Osobine i primjena parametarskih metoda određivanja otjecanja

Jambrović, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

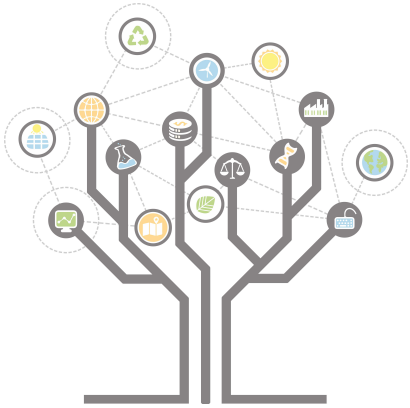
2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:084091

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Osobine i primjena parametarskih metoda određivanja otjecanja

Jambrović, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:084091

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-10**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LUKA JAMBROVIĆ

OSOBINE I PRIMJENA PARAMETARSKIH METODA ODREĐIVANJA OTJECANJA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

OSOBINE I PRIMJENA PARAMETARSKIH METODA ODREĐIVANJA OTJECANJA

KANDIDAT:

Luka Jambrović

MENTOR:

doc. dr. sc. Bojan Đurin

VARAŽDIN, 2016.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

_____

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Bojana Đurina.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da jeprepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, _____

_____

(Ime i prezime)

_____

(OIB)

_____

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Autor: Luka Jambrović

Naslov rada: Osobine i primjena parametarskih metoda određivanja otjecanja

U diplomskome radu definirano je samo otjecanje, opisano, nabrojana i opisana svaka parametarska metoda za određivanje otjecanja. Želi se pokazati da svaka parametarska metoda za izračun otjecanja ima svoje prednosti i nedostatke, te da neke od njih ipak imaju veću primjenu u odnosu na druge. Tako su osobine istih opisane i navedene u radu. Analiziranjem, opisivanjem te međusobnom usporedbom tih parametarskih metoda uvidjelo se koja od njih je najbolja za primjenu u praksi. Svrha rada je osim „poznatih“ prikazati i ostale, odnosno manje poznate parametarske metode određivanja otjecanja, te na taj način ukazati njihovu važnost. Zbog složenosti samih parametara unutar metoda i formula u ovom radu odabrana je najprikladnija metoda, a to je racionalna metoda.

KLJUČNE RIJEČI :

otjecanje, parametarske metode, oborine, hidrologija, sliv, protok

Sadržaj

1. UVOD.. ..... ……..1

2. OPĆENITO OTJECANJU.. ..... ……..2

2.1.. ISKAZIVANJE OTJECANJA.. ..... ……..4

3. PARAMETARSKE METODE..... ……..11

3.1. PREGLED PARAMETARSKIH METODA.. ..... ……..11

3.1.1. Racionalna metoda..... ……..12

3.1.2. Giandotti–Vissentinijeva formula.. ..... ……..18

3.1.3. Müllerova formula.. ..... ……..19

3.1.4. Srebrenovičeva metoda.. ..... ……..19

3.1.5. Gavrilovičeva metoda.. ..... ……..23

3.1.6. Krepsova metoda.. ..... ……..25

3.1.7. Bavarsko –Ržihov formula.. ..... ……..26

3.1.8. SCS - Ven Te Chow metoda.. ..... ……..27

3.1.9. Kresnikova metoda.. ..... ……..35

3.1.10. Possentieva metoda.. ..... ……..36

3.1.11. Dicken'sova formula..... ……..37

3.1.12. WECS/DHM metoda.. ..... ……..37

3.1.13. Sharma i Adhikari metoda.. ..... ……..38

3.1.14. Tahal et al. metoda.. ..... ……..39

3.1.15. PCJ metoda.. ..... ……..39

3.1.16. Faningova metoda.. ..... ……..40

3.1.17. Heydarabadova metoda..... ……..40

3.1.18 Dredge i Burge metoda.. ..... ……..40

3.1.19. Burges metoda.. ..... ……..41

3.1.20. Inglis metoda..... ……..41

3.1.21. Burkli- Zieglerova metoda.. ..... ……..42

3.1.22. Cramarova metoda.. ..... ……..42

3.1.23 Talbotova metoda.. ..... ……..43

3.1.24. Ryve'sova formula..... ……..43

3.1.25. Cookova metoda.. ..... ……..44

3.1.26. Füllerova metoda.. ..... ……..46

3.1.27. Izzardova metoda.. ..... ……..46

3.1.28. TRRL metoda.. ..... ……..48

4. USPOREDBA POJEDINIH METODA.. ..... ……..54

5. ZAKLJUČAK.. ..... ……..56

6. LITERATURA.. ..... ……..57

7. POPIS SLIKA.. ..... ……..60

8. POPIS TABLICA.. ..... ……..61

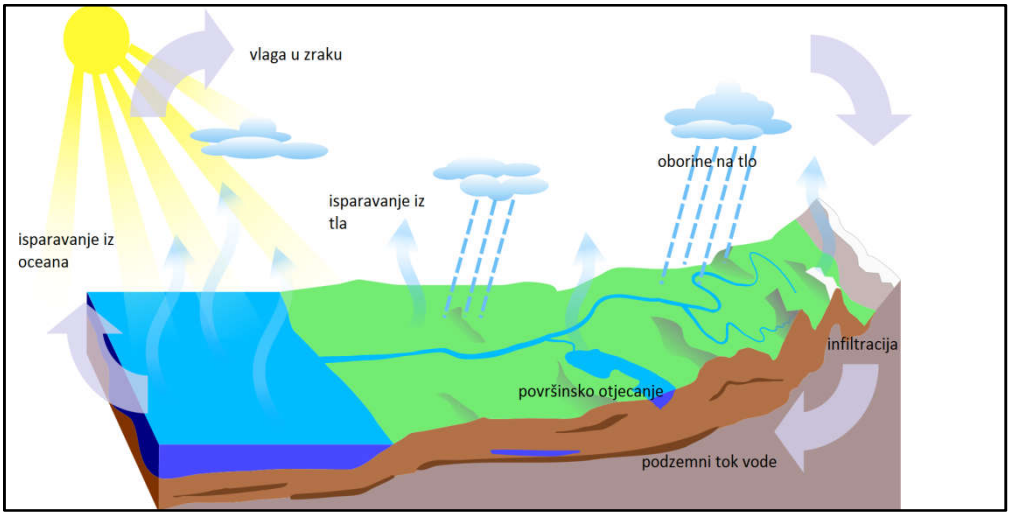
1. UVOD

Otjecanje, kao sastavni dio hidrologije, analizirat će se u ovome diplomskome radu na način da će se opisati parametarske metode koje se primjenjuju u svijetu i kojima se proračunava otjecanje te njihove osobine i sama primjena istih. Analiziranjem, opisivanjem te međusobnom usporedbom tih parametarskih metoda uvidjeti će se koja od njih je najbolja za primjenu u praksi i koje su razlike, prednosti i nedostaci pojedinih metoda.

Pod pojmomparametarskih metoda za određivanje otjecanja u hidrologiji podrazumijeva se način analize hidroloških procesa u kojemu se upotrebljava deterministički pristup istraživanjima hidroloških sustava uz korištenje različitih parametara.Parametarska hidrologija (iskustvena, deterministička, analitička)proučavanačine analize hidroloških sustava i hidroloških procesa gdjese za njihov matematički opis koriste parametarske jednadžbe.Primjenom stohastičke hidrologije, hidrološki procesi i pojave opisuju se i analiziraju metodama teorije vjerojatnosti i matematičke statistike.

2. OPĆENITO O OTJECANJU

U hidrologiji,otjecanje je dio hidrološkog ciklusa koji predstavlja oborine koje površinskim ili podzemnim putem otječuu vodotokei ono je suprotno pojavi infiltracije. Dio oborine pale na sliv koji sudjeluje u otjecanju naziva se efektivnom ili neto oborinom ili oborinom koja otječe. Otjecanje se događa kad je tlo saturirano, a višak vode od kiše, otopljene vode, ili drugih izvora teče iznad površine zemlje. To je komponenta hidrološkog ciklusa, auz otjecanje (površinsko i podzemno), komponente hidrološkog ciklusa su oborine i isparavanje.Hidrološki ciklus (Slika 1) je kruženjevode kroz atmosferu i na Zemljinoj površini. [1]



Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklusa

Dakle, ciklus se zbiva u atmosferi (*A*), hidrosferi (*H*) i litosferi (*L*), a ukupna količina vode u hidrološkom ciklusu prikazana je u tablici 1. Zapravo, hidrološki ciklus je slijed prelaženja vode iz atmosfere na Zemlju i njeno vraćanje u atmosferu i važan je za razumijevanje vodne bilance. U oblacima dolazi do kondenzacije pa se stvaraju oborine koje padaju natrag u oceane i ostale površinske oblike voda i na kopno. U oceanima, morima, jezerima, vodenim tokovima i na kopnu voda se potom akumulira, te opet isparava[1].

Tablica 1. Ukupna količina vode u hidrološkom ciklusu (Maidment, 1993.[2])[1]

Područje	Površina (10^6 km^2)	Količina vode (10^3 km^3)	Postotak ukupne vode	Postotak slatke vode
Atmosfera (A)				
-para kao ekvivalent vode	510,1	12390	0,001	0,04
Hidrosfera (H)				
-oceani i mora	361,3	1.338.000,00	96,54	
-kopno:				
Rijeke	148,8	2,12	0,0002	0,003
Slatkovodna jezera	1,2	91,00	0,0066	0,26
Slana jezera	0,8	85,40	0,0062	
Močvare	2,7	11,47	0,0008	0,031
Biološka voda	510,1	1,12	0,0001	0,003
Vlaga u tlu	82,0	16,50	0,0012	0,05
Polarni led	16,0	24.023,50	1,73	68,58
Ostali led i snijeg	0,3	340,60	0,025	0,97
Litosfera (L)				
-podzemna voda:				
Slatka	134,8	10.530,00	0,760	30,06
Slana	134,8	12.870,00	0,928	
Slatka voda na Zemlji	148,1	35.029,21	2,53	100,00
ukupno vode na Zemlji	510,1	1.385.984,61	100,00	

Na temelju tablice 1 moguće je približno odrediti odnos količine vode u hidrosferi (*H*), atmosferi (*A*) i litosferi (*L*) :

$$H : A : L = 107{,}500 : 1 : 1800 \qquad (1)$$

2.1. Iskazivanje otjecanja

Ciklus otjecanja opisuje dinamiku procesa preraspodjele vode na kopnu, od trenutka kada je kiša pala na tlo do trenutka kada je voda dospjela do konačnog recipijenta (oceana, mora, jezera) ili se vratila u atmosferu putem evapotranspiracije. Razlika između ukupne ili brutto oborine (P_b) pale na sliv i oborine koja otječe (efektivna ili neto oborina (P_e)), predstavlja sa stajališta otjecanja gubitke, odnosno deficit otjecanja jer ne doprinosi otjecanju. Otjecanje kao dio ukupno pale oborine prikazana je sljedećim izrazima [1]:

$$O = Pe \quad (2)$$

[mm] ili [l/ m^2] ili [m^3/ha] ili [m^3/km^2] (1 [mm] oborine = 1 [l/m^2]

gdje je:

O- otjecanje;
Pb-bruto oborina – ukupno palih oborina;
Pe- efektivna oborina – dio pale oborine koji direktno otječe.

te koeficijent otjecanja:

$$c = P_e / P_b \quad (3)$$

i na kraju otjecanje izražavamo:

$$O = P_e = c \cdot P_b \quad (4)$$

Kvantitativni opis ciklusa otjecanja i njegovih komponenti daje se jednadžbom vodne bilance koja se dobiva primjenom zakona o očuvanju mase. Pri tome se mora utvrditi granica prostora za koji se radi vodna bilanca, a sve komponente ciklusa otjecanja moraju biti promatrane istodimenzionalno (m^3, mm,m^3/s). Za određeni prostor u određenom vremenskom razdoblju razlika dotoka vode i otjecanja kroz granicu koja ograničava taj prostor mora biti jednaka promjeni količine vode u tom prostoru [1].

Ovaj izraz glasi [1]:

$$(dV(t)) / (dt) = Q_u(t) - Q_i(t) \quad (5)$$

gdje je:

V(t)-volumen akumulirane vode u promatranom sustavu;
Qu(t)- dotok vode u promatrani sustav;
Qi(t)- otjecanje vode iz promatranog sustava.

Dotok u sustav i otjecanje iz sustava se sastoje od više elemenata i ovise o sustavu koji se promatra (npr. akumulacija, slivno područje nekog vodotoka). Osnovni hidrološki procesi u vodnoj bilanci su oborine, isparavanje i otjecanje. Osnovna jednadžba vodne bilance glasi [1]:

$$U - I = \pm \Delta W \quad (6)$$

gdje je:

U- ulazna veličina;
I- izlazna veličina;
ΔW- promjena sadržaja vode (vlage) u slivu.

Oborine predstavljaju ulaznu veličinu a isparavanje i otjecanje izlaznu veličinu na nekom promatranom slivu, te pri tome vrijedi relacija [1]:

$$P - (O_1 + O_2 + E) = \pm \Delta W \quad (7)$$

Odnosno ako $\Delta W 0 \rightarrow$

$$P = O_1 + O_2 + E \quad (8)$$

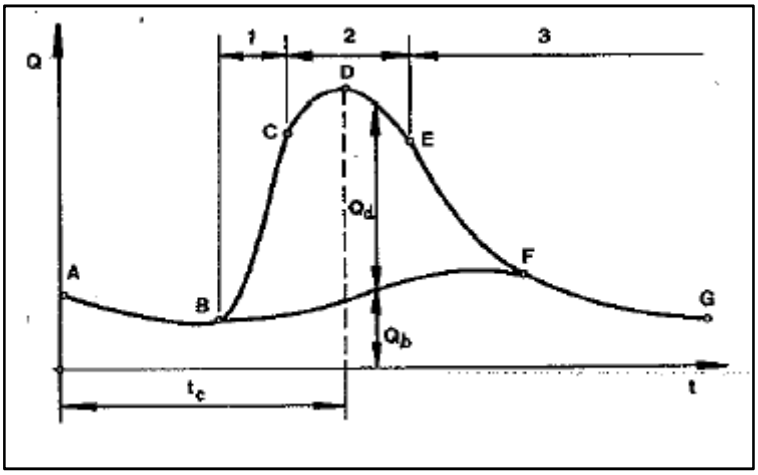
gdje je:

P- oborina pala na promatrano slivno područje;
O_1- otjecanje vode sa slivnog područja;
O_2- poniranje vode u podzemlje;
E- isparavanje sa slivne površine.

Svrha analize otjecanja je da se na temelju palih oborina na sliv odredi hidrogram otjecanja. Izrada hidrograma(Slika 2), odnosno grafički prikaz otjecanja, je kompleksan posao te je potrebno poznavati i odrediti parametre koji utječu na veličinu otjecanja. Otjecanje sa sliva u velikoj mjeri ovisi o fizičkim značajkama sliva, međutim na dinamiku otjecanja utječe i režim oborine te međudjelovanje ostalih značajki: geoloških, bioloških i antropogenih [1].

Inženjerski gledano, hidrogram otjecanja je posljedica pale kiše i krivulje infiltracije, odnosno sposobnosti zemljišta da upije određenu količinu vode od trenutka padanja kiše do prestanka prisutnosti vlage na slivu od te kiše. Parametri koji utječu na hidrogram na nekoj lokaciji su složeni i međusobno ovisni, tako da jedno slivno područje ne može proizvesti dva potpuno jednaka hidrograma za dvije slične kiše kao ulaz, niti dvije slivne površine iste veličine mogu generirati iste hidrograme za slične kiše kao ulaz [1].

Oblik hidrograma otjecanja, odnosno vremenska distribucija otjecanja i količina otjecanja su ponajviše pod utjecajem klimatskih i fizičkih karakteristika sliva. Opći oblik hidrograma otjecanja za slučaj jedne izolirane kiše, konstantnog intenziteta i ravnomjerno raspoređene po slivu, može se podijeliti na tri dijela [1].



Slika 2. Grafički prikaz otjecanja –hidrogram [1]

1. razdoblje porasta protoka u vremenu

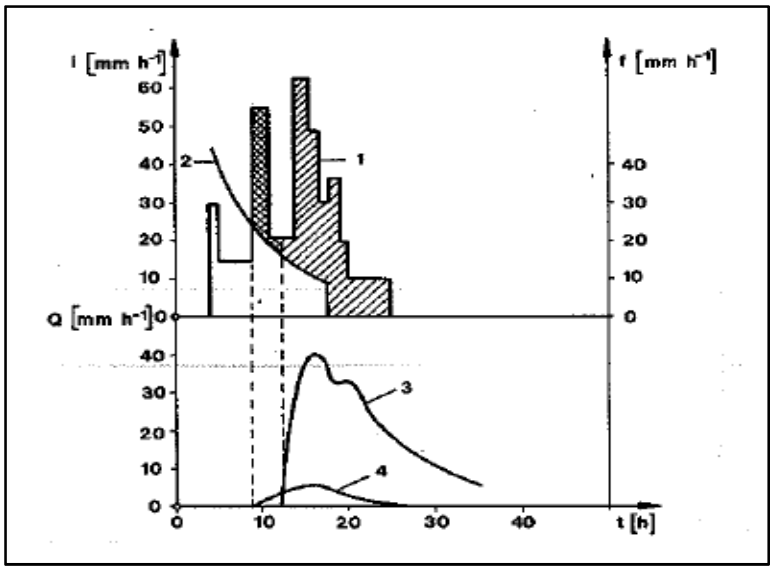
2. vršni dio u kojem protok doseže maksimum

3. razdoblje opadanja ili retardacije protoka

Formiranje otjecanja je izrazito složen i dinamičan proces koji se različito odvija, ne samo na različitim slivovima, već i na istom slivu ukoliko se na njemu prirodnim putem ili djelovanjem čovjeka mijenjaju uvjeti otjecanja. Ukoliko je intenzitet kiše manji od intenziteta upijanja i evapotranspiracije, sva će oborina ući u profil tla. Do pojave površinskog otjecanja dolazi kad je tlo saturirano vodom ili kada je intenzitet kiše veći od intenziteta upijanja. Preciznije, najprije na red dolazi popunjavanje površinskih depresija, tj. površinskog akumuliranja, a zatim se voda počinje površinom kretati niz nagib, u veoma tankom sloju koji se duž trase puta povećava. Time se povećavaju i brzine tečenja koje su po površini mnogo manje nego brzine tečenja po jarcima i vodotocima [1].

Raspodjela oborinena elemente hidrološkog ciklusa na kopnu za slučaj kada je intenzitet oborine veći od intenziteta infiltracije prikazuje da u prvih nekoliko sati količina

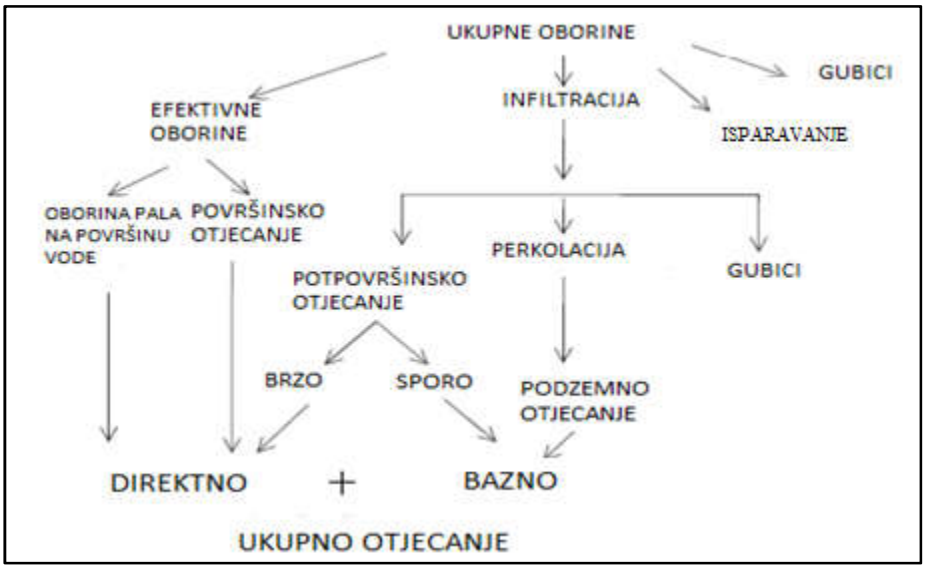
površinskog otjecanja ovisi i o mogućnosti površinskog akumuliranja vode. Nakon što se ta mogućnost iscrpi, površinsko otjecanje ovisi samo o intenzitetu infiltracije koji s duljinom trajanja kiše i povećanjem saturiranosti tla vodom slabi. Tako je na slici 3 prikazano površinsko otjecanje i zadržavanje s obzirom na intenzitet oborina i infiltracije [1].



Slika 3. Prikazpovršinskogotjecanja i površinskogzadržavanjasajačinomoborinai jačinominfiltracije[1]

Antropogeni utjecaj na slivovima uzrokuje promjene infiltracijskih uvjeta čime se značajno utječe na promjenu procesa otjecanja. Jedan dio vode koja infiltrira u tlo nastavlja teći gornjim horizontima tla dok ga ne preuzme korito vodotoka ili dok ne iziđe na površinu na nekom drugom mjestu, nižem od mjesta infiltracije. Ova komponenta otjecanja koja dospijeva u vodotok s određenim zakašnjenjem u odnosu na površinsko otjecanje naziva se potpovršinsko otjecanje i karakteristična je za sve slivove, a ovisi o strukturi tla. U uvjetima vlaženja zemljišta iznad tzv. poljskog kapaciteta, dio oborine se pod djelovanjem sile teče procjeđuje do vodonepropusnog sloja ili razine podzemne vode [1].

Dotok iz podzemne vode stiže do vodotoka najsporije od svih komponenti otjecanja, no njegov se doprinos vodotoku ne smije zanemariti. Dio infiltrirane vode ostaje zarobljen između površine tla i razine podzemne vode u tzv. zoni aeracije - te sa stajališta otjecanja predstavlja gubitke. Iz toga proizlazi podjela ukupnog otjecanja na površinsko, potpovršinsko i podzemno. Međutim, u hidrološkoj praksi uobičajeno je klasificirati otjecanje na direktno i bazno s obzirom na vrijeme koje je potrebno da se nakon početka oborine na promatranoj lokaciji dogodi porast protoka. Transformacija ukupne oborine koja padne na sliv u otjecanje i veza između pojedinih komponenti hidrološkog ciklusa shematski je prikazana na slici 4 [1].



Slika 4. Transformacija ukupne oborine koja padne na sliv u otjecanje i veza između pojedinih komponenti hidrološkog ciklusa [1]

Ukupno otjecanje vode kao proces, predstavlja gravitacijsko tečenje vode s određenog sliva u vodotoku. Direktno otjecanje je onaj dio ukupnog otjecanja koje dospije u vodotoke sliva brzo po prestanku kiše ili topljenja snijega, a jednako je sumi površinskog i brzog potpovršinskog otjecanja, te oborine pale na samu površinu vodotoka. Bazno otjecanje je onaj dio ukupnog otjecanja koje potiče od dotoka vode iz

podzemlja i zakašnjelog potpovršinskog otjecanja. Dok su oborine na kopnenim dijelovima zemlje po svojoj pojavi vrlo promjenjive u vremenu, prostoru i po svojoj količini, promjenjivost otjecanja je manja. To je posljedica ponajviše retencijskih kapaciteta površinskih slojeva zemlje, zbog kojih se dio vode od oborine zadržava i postupno drenira u vodotoke datog sliva [1].

3. PARAMETARSKE METODE

Hidrološka istraživanja u novije vrijeme postaju vrlo opsežna. Unutar hidrologije razvijaju se pojedina usmjerenja, a osnovna je podjela na parametarsku i stohastičku hidrologiju [3].

U ovom diplomskom radu napraviti će se pregled aktualnihparametarskih metoda u svijetu s obzirom na njihovuprimjenu i osobine u određivanju otjecanja. Nabrojat će se više metoda, obraditi ih i opisati te na kraju navesti nedostatke i prednosti pojedinih.

3.1. Pregled parametarskih metoda:

Iskustvene (empirijske) metode:

1. Racionalna metoda
2. Giandotti–Vissentinijevaformula
3. Müllerovaformula
4. Srebrenovičeva metoda
5. Gavrilovičeva metoda
6. Krepsova metoda
7. Bavarsko –Ržihov formula
8. SCS - Ven Te Chow metoda
9. Kresnikova metoda
10. Possentieva metoda
11. Dicken'sova formula
12. WECS/DHM metoda
13. SharmaiAdhikari metoda
14. Tahal et al. metoda
15. PCJ Method

16. Faningova metoda
17. Heydarabadova metoda
18. Dredge i Burgemetoda
19. Burgesmetoda
20. Inglismetoda
21. Burkli- Zieglerova metoda
22. Cramarovametoda
23. Talbotova metoda
24. Ryve'sova formula
25. Cookova metoda
26. Füllerova metoda
27. Izzardova metoda
28. TRRL metoda

3.1.1. Racionalna metoda

Racionalna metoda (racionalna formula) je osnovna metoda parametarske hidrologije i i njezina formula služi za izračunavanje maksimalnih protoka malih slivova, kao umnoška slivne površine, mjerodavnog kišnog intenziteta i racionalnog koeficijenta (koeficijenta otjecanja).Racionalna metoda je jedna od najjednostavnijih i najpoznatijih metoda hidrologijekoja se rutinski primjenjuje. Uslijed pretpostavke o homogenosti oborina, intenzitetu kiše koji je jednolik na cijelom slivu za cijelo vrijeme njenog trajanja, što u priroditeško može biti ispunjeno, i ravnotežnim stanjima u vrijeme vrhunca protoka, racionalni postupak ne smije se koristiti na površinama većim od oko 2,5 km^2, bez raspodjele ukupnog sliva na manje cjeline[3].

Maksimalan protok na izlaznom profilu sliva pojavljuje se u trenutku kada cijeli sliv sudjeluje u procesu otjecanja, tj. nakon vremena koncentracije otjecanja. Dakle, osnovna postavka racionalne metode jest da za vrijeme olujnih oborina jednolikaintenziteta i jednolike raspodjele na slivu dolazi do maksimalna protoka

vodnoga vala utrenutku kada cijela površina sliva sudjeluje u postanku hidrograma. Pod tim se vremenom podrazumijeva vrijeme koncentracije *Tc*, odnosno vrijeme potrebno da voda s najudaljenije točke sliva stigne do mjesta gdje se izračunava protok ili do izlaznoga profila. To vrijeme zavisi od karakteristika sliva (veličine sliva, topografije, geoloških svojstava, vegetacije i dr.).Za pojavu maksimalnog otjecanja mjerodavna je kiša jakog intenziteta koja traje upravoonoliko koliko je i vrijeme koncentracije otjecanja[3].

Formula se primjenjuje na slivovimavećim od 50 km^2, ali pri tom daje veći maksimalni protok nego što je onaj koji se može ostvariti u prirodnim uvjetima, za kišu određenog intenziteta i trajanja.Vrhunac otjecanje može napisati pomoću racionalne formule:[3]

$$Q_{max} = C \quad i \quad A \quad (9)$$

gdje je,

C- racionalni koeficijent (koeficijent otjecanja),

i-intenzitet oborine,

A - površina sliva.

Racionalni koeficijent *C,* je dakle koeficijent koji izražava koliko od ukupno pale oborine (u sekundi) faktično otječe (u sekundi). Definira se kao omjer efektivne i bruto oborine:[3]

$$C = Pe/P \quad (10)$$

gdje je,

P- bruto oborina koja pada na sliv; mjerodavan iznos bruto oborine za koju se računaQ_{max}ustanovljuje se na temelju kišomjernihpodataka o palim oborinama na čitavom slivnom području;

Pe-onaj dio bruto oborine pale na sliv koji direktno otječe, tj. formira otjecanje, a naziva se efektivnom oborinom (neto oborinom, oborinom, koja otječe).

Koeficijent otjecanja *C*je prema tome parametar koji u racionalnoj formuli zastupa svečimbenike otjecanja, osim površine sliva i onih čimbenika koji su obuhvaćeni pri određivanju mjerodavnog kišnog intenziteta[3].

Za racionalni koeficijent *C*mogu se uzeti prosječne vrijednosti na osnovi topografskihuvjeta i vegetacije različitih vrsta tla na slivu, (tablica 2).

Tablica 2. Vrijednosti racionalnog koeficijenta *C*na osnovi topografskihuvjeta i vegetacije različitih vrsta tla na slivu[3]

Povratno razdoblje (godine)							
Karakteristike pokrova	2	5	10	25	50	100	500
Izgrađena područja							
Asfalt	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Beton/krov	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zelene površine (parkovi, groblja itd.)							
0 – 2%	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
2 – 7%	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Više od 7%	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Trava pokriva od 50 do 70% površine							
0 – 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
2 – 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Više od 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Trava pokriva više od 75% površine							
0 – 2%	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,48

2 – 7%	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Više od 7%	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Neizgrađena područja							
0 – 2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
2 – 7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Više od 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Livade							
0 – 2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
2 – 7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Više od 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Šume							
0 – 2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
2 – 7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Više od 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Mjerodavan intenzitet oborine *i* je funkcija vremena koncentracije *Tc*i povratnogarazdoblja p:[3]

$$i = i\,(Tc, p) \qquad (11)$$

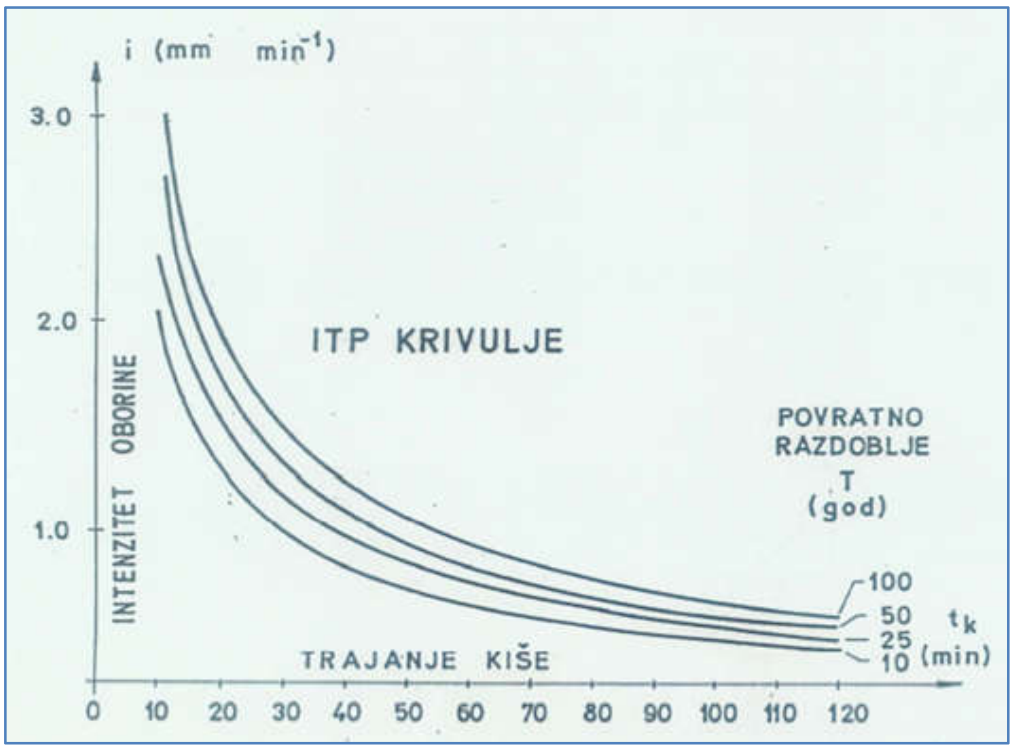
Racionalnom metodom proračunava se maksimalan protok Q_{max}od jakih kiša. S obzirom naosnovnu osobinu jakih kiša da su to jače (po minuti) što kraće traju, postavlja se pitanje koje trajanje kiše je mjerodavno za određivanje pripadnog (mjerodavnog) intenziteta [3].

Osnovna pretpostavka racionalne metode jest da za vrijeme olujnih oborina jednolika intenziteta i jednolike raspodjele na slivu dolazi do maksimalna protoka vodnoga vala u trenutku kada cijela površina sudjeluje u postanku hidrograma. Pod tim se vremenom podrazumijeva vrijeme koncentracije Tc, odnosno do maksimalnih protoka dolazi

nakon što voda s najudaljenije točke sliva stigne do mjesta gdje se izračunava protok ili do izlaznog profila. [3].

Mjerodavni intenzitet oborine *i* očitava se sa *ITP* krivulja, krivuljakoje prikazuju vjerojatnost pojavljivanja različitih kratkotrajnih intenziteta oborine za različita trajanja oborina na danoj lokaciji, (slika 5) na osnovu proračunatog vremena koncentracije *Tc*i mjerodavnog (odabranog) povratnog razdoblja P[3].

Mjerodavno povratno razdoblje podređuje se pragmatičnom analizom inženjerskog problema (zadatka) radi kojeg se proračunava Q_{max}. Npr. ako se Q_{max}proračunava za potrebe dimenzioniranja gradske kanalizacije najčešće se prema preporukama bira povratno razdoblje ne duže od 3 do 5 godina. Ako se radi o projektiranju nasipa ili sustava za obranu od poplave, obično se bira povratno razdoblje od 100 ili 1000 godina [3].



Slika 5. Primjer ITP krivulje

Vrijeme koncentracije *Tc*može se računati prema više izraza,(tablica3).

Tablica 3. Izrazi za izračunavanje vremena koncentracije *Tc*[3]

Z.P.Kirpich (1940)	$Tc = 0{,}00032\ L^{0,77}\ I_{max}^{-0,385}$(sati)
C.F.Izzard (1944)	$Tc = 530\ \ K\ \ L^{1/3}\ \ i^{-2/3}$ (min)
R.Morgali, R.K.Linsley (1965)	$Tc = 6{,}99\ \ (nL)^{0,6}\ ie^{\ 0,4}\ I^{\ 0,3}$(min)
W.S.Kerby (1959)	$Tc = 1{,}44\ \ (LrI^{-0,5})^{0\ 467}$(min)
Giandotti –Vissentini (1952)	$Tc = \frac{4{,}0\sqrt{A}+1{,}5\ L}{0{,}8\sqrt{H}}$(sati)
I.I.Herheulidze (1947)	$Tc = \frac{L}{(1{,}6 + 1{,}10\ log P) I\ max^{\ 1/4}}$(sec)
Srebrenović (1970)	$Tc = \frac{20\beta}{[Hs\ \ (1+1{,}5\ log P)]^{0{,}57}\ I^{0{,}43}} + 2{,}6\quad [\frac{A}{I}]^{1/3}$(sati)

Ukoliko se vrijeme koncentracije povezuje s brzinom tečenja u vodotoku, ono će se skraćivati s povećanjem brzine, a ta brzina će se povećavati s povećanjem maksimalnih protoka, odnosno produljenjem povratnih razdoblja. Za vrijeme koncentracije se približno može uzeti:[3]

$$Tc = L/v \quad (12)$$

gdje je,

L - duljina glavnoga vodotoka od razvodnice sliva do izlaznoga profila(m),

v - brzina vode u vodotoku(m/s).

3.1.2. Giandotti –Vissentinijeva formula

Giandotti–Vissentijevaformula [5] potječe iz 1952. godine i najčešće se koristi u proračunima otjecanja zabrdovita područja.Nakon izračunavanja vremena t_C koncentracije, usko povezano s parametrom obilježja područja, definira se visina kiše*h* u vremenu t_C [4].

Giandotti–Vissentijevaformula glasi: [5]

$$Q_{max}=\frac{\lambda \ A \ \mathrm{h}}{0{,}8 \ \ tc} \quad (13)$$

gdje je,

A- površina sliva (km^2);

h -prosječna visina bujične kiše čije je trajanje jednako ili duže od vremena koncentracije (m);

L- duljina sliva (km);

n- koeficijent razvijenosti sliva (za male slivove n= 166, a za velike n=160).

Vrijeme koncentracije računa se prema izrazu:

$$tc=\frac{4 \ \sqrt{A}+1{,}5 \ L}{0{,}8 \ \sqrt{H}} \quad (14)$$

Srednja visinska razlika *H* je:

$$H = Hs - Hu \quad (m) \qquad (15)$$

gdje je,

Hs- srednja nadmorska visina sliva(m. n. m.);

Hu- nadmorska visina izlaznog protjecajnog profila(m. n. m.).

3.1.3.Müller - Zellerovaformula

Müller - Zellerovaformula[6] izvedena je za područje Švicarske 1943. godine, a definira se:

$$Q_{max} = \alpha \ \varphi \ A^{2/3} \quad (16)$$

gdje je,

α - varijabla koja ovisi o području primjene Muller – Zellerove formule;

A- površina sliva (km^2)

φ - koeficijent koji zastupa sve čimbenike otjecanja, a dan je u zavisnosti od topografije obraštenosti sliva vegetacijom, (tablica 4).

Tablica 4. Vrijednosti otjecajnog koeficijenta φ,[6]

Osobine sliva	Veličine koeficijenta φ u odnosu na nagib sliva		
	mali nagib	osrednji nagib	veliki nagib
I. Područje iznad šumske vegetacije	0,40	0,60	0,80
II. Područje šuma	0,20	0,40	0,60
III. Ravnice, livade, oranice i šume	0,10	0,30	0,50
IV. Ravnice pod šumom	0,05	0,20	0,40

3.1.4. Srebrenovićeva metoda

Srebrenovićevaformula (metoda)[7] po svojemu obliku znatno složenija od svih ostalih ovdje navedenih i služi za izračunavanje maksimalnihprotoka sa malih slivova, i to za razna povratna razdoblja..Izvedena je na temelju racionalne formule, a pri određivanju koeficijenata u formuli korišteni su podaci sa slivnoga područja Save. Zbog dobro

određenih odnosa između karakterističnih parametara o kojima ovisi otjecanje velikih voda, preporučljiva je za praktičnu primjenu [3].

Maksimalni protoci različitih povratnih razdoblja definirani su izrazom[7]:

$$O_{max,P} = 0{,}48 \frac{\alpha_P}{(\beta\omega)^{3/4}} A^{0{,}96} \quad \Psi_P \quad S^{\frac{1}{3}} \quad (17)$$

gdje je,

$Q_{max,P}$- maksimalni protok za povratno razdoblje od P godina (m^3/s);

A- površina sliva (km^2);

α_P - koeficijent maksimalnog otjecanja koji se za prosječne godišnje oborine $1000 < P < 2000\ mm$ određuje prema formuli:

$$\alpha_P = 0{,}80\ [\ 1 + 0{,}075\ (\log P - \beta)] \quad (18)$$

P - povratno razdoblje (god);

β - koeficijent ovisan o karakteristikama terena (geološkoj i pedološkoj građi, propusnosti, pošumljenosti i sl.), vrijednosti mu se kreću od 1 – 3;

Ψ_P - parametar oborine (faktor oborine) , vrijednosti mu se određuju prema formuli:

$$\Psi_P = [\ H_S\ (1 + 1{,}5\ \log_P]^{\ 1,\ 43} \quad (19)$$

H_S - visina prosječnih godišnjih oborina (m);

S - pad sliva (m,km), određen izrazom:

$$S = \frac{2\ \ H}{L} \quad (20)$$

ΔH - srednja visinska razlika sliva:

$$\Delta H = H_0 - H \quad (21)$$

H_0 - srednja nadmorska visina sliva(m.n.m.);

H- nadmorska visina izlaznog protjecajnog profila(m.n.m.);

L- dulja stranica (km) fiktivnog pravokutnika čija je površina jednaka površini sliva iizračunava se prema izrazu:

$$L = \sqrt{\frac{A\ (2-K)}{K}} \quad (22)$$

K- koeficijent koncentriranosti sliva, izračunava se prema:

$$K = \frac{2\ A}{O\ \ U} (23)$$

gdje je,

O- opseg sliva(km);

U- udaljenost težišta sliva od izlaznog protjecajnog profila(km);

ω - parametar koji zavisi od odnosa između vremena površinskog sabiranja vode i vremena tečenja uzduž korita vodotoka, a određen je izrazom:

$$\omega = 1 + t_2/t_1 \quad (24)$$

t_1 - vrijeme površinskog sabiranja, proračunava prema izrazu:

$$t_1 = \frac{20\ \beta}{[\ H_s\ (1+1{,}5\ log P)]^{0{,}57}\ S^{0{,}43}} (25)$$

t_2- vrijeme tečenja duž vodotoka proračunava se prema izrazu:

$$t_2 = 2{,}6\ (A/S)^{1/3} \quad (26)$$

τ - vrijeme koncentracije ili podizanja vodnog vala:

$$\tau = t_1 + t_2 \quad (27)$$

Parametarsko definiranje hidrograma vodnih valova prema Srebrenoviću[7]:

1) za male slivove (slika 6) [7]:

a) kada je $t \leq t_c$:

$$Q = Q_{max} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{\frac{n-1}{n}} sin^2 \frac{\pi t}{2\tau} \qquad (28)$$

b) kada je $t > t_c$:

$$Q = Q_{max} \left(\frac{t}{\tau}\right)^{-\frac{1}{n}} (29)$$

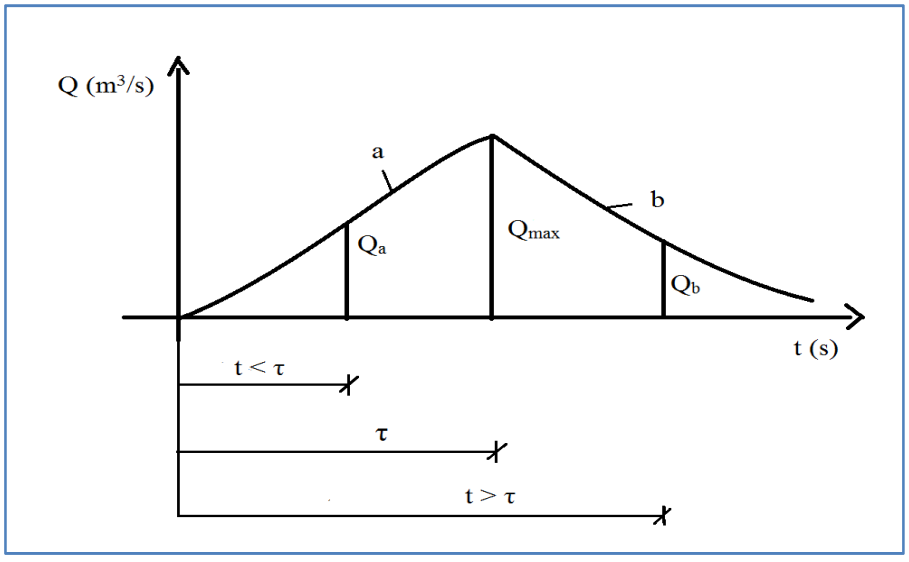
gdje je,

P - odabrano povratno razdoblje;

$$n = 1{,}1886 \; e^{\frac{0{,}146}{\log P}} \qquad (30)$$

gdje je,

$\tau = t_1 + t_2$ ... vrijeme koncentracije – definirano ranije u formulama (25) i (26).

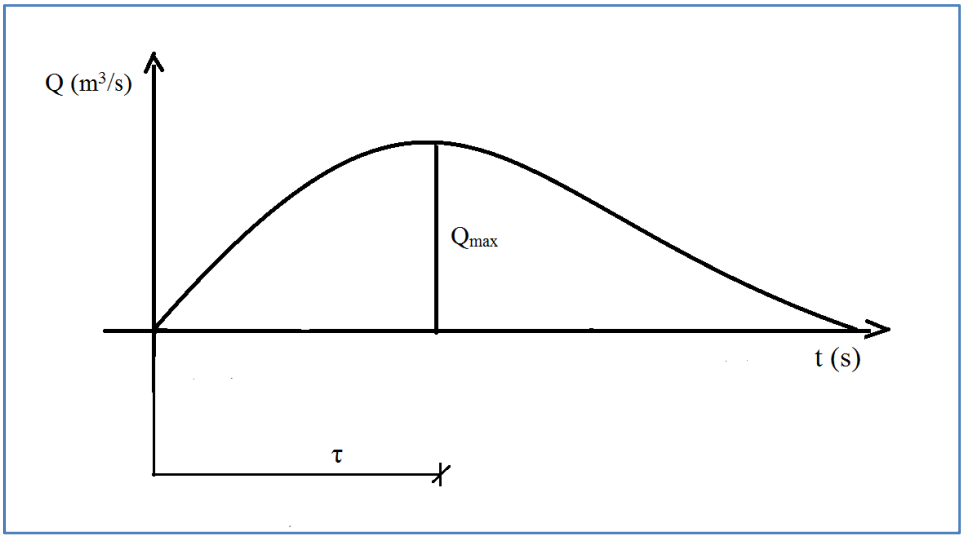


Slika 6. Definiranje hidrograma vodnih valova prema Srebrenovićuza male slivove

2) za <u>velike</u> slivove(slika 7) [7]:

- nema izrazitog retardacijskog učinka

$$Q = Q_{max} \left(\frac{t}{\tau}\right)^6 \quad e^{6\left(1-\frac{t}{\tau}\right)} \quad (31)$$



Slika 7. Definiranje hidrograma vodnih valova prema Srebrenoviću za velike slivove

3.1.5. Gavrilovićeva metoda

Gavrilovićeva metoda (formula) [8] tretira otjecanje s bujičnog sliva i u funkciji je povratnog razdoblja, što omogućuje prognoziranje bujičnih voda. Gavrilovićeva formula za proračun maksimalnog otjecanja, Q_{max} [m^3s^{-1}], povratnog razdoblja, PR = 5 do 1 500 [godina], s bujičnih slivova glasi [9]:

$$Q_{max}=R_f K_t K_v H_d (15.0 - 22.0 H_d - 0.3 \sqrt{L}) \sqrt{2 \quad g \quad \Delta \; sl \quad A} \quad (32)$$

gdje je,

Rf - faktor oblika sliva;

Kt - srednja vrijednost koeficijenata vodonepropusnosti tla, vrijednost koeficijenata Kt kreće se od 0.4 za veoma vodopropusna tla do 1.0 za vodonepropusno tlo, adefinirana je izrazom:

$$K_t = 0.4\ A_p + 0.7\ A_{pp} + A_{np} \quad (33)$$

gdje je,

A_p - površina bujičnog sliva u postocima, koja je građena od izrazito vodopropusnih materijala (pijeska, šljunka i dr.);

A_{pp} - površina bujičnog sliva u postocima, koja je građena od materijala srednje vodopropusnosti (škriljaca, lapora, fliša i dr.);

A_{np} - površina bujičnog sliva u postocima, koja je građena od slabo vodopropusnih materijala (gline, glineno – asfaltnih škriljaca, krupnih eruptiva i dr.);

K_v - koeficijent vegetacijskog pokrivača, ako je vrijednost koeficijenata K_v bliža jedinici, utoliko je sliv više nezaštićen vegetacijskim pokrivačem. To znači da će, u smislu obrane od erozije, biti potrebne i obuhvatnijeprotuerozijske mjere i radovi, a primjenjuje se izrazom:

$$K_v = 0.6\ A_š + 0.8\ A_t + A_g \quad (34)$$

gdje je,

Aš - učešće površina pod šumom;
At - površina pod travom;
Ag - površina tla bez stalnog vegetacijskog pokrivača;

Hd - označava visinu maksimalne dnevne bujične kiše (kiše visine preko 30 (mm);
PR - određeno povratno razdoblje (god);
h_{sl} - srednja visina sliva (m n.m.);
A– površina sliva (km^2).

3.1.6. Krepsova metoda

Krepsova metoda (formula) [10]za 100-godišnji maksimalan protok glasi:

$$Q_{100} = 90 \quad Qsr^{2/3} \quad (m^3/s) \quad (35)$$

gdje je,

Q_{100} – 100 – godišnji maksimalni protok;

Qsr - srednji se protok;

Krepsova metoda (formula) vrijedi samo za slivove na kojima je srednji protok Q_s>5,0 m^3/s. Za slivove na kojima nema mjerenja protoka, srednji se protok proračunava temeljem mjerenih oborina pomoću slijedećeg parametarskog izraza[3]:

$$Q_{sr} = \frac{P_e \ A}{T} \quad (36)$$

gdje je,

Pe- je prosječna godišnja efektivna oborina(m);

A- površina sliva(m^2);

T= 31,54 · 10^6 (s) – broj sekundi u godini.

Prosječna godišnja oborina proračuna se iz prosječene bruto oborine[3]:

$$Pe = c \cdot P \quad (37)$$

gdje je,

P– prosječna bruto oborina;

c - koeficijent otjecanjakoji se proračuna pomoću izraza:

$$c = 0,88 - \frac{2,6 \cdot t + 24}{P} \quad (38)$$

gdje je,

t (°C) - prosječna godišnja temperatura zraka na slivu.

3.1.7. Bavarsko – Ržihov formula

Formula "četiri koeficijenta" ili "Bavarsko-Ržihov" (iz 1894.god.) [3] dana je izrazom :

$$Q_{max} = A \cdot q\ \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \qquad (39)$$

gdje je,

A- (km^2) - površina sliva;

q ($m^3/s/\ km^2$) - maksimalni specifični dotok (tablici 5);

φ_1- koeficijent pošumljenosti (tablica 6);

φ_2- koeficijent vodopropustnosti terena (tablica 6);

ψ_1- koeficijent utjecaja duljine sliva po glavnom koritu (tablica 7);

ψ_2- koeficijent oblika terena (tablica 7).

Tablica 5. Maksimalni specifični dotoci q u ovisnosti o duljini sliva L, [3]

L (km)	< 3	3 – 5	5 – 8	8 – 12	12 – 15	15- 18
q ($m^3/s/\ km^2$)	25	16	14	10	7	5

Tablica 6. Koeficijent pošumljenosti φ_1i koeficijent vodopropusnostiφ_2, [3]

Pošumljenost sliva	φ_1	Vodopropusnost tla	φ_2
nema šume	1,0	nepropusno	1,0
¼ sliva pošumljeno	0,9	slabo propusno	0,9
½ sliva pošumljeno	0,8	srednje propusno	0,8
¾ sliva pošumljeno	0,7	vrlo propusno	0,7
cijeli sliv je pošumljen	0,6		

Tablica 7. Koeficijent utjecaja duljine sliva po koritu ψ_1i koeficijent oblika terena ψ_2 [3]

Duljina sliva L (km)	ψ_1	Oblik terena	ψ_2
0,10 – 2,0	1,0	vrlo brdovit	1,0
2,0 - 3,0	0,90	brdovit	0,95
3,0 – 4,0	0,83	mala brda i brežuljci	0,90
4,0 – 5,0	0,75	brežuljkast i ravnat	0,85
5,0 – 6,0	0,68	ravan teren	0,80
6,0 – 7,0	0,63		
7,0 – 8,0	0,58		
8,0 – 9,0	0,53		
9,0 – 10,0	0,50		
10,0 – 12,0	0,43		
12,0 – 15,0	0,35		

3.1.8. SCS - Ven Te Chow metoda

Za izračun mjerodavnih maksimalnih otjecanja vrlo je pogodna metoda Ven Te Chowa (TheChowMethod) koja je objavljena 1960. Godine [11], a također je opisana 1964. U knjizi: *"Handbookof Applied Hydrology"* [11]. Osnovna je karakteristika metode da se ona može koristiti za proračun maksimalnih protoka s malih slivova u vrlo velikom rasponu nagiba slivova – od 0,1 do 30 posto. Pritom je efektivna oborina definirana na osnovi CN krivuljaprema SCS metodi. CN je broj krivulja otjecanja koje najviše ovise o tipu tla, stupnju izgrađenosti i prethodnim uvjetima vlažnosti i određuju se iz tablica koje se mogu naći u hidrološkim priručnicima. CN je u stvari koeficijent otjecanja koji obuhvaća učinke infiltracije, akumulacije i trajanja oborina, dok je SCS metoda, metoda se oslanja na definiranje broja krivulje (CN), prilagođena za uporabu u urbanim područjima i primjenu na računalim. Može se koristiti za određivanje sintetskih hidrograma [3].

Prema metodi Ven Te Chowa maksimalan je protok: [11]

$$Q_{max} = 16,67\ A \cdot i_e \cdot Y \cdot Z \quad (m^3/s) \quad (40)$$

gdje je,

16,67 - konstanta za preračunavanje;

i_e - mjerodavni intenzitet efektivne kiše (mm/min)

A- veličina sliva do protjecajnoga profila(km^2);

Y - klimatski faktor (za područjagdje nema regionalne analize oborina obično se može usvojiti: $Y = 1,0$);

Z -je faktor redukcijevrha hidrograma, za koji se može definirati odnos:

$$Z = f\frac{t_k}{t_p} \quad (41)$$

gdje je,

t_k- trajanje oborine (min);

t_p - vrijeme zakašnjenja (min);

Intenzitet efektivne kiše i_e definiran je izrazom:

$$i_e = \frac{P_e}{t_k} \qquad \text{(mm/min)} \qquad (42)$$

gdje je,

Pe- efektivna kiša, koja je otekla s razmatranoga sliva (mm);

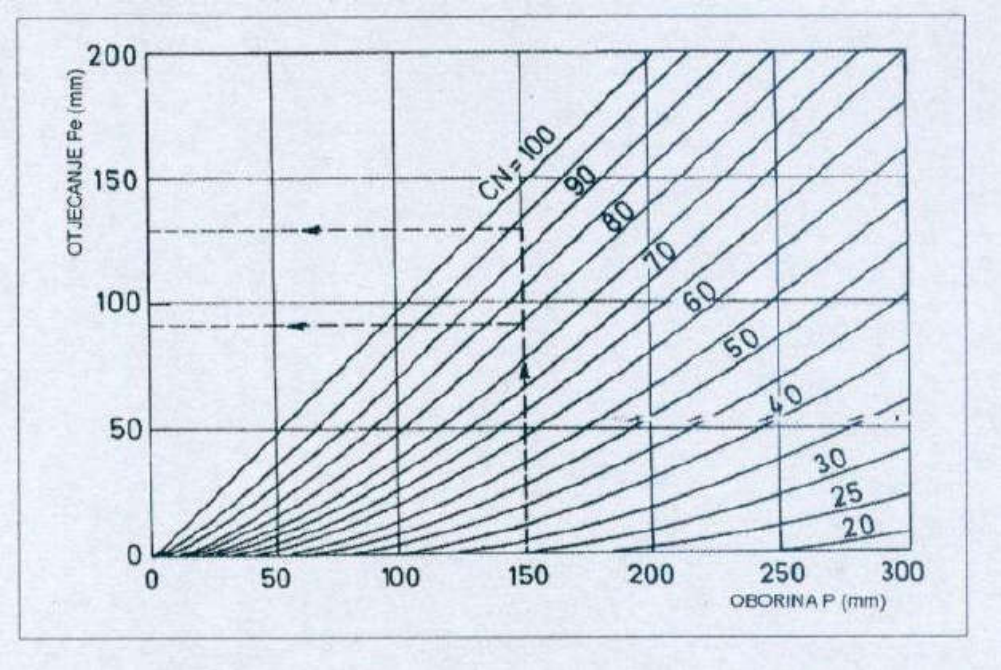
t_k- trajanje kiše(min).

Za određivanje efektivne kiše Pevrlo je prikladan pristup korištenje SCS metodeodnosno CN krivulja. Prema tome kod primjene izraza (40) maksimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja Q_{max}ovise o konstantnim veličinama: površini sliva Ai klimatskom faktoru Y – ukoliko se, u nedostatku regionalne analize maksimalnih oborina, prema preporukama iz literature prihvati Y= 1,0 – te o promjenljivim veličinama: maksimalnim efektivnim kišnim intenzitetima različitih povratnih razdoblja i_e i faktoru redukcije vršnoga protoka hidrograma$Z$ [3].

Četiri osnovna parametra koji ulaze u formulu V. T. Chowa: veličina sliva A, intenzitet efektivne oborine i_e, klimatski faktor Yi faktor redukcije vrha hidrograma$Z$, a o kojima izravno ovisi veličina mjerodavnoga maksimalnog protoka $Q_{max,}$ razmatrani su ovdje redoslijedom kako dolaze u formuli [3].

Mjerodavni kišni intenzitet efektivne oborine i_e, koji je definiran izrazom (42), ovisi onekoliko bitnih čimbenika i radi toga njegovo određivanje predstavlja posebno složen zadatak [3].

Efektivna oborina Pe(mm), koja podijeljena s trajanjem kiše t_k(min), daje intenzitet i_e(mm/min), određuje se na temelju CN krivulja (slika 8). Za male slivove, s razmjerno kratkim vremenima koncentracije od pola do jednoga sata, veličina efektivne oborine može se, kod po svojim brojevima razmjerno bliskih CN krivulja, značajno razlikovati [3].



Slika 8. Odnos bruto P i efektivne oborine Peprema SCS metodi

Efektivna oborina *Pe*definirana je u ovisnosti od bruto oborine *P* i broja krivulje CN prema SCS metodi sljedecim izrazom: [3]

$$Pe = \frac{[P - 0{,}2\,(\frac{25\,400}{CN} - 254)]^2}{P + 0{,}8\,(\frac{25\,400}{CN} - 254)} \quad (43)$$

Primjena V. T. Chowove metode vrlo je osjetljiva na izbor CN krivulje, pa je određivanju njezina broja potrebno posvetiti naročitu pozornost. U odnosu na druge veličine koje ulaze u izračun, CN krivulja ima najveći utjecaj na veličinu maksimalnoga protoka Q_{max}. U tablici 8 su dani hidrološki tipovi terena, a u tablici 9 izbor broja kiše – odnosno broja krivulje CN [3].

Tablica 8. Hidrološki tipovi terenaprema U. S. SoilConservation Service (1972.) [11]

Tip A	Mala mogućnost otjecanja i visoki stupanj infiltracije čak i kod potpuno vlažnog tla. Pijesak, ilovasti pijesak, pjeskovita ilovača.
Tip B	Umjeren stupanj infiltracije kad je tlo potpuno vlažno. Praškasta ilovača i ilovača.
Tip C	Niski stupanj infiltracije, kad je tlo potpuno vlažno. Pjeskovito glinasta ilovača.
Tip D	Velika mogućnost otjecanja i vrlo niski stupanj infiltracije kad je tlo potpuno vlažno. Glinasta ilovača, pjeskovita glina, praškasta glina i glina.

Brojevi CN krivulja za različite pokrove terena, za tipove tla A, B, C i D dani su u tablici 9 za prosječne uvjete vlažnosti zemljišta (uvjeti vlažnosti zemljišta II).

Tablica 9. Brojevi CN krivulja za različite pokrove terena prema U. S. SoilConservation Service (1972.) [11]

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

Prema SCS metodi prethodna se vlažnost zemljišta određuje na temelju tri uvjeta:ispod prosječnih I, prosječnih II i natprosječnih III. Kod natprosječnih uvjeta III se podrazumijeva da je zemljište praktički saturirano vodom. Za dimenzioniranje evakuacijskih organa velikih brana, zbog veće sigurnosti, preporuča se koristiti uvjet vlažnosti III. U tablici 10 su dani brojevi CN krivulja za uvjete vlažnosti I, II i III, koji su preuzeti od V. T. Chowa(1964.) [3].

Tablica 10. Brojevi CN krivulja za uvjete vlažnosti prema U. S. SoilConservation Service (1972.) [11]

CN za uvjet	CN za uvjete		CN za uvjet	CN za uvjete	
II	I	III	II	I	III
(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
100	100	100	58	38	76
			56	36	75
			54	34	73
98	94	99	52	32	71
96	89	99	50	31	70
94	85	98			
92	81	97	48	29	68
90	78	96	46	27	66
			44	25	64
88	75	95	42	24	62
86	7	94	40	22	60
84	68	93			
82	66	92	38	21	58
80	63	91	36	19	56
			34	18	54
78	60	90	32	16	52
76	58	89	30	15	50
74	55	88			
72	53	86	25	12	43

70	51	85	20	9	37
			15	6	30
68	48	84	10	4	22
66	46	82	5	2	13
64	44	81			
62	42	79	0	0	0
60	40	78			

U Ven Te Chowoj formuli za maksimalni protok hidrogramaQ_{max}, definiranim izrazom (39), znacajnu ulogu ima faktor redukcije vrha hidrograma$Z$, čijaveličina, prema izrazu (40), ovisi o omjeru trajanja oborine t_ki vremena zakašnjenja t_p. Za vrijeme zakašnjenja sliva t_p može se usvojiti iskustveni izraz: [3]

$$t_p = c\left(\frac{L \cdot U}{\sqrt{S}}\right)^{0,38} (44)$$

gdje je,

c - koeficijent čija vrijednost ovisi o veličini i karakteristikama sliva (brdski, ravničarski);

L – duljina sliva (km);

U- je udaljenost od protjecajnoga profila do težišta sliva(km);

S – ujednačeni pad vodotoka (%):

$$S = \frac{H}{L} (45)$$

gdje je,

H- razlika između kote točke na razvodnici od koje počinje glavni vodotok pa do koteprotjecajnoga profila;

L – duljina glavnog toka.

Otjecanje velikih voda preporučljivo je provjeriti na osnovi veličine otjecajnoga koeficijenta. Efektivne oborine Pe, vrlo su važan pokazatelj koeficijenta otjecanja c uz

CN krivulje pretpostavljene na temelju hidroloških uvjeta otjecanja, a dobiju se prema SCS metodi na osnovi bruto oborine P. Koeficijent otjecanja c je definiran odnosom efektivne i bruto oborine: [3]

$$C = \frac{P_e}{P} \quad (46)$$

a njegova se veličina kod otjecanja voda može provjeriti na osnovi sljedećega izraza: [3]

$$c = 1 - \sum_{i=1}^{3} c'_i \quad (47)$$

gdje je veličinac'_iprikaza za različite tipove područja u tablici 11.

Tablica 11. Veličinec'za različite tipove područja(prema [12])

Topografija	c’
Ravno zemljište (nagib 0,02 – 0,06 %)	0,30
Brežuljkasto (od 0,3 do 0,4 %)	0,20
Brdoviti teren (od 0,3 do 5,0 %)	0,10
Zemljište	
Zbijena, vrlo nepropusna	0,10
Srednje (kombinacija gline i ilovače)	0,20
Pjeskovita ilovača	0,40
Biljni pokrov	
Slab ili golet	0,10
Obradivo zemljište	0,15
Šuma	0,20

Za urbanizirana područja preporučaju se vrijednosti otjecajnih koeficijenata velikih voda *c* dane u tablici 12.[3]

Tablica 12. Otjecajni koeficijenti *c* za gradska područja (prema [12])

Opis područja	Otjecajni koeficijent
Ravno, s izoliranim kućama, s oko 30 % nepropusne površine	0,40
Blago nagnuto, s izoliranim kućama, s oko 50 % nepropusne površine	0,65
Blago nagnuto, gusto izgrađene zgrade, s oko 70 % nepropusne površine	0,80

Veličine c' iz tablice 11 i veličine otjecajnih koeficijenata c iz tablice12 dobra su orijentacija za definiranje tih veličina i provjeru realnosti izračunatih velikih voda.

3.1.9. Kresnikova metoda

Jedna od najstarijih empirijskih metoda(1886. god., [13]) za izračunavanje otjecanja. Ima povijesno značenje, a primjenjuje različite formule, posebno za male slivove, posebno za velike slivove. Koristi koeficijent (parametar) u odnosu na padove slivova koji poprima različite vrijednosti za iste [3].

Za površinu A, manju od 1 km^2 , primjenjuje se sljedeća formula: [3]

$$Q_{max} = 20 \cdot \alpha \cdot A \qquad (48)$$

Te za za površinu A, veću od 1 km^2i veću od 300 km^2, primjenjuje se sljedeća formula: [3]

$$Q_{max} = \alpha \cdot A \cdot \frac{32}{0{,}5 + \sqrt{A}} \qquad (49)$$

gdje je,

A - površina sliva (km^2);

α - parametar koji zastupa sve čimbenike otjecanja (tablica 12).

Tablica 13. Prikaz vrijednosti parametra α u odnosu na pad sliva [3]

Pad sliva	Koeficijent α
mali padovi sliva, krški slivovi	0,4
mali padovi sliva	0,5
srednji padovi sliva	0,6
brežuljkasti slivovi	0,7
strmi slivovi	0,8
vrlo strmi slivovi	0,9
oštra konfiguracija	1,0
alpski slivovi sa snijegom i ledom	1,1 – 1,5

3.1.10. Possentijevaformula

Possentijeva formula iz 1900. [3] godine također se koristi za izračunavanje maksimalnog protoka na temelju promatranju kiše u višegodišnjih razdoblja. Služi za izračunavanje i kod ravničarskih i brdskih slivova, a formula glasi:

$$Q_{max} = 700 \cdot \frac{h_{max}}{L} \cdot (A_b + 0{,}33\ A_r) \qquad (m^3/s) \qquad (50)$$

gdje je,

h_{max} - maksimalna dnevna oborina u višegodišnjem razdoblju (m);

L - duljina sliva(km);

A_b - površina brdskog dijela sliva(km^2);

A_r - površina ravničarskog dijela sliva(km^2).

3.1.11. Dicken'sova formula

Dickensova formula kao jedna od empirijskih formula služi za izračun protoka na površini sliva. Ova metoda se puno koristi u Nepalu: [14]

$$Q = C \cdot A^{0,75} \quad (51)$$

gdje je,

A - površina sliva (km^2);

C – koeficijent kojega izračunavamo pomoću slijedećeg izraza:

$$C = 2,342 \log \cdot(0,6 \cdot T) \log \left(\frac{1185}{P}\right) + 4 \quad (52)$$

$$P = \frac{100\ (A_S+6)}{A} (53)$$

gdje je,

A *i* As – površina sliva i snijegom prekrivenog područja (km^2);

T – vremenski period (godine).

3.1.12. WECS/DHM metoda

WECS/DHM (1990.) je metoda koja koristi regionalne metode predviđanja za izračun otjecanja. Razvijen je zajednički WECS i DHM (Odjel za hidrologiju i meteorologiju) u suradnji s SMO (Svjetska meteorološka organizacija) WERDP (vodni i energetski razvoj potencijalnih projekata) i WISP (Institucionalni program za podršku) 1990. (Shrestha i sur., 2010). Sljedeće jednadžbe su korištene za predviđanje poplava: [14]

$$Q_2 = 1,8767\ (A_{3000})^{0,8783} (54)$$

$$Q_{100} = 14,639\ (A_{3000})^{0,7342} (55)$$

$$Q_{50} = exp3\ [lnQ_2 + 2,054\ (\frac{ln(\frac{Q_{100}}{Q_2})}{2,326})] (56)$$

gdje su,

Q_2, Q_{50}, Q_{100}– 2, 50 i 100 povratno vremensko razdoblje poplava;

A_{3000} – slivno područje ispod 3000 metara nadmorske visine.

3.1.13. Sharma i Adhikari metoda

Sharma i Adhikari metoda (2004. [14]) koristi se u Nepalu uz pomoćhidrometrijskih podatakaod 1995. godine i stoga se može smatrati kao ažurirana verzija WECS i DHM metode. Sljedeće formule su korištene u ovoj metodi:

$$Q_2 = 2{,}29\ (A_{3000})^{0{,}36} \quad (57)$$

$$Q_{100} = 20{,}7\ (A_{3000})^{0{,}72} \quad (58)$$

$$Q_{50} = exp2\ [lnQ_2 + 2{,}054\ (\frac{ln(\frac{Q_{100}}{Q_2})}{2{,}326})] \quad (59)$$

gdje su,

Q_2, Q_{50}, Q_{100}– 2, 50 i 100 povratno vremensko razdoblje poplava;

A_{3000} – slivno područje ispod 3000 metara nadmorske visine.

3.1.14. "Tahal et al." metoda

„Tahal et al.“ metoda (2002. [14]) je metoda koja koristi indeks poplave za predviđanje poplava, a razvijena je za područje Nepala. Sljedeća formula korištenajekod ovog postupka:

$$Q_T = Q_m\ (3838\ ln\ (T) + 6882) \quad (60)$$

gdje su,

Q_T – protok poplava u periodu povratnog vremena;

Q_m – srednja vrijednost protoka kod poplava.

3.1.15. PCJ metoda

PCJ metoda (Jha 1996., [15]) izračunava veličinuvršnog protokakod poplava koji se temelji na satnom intenzitetu kiše. Ovaj postupak upotrebljava sljedeće formule:[14]

$$Q_P = 16{,}67 \cdot a_p \cdot o_p \cdot \Phi \cdot F \cdot k_f + Q_S \qquad (61)$$

gdje su,

Q_P– maksimalno „ispuštanje“ kiše (m_3/s);

a_p – maksimalni intezitet oborina (mm/min);

o_p– koeficijent infiltracije, izvedena kao funkcija vjerojatnosti prekoračenja;

Φ – koeficijent smanjenja „ispuštanja“ maksimalne oborine;

F – slivno područje sliva;

k_f- koeficijent za nejednaku raspodjelu oborina;

Q_S- ispuštanje topljenjem snijega;

3.1.16. Fainingova metoda

Fainingova metoda[16] je metoda koja se koristila kod procjene brzine protoka u pokrajini Bakhtegan u Iranu.Fanningova metoda (formula) glasi:

$$Q = 200 \cdot A^{\frac{5}{6}} \qquad (62)$$

gdje je,

Q – maksimalniprotok kod poplava;

A – površina sliva (km^2)

3.1.17. Heydarabadova metoda

Heydarabadova metoda (formula) glasi: [17]

$$Q = 1750 \cdot A^{0,92-\frac{1}{14}logA} \qquad (63)$$

gdje je,

Q – maksimalni protokkod poplava;

A – površina sliva (km^2)

3.1.18. Dredge i Burge metoda

Ova formula dobivena i izvedena za područje Indije na temeljustatistike rijeka: [18]

$$Q = 19,5 \cdot \frac{A}{L^{\frac{2}{3}}} \qquad (64)$$

gdje je,

Q - maksimalni protok kod poplava;

A – površina sliva (km^2)

L–duljina toka rijeke (km)

3.1.19. Burges metoda

Metoda je slična Dredge i Burge metodi i njezini parametri gotovo pa isti: [18]

$$Q = 19,5 \cdot \frac{A}{L^{\frac{2}{3}}} \quad (65)$$

gdje je,

Q - maksimalni protok kod poplava;

A – površina sliva (km^2)

L–duljina sliva (km)

3.1.20. Inglismetoda

Ova formula [19] dobila se na temelju proučavanja rijeke Maharashtra. Glavninedostatakkod ove metode je ograničena primjenjivost,a glasi: [20]

$$Q = \frac{124 \cdot A}{\sqrt{A+10,4}} \quad (66)$$

gdje je,

Q - maksimalni protok kod poplava;

A – površina sliva (km^2)

3.1.21. Burkli – Zieglerova metoda

Najstarija empirijska formula koja se koristi za određivanje vršnog otjecanje, a primjenjuje se i u SAD-u. Burkli-Zieglerovaformula je modifikacija racionalne formule kojom se izričito uključuje područje padina u postupku procjene. Burkli-Zieglerovaformula dodatno naglašava efekt koji nagib sliva ima na vršni protok. Predloženi oblik formule (Watts, 1983., [21]), za procjenu vršnih protoka je: [22]

$$Q = C \cdot I \cdot A \cdot (S/A) \cdot 0.25 \quad (67)$$

gdje je,

Q - otjecanje;

C – koeficijent otjecanja;

I – intenzitet oborina;

S – nagib sliva;

A – površina sliva (km^2);

3.1.22. Cramerova metoda

Cramerova metoda[23] je također jedna od metoda korištena za definiranje vršnog protoka kod poplava u Iraku, a glasi:

$$Q = \frac{0{,}884 \cdot A}{1+0{,}0985 \cdot A^{\frac{1}{2}}} \quad (68)$$

gdje je,

Q - maksimalni protok kod poplava;

A – površina sliva (km^2).

3.1.23. Talbotova metoda

Talbotova metoda(Richard McCuen, 1989. [24]) daje primjer jednostavnog empirijskogrješavanja vršnog protoka razvijenog posebno za dimenzioniranje vodnih putova i malih protokaodvodnim kanalima. Talbot jednadžba temelji se na Burkli-Zieglerovoj formuli [21]. Što se tiče hidrologije, ova jednadžba ne daje nikakve prednosti nad drugim metodama, a glasi: [24]

$$W = A \cdot 0.75 \cdot C \cdot R \quad (69)$$

gdje je,

W - plovna površina poprečnog presjeka;

A – površina sliva (km^2);

C – koeficijent otjecanja;

R – faktor smanjenja intenziteta oborina.

3.3.24. Ryve'sova formula

Formula dobivena na temelju praktičnog iskustva i pogodna za uvjete u južnoj Indiji, a glasi: [19]

$$Q = C \cdot A^{2/3} \tag{70}$$

gdje je,

C – maksimalna brzina površinskog otjecanja;

A – površina sliva (km^2).

3.1.25. Cookova metoda

Ova metoda je izvorno razvijena od strane inženjera u SAD-u, te zahtjeva procjenu nekih od glavnih faktora koji utječu na otjecanje - biljni pokrov, vrsta tla i odvodnje, nagib terena. Za svaki od tri faktoraprikazane su vrijednosti faktora otjecanja u tablici 15, a mogu se koristiti aritmetičke sredine. Ukupna aritmetička sredina od svakog od tri stupca naziva se vodna karakteristika (CC).[25]

Tablica 14. Vrijednost koeficijenata otjecanja C s obzirom na topografiju i vegetaciju, [25]

Topografija i vegetacija	Tekstura tla		
	Pjeskovita ilovača	Glina, mulj, ilovača	Čvrsta glina
Šumovit kraj			
Ravan nagib 0-5%	0,10	0,30	0,40
Valovit nagib 5-10%	0,25	0,35	0,50
Brežuljkast nagib10-30%	0,30	0,50	0,60
Pašnjak			
Ravan nagib	0,10	0,30	0,40
Valovit nagib	0,16	0,36	0,55
Brežuljkast nagib	0,22	0,42	0,60
Obrađeno tlo			

Ravan nagib	0,30	0,50	0,60
Valovit nagib	0,10	0,60	0,70
Brežuljkast nagib	0,52	0,72	0,82
Urbano područje	30% nepropusnog	50% nepropusnog	70% nepropusnog
Ravan nagib	0,40	0,55	0,65
Valovit nagib	0,50	0,65	0,80

Tablica 15. Karakteristike slivnog područja[25]

Pokrov		**Tip tla i propusnost**		**Nagib**	
Visoke trave	10	Dobro drenirana tla	10	Vrlo ravno do blago	5
Srednje trave	15	Umjereno propusno tlo	20	Umjeren	10
Obrađena zemljišta	20	Propusno tlo	25	Valovit	15
Erodirana zemljišta	25	Plitka tla, ometana odvodnja	30	Brdovit	20
		Kamene površine	40	Planinski	25
		Nepropusno tlo	50		

Odabere se najprikladniji faktor iz svake od ove tri stupca i dodaje ih se zajedno te tako dobiva vrijednost vodne karakteristike (CC).

Tablica 16. Procjena otjecanja (m^3/s)po Cook-ovoj metodi[25]

CC A (ha)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	0,2	0,3	0,4	0,50.9	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1
10	0,3	0,5	0,7	1.4	1.1	1.4	1.7	2.0	2.4	2.8	3.2	3.7
15	0,5	0,8	1,1	1.8	1.7	2.0	2.4	2.9	3.4	4.0	4.6	5.2
20	0,6	1,0	1,4	2.3	2.2	2.7	3.2	3.8	4.4	5.1	5.8	6.5
30	0,8	1,3	1,8	2.8	2.9	3.6	4.4	5.3	6.3	7.3	8.4	9.5
40	1,1	1,5	2,1	3.5	3.5	4.5	5.5	6.6	7.8	9.1	10.5	12.3
50	1,2	1,8	2,5	4.9	4.6	5.8	7.1	8.5	10.0	11.6	13.3	15.1
75	1,6	2,4	3,6	6.4	6.3	8.0	9.9	11.9	14.0	16.4	18.9	21.7
100	1,8	3,2	4,7	8.8	8.3	10.4	12.7	15.4	18.2	21.2	24.5	28.0

150	2,1	4,1	6,3	11.7	11.6	14.7	18.2	21.8	25.6	29.9	35.0	40.6
200	2,8	5,5	8,4	13.2	15.3	19.1	23.3	28.0	33.1	38.5	45.0	52.5
250	3,5	6,5	9,7	14.7	17.2	21.7	27.0	32.9	39.6	46.9	55.0	63.7
300	4,2	7,0	10,5	17.2	19.6	25.2	31.5	38.5	46.2	54.6	63.7	73.5
350	4,9	8,4	12,6	19.4	23.2	30.2	37.8	46.3	53.8	62.5	71.5	81.0
400	5,6	10,0	14,4	21.5	25.6	33.6	42.2	51.0	60.0	69.3	79.5	90.0
450	6,3	10,5	15,5	23.5	28.5	36.5	45.5	55.5	65.5	76.0	86.5	97.5
500	7,0	11,0	17,0		31.0	40.5	51.0	62.0	73.0	84.0	95.0	106.5

3.1.26. Füllerova metoda

Formula se često koristi od strane inženjera autocesta za brzu procjenu ispuštanja oborinske vode na slivnim razvodnicama, a glasi: [26]

$$Q_T = Q_1\ (1+0{,}8\ log\ T)\ (1+\frac{2{,}66}{F^{0{,}30}}) \quad (71)$$

gdje je,

T-god razdoblje povrata;

Q_1 - prosječnodnevno pražnjenje od 1 godišnjih poplava;

F –površina područja odvodnje.

3.1.27. Izzardova metoda

Izzardova metoda [27] služi za određivanje protoka na malim površinama te za proučavanje karakteristika sliva na malom području. U takvim okolnostima, metoda može biti više razvijena za procjenu otjecanje iz toka i ograničenih protoka kanala. Izzard je napravio opsežne pokuse s tokovima različitih površina, na relativno malim zemljopisnim područjima. On je utvrdio da se kopneni hidrogram protoka može dobiti kao kompozit od dvije bezdimenzijske krivulje prikazane na slici 9, a maksimalni protok je utvrđen kada je q/qe = 0,97 i t/t_e = 1,0 i daje jednadžbu: [28]

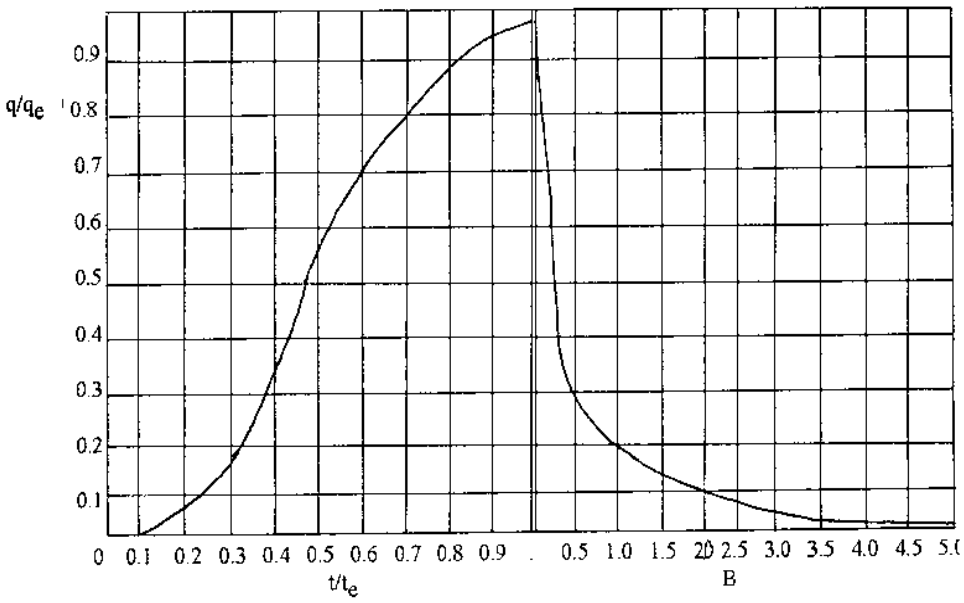
$$q_e = i \cdot L / 3.6 \cdot 10^6 \quad (72)$$

gdje je,

q_e - maksimalni protok;

i - intenzitet oborina (mm/h);

L - duljina površine protoka (m) na dio površine protoka širine 1 metar.



Slika 9. Hidrogram prema Izzardovoj metodi [27]

Rezultati Izzardova izračuna vršnih protoka mogu se koristiti za izračunavanje hidrograma protoka i volumena, a posebno je koristan za male otjecajne zemljišne izračune. [24]

Izzard je utvrdio vrijeme ravnoteže na sljedeći način: [27]

$$t_e = 2 \cdot V_e / 60 \cdot q_e \quad (73)$$

gdje je,

t_e – vrijeme zadržavanja;

V_e- volumen vode u ravnoteži koji dobivamo:

$$V_e = k \cdot L^{1.33} \cdot i^{0.33} / 288 \qquad (74)$$

gdje je,

i - intenzitet oborina (mm/h);

L – duljina površine protoka (m) na dio površine protoka širine 1 metar.

k – koeficijent dobiven eksperimentalno na sljedeći način:

$$k = 2.76 \cdot 10^{-5} \cdot i + c / s^{0.33} \qquad (75)$$

gdje je,

s – nagib površine tla,

c – koeficijent retardacije prikazan u tablici 17.

Tablica 17. Površinski koeficijent retardacije [27]

vrlo glatka površina asfaltiranog pločnika	0,0070
pješčani pločnik	0,0075
beton	0,0120
pokošen travnjak	0,0460
gusti travnjak	0,0600

Postupak za izračunavanje volumena otjecanje: [27]

Vrijednosti t_e i q_e može se izračunati iz jednadžbe 71 i 72 te se prikaže u obliku hidrograma kao na slici 9., a recesijska krivulja može se iscrtati pomoću faktora B koji dobivamo: [28]

$$B = 60 \cdot q_e \cdot t_a / V_O \qquad (76)$$

gdje je,

V_O - volumen zadržavanja;

t_a - bilo koje vrijeme nakon završetka kiše

Kada je hidrogram je nacrtan, volumen otjecanje jednak je površini ispod krivulje.

3.1.28. TRRL metoda (˘“UK Transport andRoadResearchLaboratory“)

Radom u istočnoj Africi, britanskiinženjeri, doveli su do modela dizajniranog za prevladavanje dvaju ozbiljnih problema povezanih s podacima u mnogim zemljama u razvoju: kako se korelacijakiša - otjecanje može razvijati samo sa pomoću velike količine podataka i da su ekstremi u podacima rijetki. Za američku SCS metodu utvrđeno je da ne daje prihvatljive rezultate za uvjete istočne Afrike.

Koncept "utjecajno područje" (CA – „contributingarea“), koristi se kako bi se izbjeglo korištenje jedinstvenog koeficijenta u cijelom slivu. Rana kiša ispunjava početno zadržavanje (*Y*) i otjecanje u ovoj fazi je nula. Vrijeme kašnjenja (*K*) definira usmjeravanje otjecanja na veće slivove. Ukupno volumen se definira: [28], [29], [30]

$$Q = (P\text{-}Y) \cdot C_A \cdot A \cdot 10^3 \ (\mathrm{m^3\ s^{-1}}) \qquad (77)$$

gdje je,

P- olujne oborine (mm) tijekom vremenskog perioda koji je jednak osnovnom vremenu hidrograma;

Y - početna retencija (mm);

C_A- koeficijent doprinosa površine;

A - slivno područje (km²);

Prosječni tok (Q_M) dan je izrazom: [28]

$$Q_M = 0.93 \cdot Q / 3600 \cdot T_B \qquad (78)$$

gdje je,

T_B - bazno vrijeme hidrograma(h).

Početno zadržavanje (Y): [28]

- vrijednost od 5 mm za Y je utvrđeno da je prikladno za sušne i polu-suše uvjete.
- vrijednost 0 mm za Y je utvrđeno da je prikladno za vlažne zone područja.

Utjecajno područje (CA):[28]

- tip tla, nagib, korištenje zemljišta i vlažnost - najutjecajniji čimbenici u određivanju sliva.
- vrijednost dizajna je u obliku:

$$C_A = C_S \cdot C_W \cdot C_L \qquad (79)$$

gdje je,

C_S- koeficijent za travnata područjasliva;

C_W–koeficijent slivne vlažnosti;

C_L- koeficijent korištenja zemljišta.

Vrijeme kašnjenja (K): [28]

- utvrđeno je da vrijeme kašnjenja ima odnos samo s vegetacijskim pokrovom.

Bazno vrijeme hidrograma (T_B): [28]

- $T_B$se može naći iz jednadžbe:

$$T_B = Tp + 2{,}3\ K + T_A \qquad (80)$$

$$T_A = 0.028 \cdot L / Q_M^{0.25} S^{0.5} \qquad (81)$$

gdje je,

L- glavna dužina toka (km);

Q_M - prosječni protok tijekom osnovnog vremena (m^3/s);

S– prosječninagib;

K- vrijeme kašnjenja;

Tp-trajanje kiše.

Vrijednost Q_M se može procijeniti, putem pokušaja i pogrešaka. Iteracijom jednadžbe (80) tako da je T_A u početku nula. U nastavku se nalaze tablice potrebne za procjenu različitih čimbenika otjecanja [28].

Tablica 18. Standardnidoprinos površinskih koeficijenata, C_S [28]

Nagib sliva	Tip tla		
	Dobro drenirano	Lagano usporen	Otežana odvodnja
Vrlo ravan< 1,0 %		0,15	0,30
Umjeren nagib 1-4 %	0,09	0,38	0,40
Valovit teren 4-10 %	0,10	0,45	0,50
Brežuljkast teren 10-20 %	0,11	0,50	
Planinski teren > 20%	0,12		

Tablica 19. Prikaz koeficijenta vlažnosti sliva C_W[28]

Zona oborina	Neprestano strujanje	Koeficijent vlažnosti sliva
		Prolazno strujanje
Mokra zona	1,0	1,0
Polusuha zona	1,0	1,0
Suha zona	0,75	0,50

Tablica 20. Prikaz koeficijenata korištenja zemljištaC_L i vrijeme kašnjenja *K*[28]

Tip sliva		Vrijeme kašnjenja K (sati)	
Uglavnom gola tla	1,50	Suho tlo	0,1
Travnati pokrov	1,00	Polusuho tlo	0,3
Gusta vegetacija	0,50	Neplodna tla	0,5
Pješćano tlo	0,50	Plodna tla	1,5
Močvarno tlo	0,33	Obrađena zemljišta	3,0
		Močvara na dnu doline	20,0

Tablica 21. Prikaz trajanja oborina *Tp* za istočni dio Afrike [28]

Zona	Indeks „n“	Trajanje oborina Tp
Zona unutrašnjosti	0,96	0,75
Priobalna zona	0,76	4,00
KenyaAberdare – uluguru zona	0,85	2,00

Proceduralni koraci za izračun:

1. izmjera slivnog područja, nagiba terena;
2. uspostaviti tip sliva i iz tablice 19 dobiti vrijeme kašnjenja *K*;
3. uspostaviti tip tla, procjena standardnog koeficijentadoprinosa, $C_{S,}$ iz tablice 17;

4. uspostaviti zonu oborina i faktorvlažnosti sliva, C_W, iz tablice 18;
5. koristećitablicu19 procijeniti faktor korištenja zemljišta, C_L;
6. izračunati koeficijent doprinosa za područje: $C_A = C_S \bullet C_W \bullet C_L$
7. odrediti početno zadržavanje Y (0 ili 5 mm);
8. korištenjem tablice20 ili lokalnih podataka naći trajanje oborina, T_P;
9. izračunati bazno vrijeme dijagrama T_B sati (P mm).
10. volumen bujice izračunati izrazom:

$$Q = CA \bullet (P - Y) \bullet A \bullet 103 \text{ (m}^3\text{)}.$$

11. izračunati prosječni tok izrazom:

$$Q_M = 0.93\ P / 3600 \bullet T_B$$

12. ponovno izračunati bazno vrijeme pomoću izraza:

$$T_B = Tp + 2{,}3\ K + T_A,$$

gdje je:

$$T_A = 0{,}028\ L / Q_M^{0.25} \bullet S^{0.5}$$

13. ponoviti korake od 6 do 9, sve dok $Q_M$nije u razlici od 5% od prethodne procjene;
14. veličinamaksimalnog toka, $Q_P$dobije se izrazom:

$$Q_P = F \bullet Q_M$$

gdje je,

maksimalni faktor od poplava, F je 2,8 kada je$K$<0,5 sat i 2,3 kada K> 1,0 sata.

4. USPOREDBA POJEDINIH METODA

U ovom poglavlju ukratko će se analizirati i grupirati metode na osnovu broja ulaznih parametara, njihovoj složenosti i lokalnoj primjeni. Grupiranjem po ovim uvjetima može se dobiti najbolje rješenje i najbolja metoda otjecanja za pojedine lokacije. Svaka metoda ima svoje prednosti i nedostatke, od jednostavnosti zbog malog broja parametara, pa sve do složenosti i težeg načina dobivanja nekog parametra.

Racionalna metoda kao osnovna, najpoznatija i najjednostavnija metoda kod otjecanja rutinski se primjenjuje, nije složena jer nema puno ulaznih parametara, a racionalni koeficijent C i intenzitet oborine i mogu se dobiti u svakoj primjeni iste metode. Giandotti – Vissentijeva formula ima prednost u odnosu na ostale zbog primjene u brdskim dijelovima slivova. Müllerova formula razvijena je posebno za područje Švicarske, odnosno ima lokalnu primjenu i nema puno parametara.Srebrenovićeva formula po svojemu je obliku znatno složenija od svih ostalih ovdje navedenih i služi za izračunavanje maksimalnih protoka sa malih slivova te sadrži puno ulaznih parametara koji se teže mogu dobiti. Gavrilovićeva metoda tretira otjecanje s bujičnog sliva i također je nešto složenija jer treba prethodno izračunati puno ulaznih parametara.Krepsova metoda je jednostavna metoda i lako se izračunava maksimalni protok za 100-godišnji ciklus, uz uvjet da se zna srednja vrijednost protoka na slivu. Formula "četiri koeficijenta" ili "Bavarsko-Ržihov" sadrži više koeficijenata u formuli ali se oni lako odrede pomoću vrijednosti koje su navedene u tablicama te zbog toga nije prezahtjevna metoda. Za određivanje maksimalnih otjecanja vrlo je pogodna metoda Ven Te Chowa-; osnovna je karakteristika metode da se ona koristiti za proračun maksimalnih protoka s malih slivova u vrlo velikom rasponu nagiba slivova. Četiri osnovna parametra koji ulaze u formulu V. T. Chowa: veličina sliva A, intenzitet efektivne oborine i_e, klimatski faktor Yi faktor redukcije vrha hidrograma$Z$, zahtijevaju složen proces dobivanja rješenja odnosno parametara te je zbog toga ova metoda složenija. Kresnikova metoda jedna je od najstarijih empirijskih metoda, a primjenjuje različite formule, posebno za male slivove te se kao prednost navodi mali broj parametara koji se lako dobivaju iz tablice. Possentijeva formula ima prednost u ostalom na druge jer se može koristiti, i za izračune i kod ravničarskih i kod brdskih

slivova. Dickensova formula je empirijska formula koja se koristi za lokalnu primjenu, odnosno izvedena je i primjenjiva samo za područje Nepala. WECS/DHM je metoda koja koristijednadžbe za predviđanje poplava za 2, 50 i 100 povratno razdoblje i nema previše složenosti u istima. Kao ažurirana verzija WECS/DHM metode može se smatrati Sharma i Adhikari metoda, međutim njezina primjena je samo lokalna (koristi se samo za područje Nepala). Za isto područje se koristi i „Tahal et al.“ metoda. PCJ metoda sadrži puno ulaznih parametara te zbog toga ima nedostataka i rijetko se primjenjuje. Fanningova metoda i Heydarabadoba metoda jedne su od jednostavnijih metoda i imaju minimalan broj parametara. Dredge i Burge metoda je razvijena u Indiji, a slična metoda je iBurge metoda, te su njezini parametri gotovo isti. Inglis metoda je dobivena na temelju proučavanja rijeke Maharashtra, a najveći nedostatak je jako ograničena upotreba. Burkli-Zieglerova formula je modifikacija racionalne formule kojom se izričito uključuje područje padina u postupku procjene. Prednost joj je što dodatno naglašava efekt koji nagib sliva ima na vršni protok. Cramarova metoda jednostavna je metoda koja nema zahtjevne parametre, a korištena je na području Iraka. Talbotova metoda ne daje nikakve prednosti nad drugim metodama, a teže se dobivaju ulazni parametri. Ryve’sovametoda je pogodna, a koristi se za područje južne Indije.Nedostatak joj je dugoročno opažanje i što je potrebno puno iskustva da bi se koristila. Cookova metoda je također jedna od složenijih metoda koja zahtijeva puno posla oko rješavanja i dobivanja ulaznih parametara.Füllerova metoda se koristi kod otjecanja s površina autocesta i nema drugih primjena. Jednostavna je i to je njezina prednost u odnosu na ostale. Izzardova metoda je opsežna metoda, složenija i treba puno vremena da se dobije rezultat, ali je i pouzdanija te sadrži više parametara koje je prethodno potrebno izračunati. I na kraju, također jedna opsežna i kompliciranа metoda, TRRL metoda, koja je razvijena za istočnu Afriku koristi puno parametara da bi se došlo do krajnjeg rezultata. Svaka metoda dakle ima jedinstvenu primjenu.

5. ZAKLJUČAK

U hidrologiji ima puno empirijskih metoda i načina izračuna otjecanja. U radu su opisane sve pronađene i postojeće metode, svaka od njih izvedena je s posebnim razlogom. Svaka ima prednosti i nedostatke, neke imaju veću primjenu neke samo lokalnu. Puno ovisi i broj i složenost samih parametara unutar metoda i formula i s razlogom zaključuje se da je ipak najprimjenjivija Racionalna formula. Ona je i nakon 150 godina ostala najkorištenija formula za određivanje maksimalnih protoka različitih povratnih razdoblja. Ali, ni ona nije dostupna za sva slivna područja pa sve njezine nedostatke nadopunjuju ostale metode ili se koriste u rijetkim slučajevima i lokalitetima sa posebnim uvjetima. Dakle, zaključuje se da svaka metoda ima svoju upotrebu ali za sada je najprimjenjivijaRacionalna metoda jer ima najbolje osobineza primjenu, a u bliskoj ili daljnjoj budućnosti dakako da će biti novih, možda i boljih parametarskih metoda za određivanje otjecaja.

6. LITERATURA

[1] Žugaj R. *Hidrologija*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni fakultet; 2000.

[2] Maidment, D. R. i dr. - *HandbookofHydrology*, McGraw-Hill, New York,1993.

[3]ŽugajR. *Velike vode malih slivova*. Zagreb; 2000. „Dostupno na:“ http://rgn.hr/~rzugaj/velike_vode.pdf „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[4] Salvetti L. P., Zaina G., *Relazioneidrogeologicaedidraulica*. Brescia 2004. „Dostupno na:“ http://www.incudine.gov.it/PGT/Incudine/pgt/rim/B.4.pdf „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[5] IsoliI., Sassi A., *Relazionegeologica,* 2009. „Dostupno na:“ http://digidownload.libero.it/vco0/allegati/Relazione_Baveno-parte3.pdf „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[6] Burlando P., *Hydrology I*, ETH Zurich, 2015. „Dostupno na:“ https://www1.ethz.ch/ifu/hydrologie/education/bachelor_courses/hydrologyI/HYI_HS15_Transp_09_FEM.pdf „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[7] Srebrenović, D. *Primijenjena hidrologija*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.

[8] Gavrilović, S., *Bujični tokovi i erozija*, 1976, Beograd, Srbija

[9] Globevnik L. , Holjevic D., Petkovsek G., Rubinic J., *ApplicabilityoftheGavrilovicmethodinerosioncalculationusingspatialdatamanipulationtechniques*, Ljubljana, Slovenija / Rijeka, Hrvatska 2003. „Dostupno na:“ http://hydrologie.org/redbooks/a279/iahs_279_0224.pdf „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[10] KREPS H.,*EineneueHochwasserformclfürdasDonaugebiet*, DeirtsclteWasserruirfschuf 1943.

[11] Chow, V.T. 1964. Handbookofappliedhydrology. McGraw-Hill. New York.

[12] Jovanović, S. (1975) Parametarska hidrologija, Seminar o obradi hidroloških podataka, J. D. H., Izola.

[13] Brilly M., Šraj M. *Osnove Hidrologije*, Univerzitetniučbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvoin geodezijo, 2005.

[14] Sharma, K. P, andAdhikari, N.R., 2004. HydrologicalEstimationsin Nepal. DHM, GON, Nepal.

[15] Jha, P. C., 1996, Maximumstormdesignflood for roadstructuresof Nepal, a Ph.D. Dissertation, Moscow

[16] Fanning J. T., *Treatise on WaterSupplyEngineering*, New York, 1877.

[17] Rathnam V. *Urban RunoffComputationandStormSewerDesign- A CaseStudyof Hyderabad*. M. ScThesis, Department ofEngineeringHydrology, National Universityof Ireland Galway, Ireland, 2000.

[18] R. A. Wiggins, E. A. Robinson : *J. Geophys*; 1965.

[19] K. Subramanya, EngineeringHydrology, 1994.

[20] *WaterResources Development*. AlternateHydroenergy centre Indian institute oftechnology, Roorkee 2008. „Dostupno na:“ http://ahec.org.in/wfw/web%20ua%20water%20for%20welfare/education/Teacher's%20Manual/Teachers_manual_diploma_water_resources_development.pdf,, Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[21] Watts, S.B., *ForestryHandbook for British Columbia*, Universityof British Columbia, Vancouver, BC, 1983.

[22] Tolland L., J. Cathcart G. , Denis Russell S.O., *Estimatingthe Q100 in British Columbia: A Practical Problem inForestHydrology*. „Dostupno na:“ http://culvertbc.ca/publications/Q.htm„Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[23] Matthes, S.A., Cramer, S.D., Covino, J., Bullard, S.J., *HolcombPrecipitationrunofffromlead*., Phoenix, AZ, United States, 2002.

[24] McCuen R. H., *HydrologicAnalysisandDesign*, 1998.

[25] G. O. Schwab, R. K. Frevert, T. W. Edminster, K. K. Barnes, “*SoilWaterConservationEngineering*,” New York, 1981.

[26]Fuller,W.E., *Floodflows,* American Societyof Civil EngineersTransactions, 1914.

[27] C. F. Izzard, *Hydraulicsofrunofffromdevelopedsurfaces*., Washington DC, 1946.

[28] S. Miller,*Handbook for agrohydrology*., 1994. „Dostupno na:“ http://www.nzdl.org/gsdlmod?e=d-00000-00---off-0hdl--00-0----0-10-0---0---0direct-10---4-------0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4----0-0-11-10-0utfZz-8-00&a=d&cl=CL1.8&d=HASH3b4d99e5f9716ab628b9b2.5.fc „Datum pristupa:“ 10.07.2016.

[29] ŽugajR., *Hidrologija za agroekologe*, Zagreb, 2009.

[30] WilliamsD.W., CameronR.J., EvansG.P., *JournalofHydrology*, 1980.

7. POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz hidrološkog ciklusa, str. 2

Slika 2. Grafički prikaz otjecanja – hidrogram, str. 7

Slika 3.Prikazpovršinskogotjecanja i površinskogzadržavanjasajačinomoborinai jačinominfiltracije, str. 8

Slika 4. Transformacija ukupne oborine koja padne na sliv u otjecanje i veza između pojedinih komponenti hidrološkog ciklusa, str. 9

Slika 5. Primjer ITP krivulje, str. 16

Slika 6. Definiranje hidrograma vodnih valova prema Srebrenovićuza male slivove, str. 22

Slika 7. Definiranje hidrograma vodnih valova prema Srebrenoviću za velike slivove, str. 23

Slika 8. Odnos bruto *P* i efektivne oborine *Pe*prema SCS metodi, str. 29

Slika 9. Hidrogram prema Izzardovoj metodi , str. 47

8. POPIS TABLICA

Tablica 1. Ukupna količina vode u hidrološkom ciklusu (D. R. Maidment, 1993.), str. 3

Tablica 2. Vrijednosti racionalnog koeficijenta *C*, str. 14, 15

Tablica 3. Izrazi za izračunavanje vremena koncentracije *Tc*, str. 17

Tablica 4. Vrijednosti otjecajnog koeficijenta ϕ, str. 19

Tablica 5. Maksimalni specifični dotoci q u ovisnosti o duljini sliva L, str. 26

Tablica 6. Koeficijent pošumljenosti φ_1i koeficijent vodopropusnostiφ_2, str. 26

Tablica 7. Koeficijent utjecaja duljine sliva ψ_1i koeficijent oblika terena ψ_2, str. 27

Tablica 8. Hidrološki tipovi terena, str. 30

Tablica 9. Brojevi CN krivulja za različite pokrove terena, str. 31

Tablica 10. Brojevi CN krivulja za uvjete vlažnosti, str. 32, 33

Tablica 11. Veličine *c'*za različite tipove područja, str. 34

Tablica 12. Otjecajni koeficijenti *c* za gradska područja, str. 35

Tablica 13. Prikaz vrijednosti parametra α u odnosu na pad sliva, str. 36

Tablica 14. Vrijednost koeficijenata C s obzirom na topografiju i vegetaciju, str. 44

Tablica 15. Karakteristike slivnog područja, str. 45

Tablica 16. Procjena otjecanja po Cook-ovoj metodi, str. 45

Tablica 17. Površinski koeficijent retardacije, str. 48

Tablica 18. Standardnidoprinos površinskih koeficijenata, C_S , str. 51

Tablica 19. Prikaz koeficijenta vlažnosti sliva C_W, str. 52

Tablica 20. Prikaz koeficijenata korištenja zemljištaC_L i vrijeme kašnjenja *K*, str. 52

Tablica 21. Prikaz trajanja oborina *Tp* za istočni dio Afrike, str. 52