umožňují tento přírodní koloběh simulovat, jsou srážko-odtokové modely. Díky nim jsme schopni na základě informací o meteorologických prvcích a vlastnostech povodí predikovat hydrologickou odezvu v různě vzdálené budoucnosti. Velké důvěře se těší modely, založené na co nejpodrobnějším popisu charakteru povodí, což je často jeden z nejnáročnějších kroků celého hydrologického modelování. Na tomto principu jsou založené například modely HEC-HMS, SAC-SMA, HYDROG, SWAT, TOPMODEL a mnoho dalších. Zcela odlišný přístup najdeme u modelů koncepčních a empirických, kde povodí být popsáno nemusí a algoritmus pouze hledá vztah mezi příčinou a následkem na základě kalibračních řad vstupních veličin. Mezi takové modely patří i Runoff Prophet (Knoppová, Marton 2018), vyvinutý na Ústavu vodního hospodářství krajiny VUT v Brně.

Díky modelování srážko-odtokového procesu můžeme nejen odhadnout budoucí vodnosti toků, ale například i určit možné změny úrovně hladiny v konkrétních vodních nádržích, upravovat návrhy objemů nádrží s ohledem na budoucí klima nebo posoudit objemy stávající.

Cílem příspěvku je představit software Runoff Prophet a nastínit možnosti jeho využití při aplikaci na konkrétním povodí. Součástí je jednoduché zhodnocení vstupních klimatických dat a následně průtoků, simulovaných pro budoucí období.

2 Runoff Prophet

Runoff Prophet je srážko-odtokový model, umožňující simulaci průtoků v závěrovém profilu zájmového povodí. K výpočtu není vyžadován popis žádných geografických charakteristik povodí kromě jeho plochy. Nejprve je model nakalibrován na základě historických klimatických a hydrologických dat, poté je možné s využitím predikovaných klimatických dat modelovat budoucí průtok. V systému klasifikace dle WMO (Nemec 1993) patří Runoff Prophet mezi modely, které je možné použít ve výzkumu i pro návrhovou činnost v oblasti vodního hospodářství. Simuluje komplexní systém povodí a z hydrologických jevů zohledňuje vlhkost půdy, evapotranspiraci, průtok podzemní vody a průtok v korytě s časovým krokem větším než 1 den. Jedná se o deterministický koncepční lumped model s měsíčním krokem výpočtu.



Obr. 1: Software Runoff Prophet

Výpočet je založen na jednoduchých bilančních srážko-odtokových rovnicích (Wang et al. 2013) zahrnujících několik kalibračních koeficientů. K jejich optimalizaci je využívána upravená metoda diferenciální evoluce s koeficientem účinnosti modelu Nash-Sutcliffe (NS) jako kalibračním kritériem. Software pracuje ve třech základních výpočetních blocích – Lokalizace, Kalibrace a Predikce.

Celému postupu předchází vložení vstupních dat uživatelem, a to jak těch pro kalibraci, tak těch pro následnou predikci. Jedná se o klimatická a hydrologická data vztažená k zájmové oblasti, konkrétně o řady průměrné měsíční teploty vzduchu, měsíčního úhrnu srážek a průměrných měsíčních průtoků.

Pro sledované povodí musí být nejprve provedena lokalizace, tedy udání jeho plochy a polohy využitých meteorologických stanic. Následuje výběr způsobu výpočtu evapotranspirace (Thornthwaite nebo Blaney-Criddle) a nastavení parametrů diferenciální evoluce. Poté je možné přejít k samotné kalibraci, jejíž úspěšnost je určena hodnotou kritéria NS.

Obr. 2: Nastavení kalibrace

Když je model pro konkrétní povodí nakalibrován, je na základě vložených klimatických dat provedena predikce. Jednou z mnoha možností, jak tato data získat, je statistický downscaling prostřednictvím generátoru počasí LARS-WG (Semenov 2002). Ten umožňuje na základě analýzy charakteristik posloupností pozorovaných meteorologických veličin generovat syntetické řady pro budoucí období podle implementovaných scénářů vývoje klimatu.

3 Praktická aplikace

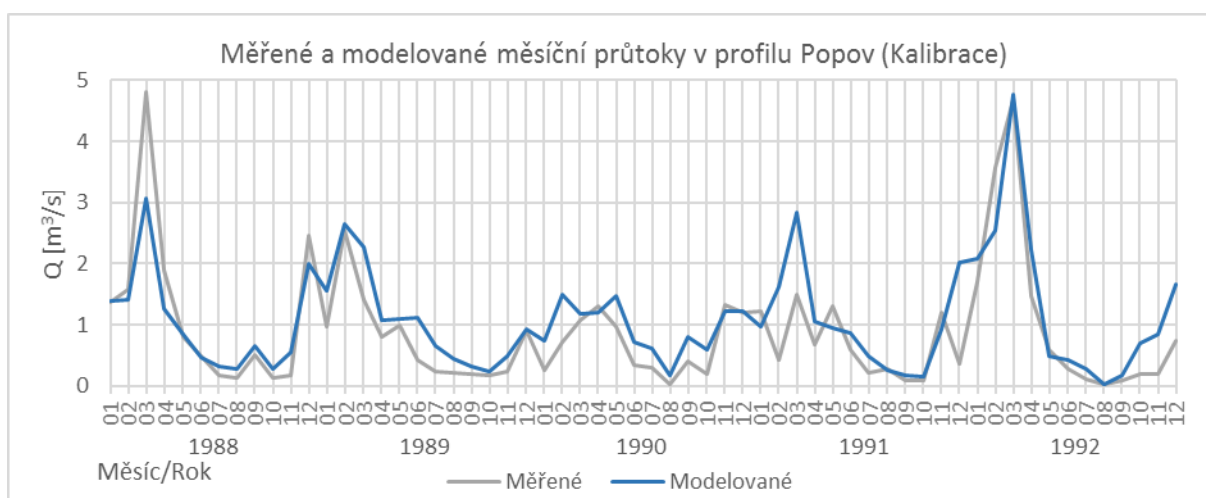
V rámci příspěvku je prezentována praktická aplikace softwaru Runoff Prophet na povodí o ploše 169,82 km² vztaženému k profilu Popov na řece Vláře (část povodí III. Řádu 4-21-08). Zájmové území bylo zvoleno s ohledem na případnou možnost využití výsledků k podpůrným výpočtům pro projekt výstavby vodní nádrže Vlachovice, jejíž studie bude dokončena v roce 2019 (Povodí Moravy, s.p. 2018).

Cílem aplikace byla prognóza průměrných měsíčních průtoků v profilu Popov podle klimatických scénářů RCP 2.6, RCP 4.5 a RCP 8.5 (IPCC 2013) z modelu HadGEM2-ES, implementovaného v generátoru počasí LARS-WG. Jako způsob výpočtu evapotranspirace, vstupující do srážko-odtokových rovnic, byla zvolena metoda Thornthwaite. Byly zadány výchozí parametry diferenciální evoluce a horní hranice kalibračních koeficientů.

Kalibrace a validace

Soubor vstupních dat pro kalibraci byl poskytnut ČHMÚ a obsahoval řadu průměrných měsíčních průtoků v profilu Popov, průměrné měsíční teploty vzduchu ze stanice Vizovice a měsíčních úhrnů srážek ze stanice Slavičín. Meteorologické stanice byly vybrány s ohledem na svou polohu v rámci zájmového území, délku měření a výsledky předběžné analýzy odpovídajících si extrémů. Vhodná délka kalibrační a validační řady byla zvolena na základě porovnání výsledků kritéria NS kalibrace modelu. Jako nejvhodnější byla vyhodnocena kombinace 40leté řady pro kalibraci (leden 1978 až prosinec 2017) a 15leté pro validaci (leden 1963 až prosinec 1977). Validační soubor byl zvolen tak, aby tvořil cca 30 % z celkového objemu dat.

Hodnota kritéria NS dosáhla při kalibraci Runoff Prophet 0,66, což odpovídá dobré účinnosti modelu (Moriassi et al. 2007). Na Obr. 3 vidíme výřez srovnání historické řady průměrných měsíčních průtoků a modelované řady po kalibraci. Při validaci bylo dosaženo hodnoty NS 0,55 a je tedy možné prohlásit, že model uspokojivě vystihuje srážko-odtokový proces v zájmovém povodí.



Obr. 3: Měřené a modelované průtoky v profilu Popov (Kalibrace) – výřez řady

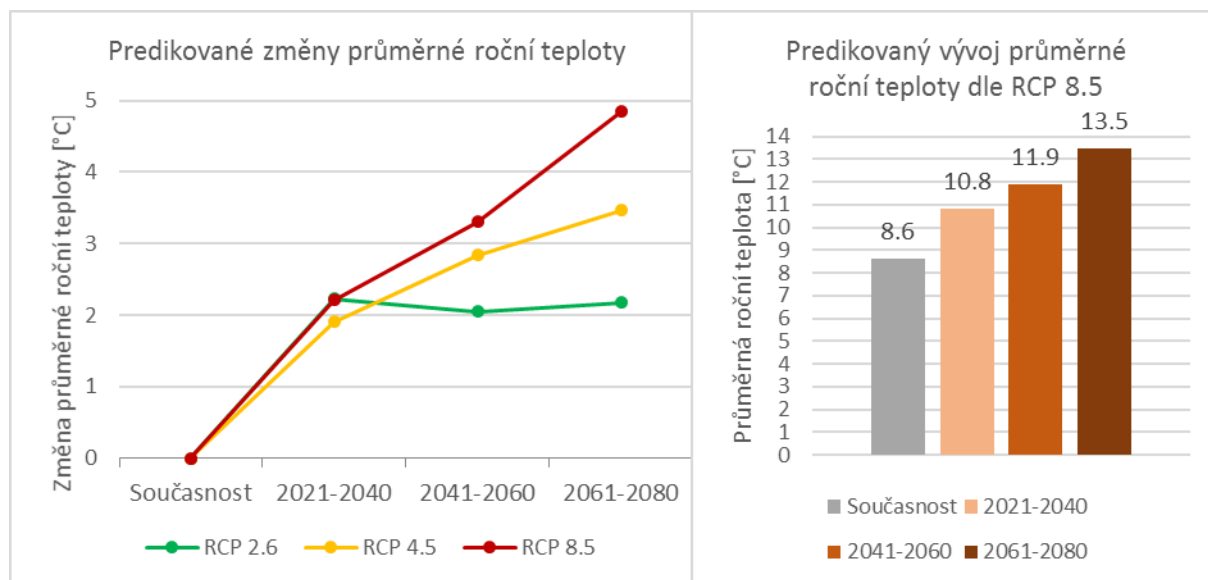
Predikce

Vstupními daty pro predikci průtoků v profilu Popov byly 100leté syntetické řady průměrné měsíční teploty a měsíčního úhrnu srážek, získané použitím LARS-WG. Řady byly generovány pro čtyři období, kde první úsek (Baseline) představuje současnost a členění dalších je následující: I. období mezi lety 2021-2040, nazvané též jako blízká budoucnost, II. období 2041-2060, čili střední budoucnost, a III. období zastupující vzdálenou budoucnost mezi lety 2061-2080.

Výsledkem predikce prostřednictvím Runoff Prophet byly řady průměrných měsíčních průtoků pro Baseline, období I, II a III. Pro správnou interpretaci výsledků bylo nutné provést u výsledných dat korekci na Baseline. Byla použita jednoduchá metoda, využívající k opravě dat poměr mezi průměrným dlouhodobým průtokem řady reálné a syntetické. Analogickým procesem prošly před interpretací i predikované měsíční řady teploty a úhrnů srážek.

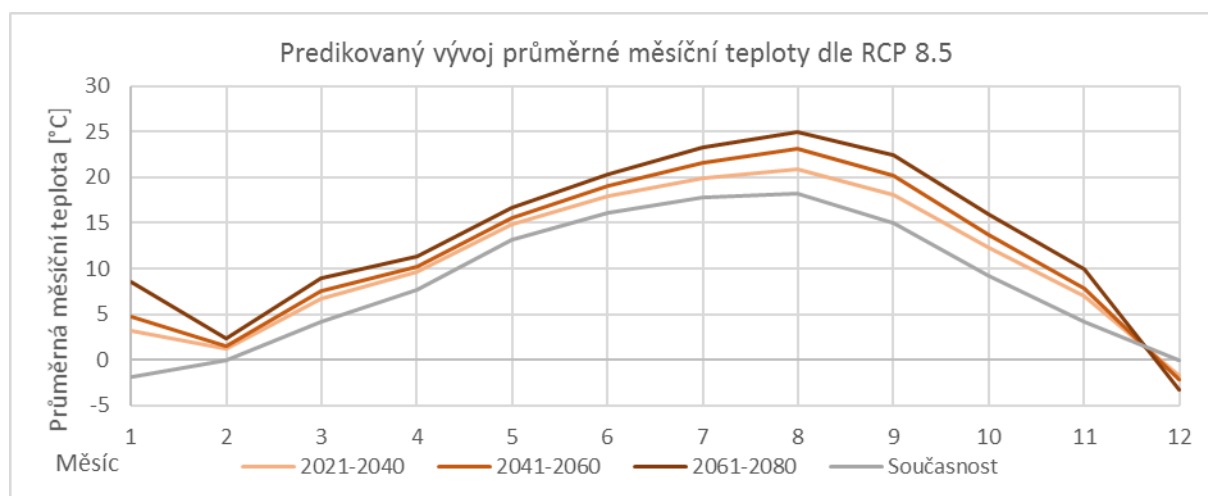
4 Výsledky

Aby byla interpretace výsledků ucelená, byla nejprve vyhodnocena klimatická data predikovaná pro zájmové území pomocí LARS-WG. Pro tři scénáře ve třech budoucích obdobích byla vypočtena průměrná roční teplota vzduchu a průměrný roční úhrn srážek. Vyhodnocovány byly také měsíční průměry pro „pesimistický“ scénář RCP 8.5.



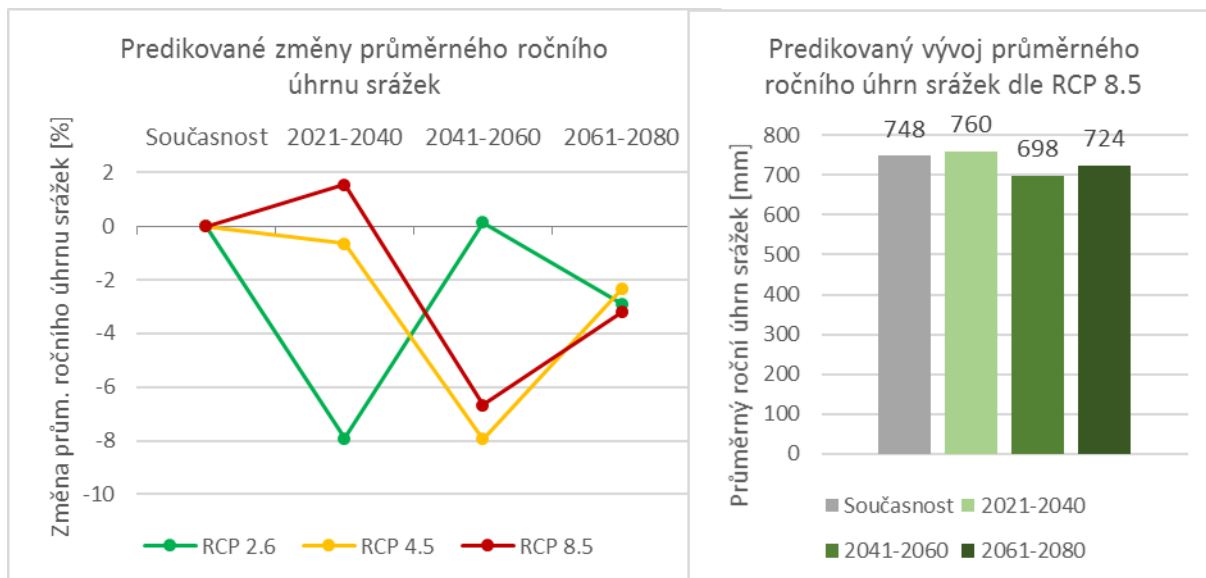
Obr. 4: Predikovaný vývoj průměrné roční teploty vzduchu

V současné době, kterou reprezentuje kalibrační řada, odpovídá průměrná roční teplota na zájmovém území 8,6 °C. Podle všech klimatických scénářů bude docházet k jejímu zvyšování (Obr. 4), ve vzdálené budoucnosti o 2 až 5 °C. Prognóza „pesimistického“ scénáře RCP 8.5 ukazuje v období 2061-2080 nárůst průměrné teploty na 13,5 °C. Na Obr. 5 vidíme, že chod teploty v roce zůstane v budoucnu podobný jako dnes, postupně se ale posune k vyšším hodnotám. Výraznější změny nastanou v zimních měsících – do roku 2080 se v prosinci se výrazně ochladí (-3,2 °C) a v lednu oteplí (+10,4 °C).



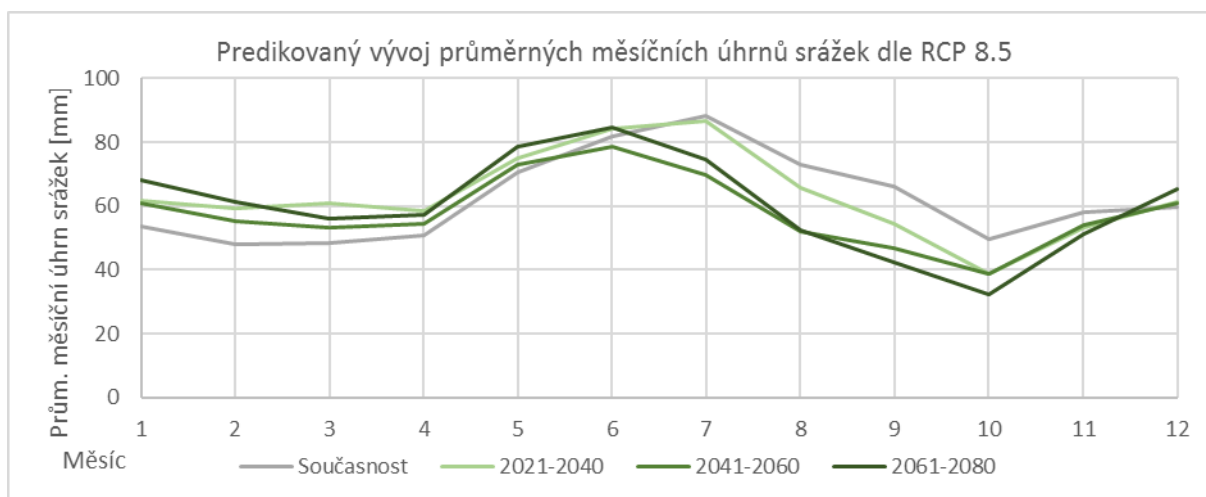
Obr. 5: Predikovaný vývoj průměrné měsíční teploty vzduchu

Z Obr. 6 je patrné, že průměrný roční úhrn srážek bude kolísat v řádu několika procent kolem své současné hodnoty. Všechny tři scénáře se shodují v prognóze pro vzdálenou budoucnost, a to na poklesu o 2 až 4 % oproti dnešku. Dle RCP 8.5 bude roční úhrn kolísat v rozpětí +1,6 % do -6,7 % oproti současným 748 mm.



Obr. 6: Predikovaný vývoj průměrného ročního úhrnu srážek

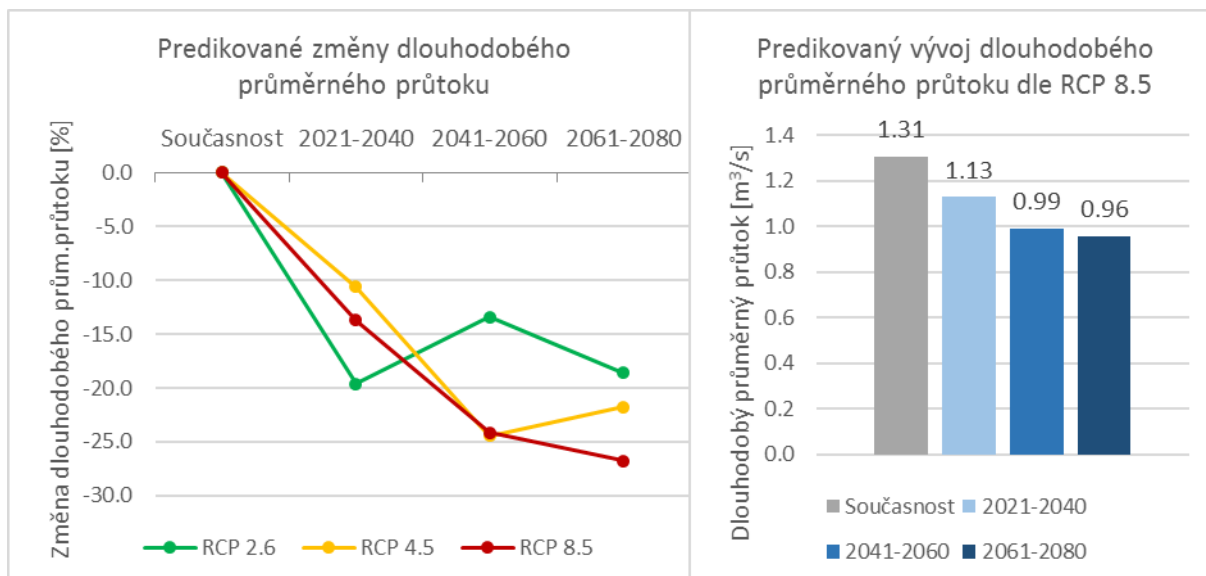
Ze srovnání průměrných úhrnů srážek pro jednotlivé měsíce v roce dle RCP 8.5 (Obr. 7) je vidět, že v období prosinec-červen budou úhrny srážek ve vzdálené budoucnosti vyšší než dnes, od července do listopadu budou naopak klesat. Největší nárůst je patrný v únoru (+28 %), největší pokles v září (-36 %).



Obr. 7: Predikovaný vývoj průměrného měsíčního úhrnu srážek

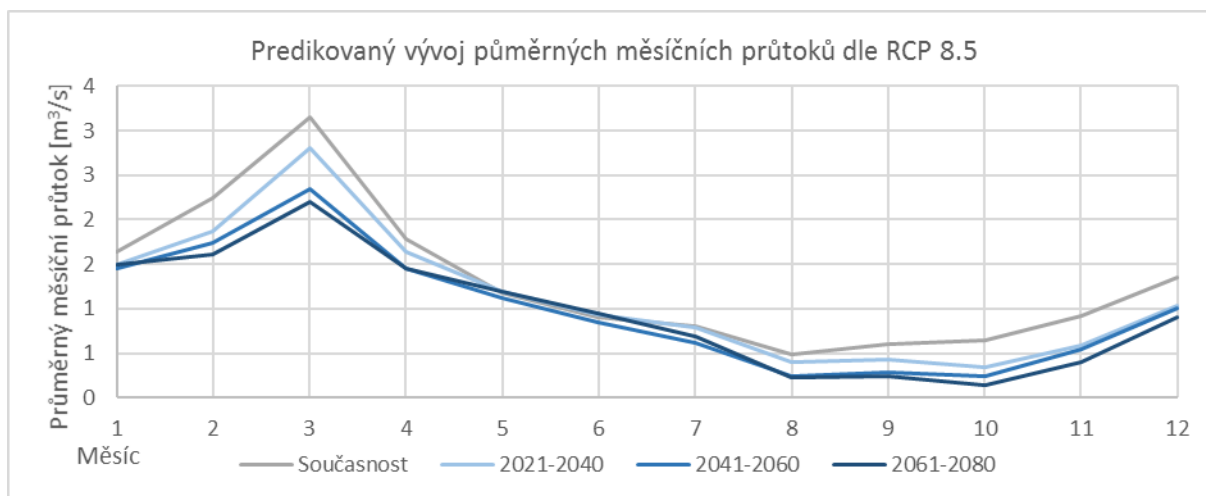
Řady průtoků, simulované pro budoucí období prostřednictvím Runoff Prophet, byly vyhodnoceny z hlediska dlouhodobého průměrného průtoku pro všechny použité scénáře a průměrných měsíčních průtoků pro RCP 8.5.

Dlouhodobý průměrný průtok v blízké budoucnosti poklesne podle všech RCP o nejméně 10 % (Obr. 8). Ve střední budoucnosti budou průtoky oproti dnešku nižší o cca 15 až 25 %. Vzdálená budoucnost ukazuje snížení hodnoty Q_a o 18,6 % pro scénář RCP 2.6, o 21,8 % pro RCP 4.5 a o 26,8 % pro nejpessimističtější RCP 8.5, což by znamenalo pokles z 1,31 na 0,96 m³/s.



Obr. 8: Predikovaný vývoj dlouhodobého průměrného průtoku

Na Obr. 9 můžeme porovnat současné průměrné průtoky pro jednotlivé měsíce v roce s průtoky predikovanými na základě scénáře RCP 8.5 pro budoucí období. Nejmenší změny vidíme v měsících květnu a červnu, kdy v období I. a III. dochází dokonce k nárůstu oproti současným hodnotám. Ve zbytku roku dochází k postupnému poklesu, nejvýraznějšímu v podzimních měsících – v říjnu se ve vzdálené budoucnosti dočkáme snížení vodnosti o 78,3 % oproti současnosti.



Obr. 9: Predikovaný vývoj průměrného měsíčního průtoku

5 Diskuze

Konkurenceschopnost Runoff Prophet

Software Runoff Prophet byl během praktické aplikace otestován s dobrým výsledkem kritéria NS při kalibraci i validaci. Otázkou ale zůstává, jestli dosažený výsledek obstojí v konkurenci ostatních hydrologických modelů. Softwarem, jehož srovnání se nabízí, je poměrně známý a o poznání složitější koncepční model Bilan Výzkumného ústavu vodohospodářského. V časopise VTEI byl zveřejněn článek (Máca et al. 2016), vyhodnocující mimo jiné kalibraci Bilanu na 53 povodích z Generelu LAPV. Úspěšnost kalibrace byla určena kritériem Nash-Sutcliffe, jehož hodnoty se nacházely v intervalu od 0,03 do 0,75. Průměrná hodnota NS byla rovna 0,48, 50 % povodí bylo nakalibrováno

s hodnotami mezi 0,38-0,59, u 25 % povodí byl NS v intervalu 0,59-0,75. Při aplikaci Runoff Prophet na zájmovém povodí bylo při kalibraci dosaženo NS 0,66, což odpovídá horním 25 % výsledků dosažených pomocí modelu Bilan. Aby však bylo možné tyto dva softwary prokazatelně porovnat, bylo by nutné provést rozsáhlé testování Runoff Prophet na dostatečně velkém vzorku povodí.

Zjednodušujícím předpokladem práce s Runoff Prophet je fakt, že nezohledňuje budoucí změny ve fungování srážko-odtokového procesu v povodí. Nepočítá například se změnami vegetačního pokryvu, plochy zástavby v povodí, land use a dalšími. Model je nakalibrován na „průměrné“ charakteristiky povodí za minulé období a s těmito charakteristikami počítá i do budoucna. Na tuto skutečnost je třeba brát zřetel při interpretaci získaných výsledků.

Program Runoff Prophet bude dále vyvíjen a zdokonalován. Bude také provedeno jeho testování na vybraných typových povodích a zavedení nejistot, vyplývajících z použití nástrojů pro predikci klimatu.

Důvěryhodnost predikovaných klimatických dat

Protože kvalita vstupů je při použití Runoff Prophet klíčová, bylo třeba ověřit důvěryhodnost klimatických dat získaných pomocí generátoru počasí LARS-WG. Výsledky byly porovnány s údaji pro zájmovou lokalitu poskytovanými Ústavem výzkumu globální změny AV ČR (CzechGlobe 2018), získanými z totožného klimatického modelu (HadGEM) s využitím scénářů RCP pro období I a II.

V Tab. 1 vidíme, že výsledky v tomto článku se shodují se závěry CzechGlobe s výjimkou RCP 2.6 v I. období a RCP 4.5 ve II. období, které LARS-WG poněkud nadhodnotil.

Tab. 1: Srovnání predikované průměrné roční teploty pro zájmové povodí [°C]

| | 2021-2040 | | | 2041-2060 | | |
|------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| CzechGlobe | 9.1-10 | 9.1-11 | 9.1-11 | 9.1-11 | 9.1-11 | 10.1-12 |
| LARS-WG | 10.8 | 10.5 | 10.8 | 10.7 | 11.5 | 11.9 |

Co se týče průběhu teploty v roce, byla v Tab. 2 porovnána predikovaná průměrná letní teplota. Ze srovnání je patrné, že výsledky tohoto článku se dobře shodují se závěry CzechGlobe. Jedinou výjimkou je scénář RCP 2.6, který letní teplotu v I. období nepatrně nadhodnotil.

Tab. 2: Srovnání predikované průměrné letní teploty pro zájmové povodí [°C]

| | 2021-2040 | | | 2041-2060 | | |
|------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 | RCP 2.6 | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| CzechGlobe | 18.1-20 | 18.1-21 | 19.1-20 | 19.1-20 | 19.1-21 | 20.1-22 |
| LARS-WG | 20.1 | 19.6 | 19.7 | 19.5 | 20.4 | 21.1 |

Dalším prvkem pro porovnání je průměrný roční úhrn srážek. CzechGlobe predikuje v období I. i II. pro všechny scénáře stejný rozptyl, a to 701-800 mm. Do tohoto rozmezí spadají všechny výsledky z LARS-WG kromě mírně podhodnocených RCP 2.6 v období I (689 mm) a RCP 4.5 ve II. období (689 mm). Srovnáme-li výsledky průměrného letního úhrnu srážek, trefuje se LARS-WG ve všech scénářích/obdobích do rozmezí CzechGlobe 201-250 mm.

Z porovnání predikovaných klimatických dat z LARS-WG a CzechGlobe vyplývá, že pro RCP 2.6 v období I a RCP 4.5 dochází k nadhodnocení průměrných ročních teplot a podhodnocení průměrného ročního úhrnu srážek. Na tuto skutečnost je třeba brát ohled při dalším využití a interpretaci výsledků simulovaných průtoků pro příslušný scénář/období.

Shrnutí výsledků

Výsledné průtokové řady, získané využitím Runoff Prophet, lze využít jako vstup pro další aplikace nebo na jejich základě v kombinaci s predikovanými klimatickými daty provést jednoduché zhodnocení. V rámci příspěvku bude provedeno takové zhodnocení pro „pesimistický scénář“ RCP 8.5 v období 2061-2080.

Vliv predikované změny klimatu na hydrologickou situaci v povodí profilu Popov můžeme shrnout následovně. Bylo zjištěno, že průměrný roční úhrn srážek zůstane podobný jako v současné době (-3,2 %), ale dojde k přerozdělení srážek během roku. V období prosinec-červen budou průměrné měsíční úhrny srážek vyšší (průměrně +15 %), ve zbytku roku výrazně nižší (průměrně -25 %). Když nebudeme brát v úvahu denní klimatická data, tedy například počet dnů se srážkami a bez nich, výsledky mohou vyznívat tak, že jejich vliv na hydrologickou situaci bude spíše pozitivní. Při vyhodnocení je ale třeba brát v úvahu i další predikované ukazatele. Průměrná roční teplota vzduchu se do roku 2080 zvýší o 4,9 °C. Z toho můžeme usuzovat, že dojde k výraznému nárůstu výparu, a tedy i k rychlejšímu úbytku vody z povodí. Oteplí se všech měsíců kromě prosince, který také zůstane jediným zimním měsícem s průměrnou teplotou v záporných číslech. Prosincový úhrn srážek se ale zvýší pouze o 10 % oproti současnosti. Vzhledem k tomu bude zřejmě omezeno doplňování zásob podzemní vody z pomalého tání sněhové pokrývky. Na základě obou předpovídaných klimatických prvků lze předpokládat, že vliv změny klimatu na vodnosti toků bude spíše negativní. Tento předpoklad potvrzují výsledky aplikace softwaru Runoff Prophet, podle kterých dojde ke snížení průměrného ročního průtoku o téměř 27 %. V měsíčních průměrech zaznamenáváme nepatrný nárůst v květnu (+1,9 %) a červnu (+5,4 %), ve zbytku roku ale průtoky výrazně klesají pod hranici současných dlouhodobých normálů. Největší pokles nastane v období srpen-listopad, a to v každém měsíci o více než 50 %. Pokud predikované měsíční průtoky porovnáme se současnou hranicí sucha v profilu Popov, vidíme nárůst průměrného počtu měsíců v roce s průtokem pod ní z 0,15 na 2,9. V současné době se tedy některý z měsíců dostane pod hranici Q355d v průměru jednou za více než šest let, v budoucnu můžeme očekávat dva až tři „suché“ měsíce v roce.

6 Závěr

V příspěvku byl představen software Runoff Prophet, koncepční srážko-odtokový model, umožňující dlouhodobé hydrologické prognózy v podmínkách změn klimatu. Byla předvedena praktická aplikace modelu na povodí nad profilem Popov a provedeno jednoduché zhodnocení predikovaného klimatu a hydrologického režimu. Z výsledků vyplývá, že na zájmovém území dojde podle scénáře RCP 8.5 do roku 2080 k významnému oteplení, průměrný roční úhrn srážek zůstane podobný jako dnes, ale dlouhodobý průměrný průtok v profilu Popov poklesne o téměř 27 %.

Runoff Prophet se prokázal jako účinný nástroj k modelování srážko-odtokového procesu s dobrými výsledky při kalibraci. S jeho pomocí lze poměrně jednoduchým a rychlým způsobem vyhodnocovat dlouhodobé hydrologické bilance nebo odhadovat budoucí zásoby vody ve vodních nádržích, a to bez nutnosti náročného popisu vlastností povodí. Další výhodou modelu je jeho otevřenost v požadavcích na vstupní klimatická data pro predikci. Ta mohou být získána libovolnou metodou, ať už downscalingem z globálních klimatických modelů, použitím modelu regionálního nebo třeba vytvořením vlastního scénáře vývoje klimatu.

7 Literatura

CzechGlobe (Ústav výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.), 2018. *Klimatická změna* [online] Brno [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://www.klimatickazmena.cz>

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

Knoppová, K., 2018. *Srážko-odtokový proces v podmínkách klimatické změny*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Daniel MARTON.

Knoppová K. a D. Marton, 2018. Srážko-odtokový model pro dlouhodobé prognózy v podmínkách klimatické změny. In: *Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Hospodaření s vodou v krajině, Třeboň 21. – 22. 6. 2018*. Brno: ČHMÚ. ISBN 978-80-87361-83-2.

Máca, P., P. Bašta, R. Kožín a M. Hanel, 2016. Využití geomorfologických charakteristik pro odhad celkové retence povodí. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 58(6) str. 54–57. ISSN 0322-8916

Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.D. Harmel a T.L. Veith, 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE* [online]. American society of agricultural and biological engineers, 50(3), 16 s. [cit. 2018-10-08]. ISSN 0001–2351. Dostupné z: <http://swat.tamu.edu/media/90109/moriasimodelevel.pdf>

MŽP, 2015. *Národní akční plán adaptace na změnu klimatu: Implementační dokument Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* [online]. MŽP [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK-NAP_text_20170127.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-NAP_text_20170127.pdf)

Nemec, J., 1993. *Comparison and selection of existing hydrological models for the simulation of the dynamic water balance processes in basins of different sizes and on different scales*. Lelystad: Secretariaat CHR/KHR. ISBN 90-70980-16-9.

Povodí Moravy, 2018. *VD VLACHOVICE* [online]. Brno: Povodí Moravy, s.p. [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://vdvlachovice.pmo.cz/>

Semenov, M.A. a E.M. Barrow. *LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies: Developed by Mikhail A. Semenov - Version 3.0 - User Manual* [online]. Rothamsted Research, 2002 [cit. 2018-10-08]. Dostupné z: <http://resources.rothamsted.ac.uk/sites/default/files/groups/mas-models/download/LARS-WG-Manual.pdf>

Wang, G.Q., J.Y. Zhang, Y.Q. Xuan et al., 2013. Simulating the Impact of Climate Change on Runoff in a Typical River Catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrometeorology* [online]. 2013 [cit. 2018-10-08]. DOI: 0.1007/s00704-015-1467-1. ISSN 1525-7541. Dostupné z: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM-D-12-081.1>

8 Abstract

The aim of this paper is to present the conceptual rainfall-runoff model Runoff Prophet, which is eligible to simulate discharge under climate change in a closing profile of any river basin. Within the paper, developed software was tested on river catchment above stream gauging station Popov on Vlára river (Moravia region, Czech Republic).

Prognosis was made using HadGEM2-ES climate model outputs for IPCC scenarios RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5. Results were evaluated from viewpoints of predicted air temperature, precipitation and discharge characteristics. The outcomes for selected climate scenario RCP 8.5 showed, that The Popov basin will warm up significantly, mean annual rainfall will maintain very similar to current values, but long-term average river discharge will decrease by nearly 27% until year 2080.

During practical application, Runoff Prophet proved itself as an effective tool for rainfall-runoff process modelling with long-term prognosis purposes. In practice, it could be used for example for predictions of changes in hydrological balance of the landscape or for estimations of future water supplies in reservoirs when assessing the current ones as well as designing the new ones.

Nonnegligible benefits of using Runoff Prophet as rainfall-runoff model for hydrological impact studies is no need of basin geographic characteristics specification and openness in requirements for predicted climate data source.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci specifického výzkumu FAST-S-18-5341 „Propagace nejistot změny klimatu v hydrologických a vodohospodářských aplikacích“.