

# Posúdenie vplyvu klimatických zmien na odhadované návrhové prietoky v malom povodí na Slovensku

Marija Mihaela Labat

## Abstract

---

The issue of climate change is a topic that has become an everyday life, and for that reason the paper focuses on an assessment of the impact of the climate changes on design discharges. The area of interest is located in the Low Tatras National Park in central Slovakia. The Hnilec River basin with its final profile at the Stratená hydrometeorological station (ID 8530) has an area of 67.50km<sup>2</sup>.

The design discharges were calculated using the design intensities of the rainfall for Telgárd climatological station (ID 33020) divided from the actual data (for period 1995-2009) and data derived from the Community Land Model (CLM) simulation (for the 1961-2020 and 2070-2100 periods) using the Soil Conservation Service - Curve Number method (SCS-CN). Based on the results, it is expected that the design discharges will be affected by climate change.

**Keywords:** design discharges, SCS-CN, climate change.

## Annotation

---

The aim of the paper is to compare the design discharges for 1995-2009 period (using the actual data), and for 1961-2020 and 2071-2100 periods (using the data from CLM simulation) and to evaluate the possible impact of climate change on the design discharges. The results are part of the dissertation thesis, which deals with the impact of climate and land use change on design discharges in selected river basins in Slovakia.

## Abstrakt

---

Problematika klimatických zmien je témou, ktorá sa stala každodenným životom, a preto sa príspevok zameriava na zmeny návrhových prietokov spôsobené klimatickými zmenami. Záujmové územie sa nachádza v Národnom parku Nízke Tatry na strednom Slovensku. Povodie toku Hnilec so záverečným profilom vo vodomernej stanici Stratená (ID 8530) má rozlohu 67,50 km<sup>2</sup>.

Návrhové prietoky boli počítané použitím návrhových intenzít úhrnov dažďov pre zražkomernú stanicu Telgárd (ID 33020) odvodených z reálnych meraní (pre obdobie 1995-2009) a odvodených z CLM údajov (pre obdobia 1961-2020 a 1971-2100) pomocou metódy čísel odtokových kriviek (Soil Conservation Service - Curve Number, SCS-CN). Na základe výsledkov možno očakávať, že návrhové prietoky v budúcnosti budú ovplyvnené klimatickými zmenami.

**Kľúčové slová:** návrhové prietoky, SCS-CN, klimatické zmeny.

## Anotácia

---

Cieľom príspevku je porovnať návrhové prietoky pre obdobie 1995-2009 (použitím reálnych údajov), pre obdobia 1961-2020 a 2071-2100 (použitím výstupov z CLM), a vyhodnotiť možný vplyv klimatických zmien na návrhové prietoky. Výsledky sú súčasťou dizertačnej práce, ktorá sa zaoberá vplyvom klimatickej zmeny a zmeny využitia územia na návrhové prietoky vo vybraných povodiach na Slovensku.

## 1 Úvod

---

Zmeny a variácie klimatických podmienok spolu s ľudskými aktivitami z dlhodobého hľadiska predstavujú hlavné faktory, ktoré ovplyvňujú hydrologické pomery a eróziu povodí (Petelet-Giraud a kol., 2018; Dai a kol., 2020). Globálna zmena klímy je všeobecne uznávaná a veľa štúdií sa zaoberá zvyšujúcou sa koncentráciou skleníkových plynov a súvisiacimi zmenami v klimatických mechanizmoch a modeloch (Liu a kol., 2020; Marin a kol., 2020). Nárast extrémnych hydrologických udalostí spôsobil celosvetové environmentálne problémy (Zhao a kol., 2020; Zhang a kol., 2020; Wang a kol., 2020; Santos a kol., 2021; Brito a kol., 2021) s priamymi dopadmi na ekonomiku a životy veľkej časti populácie (Blöschl a kol., 2019; Eamen a kol., 2020). Medzi takéto environmentálne problémy môžeme zaradiť zvýšené povodne a suchá, znečistenie vodných zdrojov, erózia pôdy a zníženie produktívnej kapacity pôd.

Extrémne bleskové povodne spôsobené krátkodobými úhrnmi dažďov sa v posledných desaťročiach stali jednou z najbežnejších prírodných hrozieb, ako v Európe, tak aj na Slovensku. Svedčí o tom veľký počet štúdií o extrémnych zrážkach, privalových povodniach a protipovodňovej ochrane, ako sú napr. sezónne charakteristiky povodňových režimov v alpsko-karpatskom pásme (Parajka a kol., 2010), vplyv extrémnych zrážok a privalových povodní na proces manažmentu povodňových rizík a geomorfologické zmeny v malokarpatských povodiach v Poľsku (Bryndal a kol., 2017), analýza bleskových povodní na Slovensku (Hlavčová a kol., 2016). Tieto extrémne udalosti vyvolávajú potrebu zlepšiť hydrologické metódy protipovodňovej ochrany. Napriek rozsiahlemu výskumu v tejto oblasti stále zostáva potreba lepšieho porozumenia vplyvu využitia a manažmentu územia na tvorbu povodňového odtoku. Preto sú potrebné experimentálne výskumy v tejto oblasti, ako aj vývoj procesne orientovaných hydrologických modelov, zahrňujúcich formovanie povrchového a podpovrchového odtoku na svahoch a povodiach pri rôznych podmienkach jeho tvorby.

Posledné výskumy ukazujú, že klimatické zmeny zapríčinia pravdepodobne zmenu najmä v intenzitách krátkodobých dažďov trvajúcich menej ako jeden deň deň (Requena a kol., 2021), čo môže spôsobiť napr. zvýšenie rozsahu a frekvencie bleskových povodní (Westra a kol., 2014).

Na hodnotenie a analýzu charakteristík úhrnov zrážok sa používajú najnovšie klimatické scenáre z výstupov globálnych cirkulačných modelov (GCM) a z regionálnych klimatických modelov (RCM), ktoré sa využívajú aj v našom regióne (Kyselý a kol., 2011; Lapin a kol., 2012; Gaál a kol., 2014; Danáčová a kol., 2020; Földes a kol., 2020) a následne sa porovnávajú z reálnymi pozorovaniami.

## 2 Metóda čísel odtokových kriviek (SCS-CN)

---

Metóda čísel odtokových kriviek, označovaná ako SCS – CN metóda (Soil Conservation Service – Curve Number), bola vyvinutá Americkým úradom pre ochranu pôdy a publikovaná v Národnej technickej príručke (National Engineering Handbook) v roku 1954 (USDA – SCS 1954). Táto empirická metóda bola odvodená na základe mnohoročných pozorovaní odtoku z malých poľnohospodársky využívaných povodí v rôznych oblastiach USA. Využíva sa na určenie výšky priameho odtoku pre jednotlivé zrážkovo – odtokové udalosti pri nedostatku priamych pozorovaní. V súčasnosti je prispôbena podmienkam aj v iných častiach sveta. Hoci niektoré výskumné centrá vypracovali viaceré modifikácie (Soriano a kol., 2020), základný koncept metódy má stále široké použitie. Podľa mnohých štúdií (Adornado a Yoshida 2010; Moretti a Montanari 2008; Soulis a Valiantzas 2012; Mishra a Singh 2004) bola metóda SCS-CN vyvinutá nad rámec pôvodného rozsahu a stala sa neoddeliteľnou súčasťou simulačných modelov. SCS-CN metóda bola použitá pre rôzne

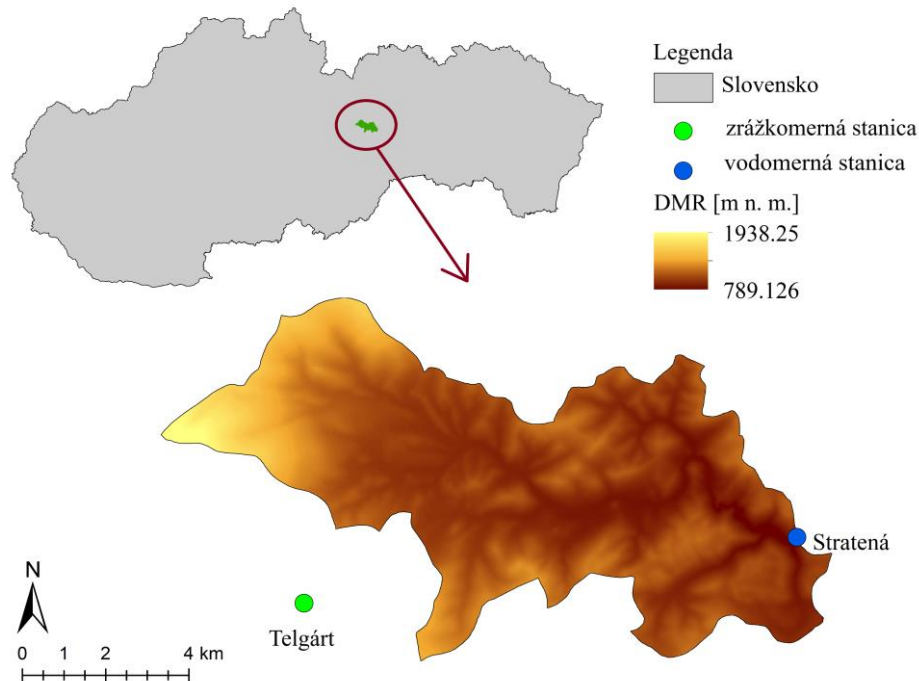
krajinné štruktúry, pôdy a klimatické podmienky (Lyle 1986; Warner a kol., 2010; Vojtek a Vojteková 2016; Singh a kol., 2015; Nagarajan a Basil 2014; Romero a kol., 2007; Tedela a kol., 2012; Mishra a kol., 2012; Verma a kol., 2021). Tieto výstupy z výskumu naznačili, že metódu SCS-CN je možné efektívne využiť ako pre malé povodia, tak aj veľké povodia s heterogénnym spôsobom využitím územia.

SCS – CN metóda má rozšírené uplatnenie aj kvôli tomu, že ide o jednoduchú, empirickú metódu, ktorá zahŕňa mnohé charakteristiky ovplyvňujúce generovanie priameho odtoku do jediného bezrozmerného parametra CN.

Použitím SCS – CN metódy možno pomerne jednoducho vypočítať výšku a objem priameho odtoku.

### 3 Opis povodia a vstupné údaje

Povodie toku Hnilca sa nachádza na strednom Slovensku (obrázok 1). Vodný tok Hnilca pramení pod Kráľovou hoľou, najvyšším vrchom východnej časti Nízkych Tatier a je najväčším pravostranným prítokom rieky Hornád. Povodie toku Hnilca so záverečným profilom vo vodomernej stanici Stratená (ID 8530) má rozlohu 67,53 km<sup>2</sup>. Nadmorská výška povodia sa pohybuje od 789,13 do 1938,25 m n. m. (v priemere 1062,47 m n. m.).



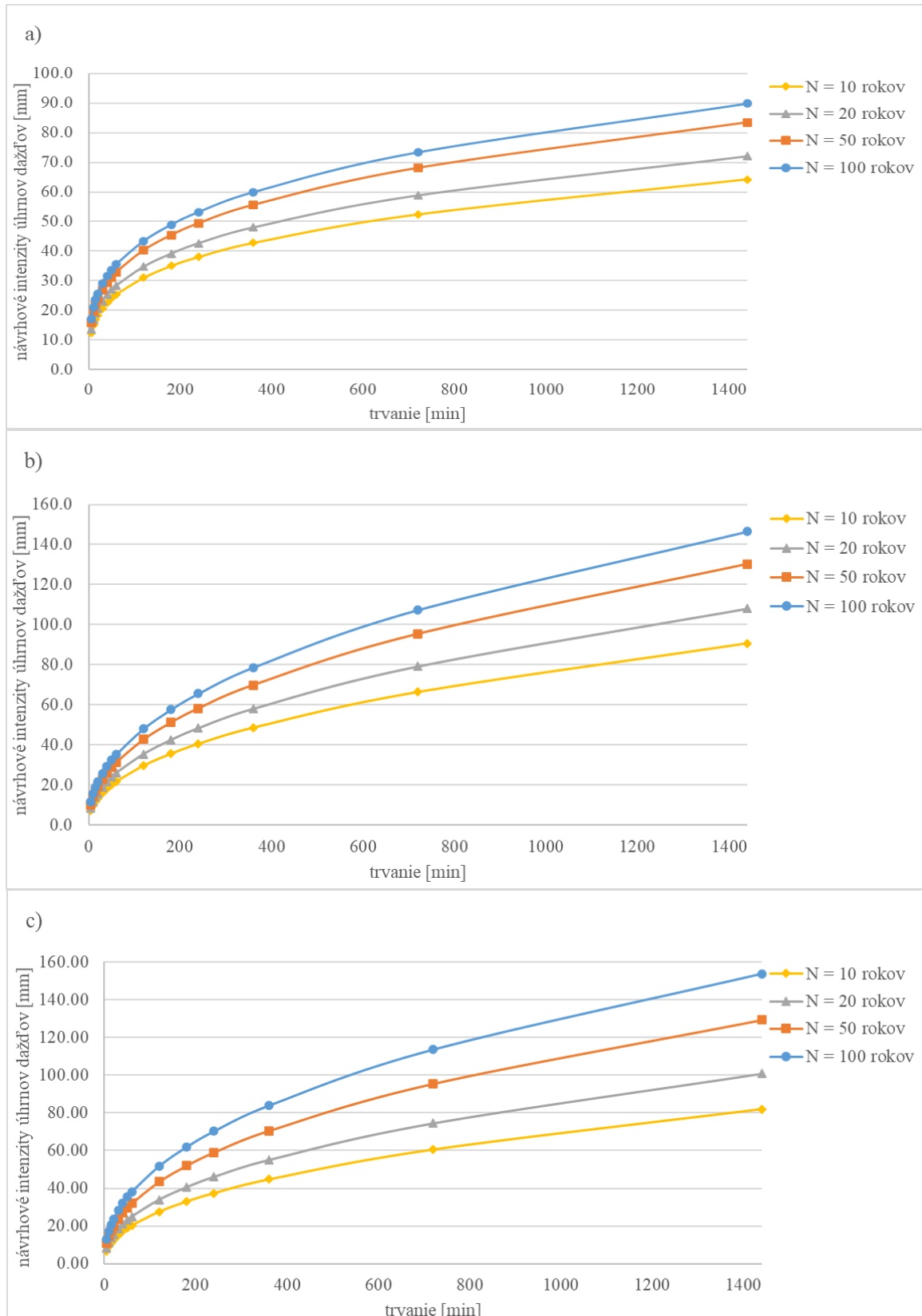
Obrázok 1: Poloha záujmového územia a Digitálny Model Reliéfu povodia (DMR)

Na odhad návrhových prietokov sa použili krátkodobé intenzity úhrnov dažďov zo zrážkomernej stanice Telgárt (ID 33020):

- odvodené na základe reálnych meraní, ktoré poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) pre obdobie 1995-2009;
- odvodené na základe údajov z klimatologického modelu Community Land Model (CLM), ktoré poskytol doc. RNDr. Martin Gera, PhD pre historické obdobie 1961-2020 a budúce obdobie 2071-2100. Na simuláciu klímy bol zvolený scenár SRES A1B, čo je semipesimistický scenár s nárastom globálnej teploty o cca 2,9° do roku 2100 v porovnaní s rokmi 1961-1990.

Na spracovanie intenzít dažďov pre trvanie kratšie ako jeden deň bola použitá metóda jednoduchého škálovania. Jednoduché škálovanie určuje návrhové hodnoty pre trvanie kratšie ako jeden deň a pre

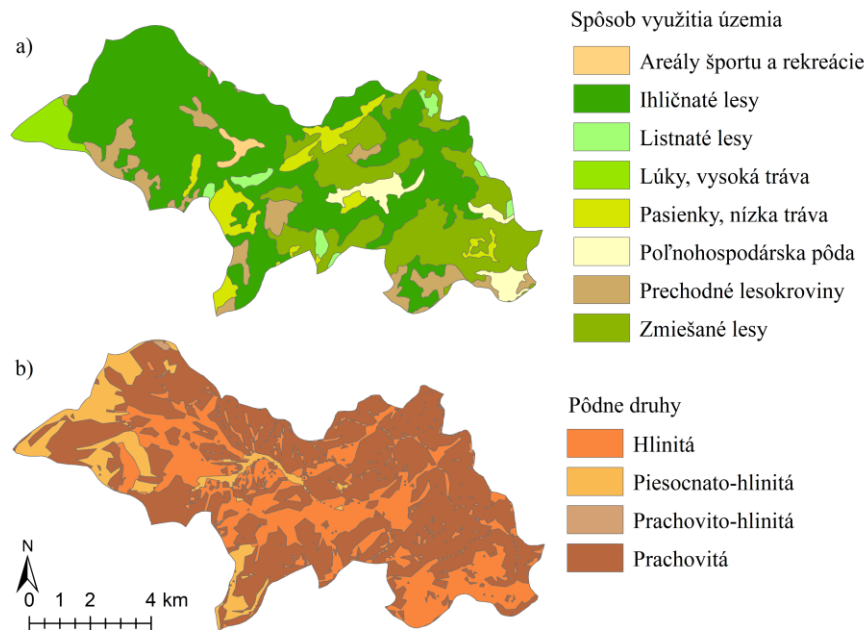
zvolené časové obdobie na základe denných úhrnov dažďov (Koutsoyiannis a kol., 1998). Zoškálované reálne návrhové intenzity úhrnov dažďov a návrhové intenzity úhrnov dažďov z CLM modelu sú zobrazené na obrázku 2.



Obrázok 2: Návrhové intenzity úhrnov dažďov pre a) obdobie 1995-2009 (reálne údaje), b) obdobie 1961-2020 (CLM údaje), c) obdobie 2071-2100 (CLM údaje)

Ako vstupné údaje boli použité aj digitálne mapové podklady:

- rastrová mapa DMR s veľkosťou bunky 20x20m (Obrázok 1);
- vektorové mapa spôsobu využitia územia (Corine Land Cover) pre 2018 rok (Obrázok 3a);
- vektorová mapa pôdných druhov (obrázok 3b).



Obrázok 3: a) mapa spôsobu využitia územia pre rok 2018, b) mapa pôdných druhov

## 4 Výpočet návrhových prietokov

Cieľom výpočtu bolo posúdiť vplyv klimatickej zmeny na návrhové prietoky ( $Q_N$ ) pre dobu opakovania 10, 20, 50 a 100 rokov, použitím návrhových intenzít úhrnov dažďov pre stanicu Telgárd odvodených z reálnych meraní (pre obdobie 1995-2009) a odvodených z CLM údajov (pre obdobia 1961-2020 a 1971-2100).

Pri výpočte návrhových prietokov bolo uvažované, že je povodie zasiahnuté návrhovými intenzitami úhrnov dažďov, ktoré sú rovnomerne plošne rozložené na povodí, majú konštantnú intenzitu, dobu trvania majú rovnú dobu koncentrácie odtoku z povodia a majú rovnakú významnosť (doba opakovania -  $N$ ) ako návrhový prietok.

Doba koncentrácie odtoku ( $T_c$ ) predstavuje čas, ktorý je potrebný aby sa voda (atmosférická zrážka) dostala z hydraulicky najvzdialenejšieho miesta povodia do záverečného profilu povodia. Doba koncentrácie bola stanovená ako maximálna hodnota doby koncentrácie odtoku povodia, počítaná v ArcGIS prostredím pomocou váženej funkcie stanovenia dĺžky odtoku (funkcia Flow Length), ktorá vytvára mapu pohybu vody z každej bunky po záverečný profil povodia. Na základe výpočtu, doba koncentrácie odtoku pre povodie Hnilca je 753,6 min. V príspevku sa predpokladá, že k maximálnemu prietoku v záverečnom profile dochádza v dobe koncentrácie odtoku z povodia.

Hodnoty CN čísel, ktoré závisia od viacerých hydrologických charakteristík povodia ako sú vlastnosti pôdy, vlastnosti pôdneho krytu, spôsob obrábania pôdy a vlhkostný stav pôdy, boli určené na základe

tabuľky CN hodnôt (USDA-SCS, 1989; Karabová, 2014). Vážený priemer CN čísla ( $CN_v$ ) pre povodie toku Hnilec bolo stanovené na základe tab. 1.

Tabuľka 1: Stanovenie váženého priemeru hodnoty CN čísla

Spôsob využitia územia	F [km <sup>2</sup> ]	CN [-]
Areály športu a rekreácie	0.52	69
Ihličnaté lesy	36.23	60
Listnaté lesy	1.29	60
Lúky, vysoká tráva	1.86	58
Pasienky, nízka tráva	4.02	69
Poľnohospodárska pôda	2.37	72
Prechodné lesokroviny	5.56	67
Zmiešané lesy	15.67	60
<b><math>\Sigma F</math> [km<sup>2</sup>]</b>	<b>67.53</b>	
	<b><math>CN_v</math> [-]</b>	<b>61.55</b>

Na základe vstupných údajov SCS-CN a metodiky boli stanovené návrhové prietoky, ktoré sú uvedené v tab. 2.

Tabuľka 2: Návrhové prietoky ( $Q_N$ ) pre obdobia 1995-2009 (reálne údaje), 1961-2020 (CLM údaje) a 2071-2100 (CLM údaje)

N [roky]	obdobie 1995-2009		obdobie 1961-2020		obdobie 2071-2100	
	P* [mm]	$Q_N$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	P* [mm]	$Q_N$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	P* [mm]	$Q_N$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
10	53,09	19,88	67,80	30,31	61,76	25,84
20	59,68	24,36	80,81	40,72	75,99	36,75
50	69,04	31,26	97,38	55,31	97,34	55,28
100	74,41	35,48	109,54	66,82	115,82	72,98

\*Návrhové intenzity úhrnov dažďov pre dobu koncentrácie odtoku  $T_c=753,6$  min.

Na základe výsledkov vyplýva, že môžeme očakávať väčšie intenzity krátkodobých dažďov a návrhové prietoky v budúcom období. Keď porovnáme výsledky z tab. 2, vidno že návrhové prietoky vypočítané na základe reálnych meraní (obdobie 1995-2009) sú nižšie ako návrhové prietoky, ktoré boli vypočítané na základe údajov ktoré predpokladá CLM model a scenár SRES A1B (obdobia 1961-2020 a 2071-2100).

## 5 Záver

Z výsledkov výpočtu vyplýva nárast v hodnotách návrhových prietokov. Návrhové prietoky pre obdobie 1961-2020 sú vyššie vzhľadom na obdobie 1995-2009, a to o 53% v prípade N = 10 rokov, o 67% v prípade N = 20 rokov, o 77% v prípade N = 50 rokov, o 88% v prípade N = 100 rokov. Podstatne vyššie rozdiely v hodnotách návrhových prietokov vznikli pri porovnaní obdobia 2071-2100 vzhľadom na obdobie 1995-2009, návrhové prietoky sa zvýšili o 30% v prípade N = 10 rokov, o 51% v prípade N = 20 rokov, o 77% v prípade N = 50 rokov a 106% v prípade keď N = 100 rokov.

Rozdiel vo výsledkoch bol spôsobený návrhovými intenzitami úhrnov dažďov, ktoré podstatne ovplyvnili výpočet. Predpokladané nárasty v návrhových intenzitách úhrnov dažďu sú spôsobené aplikovaním klimatického scenára CLM. Jedná sa o scenár SRES A1B, ktorý je stredne pesimistický

scenár s globálnym otepľovaním približne o 2,9 ° C do roku 2100 v porovnaní s rokmi 1961-1990, ktorý pomerne dobre zodpovedá súčasným procesom v atmosfére, kde nárast globálnej teploty vzduchu bol od roku 1980 približne o 0,2 ° C za desaťročie.

Z predložených výsledkov vyplýva, že klimatické zmeny sú nielenže aktuálnou celosvetovou témou, ale sú aj výrazným problémom a podstatne ovplyvňujú hodnoty návrhových prietokov.

## Pod'akovanie

---

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+ 313011W580), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## References

---

Adornado, H. A. a M. Yoshida, 2010. GIS-based watershed analysis and surface run-off estimation using curve number (CN) value. *J. Environ. Hydrol.*, 2010, roč. 18, s. 1–10.

Blöschl, G., J. Hall, A. Viglione, R.A.P. Perdigão, J. Parajka, B. Merz, D.Lun, B. Arheimer, G. T. Aronica, A. Bilibashi, M. Boháč, a kol., 2019: Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 2019, roč. 573, č. 7772, s. 108–111, ISSN 14764687, doi:10.1038/s41586-019-1495-6

Brito, C. S., R. M. Silva, C A. G. Santos, R. M. B. Neto a V. H. R. Coelho, 2021. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil. *Atmospheric Research*, 2021, roč. 250, s. 105380. ISSN 01698095, doi:10.1016/j.atmosres.2020.105380

Bryndal, T., P. Franczak, R. Krocak, W. Cabaj a A. Kołodziej, 2017. The impact of extreme rainfall and flash floods on the flood risk management process and geomorphological changes in small Carpathian catchments: a case study of the Kasiniczanka river (Outer Carpathians, Poland). *Natural Hazards*, 2017, roč. 88, č. 1, s. 95–120. doi:10.1007/S11069-017-2858-7

Dai, C., X. S. Qin, W. T. Lu a Y. Huang, 2020, Assessing adaptation measures on agricultural water productivity under climate change: A case study of Huai River Basin, China. *Science of the Total Environment*, 2020, roč. 721, s. 137777. ISSN 18791026, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137777

Danáčová, M., G. Földes, M. M. Labat, S. Kohnová a K. Hlavčová, 2020, Estimating the effect of deforestation on runoff in small mountainous basins in Slovakia, *Water*, 2020, roč. 12, č. 11, s. 3113, ISSN 20734441, doi:10.3390/w12113113

Eamen, L., R. Brouwer a S. Razavi, 2020. The economic impacts of water supply restrictions due to climate and policy change: A transboundary river basin supply-side input-output analysis. *Ecological Economics*, 2020, roč. 172, s. 106532, ISSN 09218009, doi:10.1016/j.ecolecon.2019.106532

Földes, G., M. Labat a S. Kohnová, 2020. CLM climate scenario and its impact on seasonality changes in short-term rainfall intensities in mountainous regions of Slovakia. *Acta Hydrologica Slovaca*, 2020, roč. 21, č. 1, s. 3–8, doi:10.31577/ahs-2020-0021.01.0001

Gaál, L., R. Beranová, K. Hlavčová a J. Kyselý, 2014, Climate Change Scenarios of Precipitation Extremes in the Carpathian Region Based on an Ensemble of Regional Climate Models. *Advances in Meteorology*, 2014, roč. 2014, s. 1–14. ISSN 1687-9309, doi:10.1155/2014/943487

- Hlavčová, K, S Kohnová a M Borga, 2016. Post-event analysis and flash flood hydrology in Slovakia. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2016, roč. 64, č. 4, s. 304–315, doi:10.1515/johh-2016-0041
- Karabová, B., 2014, *Analýza parametrov metódy SCS – CN v podmienkach Slovenska*, Slovenská technická univerzita v Bratislave (SvF), <http://opac.crzp.sk/?fn=docviewChild000151E0>
- Koutsoyiannis, D, D Kozonis a A Manetas, 1998, A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 1998, roč. 206, s. 118–135
- Kyselý, Jan, Ladislav Gaál a Romana Beranová, 2011. Projected Changes in Flood-Generating Precipitation Extremes Over the Czech Republic in High-Resolution Regional Climate Models. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 2011, roč. 59, č. 4, s. 217–227, doi:10.2478/v10098-011-0018-4
- Lapin, M., I. Bašták-Đurán, M. Gera, J. Hrvol, M. Kremler a M. Melo, 2012. New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. *Acta Met. Univ. Comen.* 2012, roč. 37, s. 25–74.
- Liu, W., R. T. Bailey, H. E. Andersen, E. Jeppesen, A. Nielsen, Kai Peng, E. Molina-Navarro, S. Park, H. Thodsen a D. Trolle, 2020. Quantifying the effects of climate change on hydrological regime and stream biota in a groundwater-dominated catchment: A modelling approach combining SWAT-MODFLOW with flow-biota empirical models. *Science of the Total Environment*, 2020, roč. 745, s. 140933. ISSN 18791026, doi:10.1016/j.scitotenv.2020.140933
- Lyle, M. S., Jr., 1986. *Surface mine reclamation manual*. B.m.: Elsevier Science Publishing Co., Inc. ISBN 0444010149.
- Marin, M., I. Clinciu, N. C. Tudose, C. Ungurean, A. Adorjani, A. L. Mihalache, A. A. Davidescu, Ș. O. Davidescu, L. Dinca a H. Cacovean, 2020. Assessing the vulnerability of water resources in the context of climate changes in a small forested watershed using SWAT: A review. *Environmental Research*. 2020, roč. 184, s. 109330. ISSN 10960953, doi:10.1016/j.envres.2020.109330
- Mishra, S. K., A. Pandey a V. P. Singh, 2012. Special Issue on Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2012, roč. 17, č. 11, s. 1157–1157, ISSN 1084-0699 doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000694
- Mishra, S. K. a V. P. Singh, 2004. Long-term hydrological simulation based on the Soil Conservation Service curve number. *Hydrological Processes* ., 2004, roč. 18, č. 7, s. 1291–1313, ISSN 0885-6087,doi:10.1002/hyp.1344
- Moretti, G. a A. Montanari, 2008. Inferring the flood frequency distribution for an ungauged basin using a spatially distributed rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2008, roč. 12, č. 4, s. 1141–1152. ISSN 16077938, doi:10.5194/hess-12-1141-2008
- Nagarajan, M. a G. Basil, 2014. Remote sensing- and GIS-based runoff modeling with the effect of land-use changes (a case study of Cochin corporation). *Natural Hazards*, 2014, roč. 73, č. 3, s. 2023–2039 , ISSN 0921030X, doi:10.1007/s11069-014-1173-9
- Parajka, J., S. Kohnová, G. Bálint, M. Barbuc, M. Borga, P. Claps, S. Cheval, A. Dumitrescu, E. Gaume, K. Hlavčová, R. Merz, M. Pfaundler, G. Stancalie, J. Szolgay a G. Blöschl, 2010. Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine–Carpathian range. *Journal of Hydrology*, 2010, roč. 394, č. 1–2, s. 78–89. ISSN 0022-1694, doi:10.1016/J.JHYDROL.2010.05.015



- Petelet-Giraud, E., L. Cary, P. Cary, G. Bertrand, A. Giglio-Jacquemot, R. Hirata, L. Aquilina, L. M. Alves, V. Martins, A. M. Melo, S. Montenegro, Eliot Chatton, Melissa Franzen a Axel Aurouet, 2018. Multi-layered water resources, management, and uses under the impacts of global changes in a southern coastal metropolis: When will it be already too late? Crossed analysis in Recife, NE Brazil. *Science of the Total Environment*, 2018, roč. 618, s. 645–657. ISSN 18791026, doi:10.1016/j.scitotenv.2017.07.228
- Requena, A.I., T. H. Nguyen, D. H. Burn, P. Coulibaly a V. T. V. Nguyen, 2021. A temporal downscaling approach for sub-daily gridded extreme rainfall intensity estimation under climate change. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2021, roč. 35, s. 100811. ISSN 22145818, doi:10.1016/j.ejrh.2021.100811
- Romero, P., G. Castro, J. A. Gómez a E. Fereres, 2007. Curve Number Values for Olive Orchards under Different Soil Management. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, roč. 71, č. 6, s. 1758–1769, ISSN 03615995, doi:10.2136/sssaj2007.0034
- Santos, José Yure Gomes Dos, Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Richarde Marques Da Silva, Celso Augusto Guimarães Santos, Nevil Wyndham Quinn, Ana Paula Xavier Dantas a Alfredo Ribeiro Neto, 2021. Modeling the impacts of future LULC and climate change on runoff and sediment yield in a strategic basin in the Caatinga/Atlantic forest ecotone of Brazil. *CATENA*, 2021, roč. 203, s. 105308, ISSN 03418162, doi:10.1016/j.catena.2021.105308
- Singh, P. K., S. K. Mishra, R. Berndtsson, M. K. Jain a R. P. Pandey, 2015. Development of a Modified SMA Based MSCS-CN Model for Runoff Estimation. *Water Resources Management* ., 2015, roč. 29, č. 11, s. 4111–4127, ISSN 09204741, doi:10.1007/s11269-015-1048-1
- Soriano, E., L. Mediero a C. Garijo, 2020. Quantification of Expected Changes in Peak Flow Quantiles in Climate Change by Combining Continuous Hydrological Modelling with the Modified Curve Number Method. *Water Resources Management*, 2020, roč. 34, č. 14, s. 4381–4397, ISSN 15731650, doi:10.1007/s11269-020-02670-w
- Soulis, K. X. a J. D. Valiantzas, 2012. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds-the two-CN system approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, roč. 16, č. 3, s. 1001–1015. ISSN 10275606, doi:10.5194/hess-16-1001-2012
- Tedela, N. H., S. C. Mccutcheon, T. C. Rasmussen, R. H. Hawkins, W. T. Swank, J. L. Campbell, M. B. Adams, C. R. Jackson a E. W. Tollner, 2012. Runoff Curve Numbers for 10 Small Forested Watersheds in the Mountains of the Eastern United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2012, roč. 17, č. 11, s. 1188–1198, ISSN 1084-0699, doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000436
- USDA-SCS, 1954. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. V: *National Engineering Handbook, Part 630 - Hydrology*, United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service, Washington DC.
- USDA-SCS, 1989. *Engineering Hydrology Training Series. Module 104 - Runoff Curve Number Computations. Study Guide*. 2nd vyd., United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service, Washington DC.
- Verma, R. K., S. Verma, N. K. Sharma, S. K. Mishra a A. Pandey, 2021. Improved SCS-CN Model Incorporating Storm Duration and Rainfall-based Initial Abstraction for Runoff Estimation. *Preprints 2021*, 2021040352, 2021, doi:10.20944/preprints202104.0352.v1
- Vojtek, Matej a Jana Vojteková, 2016. GIS-based Approach to Estimate Surface Runoff in Small Catchments: A Case Study. *Quaestiones Geographicae* ., 2016, roč. 35, č. 3, s. 97–116, ISSN

20816383, doi:10.1515/quageo-2016-0030

Wang, Q., Y. Xu, Y. Wang, Y. Zhang, J. Xiang, Y. Xu a J. Wang, 2020. Individual and combined impacts of future land-use and climate conditions on extreme hydrological events in a representative basin of the Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Research*, 2020, roč. 236, s. 104805. ISSN 01698095, doi:10.1016/j.atmosres.2019.104805

Warner, R. C., C. T. Agouridis, P. T. Vingralek a A. W. Fogle, 2010. Reclaimed Mineland Curve Number Response to Temporal Distribution of Rainfall. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* ., 2010, roč. 46, č. 4, s. 724–732, ISSN 1093474X, doi:10.1111/j.1752-1688.2010.00444.x

Westra, S., H. J. Fowler, J. P. Evans, L. V. Alexander, P. Berg, F. Johnson, E. J. Kendon, G. Lenderink a N. M. Roberts, 2014. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 2014, roč. 52, č. 3, s. 522–555. ISSN 87551209, doi:10.1002/2014RG000464

Zhang, C., X. Wang, J. Li a T. Hua, 2020. Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. *Ecological Indicators*, 2020, roč. 112, s. 106141. ISSN 1470160X. ,doi:10.1016/j.ecolind.2020.106141

Zhao, Cha, François Brissette, Jie Chen a Jean Luc Martel, 2020. Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, 2020, roč. 584, s. 124316. ISSN 00221694, doi:10.1016/j.jhydrol.2019.124316