

ZMENA NÁVRHOVÝCH PRIETOKOV VO VYBRANÝCH POVODIACH NA SLOVENSKU V BUDÚCICH DESAŤROČIACH

Peter Rončák, Kamila Hlavčová, Silvia Kohnová, Ján Szolgay

Práca sa zaoberá odhadom vplyvu zmeny klímy na hydrologický režim tokov vo vybraných povodiach Slovenska, s dôrazom na vybrané prvky hydrologickej bilancie, celkový odtok z povodia a návrhové prietoky. Zmenené podmienky klímy charakterizované najmä zmenou zrážok, teploty vzduchu a potenciálnej evapotranspirácie v budúcich desaťročiach boli simulované podľa najnovších výstupov dvoch regionálnych modelov zmeny klímy KNMI a MPI a emisného scenára A1B. Charakteristiky hydrologického režimu za predpokladu uvedených scenárov boli modelované zrážkovo-odtokovým modelom parametrizovaným pre vybrané povodia v dennom kroku do roku 2100. Zmeny celkového odtoku a jeho zložiek, maximálnych priemerných denných prietokov, ako aj zmeny pôdnej vlhkosti a aktuálnej evapotranspirácie v porovnaní so súčasným stavom potvrdzujú predpoklad nárastu extrémov hydrologického režimu v obdobiach sucha aj povodňových udalostí.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: scenáre zmeny klímy, hydrologická bilancia, odtok, návrhové prietoky, distribuovaný zrážkovo-odtokový model WetSpa

CHANGES IN DESIGN DISCHARGES IN SELECTED CATCHMENTS IN SLOVAKIA IN FUTURE DECADES. The work deals with estimation of the impact of climate change on the hydrological regime in the selected catchments of Slovakia, with emphasis on the selected characteristics of hydrological regime, catchment runoff and design discharges. Changed climate conditions characterized in particular by the change in precipitation, air temperature and potential evapotranspiration in the future decades were predicted according to the latest outputs of the 2 regional climate change models KNMI and MPI and the A1B emission scenario. The hydrological regime characteristics, assuming these scenarios, were simulated by the rainfall-runoff model parameterized for the selected river basins in a daily step by 2100. Changes in the total runoff and its components, the maximum and design discharges, as well as changes in the soil moisture and the actual evapotranspiration, compared to the current state, confirm the assumption of an increase in extremes of hydrological regime during periods of drought and flood events.

KEY WORDS: the climate change scenarios, hydrologic balance, maximum design discharges, distributed rainfall-runoff WetSpa model

Úvod

Zmena životného prostredia (vrátane zmeny klímy a zmeny využitia územia) a jej vplyv na vodné zdroje je aktuálnou témou v posledných rokoch. Priame či nepriame dôsledky týchto zmien na hydrologický režim prispeli nepochybne k problémom ako sucha a nedostatok vody, alebo čoraz častejšie vyskytujúce sa bleskové povodne. Zmena klímy vyvolaná rastúcou koncentráciou skleníkových plynov v atmosfére môže mať vplyv na hydrologický cyklus a dostupnosť ľudí k vode,

a preto ovplyvňuje poľnohospodárstvo, lesníctvo a ďalšie priemyselné odvetvia (Rind a kol., 1992). Zmeny v hydrologickom cykle môžu spôsobovať v niektorých oblastiach väčší výskyt povodní, v iných naopak môžu prevládať suchá, s čím súvisí zvýšený tlak na dodávky vody a zavlažovacie systémy. Preto je dôležitá schopnosť odhadnúť možný vplyv zmeny klímy na vodné zdroje a rozvíjať stratégie udržateľnosti. Jednou z výziev v predpovedaní hydrologickej odozvy ovplyvnenou klimatickou zmenou je otázka hydrologickej nestacionarity (Milly a kol., 2008). Existuje mnoho faktorov, ktoré

môžu ovplyvňovať hydrologickú stacionaritu. Medzi nich patrí napríklad reakcia vegetácie na zvýšené CO₂, zmeny vo využívaní pôdy a zmeny zrážkových charakteristík. Je teda dôležité lepšie pochopenie vplyvu nestacionarity na hydrologické hodnotenie zmeny klímy. Možnosti odhadnúť alebo predpovedať budúci vývoj procesov na povodí sú značne obmedzené aj napriek tomu, že existuje množstvo rôzne zložitých a presných hydrologických modelov, databázy údajov o klimatických, geologických, hydrologických a ďalších prvkoch a charakteristikách, vyspelé technické prostriedky na ich získavanie a spracovávanie a rôzne metódy na zohľadnenie vybraných činiteľov vplyvujúcich na študovaný proces či zmenu. Nie je pochybnosť o tom, že globálne alebo lokálne zmeny vo využívaní územia a zmeny v klimatických podmienkach majú odozvu v hydrologických procesoch, problémom však zostáva, ako čo najlepšie odhadnúť, do akej miery a akým spôsobom sa tieto zmeny prejavujú v hydrologickom systéme, ktorý samotný je veľmi variabilný.

Zrážkovo-odtokové modely sú často používané ako nástroj na posúdenie vplyvov zmeny klímy a využitia územia na hydrologický cyklus. Kým pri modelovaní zmeny klímy sa môžu uplatniť najmä koncepčné zrážkovo-odtokové modely, pri simulácii vplyvu zmeny využitia územia na priebeh odtoku v povodí sú potrebné modely s priestorovo-rozčlenenými parametrami.

Distribúované hydrologické modely (modely s priestorovo rozčlenenými parametrami) zohľadňujú priestorovú variabilitu atmosférických procesov a fyzicko-geografických vlastností povodí, ktoré riadia zrážkovo-odtokové procesy. Tieto modely sú založené na fyzikálnom popise zrážkovo-odtokových procesov a snažia sa rešpektovať zákony zachovania hmoty, hybnosti a energie (Kulhavý, Kolář, 2000). Fyzikálne založené distribúované hydrologické modely sú schopné priamo používať geopriestorové informácie. Intenzívny vývoj počítačových programov podporuje schopnosť využívania bohatého obsahu informácií opisujúcich fyzicko-geografické vlastnosti krajiny. Základom pre presnú hydrologickú prognózu je dôležitý aj prístup k relevantným údajom o zrážkach a povrchových vlastnostiach povodia, ktoré transformujú zrážky na odtok. Fyzikálne založené distribúované modely sú neustále rozvíjajúcim sa nástrojom v oblasti hydrológie, najmä v oblastiach protipovodňovej ochrany, či odhadu dôsledkov zmeny klímy a využitia krajiny na odtokové procesy (Vieux, 2004).

Hlavnou výhodou fyzikálne orientovaných modelov s priestorovo rozčlenenými parametrami je v porovnaní s inými druhmi zrážkovo-odtokových hydrologických modelov schopnosť opísať priestorovú heterogenitu antropogénnych vplyvov a zmeny priestorových parametrov pre rôzne spôsoby využívania územia (Beven, 2001).

K fyzikálne založeným distribúovaným modelom, simulujúcim priestorovú hydrologickú odozvu povodia a vplyv klimatickej zmeny ako aj zmeny vo využívaní krajiny na odtokové procesy, patria napríklad WetSpa

(Rončák et al., 2014, 2016; Valent et al., 2015, 2016), HEC-HMS (Jeníček, 2009; Šraj a kol., 2010), FRIER (Hlavčová a kol., 2007, 2009; Horvát, 2009), TOPMODEL (Kostka a Holko, 2001).

Tento článok nadväzuje na skôr publikované práce zaoberajúce sa podobnou tematikou, v ktorých boli použité viaceré staršie výstupy globálnych, ako aj regionálnych modelov a scenárov zmeny klímy, či rôzne koncepčné alebo distribuované hydrologické modely (Hlavčová a kol., 2008, 2015; Štefunková a kol., 2013).

Materiál a metódy

Fyzikálne založený zrážkovo-odtokový model - WetSpa

Na simuláciu odtoku a prvkov hydrologickej bilancie bol použitý hydrologický zrážkovo-odtokový fyzikálne založený model WetSpa. Fyzikálne založený zrážkovo-odtokový model WetSpa bol vyvinutý (Wang et al., 1996) na simuláciu a predpoveď prenosu vody a energie medzi pôdou, rastlinstvom a atmosférou (*Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere - WetSpa*) v regionálnej mierke alebo mierke povodia. Model sa môže použiť aj na simuláciu a predpoveď tvorby povodní a zrážkovo-odtokových udalostí. Povodie je v modeli rozdelené štvorcovou sieťou na rovnomerné priestorové jednotky, v ktorých sa počíta hydrologická bilancia a z ktorých sa simuluje pohyb vody do záverečného profilu povodia.

Model WetSpa disponuje 2 typmi parametrov. Fyzikálne orientované parametre modelu nepodliehajú kalibrácii a sú odvodené zo základných priestorových vrstiev alebo metódami mapovej algebry a geografickými analýzami v GIS. Základné mapové vrstvy sú DEM, využitie územia a pôdne druhy. Nástroje na spracovanie fyzikálnych parametrov sú v programe ArcGIS vytvorené v programovacom jazyku Python. Globálne parametre modelu sú v modeli kalibrované na základe prístupu Shuffled Complex Evolution – University of Arizona (SCE-UA) (Duan a kol., 1993).

Cieľom kalibrácie zrážkovo-odtokového modelu WetSpa bolo pre každé vybrané povodie určiť globálne parametre modelu, pri použití ktorých bude dosiahnutá najlepšia zhoda medzi meranými a simulovanými priemernými dennými prietokmi v záverečnom profile povodia. V modeli je použitých 12 globálnych parametrov, ktoré je nutné kalibrovať. Keďže sme disponovali hydrometeorologickými údajmi za obdobie 1981 – 2010, rozhodli sme sa toto ho rozdeliť rovnomerne na kalibračné a validačné. Kalibračné obdobie predstavuje rozpätie rokov 1981 – 1995, na validáciu parametrov modelu bolo v tomto prípade zvolené obdobie 1996 – 2010. Ako kritérium zhody v tejto práci bol zvolený koeficient Nash – Sutcliffe.

Príprava scenárov klimatickej zmeny

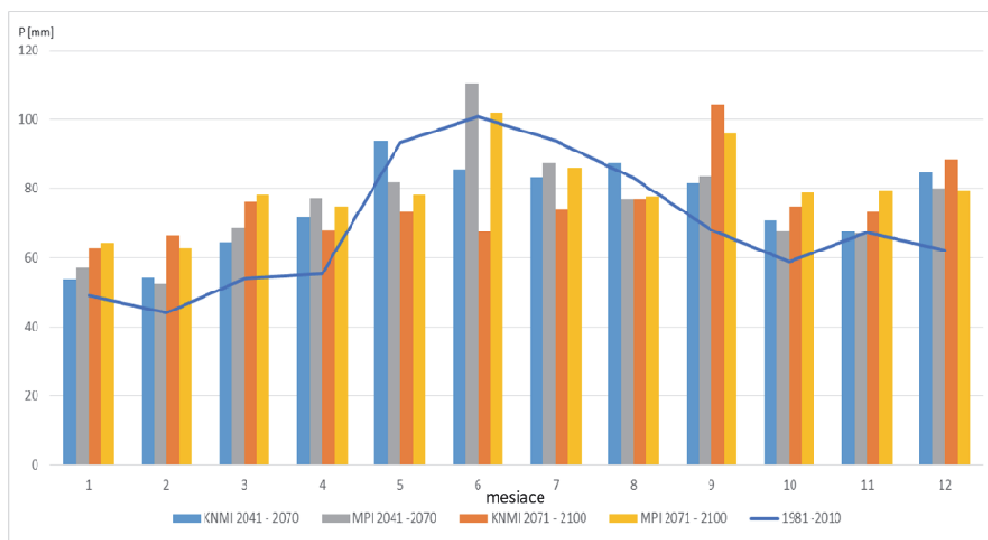
Najnovšie scenáre zmeny klímy pre územie Slovenska boli na základe výstupov z klimatických modelov atmosféry spracované na Katedre astronómie, fyziky Zeme

a meteorológie FMFI UK (Lapin a kol., 2012).

Pre túto prácu boli použité regionálne modely KNMI a MPI (Lapin, 2006), ktoré predstavujú detailnejšiu integráciu dynamických rovníc atmosférickej a oceánickej cirkulácie v sieti uzlových bodov vo vzdialenosti 25x25 km, pričom okrajové podmienky riešenia rovníc preberajú z výstupov globálneho modelu ECHAM5 a so stredného emisného scenára SRES A1B. V priestore Slovenska majú modely KNMI a MPI až 19x10 uzlových bodov (190) a celkom reálnu orografiu s dobrým

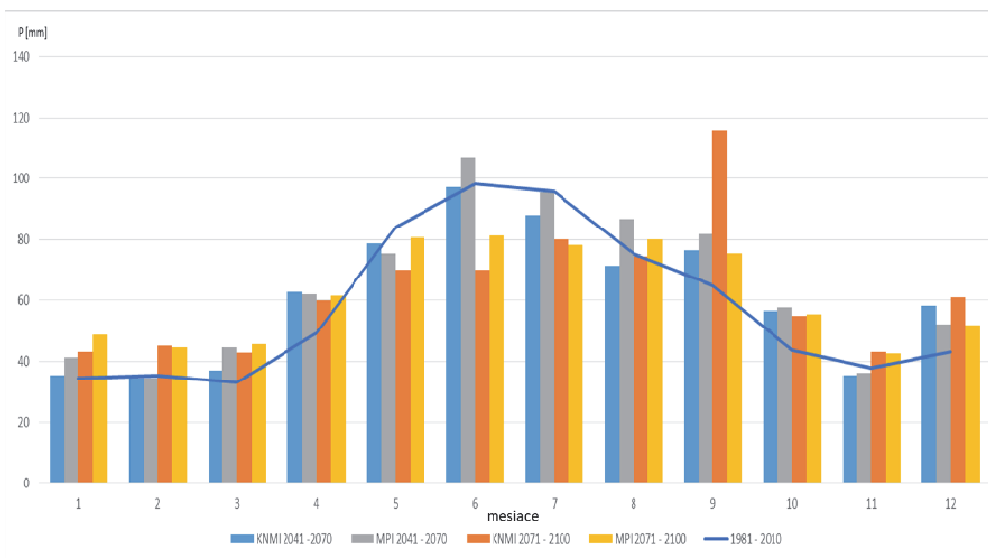
vyjadrením všetkých pohorí s väčším horizontálnym rozmerom ako 25 km.

Použitie zrážkovo-odtokového modelu pri zmenených klimatických podmienkach bolo aplikované na 5 povodí: Hron - Banská Bystrica, Laborec – Humenné, Topľa – Hanušovce nad Topľou, Turiec – Martin, Váh – Liptovský Mikuláš. K dispozícii sme mali hydrologické a klimatické údaje v dennom časovom kroku za obdobie 1981 – 2010. V tomto článku uvádzame výsledky simulácie odtoku na povodiach Hrona a Tople.



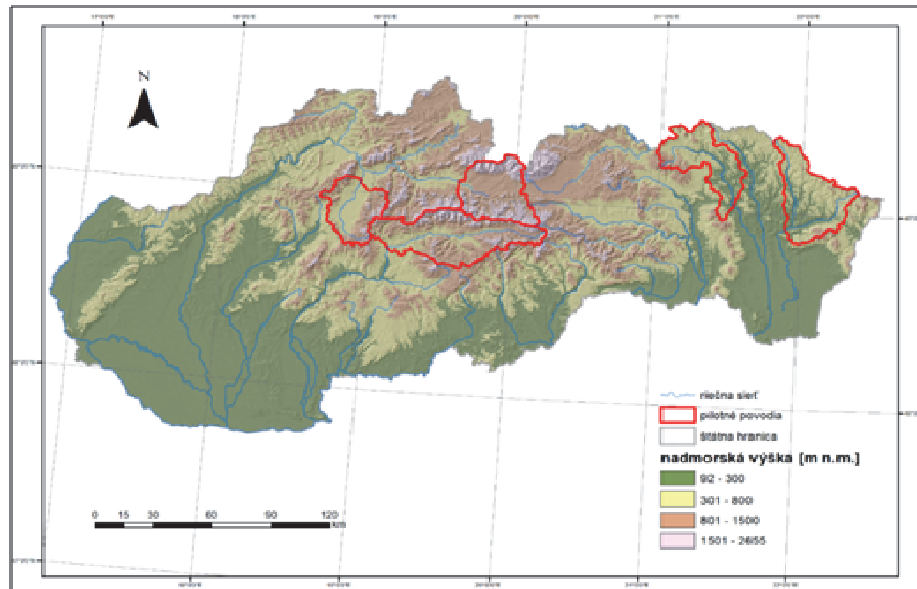
Obr. 1. Dlhodobé priemerné mesačné hodnoty úhrnov zrážok referenčného obdobia a pre budúce desaťročia podľa scenárov KNMI a MPI v povodí rieky Hron.

Fig. 1. Long-term mean monthly values of precipitation in the reference period and in the future horizons in the Hron River basin.



Obr. 2. Dlhodobé priemerné mesačné hodnoty úhrnov zrážok referenčného obdobia a pre budúce desaťročia podľa scenárov KNMI a MPI v povodí rieky Topľa.

Fig. 2. Long-term mean monthly values of precipitation in the reference period and in the future horizons in the Topľa River basin.



Obr. 3. Lokalizácia vybraných povodi na Slovensku.

Fig. 3. Location of the selected river basins.

Určenie N-ročných hodnôt ročných maximálnych priemerných denných prietokov z reálnych pozorovaní a modelovaných pomocou scenárových vstupov sme vykonali postupmi, ktoré sa odporúčajú použiť pri analýzach extrémnych hodnôt hydrologických prvkov v SRN (DVWK (1999)). Tento postup je založený na možnosti používať široký výber teoretických rozdelení pravdepodobnosti a metód odhadu ich parametrov pričom navrhuje štatistický test, ktorý umožňuje rozhodnúť o ich výbere.

Pravdepodobnosť prekročenia pri konštrukcii empirickej čiary prekročenia sa v tejto metodike určuje podľa vzťahu Cunnane (1988):

$$P = \frac{m - 0,4}{n + 0,2} \quad (1)$$

kde n je počet rokov pozorovaní a m je poradové číslo zostupne zoradených hodnôt analyzovaného radu. Pre odhad parametrov teoretického rozdelenia pravdepodobnosti boli použité nasledovné metódy:

- metóda momentov (MOM),
- metóda maximálnej vierohodnosti (ML),
- metóda pravdepodobnosťou vážených momentov (PWM).

Následne boli testované tieto zákony rozdelenia pravdepodobnosti: Gumbelove rozdelenia (EV1 a EV2), generalizované extrémálne rozdelenie (GEV), Rossiho rozdelenie (ME), 3-parametrické logaritmicke – normálne rozdelenie (LN3), 3-parametrické rozdelenie Pearsona (P3), 3-parametrické rozdelenie logPearson (LP3), 3-parametrické rozdelenie Weibulla (WB3).

Z uvedených zákonov rozdelenia pravdepodobnosti boli v každej stanici testom vybrané tri najvhodnejšie typy rozdelení na základe postupu, ktorý sa navrhuje v metodike DVWK (1999). Ako kritérium výberu bol používaný zmiešaný test, pri ktorom sa minimalizuje vzťah:

$$D + n\overline{\sigma}^2 + (1 - r_p^2) \quad (2)$$

kde D je hodnota maximálnych pravdepodobnostných rozdielov medzi empirickým rozdelením a vybraným teoretickým rozdelením (Kolmogorov-Smirnov test), hodnota $(n\overline{\sigma}^2)$ je odvodená zo sumy kvadratických odchýlok medzi empirickým rozdelením hodnôt a vybraným rozdelením a určí sa podľa vzťahu:

$$n\overline{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n [F(x_i) - P_i]^2 + \frac{1}{12n} \quad (3)$$

pričom

$$P_i = \frac{i - 0,5}{n} \quad (4)$$

kde x_i sú zostupne zoradené hodnoty prietokov, $i=1,2,\dots,n$, i je poradové číslo prvku x_i , F je vybrané teoretické rozdelenie pravdepodobnosti prekročenia, r_p predstavuje korelačný koeficient medzi zoradenými hodnotami a im zodpovedajúcimi kvantilami rozdelenia.

Podrobnejší popis pozri DVWK (1999), resp. Kluge (1996).

Výsledky a diskusia

Uvedené dva klimatické scenáre KNMI a MPI vyjadrujú pravdepodobný interval budúceho vývoja klímy na Slovensku v súvislosti so zmenami skleníkového efektu atmosféry. Je potrebné zdôrazniť, že pri raste teploty vzduchu vo vegetačnom období o 1 °C je potrebný na vyrovnanú vodnú bilanciu aj rast ročného úhrnu zrážok asi o 100 mm. Ak je rast úhrnov zrážok menší, tak dochádza k poklesu pôdnej vlhkosti na nížinách a k poklesu odtoku v horských polohách. Vodnú bilanciu môže komplikovať aj zmenený režim zrážkových úhrnov, zmenšený počet dní so zrážkami a rast počtu dní s intenzívnymi zrážkami tiež znižuje pôdnu vlhkosť aj pri raste celkových úhrnov zrážok. V súvislosti s otepľovaním klímy sa budú adekvátne meniť aj iné klimatické prvky, pričom zmeny úhrnov zrážok majú (podobne ako doteraz) najväčšie neistoty.

Simulácia odtoku pre vybrané povodia bola robená v dennom kroku na kalibrovaných parametroch z obdobia 1981 – 1995. Celkové zmeny odtoku boli následne vyhodnotené k časovým horizontom 2055 a 2085. Tieto časové horizonty reprezentujú 30 ročné obdobia, pričom roky 2055 a 2085 predstavujú stred týchto časových období.

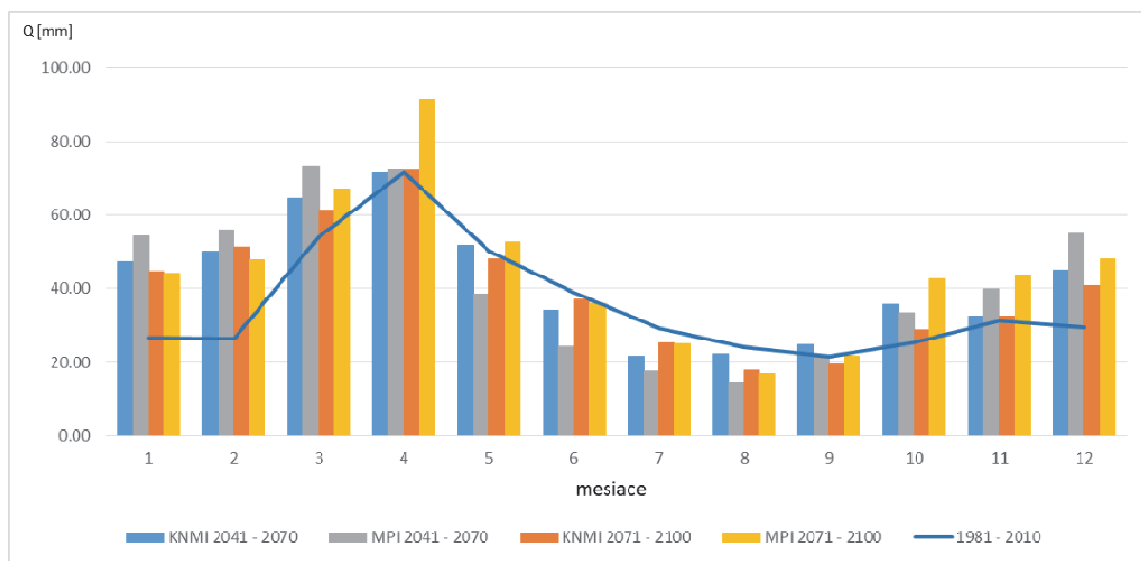
Pri tvorbe hydrologických scenárov odtoku v budúcich časových horizontoch boli zrážkovo-odtokovým modelom WetSpa s rozčlenenými parametrami nasimulované priemerné denné prietoky za týchto podmienok: zrážkové a klimatické vstupy do modelu tvorili podľa klimatických scenárov modifikované denné úhrny zrážok a priemerné denné teploty vzduchu v jednotlivých staniaciach. Denné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie

boli vypočítané metódou Blaney – Criddle podľa scenárových hodnôt priemernej dennej teploty vzduchu.

Zo simulovaných priemerných denných prietokov v záverečných profiloch jednotlivých povodií pre obdobie 2041 – 2100 boli vypočítané dlhodobé priemerné mesačné prietoky v budúcich časových horizontoch. Tieto boli následne porovnané s dlhodobými priemernými mesačnými prietokmi referenčného obdobia (1981 – 2010). Na jednotlivých obrázkoch (obr. 4 a 5) je znázornené porovnanie dlhodobého priemerného ročného odtoku (v mm). V príspevku sme taktiež porovnávali aj potenciálnu evapotranspiráciu (tab. 1).

Zo zhodnotenia scenárov dlhodobých priemerných prietokov v budúcich desaťročiach a ich porovnaní s referenčným obdobím 1981 – 2010 vyplýva, že v budúcnosti možno na modelovaných povodiach očakávať zmenu režimu priemerných mesačných prietokov. Taktiež možno badať nárast v dlhodobých priemerných ročných odtokoch. Mierne zvýšenie dlhodobých priemerných ročných hodnôt prietokov súvisí priamo úmerne s narastajúcim časovým horizontom, v dôsledku zvyšujúceho sa úhrnu zrážok v budúcnosti.

Povodie Hrona (obr. 4) bude zrejme charakteristické zvýšením priemerných mesačných prietokov najmä v zimných mesiacoch. Toto bude platiť pre oba scenáre a horizonty. V mesiacoch január a február môže prietok dosiahnuť v poslednom horizonte, podľa scenára KNMI, až 100% zvýšenie. Opačným spôsobom bude reagovať odtok na klimatickú zmenu v letných mesiacoch. Podľa scenára KNMI v mesiacoch máj až august dôjde k postupnému poklesu priemerných mesačných prietokov o -2 až -40%. Obdobnú situáciu možno očakávať aj podľa klimatického scenára MPI.



Obr. 4. Porovnanie dlhodobých priemerných mesačných prietokov medzi referenčným obdobím a budúcimi časovými horizontami podľa scenárov KNMI a MPI v povodí Hron – Banská Bystrica.

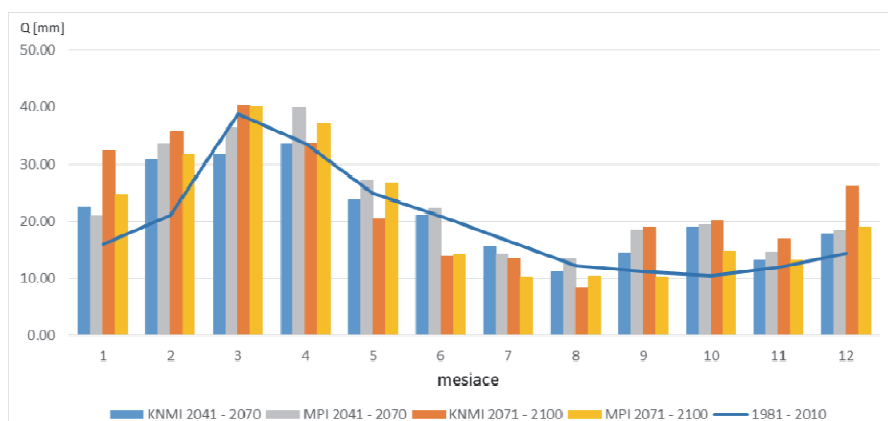
Fig. 4. Comparison of the long-term mean monthly runoff between the reference period and the climate change scenarios (KNMI and MPI) in the Hron River basin.

V jesennom období sa dá očakávať nárast odtoku v oboch scenároch pri porovnaní s hodnotami prietoku v referenčnom období so súčasnými podmienkami klímy.

Východnú časť Slovenska reprezentujú povodia Laborec – Humenné a Topľa – Hanušovce. Spoločným znakom pre obe povodia, až na malé výnimky, je pokles odtoku v mesiacoch marec až august. Maximálne nárasty dlhodobých priemerných mesačných prietokov, v povodí Laborca, sa môžu vyskytovať najmä v mesiaci január (podľa scenára KNMI o 14 až 63 %, podľa MPI do 45 %). Pre vegetačné obdobie bude typický pokles

odtoku v oboch povodiach. Podľa scenára MPI v povodí Laborec možno očakávať úbytok odtoku až do – 45 %. V podobnom duchu je možné tento poznatok aplikovať aj na povodie Tople (obr. 5). Na základe klimatického scenára MPI môže byť dlhodobý priemerný mesačný prietok znížený v mesiaci august až o 38 %. Výrazný nárast okrem zimných mesiacov možno očakávať aj v októbri. V povodí Tople sa odtok môže zvýšiť až do 90 % oproti referenčnému obdobiu.

V budúcich časových horizontoch sa predpokladá nárast dlhodobej priemernej mesačnej, ako aj ročnej evapotranspirácie v modelovaných povodiach (tab. 1).



Obr. 5. Porovnanie dlhodobých priemerných mesačných prietokov medzi referenčným obdobím a budúcimi časovými horizontami podľa scenárov KNMI a MPI v povodí Topľa – Hanušovce.

Fig. 5. Comparison of the long-term mean monthly runoff between the reference period and the climate change scenarios (KNMI and MPI) in the Topľa River basin.

Tabuľka 1. Porovnanie hodnôt dlhodobej priemernej mesačnej evapotranspirácie v referenčnom období a v budúcich časových horizontoch (pre uvažované scenáre zmeny klímy KNMI a MPI)

Table 1. Comparison of the values of long-term average monthly evapotranspiration in the reference period and long-term average monthly evapotranspiration in future time horizons (for the KNMI and MPI climate change scenarios)

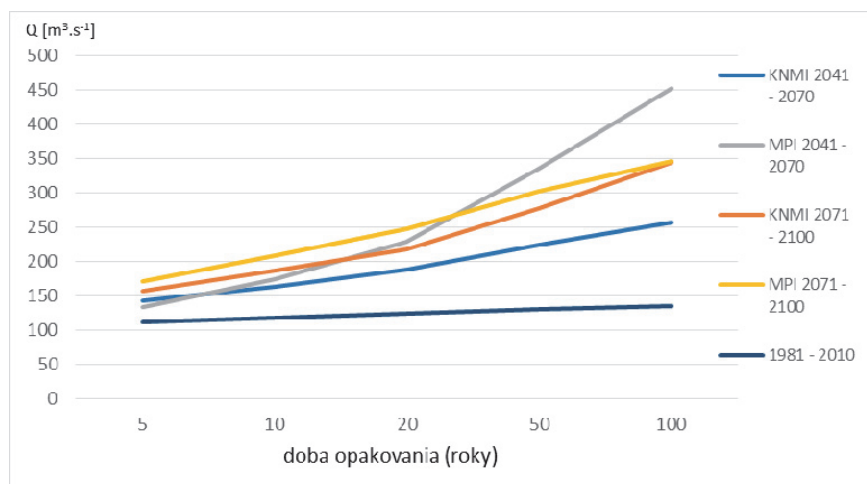
Povodie	Scenár	Horizont	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	E ₀ roč.
Hron	1981 – 2010 [mm]		0,14	1,12	10,06	35,28	65,02	79,14	81,71	66,43	40,32	13,84	2,09	0,33	395
	KNMI	2055	0,37	2,00	9,96	34,17	66,25	78,56	79,89	66,14	39,97	16,01	2,67	0,73	397
		2085	0,64	2,16	12,80	36,09	67,61	78,51	78,56	62,75	40,90	18,32	3,77	1,15	403
	MPI	2055	0,33	3,27	12,95	38,17	70,72	83,94	87,48	70,85	43,95	17,83	3,54	0,66	434
		2085	0,42	2,28	11,46	35,17	67,32	82,38	84,08	70,18	44,11	18,73	3,82	0,86	421
Topľa	1981 – 2010 [mm]		0,30	2,26	15,82	44,89	75,18	89,24	91,24	73,19	47,43	18,50	3,74	0,76	463
	KNMI	2055	0,85	5,32	20,02	48,64	80,07	88,90	90,11	72,11	45,80	22,01	4,97	1,68	480
		2085	1,40	5,47	23,53	50,98	80,36	86,61	85,30	68,71	48,10	25,41	7,23	2,45	486
	MPI	2055	0,58	5,17	19,78	48,46	79,64	91,57	95,02	77,48	51,07	23,16	5,55	1,18	499
		2085	1,07	5,68	22,61	49,95	81,81	91,68	89,48	73,07	48,20	24,30	7,10	1,85	497

Zvýšenie evapotranspirácie závisí najmä od narastajúcej teploty vzduchu, ktorá priamo ovplyvňuje hodnotu evapotranspirácie, a ktorej zvýšenie bude charakteristické pre budúce časové horizonty. Nárast dlhodobej priemernej mesačnej evapotranspirácie sa týka prakticky každého mesiaca. Výraznejší nárast v absolútnych hodnotách možno pozorovať v letných mesiacoch.

Z porovnania štatistickej analýzy ročných maximálnych priemerných denných prietokov spracovanej z modelovaných údajov z obdobia 1981 – 2010 a modelovaných radov maximálnych priemerných denných prietokov za použitia spomenutých scenárov možno konštatovať značný nárast návrhových prietokov od doby opakova-

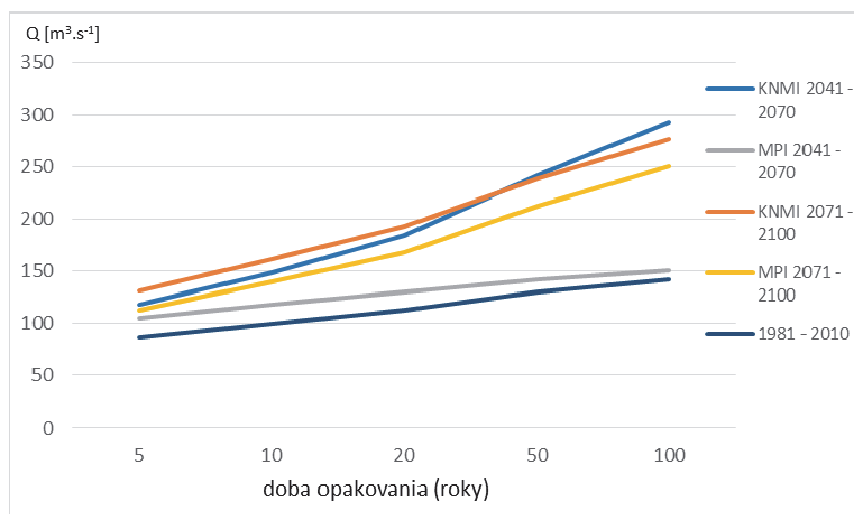
nia 5 až 100 rokov pre všetky scenáre ako aj analyzované dve scenárové obdobia (2041 – 2070 a 2071 – 2100) oproti porovnávanému stavu, a to ako pre povodie Hrona, tak i povodie Tople, obr. 6 a 7.

Ak porovnáme trend nárastu návrhových prietokov pre jednotlivé scenáre, vidíme, že reagujú odlišne pre analyzované povodia. Pre MPI scenár štatistická analýza vykazuje vyššie návrhové hodnoty prietokov pre povodie Hron, ako pre povodie Topľa, pričom pre scenár KNMI je to opačne. Z tejto analýzy je zrejmé, že na povodiach výskyt scenárových extrémnych zrážok nemusí byť v rovnakých obdobiach a že model výrazne reaguje najmä na tieto extrémne scenárové zrážky.



Obr. 6. Porovnanie ročných maximálnych denných návrhových prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre v povodí Hron.

Fig. 6. Comparison of the annual maximum design daily discharges for several climatic scenarios in the Hron River basin.



Obr. 7. Porovnanie ročných maximálnych denných návrhových prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre v povodí Topľa.

Fig. 7. Comparison of the annual maximum design daily discharges for several climatic scenarios in the Topľa River basin

Dá sa tiež predpokladať, že i v budúcnosti sa vyskytnú suchšie, ako aj vodnatejšie obdobia, ktoré budú podmieňovať tvorbu povodňového odtoku. Odhad návrhových hodnôt prietokov do budúcich horizontov je tiež zaťažený viacerými neistotami, vyplývajúcimi napr. z výberu rokov analyzovaného obdobia, jeho dĺžky, ako aj z výberu vhodného štatistického modelu. Dôležité je konštatovanie, že použitý model v dennom kroku podhodnocuje extrémne prietoky, a preto je aj čiara prekročenia modelovaných ročných maximálnych priemerných denných prietokov za pozorované obdobie 1981 – 2010 nižšia v porovnaní s čiarou prekročenia z mera- ných údajov. V práci porovnávame navzájom iba modelované čiary prekročenia a dosiahnuté výsledky repre- zentujú rozdiely v návrhových hodnotách v budúcich obdobiach oproti modelovanému referenčnému stavu.

Záver

Použitie zrážkovo-odtokového modelu pri zmenených klimatických podmienkach bolo aplikované na 5 vybra- ných povodi: Hron – Banská Bystrica, Laborec – Humenné, Topľa – Hanušovce nad Topľou, Turiec – Martin, Váh – Liptovský Mikuláš. Cieľom kalibrácie zrážkovo-odtokového modelu WetSpa bolo pre každé vybrané povodie určiť globálne parametre modelu, pri použití ktorých bude dosiahnutá najlepšia zhoda medzi meranými a simulovanými priemernými dennými prie- tokmi v záverečnom profile povodia. V modeli bolo použitých 12 globálnych parametrov, ktoré bolo nutné kalibrovať. Kalibračné obdobie v tomto prípade predsta- vovalo rozpätie rokov 1981 – 1995. Na kalibrované hodnoty globálnych parametrov z tohto obdobia boli v ďalšom priebehu tejto práce použité údaje zo zmene- ných podmienok využitia krajiny a klímy. Pre účely tejto práce prešiel model WetSpa určitými úpravami na spresnenie simulácie odtoku.

V príspevku sme prezentovali výsledky modelovania pre povodie Hrona a Tople. Zo zhodnotenia scenárov dlhodobých priemerných denných prietokov v budúcich horizontoch a ich porovnania s modelovaným refe- renčným obdobím 1981 – 2010 vyplýva, že v budúcnosti možno na modelovaných povodiach očakávať zmenu dlhodobých priemerných mesačných prietokov. Táto zmena sa môže prejavovať rôzne, v závislosti od predpokladaného scenára zmeny klímy, ako aj od jed- notlivých povodí. Z uvažovaných scenárov vyplýva, že prakticky všetky sledované povodia budú potenciálne viac ohrozené letnými prípadne jesennými suchami. Na základe simulovaných povodí v tejto práci je pravde- podobné, že tento jav bude platiť pre celé územie Slovenska. Na druhej strane je možné, že bude dochá- dzať k zvýšeniu odtoku v zimnom polroku a straty prirodzene v snehu akumulovaných zimných zrážok. Z výsledkov analýzy ročných maximálnych priemer- ných denných prietokov možno konštatovať značný ná- rast návrhových prietokov od doby opakovania 5 až 100 rokov pre všetky scenáre ako aj analyzované dve scená-

rové obdobia (2041 – 2070 a 2071 – 2100) oproti porov- návanému stavu, a to ako pre povodie Hrona, tak i po- vodie Tople.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0425 a OP Výskum a vývoj – projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004, financovaným zo zdrojov Európskeho fondu regionál- neho rozvoja.

Literatúra

- Beven, K.J. (2001): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- Cunnane, C. (1998): Methods and merits of regional flood frequency analysis. Journal of Hydrology, No.100, 269–290.
- DVWKRegeln 101/1999 (1999): Wahl des Bemessungshochwassers. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Duan, Q. Y., Gupta, V. K., Sorooshian, S. (1993): Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. J. Optimization Theory and Appl. 76(3): 501–521.
- Hlavčová, K., Horvát, O., Szolgay, J., Danko, M., Kohnová, S. (2007): Scenarios of land use changes and simulations of hydrological responses in the Poprad river basin. Meteorological Journal, 10:199–203.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S., Bálint, G. (2008): Hydrological scenarios of future seasonal runoff distribution in Central Slovakia. In Earth and Environmental Science. no. 4, 012022, 9 p.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Kohnová, S., Horvát, O. (2009): The limitations of assessing impacts of land use changes on runoff with a distributed hydrological model: case study of the Hron River. Biologia, 64:589–593.
- Hlavčová, K., Lapin, M., Valent, P., Szolgay, J., Kohnová, S., Rončák, P. (2015): Estimation of the impact of climate change-induced extreme precipitation events on floods. In Contributions to Geophysics and Geodesy. Vol. 45, no. 3, 173–192. ISSN 1335-2806.
- Horvát, O., Hlavčová, K., Kohnová, S., Danko, M. (2009): Application of the FRIER distributed model for estimating the impact of the land use changes on the water balance in selected basins in Slovakia. In Journal of Hydrology and Hydromechanics, vol. 57, 2009, no. 4, 213–225.
- Jeníček, M. (2009): Runoff changes in areas differing in land-use in the Blanice River basin – application of the deterministic model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 57 (3), 154–161.
- Kluge, CH. (1996): Statistische Analyse von Hochwasser- durchflüssen. Dresdner Berichte, TU Dresden, H. 7.
- Kostka, Z., Holko, L. (2001): Runoff modelling in a mountain catchment with conspicuous relief using TOPMODEL. In Journal of Hydrology and Hydromechanics, vol. 49, 2001, 149–171.
- Kulhavý, Z., Kovář, P. (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha. 123 s.

- Lapin M., Melo M., Damborska I., Vojtek M., Martini M. (2006): Physically and statistically plausible downscaling of daily GCMs outputs and selected results, *Acta Met. Univ. Comen.*, XXXV, 35–57.
- Lapin M., Bašták I., Gera M., Hrvol' J., Kremler M., Melo M. (2012): New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, 37, 25–73.
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J. (2008): Stationarity is dead: Whither water management? *Sci.* 319 (5863), 573–574.
- Rind, D., Balachandran, N. K., Suozzo, R. 1992: Climate change and the middle atmosphere. Part II: The impact of volcanic aerosols. *J. Climate*, 5, 189–208.
- Rončák, P., Hlavčová, K. (2014): Impact of changes in forest associations from the generation of runoff in the Myjava River basin. Catchment processes in regional hydrology: Confronting experiments and modeling in Carpathian drainage basins, Bratislava, Slovakia and Sopron, Hungary, 27. Oct. 2014.
- Rončák, P., Hlavčová, K., Látková, T. (2016): Estimation of the effect of changes in forest associations on runoff processes in basins: case study in the Hron and Topľa river basins. In *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 24, no. 3 (2016), s. 1–7. ISSN 1210-3896.
- Šraj, M., Dimbek, M., Brilly, M. (2010): The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph. In *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 58, 2010, no. 1, 3–14.
- Štefunková, Z., Hlavčová, K., Lapin, M. (2013): Runoff change scenarios based on regional climate change projections in mountainous basins in Slovakia. In *Contributions to Geophysics and Geodesy*. Vol. 43, No. 4, 327–350. ISSN 1335-2806.
- Valent, P., Maliariková, M., Rončák, P., Hlavčová, K., Karabová, B. (2015): Analýza zmeny spôsobu využitia územia z historických máp na povodí Myjavy (Analysis of land use changes in the Myjava River basin utilizing historical maps). *Acta Hydrologica Slovaca*, 16 (Thematic issue), 3–14.
- Valent, P., Rončák, P., Maliariková, M., Behan, Š. (2016): Utilization of historical maps in the land use change impacts studies: a case study from Myjava River basin. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24, 4, 15–26, 2016.
- Vieux, B. E. (2004): *Distributed Hydrologic Modeling Using GIS*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 289 s., ISBN: 978-1402024597.
- Wang Z., Batellan, O., De Smedt, F. (1996): A Distributed Model For Water And Energy Transfer Between Soil, Plants And Atmosphere (Wetspa). *Phys. Chem. Earth* 21: 189–193.

CHANGES IN DESIGN DISCHARGES IN SELECTED CATCHMENTS IN SLOVAKIA IN FUTURE DECADES

Based on a scenarios of long-term average discharges of future horizons and their comparison with a reference period 1981–2010 it shows that in the future we can expect significant change of the long-term mean monthly runoff in the simulated catchments. This change may reflect differently, depending on several climate change scenario. Of the considered scenario it suggests that practically all simulated basins could be at risk from the summer or the autumn drought. Based on the simulated watershed in this work it is likely that this effect will apply to the whole territory of Slovakia. On the other hand, it is possible that it runoff will be increase in the winter and the loss precipitation of natural snow accumulated.

The results of the simulation are highly dependent on

the availability of the input data, the parameterization of the land use and different types of vegetation in the model, and the schematization of the simulated processes; therefore, they need to be interpreted with a sufficient degree of caution and confronted with other results from the literature and experimental measurements.

Rainfall-runoff models with distributed parameters are not a routine tool; their use requires the user to have good understanding of the hydrological processes, the possibilities of parameterization in climate models, as well as the characteristics of a particular examination of the original state. For integrated river basin management, each river basin or particular region should be examined carefully, and the number of model approaches should be verified.

Mgr Peter Rončák, PhD.
prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
prof. Ing. Ján Szolgay, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta STU
Radlinského 11
813 68 Bratislava
Tel.: +4212 59274 498
E-mail: peter.roncak@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk