

SCS METODA PRORAČUNA

Ovu je metodu proračuna razvila Služba za očuvanje tla, Američkog odjela za poljoprivredu (Soil Conservation Service, SCS, of the US Department of Agriculture) za primjenu u seoskim područjima. Kasnije je ista metoda prilagođena za uporabu u urbanim područjima i primjenu na računalima.

Metoda se oslanja na definiranje broja krivulje, CN (curve number), koji najviše ovisi o tipu tla, stupnju izgrađenosti i prethodnim uvjetima vlažnosti. CN je u stvari koeficijent otjecanja koji obuhvaća učinke infiltracije, akumulacije i trajanja oborina.

Tabl. 1 Brojevi krivulja otjecanja za odabrane poljoprivredne, suburbane i urbane slivne površine.

Namjena tla	Hidrološka grupa tla			
	A	B	C	D
Kultivirana tla:				
Bez mjera očuvanja	72	81	88	91
S mjerama očuvanja	62	71	78	81
Pašnjaci:				
Dobro obrasli	68	79	86	89
Slabo obrasli	39	61	74	80
Travnjak: dobro obrašten	30	58	71	78
Šumsko tlo				
Tanka stabla, slabi pokrov, bez zaštite	45	66	77	83
Dobra zaštita *	25	55	70	77
Otvoreni prostori: travnjaci parkovi, golf igrališta, groblja i sl.:				
Dobro obrasli: travom prekriveno više od 75% površine	39	61	74	80
Slaba obraštenost: travom prekriveno 50-75% površine	49	69	79	84
Komercijalne i poslovne površine (85% učvršćenog tla)	89	92	94	95
Industrijska područja (72% učvršćenog tla)	81	82	91	93
Površine za stanovanje**: srednja površina % učvršćene površine				
500 m ² ili manje; 65%	77	85	90	92
1000 m ² , 38%	61	75	83	87
1350 m ² , 30%	57	72	81	86
2000 m ² , 25%	54	70	80	85
4000 m ² , 20%	51	68	79	84
Popločena parkirališta, krovovi, prometne površine, i sl.	98	98	98	98
Ulice i ceste:				
S zastorom, rubnjacima i odvodnjom	98	98	98	98
Makadam	76	85	89	91
Prašno tlo	72	82	87	89

*Dobra zaštita sprječava ispašu. Tlo prekrto humusom i organskim otpacima

** Broj krivulje je izračunat uz pretpostavku da je dotok iz kuća i prometnih površina (pristupa) usmjeren na ulicu, isto kao i najveći dio dotoka s krovova, bez dodatne infiltracije u travnjake.

Tabl.1 prikazuje brojeve krivulja za različita vrsta tla. Grupa A predstavlja duboke, dobro do izrazito dobro drenirane pijeskovite i šljunkovite, grupa B predstavlja umjereno duboka do duboka, umjereno dobro do dobro drenirana tla s umjereno finom do umjereno grubom granulacijom, a grupa C se pretežno sastoji od tala koja usporavaju infiltraciju ili umjereno fine do fine teksture, dok grupu D čine glinovita tla s velikim potencijalom bubrenja, tla s trajno visokom razinom podzemne vode, tla s slojevima gline blizu same površine, i plitka tla iznad gotovo nepropusne podloge.

Uz poznate visine oborinskog taloga moguće je izračunati ukupnu visinu dotoka iz Tabl.2. Ako tlo koje se analizira ne pokriva potpuno jedan od navedenih kriterija u Tabl.1, može se konstruirati kompozitna krivulja analogno kompozitnom koeficijentu otjecanja kod racionalne metode.

Tabl. 2 Debljina oborinskog taloga u milimetrima, kao funkcija broja krivulje CN i oborine

Oborina (mm)	Broj krivulje CN*								
	60	65	70	75	80	85	90	95	98
25	0	0	0	0,7	2,0	4,8	8,0	14,0	19,8
30	0	0	0,8	1,8	3,8	7,0	11,5	18,5	24,8
35	0	0,5	1,5	3,3	6,0	9,8	15,3	23,0	29,5
40	0,3	1,3	2,8	5,0	8,5	13,0	19,0	27,8	34,5
45	0,8	2,3	4,3	7,3	11,0	16,3	23,3	32,3	39,5
50	1,5	3,5	6,0	9,5	14,0	20,0	27,3	37,0	44,3
65	4,3	7,5	11,5	16,3	22,3	29,5	38,3	49,0	56,8
75	8,3	12,8	18,0	24,0	31,3	39,8	49,5	61,3	69,5
100	19,0	25,8	33,3	41,8	51,0	61,5	73,0	85,8	94,3
125	32,5	41,3	51,0	61,3	72,3	84,3	97,0	110,5	119,0
150	48,0	58,8	70,0	82,0	94,5	107,8	121,3	135,3	144,0
175	65,0	77,5	90,5	103,8	117,3	131,5	145,3	160,3	169,0
200	83,3	97,5	111,8	126,0	140,5	155,3	170,3	185,0	194,0
225	102,5	118,0	133,5	148,8	164,3	179,8	194,8	210,0	219,0
250	122,5	139,3	155,8	172,0	188,0	204,0	219,5	235,0	244,0
275	143,0	161,0	178,3	195,5	212,0	228,5	244,3	259,8	269,0
300	164,0	183,0	201,3	219,0	236,3	253,0	269,0	284,8	294,0

* Za CN i oborine kojih nema u tablici koristi se aritmetička interpolacija

Primjer 1:

Odredi otjecanje za oborinu od 125 mm, s površine od $4 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ klasificirane u hidrološku grupu tla C. 50% od ukupne slivne površine čine razdvojene kuće za stanovanje na parcelama od 1000 m^2 , 10% su gradske kuće na parcelama od 500 m^2 , 25% su ulice s rubnjacima i rigolima, škole, parkirališta i trgovine, i 15% su otvoreni prostori, parkovi dječja igrališta i sl. dobro obrasla travom.

Rješenje:

Potrebno je pronaći kompozitni CN:

Namjena tla	Postotak površine	CN	Umnožak
Kuće	50	83	4150
Gradske kuće	10	90	900
Ulice, i sl.	25	98	2450
Otvoreni prostori, i sl.	15	74	1110

Zbroj umnožaka je 8610 a kompozitni broj krivulje je $8610/100 = 86$. Iz Tabl. 2 interpolacijom se za CN = 86 dobije dotok od 86,8 mm. Ukupni dotok je dakle, $0,0868 \cdot 4 \cdot 10^6 = 347\,200 \text{ m}^3$.

Primjer 2:

Odredi CN za urbanizirani prostor koji se sastoji od 50% površina s hidrološkom grupom tla B i 50% grupe C. Namjena prostora je slijedeća:

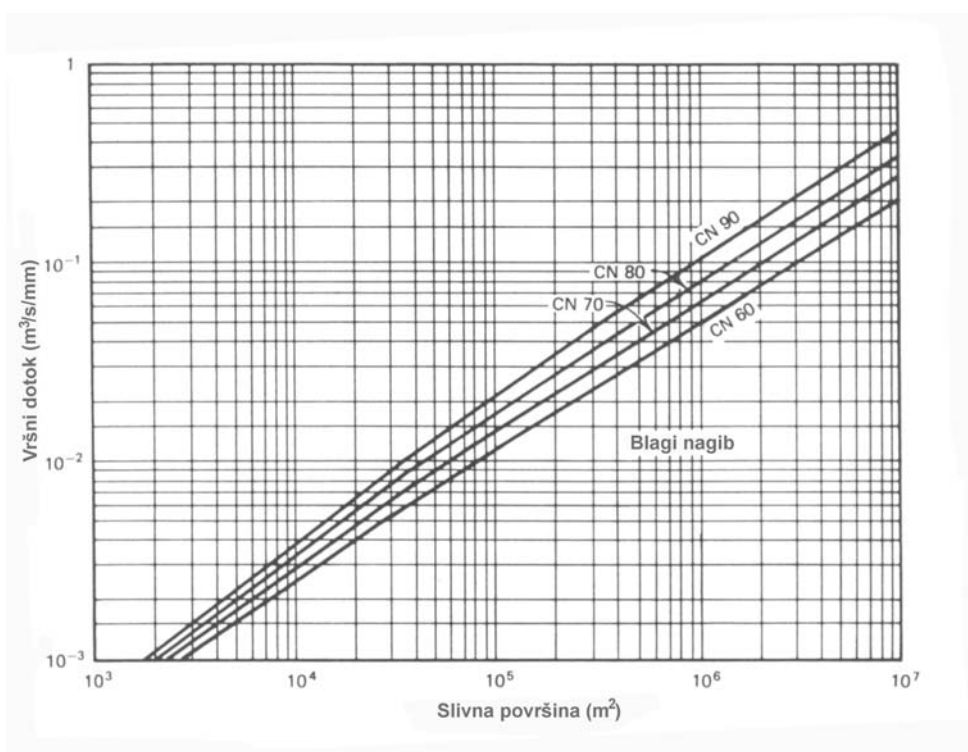
stanovanje s 30% učvršćenih površina	40%
stanovanje s 65% učvršćenih površina	12%
prometnice sa zastorom s rubnjacima i odvodnjom	18%
otvorene površine, 50% dobro obrasle, i 50% slabo obrasle	16%
parkirališta, trgovi, škole i sl.	14%

Namjena tla	Hidrološka grupa tla					
	B			C		
	%	CN	Umnožak	%	CN	Umnožak
Stanovanje	20	72	1440	20	81	1620
Stanovanje	6	85	510	6	90	540
Prometnice	9	98	882	9	98	882
Otvorene površine						
Slaba obraštenost	4	69	276	4	79	316
Dobra obraštenost	4	61	244	4	74	296
Parkirališta i sl.	7	98	686	7	98	686
	50		4038	50		4340

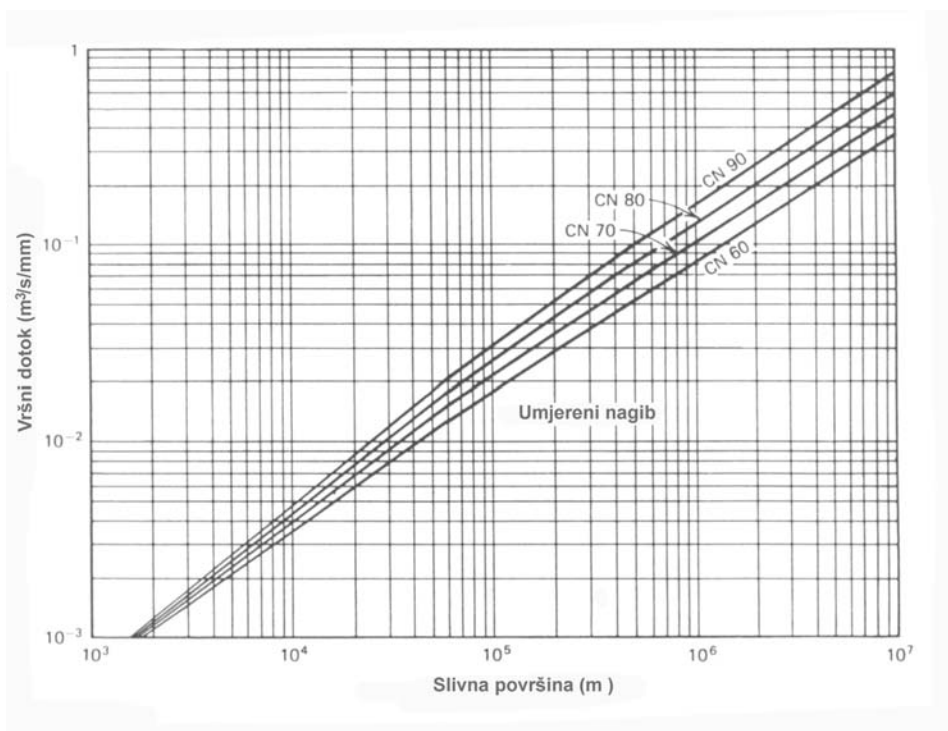
$$CN = \frac{1}{2} \left(\frac{4038}{50} + \frac{4340}{50} \right) \approx 84$$

SCS metoda može se koristiti za određivanje sintetskih hidrograma, ali su druge metode pogodnije za tu namjenu. Najbolja primjena je za određivanje kumulativnog dotoka i vršnog dotoka.

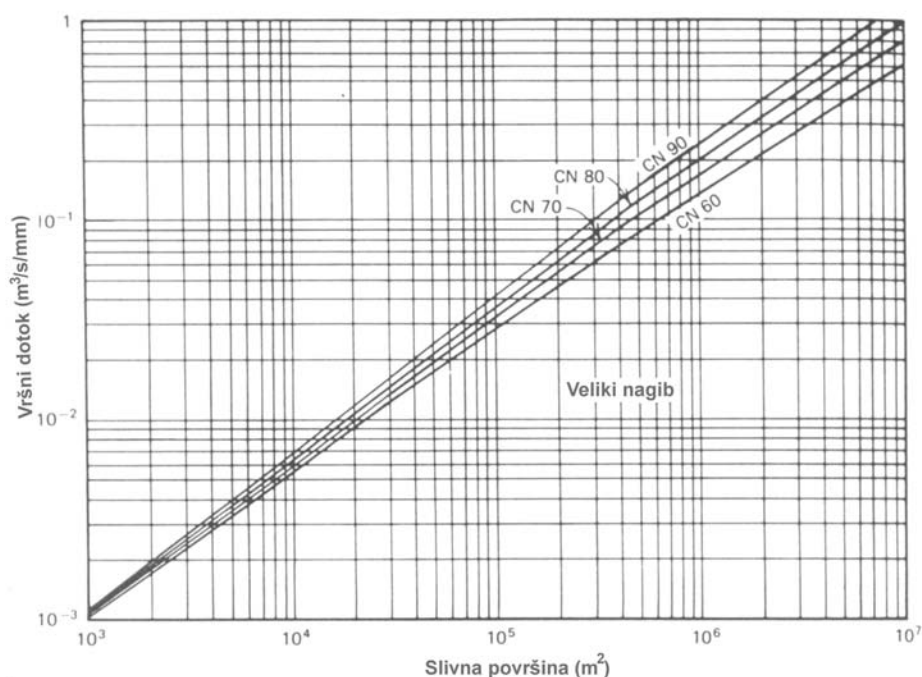
Za određena klimatska područja mogu se odrediti krivulje za određivanje vršnog dotoka, ovisno o namjeni površine, srednjem padu sliva i paloju oborini. Na Slikama 1, 2, i 3 prikazane su krivulje za poljoprivredna područja kontinentalnog dijela SAD.



Sl.1 Vršni dotok za male slivove – blagi nagib



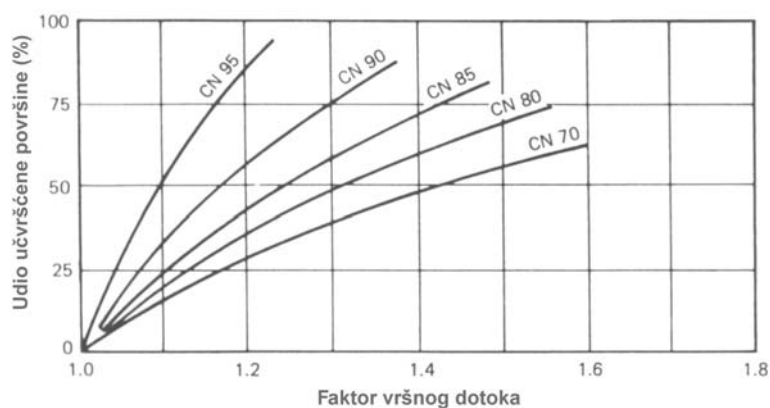
Sl.2 Vršni dotok za male slivove . umjereni nagib



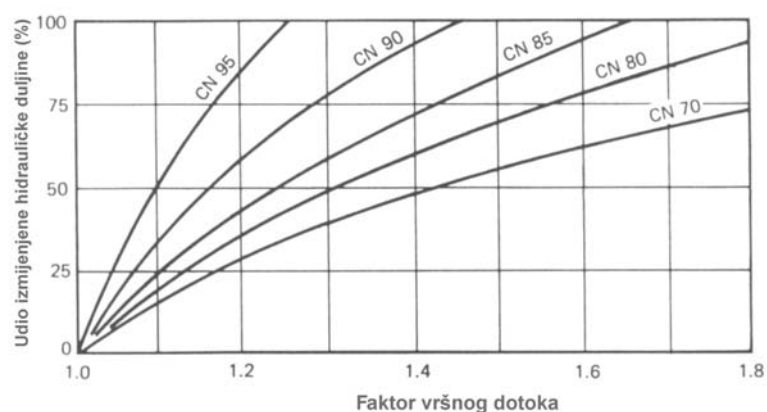
Sl.3 Vršni dotok za male slivove – veliki nagib

Iste se vrijednosti mogu koristiti i za urbana područja uz potrebne korekcije. Slike 1, 2, i 3 odnose se na blago, umjereno i strmo nagnute slivne površine. Pri tom su blago nagnute površine računate s nagibom od 1%, umjereno nagnute s nagibom od 4%, a strme s nagibom od 16%. Nagibi između navedenih mogu se dobiti množenjem vrijednosti iz dijagrama s korekcijskim faktorima u Tabl.3.

Dodatno vrijednosti iz dijagrama moraju se dotjerati prema stvarnoj namjeni površine i promjeni hidrauličke dužine. Hidraulička dužina korigira stanje glavnog kanala bez obzira na prirodu promjene. Korekcijski faktori mogu se odrediti korištenjem Sl. 4 i 5.



Sl.4 Faktori korekcije vršnog dotoka za postotak nepropusnosti (Vrijednosti CN za buduće uvjete)



Sl.5 Faktori korekcije vršnog dotoka za postotak izmijene hidrauličke duljine (Vrijednosti CN za buduće uvjete)

Tabl. 3 Faktori korekcije nagiba za vršni dotok

Nagib sliva	Površina sliva, 10 ³ m ²							
	40	80	200	400	800	2000	4000	8000
Blagi nagib sliva (%)								
0,1	0,49	0,47	0,44	0,430	0,42	0,41	0,41	0,40
0,2	0,61	0,59	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52
0,3	0,69	0,67	0,65	0,64	0,63	0,62	0,62	0,61
0,4	0,76	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,69	0,69
0,5	0,82	0,80	0,78	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76
0,7	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,5	1,13	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,17	1,17
2,0	1,21	1,24	1,26	1,28	1,29	1,30	1,31	1,31
Umjereni nagib sliva								
3	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89
4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,04	1,05	1,07	1,08	1,08	1,08	1,09	1,09
6	1,07	1,10	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,17
7	1,09	1,13	1,18	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24
Strmi nagib sliva								
8	0,92	0,88	0,84	0,81	0,80	0,78	0,78	0,77
9	0,94	0,90	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,81
10	0,96	0,92	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84
11	0,96	0,94	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87
12	0,97	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90
13	0,97	0,97	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92
14	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95
15	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10
25	1,06	1,08	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19
30	1,09	1,11	1,14	1,17	1,20	1,22	1,23	1,24
40	1,12	1,16	1,20	1,24	1,29	1,31	1,33	1,35
50	1,17	1,21	1,25	1,29	1,34	1,37	1,40	1,43

Primjer:

Slivna površina od $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ će se urbanizirati. Predviđa se da će tada sliv imati $CN=80$, a 60% hidrauličke dužine će se izmijeniti izgradnjom rigola i cjevovoda, 30% površine biti će utvrđeno. Srednji pad sliva je 5%. Izračunaj sadašnji i budući vršni dotok za oborinu od 125 mm. Postojeći CN je 75.

Rješenje:

Iz Tabl. 2, kumulativni dotok biti će za postojeće i buduće stanje, 61,3 odnosno 72,3 mm.

Iz Slike 2, za umjereni pad, postojeći i budući vršni dotok za poljoprivredno zemljište je 0,13 i 0,15 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{mm})$. Za nagib od 5 % ove se vrijednosti, prema Tabl.2, moraju množiti sa 1,08.

Postojeći vršni dotok će dakle biti:

$$Q = 61,3 \cdot 0,13 \cdot 1,08 = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Buduća urbanizacija će povećati vršni dotok sa faktorom 1,16 (Slika 4) i 1,4 (Slika 5) zbog povećanog udjela utvrđenih površina i smanjenja hidrauličke dužine, odnosno smanjenja vremena dotoka.

Dakle vršni dotok će biti za naknadno uređeni sliv:

$$Q = 72,3 \cdot 0,15 \cdot 1,08 \cdot 1,16 \cdot 1,40 = 19,0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Urbanizacija sliva povećati će vršni dotok približno 2,2 puta.

Vrijednosti iz Slika 1, 2 i 3, pretpostavljaju jednoliki dotok preko cijele slivne površine. U slučajevima s većom akumulacijom, vršni će se dotoci smanjiti. U Tabl. 4 su navedeni faktori koji korigiraju vršni dotok za odabrani povratni period. Tablica se koristi za slivne površine s akumulacijama koje su jednoliko podijeljene po cijeloj slivnoj površini. Vršni dotoci će biti nešto manji, ako su akumulacijske površine koncentrirane nizvodno, a veći, ako su uzvodno.

Tabl. 4 Faktori korekcije za centralno akumuliranje

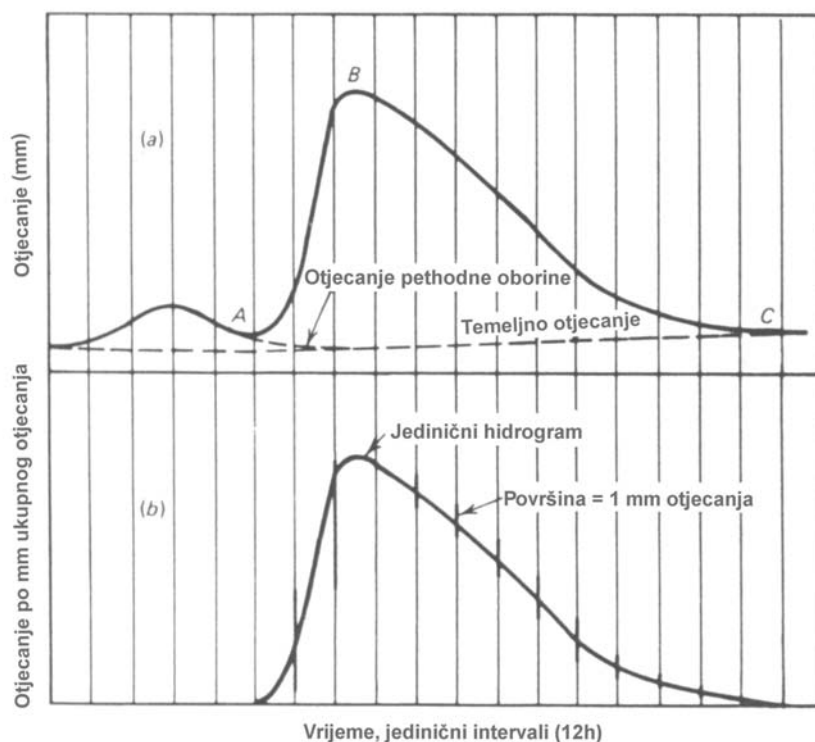
Udio akumulacijskih i močvarnih površina	Period ponavljanja oborine, (god)					
	2	5	10	25	50	100
0,2	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
0,5	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,94
1,0	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,90
2,0	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87
2,5	0,73	0,74	0,76	0,78	0,81	0,84
3,3	0,69	0,70	0,71	0,74	0,77	0,81
5,0	0,65	0,66	0,68	0,72	0,75	0,78
6,7	0,62	0,63	0,65	0,69	0,72	0,75
10,0	0,58	0,59	0,61	0,65	0,68	0,71
20,0	0,53	0,54	0,56	0,60	0,63	0,68
25,0	0,50	0,51	0,53	0,57	0,61	0,66

METODA JEDINIČNIH HIDROGRAMA

Jedinični hidrogram se definira kao hidrogram površinskog dotoka efektivne oborine (one koja stvara otjecanje) koja traje jedinicu vremena. Jedinica vremena može biti bilo koja vrijednost manja od vremena koncentracije.

Korisnost jediničnog hidrograma temelji se na tvrdnji da će sve pojedinačne oborine u slivu koje imaju jednako trajanje, rezultirati otjecanjem u istom vremenu. Na pr. sve kiše u slivu s trajanjem 12 h, rezultirat će otjecanjem koje traje preko 5 dana. Nadalje, ordinate hidrograma biti će proporcionalne višku otjecanja (neto kiša manje odbici).

Jedinični hidrogram može se konstruirati iz postojećih zapisa oborina i otjecanja (protoka). Na Sl.6 od točke A do C prikazan je hidrogram oborine trajanja 12h. Otjecanje prije točke A odnosi se na prethodnu kišu, a smanjenje nakon točke C je nastavak temeljnog toka. Sl.6b dobivena je oduzimanjem učinka prethodne kiše i temeljnog toka, te dijeljenjem ordinata s ukupnim otjecanjem. Ona predstavlja jedinični hidrogram kiše trajanja 12 h. Konceptcija jediničnog hidrograma korištena je za male slivove od 0,4 do 38 km². Razvijene su parametarske jednadžbe koje omogućavaju definiranje hidrograma na temelju fizičkih karakteristika sliva. To su jednadžbe:



Sl.6 Konstrukcija jediničnog hidrograma

$$T_R = 4,1 \cdot L^{0,23} \cdot S^{-0,25} \cdot I^{-0,18} \cdot \Phi^{1,57}$$

$$Q = 13,27 A^{0,96} T_R^{-1,07}$$

$$T_B = 71,21 \cdot A \cdot Q^{-0,95}$$

$$W_{50} = 12,08 \cdot A^{0,93} \cdot Q^{-0,92}$$

$$W_{75} = 7,21 \cdot A^{0,79} \cdot Q^{-0,78}$$

gdje je:

- T_R = vrijeme rasta hidrograma (min)
 Q = vršni protok ($m^3/s/mm$ neto kiše)
 T_B = vremenska baza hidrograma (min)
 W_{50} = širina hidrograma (min) pri 50% protoka Q
 W_{75} = širina hidrograma (min) pri 75% protoka Q
 L = ukupna duljina duž glavnog kanala (m)
 S = nagib glavnog kanala (općenito zanemarujući položenijih 20% uzvodne duljine)
 I = nepropusnost (%)
 Φ = bezdimenzionalni faktor provodnosti (0,6-1,3)
 A = površina sliva, km^2 .

Ove su jednadžbe razvijene na temelju jediničnog vremena od 10 min.

Primjer:

60 minutni pljusak ima neto oborinu od 33 mm a dinamika padanja je slijedeća:

0-10 min	10-20min	20-30min	30-40min	40-50min	50-60min	60min
2,5	6,5	10	9	4	1	33

Koristeći 10-minutne hidrogramske jednadžbe konstruiraj hidrogram otjecanja. Površina sliva je $5,5 km^2$, duljina glavnog kanala $L = 4575 m$, $I = 30\%$, $F=1$ i $S=1\%$.

Jedinični hidrogram definiran je uz pomoć jednadžbi:

$$T_R = 4,1(4575)^{0,23} (0,01)^{-0,25} (30)^{-0,18} (1)^{1,57} = 49$$

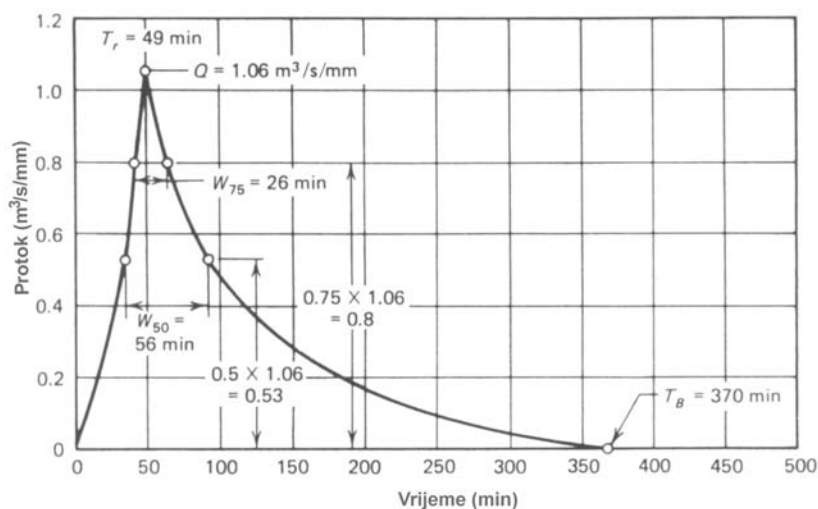
$$Q = 13,27 (5,5)^{0,96} (48,8)^{-1,07} = 1,06 m^3/s/mm$$

$$T_B = 71,21 (5,5)(1,06)^{-0,95} = 370 min$$

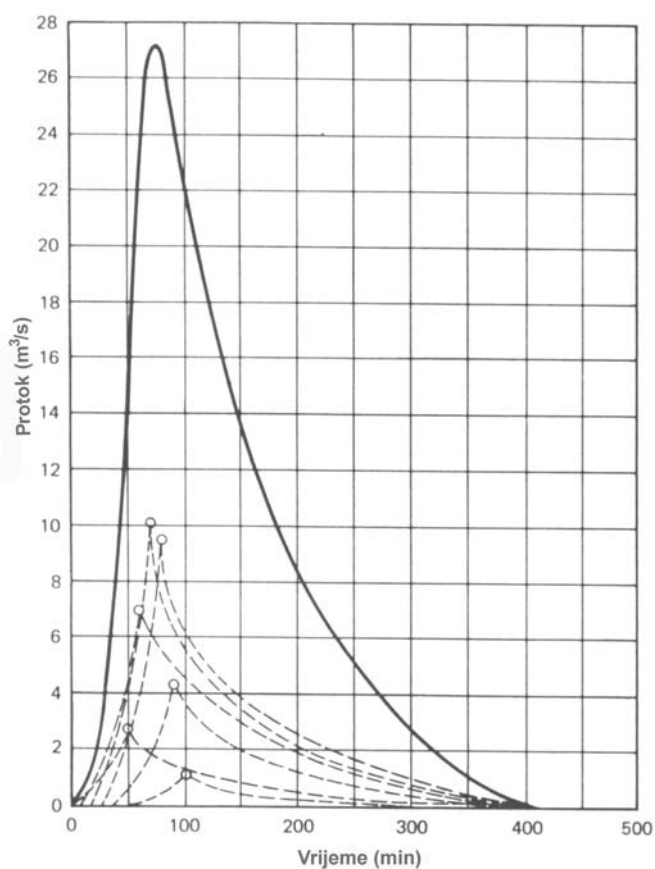
$$W_{50} = 12,08 (5,5)^{0,93} (1,06)^{-0,92} = 56 min$$

$$w_{75} = 7,21 (5,5)^{0,79} (1,06)^{-0,78} = 26 min$$

Pripadni jedinični hidrogram vidi se na Sl.7. Svaka 10-minutna oborina će proizvesti takav jedinični hidrogram s ordinatom jednakom umnošku neto oborine i ordinate jediničnog hidrograma.



Sl.7 10-minutni jedinični hidrogram za jednu urbanu površinu



Šest hidrograma pljuska tada se može sumirati poštujući njihovo vrijeme početka, tako da se dobije hidrogram na Sl.8. Vršni dotok je $27,2 \text{ m}^3/\text{s}$, a ukupni dotok može se dobiti integriranjem površine ispod hidrograma (oko 180000 m^3).

Sl.8 Jedinični i složeni hidrogram urbane površine