

Odhad návrhových kulminačných prietokov použitím SCS-CN metódy a klimatického scenára CLM

Marija Mihaela Labat

Abstract

Changes and variations in climate conditions, together with human activities, are the main factors that affect the hydrological conditions and erosion of watersheds. Therefore, the aim of this research was to evaluate the effect of land use and climate changes on design floods.

The design floods with different return periods were calculated using the Soil Conservation Service - Curve Number method (SCS-CN). The first important input data were CORINE Land Cover maps for 1990 and 2018 year (which represented land use change over time). The second valuable input data were scenario data of rainfall intensities, from the Community Land Model (CLM model), which were downscaled using the Simple Scaling method. The DVWK model was used to estimate design maximum rainfall intensities with different return periods.

The calculation was applied to three small river basins (Rovenský stream, Brezovský stream, and Svacenícky Jarok) located in the Myjava region in Western Slovakia.

Keywords: design floods, SCS-CN, CLM model.

Annotation

The aim of the paper was to evaluate the effect of land use change over the period from 1990 – 2018 and the effect of future climate changes on design floods. Design floods were calculated using the various land use maps and rainfall intensities. The changes in land use were presented with CORINE Land Cover maps for 1990 a 2018 year. Climate change is presented with data from the CLM model. These 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

Zmeny a variácie klimatických podmienok spolu s ľudskou činnosťou sú hlavnými faktormi, ktoré ovplyvňujú hydrologické pomery a eróziu povodí. Cieľom tohto výskumu bolo zhodnotiť vplyv využívania pôdy a klimatických zmien na návrhové kulminačné prietoky.

Návrhové kulminačné prietoky s rôznou dobou opakovania boli vypočítané pomocou SCS-CN metódy (Soil Conservation Service - Curve Number). Prvými dôležitými vstupnými údajmi boli CLC mapy spôsobu využitia územia (CORINE Land Cover - CLC) pre 1990 a 2018 rok (ktoré predstavovali zmenu spôsobu využitia územia v čase). Druhými cennými vstupnými údajmi boli scenárove intenzity zrážok z CLM modelu (Community Land Model), ktoré boli zoškálované pomocou metódy jednoduchého škálovania. Model DVWK bol použitý na odhad návrhových maximálnych intenzít zrážok s rôznou dobou opakovania.

Výpočet bol aplikovaný na tri malé povodia (Rovenský potok, Brezovský potok a Svacenícky Jarok), ktoré sa nachádzajú v povodí vodného toku Myjava na západnom Slovensku.

Kľúčové slová: návrhové kulminačné prietoky, SCS-CN, CLM model.

Anotácia

Cieľom príspevku bolo zhodnotiť vplyv zmeny využitia územia počas obdobia 1990 – 2018 a vplyv budúcich klimatických zmien na návrhové kulminačné prietoky. Návrhové kulminačné prietoky boli počítané pomocou rôznych máp spôsobu využitia územia a rôznych intenzít zrážok. Zmeny vo využívaní územia boli prezentované s mapami CORINE Land Cover pre 1990 a 2018 rok. Klimatické zmeny sú prezentované s údajmi z modelu CLM. Tieto výsledky sú súčasťou dizertačnej práce, ktorá sa zaoberá vplyvom zmeny klímy a spôsobu využitia územia na návrhové kulminačné prietoky vo vybraných povodiach na Slovensku.

1 Úvod

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). Patria sem zvýšené povodne a suchá, znečistenie vodných zdrojov, erózia pôdy, zanášanie pôdy a zníženie produktívnej kapacity pôd. Na analýzu príčin vzniku povodní možno využiť monitorovanie, experimentálny výskum a hydrologické modelovanie, ktorým by sa mala venovať zvýšená pozornosť ako v menšej, tak aj vo väčšej priestorovej mierke.

Množstvo štúdií (napr. Marshall a kol. (2014), Zhang a kol. (2015) Pavlin a kol. (2021)) sa aj z toho dôvodu v oblasti vplyvu zmien prostredia na hydrologický systém zaoberalo práve vzťahom medzi spôsobom využitia územia a tvorbou povodní. Diverzita rastlín, najmä funkčná diverzita založená na vlastnostiach rastlín, je primárnym ukazovateľom zloženia vegetácie a charakteristik spoločenstva, ktoré ovplyvňujú odtok a stratu pôdy zmenou vlastností rastlín a pôd (Martin a kol., 2010; Mälicke a kol., 2020). Zvýšená rozmanitosť rastlín posilňuje účinnosť nadzemnej vegetácie a zvyšuje rozmanitosť vrstiev podstielky a koreňového systému na obmedzenie odtoku (Jianbo a kol., 2018). Nepriaznivé zmeny vo využití krajiny pôsobia na tvorbu povodní tým, že ovplyvňujú niekoľko dôležitých charakteristík pôd, ako sú napr. rozšírenie nepriepustných povrchov, zmeny v drsnosti povrchu, zníženie infiltračnej kapacity a akumulácie kapacity pôd, zhutnenie pôdnych vrstiev a pod. Klimatické zmeny významne prispievajú k extrémnym meteorologickým udalostiam a ich dopady na hydrologické procesy boli analyzované v mnohých štúdiách (Kohnová a kol., 2019b; Lian a kol., 2021; Brito a kol., 2021; Santos a kol., 2021; Rottler a kol., 2021). Klimatické modely sú matematické reprezentácie klimatického systému Zeme, ktoré sa pokúšajú simulovať vplyv klimatických zmien na životné prostredie. Modely možno použiť na simuláciu klímy v rôznych priestorových a časových mierkach pre rôzne scenáre emisií skleníkových plynov, častíc znečisťujúcich ovzdušie a modelov využívania pôdy (IPCC 2014).

2 Metodika

2.1 SCS-CN metóda (Soil Conservation Service - Curve Number)

Metóda čísel odtokových kriviek, označovaná ako SCS – CN metóda (Soil Conservation Service – Curve Number), bola použitá na odhad návrhových kulminačných prietokov. Metóda 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 sa je kvôli svojej praktickosti často využíva na určenie výšky a objemu priameho odtoku pre jednotlivé zrážkovo – odtokové udalosti a pre povodia bez priamych pozorovaní, použitím vzťahov (Mishra a kol., 2006; Randusová a kol., 2015):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{ak } P > I_a, \quad (1)$$

$$Q = 0 \quad \text{ak } P \leq I_a, \quad (2)$$

$$I_a = \lambda \cdot S, \quad (3)$$

kde je : Q – výška priameho odtoku z povodia [mm]; P – úhrn zrážok [mm]; I_a – počiatočná strata [-]; λ – koeficient počiatočnej straty [-], (Pri výpočtoch bolo uvažované, že koeficient počiatočnej straty $\lambda = 0$); a S – potenciálna maximálna retencia povodia od doby začiatku odtoku [mm], počítaná pomocou vzťahu (4):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \quad (4)$$

kde je CN – priemerná hodnota parametra CN na povodie [-].

Parameter CN je závislý od viacerých hydrologických charakteristík povodia ako sú vlastnosti pôdy, vlastnosti pôdneho krytu, spôsob obrábania pôdy a vlhkosťný stav pôdy. Vlastnosti pôdy výrazne ovplyvňuje množstvo priameho odtoku. Tieto vlastnosti sú dané hydrologickým parametrom – minimálnou mierou infiltrácie získaná na holej pôde po dlhotrvajúcom zamokrení, podľa ktorej sú pôdy klasifikované na 4 kategórie A, B, C a D. Hodnoty CN sú uvedené v publikácii USDA-SCS (1989) a Karabová (2014).

2.2 DVWK metóda

Odhad návrhových intenzít dažďov s rôznou dobou opakovania, bol počítaný pomocou metódy DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau/ Nemecký spolok pre vodohospodárske a kultúrne stavby). Odhad pravdepodobností model stanovuje na základe teoretických distribučných funkcií: generalizované extrémne rozdelenie (GEV, nemecké označenie AE), trojparametrické logaritnicko-normálne rozdelenie (LN3), troj-parametrické rozdelenie logPearson (LP3), troj-parametrické rozdelenie Pearsona (P3, tiež označované PE3), troj-parametrické rozdelenie Weibulla (WB3), Rossiho rozdelenie (ME), Gumbelovo rozdelenie (E1).

Všetky distribúcie boli testované pomocou alternatívnych metód odhadu parametrov metóda momentov (MM), metóda maximálnej pravdepodobnosti (MLM) a metóda pravdepodobnosťou vážených momentov (PWM, nemecké označenie WGM). Výnimkou je Rossiho rozdelenie (ME), pre ktorý bol odhad parametrov iba metódou MLM.

Podrobnejší opis metodiky a aplikácia pri výpočtoch sa uvádza v literatúre (DVWK Regeln 101/1999 1999; Kluge, 1996; Földes, 2021; Kohnová a kol., 2019a; Vojtek a Vojteková, 2016a).

2.3 Metóda jednoduchého škálovania

Metóda jednoduchého škálovania umožňuje stanoviť zrážkové úhrny pre menšie doby trvania (rádovo minúty) na základe pozorovaných alebo simulovaných údajov s dobou trvania väčšou ako jeden deň. Je vhodná na vyjadrenie tzv. IDF vzťahu (vzťah medzi intenzitou (Intensity), trvaním (Duration) a periodicitou (Frequency) zrážok) (Menabde a kol., 1999; Yu a kol., 2004).

V určovaní škálovacích vlastností zrážok sa vychádza zo všeobecného tvaru vzťahu IDF (Földes, 2021; Koutsoyiannis a kol., 1998):

$$i = \frac{a(T)}{b(d)}$$

kde je: i – intenzita zrážok; T – doba opakovania; d – dĺžka trvania extrémnej udalosti.

Funkciu $a(T)$ možno určiť z funkcie rozdelenia pravdepodobnosti maximálnej intenzity zrážok a funkcia $b(d)$ je určená na základe vzťahu (Földes, 2021; Koutsoyiannis a kol., 1998; Menabde a kol., 1999):

$$b(d) = (d + \theta)^\eta,$$

kde sú θ , η – odhadované parametre v rozmedzí $\theta > 0$, a $0 < \eta < 1$.

Detailnejší postup metodiky škálovania opisujú práce Földes (2021), Koutsoyiannis a kol. (1998), Menabde a kol. (1999), Gupta a Waymire (1990), Yu a kol. (2004) a mnohé iné.

So známymi škálovacími koeficientmi je možné stanoviť návrhové hodnoty zrážok pre ľubovoľné trvanie zrážkových oddielov, a to aj pre lokality bez priamych pozorovaní (Danko, 2011).

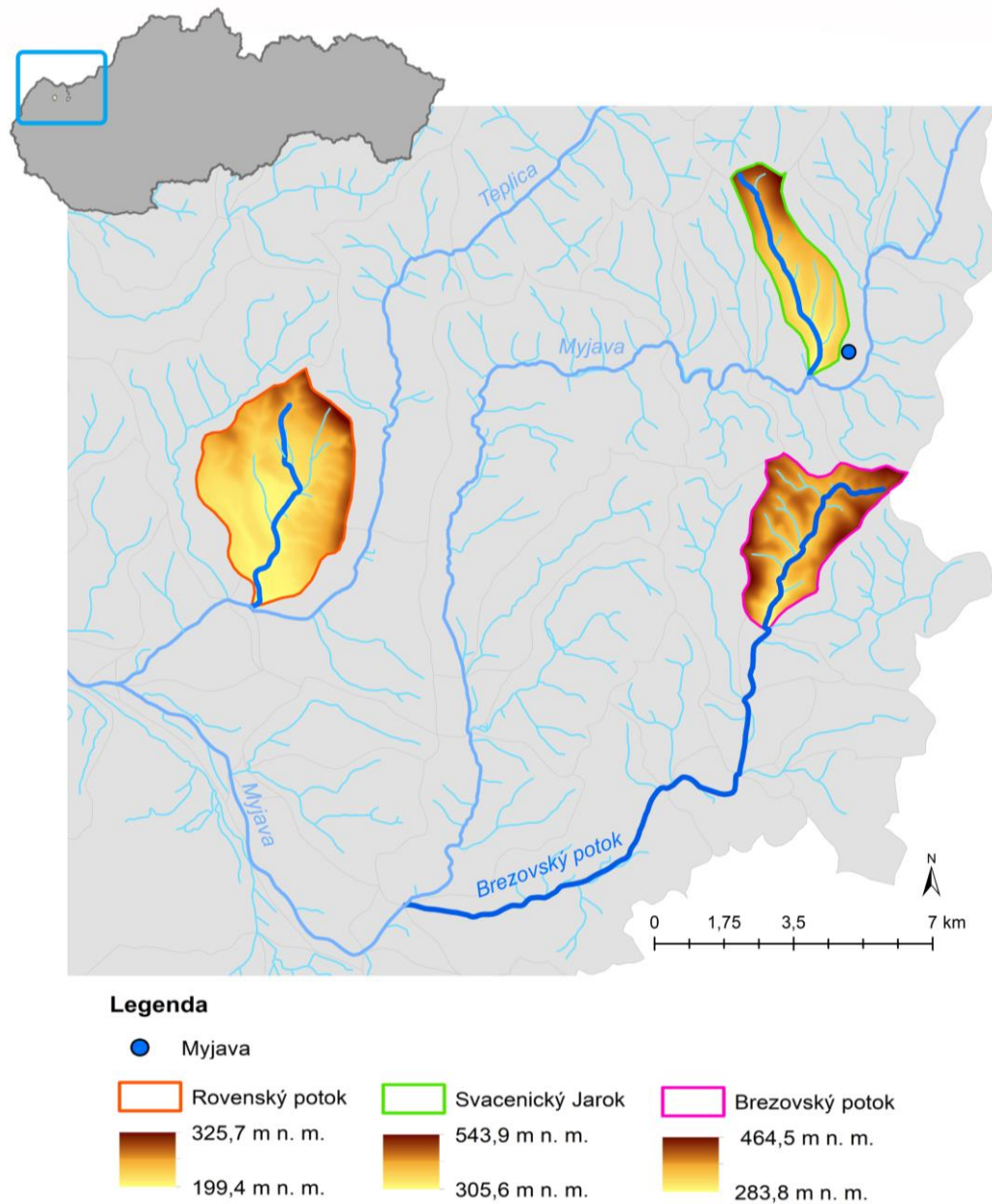
3 Opis povodia a vstupné údaje

Pre výpočet bolo zvolené územie troch malých povodí, ktoré sa nachádzajú na západnom Slovensku a sú subpovodiami rieky Myjavy. Sú to Rovenský potok, Brezovský potok a Svacenický Jarok. Poloha povodí je zobrazená na obrázku č. 1.

Vodný tok Rovenský potok pramení v Chvojnickej pahorkatine, v podcelku Senická pahorkatina a je pravostranným prítokom rieky Teplica. Povodie Rovenského potoku, so záverečným profilom v mieste ústia do Teplice, má rozlohu 15,42 km². Nadmorská výška povodia sa pohybuje od 352,7 do 199,4 m n. m. (v priemere 234,63 m n. m.) a priemerná hodnota sklonu na celé povodie je 5,5 %.

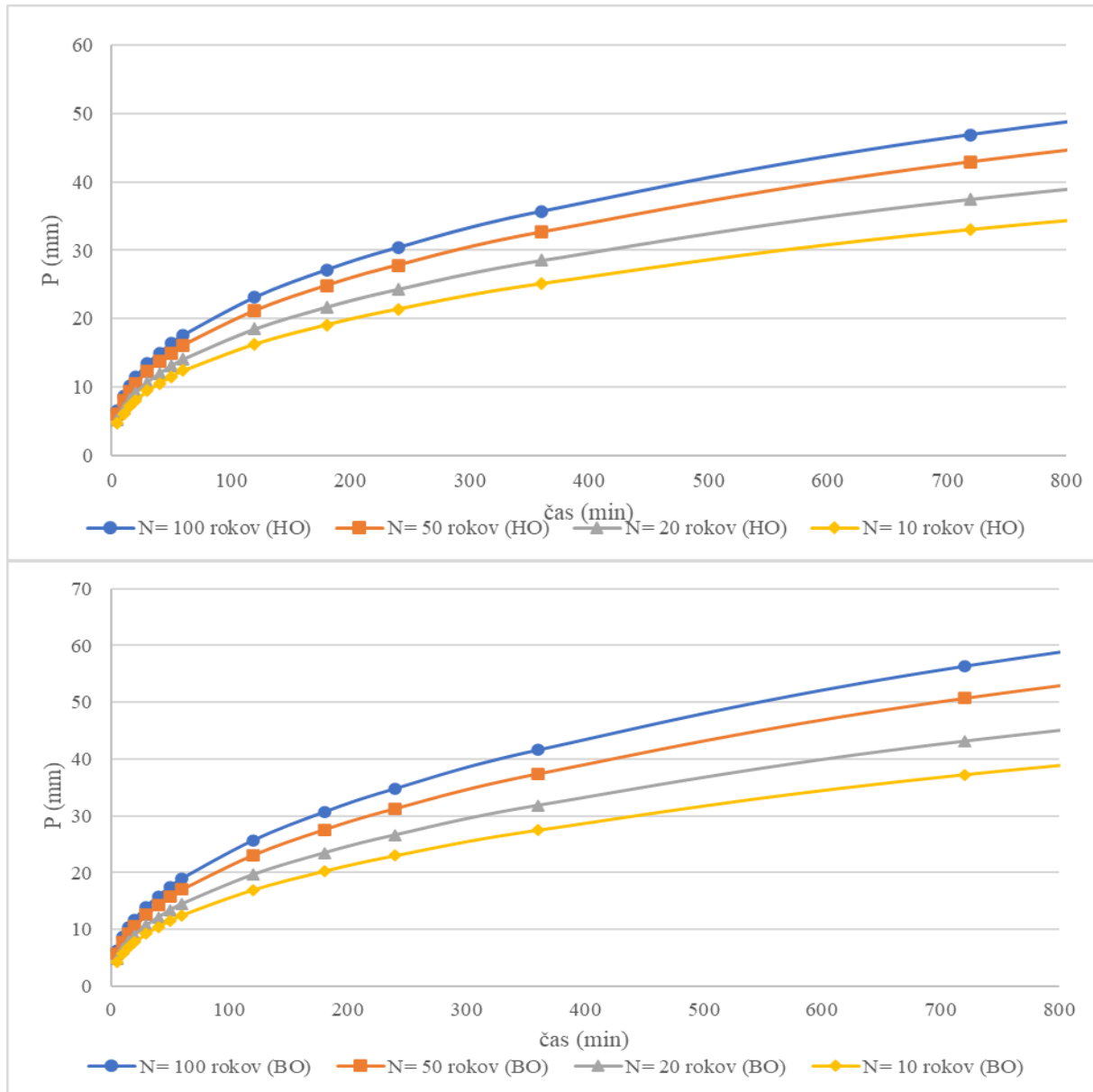
Svacenický Jarok je potok na Myjavských kopaniciach, v centrálnej časti okresu Myjava, ktorý pramení v Bielych Karpatoch. Povodie vodného toku Svacenický Jarok so záverečným profilom v mieste ústia do Myjavy má plochu 6,47 km². Nadmorská výška povodia sa pohybuje od 543,9 do 305,6 m n. m., čo je v priemere 388,29 m n. m., a priemerný sklon povodia je 11,0 %.

Vodný tok Brezovský potok pramení v Myjavskej pahorkatine, na území obce Polianka. Povodie toku Brezovský potok so záverečným profilom nad prítokom Priepasnianského potoku má rozlohu 8,94 km². Nadmorská výška povodia sa pohybuje od 464,5 do 283,8 m n. m. (v priemere 383,0 m n. m.) a priemerný sklon povodia je 14,6 %.



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

Na odhad návrhových prietokov boli použité údaje zrážkomernej stanice Myjava (ID 15020), presnejšie návrhové intenzity zrážok (zobrazené na obrázku č. 3), ktoré boli zaškálované zo scenárových údajov z klimatologického modelu Community Land Model (CLM), ktoré poskytol doc. RNDr. Martin Gera, PhD pre historické obdobie 1961-2020 (HO) a budúce obdobie 2071-2100 (BO). Na simuláciu údajov bol použitý SRES A1B scenár, čo je semipesimistický scenár, ktorý počíta s nárastom globálnej teploty o cca 2,9° do roku 2100 v porovnaní s rokmi 1961-1990.



Obrázok 2: Návrhové intenzity úhrnov dažďov pre historické obdobie 1961-2020 (HO) a budúce obdobie 2071-2100 (BO)

Ako vstupné údaje boli použité aj nasledovné digitálne mapové mapy: rastrová mapa DMR s veľkosťou bunky 20x20m, vektorové mapy spôsobu využitia územia (Corine Land Cover) pre 1990 a 2018 rok, vektorová mapa pôdných druhov a vodohospodárska mapa SR mierky 1:50 000, 3. vydanie.

4 Výpočet návrhových prietokov

4.1 Postup výpočtu a spracovanie vstupných údajov

Zmeny v spôsobe využitia územia bol prezentované pomocou máp Corrine Land Cover pre 1990 a 2018 rok. Údaje z máp (jednotlivé kategórie spôsobu využitia územia a ich prisluchajúca plocha) boli

prevedené do tabuľky č. 1. Tabuľka č. 1 obsahuje aj hodnoty CN čísiel stanovených pomocou mapy spôsobu využitia územia, mapy pôdných druhov a podľa literatúry (USDA-SCS, 1989; Karabová, 2014). Následne boli vypočítané vážené priemerné hodnoty CN_v čísiel na pre jednotlivé povodia, ktoré sú tiež uvedené v tabuľky č. 1.

Tabuľka 1: Zastúpenie jednotlivých kategórií spôsobu využitia územia a stanovenie váženého priemeru hodnoty CN čísla

Spôsob využitia územia	hydr. kategória	CN [-]	Rovenský potok		Svacenický Jarok		Brezovský potok	
			F [km ²] v roku		F [km ²] v roku		F [km ²] v roku	
			1990	2018	1990	2018	1990	2018
Ihličnaté lesy	B	60	-	-	-	-	0,04	0,11
Listnaté lesy	B	60	-	-	-	-	-	0,01
Pasienky, nízka tráva	B	69	-	-	0,02	-	-	-
Poľnohospodárska pôda	B	72	12,71	12,64	6,05	6,41	7,19	6,60
	C	81	1,47	1,48	-	-	-	-
Prechodné lesokroviny	D	85	0,28	0,28	0,04	0,04	-	-
	B	67	-	-	-	-	-	0,25
Urbanizovaná plocha	B	98	0,65	0,72	0,36	0,02	0,12	0,21
	C	98	0,29	0,28	-	-	-	-
	D	98	0,02	0,02	-	-	-	-
Zmiešané lesy	B	60	-	-	0,01	0,02	1,58	1,76
ΣF [km ²]			15,42	15,42	6,48	6,48	8,94	8,94
CN_v [-]			74,71	74,82	73,48	72,11	70,18	69,96

Pri výpočte návrhových prietokov bolo uvažované, že je povodie rovnomerne (plošne) zasiahnuté návrhovými intenzitami úhrnov dažďov zo zrážkomernej stanice Myjava (ID 15020), ktoré boli zaškálované z CLM scenárových údajov. Tieto intenzity majú dobu trvania rovnú dobe koncentrácie odtoku z povodia a majú rovnakú dobu opakovania N ako návrhový kulminačný prietok.

Z toho dôvodu bola následne stanovená doba koncentrácie odtoku (T_c) (Tabuľka č. 2). T_c predstavuje čas, ktorý je potrebný aby sa atmosférická zrážka dostala z hydraulicky najvzdialenejšieho miesta povodia do záverečného profilu povodia. V prípade príspevku bola hodnota T_c 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 T_c hodnôt boli interpoláciou stanovené návrhové intenzity zrážok (P) pre jednotlivé povodia, ktoré sú zobrazené v Tabuľky č. 2.

Tabuľka 22: Stanovené návrhové intenzity zrážok (P) pre jednotlivé povodia

N [roky]	P [mm]					
	historické obdobie (1961-2020)			budúce obdobie (2070-2100)		
	RP, pre $T_c = 198,3$ min	SJ, pre $T_c = 101,3$ min	BP, pre $T_c = 110,3$ min	RP, pre $T_c = 198,3$ min	SJ, pre $T_c = 101,3$ min	BP, pre $T_c = 110,3$ min
10	19,86	15,22	15,74	21,16	15,76	16,35
20	22,52	17,27	17,86	24,48	18,23	18,93
50	25,81	19,79	20,46	28,78	21,44	22,25
100	28,18	21,61	22,35	32,01	23,84	24,74

kde: RP = Rovenský potok, SJ = Svacenický Jarok a BP = Brezovský potok

4.2 Vplyv zmeny využitia územia na návrhové kulminačné prietoky

V prvej podkapitole bolo cieľom výpočtu posúdiť vplyv zmeny využitia územia na návrhové prietoky (Q_N) pre dobu opakovania 10, 20, 50 a 100 rokov. Postup spočíval v dvoch výpočtoch, ktorý bol aplikovaný na každé povodie:

- 1) v prvom výpočte boli ako vstupné údaje využité CN_v hodnoty pre rok 1990 rok a návrhové intenzity zrážok pre historické obdobie 1961-2020;
- 2) v druhom výpočte boli ako vstupné údaje využité CN_v hodnoty pre rok 2018 rok a návrhové intenzity zrážok pre historické obdobie 1961-2020;

Znamená to, že iba hodnoty CN čísla boli menené, a intenzita návrhových zrážok sa nemenila. Výpočet bol vykonaný pomocou uvedenej metodiky a postupov. Výsledky týchto výpočtov boli porovnané v Tabuľky č. 3.

Tabuľka 3: Zmeny návrhových prietokov (Q_N) vplyvom zmeny využitia územia

N [roky]	Q_N [$m^3 \cdot s^{-1}$]					
	Rovenský potok		Svacenický jarok		Brezovský potok	
	1990	2018	1990	2018	1990	2018
10	4,83	4,85	2,31	2,18	2,71	2,68
20	6,06	6,09	2,92	2,75	3,43	3,39
50	7,72	7,76	3,74	3,54	4,41	4,37
100	9,02	9,06	4,39	4,15	5,18	5,13

Na základe výsledkov v Tabuľky č. 3 vyplýva, že návrhové prietoky sa za analyzované obdobie (od 1990 do 2018 roku) v prípade zvolených povodií podstatne nezmenili.

4.3 Vplyv klimatických zmien na návrhové kulminačné prietoky

Cieľom druhej podkapitoly bolo posúdiť vplyv klimatickej zmeny na návrhové prietoky (Q_N) pre dobu opakovania 10, 20, 50 a 100 rokov. Naopak od predošlej podkapitoly, kde sa menili CN čísla a vstupné zrážky zostávali rovnaké, v prípade výpočtu klimatických zmien na Q_N zostávali CN čísla rovnaké a menili sa hodnoty návrhových intenzít zrážok. Postup bol opäť rozdelený na dva výpočty:

- 1) v prvom výpočte boli ako vstupné údaje využité CN_v hodnoty pre rok 2018 rok a návrhové intenzity zrážok pre historické obdobie 1961-2020;
- 2) v druhom výpočte boli ako vstupné údaje využité CN_v hodnoty pre rok 2018 rok a návrhové intenzity zrážok pre budúce obdobie 1071-2100;

Výsledky výpočtov boli porovnané v Tabuľky č. 4.

Tabuľka 4: Zmeny návrhových prietokov (Q_N) vplyvom klimatických zmien

N [roky]	Q_N [$m^3 \cdot s^{-1}$]					
	Rovenský potok		Svacenický jarok		Brezovský potok	
	HO	BO	HO	BO	HO	BO
10	4,85	5,44	2,18	2,32	2,68	2,88
20	6,09	7,07	2,75	3,04	3,39	3,78
50	7,76	9,40	3,54	4,09	4,37	5,09
100	9,06	11,30	4,15	4,96	5,13	6,18

Na základe výsledkov vyplýva, že vo vybraných povodiach možno očakávať väčšie intenzity krátkodobých dažďov do budúcnosti, avšak návrhové prietoky sa výrazne nezmenili.

5 Záver

Na základe výsledkov v tabuľky č. 3 vyplýva, že vo vybraných povodiach návrhové kulminačné prietoky neboli podstatne ovplyvnené zmenou využitia územia. Hlavným dôvodom je ten, že zmeny v spôsobe využitia územia ktoré v riešenej oblasti nastáli neovplyvnili váženú priemernú hodnotu CN čísla. Nakoniec, v prípade povodí vodných tokov Svacenický jarok a Brezovský potok sa hodnoty čísla zmenšili, čo ovplyvnilo aj výsledky kulminačných prietokov ktoré sa v prípade týchto dvoch povodí tiež zmenšili a to v prípade Q_{100} o 5,5 % (Svacenický jarok) a 0,9 % (Brezovský potok). V prípade povodia vodného toku Rovenský potok sa návrhové kulminačné prietoky zväčšili o 0,5 %.

Klimatické zmeny sa prejavili výraznejšie na návrhové kulminačné prietoky ako zmeny v spôsobe využitia územia. Z výsledkov výpočtu v Tabuľky č. 4 vyplýva nárast v návrhových prietokov. Návrhové prietoky pre obdobie 2071- 2100 sú vyššie vzhľadom na obdobie 1961-2020, a to o 12 až 25% v prípade Q_{10} až Q_{100} pre povodie Rovenského potoku, o 7 až 19% v prípade Q_{10} až Q_{100} pre povodie Svacenického jarku a o 7 až 20% v prípade Q_{10} až Q_{100} pre povodie Brezovského potoku.

References

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

Danko, M., 2011: Modelovanie povodňovej vlny pre návrhy protipovodňových opatrení. Bratislava. Dizertačná práca. Stavebná Fakulta, Slovenská Technická Univerzita V Bratislave.

DVWK REGELN 101/1999, 1999: Wahl des Bemessungshochwassers, Empfehlung zur berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. 1999. Hamburg: Verlag Paul Parey.

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., 2021: Vplyv klimatickej zmeny na návrhové hodnoty krátkodobých intenzít dažďov na Slovensku. Bratislava. Dizertačná práca. Stavebná fakulta, Slovenská Technická Univerzita V Bratislave.

Gupta, Vijay K. a Ed waymire, 1990: Multiscaling properties of spatial rainfall and river flow distributions. *Journal of Geophysical Research*. 1990, roč. 95, č. D3, s. 1999–2009. ISSN 0148-0227. doi:10.1029/JD095iD03p01999

IPCC, 2014. Synthesis Report. Contribution of working groups I." II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press, Cambridge.

Jianbo, L., G. Guangyao, W. Shuai, J. Lei, W. Xing a F. Bojie, 2018: The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *J. Geogr. Sci.* 2018, roč. 28, č. 1, s. 59–78. doi:10.1007/s11442-018-1459-z

Karabová, B., 2014: Analýza parametrov metódy SCS – CN v podmienkach Slovenska, Slovenská technická univerzita v Bratislave (SvF), <http://opac.crzp.sk/?fn=docviewChild000151E0>

Kluge, Ch. 1996: *Statistische Analyse von Hochwasserdurchflüssen*. B.m.: Dresdner Berichte 7, TU Dresden

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

Kohnová, Silvia, Peter Rončák, Kamila Hlavčová, Ján Szolgay a Agnieszka Rutkowska, 2019a.: Future impacts of land use and climate change on extreme runoff values in selected catchments of Slovakia. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019, roč. 7, č. 1. ISSN 2299-3835. doi:10.26491/mhwm/97254

Kohnová, S., P. Rončák, K. Hlavčová, J. Szolgay a A. Rutkowska, 2019b: Future impacts of land use and climate change on extreme runoff values in selected catchments of Slovakia. *Meteorology Hydrology and Water Management*. 2019, roč. 7, č. 1, s. 47–54 [cit. 9.10.2022]. ISSN 2299-3835., doi:10.26491/mhwm/97254

Lian, Y., M. Sun, J. Wang, Q. Luan, M. Jiao, X. Zhao a X. Gao, 2021: Quantitative impacts of climate change and human activities on the runoff evolution process in the Yanhe River Basin. *Physics and Chemistry of the Earth*. 2021, s. 102998. ISSN 14747065, doi:10.1016/j.pce.2021.102998

Marshall, M. R., C. E. Ballard, Z. L. Frogbrook, I. Solloway, N. McIntyre, B. Reynolds a H. S. Wheater, 2014: The impact of rural land management changes on soil hydraulic properties and runoff processes: results from experimental plots in upland UK. *Hydrological Processes*. 2014, roč. 28, č. 4, s. 2617–2629. ISSN 08856087, doi:10.1002/hyp.9826

Martin, C., M. Pohl, Ch. Alewell, Ch. Körner a Ch. Rixen, 2010. Interrill erosion at disturbed alpine sites: Effects of plant functional diversity and vegetation cover. *Basic and Applied Ecology*. 2010, roč. 11, č. 7, s. 619–626. ISSN 14391791. doi:10.1016/j.baae.2010.04.006

Mälicke, M., S. K. Hassler, T. Blume, M. Weiler a E. Zehe, 2020. Soil moisture: Variable in space but redundant in time. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2020, roč. 24, č. 5, s. 2633–2653. ISSN 16077938. doi:10.5194/hess-24-2633-2020

Menabde, Merab, Alan Seed a Geoff Pegram, 1999. A simple scaling model for extreme rainfall. *Water Resources Research*. 1999, roč. 35, č. 1, s. 335–339 [cit. 9.10.2022]. ISSN 00431397.

Mishra, S.K., J.V. Tyagi, V.P. Singh a Ranvir Singh, 2006. SCS-CN-based modeling of sediment yield. *Journal of Hydrology*. 2006, roč. 324, s. 301–322. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.10.006

Pavlin, L., B. Széles, P. Strauss, A. P. Blaschke a G. Blöschl, 2021. Event and seasonal hydrologic connectivity patterns in an agricultural headwater catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2021, roč. 25, s. 5327–5352. doi:10.5194/hess-25-2327-2021

Randusová, Beata, Romana Marková, Kamila Hlavčová a Silvia Kohnová, 2015. Parametrizácia metódy SCS-CN na povodí Myjavu. *Acta Hydrologica Slovaca*. 2015, roč. 16, č. Tematické číslo, s. 161–166.

- Rottler, E., A. Bronstert, G. Bürger a O. Rakovec, 2021. Projected changes in Rhine River flood seasonality under global warming. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2021, roč. 25, č. 5, s. 2353–2371. ISSN 1607-7938. doi:10.5194/hess-25-2353-2021
- 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
- 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.
- 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
- YU, P. -SH, T. - CH. YANG a CH. - SH. LIN, 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*. 2004, roč. 295, č. 1–4, s. 108–123.
- 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
- Zhang, Ling, Jinman WANG, Zhongke BAI a Chunjuan LV, 2015. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. *Catena*. 2015, roč. 128, s. 44–53. ISSN 03418162. doi:10.1016/j.catena.2015.01.016
- 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