ACTA HYDROLOGICA
SLOVACA

Ročník 16, Tematické číslo, 2015, 161 - 166

PARAMETRIZÁCIA METÓDY SCS-CN NA POVODÍ MYJAVY

Beata Randusová; Romana Marková; Kamila Hlavčová; Silvia Kohnová

Metóda čísel odtokových kriviek (SCS – CN) na výpočet priameho odtoku z malých povodí bola vyvinutá pre poľnohospodárske oblasti štátov USA. Parametre metódy, ktoré predsavuje koeficient počiatočnej straty (λ) a číslo odtokovej krivky (CN), tak ako ich navrhuje pôvodná metodika vyvinutá Americkým úradom na ochranu pôdy (NRCS – SCS) nemusia vyhovovať naším pomerom, a preto pre spoľahlivejšie určenie priameho odtoku je nutná ich kalibrácia na reálnych zrážkovo-odtokových údajoch. V tejto štúdii sme aplikovali metódu SCS – CN na horné časti povodia toku Myjava. Cieľom práce bolo testovať závislosť medzi príčinnými zrážkami a priamym odtokom a prispôsobiť (regionalizovať) metódu na podmienky povodia hornej Myjavy. Na základe zrážkovo-odtokových údajov za obdobie 1989-2013 boli vytvorené nové empirické odtokové krivky a odvodený koeficient λ. Pre analyzované povodie je vhodnejšie použiť optimalizované parametre λ a CN, ktoré boli odvodené na základe empirických údajov a lepšie reprezentujú merané zrážkovo-odtokové udalosti než pôvodné parametre metódy SCS-CN.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: SCS-CN metóda, priamy odtok, koeficient počiatočnej straty λ

PARAMETRISATION OF THE SCS-CN METHOD ON THE MYJAVA CATCHMENT. Curve number method (SCS - CN) for calculation of direct runoff from small watersheds was developed for the agricultural areas in the United States. Parameters of the method, initial abstract coefficient (λ) and curve number (CN), as proposed by the original methodology developed by the US Soil Protection (NRCS - SCS) are questionable and therefore, for more reliable runoff determination, it is necessary to calibrate them on real rainfall-runoff datasets. In this study, we applied the SCS-CN method on the upper parts of the Myjava River basin. The aim was to test the relationship between rainfall and direct runoff and adapt (regionalise) the method to conditions of the upper catchment of the Myjava River. Based on the rainfall-runoff data for the period 1989-2013 new empirical curves and variable initial abstraction coefficient λ were derived. For the analyzed catchment it is preferable to use the optimized parameters λ and CN which have been derived from empirical data and represent the rainfall-runoff relationship better than the original parameters of the SCS-CN method.

KEY WORDS: SCS-CN method, direct runoff, initial abstraction coefficient λ

Úvod

Z dôvodu ochrany malých povodí pred škodlivými účinkami vody (vodná erózia a povodne z extrémnych zrážok) je dôležité poznať, ako fungujú zrážkovo-odtokové procesy na danom území. Na analýzu zrážkovo-odtokového (Z-O) vzťahu sa okrem zrážkovo-odtokových hydrologických modelov používa najmä v povodiach bez priamych pozorovaní viacero empiricky orientovaných metód. V článku bola použitá metóda SCS-CN, ktorá vznikla na základe analýzy empirických dát z malých poľnohospodársky využívaných povodí v USA. Bola vyvinutá Americkým úradom na ochranu pôdy (USDA Soil conservation service) v 50. rokoch 20. storočia. Ide o pomerne jednoduchú empirickú metódu, ktorú je možné využiť pri nedostatku priamych pozorovaní na výpočet výšky priameho odtoku z malých povodí pre jednotlivé zrážkovo-odtokové udalosti.
Výška priameho odtoku v [mm] metódou SCS-CN sa určuje pomocou nasledovného vzorca:

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \qquad ak\ P>Ia \qquad (1)$$

$$Q=0 \qquad ak\ P \leq Ia \qquad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

$$I_a = \lambda S \quad (4)$$

kde
Q - výška priameho odtoku [mm],
P - úhrn príčinných zrážok [mm],
S - potenciálna maximálna retencia povodia,
λ - koeficient počiatočnej straty,
Ia - počiatočná strata [-],
CN - číslo [-].

V praxi sa vyskytujú CN čísla v intervale 40 až 95. V USDA (1954) sú uvedené tabuľky s CN číslami pre poľnohospodársky využívané, poľnohospodársky nevyužívané a pre zastavané oblasti (príklad Tab. 1) zostavené úradom NRCS. CN čísla uvedené v tabuľkách boli vytvorené empiricky na konkrétnych dátach prívalových dažďov v rôznych oblastiach USA. Ak by sa použili iné prívalové dažde alebo charakteristiky povodia, dosiahli by sa iné hodnoty CN čísel. Viacerí autori skúmali aplikáciu čísel CN z tabuliek na skutočných nameraných dátach. Rozdiely medzi číslami odčítaných z tabuliek a tými z nameraných dát boli v niektorých prípadoch výrazné. Autori navrhujú aj využitie všetkých dostupných dát zo susedných povodí a tokov a skúseností na stanovovanie vlastných CN čísel (Elhakeem, 2009; Banasik a Woodward, 2010).
Vyjadrenie Ia (počiatočnej straty) pomocou potenciálnej retencie S výrazne zjednodušilo odtokovú rovnicu a jej použitie. Hoci, detaily o pôvode dát a metóde použitej v analýze, ktorá by vysvetlila vzťah Ia = 0,2S sa nezachovali. Viacerí autori vyšetrovali závislosť Ia/S. Chen (1976) ako prvý zaviedol index λ za pomer Ia/S. Podľa autora Mockus (1972) kolíše parameter λ v intervale λmin = 0,013, λmax = 2,1, navrhnutá stredná hodnota λ je teda veľmi približná, čo má negatívny vplyv na vypočítaný odtok. Jiang (2001) vo svojej práci použil dve metódy na vyhodnotenie koeficienta λ a analyzoval 307 povodí. Zistil, že 90% hodnôt bolo menších ako hodnota 0,2. Štúdie poukazujú na veľký rozptyl empiricky určených koeficientov λ, od negatívnych hodnôt až po hodnoty väčšie ako 1. Keďže parametre CN a λ sa navzájom ovplyvňujú, ich správna optimalizácia sa komplikuje. Koeficient λ je menej citlivým parametrom z čoho vyplýva variabilita jeho hodnoty. Tieto rozdiely môžu byť spôsobované skôr anomáliami než logickými hydrologickými procesmi. Empirické určovanie koeficienta λ môže byť pomerne nepresné a môže zavádzať v objasňovaní hydrologických procesov. Z toho dôvodu pri vytváraní nových tabuliek CN čísel by sa nemala zavádzať konštantná hodnota koeficienta. Každá Z-O udalosť môže mať totiž inú hodnotu aj napriek rovnakým hydrologickým a fyzicko-geografickým podmienkam. Parameter λ by ale nemal významne ovplyvňovať presnosť výsledného CN čísla, hoci bude koeficient λ všeobecne nepresný (Schneider et al., 2005).

Cieľom príspevku bolo aplikovať metódu SCS-CN na povodí toku Myjava a kalibrovať jej parametre SCS-CN (CN číslo a λ) pomocou empirických údajov z analyzovaného povodia.

Metodika

Pri metóde SCS-CN sa ako vstupné údaje využívajú výška príčinných zrážok (P) a číslo odtokovej krivky (CN). CN číslo predstavuje parameter, ktorý charakterizuje retenčnú schopnosť povodia na základe:

- hydrologických vlastností pôd v závislosti od vsakovacích vlastností pôdy (rozlišujú sa 4 skupiny - A,B,C,D)
- využitia územia, vegetačného krytu a spôsobu obrábania pôdy
- predchádzajúcej vlhkosti pôdy, ktorá sa určuje ako suma zrážok za predchádzajúcich 5-dní. Podľa celkového úhrnu zrážok za predchádzajúcich 5 dní patrí zrážkovo-odtoková udalosť do tried PVP I, PVP II alebo PVP III. Prepočet medzi jednotlivými triedami je možný podľa Hawkins a kol. (1985):

$$CN\ I = \frac{CN\ II}{2{,}281 - 0{,}01381 CN\ II} \quad (5)$$

$$CN\ III = \frac{CN\ II}{0{,}427 - 0{,}00573 CN\ II} \quad (6)$$

Aj na základe viacerých prác, ktoré boli vytvorené aj na Katedre vodného hospodárstva krajiny SvF STU v Bratislave (napr., Spál a Danáčová, 2011; Karabová, 2014; Marková, 2015) sa ukázalo, že CN metóda vo svojej pôvodnej podobe nedosahuje spoľahlivé výsledky a jej parametre je potrebné reginalizovať pre každé riešené povodie alebo homogenny región. V uvedenom článku prinášame výsledky regionalizácie 2 parametrov metódy – čísla CN a koeficienta počiatočnej straty λ pre povodie toku Myjava. Regionalizácia bola urobená na empirických vstupných údajoch, ktoré tvorili vybrané zrážkovo-odtokové udalosti, charakterizované prietokovou vlnou (objemom, resp. výškou priameho odtoku) a úhrnom príčinných zrážok.
Výber prietokových vĺn a separácia priameho odtoku boli urobené pomocou programu vytvoreného na Katedre vodného hospodárstva krajiny SvF STU v Bratislave. Začiatok každej vlny sa určoval subjektívne v bode začiatku hydrogramu, ktorý bol spojený s bodom maximálnej krivosti zostupnej vetvy. Výstupom bol objem priameho odtoku a výška zrážky, ktorá odtok spôsobila. Vyberané boli len prietokové vlny s jedným vrcholom, ktoré boli spôsobené jednodňovým a maximálne dvojdňovým úhrnom zrážok vo vegetačnom období (apríl - september). Na základe objemu priameho odtoku sa vypočítala výška priameho odtoku. Z takto spracovaných údajov sme pre každú prietokovú vlnu vypočítali empirické CN číslo (CN_{emp}) pomocou vzorca:

$$\mathrm{CN_{empII}} = \frac{25400}{5\left(\mathrm{P}+2\mathrm{Q}-\sqrt{4\mathrm{Q}^2+5\mathrm{PQ}}\right)+254} \quad (7)$$

kde
P - zrážkový úhrn, ktorý spôsobil prietokovú vlnu [mm],
Q - výška priameho odtoku [mm].

Výsledná hodnota čísla CN (CN_{empII}) pre dané povodie bola určená ako priemerná hodnota čísiel CN určených pre jednotlivé udalosti. Predpokladali sme pritom, že sa jedná o stredný vlhkostný stav pôdy (PVP II), ktorý je reprezentovaný indexom $_{II}$.
Pre porovnanie bolo určené aj teoretické CN číslo (CN_{teorII}), a to pomocou digitálnych mapových podkladov pôdnych druhov a spôsobu využitia územia v prostredí GIS ako vážený priemer tabuľkových hodnôt CN (USDA, 1954).
Teoretické a empirické CN čísla slúžili ako vstup pri vytvorení teoretických (pôvodných) a empirických (nových) odtokových kriviek, ktoré boli vytvorené na základe vzorca (1) a (2), pričom tieto krivky predstavujú závislosť výšky priameho odtoku Q [mm] od výšky príčinných zrážok P [mm].
Pri tvorbe teoretických a empirických odtokových kriviek sme uvažovali s s konštantným koeficientom počiatočnej straty λ=0,2 podľa pôvodnej metodiky. V ďalšom sme sa pokúsili regionalizovať na základe empirických údajov aj tento parameter. Pomocou kombinácie vzorcov (1) a (4) bol vypočítaný koeficient počiatočnej straty λ pre každú vybranú zrážkovo-odtokovú udalosť, pričom na výpočet hodnoty S (vzorec (3)) sa použila hodnota teoretického čísla pre vlhkostný stav II CN_{teorII}, ktorá sa získala z mapových digitálnych podkladov. Následne sme odvodili lineárny vzťah medzi hodnotami koeficienta počiatočnej straty λ a hodnotami príčinných zrážok λ=f(P) pre dané povodie.

Vstupné údaje

Ako vstupné údaje boli pre povodie Myjavy (vodomerná stanica 5020 Myjava- Myjava) k dispozícii zrážkové údaje v dennom kroku a prietokové údaje v hodinovom kroku za obdobie 1989-2013 poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (Tab.1, Tab. 2). Z radu prietokových údajov boli vyberané prietokové vlny, ktoré vznikli z jednodňového až dvojdňového úhrnu zrážok v rámci vegetačného obdobia (apríl-september) s kulminačným prietokom väčším ako $Q_1 = 0{,}3\ m^3/s$. Pre vybrané povodie boli dostupné digitálne mapové podklady (mapy využitia územia, pôdnych druhov, riečnej siete, zrážkomerných a vodomerných staníc). Prekrytím mapy využitia územia a mapy pôdnych druhov, ktorá bola reklasifikovaná na mapu hydrologických skupín pôd, bola vytvorená mapa teoretických CN čísiel (Obr. 2). Na základe váženého priemeru podľa Obr. 2 bola pre povodie toku Myjava určená výsledná hodnota CN_{teorII}=74.

Výsledky analýzy pre povodie 5020 Myjava - Myjava

Pre povodie toku Myjava po stanicu 5020 Myjava-Myjava bolo separovaných 20 prietokových vĺn, reprezentujúcich 20 zrážkovo-odtokových situácií. Následne bola vypočítaná 1/hodnota CN_{teorII}=74 (digitálne mapové podklady), 2/empirické hodnoty CN pre každú udalosť (s predpokladom λ = 0,2) a ich priemerná hodnota CN_{empII}=75 (vzorec (7)), 3/ empirické hodnoty koeficienta počiatočnej straty λ (s predpokladom CN_{teorII}) pomocou kombinácie vzorcov (1) a (4). Na Obr. 3 je znázornený histogram početnosti hodnôt koeficienta počiatočnej straty λ. Ako vidieť z Obr. 3, hodnota λ je premenlivá a najväčšia početnosť hodnoty je medzi 0,15-0,20. Následne bola odvodená závislosť λ=f(P), graficky zobrazená na Obr. 4.

$$\lambda = 0{,}0075P + 0{,}0532 \qquad (8)$$

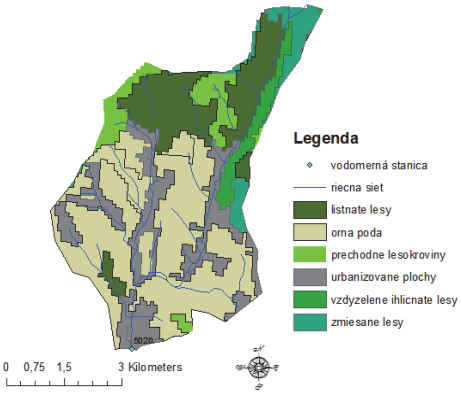
Na Obr. 5 sú znázornené teoretické, modifikované a empirické odtokové krivky pre povodie 5020 Myjava-Myjava. Čiernou farbou sú znázornené pôvodné teoretické odtokové krivky pre všetky 3 triedy predchádzajúcej pôdnej vlhkosti (PVP I→CN_{teorI}, PVP II→CN_{teorII} a PVP III→$CN_{teorIII}$), ktoré boli vytvorené na základe vzťahu (1) a (2), pričom bola použitá pôvodná hodnota λ=0,2.

Tabuľka 1. Vodomerná stanica 5020 Myjava - Myjava
Table 1. Stream-gauging station 5020 Myjava - Myjava

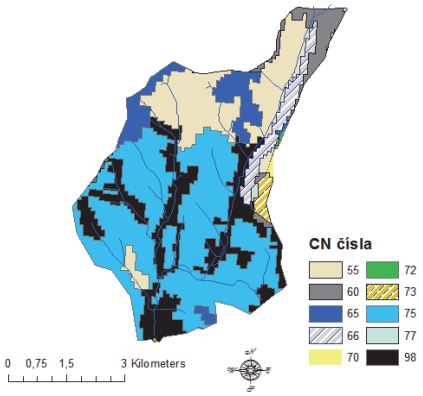
Vodný tok	Vodomerná stanica		Plocha povodia (km^2)	doba pozorovania	prietokové údaje (časový krok)
	ID	názov			
Myjava	5020	Myjava	32,02	1989-2013	hodinový

Tabuľka 2. Zrážkomerné stanice v hornej časti povodia Myjavy
Table 2. Precipitation-gage stations located in the upper part of the Myjava catchment

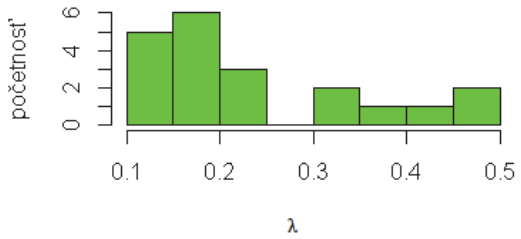
Zrážkomerné stanice		doba pozorovania	zrážkové údaje (časový krok)
ID	názov		
15020	Myjava	1989-2013	Denný
15040	Túra Lúka	1989-2013	Denný
15100	Vrbovce	1989-2013	Denný



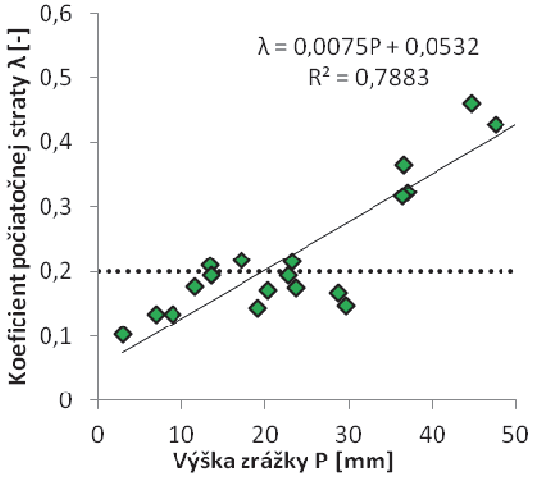
Obr.1. Mapa využitia územia.
Fig. 1. Landuse map.



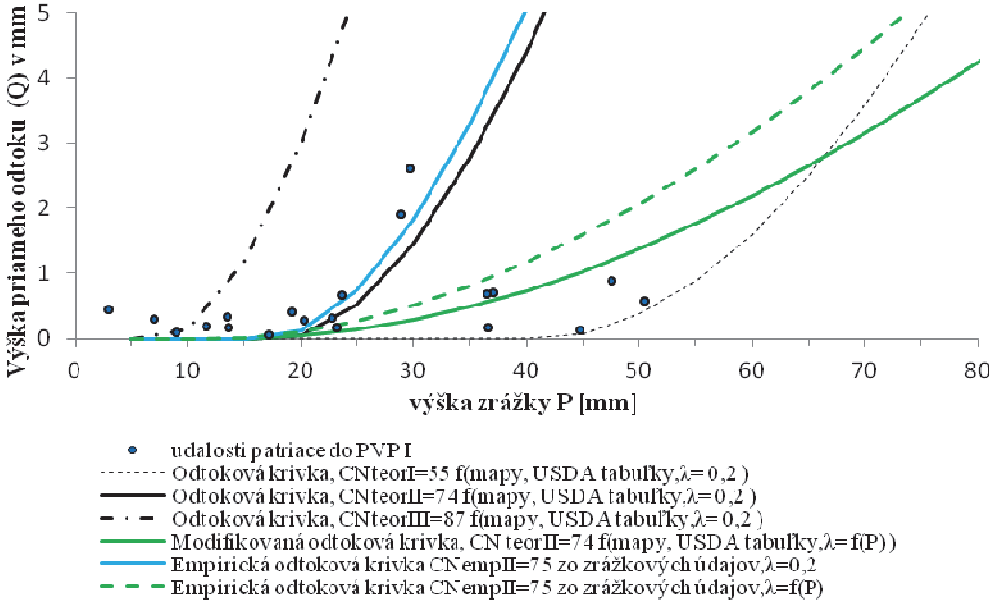
Obr. 2. Mapa CN_{teorII}.
Fig. 2. Map of CN_{teorII}.



Obr. 3. Početnosť koeficienta počiatočnej straty λ pre povodie 5020 Myjava – Myjava .
Fig. 3. Count of initial abstraction coefficient λ for the 5020 Myjava - Myjava catchment .



Obr. 4. Vzťah pre výpočet koeficienta počiatočnej straty pre povodie 5020 Myjava-Myjava.
Fig. 4. Formula for calculation of the initial abstraction coefficient for the 5020 Myjava – Myjava .



Obr. 5. Teoretické odtokové krivky, modifikované odtokové krivky a empirické odtokové krivky pre CN_{empII}=75 na povodí Myjava (stanica 5020).
Fig. 5. Theoretical runoff curves, modified runoff curves and empirical runoff curves for CN_{empII}=75 Myjava catchment (station 5020).

Na základe premenlivého koeficienta λ boli odvodené empirické a modifikované odtokové krivky. Modifikovaná odtoková krivka s CN_{teor}, ktorá boli vytvorené na základe tabuliek a premenlivej hodnoty koeficienta λ, empirické krivky boli odvodené na základe empirických CN_{emp} čísel pri použití konštantného a premenlivého koeficientu λ. Z obrázka vidieť, že pôvodné teoretické odtokové krivky nezodpovedajú reálne pozorovaným prietokovým vlnám, ktoré sú znázornené bodovo. Všetky analyzované udalosti patria do PVP I, takže najviac by sa mali hodnoty blížiť k odtokovej krivke CN_{teorI}=55. Teoretická odtoková krivka CN_{teorI} znázorňuje, že priamy odtok sa podľa pôvodnej metodiky začne tvoriť až od výšky zrážky okolo P=45 mm, avšak namerané zrážkovo-odtokové udalosti (prietokové vlny) tomu nezodpovedajú. Modifikovaná odtoková krivka pre CN_{teorII}=74 s použitím λ=0,0075P+0,0532 má odlišnú strmosť a priamy odtok sa podľa nej tvorí už od hodnoty 20 mm. Z novovytvorených emprických kriviek je vidieť, že vhodnejšie je použitie premenlivého koeficientu počiatočnej straty než s pôvodným koeficientom λ=0,2. Odvodené teoretické, empirické a modifikované odtokové krivky sú vhodné len pre toto konkrétne skúmané povodie.

Diskusia a záver

Cieľom analýzy bolo modifikovanie metódy SCS-CN na povodie toku Myjava po vodomernú stanicu 5020 Myjava-Myjava. V práci sme sa sústredili na analýzu parametrov metódy ako je koeficient počiatočnej straty (λ) a číslo odtokovej krivky (CN). Číslo CN pre povodie Myjavy bolo určované na základe 2 spôsobov – teoreticky, na základe pôvodnej metodiky z digitálnych mapových podkladov a empiricky, na základe nameraných zrážkovo-odtokových dát. Toto číslo slúži ako vstup pre vytvorenie teoretických, empirických a modifikovaných odtokových kriviek.
Použitím nameraných zrážkovoodtokových udalostí bol odvodený vzťah pre výpočet premenlivého koeficientu λ na základe jeho lineárnej závislosti s príčinnými zrážkami, ktorý lepšie reprezentuje vzťah medzi meranými hodnotami priameho odtoku a zrážok na povodí než použitie pôvodnej hodnoty 0,2. Pri porovnávaní teoretických, empirických a modifikovaných odtokových kriviek sa zistilo, že je vhodnejšie použiť modifikované a empirické odtokové krivky s upravenými parametrami λ a CN než teoretické odtokové krivky kde sa uvažuje s pôvodnými parametrami. Nevýhodou metodiky spracovanej v článku je veľké množstvo neistôt, ktoré vyplývajú zo samotného subjektívneho výberu prietokových vĺn, subjektivity separácie priameho odtoku, dĺžky pozorovania prietokových radov, určenia priemerného zrážkového úhrnu na povodie metódou interpolácie, pri ktorom v dôsledku napr. výpadku jednej zrážkomernej stanice nemusí interpolovaná hodnota zrážok reprezentovať reálnu zrážkovú situáciu na analyzovanom povodí.

Poďakovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR rámci projektu č. 1/0710/15 VEGA a tiež vďaka podpore MŠVVaŠ SR v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt: Univerzitný vedecký park STU Bratislava (UVP STU Bratislava), ITMS 26240220084, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Autori týmto ďakujú za podporu projektu.

Literatúra

Banasik, K., Woodward, D. (2010): Empirical determination of runoff curve number for a small agricultural watershed in Poland. Joint 9th Federal Interagency Sedimentation Conference and 4th Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference June 27 – July 1, 2010, CD.

Elhakeem, M, Papanicolaou, A. N. (2009): Estimation of the runoff curve number via direct rainfall simulator measurements in the State of Iowa, USA. Water Resources Management. DOI: 10.1007/s11269-008-9390-1.

Hawkings, R.H., Hjemfeld, A.T., Zevenbeger, A.W. (1985): Runoff probability, storm depth, and curve number. In *Journal of Irrigation and Drainage Engineerin (ASCE)*. ISSN 0733-9437, 1979, roč. 111, č. 4, s. 330-340.

Chen, C-L. (1976): Urban storm inlet study, soil-cover-moisture complex: analysis of parametric infiltration models for highway side slopes, Federal Highway Administration Report, FHWA-RD-76-120, V5, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Jiang, R. (2001): Investigation of runoff curve number initial abstraction ratio. MS thesis, Watershed Management, University of Arizona, Tucson, AZ. S. 120.

Karabová, B.(2014): Analýza parametrov metódy SCS – CN v podmienkach Slovenska. Dizertačná práca. Bratislava, STU, 2014.

Marková, R. (2015): Analýza parametrov metódy SCS-CN na povodí Myjavy. Diplomová práca. Bratislava, STU, 2015.

Mockus, V. (1972):Personnel communication to Orrin Ferris. USDA, Soil Conservation Service.

Rawls, W.J., and D.L. Brakensiek. (1983): A procedure to predict Green and Ampt. infiltration parameters. In Advances in infiltration. Proc. of the National Conference on Advances in Infiltration. Dec. 12-13. Chicago, IL.

Schneider, L., Mccuen, R. (2005): Statistical guidelines for curve number generation. J Irrig Drain Eng – ASCE 131(3):532–533 DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:3(282).

Spál, P., Danáčová, M. (2011): Význam určenia predchádzajúcich vlahových podmienok pri stanovení priameho odtoku metódou čísel odtokových kriviek (SCS CN). In 23. konferencia mladých hydrológov.,10. konferencia mladých vodohospodárov : Zborník príspevkov. Bratislava, SR, 9.11.2011. - Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 2011. ISBN 978-80-88907-76-3.

USDA, Soil Conservation Service. (1954): National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology.s.400.

PARAMETRISATION OF THE SCS-CN METHOD ON THE MYJAVA CATCHMENT

This study deals with the improvement of the SCS-CN method´s parameters on the Myjava River catchment to the gauging station 5020-Myjava-Myjava, which is located in Slovakia. The analysis was based on rainfall-runoff datasets in period of 1989-2013. Parameters CN-curve number and λ-initial abstract coefficient were analysed. The result of the study was creation of the linear regression of initial abstraction coefficient-λ and new empirical and modified runoff curves, which represent direct runoff in millimeters. Initial abstraction coefficient was computed for each event using empirical data sets. Empirical and modified runoff curves, in which the initial abstraction coefficient is a function of the rainfall depth, were then compared with the theoretical runoff curves, where the coefficient has a constant value of λ = 0.2. Empirical and modified drainage curves fit better than theoretical runoff curves.

Ing. Beata Randusová, PhD.
Ing. Romana Marková
Prof. Ing. Kamila Hlavčová, PhD.
Prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava
E-mail: beata.karabova@stuba.sk
romana.markova@stuba.sk
kamila.hlavcova@stuba.sk
silvia.kohnova@stuba.sk