Metoda izokrona, racionalna metoda

Dujić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:049408

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split







SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Ante Dujić

Split, rujan 2014.

SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Ante Dujić

Split, rujan 2014.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET

Ante Dujić

Metoda izokrona. Racionalna metoda

Završni rad

Mentor: prof. dr. sc. Vesna Denić-Jukić

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ante Dujić

BROJ INDEKSA: 3906

KATEDRA: **Katedra za hidrologiju**

PREDMET: Hidrologija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Metoda izokrona. Racionalna metoda

Opis zadatka: Opisati metodu izokrona i racionalnu metodu, te na konkretnom primjeru pokazati njihovu primjenu.

U Splitu, 19. rujna 2014.

Voditelj Završnog rada:

prof. dr. sc. Vesna Denić-Jukić

Metoda izokrona. Racionalna metoda

Sažetak:

U ovom radu opisane su dvije metode za određivanje velikih voda, i to racionalna metoda i metoda izokrona. Rad je koncipiran u dva dijela.

U prvom teoretskom dijelu je opisan problem velikih voda općenito, te svaka od metoda pojedinačno. Opisan je postupak određivanja hidrograma površinskog otjecanja jednom i drugom metodom.

U drugom dijelu rada priložena su četiri primjera zadataka primjene metoda na konkretne slučajeve. U ovim primjerima dan je prikaz proračuna maksimalnog otjecanja s pojedinih površina, tj. određeni su hidrogrami otjecanja za neke slivove. Proračun je proveden u aplikaciji „Microsoft Excel 2010“.

Ključne riječi:

metoda izokrona, racionalna, velike vode, hidrogram, hidrologija, protok

Time-area method. Rational method

Abstract:

This study elaborates two methods for determining high waters. Methods are Rational method and Time-area method. The study is divided into two parts.

The first teoretical part defines problem of high waters generally and defines each of methods separatly. There is the procedure to determine hydrograph of surface runoff for each method.

The second part of the study provides four examples of applying the methods to specific cases. These examples demonstrate calculation of maximum runoff from certain surfaces and determine runoff hydrograph for some basin. Calculation was conducted using application „Microsoft Excel 2010“.

Keywords:

Method Time-area, Rational, high waters, hydrograph, hydrology, discharges

S a d r ž a j

Uvod **3**

1. Općenito o velikim vodama **1**

2. Metoda izokrona **5**

3. Racionalna metoda **11**

4. Primjeri **17**

Zaključak **26**

UVOD

Prema UNESCO-vu i WMO-vu riječniku hidroloških pojmova velika voda se može definirati na tri načina:

1. Kao povišenje – obično naglo – vode u vodotoku do najviše vrijednosti, od koje razina vode počinje polagano opadati.
2. Kao veliki tok vode mjeren visinom vodostaja ili veličinom protoka
3. Kao rastuća plima.

Pod pojmom velika voda podrazumijeva se stanje vodnog režima, kada se vodostaj, odnosno protjecaj rijeke poveća i kada, skoro po pravilu, uslijed toga dolazi do izlijevanja vode iz osnovnog korita i plavljenja priobalnog terena.

Porast nivoa, odnosno protijecanja relativno je brz, da bi nakon dostignutog maksimuma došlo do postupnog opadanja vodostaja, odnosno protijecanja. Odgovarajući hidrogram, odnosno nivogram naziva se poplavni val, a stanje kada se voda izliva naziva se poplava.

Maksimalna ordinata na nivogramu ili hidrogramu predstavlja najveći dostignut vodostaj (H_{max}) ili proticaj (Q_{max}).

Velike vode nastaju: uslijed jakih kiša, od topljenja nagomilanog snijega, uslijed rušenja pregrade koja je zbog odrona stvorila jezero, uslijed rušenja brana ili nasipa, uslijed formiranja ledenih barijera na rijekama, uslijed pojave vjetra na ušćima većih rijeka i mora (s utjecajem plime) i dr.

Od svih navedenih uzroka najvažniji su kiše i topljenje snijega, koji se javljaju obično istovremeno s još nekim uzročnikom velike vode. Poznavanje velike vode veoma je bitno za dimenzioniranje hidrotehničkih objekata i od presudne je važnosti s gledišta ekonomičnosti izgradnje i sa stanovišta sigurnosti.

Postoje brojne metode za određivanje velikih voda. U ovom radu prikazati će se dvije, metoda izokrona i racionalna metoda uz nekoliko popratnih primjera.

1. OPĆENITO O VELIKIM VODAMA

Pod pojmom velika voda podrazumijevaju se pojave označene maksimalnim ordinatama nivograma ili hidrograma velikih vodenih valova, koje se očituju kao naglo izdizanje vodostaja ili protoka tijekom vremena. Oblici i volumeni velikih vodenih valova također su vrlo važni hidrološki pokazatelji, a izravno su povezani s maksimalnim vodostajima i protocima.

Velika voda je ekstremna pojava definirana vodostajem, sekundnim protjecanjem ili volumenom u određenom vremenskom razdoblju opažanja ili je utvrđena kao vjerojatnost pojavljivanja u određenim vremenskim razdobljima.

Prijelaz između običnog viskog vodostaja i vodostaja velike vode nije jasno određen. Stoga to u izvjesnoj mjeri stvara neodređenost u definiciji velike vode. No, kada je potrebno, granica iznad koje se bilježe velike vode može se odrediti na temelju prosječne visine obala i ekonomskog utjecaja na okolinu. Velike se vode prema veličini mogu podijeliti na obične, koje se najčešće pojavljuju, te srednje i izvanredne – katastrofalne. Također se mogu podijeliti i prema razdobljima u kojima djeluju, primjerice, na velike vode u vegetacijskome razdoblju i velike vode u razdoblju građenja.

Vrlo je pogodan pokazatelj velikih voda, pogotovo ako se uspoređuju ekstremna otjecanja s raznih slivova, maksimalni specifični dotok s jednog km^2 sliva q_M . On je određen omjerom između maksimalnog protoka Q_M i površine sliva A.

Maksimalni specifični dotok q_M opada s porastom površine sliva, i to ne linearno nego po nekom eksponencijalnom zakonu.

Uzroci nastajanja velikih voda u riječnome toku su: jake kiše, topljenje snijega ili obje te pojave zajedno. Uz ove, pojave velike vode mogu biti uzrokovane i iznimnim događajima na slivu koji mogu biti izazvani različitim činiocima: odronom zemlje u umjetna ili prirodna jezera, rušenjem brana ili nasipa, nepravilnim rukovanjem evakuacijskim uređajima, otvaranjem barijera nastalim prikupljanjem leda ili naplavljenog drveta itd. Veliki odroni zemlje u puno ili djelomično puno akumulacijsko jezero mogu uvjetovati prelijevanje preko brane ili rušenje brane i time izazvati katastrofalne poplave u nizvodnome području.

Raspored i veličina velikih voda ovise i o sezonama, odnosno sušnome i vodnome razdoblju unutar godine. Uvijeti i uzroci otjecanja se, ovisno o sezoni, mogu međusobno vrlo razlikovati. Ljeti se, primjerice, velike vode javljaju pretežno uslijed pljuskova jaka intenziteta.

Za zimu je, pak, karakteristično zadržavanje oborina na slivu u obliku snježnog pokrivača. Porastom temperature dolazi do topljenja snijega pa, ovisno o njegovooj količini na slivu i intenzitetu topljenja, dolazi do povećanja otjecanja. U odgovarajućim prilikama mogu se otjecanje usred topljenja snijega i otjecanja usred kiše pojaviti zajedno i izazvati vrlo jake velike vode.

Pojavama velikih voda pogoduju odgovarajući geološki sastav sliva (nepropusnost), topografski uvjeti (veliki koeficijent koncentriranosti sliva i veliki nagibi sliva) i stupanj obraštenosti (slaba obraštenost sliva).

Stanje zemljišta također ima veliki utjecaj na veličinu velikih voda. Zaleđenim zemljištem, kao i tlom zasićenim vodom, velik dio pale kiše otječe u vodotok. Suho zemljište, naprotiv, upija palu oborinu i na taj način u velikoj mjeri smanjuje površinsko otjecanje. Ovdje treba izuzeti slučaj kada jak ljetni pljusak padne na suh teren i prve velike kapi stvore na zemlji „koru“, preko koje nesmetano otječe ostala voda.

Na velike vode znatno utječe i promjena vodenog vala u uzvodnim retencijama – ako one postoje na slivu – i spljoštenje vodenoga vala duž riječnoga toka.

Bilo radi obrane od poplava, dimenzioniranja hidrotehničkih, odnosno drugih objekata, ili raspoređivanja vodnih količina, potrebno je znati koje se velike vode može očekivati u budućnosti. Zbog toga je nužno sa što većom sigurnošću odrediti veličine budućih velikih voda i to prvenstveno u prirodnu, neporemećenu stanju, a nakon toga ih različitim postupcima definirati za buduće – izgrađeno stanje.

Ovdje se razmatraju samo one velike vode koje se mogu svrstati u isključivo hidrološke pojave, a to su velike vode koje su uzrokovane oborinama palim na sliv, te uvjetima tečenja ili slijevanja sa sliva.

Buduće velike vode određuju se prema podacima iz prošlosti na temelju ovih četiriju osnovnih pristupa:

- Usvajanjem jedne najveće zabilježene velike vode ili nekoliko njih
- Određivanjem velikih voda različita reda pojave metodama matematičke statistike na osnovi niza opaženih velikih voda.
- Određivanje velikih voda iz oborine na osnovi zajedničkih meteoroloških i hidroloških motrenja. Ovdje je uključeno određivanje velikih voda metodom jediničnoga hidrograma i metodom izokrona.

- Upotreba različitih iskustvenih (empirijskih) formula.

Prvi način određivanja velikih voda ne isključuje mogućnost da buduća velika voda bude veća od najveće zabilježene. Bez obzira na to koliko se dugo na nekome slivu provode motrenja velikih voda, to nikako ne isključuje mogućnost pojavljivanja neke znatno veće velike vode u budućnosti. Zato ne treba najveću zabilježenu vodu usvajati kao mjerodavnu, već ona treba biti uključena u izračune prema drugačijim osnovnim pristupima, a ujedno može poslužiti i za usporedbu i provjeru rezultata dobivenih prema ostalim metodama.

Rezultati statističkih obrada su velike vode različitih povratnih razdoblja, a to su parametri koji se zahtijevaju od današnjih hidroloških obrada. Ovim se pristupom redovito određuju mjerodavne velike vode, ukoliko su na raspolaganju dovoljno pouzdani nizovi podataka dobiveni motrenjem i mjerenjem hidroloških veličina.

Treći i četvrti se način redovito koriste mogućnošću uključivanja matematičke statistike. Pri uporabi metode izokrona i metode jediničnog hidrograma oborina se obrađuje statistički, a razvojem iskustvenih izraza došlo se do formula za velike vode različitih povratnih razdoblja.

Pri određivanju mjerodavnih velikih voda može se naić na dva pojma: najveća moguća voda i češće korišten pojam velike vode različitih povratnih razdoblja.

U ranijem razdoblju hidrologije, dok se u toj znanstvenoj disciplini još nisu primjenjivale metode matematičke statistike, od hidroloških se obrada tražilo davanje najvećih mogućih velikih voda. Njih je bilo moguće odrediti kao najveću zabilježenu veliku vodu, što svakako ne isključuje pojavu još veće vode u budućnosti pa je u osnovi neispravno, ili su najveće moguće velike vode bile određivane na osnovi tadašnjih jednostavnih iskustvenih formula. Vrijednosti velikih voda istog sliva, kada ih se određuje na temelju nekoliko različitih iskustvenih formula, redovito se međusobno razlikuju. Iskustvene formule vrijede najčešće samo za područje za koje su izvedene, a izbor najpogodnije formule je otežan time što ih ima vrlo mnogo.

Upravo glavni nedostatak iskustvenih formula, a to je činjenica da one općenito ne mogu obuhvatit sve mnogobrojne čimbenike važne za otjecanje, pokazuje da je ispravno pretpostaviti da su velike vode slučajne pojave. Uz uvijet da su pojavljivanja velikih voda međusobno neovisna, primjena metoda matematičke statistike za određivanje velikih voda različitih povratnih razdoblja u punoj je mjeri opravdana.

Prema tome, najispravnije je velike vode odrediti kao rijetke pojave različitih povratnih razdoblja. Stupanj sigirnosti kojim se definira velika voda mjerodavna za dimenzioniranje danih tehničkih zahvata obično se određuje ili propisuje na temelju ocjenjivanja. Pravilnije bi,

međutim, bilo da se mjerodavna velika voda određuje ekonomskim računom, usporedbom šteta uzrokovanih velikim vodama s troškovima koje zahtijeva zaštita od tih voda. Kako su ti računi ponekad nepouzdani, primjenjuje se ocjena stupnja sigurnosti, koji je različit za različite objekte ili zahvate u slivu pa se prognoze odnose na prirodno (neporemećeno) stanje.

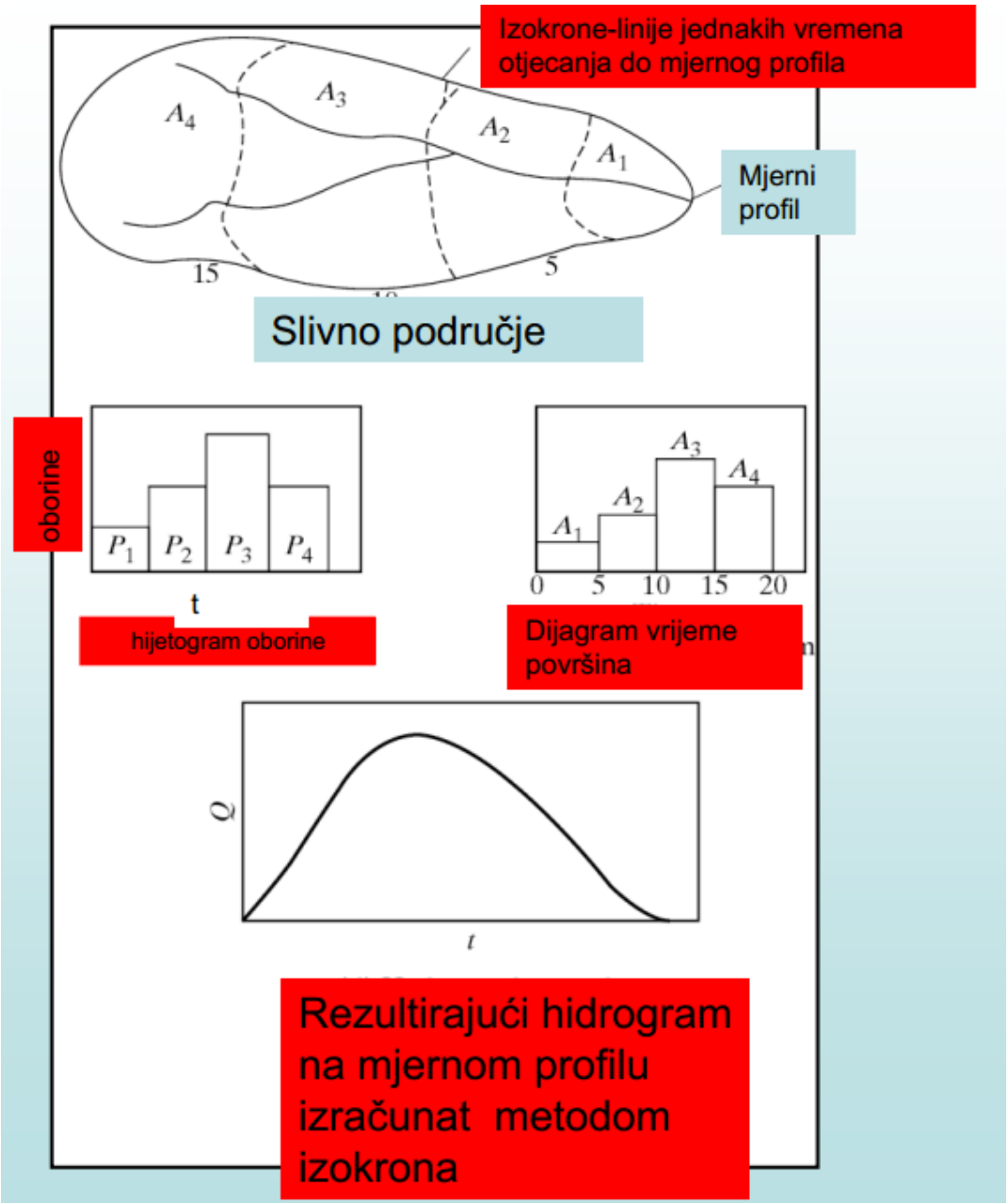
Činjenica koja nije zanemariva, a smeta usvojenoj definiciji, je da se vodeni režimi polagano tijekom vremena ili naglo uslijed nekoga zahvata mijenjaju, što otežava ili remeti prognoze velikih voda.

Puno opravdanje ima pristup da se, kada je to moguće, velike vode odrede različitim metodama, a potom se njihove vrijednosti međusobno usporede.

2. METODA IZOKRONA

Izokrone otjecanja ili izokrone su linije jednakih vremenskih otjecanja vode sa sliva. Osnovna je pretpostavka metode izokrona da voda s pojedinih dijelova sliva stiže do izlaznog profila vodotoka u različitim vremenskim intervalima Δt. Na temelju površine sliva s

izokronima, hijetograma efektivne oborine i dijagrama vrijeme-površina određuje se rezultirajući hidrogram otjecanja. Na slici 1. prikazano je određivanje hidrograma otjecanja metodom izokrona.



Slika 1 Određivanje hidrograma otjecanja metodom izokrona

Postupak određivanja hidrograma površinskog otjecanja metodom izokrona se provodi na sljedeći način:

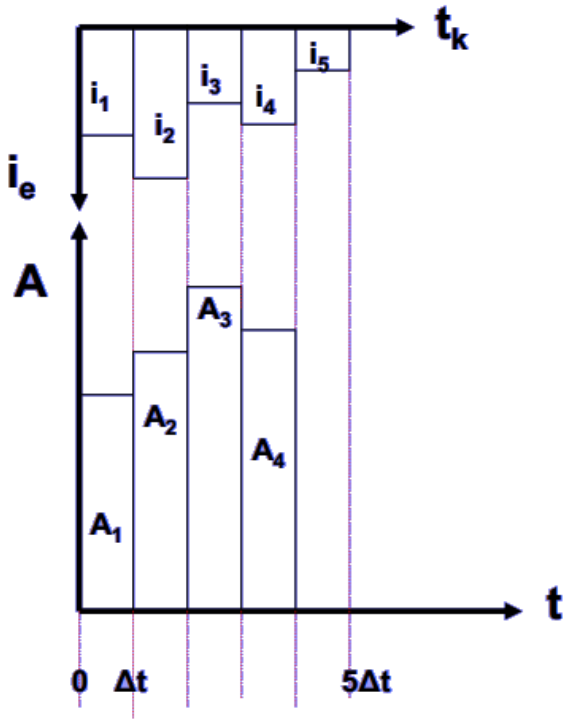
- Najprije se na slivu s kojega se otjecanje računa konstruiraju linije jednakih vremena otjecanja – izokrone. Vrijeme otjecanja vode od jedne do druge izokrone je Δt, a ukupno vrijeme otjecanja od najudaljenije izokrone do izlaznog profila jednako je vremenu koncentracije sliva T_c. Izokronama je sliv podijeljen na manje površine.

- Nakon toga se konstruira hijetogram efektivne kiše konstantnih intenziteta u vremenima Δt (slika 2). Temeljna je pretpostavka da je na cijeli sliv pala kiša i da su intenziteti efektivne kiše $i_1, i_2, \cdots i_{tk}$ u vremenskim razmacima Δt. Trajanje efektivne kiše T_k je:

$$T_k = k\,\Delta t = T_c$$

  gdje je T_c vrijeme koncentracije sliva definirano izrazom $T_c = \frac{L_v}{v}$ gdje je $L_v(m)$ duljina vodotoka.

- Ispod hijetograma se u dijagram vrijeme – površina nanesu površine sliva između pojedinih izokrona $a_1, a_2, \cdots a_{tc}$. Površine između izokrona se nanose u razmacima Δt, a vrijeme za sve površine od a_1 do a_{tc} jednako je vremenu koncentracije sliva T_c (slika 2).



Slika 2 Hijetogram efektivne kiše i dijagram površina vrijeme

- Sada se može pristupiti izradi hidrograma otjecanja, i to sljedećim redoslijedom: u prvoj jedinici vremena Δt do izlaznog profila dolazi voda s površine a_1 uslijed efektivne kiše intenziteta i_1, pa je protok na kraju vremena Δt:

$$Q_1 = i_1 a_1$$

Na kraju druge vremenske jedinice, nakon $2\Delta t$, do izlaznog profila dolazi voda s površine a_1, na koju je pala kiša intenziteta i_2 (u drugoj vremenskoj jedinici Δt) te voda s površine a_2, na koju je u prvoj vremenskoj jedinici pala kiša intenziteta i_1, pa je protok nakon druge vremenske jedinice:

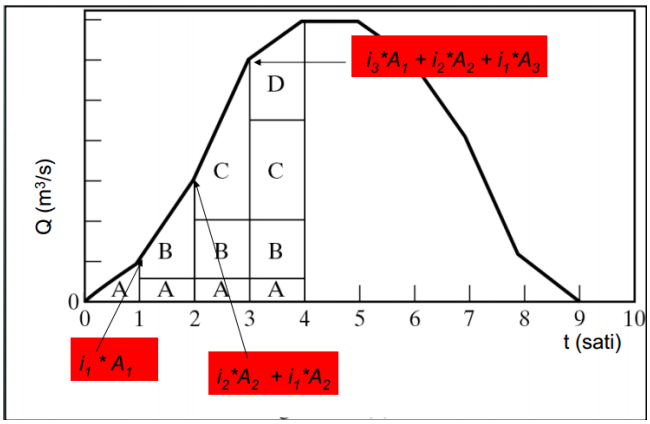
$$Q_2 = i_2 a_1 + i_1 a_2$$

Na isti se način dolazi do protoka na kraju treće jedinice:

$$Q_3 = i_3 a_1 + i_2 a_2 + i_1 a_3$$

Postupak konstruiranja hidrograma prikazan je na slici 3, a protok u i-tome trenutku je:

$$Q_i = \sum_{k=1}^{k=i} i_k a_{i-k+1} = \sum_{k=1}^{k=i} i_{i-k+1} a_k$$

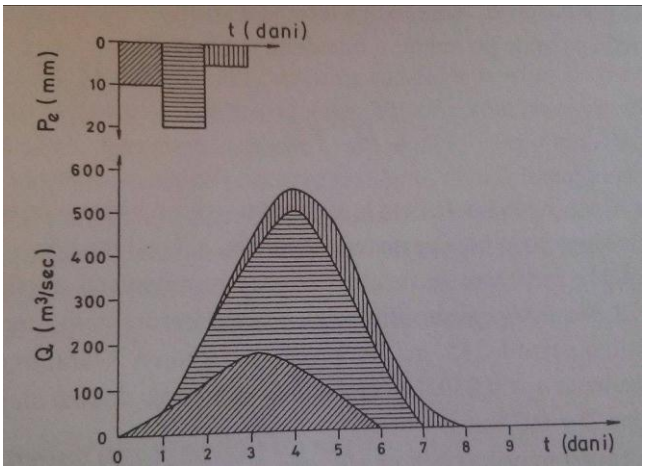


Slika 3 Rezultirajući hidrogram

Vremenska baza hidrograma površinskog otjecanja, odnosno ukupno trajanje površinskog otjecanja je :

$$T_b = T_c + T_k - \Delta t$$

Na slici 2.1 prikazani su hijetogram i hidrogram konstruirani metodom izokrona za jedan sliv veličine $A = 5000\ km^2$. Usvojena vremenska jedinica je $\Delta t = 1$ dan, a na hidrogramu je prikazan i utjecaj svake jednodnevne kiše.



Slika 4 Hidrogram otjecanja metodom izokrona za sliv A=5000 km^2, Δt=1 dan

Za razmatrani sliv veličine $A = 5000\ km^2$ vrijeme koncentracije je $T_c = 5$ dana (120 sati). Prema tome bi kiša po čitavu slivu trebala padati duže od 5 dana kako bi se dostiglo stanje ravnoteže (S-krivulja). U našim kilmatskim uvjetima vjerovatnost ovakve pojave je vrlo mala.

O. Bonacci i S Roglić (1981.) izveli su primjenom dinamičnog programiranja matematički model za otjecanje vode po površini terena i vodotoku te definiranje izokrona:

Sliv se prekrije kvadratnom mrežom. U svakome čvoru mreže definira se visina terena. Vodotok se aproksimira razlomljenom linijom kroz čvorove s određenim visinama. U prvome se koraku određuju vremena otjecanja za čvorove koji pripadaju vodotoku. Nakon toga se određuju vremena otjecanja za čvorove čiji bar jedan susjedni čvor pripada vodotoku, a naposljetku se određuju vremena i smjerovi tečenja za ostale čvorove na slivu. Postupak se provodi iterativno: za i-ti čvor odrede se svi mogući smjerovi otjecanja – što znači da se tečenje vode može pojaviti samo prema susjednim čvorovima manje visine od i-tog čvora. Postupak se ponavlja dok se ne odrede vremena otjecanja vode u svim čvorovima sliva.

Brzina tečenja vode u koritu vodotoka v_k određuju se prema Manningovoj formuli (hidraulički radijus R zamijenjen je srednjom dubinom $\bar{h}$).

$$v_k = \frac{1}{n_k} \bar{h}^{2/3} I^{1/2}$$

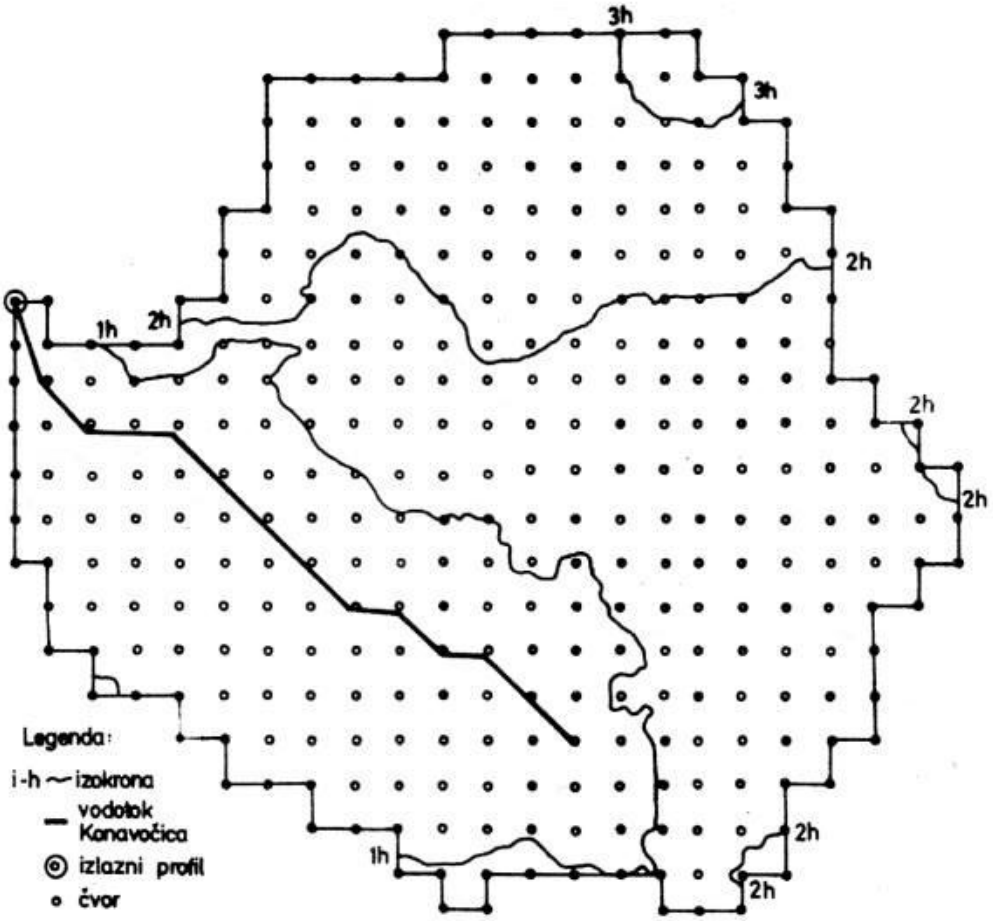
gdje je n_k Manningov koeficijent hrapavosti korita vodotoka, $\bar{h}(m)$ srednja dubina vode u koritu, a I je pad energetske linije koji se u primjeni zamjenjuje padom dna vodotoka (uz pretpostavku jednolikog tečenja u koritu).

Brzina tečenja vode po terenu v_t određena je izrazom:

$$v_t = \frac{1}{n_t} D^{2/3} S^{1/2}$$

gdje je n_t Manningov koeficijent hrapavosti terena po kojem otječe voda, a D(m) srednja dubina sloja vode koja se po terenu slijeva, a S pad terena.

Na slici 4 prikazani su rezultati modela primjenjena na sliv Konavočice veličine $A = 32{,}8\ km^2$. Aproksimacija je provedena kvadratnom mrežom 21×23 čvora na udaljenosti od 315 m. Za korito je usvojen Manningov koeficijent $n_k = 0{,}022$, a za teren $n_t = 0{,}050$. Usvojeno je da je srednja dubina sloja vode koja se slijeva po terenu D = 0,02 m.



Slika 5 Izokrone na slivu Konavočice

Oblici hidrograma prikazanih na slikama 1 i 3 nisu realni, jer metoda izokrona uzima u obzir samo inercijalne osobine sliva (zakašnjenje). Naime, potrebno je obraditi i utjecaj retencijske sposobnosti sliva, jer sliv akumulira određenu količinu vode. Hidrogram dobiven metodom izokrona moguće je određenim metodama transformirati (kroz linearni ili nelinearni rezervoar).

Prema tome, osnovni su problemi u vezi s primjenom metode izokrona određivanje položaja izokrona na slivu, veličine površina sliva između pojedinih izokrona i vremena koncentracije sliva. U vremenu koncentracije sadržano je vrijeme otjecanja vode po terenu i vrijeme otjecanja u koritu vodotoka. Vrijeme koncentracije ovisi o obliku, veličini i padu sliva, intenzitetu, trajanju i raspodjeli kiše, te o obraštenosti sliva.

Oblik se hidrograma može popraviti različitim transformacijama. Polazi se od Saint-Venantove parcijalne diferencijalne jednadžbe kojom se opisuje nestacionarno tečenje. Na toj su osnovi razvijene metode retardacije kojima se transformira hidrogram vodenog vala: metoda Puls, koeficijent-metoda, metoda Muskingum, Kalininova metoda, sukcesivna „lag"-metoda i sl.

3. RACIONALNA METODA

Iskustvena ili empirijska formula (za izračunavanje velikih voda) je formula koja izražava maksimum (najveću vrijednost) protoka kao funkcije veličine sliva i drugih čimbenika bitnih za otjecanje. Osim maksimalnih protoka – za koje je izvedeno najviše iskustvenih izraza – na taj se način može izračunavati i neke druge hidrološke parametre, npr. prosječni protok (na osnovu odnosa efektivne i bruto oborine) i pronos lebdećeg (suspendiranog) nanosa.

Formula koja se u svijetu najčešće rabi za definiranje maksimalnih protoka različitih povrtanih razdoblja je racionalna formula.

Metoda se naziva racionalnom zato što jedinice izražavanja za članove koji figuriraju u formuli moraju biti numerički dosljedne.

Racionalna formula ili racionalna metoda je formula za izračunavanje maksimalnih protoka s malih slivova kao umnoška slivne površine, maksimalnog kišnog intenziteta i racionalnog koeficijenta.

Osovna postavka racionalne metode jest da za vrijeme olujnih oborina jednolika intenziteta i jednolike raspodjele na slivu dolazi do maksimalnog protoka vodnoga vala u trenutku kada cijela površina sliva sudjeluje u postanku hidrograma. Pod tim se vremenom podrazumijeva vrijeme koncentracije T_c, odnosno vrijeme potrebno da voda s najudaljenije točke sliva stigne do mjesta gdje se izračunava protok ili do izlaznog profila.

Otjecanje postepeno raste od nule do maksimuma, koji se javlja kada trajanje kiše dostigne vrijeme koncentracije sliva (T_c) i zatim ostaje konstantno za period kada trajanje kiše prekoračuje (t - T_c), tj, od vremena T_c unaprijed. Nakon prestanka kiše, otjecanje postepeno opada da bi dostiglo vrijednost nula u vremenu za (T_c) udaljenom od vremena pojavljivanja maksimuma.

Racionalna je formula definirana izrazom:

$$Q_m = C\ i\ A$$

gdje je Q_m maksimalni (vršni) protok, C racionalni koeficijent, i intenzitet kiše, a A površina sliva.

Ako se uzmu jedinice $Q_m \left(\frac{m^3}{s}\right), i\ \left(\frac{mm}{sat}\right)$ i A (km^2), onda racionalna formula ima oblik :

$$Q_m = 0{,}278\ C\ i\ A$$

, a za (mm/min) je:

$$Q_m = 16{,}67\ C\ i\ A$$

Mjerodavan intenzitet oborine i je funkcija vremena koncentracije T_c i povratnog razdoblja p:

$$i = i(T_c, p)$$

Vrijeme koncentracije T_c može se računati prema iskustvenome izrazu koji je dao Z. P. Kirpich 1940.:

$$T_c = 0{,}00032\ L^{0,77} I_{max}^{-0,385}\ (sati)$$

gdje je $L(m)$ najveća duljina putovanja vode, pad $I_{max} = \Delta H/L$, a ΔH (m) je visinska razlika između najviše točke na slivu i protjecajnog profila.

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:

$$T_c = \frac{L}{v}$$

gdje je $L(m)$ duljina glavnog vodotoka od razvodnice sliva do izlaznog profila, a $v\ (m/s)$ je brzina vode u vodotoku.

Brzina se vode u vodotoku može odrediti na osnovi Chezyjeve, Manningove ili Sticklerove formule:

$$v = K\ \bar{h}^{2/3} I^{1/2}$$

I to ukoliko je hidraulički radijus $R = \bar{h}$, a $\bar{h}$ je srednja dubina u vodotoku.

Ako o vodotoku za čiji izračun se rabi racionalna formula nema dovoljno podataka za iračunavanje brzine prema Chezyjevoj, Manningovoj ili Sticklerovoj formuli, onda se brzina otjecanja može izračunati prema izrazu koji je dao I. I. Herheulidze (1947):

$$v_p = (1{,}6 + 1{,}10 \log p)\sqrt[4]{I_{max}}(m/s)$$

p (god.) je povratno razdoblje, a prema izrazu $I_{max} = \Delta H/L$ gdje je $\Delta H\ (m)$ visinska razlika između najviše točke na slivu i protjecajnog profila, a $L(m)$ je duljina vodotoka.

U razmatranjima mogu korisno poslužiti orijentacijske vrijednosti brzine tečenja vode ruskih rijeka, koje su dane u tablici 1.

Tablica 1 Orijentacijske brzine tečenja u ruskim vodotocima

Osobine vodotoka i reljefa	Brzina vode v (m/s)	
	Mali vodotoci dubine manje od 1 m	Ostali vodotoci
tokovi u močvarama	0,3 - 0,5	0,4 - 0,8
ravničarski	0,8 - 1,2	1,0 - 1,5
brdski	1,5 - 2,5	2,0 - 2,5
planinski	2,5 - 3,5	2,0 - 2,4

Za racionalni koeficijent C mogu se uzeti prosječne vrijednosti na osnovi topografskih uvijeta i vegetacije različitih vrsta tla na slivu, iznesene u tablici 2.

Tablica 2 Prosječne vrijednosti racionalnoga koeficijenta C

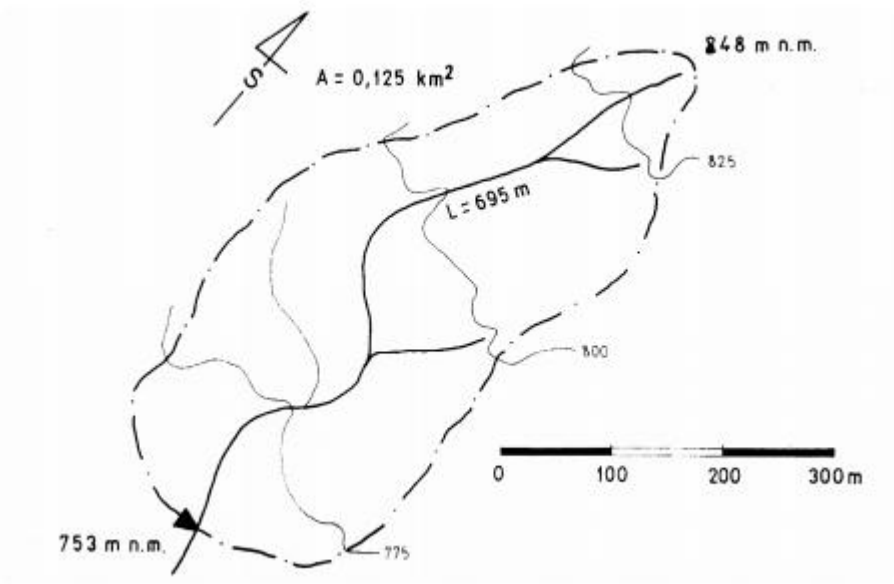
	Povratno razdoblje (godine)						
Karakteristike pokrova	2	5	10	25	50	100	500
Izgrađena područja							
Asfalt	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Beton/krov	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zelene površine (groblja, parkovi, itd.)							
0 – 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
2 – 7 %	0.37	0.40	0.43	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 – 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

Vrijednost racionalnog koeficijenta otjecanja varira u širokim granicama od 0,05 do 0,95. On predstavlja ukupni efekat gubitaka u slivu. Faktori koji utječu na vrijednost koeficijenta C su:

- početni gubici
- zadržavanje (akumuliranje) vode u depresijama na slivu,
- karakteristike zemljišta,
- padovi slivne površine,
- stupanj saturacije zemljišta vodom,
- intenzitet padalina,
- geološki sastav slivnog područja i
- hidrogeološke karakteristike slivnog područja.

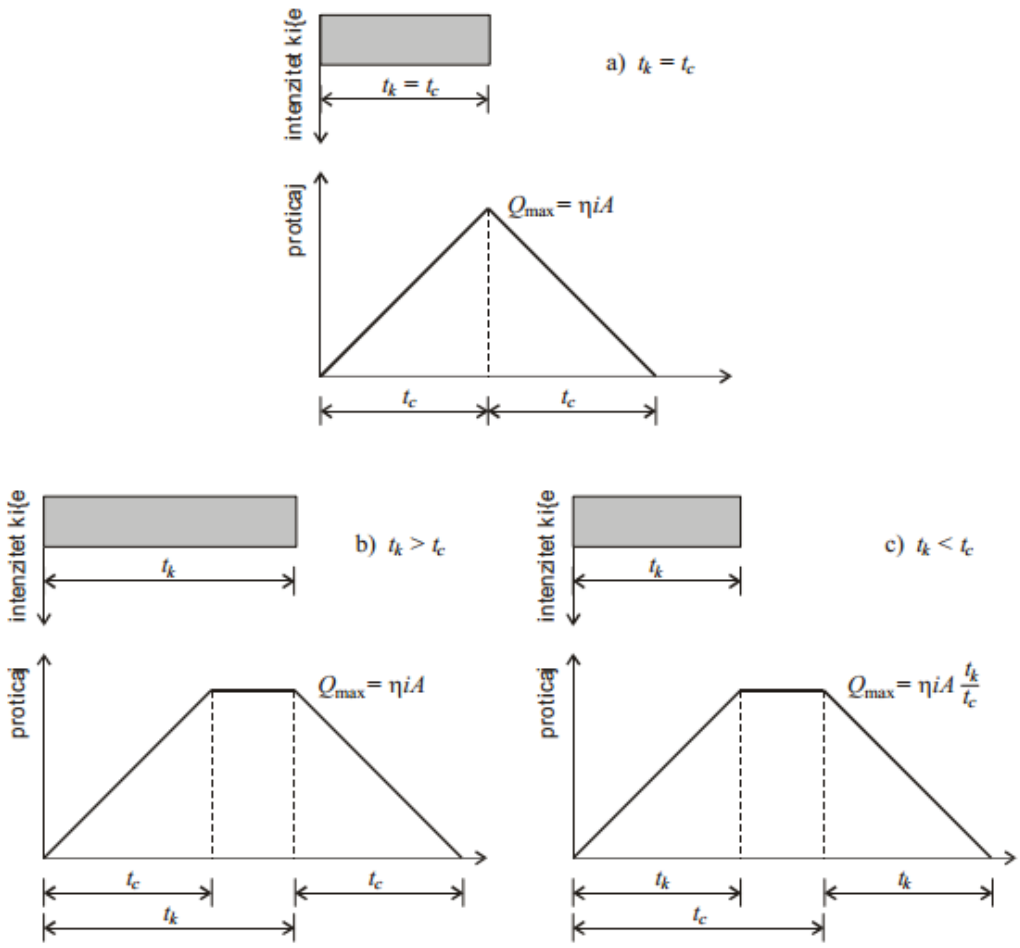
Kada unutar slivne površine postoje različite zone po karakteristikama otjecanja, koeficijent otjecanja (C), tada se slivna površina dijeli u niz podpovršina A_1, A_2, A_3,...,A_n sa svojim koeficijentima direktnog otjecanja C_1, C_2, C_3,...,C_n, na osnovu kojih se računa prosječna vrijednost koeficijenta otjecanja $C_p = \frac{\sum C_i A_i}{A_{uk}}$, koja se onda u jednadžbi upotrebljava umjesto C.

Izračunavanje maksimalnih protoka 5-, 10- i 100-godišnjih povratnih razdoblja prema racionalnoj formuli opisano je na primjeru malena šumskog sliva jednoga potoka u Gorskom kotaru blizu Delnica. Situacija sliva prikazana je na slici 5.



Slika 6 Situacija sliva potoka kod Delnica

Na sljedećoj slici 6 je prikazan hidrogram otjecanja po racionalnoj metodi.



Slika 7 Hidrogram otjecanja po racionalnoj metodi

Zbog prepostavki o ravnomjernom intenzitetu kiše u vremenu i po površini sliva, primjena racionalne metode ima opravdanje za određivanje mjerodavnih proticaja na veoma malim slivnim površinama (kratkog vremena koncentracije) kao što su dionice cesta, mostove, krovove, aerodromske piste, gredski trgovi i ulice itd.

Ograničenja racionalne formule:

- Formula je primjenjiva za male slivne površine veličine do 50 km^2,
- Trajanje kiše koja se koristi u formuli mora biti jednako ili više od vremena koncentracije slivne površine,
- Formula daje veličinu maksimalne vrijednosti hidrograma direktnog otjecanja, ali ne daje i sam hidrogram,

- Vrijednost maksimalnog protjecanja je izražena linearnom vezom s intenzitetom, odnosno visinom kiše iako opisivana prirodna pojava ne slijedi ovaj jednostavni zakon,
- Podrazumijeva se konstantan intenzitet kiše na cijeloj slivnoj površini i tokom čitavog trajanja kiše jednakog vremenu koncentracije slivne površine,
- Podrazumijeva se ista vrijednost koeficijenta otjecanja (C) za sve pljuskove, što onda znači da su i gubici padalina konstantni za sve pljuskove.

4. PRIMJERI

Racionalna metoda

Primjer 1.

Potrebno je odrediti maksimalno otjecanje s jednog dijela gradskog područja površine 12 km^2 u svrhu izgradnje kišnog kanalizacijskog kolektora, na kojem površina putne mreže iznosi 30%, stambenih zona 50%, a ostatak od 20% je industrijska zona. Maksimalni pad sliva (J) iznosi 0,5%, a dužina (L) 1,6 km. Analizom podataka iz prošlosti o padalinama, dobivene su sljdeće visine padalina povratnog perioda javljanja od T=5 godina:

Trajanje padalina (min)	30	40	50
Visina padalina (mm)	30	40	44

Rješenje:

Vrijeme koncentracije sliva može se na primjer izračunati po jednadžbi Kirpich-a:

$T_C = 0{,}000323\ L^{0,77}\ J^{-0,385} = 0{,}000323 * 1600^{0,77} * 0{,}005^{-0,385} = 0{,}728$ h = 43,7 min.

Visina padalina za kišu trajanja 43,7 minuta određena je linearnom interpolacijom između visina kiša za 40 i 50 minuta kao:

$$P_{43,7} = 40 + \frac{44 - 40}{10} \cdot 3{,}7 = 41{,}48\ mm;$$

$$i = 41{,}48\ mm\ za\ 43{,}7\ \text{min} = 56{,}59\ mm/h$$

Iz tablice racionalni koeficijent otjecanja za prometnice iznosi 0,80, za stambenu zonu 0,40 i industrijsku zonu 0,20, tako da je ponderisani koeficijent direktnog otjecanja:

$$\eta = \frac{0{,}8\ (0{,}3 * 12) + 0{,}4\ (0{,}5 * 12) + 0{,}2\ (0{,}2 * 12)}{12} = 0{,}24 + 0{,}20 + 0{,}04 = 0{,}48,$$

tako da je:

$$Q_{max} = 0{,}278\ \cdot\ \eta\ \cdot i\ \cdot F_{sl} = 0{,}278 * 0{,}48 * 56{,}95 * 12 = 91{,}2\ m^3/s$$

Tablica 3. Vrijednosti koeficijenata direktnog otjecanja za razne vrste slivne površine

Vrsta slivne površine	Vrijednost η
Urbane površine	
Travnjaci	
Pješčana tla-ravna 2%	0,05-0,10
Pješčana tla-prosječna 2,7%	0,10-0,15
Pješčana tla-strma <7%	0,15-0,20
Teška tla-ravna do strma	0,13-0,35
Teška tla-prosječna	0,18-0,22
Teška tla-strma	0,25-0,35
Poslovne površine	0,50-0,95
Stambena naselja	
Pojedinačne kuće	0,30-0,35
Stambene zgrade	0,50-0,70
Prigradska naselja	0,25-0,40
Apartmanska naselja	0,50-0,70
Industrijeske površine	
Nedrenirana tla	0,10-0,30
Lake površine	0,50-0,80
Teške površine	0,60-0,90
Ograđena dvorišta	0,20-0,40
Ulice	0,70-0,95
Poljoprivredne površine	
Ravne površine	0,10-0,50
Brežuljkaste površine	0,30-0,70

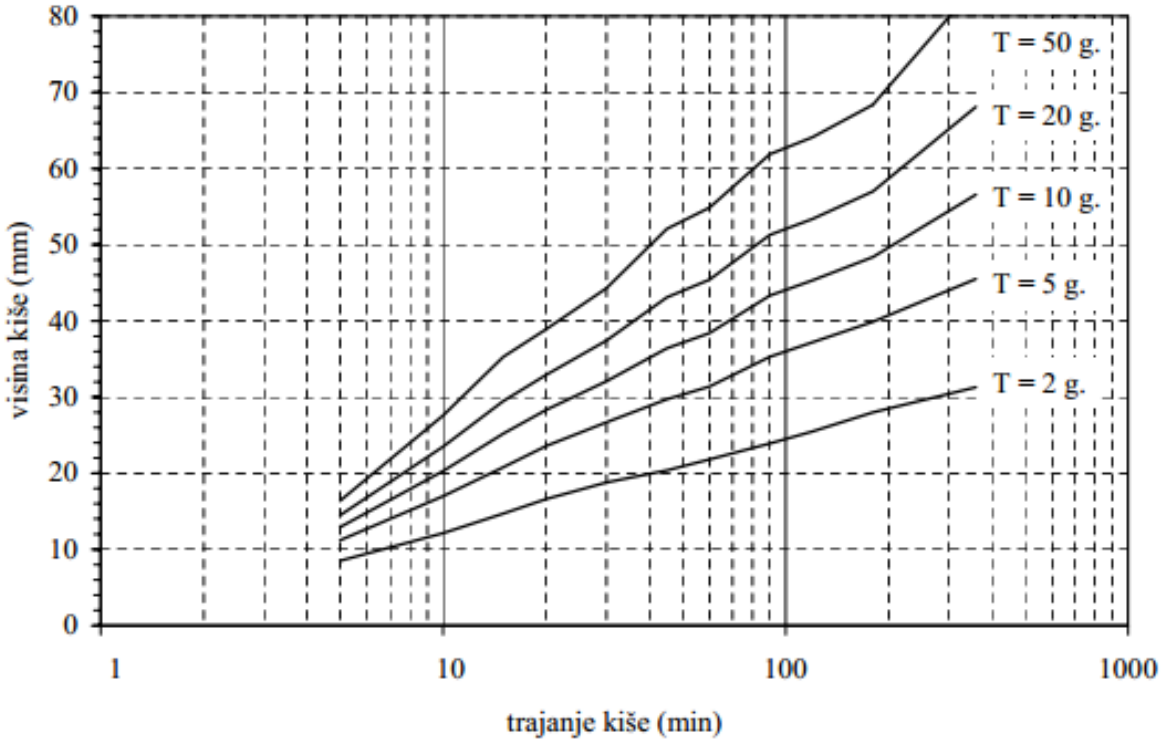
Primjer 2.

Za jedan urbani sliv površine 25,5 ha utvrđeno je da ima sljedeću strukturu površina:

Vrsta površine	Postotak u ukupnoj površini sliva	Koeficijent otjecanja
Zgrade i objekti	20	0,8
Ulice i drugi asfaltirani tereni	18	0,7
Propusne površine	62	0,15

1. Odrediti prosječan koeficijent otjecanja za promatrani sliv.

2. Primjenom racionalne metode odretiti maksimalne protjecaje i zapremine otjecaja usljed računskih kiša povratnog perioda 2 godine trajanja 20, 30 i 60 minuta. Zavisnost HTP za najbližu kišomjernu stanicu dana je na donjoj slici. Vrijeme koncentracije za ovaj sliv procijenjeno je na 30 minuta.



Rješenje:

1. Prosječan koeficijent otjecanja na razmatranom slivu određuje se kao prosječna vrijednost koeficijenata otjecanja sa pojedinih tipova površina u odnosu na učešće tog tipa površina u ukupnoj površini:

$$K = \sum K_i \cdot \frac{A_i}{A} = 0{,}8 \cdot 0{,}2 + 0{,}7 \cdot 0{,}18 + 0{,}15 \cdot 0{,}62 = 0{,}379$$

2. U donjoj tablici prikazane su visine i intenziteti računskih kiša povratnog perioda 2 godine trajanja 20, 30 i 60 minuta. Također su prikazane i maksimalne ordinate odgovarajućih hidrograma otjecanja po racionalnoj metodi, koje su za $t_k \geq t_c$ jednake:

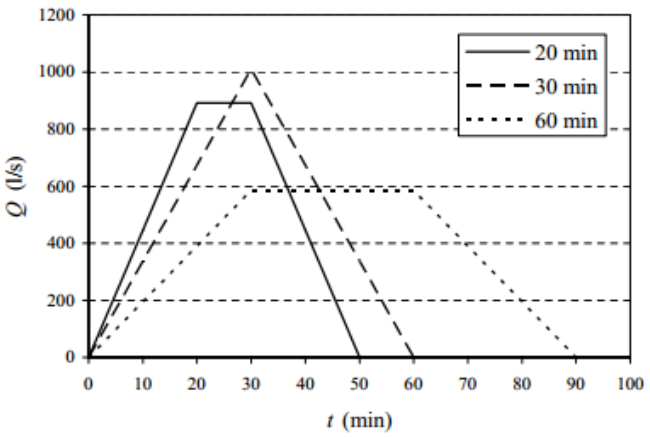
$$Q = K \cdot i \cdot A$$

dok je u slučaju $t_k < t_c$:

$$Q = K \cdot i \cdot A \cdot \frac{t_k}{t_c}$$

Zapremina otekle vode određena je kao površina ispod hidrograma otjecanja. Na slici su prikazani hidrogrami otjecanja uslijed ove tri računske kiše.

Trajanje kiše (min)	20	30	60
Visina kiše (mm)	16,6	18,8	21,8
Intenzitet kiše (mm/min)	0,83	0,627	0,363
Intenzitet kiše (l/s/ha)	138,3	104,4	60,55
Maks. protok (l/s)	891	1009	585
Zapremina otjecanja (m^3)	1604	1816	2106

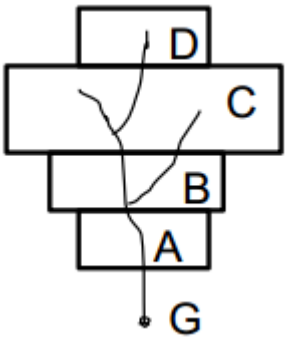


Metoda izokrona

Primjer 1.

Odredi hidrogram otjecanja za sljedeće podatke koristeći metodu izokrona. Jednoliki intenzitet efektivnih oborina iznosi 0,05 mm/s

	A	B	C	D
Površina sliva (ha)	100	200	300	100
Vrijeme otjecanja vode (h)	1	2	3	4



Rješenje:

Za izračun protoka u metodi izokrona koristimo formulu:

$$Q_n = i_n * A_1 + i_{n-1} * A_2 + \ldots + i_1 * A_j$$

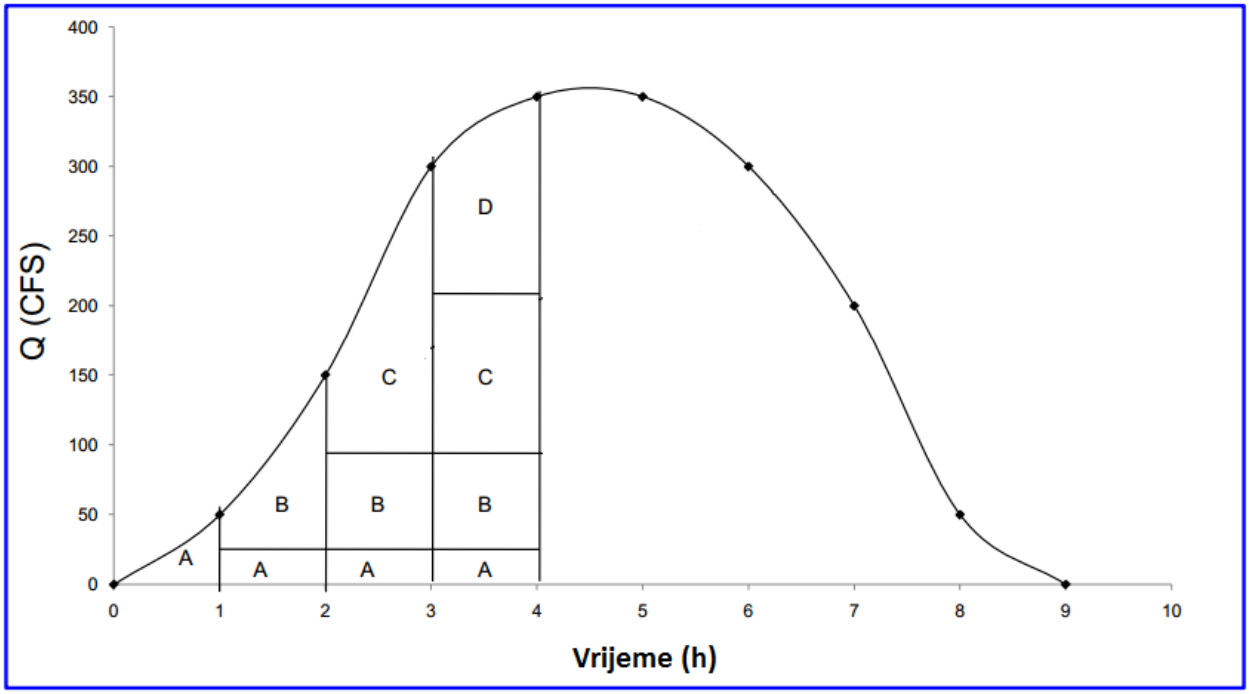
Za n = 5, i = 5 i j = 5

$$Q_5 = i_5 * A_1 + i_4 * A_2 + i_3 * A_3 + i_2 * A_4$$

Q_5 = (0,05 mm/s) (100 ha) + (0,05 mm/s) (200 ha) + (0,5 mm/s) (300 ha) + (0,5 mm/s) (100 ha)

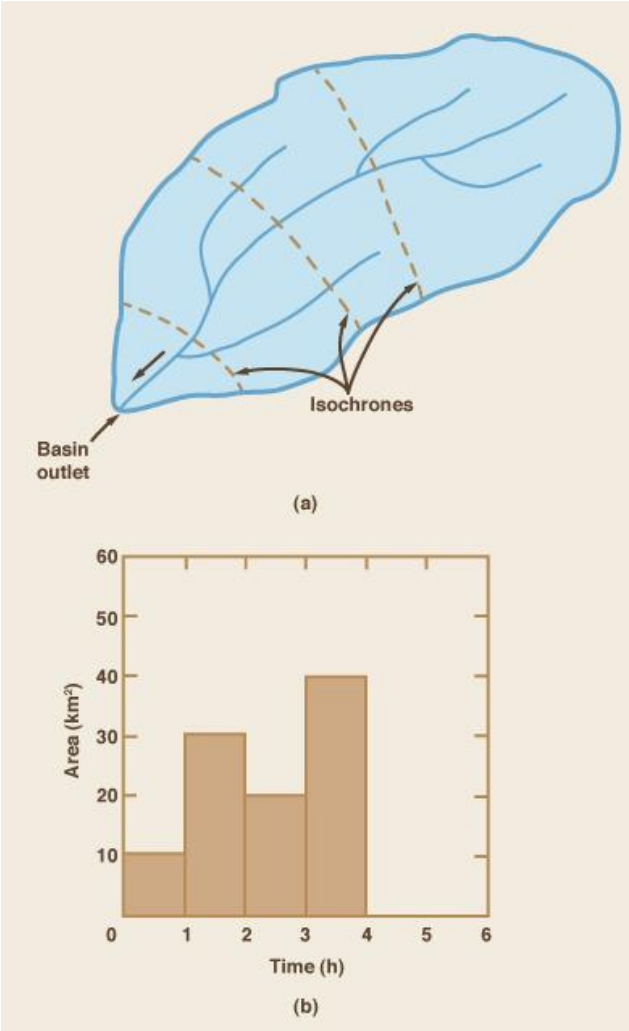
$Q_5 = 350\ m^3/s$

Vrijeme (h)	Ordinate hijetograma (i_1:i_n)	Sliv	Vrijeme otjecanja	Površina sliva (ha)	i_1* A_n	i_2* A_n	i_3* A_n	i_4* A_n	i_5* A_n	Ordinate hidrograma (m^3/s)
0										0
1	0.5	A	1	100	50					50
2	0.5	B	2	200	100	50				150
3	0.5	C	3	300	150	100	50			300
4	0.5	D	4	100	50	150	100	50		350
5						50	150	100	50	350
6							50	150	100	300
7								50	150	200
8									50	50
9										0

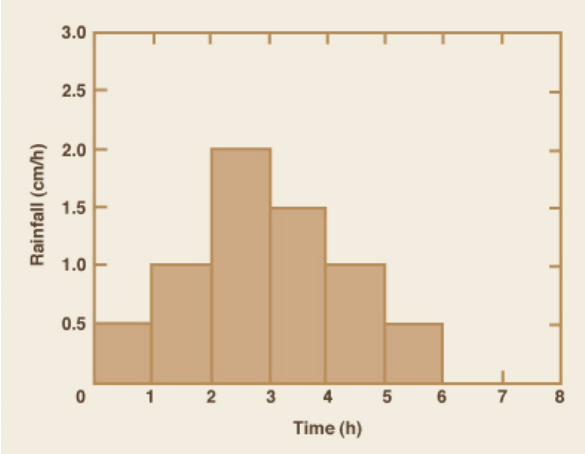


Primjer 2.

Odredi hidrogram otjecanja za sliv sa zadanim dijagramom površina-vrijeme:



te hijetogramom efektivne kiše:



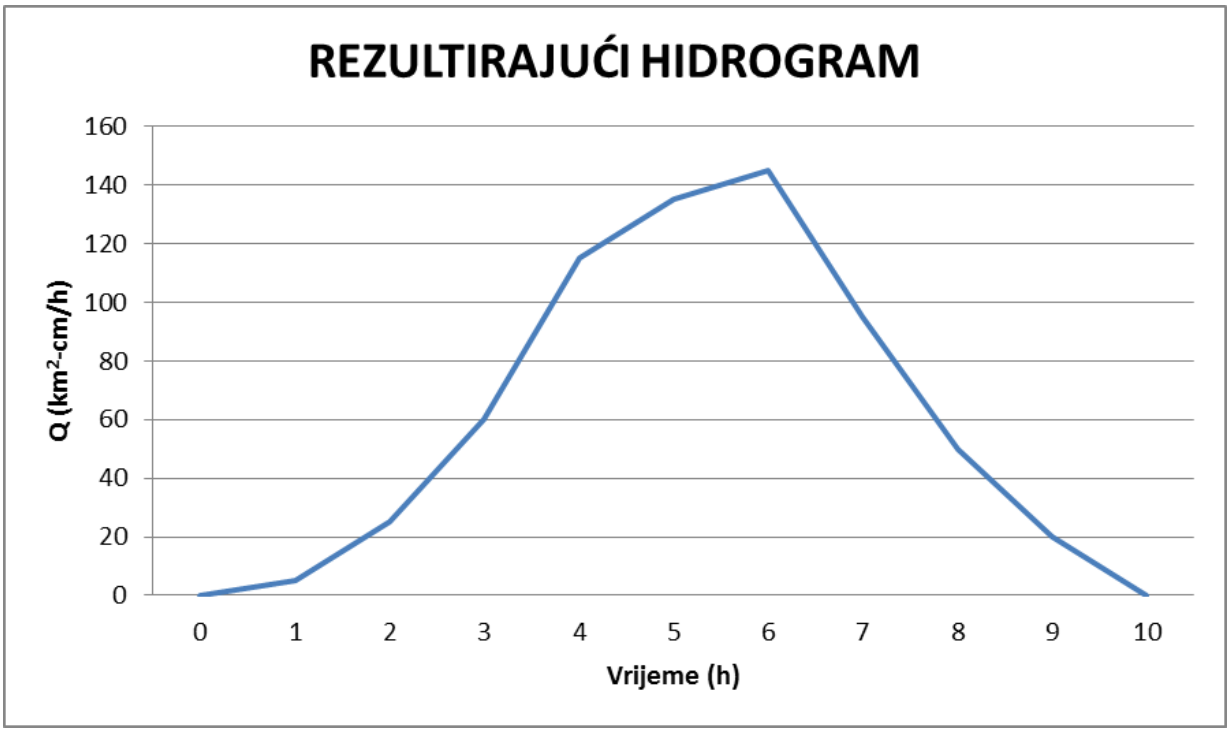
Rješenje:

Za izračun protoka koristimo formulu:

$$Q_n = i_n * A_1 + i_{n-1} * A_2 + \ldots + i_1 * A_j;$$

iz koje uz pomoć tablice dobivamo sumarni protok i pripadni hidrogram otjecanja.

		Parcijalni protoci (km2-cm/h)							
Vrijeme(h)	Podpovršine sliva (km2)	0,5 (cm/h)	1,0 (cm/h)	2,0 (cm/h)	1,5 (cm/h)	1,0 (cm/h)	0,5 (cm/h)	Protok (km2-cm/h)	Protok (m^3/s)
0	-	0	-	-	-	-	-	0	0.0
1	10	5	0	-	-	-	-	5	13.9
2	30	15	10	0	-	-	-	25	69.4
3	20	10	30	20	0	-	-	60	166.7
4	40	20	20	60	15	0	-	115	319.4
5	-	0	40	40	45	10	0	135	375.0
6	-	-	0	80	30	30	5	145	402.8
7	-	-	-	0	60	20	15	95	263.9
8	-	-	-	-	0	40	10	50	138.9
9	-	-	-	-	-	0	20	20	55.6
10	-	-	-	-	-	-	0	0	0.0
Sum								650	1805.6



Iz ovoga zaključujemo da ukupna količina padalina iznosi 6,5 cm, a ukupna površina razvođa je 100 km^2. Tako da je konačni volumen padalina: 100 * 6,5 = 650 km^2-cm. Zbroj ordinata hidrograma otjecanja je 650 km^2-cm/h. Također, možemo zabilježiti da je vrijeme koncentracije T_c = 4 h i vrijeme trajanja kiše t_r = 6 h, pa je vremenska baza hidrograma površinskog otjecanja, odnosno ukupno trajanje površinskog otjecanja iz $T_b = T_c + t_r$ jednako T_b=10h.

ZAKLJUČAK

Važnost određivanja maksimalnih protoka velikih voda ne treba posebno naglašavati, pogotovo u posljednje vrijeme kad smo i sami svjedoci velikih vremenskih nestabilnosti. Upravo iz tog razloga postoje brojne metode koje se svakim danom sve više i više unaprijeđuju, a sve u svrhu zaštite ljudi i njihove imovine. Nažalost svaka od metoda ima svoje nedostatke koje moramo uzeti u obzir pri korištenju istih. Stoga, puno opravdanje ima pristup da se velike vode odrede različitim metodama, a potom njihove vrijednosti međusobno usporede.

U ovom završnom radu su opisane dvije od brojnih metoda za određivanje velikih voda, a to su racionalna metoda i metoda izokrona. Također su navedeni i primjeri primjene tih metoda.

Racionalna metoda bazira se na empirijskoj formuli koja izražava maksimum protoka kao funkcije veličine sliva i drugih čimbenika bitnih za otjecanje. Koristi se za proračun hidrograma otjecanja s malih slivnih površina (do 50 km^2) pravilnog oblika i kad su gubici približno konstantni u vremenu.

Osnovna pretpostavka na kojoj se temelji metoda izokrona je da voda s pojedinih dijelova sliva stiže do izlaznog profila vodotoka u različitim vremenskim intervalima Δt. Vrijeme koncentracije predstavlja glavnu veličinu za konstrukciju izokrona. Ono ovisi o obliku, veličini i padu sliva, intenzitetu, trajanju i raspodjeli kiše.

Možemo zaključiti kako mnogo parametara utječe na izgled hidrograma te je potrebno prikupiti što više podataka i odabrati metodu pomoću koje bi najbolje mogli definirati hidrogram.

Literatura

[1] Ranko Žugaj (2000.), Hidrologija, Sveučilište u Zagrebu Rudarsko-geološko-naftni Fakultet

[2] Husno Hrelja (2007.), Inženjerska hidrologija, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet, Sarajevo

[3] Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays (1988.), Applied hydrology, McGraw-Hill

[4] Dionis Srebrenović (1970.), Problemi velikh voda, Tehnička knjiga, Zagreb

POPIS URL-ova:

URL 1:

http://nptel.ac.in/courses/105101002/downloads/module3/p&b-lec3.pdf

URL 2:

http://hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Hidrologija/PrimeriRacMetoda2.pdf

URL 3:

http://ponce.sdsu.edu/comparison_of_two_clark_unit_hydrographs.html

URL 4:

http://www.gfmo.ba/Hidrologija%20predavanja%2010.pdf