HYDROLOGICKÉ SCENÁRE ZMENY ODTOKOVÝCH POMEROV PRE BUDÚCE DESAŤROČIA

Zuzana Macurová[1], Kamila Hlavčová[1], Roman Výleta[1], Ján Szolgay[1], Milan Lapin[2]

Abstrakt

Možné zmeny odtokových pomerov, spôsobené zmenenými klimatickými podmienkami, predstavujú v súčasnosti jeden z hlavných zdrojov neistoty v oblasti hospodárenia s vodnými zdrojmi. Môžu sa prejaviť poklesom výdatnosti vodných zdrojov, zvýšením extrémnosti povodní a sucha, zmenou režimu odtoku, ako aj zásob snehu na Slovensku.

Článok sa zaoberá skúmaním vplyvu možnej zmeny klímy na zmenu priemerných denných a mesačných prietokov na povodí horného Hrona. Na modelovanie priemerných denných a mesačných prietokov bol použitý koncepčný model HBV v dennom kroku a model hydrologickej bilancie KVHK v mesačnom kroku. Zmeny klimatických charakteristík boli vyjadrené podľa regionalizovaných výstupov globálneho cirkulačného modelu atmosféry CGCM3.1 a emisných scenárov SRES A2 a B1, ako aj výstupov regionálneho klimatického modelu Aladin Climate, regionalizovaných do gridovej siete 10 x 10 km. Simulované priemerné denné a mesačné prietoky v budúcich časových horizontoch boli porovnané s hodnotami prietokov v referenčnom období a bola zhodnotená a diskutovaná ich zmena oproti súčasnosti. Hodnotené boli aj zmeny pôdnej vlhkosti a aktuálnej evapotranspirácie v budúcnosti a zmeny v ich sezónnom rozdelení.

Kľúčové slová: klimatická zmena, hydrologický model, globálny a regionálny klimatický model, priemerné denné a mesačné prietoky

1. Úvod

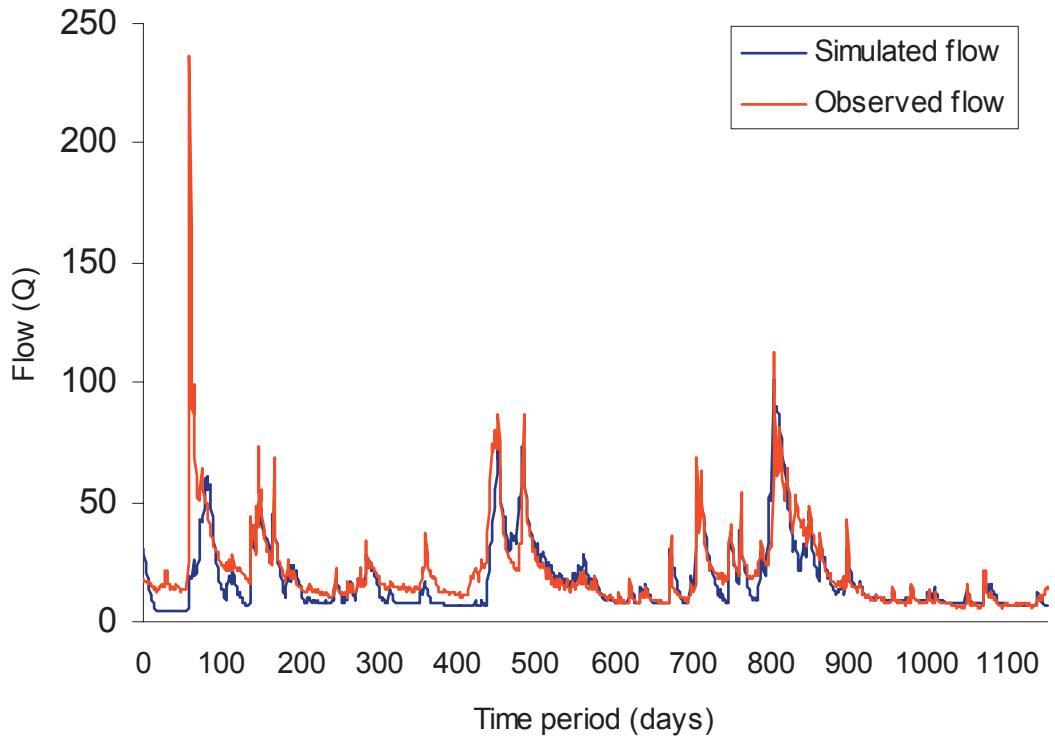
Zmeny hydrologického režimu a odtokových pomerov spôsobené zmenou klímy (KZ) predstavujú v súčasnosti jeden z hlavných zdrojov neistoty v oblasti hospodárenia s vodnými zdrojmi. Môžu sa prejaviť poklesom výdatnosti vodných zdrojov, zmenou režimu odtoku, zvýšením extrémnosti povodní a sucha, ako aj zmenou zásob snehu na Slovensku. Z najnovších hydrologických štúdií u nás aj v zahraničí vyplýva, že oteplenie v budúcnosti bude viesť k zmene sezonality odtoku v tokoch, a to najmä tam, kde zimné zrážky padajú v podobe snehu [1, 2, 3, 4]. Zvýšenie zimného odtoku a zníženie odoku v lete možno očakávať napr. v oblasti európskych Álp [5, 6], alebo Himalájí [7]. Zmeny v hydrologickom cykle sa tiež môžu prejaviť v zvýšení rizika extrémov, a to povodní aj sucha. Napr. Lehner [8] predpokladá zvýšenie rizika povodní v severnej, strednej a východnej Európe, a zvýšenie rizika sucha najmä v južnej Európe. Zvýšenie frekvencie a intezity krátkodobých dažďov môže viesť k častejšiemu výskytu bleskových povodní [9, 10].

Na určovanie vplyvu zmeny klímy na hydrologický režim sa dnes často používajú metodické postupy, založené na modelovaní očakávaných zmien hydrologického režimu na základe vedomostí o vzťahoch medzi charakteristikami klímy a hydrologického režimu, vrátane tvorby scenárov takýchto zmien [3, 4, 11]. Metodický pokrok v tejto oblasti smeroval v poslednom období k overovaniu rôznych spôsobov regionalizácie scenárov z mierky klimatických modelov do mierky povodí [12], využitiu regionálnych klimatických modelov na tvorbu scenárov pre hydrologické modelovanie [13, 14, 15, 16, 17, 18]. Vo všeobecnosti tieto štúdie ukázali, že rôzne spôsoby tvorby scenárov z rôznych zdrojov môžu viesť k podstatným rozdielom v odhadnutých vplyvoch klimatickej zmeny [14, 19, 17, 20]. Prehľad o súčasných možnostiach modelovania zmeny klímy a spôsobu hospodárneho využívania krajiny na povodňový odtok uvádzajú mnohí autori a diskutujú o vlastnostiach modelov, ktoré sú použiteľné pre downscaling a modelovanie odtoku a uvádzajú dva príklady na stredne veľkých povodiach v Nemecku.

Cieľom uvedeného príspevku bolo posúdiť zmeny priemerných denných a mesačných prietokov na povodí horného Hrona po profil Banská Bystrica s plochou 1766 km^2. Na modelovanie priemerných denných a mesačných prietokov bol použitý koncepčný model HBV v dennom kroku a model hydrologickej bilancie KVHK v mesačnom kroku. Zmeny klimatických charakteristík boli vyjadrené podľa regionalizovaných výstupov globálneho cirkulačného modelu atmosféry CGCM3.1 (21) a emisných scenárov SRES A2 a B1, ako aj výstupov regionálneho klimatického modelu Aladin Climate, regionalizovaných do gridovej siete 10 x 10 km.

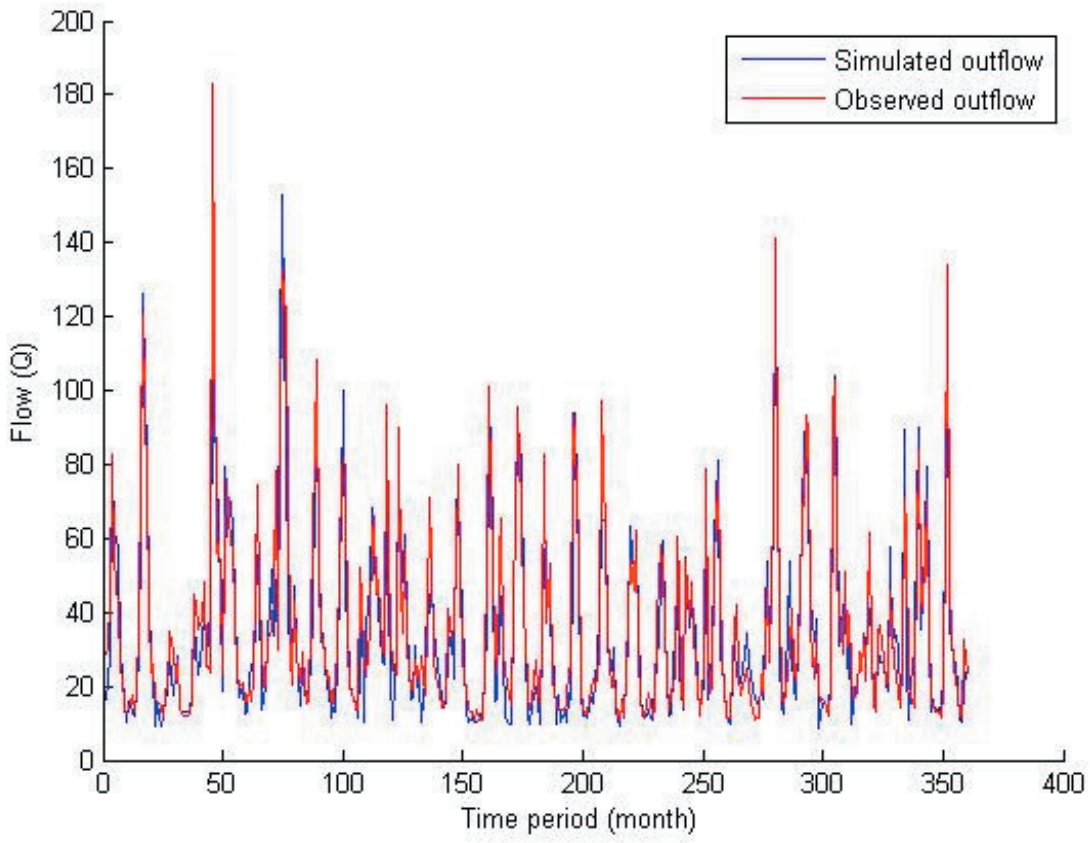
2. Výsledky modelovania

Parametre modelu HBV boli nakalibrované pre dvadsať ročné obdobie od roku 1981 po rok 2000, kde boli k dispozícií merané hodnoty. Stanovenie týchto parametrov bolo potrebné, aby nakalibrovaný model mohol byť aplikovaný na simuláciu procesov v inej perióde, konkrétne pre obdobie do roku 2100, kde nemáme k dispozícií merané hodnoty. Výsledok Nash-Sutcliffovho koeficientu zhody medzi meranými a simulovanými priemernými dennými prietokmi pre toto obdobie vyšiel 0,802. (Obr.1)



Obr. 1: Grafické porovnanie simulovaného a meraného priemerného denného odtoku v m^3.s^{-1} pre model HBV

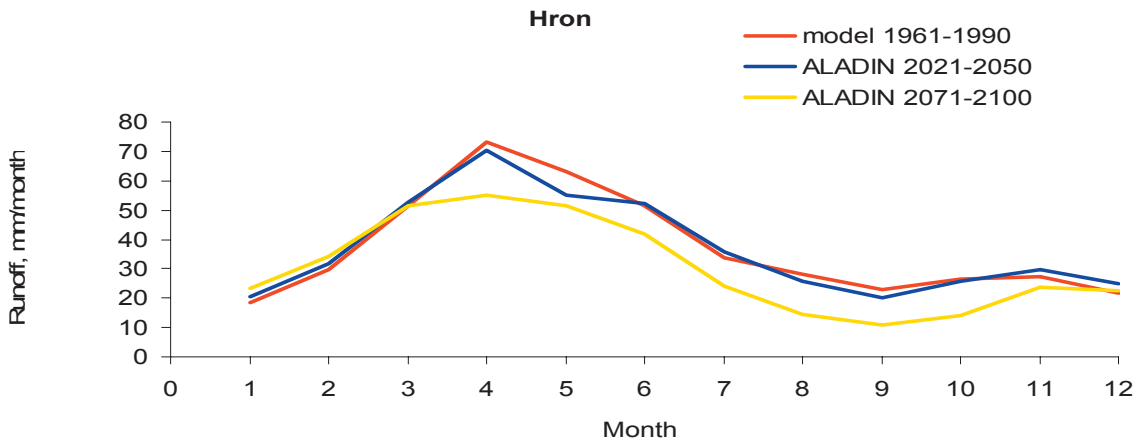
Parametre modelu hydrologickej bilancie KVHK, ktorý bol použitý pre simuláciu odtoku s použitím scenárov odvodených z regionálneho klimatického modelu Aladin Climate, boli kalibrované na tridsať ročnom období od roku 1971 do roku 2000. Grafický výsledok porovnania meraných a pozorovaných priemerných denných prietokov je zobrazený na Obr. 2.



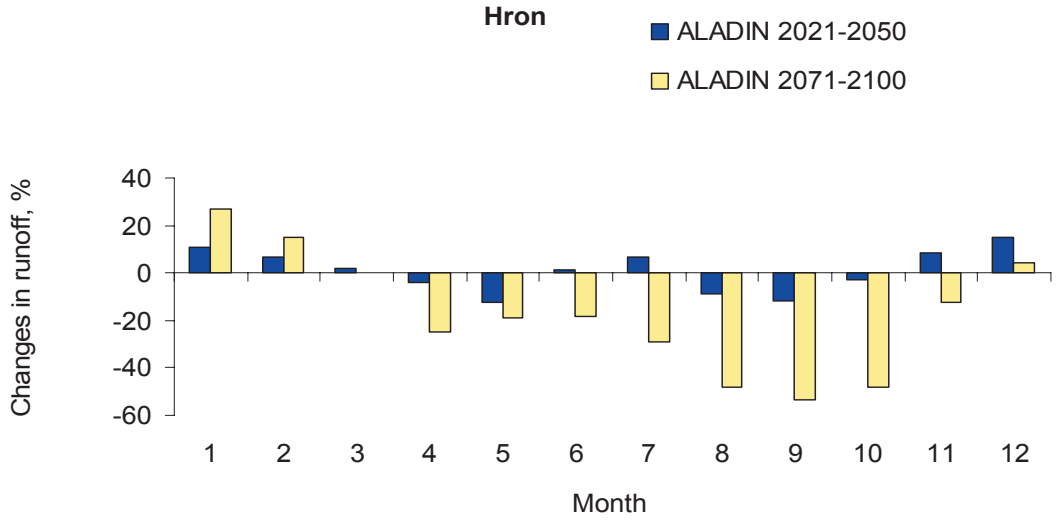
Obr. 2: Grafické porovnanie simulovaného a meraného priemerného mesačného odtoku v $m^3.s^{-1}$ pre model KVHK

3. Zhodnotenie výsledkov simulácie

Výsledky modelovania (model KVHK) dlhodobých priemerných mesačných prietokov (Obr. 3 a 4) naznačujú budúce zmeny v sezónnej distribúcii odtoku v povodí rieky horného Hrona. Podľa modelu Aladin Climate je zvýšenie dlhodobých priemerných mesačných prietokov možné očakávať od novembra/decembra až do februára/marca. Najvyšší relatívny nárast priemerných mesačných prietokov v porovnaní s referenčným obdobím možno predpokladať v januári, t.j. +11 % (+2 mm/mesiac) v období 2021- 2050 a +27 % (+5 mm/mesiac) v období 2071-2100. Tento nárast môže byť spôsobený nárastom teploty vzduchu počas zimy a posunom v období topenia snehu z jarných mesiacoch na zimné. Pokles dlhodobých priemerných mesačných prietokov môže nastať od apríla do októbra/novembra. K najextrémnejšiemu relatívnemu poklesu mesačných prietokov môže dôjsť v máji v 2021-2050, t.j. 12,5 % (-8 mm/mesiac) a v auguste a septembri v 2071-2100, t.j. -53 % (-12 mm/mesiac). V období 2021-2050 dochádza v júni a júli k miernemu nárastu prietokov, t.j. +6 % (+2 mm/mesiac). Tento nárast môže byť spôsobený zvýšením zrážok v období 2021-2050 v porovnaní s obdobím 1961-1990 (ktorý bol všeobecne považovaný za suché obdobia). Pokles prietokov v auguste a septembri v obdobiach 2021-2050 a 2071-2100 je spôsobený predovšetkým zvýšením teploty vzduchu (+2,2 ° C v 2021-2050 a +4,9 °C v 2071 -2100).

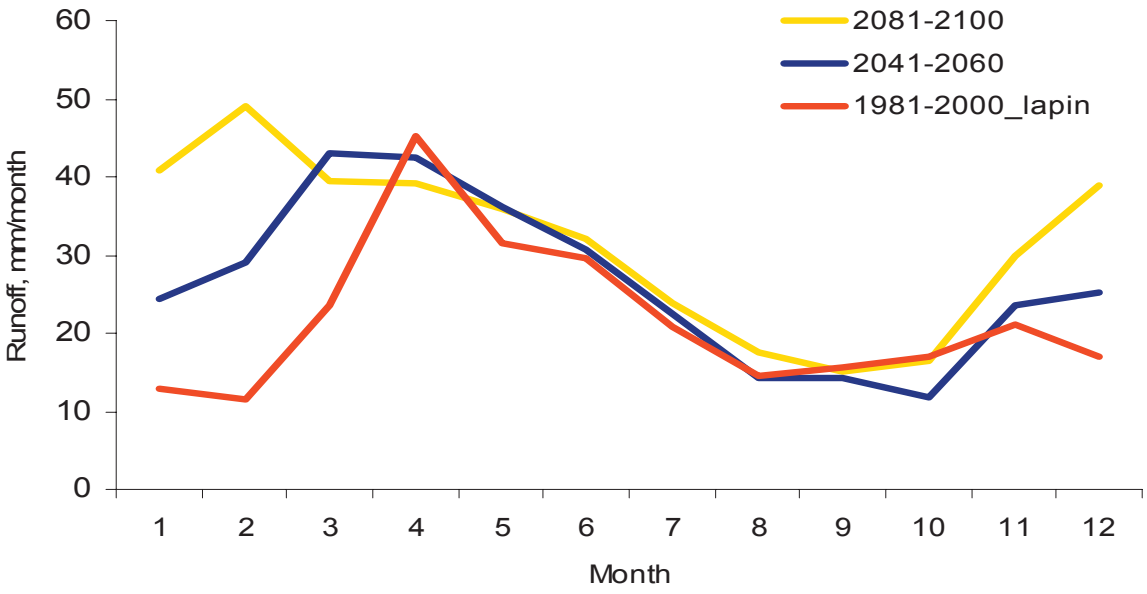


Obr. 3: Dlhodobé priemerné mesačné prietoky v mm/deň v referenčnom období 1961-1990 a v dvoch časových horizontoch 2021-2050 a 2071-2100 na povodí rieky Hron.



Obr. 4: Percentuálne zmeny v dlhodobých priemerných mesačných prietokov v časových horizontoch 2021-2050 a 2071-2100 v porovnaní s referenčným obdobím 1961-1990 na povodí rieky Hron.

Na Obr. 5 sú výsledky modelovania modelom HBV. Tento graf zobrazuje mesačné 5ročné priemerné prietoky pre scenár SRES A2, ktorý predstavuje pesimistickejší predpoklad správania ľudstva do roku 2100. Z tohto grafu možno vyvodiť, aký bude vplyv klimatických zmien na distribúciu vody v rámci jednotlivých mesiacov. Z tohto pohľadu je účelné sa sústrediť na letné mesiace, ktoré sú najnáročnejšie na spotrebu vody (závlaha, výpar...) Z grafu vyplýva, že vplyv klimatických zmien na prietoky v letnom období je minimálny, navyše vo zvyšnej časti roka sú prietoky vyššie. Najvyšší nárast nastal v období január/február (v období 2041 – 2060 je nárast prietokov 2násobný a v období 2081 – 2100 dokonca 3násobný). Podobný priebeh nastal aj pre scenár SRES B1. Z uvedeného pohľadu možno vývoj mesačných prietokov podľa týchto scenárov hodnotiť ako prínos pre vodohospodársku bilanciu.

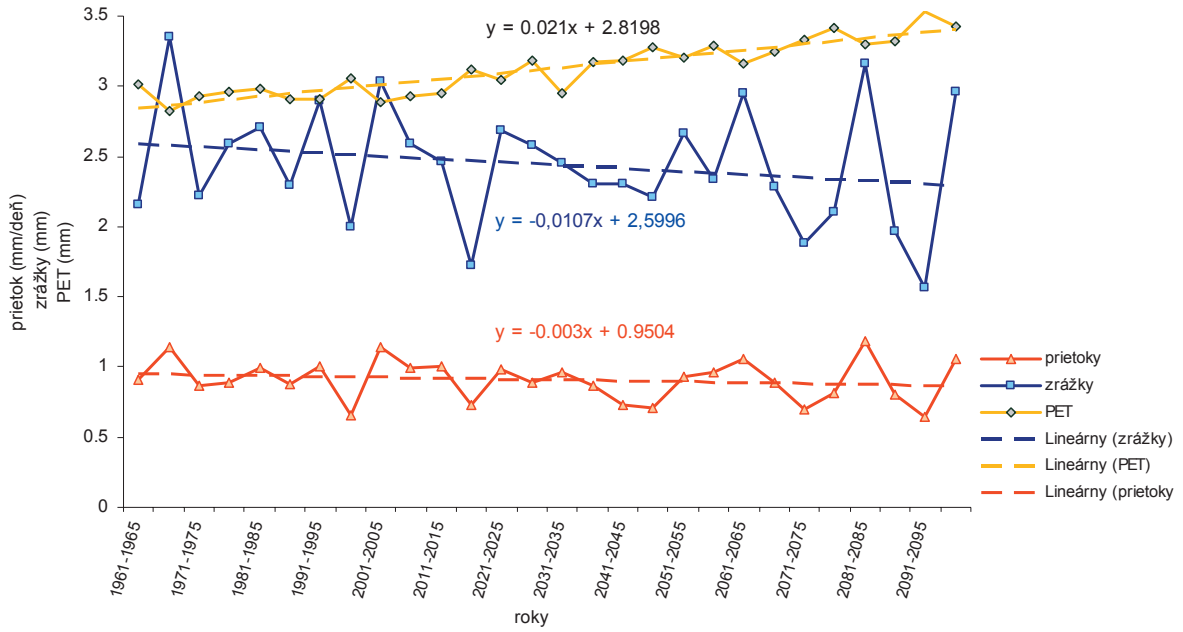


Obr. 5: Mesačné 5ročné priemerné prietoky pre scenár SRES A2 v časových horizontoch 2041-2060 a 2081-2100 v porovnaní s referenčným obdobím 1981-2000.

Pri hodnotení výsledkov modelovania odtokov podľa klimatických scenárov SRES A2 a SRES B1 sme sa zamerali aj na vplyv na akvatickú biotu tokov v povodí. Vplyv zvýšených prietokov, respektíve povodňových stavov má minimálny vplyv na biotu toku. Za hlavné negatívum možno považovať výpadok ročníka toho druhu rýb, ktorého reprodukčný proces bol zmarený povodňovými stavmi. Takýto výpadok má minimálny vplyv v zdravom akvatickom ekosystéme. Z tohto pohľadu možno konštatovať, že prognóza vývoja maximálnych prietokov nie je podstatná na vývoj akvatickej bioty. Vývoj jej kvality je determinovaný vývojom minimálnych prietokov a v tejto oblasti bola preukázaná dobrá zhoda výsledkov.

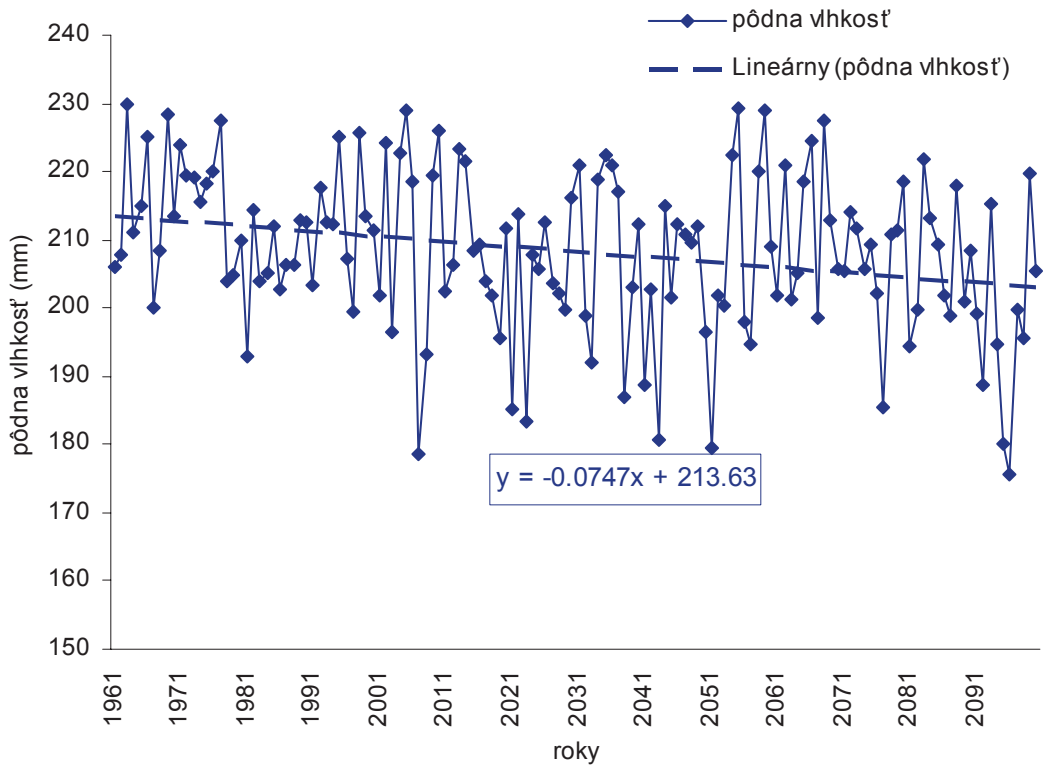
Pre hodnotenie klimatických zmien na biotu toku boli vybrané mesiace júl až september, ktoré sú najväčším zaťažením bioty toku. V týchto mesiacoch sú najvyššie teploty, ktoré znamenajú pokles kyslíku v toku, čo sa prejavuje zvlášť negatívne na horských a podhorských tokoch, alebo podľa delenia Friča, na tokoch pstruhových, lipňových a čiastočne aj mrenových. Všetky toky horného Hrona patria do uvedených skupín. Ďalším negatívom sú malé prietoky, ktorých pokles znamená stratu vhodného habitátu a súvisí aj s teplotnou bilanciou toku. Čím je prietok menší, tým sa voda rýchlejšie oteplí.

Podľa scenáru SRES B1 sa prietoky nepodstatne menia, čo by znamenalo, že vplyv KZ na biotu toku nebude negatívny z pohľadu prietoku. Podľa scenáru SRES A2 (Obr. 6) dochádza k poklesu prietokov (za obdobie 1960 – 2100 dôjde podľa namodelovaných výsledkov k poklesu prietokov v priemere o 16 %. Záver pre tento scenár je však identický s predchádzajúcim konštatovaním. Z vyhodnotených výsledkov, ktoré predstavujú vplyv klimatických zmien na vybraný segment parametrov, možno konštatovať, že tieto parametre sa negatívne neprejavujú na vodný režim toku a nezhorší sa kvalita akvatického habitatu.



Obr. 6: Priemerné 5ročné hodnoty prietokov, zrážok a potenciálne evapotranspirácie za mesiace júl až september.

Ďalšie hodnotenie bolo venované vplyvu klimatických zmien na pôdnu vlhkosť pre kritickejší scenár SRES A2 a pre mesiace apríl až jún, ktoré sú charakterizované ako obdobie rastu a preto je v týchto mesiacoch potrebná zvýšená pôdna vlhkosť. Výsledky ukazujú, že pôdna vlhkosť v tomto období klesne o 10 mm, t.j. 4,65 % (Obr..7). Z týchto prvých údajov by bolo predčasné vytvárať závery. Dôležité je zistenie, že aj v tejto oblasti je klesajúci trend, čo v súčinnosti s ďalšími faktormi môže vytvoriť závažnejšie zmeny aj v oblasti pôdohospodárstva.



Obr. 7: Vývoj priemerných ročných hodnôt pôdnej vlhkosti za obdobie rokov 1961 až 2100.

4. Záver

V závere možno konštatovať, že výsledky pre jednotlivé modely sa do určitej miery rozchádzajú. Podľa výstupov regionálneho klimatického modelu Aladin Climate dochádza k poklesu prietokov, a to najmä pre obdobie od marca do novembra. Vo zvyšnej časti roka, december až február, nedochádza k veľkým zmenám v prietokoch. Tieto zmeny sa výraznejšie prejavia pri modelovaní ďalekej budúcnosti (2071-2100).

Podobný fenomén možno konštatovať aj pre výsledky vychádzajúce z výstupov globálneho cirkulačného modelu atmosféry CGCM3.1 a emisných scenárov SRES A2 a SRES B1. Pre modelovanie ďalekej budúcnosti (2081-2100) dostávame omnoho extrémnejšie výsledky hodnôt prietokov ako pre modelovanie bližšej budúcnosti (2041-2060). Podľa tohto modelu však naopak dochádza k zvýšeniu prietokov pre blízku, tak ako aj ďalekú budúcnosť a to najmä v zimných mesiacoch. V jesennom obdobím, hlavne september a október, pozorujeme mierny pokles prietokov.

Rôzne výsledky simulácie možno odôvodniť tým, že síce obidva scenáre predpokladajú zvýšenie teploty vzduchu, líšia sa však v predpoklade vývoja zrážok. Model CGCM3.1 (regionalizovaný globálny model) predpokladá nárast zrážok, zatiaľ čo regionálny model Aladin Climate predpokladá klesajúci vývoj zrážok.

Z uvedeného vyplýva, že pre simuláciu rôznych hydrologických prvkov je potrebné používať viaceré klimatické scenáre, ktorých výstupy môžeme spracovať rôznymi modelmi a získané výsledky hodnotiť na základe porovnaní, ktoré budú vychádzať aj z charakteristík použitých modelov a klimatických scenárov.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0378-07. Článok vznikol aj vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt Centrum excelentnosti protipovodňovej ochrany územia ITMS 26240120004 spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

[1] BARNETT, T. P. – ADAM, J. C. – LETTENMAIER, D. P., 2005. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. Nature, 438, 303-309.

[2] HLAVČOVÁ, K. – SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S. – HLÁSNY, T., 2008. Simulation of hydrological response to the future climate in the Hron river basin. Journal of Hydrology and Hydromechanice, 56, 2008, 3, 163-175.

[3] SZOLGAY, J. – HLAVČOVÁ, K. – LAPIN, M. – PARAJKA, J. – KOHNOVÁ, S., 2007. Vplyv zmeny klímy na odtokový režim na Slovensku. KEY Publishing Ostrava.141 s.

[4] SZOLGAY, J. – HLAVČOVÁ, K. – PARAJKA, J. – LAPIN, M. – KOHNOVÁ, S. – HLÁSNY, T., 2009. Climate Change Impact on Runoff in the Hron River Basin. KEY Publishing, Ostrava. 116 s.

[5] ECKHARDT, K. – ULBRICH, U., 2003. Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. J. Hydrol., 284, 244-252.

[6] JASPER, K. – CALANCA, P. – GYALISTRAS, D. – FUHRER, J., 2004. Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers. Climate Res., 26, 113-125.

[7] SINGH, P. – BENGTSSON, L., 2004. Hydrological sensitivity of a large Himalayan basin to climate change. Hydrol. Process., 18, 2363-2385.

[8] LEHNER, B. – DÖLL, P. – ALCAMO, J. – HENRICHS H. AND KASPAR, F., 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75, 273-299.

[9] EEA, 2004: Impacts of Europe's Changing Climate: An Indicator-Based Assessment.EEA Report No 2/2004, European Environment Agency, Copenhagen (or: Luxembourg, Office for Official Publications of the EC). 107 pp.

[10] HLAVČOVÁ, K. – LAPIN, M. – SZOLGAY, J. – KOHNOVÁ, S., 2007. A simple model for estimation of climate change induced extreme daily precipitation changes for flash flood modelling. In: *The 3rd International Conference on Climate and Water*, *Helsinki, Finland.* Finnish Environment Institute SYKE, 188-193.

[11] PEKÁROVÁ, P. – ONDERKA, M. – PEKÁR, J. – MIKLÁNEK, P. – HALMOVÁ, D., ŠKODA, P. – BAČOVÁ-MITKOVÁ, V., 2008. Hydrologic Scenarios for the Danube River at Bratislava. KEY Publishing. ISBN 978-80-87071-51-9,

[12] WOOD, A. W., – LEUNG, L. R. – SRIDHAR, V. – LETTENMAIER, D. – P., 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. Climatic Change, 62, 189-216.

[13] ARNELL, N. W., 2003. Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective. Hydrol. Earth Syst. Sc., 7, 619-641.

[14] ARNELL, N. W., 2004. Climate change and global water resources: SRES scenarios and socio-economic scenarios. Global Environ. Change, 14, 31-52.

[15] ANDREASSON, J. – BERGSTÖRM, S. – CARLSSON, B. – GRAHAM, L. P. – LINDSTRÖM, G., 2004. Hydrological change: climate change impact simulations for Sweden Ambio, 33, 228-234.

[16] PAYNE, J. T. – WOOD, A. W. – HAMLET, A. F. – PALMER, R. N. – LETTENMAIER, D. P., 2004. Mitigating the effects of climate change on the water resources of the Columbia River basin. Climatic Change, 62, 233-256.

[17] KAY, A. – REYNARD, N. S. – JONES, R. N. – 2006b. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. J. Hydrol., 318, 163-172.

[18] PRUDHOMME, C. – DAVIES, H., 2007. Comparison of different sources of uncertainty in climate change impact studies in Great Britain. Hydrol. Process. (Special issue on International Workshop "Climatic and Anthropogenic Impacts on Water Resources Variability").

[19] WILBY, R. L., 2005 Uncertainty inwater resourcemodel parameters used for climate change impact assessment. Hydrol. Process., 19, 3201-3219.

[20] KAY, A. – BELL, V. – DAVIES, H., 2006a. Model Quality and Uncertainty for Climate Change Impact. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford.

[21] LAPIN, M. – DAMBORSKÁ, I. – DRINKA, R. – FAŠKO, P. – GAÁL, L. – MELO, M., 2008. Úvod k scenárom extrémnych poveternostných situácií a vybrané výsledky spracovania. In: *Dôsledky klimatickej zmeny a adaptačné opatrenia.* NKP 12/08, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, s. 9-30.

Kontakty na autora

1 Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: zuzana.macurova@stuba.sk

2 Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave