

Primjena SCS metode pri konstruiranju hidrograma oteklih oborina

Sušanj Čule, Ivana; Kuhar, Eni; Ožanić, Nevenka

Source / Izvornik: **Zbornik radova, 2022, 25, 107 - 122**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

<https://doi.org/10.32762/zr.25.1.7>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:237127>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



PRIMJENA SCS METODE PRI KONSTRUIRANJU HIDROGRAMA OTEKLIH OBORINA

SCS METHOD APPLICATION IN CONSTRUCTION OF THE RUNOFF HYDROGRAPH

Ivana Sušanjanj Čule*, Eni Kuhar**, Nevenka Ožanić*

Sažetak

Primjena SCS metode je u Hrvatskoj temeljena na priručnicima inozemnih izvora te već pripremljenih programskih paketa. U radu je prikazana kratka povijest razvoja SCS metode i njezine karakteristike te postupak izračuna protoka i konstruiranja hidrograma otjecanja primjenom iste, a sve u cilju poboljšanja razumijevanja. Detaljno su opisani koraci izračuna efektivne oborine korištenjem SCS metode, izračun maksimalnih protoka Ven Te Chow metodom te primjena Goudrich-ovog izraza za modifikaciju i definiranje svih točaka hidrograma. Objašnjenje primjene SCS metode potkrijepljeno je primjerom izračuna na slivu Slanog potoka.

Ključne riječi: SCS metoda, hidrogram otjecanja, Slani potok

Abstract

Application of the SCS method in the Republic of Croatia is primarily based on manuals from foreign sources and already prepared software packages. This paper will present a brief history of the SCS method development and its characteristics, as well as the process of calculation of the flow and construction of the runoff hydrographs. The application of the SCS method for the runoff precipitation assessment in the maximum runoff calculation by usage of Ven Te Chow method and Goudrich expression for modifying and defining all hydrograph points are described in detail. The example of a calculation on the Slani potok catchment is presented.

Key words: SCS method, runoff hydrograph, Slani potok

* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: jsusanj.nozanic@gradri.uniri.hr

** Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: ekuhar@student.uniri.hr

1. Uvod

Soil Conservation Service (SCS) metoda zasniva se na definiranju broja krivulje CN (eng. Curve Number), ovisno o vrsti pokrova tla, stupnju izgrađenosti površine i vlažnosti samog tla. CN predstavlja usvojeni koeficijent koji obuhvaća infiltraciju, akumulaciju i otjecanje oborine s nekog područja. SCS metoda je empirijska te, za razliku od ostalih empirijskih metoda, nudi kompleksno i pouzdano sagledavanje hidroloških osobina promatranog sliva. Izvedena je od strane Američkog Instituta za Poljoprivredu te je kasnije usavršena u hidrološke svrhe [1].

Motivacija za izradu ovoga rada proizlazi iz činjenice da se pri izradi stručnih analiza izračuna maksimalnih protoka primjenom SCS metode u hidrologiji koristi primarno strana literatura zbog nedostatka domaće. Isto tako, danas se SCS metoda većinom primjenjuje kao integrirani dio programskih paketa, kao što je primjerice GIS okruženje. Razlog tome možda leži u činjenici da je SCS metoda i sam postupak izračuna možda i neopravdano okarakteriziran kao složen proces. No, izrada analiza u programskim paketima u slučaju nedovoljnog kritičkog sagledavanja rezultata i razumijevanja niti ulaznih a niti izlaznih podataka može potencijalno dovesti do katastrofalnih pogrešaka u stručnom radu te je stoga cilj ovoga rada dati pregled razvoja, izračuna i primjene SCS metode.

Unutar ovoga rada će stoga biti opisana te potom prikazan primjer korištenja SCS metode za izračun efektivnih oborina ovisno o povratnom periodu. Rezultati SCS metode će potom biti korišteni za izračun maksimalnih protoka na malom slivu korištenjem Ven Te Chow metode [2] te Goudrichov izraz za modifikaciju i definiranje svih točaka hidrograma. Ovaj rad je proizašao iz diplomskoga rada na diplomskoj sveučilišnoj razini, a čiji će primjer izračuna biti prikazan unutar ovoga rada [3].

2. Povijesna podloga

2.1. Povijest i razvoj SCS metode

Soil Conservation Service metoda, odnosno SCS ili kako se u literaturi spominje SCS-CN metoda [1] jedna je od najpopularnijih metoda za izračunavanje efektivne oborine na malim poljoprivrednim, šumskim i urbanim slivovima. Transformacija i generalizacija empirijskog odnosa kojeg je dao Mockus 1949. godine [4] te kompleksan odnos tla, vegetacije i upotrebe zemljišta prema Andrews 1954. godine [5] rezultirala je SCS-CN metodom [6], koja je detaljno opisana u Nacionalnog priručnika Soil Conservation Service metode [1].

SCS metoda je u središtu mnogih rasprava u novijoj hidrološkoj literaturi te će u nastavku biti spomenuti najznačajniji radovi iz toga

područja. Primjerice, Ponce i Hawkins 1996. godine [7] daju kritički osvrt na spomenutu metodu, uz opis i razjašnjavanje pojmova i iskustvene osnove te mogućnosti i ograničenja upotrebe uz identifikaciju mogućih područja istraživanja same metode. U razvoju same metode sudjeluje i Yu, koji 1998. godine [8] analitički izvodi SCS-CN metodu pod pretpostavkom eksponencijalne distribucije prostorne varijacije kapaciteta infiltracije i vremenske varijacije količine padalina. Mishra i Singh su 1999. godine u svoja dva rada [9,10] na temelju Mockusovog rada iz 1949. godine [4] opisali ponašanje infiltracije s obzirom na inicijalnu ideju iste. Steenhuis i sur. 1995. godine [11] povezuje metodu s principima koji se koriste u analizi različitih površinskih područja u hidrologiji. Hewlett i Hibbert 1967. godine [12], Dunne i Black 1970. godine [13], Hjelmfelt 1991. godine [14], Hawkins 1993. godine [15] te Bonta 1997. godine [16] razrađuju i predlažu postupke za određivanje brojeva krivulje CN na temelju terenskih podataka o oborinama velikih intenziteta te podataka o otjecanju. Grove i sur. 1998. godine [17] i Moglen 2000. godine [18] u svojim radovima raspravljaju o učinku prostorne varijabilnosti CN-a na izračunatu efektivnu oborinu. U pojedinim radovima zanemaruju se ili mijenjaju inicijalne pretpostavke pojedinih parametara metode u cilju poboljšanja iste [19,20], no to nije dovelo do značajnih pozitivnih pomaka. Mishra u radu iz 1998. godine [21] te u radu Mishra i Garg iz 2000. godine [22] uspijevaju eliminirati ograničenja same metode, no uz aproksimativni analitički izvod na temelju fizički nemogućih pretpostavka, kao što je primjerice negativna infiltracija. U radu iz 2004. godine [23], Mishra i Singh daju prijedlog prilagodbe metode za korištenje pri oborinama prekomjernih intenziteta te postavljaju granični kriteriji za korištenje opisane metode.

Općeniti stav u znanstvenim krugovima temelji se na mišljenju da SCS metoda u svom trenutačnom obliku ne daje realne podatke vezane za proces infiltracije. Isto tako, vidljiv je stalni interes znanstvenih krugova za razvoj metode. Bez obzira na prikazani pregledni razvoj SCS metode, unutar ovoga rada bit će opisan izračun u njezinom osnovnom obliku s obzirom da je u stručnim krugovima taj oblik i dalje najzastupljeniji.

2.2. Primjena rezultata o kumulativnoj efektivnoj oborini SCS metode za izračun protoka

Primjena rezultata o efektivnoj oborini dobivenih putem SCS metode u izračunu maksimalnih protoka u ovisnosti o povratnom periodu temelji se na korištenju jediničnog hidrograma. Kako u literaturi postoji mnogo raznih pristupa konstruiranju jediničnog hidrograma otjecanja, unutar ovoga rada bit će, zbog razumijevanja, objašnjena i prikazana samo jedna metoda koja se temelji na korištenju krivolinijskog jediničnog hidrograma kojeg je izveo Victor Mockus 1957. godine [24], a primijenio Ven Te Chow

1960. godine [2] za izračun maksimalnog protoka. Definiranje kompletnog hidrograma otjecanja moguće je također provesti na različite načine, za što u literaturi postoji mnogo opcija, no u sklopu ovoga rada bit će prikazana primjena Goudricheva izraza [25].

3. Primjena SCS metode pri konstruiranju hidrograma velikih voda

3.1. Izračun kumulativne efektivne oborine SCS metodom

SCS metoda proizlazi iz dvije hipoteze koje se temelje na formuli vodne bilance, a prikazane su izrazima (1) i (2). Izrazom (1) prikazano je da je kumulativna oborina P jednaka sumi početnog gubitka oborine I_a , kumulativne efektivne oborine P_e te otjecanja Q . Kao što je prikazano izrazom (2), metoda polazi od poznate činjenice da na malome slivu za vrijeme dugotrajne kiše kumulativno otjecanje Q porastom vremena postaje jednako kumulativnoj oborini P . Razlika između kumulativne oborine P i otjecanja P_e u nekoj točki predstavlja višak oborine koji odlazi u podzemnu retenciju sliva ograničenoga kapaciteta. Maksimalni kapacitet podzemne retencije prikazuje se oznakom S [1].

$$P = I_a + P_e + Q \quad (1)$$

$$\frac{P - I_a - P_e}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2)$$

Relacija između početnog gubitka I_a i maksimalnog kapaciteta retencije S definirana je izrazom (3), no potrebno je napomenuti da se u novijoj literaturi taj odnos modificira preciznijom analizom prethodnih povijesnih oborina.

$$I_a = 0,2 S \quad (3)$$

Kako je u praksi teško definirati relaciju između maksimalnog kapaciteta S i prirodnih uvjeta vlažnosti te svih fizičkih svojstava tla, za izračun efektivne oborine P_e koristi se izraz (4), koji uključuje broj krivulje CN te daje odnos vegetacijskog pokriva, načina površinske obrade zemljišta i tip tla za tri uvjeta vlažnosti, a koji su: (i) niski, (ii) srednji i (iii) visoki. U izrazu (4) efektivna oborina P_e izražena je u milimetrima kao i kumulativna oborina P , dok je CN bezdimenzionalni broj. Vrijednost iznosa kumulativne oborine P dobiva se uobičajeno putem klimatske funkcije (HTP ili ITP krivulja) u određenom povratnom periodu za analizirano područje.

$$P_e = 25,4 \frac{\left(0,03937P - \frac{200}{CN} + 2\right)^2}{0,03937P - \frac{800}{CN} - 8} \quad (4)$$

Vrijednost broja krivulje CN određuje se analizom vegetacijskog pokriva, površinske obrade tla i tipa tla slivnog područja, prilikom čega se sliv razdijeli na zasebne površine kojima se putem tablice dodjeljuje broj krivulje CN. Važeći broj krivulje CN za cjelokupni sliv računa se ponderiranom aritmetičkom sredinom.

Tablica 1. Broj krivulje CN za različite pokrove terena za srednje uvjete vlažnosti [1]

Vegetacijski pokrov	Površinska obrada tla	Tip tla			
		A	B	C	D
Ugar	Ravni redovi	77	86	91	94
Okopavine	Ravni redovi	70	80	87	90
	Obrada po izohipsama	67	77	83	87
	Obrada po izohipsama + terase	64	73	79	82
Žitarice	Ravni redovi	64	76	84	88
	Obrada po izohipsama	62	74	82	85
	Obrada po izohipsama + terase	60	71	79	82
Leguminoze	Ravni redovi	62	75	83	87
	Obrada po izohipsama	60	72	81	84
	Obrada po izohipsama + terase	57	70	78	82
Pašnjaci	Slabi	68	79	86	89
	Normalni	49	69	79	84
	Dobri	39	61	74	80
	Obrada po izohipsama, slabi	47	67	81	88
	Obrada po izohipsama, normalni	25	59	75	83
	Obrada po izohipsama, dobri	6	35	70	79
Livade	Normalne	30	58	71	78
Uzgajane šume	Niske transp. sposobnosti	45	66	77	83
	Normalne transp. sposobnosti	36	60	73	79
	Visoka transpiracija	25	55	70	77
Salaši	Normalni	59	74	82	86
Putovi	Meka površina – blatnjavi	72	82	87	89
	Tvrda površina	74	84	90	92
Šume	Vrlo niska transpiracija	56	75	86	91
	Niska transpiracija	46	68	78	84
	Normalna	36	60	70	76
	Visoka	26	52	62	69
	Vrlo visoka	15	44	54	61
Nepropusna površina		100	100	100	100

Vrijednosti broja krivulje za, primjerice, srednje uvjete vlažnosti prikazani su u Tablici 1, dok se u literaturi i priručnicima može pronaći tablice i za ostale uvjete vlažnosti. Unutar tablice definirane su i četiri vrste tla: Tip A (najslabiji uvjeti otjecanja – visok stupanj infiltracije), Tip B (nešto bolji uvjeti otjecanja – visok stupanj infiltracije), Tip C (dobri uvjeti otjecanja – srednji stupanj infiltracije) te Tip D (najbolji uvjeti otjecanja – nizak stupanj infiltracije). Važno je napomenuti da su brojevi krivulja CN

dobiveni empirijskim postupkom za područje SAD-a te da se kao takvi primjenjuju praktički u cijelome svijetu i u Republici Hrvatskoj. Brojevi krivulja CN pokazali su zadovoljavajuću razinu točnosti u praksi, no bilo bi dobro da se analiza brojeva krivulje CN provede zasebno i za Republiku Hrvatsku, a kako bi se ustvrdila razina točnosti.

Odnos broja krivulje CN i maksimalnog kapaciteta podzemne retencije S prikazan je izrazom (5).

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (5)$$

3.2. Izračun maksimalnog protoka Ven Te Chow metodom

Da bi se Ven Te Chow metodom [2] izračunao maksimalni protok Q_{max} za određeni povratni period, neophodno je raspolagati važećom klimatskom funkcijom za područje sliva te također analizirati geometrijske i fizičke osobine sliva, pa potom izračunati ulazne podatke. Opća preporuka je da se pri tome koriste formule i pristup koji je pogodan za analizirano područje te stoga ovdje neće biti detaljnije opisan pristup analizi geometrijskih i fizičkih osobina sliva. Za izračun ulaznih podataka potrebne su sljedeće geometrijske i fizičke osobine sliva: (i) Površina sliva A , (ii) Opseg sliva O , (iii) Udaljenost težišta od izlaznog profila U , (iv) Koeficijent koncentriranosti sliva K , (v) Hidraulička dužina toka L , (vi) Srednja nadmorska visina sliva H_{sr} i (vii) Srednji pad sliva I .

Temeljem fizičkih i geometrijskih osobina sliva definiraju se ulazni podaci za izračun protoka prema Ven Te Chow metodi. Ulazni podaci će u ovom prikazu izračuna biti definirani prema Srebrenoviću [26] s obzirom da njegov pristup izračunu ulaznih podataka odgovara fizičkim osobinama hrvatskih slivova prilikom čega se definiraju glavne veličine za konstrukciju jediničnog krivolinijskog hidrograma.

Vrijeme zakašnjenja sliva T_l [h] računa se prema izrazu (6), u kojem je L hidraulička dužina toka [m], S maksimalni kapacitet podzemne retencije [-] te I srednji pad sliva [%].

$$T_l = 0,001362L^{0,8}(S + 1)^{0,7}I^{-0,5} \quad (6)$$

Vrijeme koncentracije sliva T_c [h] računa se prema izrazu (7) te ovisi o vremenu zakašnjenja sliva T_l [h].

$$T_c = 1,667 T_l \quad (7)$$

Temeljem izračunatog vremena koncentracije T_c računa se jedinično trajanje kiše dD [h] prema izrazu (8), a koje predstavlja osnovu vremensku bazu jediničnog hidrograma, odnosno trajanje jedinične oborine.

$$dD = 0,133 T_c \quad (8)$$

Vrijeme podizanja jediničnog hidrograma T_p se računa u satima temeljem izračunatog trajanja kiše dD [h] i vremena zakašnjenja sliva T_l prema izrazu (9).

$$T_p = 0,5 dD + T_l \quad (9)$$

U konačnici se računa maksimum jediničnog hidrograma q_p [$\text{m}^3/\text{s}/\text{mm}$] u ovisnosti površine sliva A [m^2] i vremena podizanja hidrograma T_p prema izrazu (10).

$$q_p = 0,208 \frac{A}{T_p} \quad (10)$$

Nakon pripreme ulaznih podataka koji se odnose na izračun kumulativne efektivne oborine P_e u vremenskom koraku $t_n = (n+1)dD$, gdje je n svaki sljedeći član niza, i pripremi ostalih ulaznih podataka, moguće je izračunati protok Q_t [m^3/s] prema Ven Te Chow metodi u svakom trenutku t_n , kao što je prikazano izrazom (11). Protok Q_t se u izrazu (11) dobiva umnoškom površine sliva A [km^2], intenziteta kumulativne efektivne oborine I_e [mm/min] u vremenu t_n , bezdimenzionalnog klimatskog faktora Y te faktora redukcije vrha Z .

$$Q_t = A * I_e * Y * Z * 16,5 \quad (11)$$

Intenzitet kumulativne efektivne oborine I_e u vremenu t_n [mm/min] se računa kao što je prikazano u izrazu (12), prilikom čega se količina kumulativne efektivne oborine Pe [mm] dijeli s vremenom t_n [min].

$$q_p = 0,208 \frac{A}{T_p} \quad (12)$$

Vrijednost klimatskog faktora Y ovisi o prostornoj raspodjeli intenzivnih oborina. Kao vrijednost ovoga faktora u sagledavanju malih slivova za koje je dokazana jednolika raspodjela oborina na slivu uzima se $Y=1$. Ukoliko se radi o slivu na kojem je raspodjela oborina nejednolika, uputno je izraditi analizu raspodjele oborine prilikom koje klimatski faktor Y uobičajeno ima vrijednost oko 1 [26].

Faktor redukcije Z predstavlja odnos između protoke vrha jediničnog hidrograma izazvanog kišom analiziranog trajanja t_n i otjecanja izazvanog istim kišnim intenzitetom beskonačnog trajanja [26]. Određivanje spomenutog faktora je relativno složeno te će stoga iz praktičnih razloga unutar ovoga rada biti prikazana formula za direktan izračun faktora redukcije Z , koji se temelji na odnosu trenutačnog koraka vremena t_n [min] i vremena podizanja jediničnog hidrograma T_p , koji se računa prema izrazu (13).

$$\frac{t_n}{T_p} \quad (13)$$

Faktor redukcije Z se potom računa za svaki vremenski korak izračuna uzimajući u obzir vrijednost odnosa u izrazu (13), prema kojemu je Z definiran izrazima (14) i (15). U trenutku kada je faktor redukcije jednak $Z=1$, maksimalna protoka Q_{max} [m^3/s] izračunat će se prema izrazu (11).

$$Z = -0,00303 + 0849 \frac{t_n}{T_p} - 0,177 \left(\frac{t_n}{T_p} \right)^2 ; \text{ za } \frac{t_n}{T_p} \leq 2,13 \quad (14)$$

$$Z = 1 \quad ; \text{ za } \frac{t_n}{T_p} > 2,13 \quad (15)$$

3.3. Konstruiranje hidrograma otjecanja

Gore opisana metoda izračuna protoka prema Ven Te Chowu daje nam podatak o maksimalnoj protoci Q_{max} za određeni povratni period, no u isto vrijeme ne aproksimira točno kompletni hidrogram, odnosno njegovo podizanje i opadanje te se stoga, kao što je i ranije bilo napomenuto, koriste razni matematički izrazi u svrhu konstrukcije i modifikacije cjelovitog hidrograma koji je u direktnoj vezi s izračunatim volumenom kumulativne efektivne oborine V_e na slivu u određenom trenutku t_n . Za potrebe ovoga rada izabran je jednostavan izraz za modifikaciju prema Goudrichu, kao što je prikazano u izrazu (16).

$$y = 10^{\frac{-\lambda(1-x)^2}{x}} \quad (16)$$

Prikazani izraz (16) se sastoji od parametra x [-] i λ [-], prilikom čega se parametar x računa prema izrazu (17), gdje je t_n vremenski korak [min], a T_p vrijeme podizanja hidrograma prema izrazu (9).

$$x = \frac{t_n}{0,5t_n + T_p} \quad (17)$$

Parametar λ računa se na temelju izraza (18), prilikom čega je Q_{max} [m^3/s] maksimalni izračunati protok prema izrazu (11), a V_e [m^3] volumen kumulativne efektivne oborine na slivu u trenutku t_n .

$$\lambda = \frac{Q_{max} (0,5t_n + T_p)}{V_e} \quad (18)$$

Volumen kumulativne efektivne oborine V_e [m^3] dobiva se umnoškom količine kumulativne efektivne oborine P_e [m] u zadanom trenutku t_n i površinom sliva A [m^2] prema izrazu (19).

$$V_e = P_e * A \quad (19)$$

U konačnici se svaka vrijednost protoka Q_t [m^3/s] u hidrogramu u zadanom trenutku t_n definira umnoškom izračunatog maksimalnog

protoka Q_{max} [m³/s] prema izrazu (11) i koeficijenta y prema izrazu (16), kao što je prikazano u izrazu (20).

$$Q_t = Q_{max} * y \quad (20)$$

4. Izračun hidrograma otjecanja sa sliva Slanog potoka

4.1. Opis istražnog područja Slani potok

Područje sliva Slanog potoka dio je slivnog područja rijeke Dubračine, te jedan od njezinih mnogih pritoka [27]. Sliv se nalazi je u središnjem dijelu Vinodolske doline, što možemo vidjeti i na Slici 1 [28].

Sliv Slanog potoka je povijesno prepoznati prostor pod utjecajem štetnih pojava prouzročenih djelovanjem vode, što je dugogodišnji i kompleksan problem. Upravo zbog toga to područje već cijeli niz godina privlači mnoge istraživače, koji svojim raznolikim pristupima pridonose boljem shvaćanju procesa koji se odvijaju na tom području, rezultat čega je niz objavljenih znanstvenih radova. Za ovo su istraživanje značajni radovi Benca i sur. [29], u kojemu se objašnjava proces ekscesivne erozije, Aljinovića i sur. [30], u kojemu je opisana geološka struktura te procesi nastanka erozije na slivu Slanog potoka, Ružića i sur. [31], u čijem su radu analizirana otjecanja sa sliva Slanog potoka i izvora rijeke Dubračine, rad Sušanj i sur. [32], koji izrađuju bazu podataka stanja vodotoka na području Vinodolske doline te, naposljetku, doktorski rad [28], u kojemu su detaljno istraženi procesi otjecanja uz razvoj hidrološkog modela otjecanja.



Slika 1. Situacijski prikaz Slanog potoka na topografskoj podlozi [28]

4.2. Fizičke i geometrijske osobine sliva

S obzirom da je cilj ovoga rada prikazati primjenu SCS metode pri izračunu maksimalnih protoka u ovisnosti o povratnom periodu te konstruirati hidrogram otjecanja, a fizičke i geometrijske osobine predmetnog sliva su detaljno analizirane u doktorskom radu [28], iste će biti preuzete u cijelosti. U Tablici 2 prikazane su fizičke i geometrijske osobine sliva Slani potok.

Tablica 2. Fizičke i geometrijske osobine sliva Slani potok [28]

Fizička ili geometrijska osobina	Oznaka	Jedinica	SLANI POTOK
Površina sliva	A	[km ²]	2,206
Opseg sliva	O	[km]	7,481
Udaljenost težišta od izlaznog profila	U	[km]	1,906
Koeficijent koncentriranosti sliva prema Srebrenoviću [26]	K	[-]	0,309
Hidraulička dužina toka	L	[km]	3,471
Srednji pad sliva	I	[%]	22

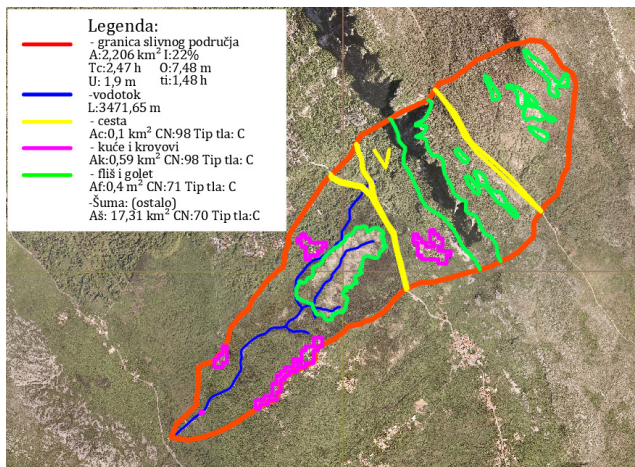
4.3. Ulazni podaci

U cilju izračuna efektivne kumulativne oborine P_e , potrebne su HTP krivulja te broj krivulje CN za analizirano područje. HTP krivulja, koja važi za analizirano područje, je za potrebe ove analize preuzeta iz rada [27] u kojem je definirana temeljem međudnosa vjerojatnosti pojavljivanja maksimalnih dnevnih oborina između mjernih stanica u Rijeci i Senju. U Tablici 3 prikazane su HTP krivulje za povratni period od 5, 10, 20, 50 i 100 godina.

Tablica 3. Aproksimacija HTP krivulja za područje Slanog potoka [27]

Povratni period PP [godine]	Trajanje oborine t [h]	Količina oborine P [mm]
5	10 min < t < 1,63 h	$P = 32,152 * t^{0,3926}$
	1,61 h < t < 24 h	$P = 42,584 * t^{0,2978}$
10	10 min < t < 1,42 h	$P = 48,408 * t^{0,5556}$
	1,42h < t < 24 h	$P = 52,949 * t^{0,2974}$
20	10 min < t < 1,52 h	$P = 57,573 * t^{0,6288}$
	1,52 h < t < 24 h	$P = 66,133 * t^{0,2982}$
50	10 min < t < 2 h	$P = 68,282 * t^{0,682}$
	2 h < t < 24 h	$P = 38,885 \ln(t)$
100	10 min < t < 2,19 h	$P = 78,255 * t^{0,7471}$
	2,19 h < t < 24 h	$P = 42,226 \ln(t) + 104,154$

Analiza broja krivulje CN provedena je na temelju orto fotografije te određivanja površina za pojedine odabrane CN-ove prema Tablici 1. Na Slici 2 prikazane su površine pojedinih CN-ova.



Slika 2. Situacijski prikaz Slanog potoka na topografskoj podlozi [27, 32]

Važeći broj krivulje CN za cjelokupni sliv iznosi CN=71, a izračunat je ponderiranom aritmetičkom sredinom, kao što je prikazano u izrazu (21)

$$CN = \frac{A_c * CN1 + A_k * CN2 + A_f * CN3 + A_s * CN4}{A} = 71 \quad (21)$$

U nastavku će biti prikazani izračunati ulazni podaci vezani za konstrukciju jediničnog krivolinijskog hidrograma te proračun protoka prema Ven Te Chowu. Rezultati su prikazani u Tablici 4.

Tablica 4. Ulazni podaci za konstrukciju jediničnog krivolinijskog hidrograma i protok

Ulazni podatak	Oznaka	Jedinica	Izraz	SLANI POTOK
Broj krivulje	CN	[-]	(21)	71
Maksimalni kapacitet podzemne retencije	S	[-]	(5)	4,07
Vrijeme zakašnjenja sliva	T_l	[h]	(6)	1,48
Vrijeme koncentracije sliva	T_c	[h]	(7)	2,47
Jedinično trajanje kiše	dD	[h]	(8)	0,328
Vrijeme podizanja jediničnog hidrograma	T_p	[h]	(9)	1,65
Maksimum jediničnog hidrograma	q_p	[m ³ /s/mm]	(10)	0,28

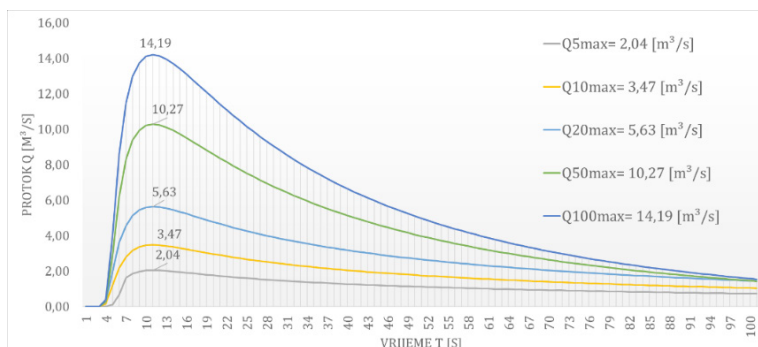
4.4. Primjer izračuna hidrograma otjecanja u ovisnosti o povratnom periodu

Sad kada su definirani svi ulazni podaci moguće je odrediti točke apscise hidrograma koji predstavlja vrijeme u koraku $t_n=(n+1)dD$, a definiran je jediničnim trajanjem kiše dD . U Tablici 5 prikazani su izračuni kumulativnih oborina P i kumulativnih efektivnih oborina P_e s obzirom na vremenski korak tn .

Na ordinati hidrograma (Slika 3) nalazit će se protok Q te će njegove vrijednosti biti izračunate za svaki vremenski korak. U Tablici 6 prikazan je postupak izračuna protoka Q_t prema Ven Te Chowu, prilikom čega su u tablici označeni i maksimalni protoci Q_{max} za svaki povratni period. Nakon izračuna protoka Q_t i dobivanja maksimalnih protoka Q_{max} za svaki povratni period provodi se modifikacija dobivenog hidrograma prema kojem je u Tablici 7 prikazan izračun istog. Konačni izgled hidrograma otjecanja za pojedini povratni period prikazan je na Slici 3, čime su rezultati iz Tablice 7 i vizualizirani.

Tablica 5. Izračun P_e za sliv Slanog potoka

Član niza	PP	5	10	20	50	100	5	10	20	50	100
	Vremenski korak tn	Kumulativna oborina P (Prema HTP krivulji)					Kumulativna efektivna oborina P_e (Prema izrazu (4))				
n	[h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,33	20,8	26,1	28,6	31,9	34,1	0,0	0,3	0,6	1,1	1,5
3	0,66	27,3	38,3	44,2	51,2	57,2	0,4	2,6	4,4	7,0	9,5
4	0,98	32,0	48,0	57,0	67,5	77,4	1,1	5,7	9,5	14,6	20,1
5	1,31	35,8	56,3	68,3	82,2	95,9	1,9	9,1	15,0	22,9	31,7
6	1,64	39,1	61,4	76,7	95,7	113,3	2,8	11,5	19,7	31,5	43,8
7	1,97	52,1	64,8	81,0	108,3	129,9	7,3	13,2	22,2	40,2	56,1
8	2,30	54,5	67,8	84,8	115,2	139,3	8,4	14,8	24,5	45,1	63,4
9	2,63	56,8	70,6	88,2	120,4	144,9	9,3	16,2	26,7	49,0	67,8
10	2,95	58,8	73,1	91,4	125,0	149,9	10,3	17,6	28,7	52,4	71,8
11	3,28	60,6	75,4	94,3	129,0	154,4	11,2	19,0	30,6	55,5	75,4
12	3,61	62,4	77,6	97,0	132,7	158,4	12,0	20,2	32,4	58,3	78,7
13	3,94	64,0	79,6	99,5	136,1	162,1	12,8	21,4	34,1	60,9	81,7
14	4,27	65,6	81,5	101,9	139,2	165,4	13,6	22,6	35,8	63,4	84,5
15	4,60	67,0	83,3	104,2	142,1	168,6	14,4	23,7	37,4	65,6	87,1
16	4,92	68,4	85,1	106,4	144,8	171,5	15,1	24,7	38,9	67,7	89,5
17	5,25	69,7	86,7	108,5	147,3	174,2	15,8	25,8	40,3	69,7	91,8
18	5,58	71,0	88,3	110,4	149,7	176,8	16,5	26,7	41,7	71,6	93,9
19	5,91	72,2	89,8	112,3	151,9	179,2	17,2	27,7	43,1	73,4	95,9
20	6,24	73,4	91,3	114,2	154,0	181,5	17,8	28,7	44,4	75,1	97,9
30	9,52	83,2	103,5	129,5	170,4	199,3	23,6	36,8	55,8	88,6	113,2
40	12,80	90,9	113,0	141,5	181,9	211,8	28,4	43,6	65,1	98,3	124,1
50	16,09	97,3	121,0	151,4	190,8	221,5	32,6	49,4	73,0	105,8	132,6
60	19,37	102,8	127,8	160,0	198,0	229,3	36,4	54,6	80,0	112,0	139,5
70	22,65	107,7	133,9	167,7	204,1	235,9	39,8	59,2	86,3	117,3	145,4
80	25,94	112,1	139,4	174,6	209,4	241,6	42,9	63,5	92,1	121,9	150,5
90	29,22	116,2	144,5	180,9	214,0	246,7	45,9	67,5	97,4	126,0	155,1
100	32,50	119,9	149,1	186,8	218,1	251,2	48,6	71,2	102,4	129,6	159,1



Slika 3. Hidrogrami otjecanja sa sliva Slanog potoka u ovisnosti o povratnom periodu

5. Diskusija i zaključak

Cilj ovoga rada bio je prikazati detaljan opis primjene SCS metode te potkrijepiti isti izračunom iz prakse uzimajući u obzir nedostatak kvalitetne literature na području Republike Hrvatske. Vezano za SCS metodu, u znanstvenim krugovima vlada mišljenje o nedovoljno definiranom odnosu infiltracije i potrebi za unaprjeđenjem u području definiranja broja krivulje CN. Bez obzira na mogući prostor za unaprjeđenjem iste, ova metoda se koristi u stručnim krugovima većinom primjenom već pripremljenih programskih paketa i korištenjem strane literature, što ostavlja prostor za moguće pogreške i nedovoljno kritičko razlučivanje dobivenih rezultata. Nadamo se da će ovaj rad pronaći put i do inženjera u struci te da će pomoći boljem razumijevanju i biti od koristi pri konstruiranju hidrograma otjecanja s neizučениh slivova.

Zahvala. Ovaj je članak rezultat rada u okviru dvaju projekta: *Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima financiranog od strane Sveučilišta u Rijeci te projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) koji je financiran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH*

Literatura

- [1] SCS. 1956, 1964, 1971, 1985. Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10. Soil Conservation Service, USDA: Washington, DC.
- [2] CHOW VT. 1962. Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins. Univ Ill Eng Exp Sta Bull 462: 104.

- [3] Kuhar Eni, 2022, Primjena SCS metode na malom bujičnom slivu Slani potok, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka. Diplomski rad
- [4] Mockus V. 1949. Estimation of Total (Peak Rates of) Surface Runoff for Individual Storms. Exhibit A of Appendix B, Interim Survey Report Grand (Neosho) River Watershed, USDA, 1 December.
- [5] Andrews RG. 1954. The use of Relative Infiltration Indices in Computing Runoff. Unpublished, Soil Conservation Service: Fort Worth, TX; 6 pp.
- [6] Rallison RE, Miller N. 1982. Past, Present, and Future SCS Runoff Procedure. In *Rainfall-Runoff Relationship*, Singh VP (ed.). Water Resources Publications: Littleton, CO; 353–364.
- [7] Ponce VM, Hawkins RH. 1996. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? *Journal of Hydrologic Engineering*, American Society of Civil Engineers 1(1): 11–19.
- [8] Yu B. 1998. Theoretical Justification of SCS Method for Runoff Estimation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, American Society of Civil Engineers 124(6): 306–310.
- [9] Mishra SK, Singh VP. 1999a. Another Look at the SCS-CN Method. *Journal of Hydrologic Engineering* 4(3): 257–264.
- [10] Mishra SK, Singh VP. 1999b. Behaviour of SCS-CN Method in C-IŁ – Spectrum. *Proceedings, Hydrologic Modeling, International Conference on Water, Environment, Ecology, Socio-economics, and Health Engineering*, Seoul National University, Korea, 18–21 October; 112–117.
- [11] Steenhuis TS, Winchell M, Rossing J, Zollweg JA, Walter MF. 1995. SCS Runoff Equation Revisited for Variable-Source Runoff Areas. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, American Society of Civil Engineers 121(3): 234–238.
- [12] Hewlett JD, Hibbert AR. 1967. Factors Affecting the Response of Small Watersheds to Precipitation in Humid Area. In *Proceedings International Symposium on Forest Hydrology*, Sopper WE, Lull HW (eds). Pergamon Press: Oxford; 275–290.
- [13] Dunne T, Black RD. 1970. Partial Area Contributing to Storm Runoff in a Small New England Watershed. *Water Resources Research* 6(5): 1286–1311.
- [14] Hjelmfelt AT Jr. 1991. Investigation of Curve Number Procedure. *Journal of Hydraulics Engineering* 117(6): 725–737.
- [15] Hawkins RH. 1993. Asymptotic Determination of Runoff Curve Numbers from Data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, American Society of Civil Engineers 119(2): 334–345.
- [16] Bonta JV. 1997. Determination of Watershed Curve Number Using Derived Distributions. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, American Society of Civil Engineers 123(1): 28–36.
- [17] Grove M, Harbor J, Engel B. 1998. Composite vs. Distributed Curve Numbers: Effects on Estimates of Storm Runoff Depths. *Journal of the American Water Resources Association* 34(5): 1015–1033.

- [18] Moglen GE. 2000. Effect of Orientation of Spatially Distributed Curve Numbers in Runoff Calculations. *Journal of the American Water Resources Association* 36(6): 1391– 1400.
- [19] Aron G, Miller AC Jr, Lakatos DF. 1977. Infiltration Formula Based on SCS Curve Number. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers* 103(IR4): 419–427.
- [20] Hawkins RH. 1993. Asymptotic Determination of Runoff Curve Numbers from Data. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers* 119(2): 334– 345.
- [21] Mishra SK. 1998. Operation of a Multipurpose Reservoir. Unpublished PhD thesis, University of Roorkee, India.
- [22] Mishra SK, Garg V. 2000. An SCS-CN-Based Time Distributed Model. *Journal of Hydrology, Indian Association of Hydrologists: Roorkee, Uttar Pradesh, India.*
- [23] Mishra, S. K., & Singh, V. P. 2004. Validity and Extension of the SCS-CN Method for Computing Infiltration and Rainfall-Excess Rates. *Hydrological processes*, 18(17), 3323-3345.
- [24] Mockus V. 1957. Use of Storm and Watershed Characteristics in Synthetic Hydrograph Analysis and Application. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, DC.
- [25] Bonacci, O., S. Roglič. 1985. Hidrološki proračun osnovne kanalske mreže za površinsku odvodnju. *Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. kolo, knjiga 3* 63-88.
- [26] Srebrenović, D. 1986. Primijenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb
- [27] Rubinić, A., 2010. Hidrologija sliva Dubračine. Ur. Jelenić, G. Zbornik radova, 13, 33- 68. Građevinski fakultet u Rijeci. Rijeka
- [28] Sušan, I., 2016. Razvoj hidrološkog modela otjecanja s malih slivova temeljen na umjetnoj neuronskoj mreži. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka. Doktorski rad
- [29] Benac, Č.; Jurak, V.; Oštrić, M.; Holjević, D.; Petrović, G. 2005. Pojava prekomjerne erozije u području Slanog potoka (Vinodolska dolina). Velić, I.; Vlahović, I.; Biondić R. (urednici): *Knjiga sažetaka 3. Hrvatski geološki kongres*, 173-174. Opatija. Hrvatska.
- [30] Aljinović, D.; Jurak, V.; Mileusnić, M.; Slovenec, D.; Presečki, F. 2010. The Origin and Composition of Flysch Deposits as an Attribute to the Excessive Erosion of the Slani Potok Valley ("Salty Creek"). *Geologia Croatica*, 63(3), 0-0. Croatia
- [31] Ružić, I.; Sušan, I.; Ožanić, N.; Žic, E. 2011. Otjecanja sa sliva Slanog potoka i izvora rijeke Dubračine na području Vinodolske doline. Biondić, D.; Holjević, D.; Tropan, LJ. (urednici). *Znanstveni skup: Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena*. 226-237. Hrvatske vode. Zagreb. Hrvatska
- [32] Sušan, I.; Dragičević, N.; Karleuša, B.; Ožanić, N. 2013. Gis Based Monitoring Database for Dubračina River Catchment Area as a Tool for Mitigation and Prevention of Flash Flood and Erosion. *Thirteenth International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering*. Bratislava. Slovakia