VLIV KLIMATICKÉ ZMĚNY NA POVODŇOVÝ REŽIM

Jan Daňhelka[1], Jakub Krejčí [2], Tomáš Vlasák[1]

Abstrakt

Potenciální dopady klimatické změny na povodňový režim jsou poměrně často prezentovány jako riziko zvýšení četnosti a velikosti ničivých povodní, avšak toto tvrzení není podepřeno výsledky výzkumu. Proto je zkoumán vliv různých scénářů změny klimatu (emisní scénáře A2, A1B, B1, různé cirkulační modely) na území ČR na odtok v povodí Otavy, horní Vltavy, Jizery, Orlice a Bečvy se zaměřením na extrémní povodňové průtoky.
Metodika používá stochastický generátor počasí pro vytvoření syntetických 1000letých řad denních úhrnů srážek, maximální a minimální teploty vzduchu na povodí. Další distribuce meteorologických vstupů v ploše je řešena metodou výběru analogů, náhodným výběrem analogů je provedena i distribuce srážek na krok 6 h.
Příspěvek prezentuje první předběžné výsledky vyhodnocení dopadů očekávaných klimatických změn na povodně ve zkoumaných povodích.

Klíčová slova: povodně, změna klimatu, ČR

1. Úvod

Zvýšený výskyt povodní a tedy zvýšení míry povodňového rizika je jedním z často předpokládaných důsledků očekávaných klimatických změn. Tento teoretický předpoklad však dosud ve střední Evropě odbornými studiemi nebyl prokázán. Existující studie jsou často velmi problematické z hlediska použité metodiky, kdy není provedeno dostatečné ověření relevance simulovaných klimatických řad pro referenční období, což je zejména v případě srážek naprosto nezbytné a vede k zamítnutí použití některých globálních (GCM) i regionálních (RCM) klimatických modelů. Právě odchylky a nepřesnosti v simulovaném klimatu musí být korigovány pomocí downscalingu za použití pozorovaných dat. Pokud uvedené kroky nejsou provedeny, dojde velmi pravděpodobně ke změnám poměru jednotlivých složek v hydrologické bilanci, což se projeví v nereprezentativnosti dosažených výsledků. Často jsou rovněž charakteristiky povodňového režimu odvozovány ze simulací o délce 30 let, což je pro spolehlivý odhad hodnoty Q_{100} nedostatečné období (pravděpodobnost výskytu 100leté povodně ve 30leté řadě je pouze 26 %). Přitom velkou citlivost na délku simulované řady a použitou metodu přípravy vstupních dat pro hydrologické modelování prokázali například Daňhelka a kol. (2009).
Ačkoliv v případě minimálních průtoků, nebo hodnoty průměrného průtoku jsou výsledky dosažené různými metodami většinou velmi podobné, u vyhodnocení povodní je zvolená metodika, která dostatečně zohlední nejen vliv příčinných meteorologických vstupů, ale například i funkci nasycenosti povodí, naprosto zásadní. Příkladem sporné použité metodiky jsou studie JRC (např. Bavera a kol. 2010).
Tento příspěvek představuje průběžné výsledky řešení grantového projektu SP/1a6/108/07.

2. Data a metodika

Klimatické scénáře pro území ČR byly zpracovány v rámci řešení grantového projektu SP/1a6/108/07 (Pretel a kol. 2009). Využity byly dostupné výstupy GCM a RCM z mezinárodních projektů a dále byl zpracován regionální klimatický model ALADIN-CLIMATE/CZ. Uvažována byla tři období (2010-2039; 2040-2069; 2070-2099) a tři emisní scénáře (A2, A1B, B1). Na základě vyhodnocení úspěšnosti simulace referenčního klimatu

na území ČR (převzato z Pretel a kol. 2009) byly vybrány nejúspěšnější modely (MIROC3_2_M; MPI_ECHAM5; UKMO_HADCM3; ALADIN-CLIMATE/CZ) a také střed ansámblu osmi nejúspěšnějších hodnocených GCM modelů (dále označován jako MED).

Pro zjištění citlivosti povodí na změnu klimatických vstupů byly jako protiváha vytvořeny také tři scénáře reprezentující chladnější období (1861 až 1890), a to na základě vyhodnocení měsíčních změn průměrné teploty vzduchu a srážek ve stanici Praha - Klementinum (scénáře označeny jako CHLAD).

Pro uvedené scénáře odlišných klimatických podmínek byly vyhodnoceny očekávané měsíční změny teploty vzduchu, množství srážek a jejich časové distribuce vůči referenčnímu období 1961-1991). Do referenčního období byly navíc přidány dva povodňové měsíce (červenec 1997 a srpen 2002) tak, aby byly v souboru pro downscaling pomocí stochastického generátoru k dispozici relevantní extrémní události. V obou případech přitom i přes extremitu příčinných srážek, nešlo o události, které by se vymykaly v porovnání s historií (i chladnějšími obdobími).

Na základě pozorovaných dat byly vytvořeny řady průměrných denních srážek (MAP) a průměrné teploty vzduchu přepočtené na nadmořskou výšku 500 m pomocí odvozeného vertikálního gradientu teploty vzduchu v daném dni. Na základě takto zpracovaných dat a měsíčních změn klimatických charakteristik z použitých scénářů byly pro vybraná zkoumaná povodí stochastickým generátorem LARS-WG (Semenov, 2008) vytvořeny syntetické 1000leté řady denních hodnot maximální denní teploty vzduchu, minimální denní teploty vzduchu a denního srážkového úhrnu odpovídající výše uvedeným scénářům. Zpracována byla rovněž 1000letá řada odpovídající referenčnímu klimatu, vůči níž budou nadále dosažené výsledky vztahovány.

Modelování hydrologické odezvy na řídící klimatické proměnné bylo řešeno za použití hydrologického modelovacího systému AquaLog, který je v české části povodí mimo jiné používán v operativní předpovědní praxi. Systém obsahuje komponenty (modely) pro simulaci jednotlivých částí hydrologického cyklu v povodí. Pro simulaci akumulace a tání sněhové pokrývky je využíván model SNOW17 (NWS, 2010), který kombinuje metodu teplotního indexu v bezesrážkovém období se zjednodušenou energetickou bilancí tání sněhu při výskytu dešťových srážek. Srážko-odtokový vztah je řešen modelem SAC-SMA (NWS, 2010), uvažujícím různé zóny půdního profilu a tak různé typy odtoku z daných zón. Transformace průtoku v korytě a při rozlivech v údolní nivě je řešena rovnicí Muskingum-Cunge (v uvedených povodích nedochází k masivním inundacím, které by vyžadovaly simulaci pomocí plně hydraulických modelů).

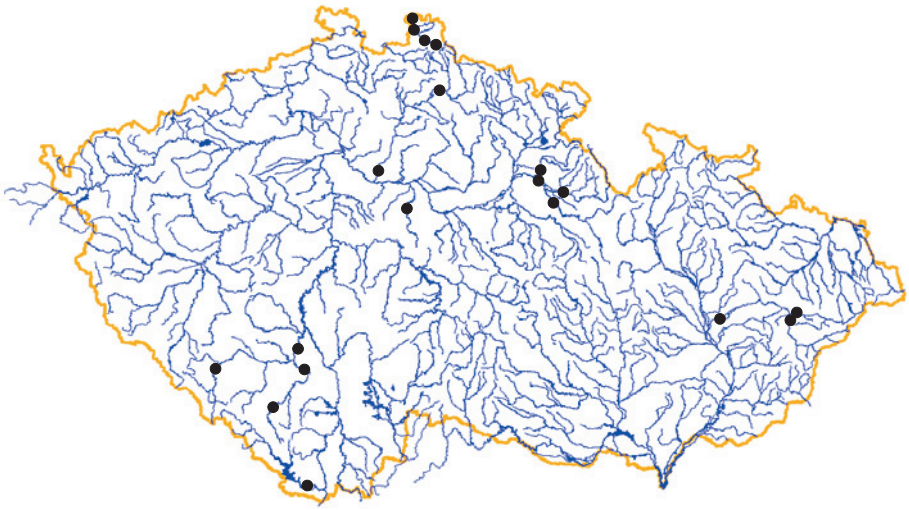
Pro potřeby simulací byly upraveny parametry jednotlivých modelů s cílem, nejen dosáhnout dobré shody simulovaného a pozorovaného odtoku v kalibračním a verifikačním období 2000-2008, ale rovněž co nejvěrněji vystihnout hydrologickou bilanci včetně míry evapotranspirace.

Následně byly provedeny simulace ve výpočetním kroku 6h o délce 1 000 let. Přitom plošný rozpočet byl realizován upravenou metodikou Schaake shuffle (Clark a kol. 2004, Pretel a kol. 2007) na základě náhodného výběru historických analogů, tedy situací s podobným celkovým srážkovým úhrnem MAP. Pro účely podrobnějšího hydrologického modelování pak bylo přistoupeno rovněž k náhodnému rozdělení srážek do 6h intervalů na základě výběru historických analogů, nebo dříve odvozeného třístupňového náhodného generátoru (Pretel a kol. 2007). Předběžné výsledky prezentované v tomto příspěvku vycházejí z agregovaných denních průtoků.

Pro simulace byla vybrána následující povodí: Orlice po Týniště nad Orlicí (1 554 km^2), Výrovky po Plaňany (265 km^2), Jizery po Předměřice (2 159 km^2), Vltavy po VD Lipno (948 km^2), Otavy po Písek (2 914 km^2), Smědé po Předlánce a Bečvy po Dluhonice.

3. Výsledky

Ze simulovaných řad byly připraveny řady ročních maximálních průtoků ve vybraných vodoměrných stanicích pro 1 referenční řadu, 28 scénářů klimatické změny a 3 scénáře chladnějšího klimatu. Z ročních maxim byly zkonstruovány jejich empirické křivky překročení průtoku a ty byly dále hodnoceny.
Hodnocení bylo provedeno pro profily uvedené na obrázku 1.



Obr. 1: Vybrané hodnocené profily: Divoká Orlice - Kostelec nad Orlicí, Tichá Orlice - Čermná nad Orlicí, Orlice - Týniště nad Orlicí, Dědina – Mitrov, Jizera – Železný Brod, Jizera – Předměřice, Výrovka – Plaňany, Vltava – Lipno, Otava- Sušice, Blanice – Podedvory, Blanice – Heřmaň, Otava – Písek, Smědá – Bílý Potok, Smědá – Frýdlant, Smědá – Višňová, Smědá – Předlánce, Rožnovská Bečva – Valašské Meziříčí, Vsetínská Bečva – Jarcová, Bečva – Dluhonice.

Předběžné výsledky ukazují, že předpokládaná reakce povodňového režimu na změněné klimatické podmínky se výrazně liší v závislosti na použitém řídícím klimatickém scénáři. Zatímco scénáře založené na modelu ECHAM všeobecně pro všechny zkoumané časové periody udávaly snížení velikosti povodňových průtoků, scénáře vycházející z modelu MIRO odhadovaly naopak většinou významné zvýšení rizika povodní.
Z předběžného vyhodnocení se zdá, že zásadní vliv na simulovaný povodňový režim, zejména v oblasti větších dob opakování průtoků, má množství srážek předpokládané v letním období. Právě model MIRO v létě předpokládá výrazné zvýšení srážkových úhrnů, což je v rozporu s všeobecnými předpoklady a s výsledky většiny ostatních modelů. Proto lze předpokládat, že jeho výsledky nejsou věrohodné a je možné je vyloučit a to přesto, že simulace referenčního klimatu tímto modelem byla poměrně úspěšná.

Za asi nejrelevantnější variantu lze pravděpodobně považovat střed ansámblu (MED). V jejím případě je zřetelný pokles povodňového rizika u pozdějších časových horizontů, zatímco pro nejbližší časové období (do roku 2039) simulace předpokládají spíše nárůst povodňových průtoků.

Použití dat z regionálního modelu ALADIN-CLIMATE/CZ poskytlo pro jednotlivá povodí relativně největší rozptyl simulovaných hodnot Q_{20} a Q_{100}. Přitom i v jeho případě je zřetelný pokles velikosti povodní směrem ke vzdálenějším simulovaným časovým obdobím.

Za zmínku stojí i fakt, že chladnější varianty klimatu (CHLAD) většinou udávaly vyšší průtoky ve srovnání s referenčním klimatem a to v celém rozsahu křivky překročení. V oblasti menších dob opakování se tak pravděpodobně projevily větší jarní povodně v důsledku většího množství akumulované sněhové pokrývky v těchto simulovaných variantách.

Celkově pak lze říci, že referenční simulace ve všech případech byla blízká středu rozptylu ansámblu všech provedených simulací. Na základě výsledků je obtížné stanovit jednoznačný trend, avšak většina simulací, zejména scénář A1B, ukazuje spíše pokles velikosti povodní pro vzdálenější časové horizonty, zatímco pro nejbližší simulované období (do roku 2039) jsou získané signály nejednoznačné a objevují se vyhodnocených profilech jak nárůsty, tak také poklesy velikosti povodní. Pouze u emisního scénáře A2 převládá nárůst směrem k pozdějšímu období.
Simulované rozdíly jsou vůči referenčnímu scénáři většinou velmi malé, průměrná změna dosahuje do +/- 5 %. Lze předpokládat, že určitá nejednoznačnost trendu jde na vrub antagonistickému působení vlivu srážek (méně časté, ale extrémnější) a menšího průměrného počátečního nasycení půdy (v důsledku vyšší potenciální evapotranspirace a delšího období výskytu suchých epizod v letním půlroce).

Tab. 1: Vyhodnocení změny velikosti 20letého průtoku pro vybrané simulované varianty emisního scénáře A1B.

Q20	scénář	CHLAD	MED	MED	MED	ALAD	ALAD	ALAD
	období		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
tok	profil							
Jizera	Předměřice	1.22	1.11	0.97	0.86	1.09	1.01	0.75
Jizera	Železný Brod	1.24	1.13	1.03	0.94	1.07	1.04	0.77
Tichá Orlice	Čermná	1.12	0.90	0.83	0.74	0.96	1.04	0.76
Divoká Orlice	Kostelec	1.14	1.00	0.90	0.85	1.07	1.01	0.81
Dědina	Mitrov	1.03	1.08	0.90	0.77	1.13	1.19	0.86
Orlice	Týniště	1.05	0.96	0.92	0.88	1.02	1.05	0.87
Blanice	Heřmaň	0.96	1.09	1.03	0.95	0.93	0.95	0.82
Otava	Písek	0.97	1.08	1.03	0.93	0.97	0.96	0.77
Blanice	Podedvory	0.98	1.08	0.99	0.94	1.01	1.06	0.87
Otava	Sušice	1.07	0.99	0.89	0.80	1.06	0.98	0.77
Vltava	Lipno	1.02	1.10	1.04	1.01	1.15	1.11	0.87
Výrovka	Plaňany	1.15	0.99	0.88	0.78	1.09	1.28	1.04
Rožnovská Bečva	Valašské Meziříčí	0.99	1.04	0.98	0.86	1.11	1.39	0.97
Vsetínská Bečva	Jarcová	1.07	1.04	0.97	0.91	1.08	1.26	0.95
Bečva	Dluhonice	1.11	1.10	0.98	0.89	1.06	1.24	0.91
Smědá	Frýdlant	0.94	1.02	0.84	0.77	1.32	1.20	0.72
Smědá	Bílý Potok	1.06	1.07	0.90	0.86	1.20	1.01	0.77
Smědá	Višňová	0.92	1.02	0.82	0.76	1.46	1.22	0.73
Smědá	Předlánce	0.90	0.99	0.82	0.76	1.50	1.21	0.72

Tab. 2: Vyhodnocení změny velikosti 100letého průtoku pro vybrané simulované varianty emisního scénáře A1B.

Q100	scénář	CHLAD	MED	MED	MED	ALAD	ALAD	ALAD
	období		2010-2039	2040-2069	2070-2099	2010-2039	2040-2069	2070-2099
tok	profil							
Jizera	Předměřice	1.27	1.09	0.95	0.87	1.49	1.57	1.11
Jizera	Železný Brod	1.20	1.15	0.91	0.84	1.51	1.69	1.18
Tichá Orlice	Čermná	1.21	0.91	0.83	0.78	1.15	1.01	0.80
Divoká Orlice	Kostelec	1.28	1.06	0.96	0.83	1.07	1.01	0.77
Dědina	Mitrov	0.87	1.15	0.84	0.68	1.14	1.44	1.14
Orlice	Týniště	1.10	1.07	0.95	0.91	1.05	1.07	0.89
Blanice	Heřmaň	0.96	1.01	0.95	0.87	1.14	0.92	0.86
Otava	Písek	0.94	1.04	0.90	0.74	1.20	1.01	0.88
Blanice	Podedvory	1.04	1.12	1.02	0.93	1.11	1.05	0.94
Otava	Sušice	1.00	1.01	0.88	0.75	1.24	0.97	0.81
Vltava	Lipno	1.05	1.22	1.14	1.03	1.17	0.98	0.90
Výrovka	Plaňany	1.12	0.99	0.87	0.77	1.14	1.55	1.10
Rožnovská Bečva	Valašské Meziříčí	1.12	1.19	0.99	0.93	1.55	1.41	1.08
Vsetínská Bečva	Jarcová	1.10	1.25	0.99	0.87	1.31	1.43	1.02
Bečva	Dluhonice	1.07	1.17	1.01	0.93	1.21	1.26	0.94
Smědá	Frýdlant	0.93	1.28	1.00	0.92	1.41	1.06	0.76
Smědá	Bílý Potok	0.97	1.14	0.95	0.91	1.27	1.00	0.73
Smědá	Višňová	0.91	1.24	0.96	0.99	1.42	1.04	0.72
Smědá	Předlánce	0.90	1.23	0.95	0.96	1.36	1.01	0.70

4. Diskuze a závěr

Prezentované výsledky jsou pouze předběžné. Velký vliv na finální výsledky může mít zejména distribuce srážek v rámci dne při jednotlivých simulovaných povodních. Vzhledem k stochastickému prvku při jejich generování je nezbytné podrobnější vícenásobné simulování možných variant konkrétních událostí, které je plánováno v dalším průběhu řešení této problematiky.

Z prezentovaných výsledků však zatím není zřejmý žádný jednoznačný trend změn ve velikosti povodní v budoucím období 21. století. Lze se však domnívat, že případný dopad klimatických změn na povodňový režim ve střední Evropě nebude znamenat zásadní zhoršení situace ve smyslu nárůstu hodnoty Q_{100} v řádech desítek procent, ale že půjde spíše o mírnější změny.

Z hlediska adaptačních opatření může být pravděpodobným vhodným opatřením například při odvození návrhových průtoků se započtením možného vlivu klimatických změn spíše snížení spolehlivosti daných údajů než jejich oprava pomocí násobících koeficientů.

Literatura

[1] BAVERA, D. – ROJAS MUJICA, R. – FEYEN, L., 2010. On the robustness of flood hazard assessment in a changing climate for Europe, EGU2010-12480, EGU 2010 General Assembly, Vienna.

[2] CLARK, M. – GANGOPADHYAY, S. – HAY, L. – RAJAGOPALAN, B. – WILBY, R., 2004. The Schaake Shuffle: A Method for Reconstructing Space–Time Variability in Forecasted Precipitation and Temperature Fields, Journal of Hydrometeorology 2004; 5, pp 243-262.

[3] DANHELKA, J. – KREJCI, J. – VLASAK, T., 2009. Modeling Floods under Climate Change Condition in Otava River, Czech Republic: A Time Scale Issue, EGU2009-7071, EGU 2009 General Assembly, Vienna.

[4] NWS, 2010 NWSRFS User Manual Documentation, dostupné na <http://www.nws.noaa.gov/oh/hrl/nwsrfs/users_manual/htm/xrfsdocpdf.php>

[5] PRETEL, J. A KOL., 2007. Závěrečná práva o řešení projektu v roce 2007, Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, ČHMÚ, Praha.

[6] PRETEL, J. A KOL., 2009. Závěrečná práva o řešení projektu v roce 2009, Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, ČHMÚ, Praha.

[7] SEMENOV, M. A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, Clim Res, 11, pp 203-212.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav, e-mail: danhelka@chmi.cz, vlasak@chmi.cz z

2 AquaLogic, e-mail: j.krejci@aqualogic.cz