POROVNÁNÍ VÝSTUPŮ METODY ODTOKOVÝCH KŘIVEK (SCS-CN) S POZOROVANÝMI DATY Z MALÝCH POVODÍ

Antonín Malý [1]

Abstrakt

Příspěvek je věnován metodě SCS-CN. Jedná se o celosvětově aplikovaný a bez větších námitek respektovaný způsob výpočtu přímého odtoku při známé výšce srážky na povodí. Kvůli teoretické a výpočetní jednoduchosti je metoda zakomponována do mnoha srážko-odtokových a erozních modelů. V průběhu let získala značnou popularitu a byly navrženy četné modifikace vedoucí k jejímu zpřesnění. V příspěvku budou konfrontovány teoretické hodnoty s daty z experimentálních ploch v podmínkách České republiky i jinde ve světě. Významnou součást pojednání tvoří diskuze nad příčinami nalezených nesrovnalostí. Výsledky poukazují na fakt, že některé současné aplikace dostatečně nezohledňují podmínky a způsob odvození původní metody.

Klíčová slova: metoda odtokových křivek, malé povodí, hydrologické modelování, přímý odtok

1. Úvod

Jedním z nejdůležitějších problémů hydrologie je nalezení vztahu mezi srážkami a odtokem za různých podmínek. Mezery v našich znalostech jsou nejvíce patrné na malých povodích, kde nejsou k dispozici pozorované údaje. Jeden z přístupů k řešení nabízí metoda Soil Conservation Service - Curve Number (SCS-CN), viz. např. Mockus [1]. Metoda si velice rychle našla oblibu v celém světě, zejména pro svoji jednoduchost.

K realizaci výpočtu nám stačí běžně dostupné mapy půdního pokryvu a funkčního využití krajiny, znalost srážkového úhrnu za časový interval a hrubá představa o stavu nasycenosti povodí předchozími srážkami. Metoda svazuje půdní a vegetační vlastnosti krajiny se střední hodnotou tzv. odtokové křivky. Ta může být korigována v případě výrazně malé či naopak vysoké nasycenosti povodí. Výsledkem je hodnota výšky přímého odtoku za odpovídající časový interval.

2. Metoda

Dále uvedené rovnice vychází z [1]. Výpočet přímého odtoku se realizuje podle vztahu:

$$Q = \frac{(P - \lambda \cdot S)^2}{P - (1 - \lambda) \cdot S} \tag{1}$$

kde: Q je přímý odtok v mm, P je výška srážky v mm, S je potenciální maximální retence v mm, λ je součinitel počáteční ztráty roven 0,2. Pokud je P < (λ . S), pak Q je nulový.

Hodnotu potenciální maximální retence určíme podle:

$$S = 25{,}4 \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \right] \tag{2}$$

kde: CN je aktuální hodnota odtokové křivky, je získána tabelárně, např. [2] a podle (3) a (4).

Pro zohlednění nasycenosti povodí se vychází ze vztahů:

$$CNI = f(CNII) \tag{3}$$

$$CNIII = f(CNII) \tag{4}$$

kde: CN II je tabelárně určena, např. v práci Janečka et. al. [2]. CN I platí při pětidenní výšce srážky na povodí, předcházející modelované epizodě, menší než 35,6 mm a CN III platí obdobně při pětidenní srážce vyšší než 53,3 mm.

3. Nevýhody a použití

Nejčastěji je SCS-CN vytýkáno, že nezohledňuje vliv časového (intenzita srážky) a prostorového měřítka na výpočet. Byla odvozena v USA na plochách do 0,04 km^2 avšak aplikuje se celosvětově na povodí až do 50 km^2. Počáteční ztráta je podle mnohých autorů silně nadhodnocena. Nasycenost povodí je řešena velmi schematicky, což nepříznivě ovlivňuje kvalitu i stabilitu výsledků. V průběhu deště se rychlost aktuální infiltrace blíží nule, nikoliv konstantní nenulové hodnotě. Základním předpokladem použití je časová a prostorová uniformita srážky. Některé nedostatky shrnuli např. Ponce et. Hawkins [3].

SCS-CN je dnes patrně nejpoužívanější metodou na výpočet přímého odtoku. Je součástí mnoha hydrologických a erozních modelů např. HEC-HMS, DesQ-MaxQ, AnnAGNPS, SWAT atd.. Výsledků se využívá např. k optimalizaci protipovodňových a protierozních opatření [4], nebo ke stanovení návrhových hydrologických veličin (Šercl, [5]), především při posuzování bezpečnosti vodních děl (Kulasová et al., [6]). Zvláště velký význam má v povodí Labe, kde v profilech nad přehradami chybí dostatek měřených dat. Testuje se využití metody k predikci přívalových povodní (Šercl, [7]) a sucha (Šercl, [8]). Zdaleka nekompletní výčet dokládá vysokou národohospodářskou důležitost SCS-CN z pohledu České republiky. Citelným problémem však je, že postup odvozený před více než padesáti lety v odlišných přírodních podmínkách středozápadu USA, neprošel v ČR významnější kontrolou. O implementaci metody do českých podmínek se zasloužil kolektiv autorů z VÚMOP (Janeček et. al., [2]), žádná obsáhlejší česká hydrologická studie na toto téma není autorovi článku známa. Z tohoto důvodu se rozhodl konfrontovat teorii s empirickými daty získaných na experimentálních povodích Zbytiny v podmínkách šumavského podhůří.

4. Území a data

Experimentální lokalita Zbytiny, založená na Katedře fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze (KFGG PřF UK) na jaře roku 2006, leží mezi městy Volary a Prachatice na horním povodí šumavské Blanice. Jedná se o dvojici výzkumných povodí na přítocích Zbytinského a Tetřívčího potoka (toky VI. řádu). Plocha povodí je vždy přibližně 1,6 km^2, Herbstův sklon dosahuje přibližně 8 %. Detailní popis území a první výsledky z analýz naměřených dat z let 2006-2008 uvádí Malý [9].

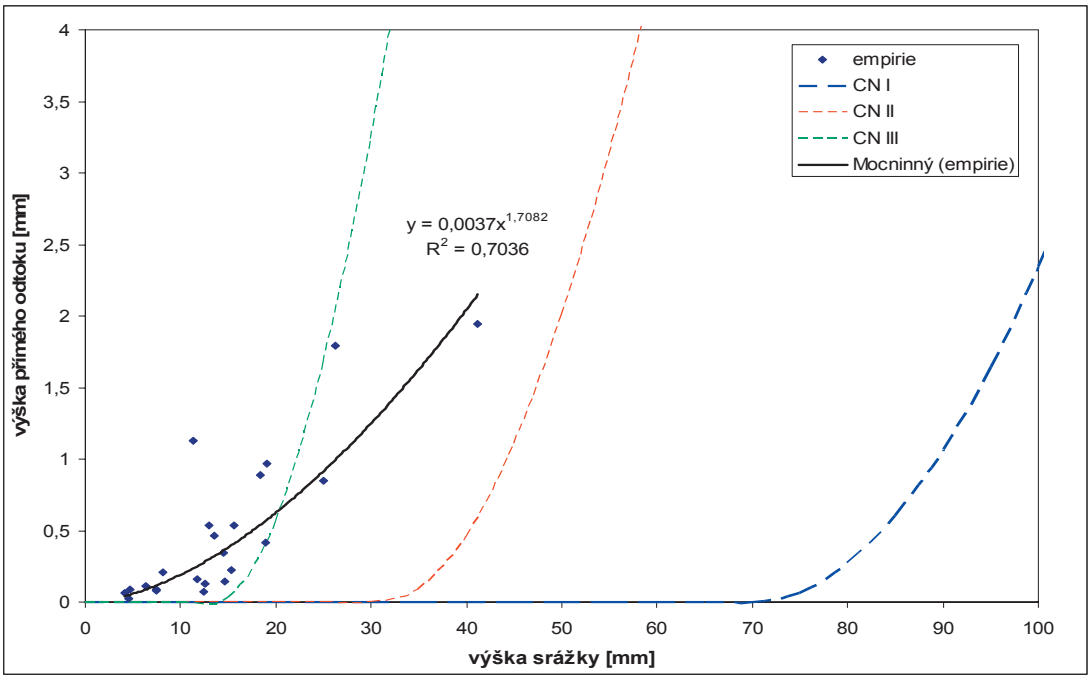
Empirická data z období květen 2006 - říjen 2008 byla získána z databáze projektu VaV SM/2/57/05 (Kliment et. al., [10]). Odvození hodnot CN a parametry vybraných srážko-odtokových epizod publikoval Malý [9]. Pro výpočet přímého odtoku byla využita metoda separace hydrogramu v inflexním bodě na sestupné větvi hydrogramu (Dub et. Němec, [11]), protože poskytla výsledky bližší teoretickým hodnotám podle SCS-CN než jiné uvažované techniky.

5. Výsledky

Porovnání výstupů metody SCS-CN a empiricky zjištěných hodnot z experimentálního povodí Tetřívčí potok je zachyceno na obrázku 1. Obdobné výsledky vykazuje také povodí Zbytinského potoka. Na první pohled je zřejmý výrazný nesoulad teorie a měření v rámci

vyšetřovaného rozpětí hodnot. Metoda odtokových křivek především dramaticky nadhodnocuje počáteční ztrátu (v obou případech o vice než 65 mm). Empirická odtoková křivka dále vykazuje odlišnou strmost, než konstrukce teoretická.

Tento závažný rozpor není ničím novým. K obdobným výsledkům jako autor článku v odlišných přírodních podmínkách došli např. Soulis et. al. [12], Baltas et. al. [13] a mnoho dalších. V podmínkách plošně většího povodí Blšanky upozorňuje Kadlec [14] na to, že: *„ ... metoda podhodnocuje objem přímého odtoku, zvláště pro méně výrazné srážkové události. Možným důvodem je relativně vysoký odhad počáteční retence v bezodtoké fázi, tj. úhrnu srážek, do jehož překročení nenastává přímý odtok"*. Samotní autoři z nástupnické organizace SCS doporučují snížit koeficient λ ze vztahu (1) na 0,05 a dále upravit i hodnoty CN (Woodward et. al., [15]). Tento názor se zdá být mnohem střízlivější než originální přístup, přesto zcela nepostihuje dále uvedené charakteristické rysy chování povodí.

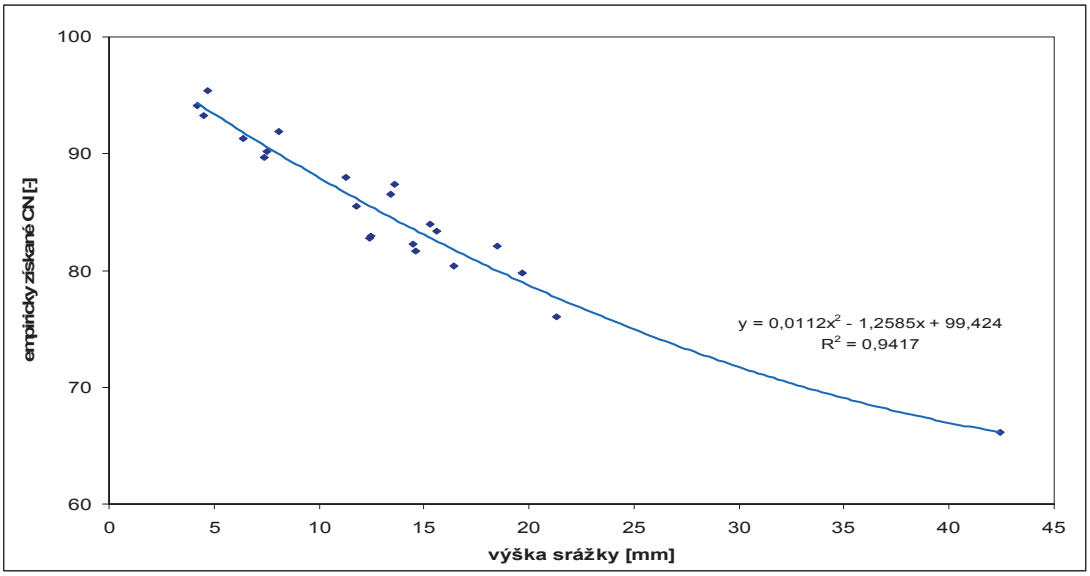


Obr. 1: Empirický vztah mezi výškou srážky a výškou přímého odtoku, Tetřívčí potok (CN II = 61,9)
Pozn.: Všechny srážko-odtokové epizody odpovídají aktuální hodnotě CN I (tj. 41,0).

6. Diskuze

Správné určení přímého odtoku podle SCS-CN závisí, kromě nejistoty odhadu srážkových vstupů, na trojici činitelů, popsaných výše uvedenými rovnicemi (1) až (4). Jsou jimi: 1) vztah definující strmost odtokové křivky, 2) vztah definující výchozí bod odt. křivky (parametr λ) a 3) souvislost mezi aktuální hodnotou CN a pětidenní výškou srážky na povodí ze vztahů (3) a (4). Ke každému ze tří jmenovaných bodů byly nalezeny rozpory teorie a naměřených údajů. Velmi omezený datový vzorek z lokality Zbytiny, je přitom silně podporován výsledky aktuálních světových prací. Autor článku se domnívá, že v kontextu zjištěných nesrovnalostí nemůže SCS-CN zaručit systematicky správné výsledky.

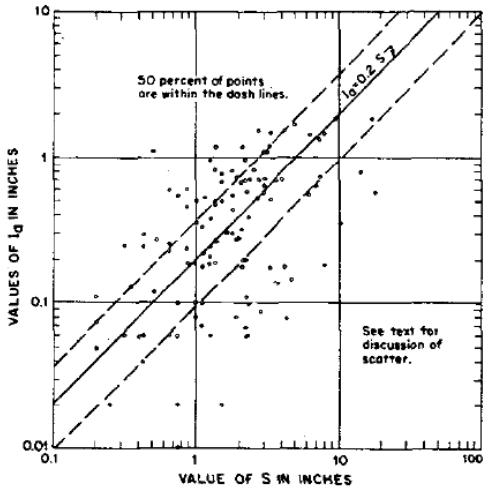
Na obrázku 2 je zachycen vývoj empiricky stanovené hodnoty odtokové křivky v závislosti na velikosti příčinné srážky pro experimentální povodí Zbytinský potok. Empirická CN vychází z naměřených srážek, odpovídajícího přímého odtoku získaného použitou technikou separace základního odtoku a platnosti podmínek uvedených ve vztazích (1) a (2). Obrázek naznačuje, že chování povodí nelze vyjádřit jedinou konstantní hodnotou CN, ale spíše funkcí jejího poklesu. Stejný závěr publikovali Hawkins [16], nebo také Soulis et. al. [12]. Do tohoto schématu dále promlouvá intenzita srážky a nasycenost povodí.



Obr. 2: Vývoj empirických hodnot CN, Zbytinský potok (CN II = 62,8)
Pozn.: Teoretická hodnota aktuální CN = 42,0 (CN I).

Významným parametrem ovlivňujícím výsledný objem přímého odtoku je hodnota počáteční ztráty vyjádřená pomocí λ ze vztahu (1). Zatímco teorie klade tento součinitel konstantní (roven 0,2), naměřené údaje svědčí o tom, že tomu tak není. Se vzrůstající srážkou λ klesá, protože počáteční ztráta (λ . S) se prakticky nemění (dáno teoreticky, empiricky ověřeno), zatímco empiricky určená potenciální maximální retence narůstá (vyplývá z Obr. 2). Tento postřeh potvrzují data a dílčí formulace v článku Baltase et. al. [13], byť to tak není autory v článku interpretováno.

Obecným rysem SCS-CN je, že počáteční ztrátu systematicky nadhodnocuje. Kvalitu původně odvozené hodnoty koeficientu λ dobře dokládají originální metodické materiály. Podle experimentálních dat dodaných SCS (Mockus, [1]) kolísá parametr λ v rozmezí dvou řádů (λ_{min} = 0,013, λ_{max} = 2,1) viz. obrázek 3. Navržená střední hodnota λ je tedy dosti hrubá aproximace, což má nepříjemné důsledky.



Obr. 3: Odvození součinitele počáteční ztráty v originální metodice SCS
Zdroj: Mockus (1972), Pozn.: Ia je rovno (λ . S).

Posledním důležitým článkem SCS-CN je zohlednění nasycenosti povodí. Pro deterministické modelování návrhových povodňových vln se nejčastěji využívá hodnota CN

II, často pak ještě CN III ze vztahu (4). Hodnota CN I, reprezentující podmínky předchozího pětidenního srážkového úhrnu nižšího než 35,6 mm, se zpravidla ve výpočtech neuvažuje. Autor článku považuje tuto skutečnost za metodický omyl. Podle Atlasu podnebí Česka [17] odpovídají reálné průměrné vlhkostní podmínky pro převážnou většinu našeho území definici CN I. Pro srážkové vstupy blízké 60 mm však CN II vede, dle empirických zkušeností, paradoxně k věrohodným výsledkům (viz. Obr. 1).

Pokud se průměrné hodnoty CN II v České republice nejčastěji pohybují v rozmezí 60 – 80, odpovídá to počáteční ztrátě pro reálné průměrné vlhkostní podmínky v rozmezí 70 – 30 mm. Když uvážíme, že doba trvání přívalových srážek je výrazně kratší než 1 den a bodová jednodenní srážka o velikosti 70 mm má v ČR dobu opakování zpravidla cca 20 až 50 let, uvědomíme si, že SCS-CN nepopisuje správně realitu. Jinými slovy - pro nejpravděpodobnější scénář výskytu extrémů na malých povodích nedává věrohodné výsledky. Velmi často totiž při extrémní srážce krátké doby trvání nedetekuje výskyt hypodermického odtoku.

Teoretický přímý odtok bude tím více podceňovat (v relativním měřítku) skutečnost, čím bude:
– výška srážky na povodí nižší,
– intenzita srážky vyšší,
– nasycenost povodí nižší,
– retenční schopnost povodí vyšší (tj. hodnota CN nižší).

Podle zkušeností autora článku není SCS-CN zcela vyhovující ani v situaci, kdy celkový objem teoretického přímého odtoku odpovídá pozorování. V takovém případě je, v souladu s výše uvedeným rozborem, teorií podhodnocena odezva povodí na počátku srážky a naopak silně nadhodnocena váha koncových pořadnic hyetogramu (vliv počátku a strmosti odtokové křivky).

7. Závěr

Článek upozorňuje na nedostatky renomované metody odtokových křivek (SCS-CN), které vyplynuly ze srovnání se skutečně napozorovanými údaji na malých povodích. Studium problému naznačilo, že současné aplikace příliš důvěřují originální metodice a není brán zřetel na novější poznatky. Autor článku nedoporučuje nekritické používání metody SCS-CN. Platí to zvláště v podmínkách nízkých a středních srážkových vstupů, z důvodu silného podhodnocení skutečné odezvy povodí. V podmínkách extrémních srážkových vstupů má metoda tendenci naopak přímý odtok nadhodnocovat. Kvůli posuzování bezpečnosti vodních děl, predikci přívalových povodní, sucha či optimalizaci pozemkových úprav bude třeba metodu zásadně přepracovat. Do té doby je použití alternativních způsobů výpočtu přímého odtoku více než vhodné.

Literatura

[1] MOCKUS, V., 1972. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS National Engineering Handbook, Sect. 4, Chapt. 10. 24 pp.

[2] JANEČEK, M. et. al., 1992. Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodiky FMZVž, ÚVTIZ. 110 s.

[3] PONCE, V., M. – HAWKINS, R., H., 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity? Journal of hydrologic engineering. Vol. 1, No. 1, pp.11-19.

[4] MŽP, 1960. Metodika ministerstva životního prostředí k navrhování protipovodňových opatření v ploše povodí, které současně řeší obnovu vodního režimu a snižování vodní eroze, pro účely plánování v oblasti vod dle směrnice 2000/60/ES. 131 s. Dostupné na : <http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/ cz/prirodni_protipovodnova_opatreni/$FILE/OOV-metodika-20080101.pdf>

[5] ŠERCL, P., 2008. Aplikace AGPosudek pro ArcGIS 9.2. verze 1.3. Praha: ČHMÚ. 28 s.

[6] KULASOVÁ, B. – ŠERCL, P. – BOHÁČ, M., 2004. Metodická příručka pro výběr a aplikaci vhodné metody odvození hydrologických podkladů za účelem posouzení bezpečnosti vodních děl. Projekt QD1368 "Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní". Dílčí výstup V07. Praha: ČHMÚ. 128 s.

[7] ŠERCL, P. – ČEKAL, R. – VLASÁK, T. – TYL, R., 2009. Vývoj robustní metody odhadu odtoku z přívalových srážek. DÚ 4. In: SP/1c4/16/07 "Výzkum a implementace nových nástrojů pro předpovědi povodní a odtoku v rámci zabezpečení hlásné a předpovědní povodňové služby v ČR". Zpráva za rok 2009. MŽP. 29 s.

[8] ŠERCL, P., 2007. Metoda CN-křivek. Kapitola 3.2. In: DÚ 3 Rozvoj a testování modelovacího systému pro predikci povodňových odtoků v malých povodích. In*: VaV 1D/1/5/05 Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR*.ČHMÚ, Praha. s. 49 -80.

[9] MALÝ, A., 2009. Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový process v experimentálních povodích Zbytiny. [Diplomová práce], Brno. KFGG PřF UK v Praze. 151 s.

[10] KLIMENT, Z. – MATOUŠKOVÁ, M. – MALÝ, A., 2008. Monitoring srážko-odtokového režimu v experimentálních párových povodích Zbytinského a Tetřívčího potoka. In: *Změny v krajině a povodňové riziko. Eds.: Langhammer et. al., Projekt VaV SM/2/57/05. Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami*. Praha: KFGG PřF UK v Praze. s. 86-99.

[11] DUB, O. – NĚMEC, J., 1969. Hydrologie. Praha: SNTL. 378 s.

[12] SOULIS, K. X. – VALIANTZAS, J. D. – DERCAS, N. – LONDRA, P. A., 2009. Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, pp 605–615.

[13] BALTAS, E. A. – DERVOS, N. A. – MIMIKOU, M. A., 2007. Technical Note: Determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, pp 1825–1829.

[14] KADLEC, J., 2004. Modelování erozních procesů během srážkových situací v povodí Blšanky. [Ročníková práce], Praha: KFGG PřF UK v Praze. 45 s.

[15] WOODWARD, D., E. et. al., 2003. Runoff Curve Number Method: Examination of the Initial Abstraction Ratio. Conference Proceeding Paper. World Water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia, pp 1-10.

[16] HAWKINS, R. H., 1979. Runoff Curve Numbers for partial Area Watersheds. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Vol. 105. No. 4, pp 375-389.

[17] TOLASZ, R. et. al., 2007. Atlas podnebí Česka. Olomouc: UPOL v Olomouci. 255 s.

Kontakty na autora

1 Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, e-mail: antonin.maly@chmi.cz