



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU - GEODETSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB - FACULTY OF GEODESY

Zavod za primijenjenu geodeziju; Katedra za upravljanje prostornim informacijama
Institute of Applied Geodesy; Chair of Spatial Information Management
Kačićeva 26; HR-10000 Zagreb, CROATIA
Web: www.upi.geof.hr; Tel.: (+385 1) 46 39 222; Fax.: (+385 1) 48 28 081

Usmjerenje: Inženjerska geodezija i upravljanje prostornim informacijama

DIPLOMSKI RAD

Vodni sustavi slivnog područja rijeke Zrmanje

Izradio:

Igor Burić

Hvarska 11

Zagreb

iburic@geof.hr

Mentor: prof. dr. sc. Siniša Mastelić-Ivić

Zagreb, ožujak 2006.

Zahvala:

Prije svega se zahvaljujem obitelji i prijateljima, koji su me hvalili i kudili kad je trebalo te mi bili moralna podrška.

Također se želim zahvaliti profesorima, asistentima i kolegama koji su mi pomogli u tijeku mog studiranja, a osobito mentoru prof.dr.sc. Siniši Mastelić-Iviću te asistentu Hrvoju Tomiću dipl.ing.geod. koji su mi pomogli u izradi ovog rada.

I. Autor

Ime i prezime: Igor Burić

Datum i mjesto rođenja: 14.11.1978. Zagreb

II. Diplomski rad

Predmet: Geodetski radovi u hidrotehnici

Naslov: Vodni sustavi slivnog područja rijeke Zrmanje

Mentor: prof. dr. sc. Siniša Mastelić Ivić

Voditelji: prof. dr. sc. Siniša Mastelić Ivić i dipl. ing. Hrvoje Tomić

III. Ocjena i obrana

Datum zadavanja zadatka: 15.09.2004.

Datum obrane: 10.04.2006

Sastav povjerenstva pred kojim je
branjen diplomski rad:

1. prof. dr. sc. Siniša Mastelić Ivić
2. prof. dr. sc. Miodrag Roić
3. doc. dr. sc. Marko Džapo

Vodni sustavi slivnog područja rijeke Zrmanje

Igor Burić

Sažetak: U ovom diplomskom radu je objašnjena izrada hidrograma velikih voda u nekom povratnom razdoblju za sliv rijeke Zrmanje. U tu svrhu korišteni su sljedeći podaci: površina sliva, duljina toka, prosječni pad sliva, faktor krša, te faktor geoloških karakteristika terena. Najveći problem kod određivanja velikih voda je što se niti jedan model ne može primjeniti na sve slivove, jer svaki sliv ima svoje specifičnosti. Izračun je rađen prema metodi Srebrenovića koja je orijentirana na naše područje (slivove Save, Drave, te priobalnog kraškog područja).

Ključne riječi: Zrmanja, Sliv, Hidrogram, Vodni val, Srebrenović.

Water systems of river Zrmanja catchment area

Abstract: This graduation thesis explains the making of hydrographs for large bodies of water in a periodic interval for river Zrmanja catchment area. For this purpose the following data were used: catchment area, the length of the flow, the average decrease of catchment area, karstic factor and the geological characteristics of the terrain. The biggest problem with analysing large bodies of water is that none of the models can be applied to all the catchment areas, since each of them have their own specific qualities. The method by Srebrenovic was used for the analysis, which refers to local areas (the rivers Sava and Drava catchment areas and submediterranean karst area).

Keywords: Zrmanja, catchment area, hydrograph, water regime, Srebrenovic.

Vodni sustavi slivnog područja rijeke Zrmanje

Igor Burić

S A D R Ž A J

1. UVOD	7
2. HIDROLOŠKI SUSTAVI	8
2.1. HIDROLOŠKI CIKLUS	8
2.2. VODE I NJIHOVA ZAŠTITA	9
2.3. ZRMANJA, GEOGRAFSKI POLOŽAJ I KARAKTERISTIKE SLIVA	9
2.3.1. <i>Sliv</i>	9
2.3.2. <i>Geografski položaj Zrmanje i prirodne karakteristike</i>	11
3. VELIKE VODE	14
3.1. UZROCI POJAVE VELIKIH VODA	14
3.2. PRORAČUN MAKSIMALNIH PROTOKA NA HIDROLOŠKI IZUČENIM SLIVOVIMA	15
3.2.1. <i>Reprezentativnost serije maksimalnih godišnjih vrijednosti protoka</i>	15
3.2.2. <i>Empirijske funkcije raspodjele</i>	16
3.3. PRORAČUN MAKSIMALNIH PROTOKA VODE NA HIDROLOŠKI NEDOVOLJNO IZUČENIM SLIVOVIMA	17
3.4. PRORAČUN VELIKIH VODA NA SLIVOVIMA BEZ HIDROLOŠKIH PROMATRANJA	18
3.4.1. <i>Racionalna metoda</i>	18
4. HIDROGRAMI VODNIH VALOVA	23
4.1. KLASIČNI NAČINI ODREĐIVANJA HIDROGRAMA VODNIH VALOVA	23
4.1.1. <i>Metoda Reitz-Kreps</i>	23
4.1.2. <i>Shematizacija hidrograma po Goudrich-ovoj raspodjeli</i>	24
4.1.3. <i>Jedinični hidrogram</i>	27
4.1.4. <i>Sintetički hidrogram</i>	30
4.2. MODELSKI PRISTUPI ODREĐIVANJA HIDROGRAMA	33
5. SREBRENOVIĆEVA METODA	35
5.1. BRZINA KRETANJA VODNOG VALA I VRIJEME KONCENTRACIJE	35
5.1.1. <i>Vrijeme propagacije vodnog vala</i>	35
5.1.2. <i>Vrijeme koncentracije</i>	35
5.2. PRORAČUN MAKSIMALNIH PROTOKA	36
5.2.1. <i>Maksimalni protok malih slivova</i>	36
5.2.2. <i>Maksimalni protoci velikih slivova</i>	37
5.2.3. <i>Protok vodnog vala u vremenu t</i>	37
5.3. HIDROGRAM VODNOG VALA NA RIJECI ZRMANJI	40
5.3.1. <i>Korišteni podaci</i>	40
5.3.2. <i>Određivanje vremena koncentracije</i>	41
5.3.3. <i>Određivanje maksimalnih protoka</i>	41
5.3.4. <i>Protoci vodnih valova</i>	42
6. ZAKLJUČAK	46



6.1. SADRŽAJ PRILOŽENOG MEDIJA (CD-A).....	47
--	----

Literatura

Životopis

1. Uvod

Hrvatska spada među zemlje koje posjeduju velike zalihe slatke vode po glavi stanovnika. Prema pisanju časopisa Hrvatske vode koji prenosi podatke iz stranih stručnih izvora, Hrvatska raspolaže godišnje po stanovniku sa gotovo 16000 kubičnih metara vode.

Voda služi za opskrbu stanovništva vodom za piće, protupožarne potrebe, navodnjavanje, plovidbu i još mnogo drugih stvari, te se zbog toga s pravom smije reći da je «voda izvor života» i to ne samo za čovjeka, nego za svako živo biće. Iz tog razloga je potrebno zaštititi vodna područja. Država to čini nizom propisa: Državni plan za zaštitu voda, Uredbe o opasnim tvarima u vodama, Uredbi o klasifikaciji voda, Pravilnik o graničnim vrijednostima pokazatelja i drugih tvari u otpadnim vodama, Pravilnika o obračunu i plaćanju naknade za zaštitu voda i Odluci o visini naknade za zaštitu voda.

Vodni resursi se razlikuju od ostalih prirodnih resursa po svojoj mogućnosti neprekidnog obnavljanja. Ključni zadatak kod proučavanja vodnih resursa je taj da se otkriju zakoni po kojima se odvijaju prirodni procesi.

Budući da svaki sliv ima svoje zakonitosti, vrlo je teško pa i nemoguće odrediti jedan model koji će odgovarati svim slivovima. Zbog toga se proučavanje uglavnom obavlja raznim statističkim analizama, bilo oborina ili velikih voda.

Prema UNESCO-vu i WMO-vu rječniku hidroloških pojava (1986.) velika voda se definira na tri načina:

- kao povišenje (obično naglo) vode u vodotoku do najviše vrijednosti, od koje razina vode počinje polagano opadati.
- kao velik tok vode mjeren visinom vodostaja ili veličinom protoka.
- kao rastuća plima.

U ovom diplomskom radu će se objasniti jedna od najvažnijih radnji u hidrotehničkim projektiranjima, a to je određivanje velikih voda u nekom povratnom razdoblju, potrebna za određivanje rizika od poplava, na slivu rijeke Zrmanje.

Srebrenovićeva metoda je odabrana jer su statističke analize vršene za naše područje. U njegova istraživanja su uključeni slivovi Save, Drave, te priobalnog područja krških rijeka, u koji spada i rijeka Zrmanja.

2. Hidrološki sustavi

Hidrološki sustav se sastoji od niza objekata: voda (mreže rijeka i potoka, podzemnih voda, jezera i mora), tla, biljaka i ostalih pojava unutar porječja koji su u stalnom međusobnom odnosu.

2.1. Hidrološki ciklus

Voda je na Zemlji u stalnom kružnom gibanju kroz hidrološki ciklus (Slika 1.). Isparavanjem sa velikih vodenih površina (oceana, mora, jezera, rijeka i sl.), zemlje i biljaka voda odlazi u gornje slojeve atmosfere gdje se kondenzira u obliku oblaka, da bi se kao atmosferske padaline (kiša, snijeg) ponovno vratila na zemlju. Globalno promatrano, ukupna količina padalina je jednaka količini isparene vode. Međutim, distribucija padalina i isparavanja nije jednaka iznad mora, oceana i kopna. Sa mora i oceana više ispari vode, a manje se vraća u vidu padalina dok je iznad kopna obrnuto. Intenzitet padalina iznad pojedinih područja kopna je različit i ovisi o geografskoj širini, prirodnoj vegetaciji i blizini vodenih površina i vodenih tokova. Po pravilu, u predjelima sa većom nadmorskom visinom, u predjelima koji su pokriveni šumama i iznad urbanih područja ima više padalina. Pustinske oblasti, koje su bez vegetacije, godinama su bez padalina. Dio vode koja u vidu padalina dolazi na kopno ponire, dio otječe potocima i rijekama, dio ostaje kao površinska voda (jezera, močvare), a dio ponovo ispari u atmosferu.



Slika 1. Kruženje vode u prirodi

2.2. Vode i njihova zaštita

Vode su jedno od najvažnijih prirodnih bogatstava i važan čimbenik u zaštiti okoliša. Stoga očuvanje njihove kakvoće i količine predstavlja za našu zemlju jedan od temelja razvoja i strateških prednosti u budućnosti. Stanje voda u Hrvatskoj u cjelini je zadovoljavajuće, a veća odstupanja u kvaliteti, tj. onečišćenja i zagađenja, uočena su u blizini većih gradskih ili industrijskih središta, većih poljoprivrednih površina te važnijih prometnih pravaca. Stanje mora odstupa od propisanih vrijednosti u blizini većih gradova, luka i turističkih središta.

Zakon određuje da su vode opće dobro i nisu u ničijem vlasništvu, te imaju osobitu zaštitu republike Hrvatske. Obveza je svih čuvati njezinu kakvoću, štedljivo je i razumno koristiti.

Vode u Hrvatskoj pripadaju Crnomorskom (62%) i Jadranskom slivu (38%). Državni vodotoci iznose 3.900 km, a lokalni 17.000 km. Ukupno u Hrvatskoj ima 58 višenamjenskih akumulacijskih jezera.

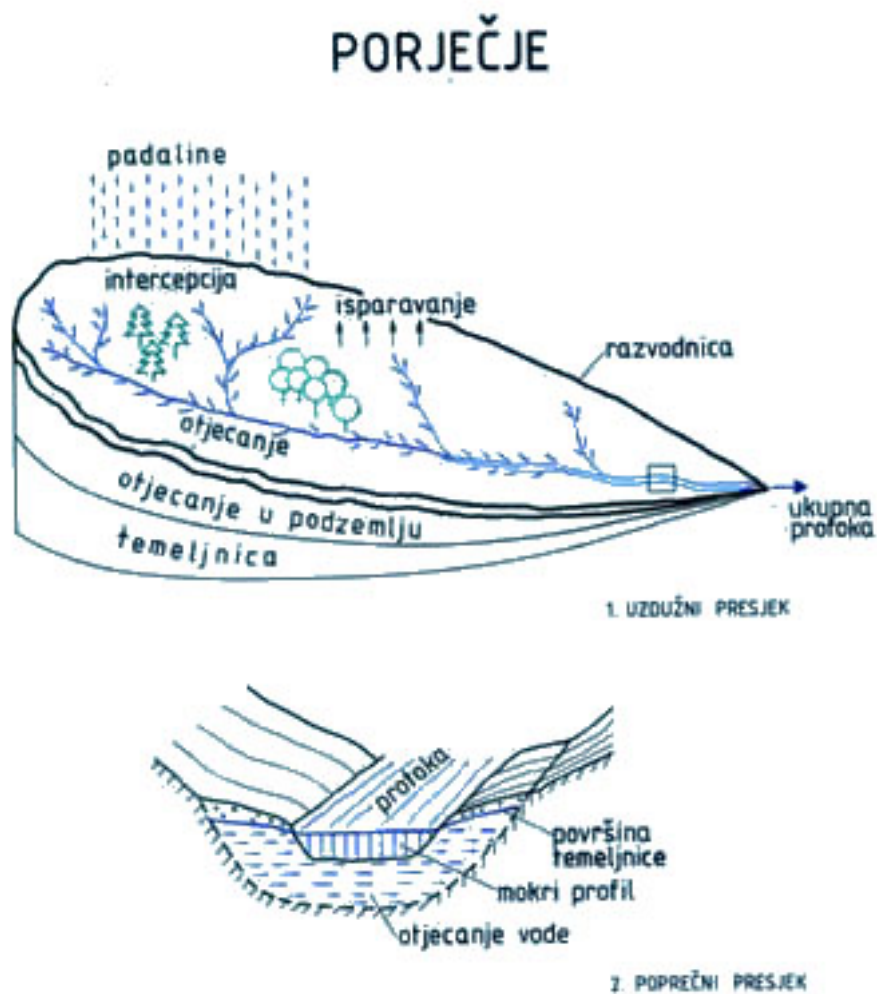
Hidromelioracijski odvodni sustavi – ima 6.600 km kanala, 76 crpnih stanica, a 6000 ha sa sustavima za navodnjavanje. Ribnjaci zauzimaju ukupno 13.500 ha. Na kanalizacijski sustav priključeno je 40 posto stanovništva, dok se iz javnih sustava za vodoopskrbu snabdijeva 76% stanovništva. Potražnja za vodom u posljednjih 11 godina u Hrvatskoj porasla je 7 puta. Iako je Zemlja planeta sa velikom količinom vode ona sadrži samo 0,26 posto lako dostupne slatke vode, tako da dvije trećine čovječanstva muči nedostatak pitke vode. Prema procjenama više od 5 milijuna ljudi godišnje umire od bolesti uzrokovane nedostatkom vode, njezinim onečišćenjem ili lošom kvalitetom, od čega je najviše djece.

Podzemne vode u kršu su visoke kvalitete. To je rezultat s jedne strane činjenice da je najveći dio krša u Hrvatskoj i područje s najvećom količinom oborina, tako da se vode redovito obnavljaju, a u podzemlju borave kratko i u čistom, karbonatnom mediju, tako da zadržavaju visoki stupanj čistoće i kvalitete. Osim toga najveći dio krškog područja u Hrvatskoj je slabo naseljen, bez industrije i bez značajnije poljoprivredne proizvodnje, pa je mogućnost onečišćavanja vode s površine terena relativno mala. No s druge strane, ako dođe do prodora zagađenja u krško podzemlje, to se zagađenje zbog hidrogeoloških značajki krškog podzemlja, odnosno zbog velikih brzina tečenja podzemne vode vrlo brzo širi, a zbog toga što nema filtracije i pratećih procesa kakvi postoje u stijenama s međuzrnskom poroznošću, pročišćavajući kapacitet krša je vrlo mali, pa su s tog aspekta vode u kršu ugrožene (Mayer, 2005.).

2.3. Zrmanja, geografski položaj i karakteristike sliva

2.3.1. Sliv

Sliv ili porječje je važan činitelj koji utječe na oblikovanje dotjecanja vode u vodotok i na veličinu protoke u njemu. To je oborinsko područje ili ona površina tla s koje se slijeva oborinska voda u vodotok (Slika 2.).



Slika 2. Sliv ili porječje

Fizičke karakteristike sliva su sadržane u njegovoj:

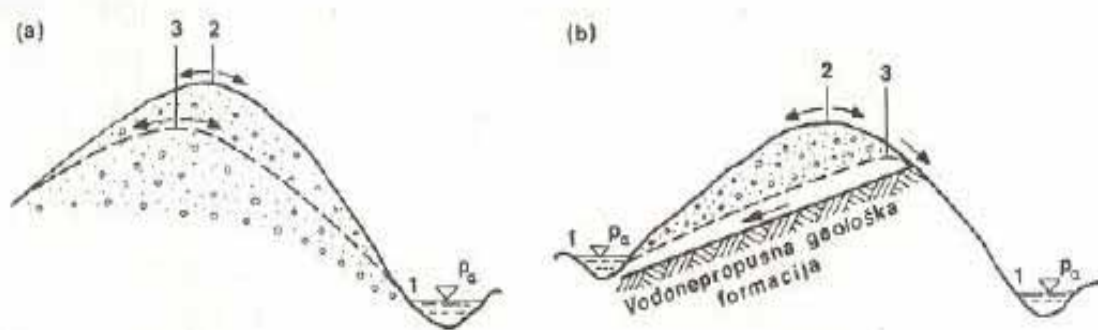
- Veličini
- Obliku
- Padu
- Visinskim odnosima u slivu
- Gustoći rječne mreže
- Geološkim činiocima
- Osobinama tla
- Vegetaciji
- Utjecaju ljudskog rada

Granicu sliva čini razvođe, a ono može biti:

- Topografsko
- Hidrološko

Topografsko razvođe prelazi po najvišim točkama, npr. grebenima planina, brežuljaka ili prirodnih uzvisina. Određuje se sa digitalnog modela terena ili topografske karte.

Hidrološko razvođe je razvođe podzemnog tečenja koji se ne može odrediti sa karte. Izraziti primjer kod nas je područje krša, npr. dio oborina koje padnu na sliv Zrmanje ne slijevaju se u samu rijeku nego poniru i odlaze ravno u more. (Slika 3.) prikazuje odnos topografske i hidrološke vododjelnice.



Slika 3. Odnos topografske i hidrološke vododjelnice

2.3.2. Geografski položaj Zrmanje i prirodne karakteristike

Zrmanja (Slika 5.) je tisućljećima probijala svoj put prema moru. Dubeći pri tom tvrdu vapnenačku podlogu stvorila je jedan od najimpozantnijih kanjona i украсila ga brojnim slapovima i slapištima, sedrenim pragovima, beskonačnim siparima i šljunčanim nanosima. Vrelo Zrmanje nalazi se podno vrha Poštaka (395m), od izvora preko jugo-istočnih granica Velebita da ušća u Novigradskom moru Zrmanja je dugačaka 69 kilometara. Međutim, geografski položaj rijeke u prošlosti se znatno razlikovao od današnjeg. U geološkoj prošlosti do prije nekih 40 000 godina Zrmanja je svojim danas fosilnim koritom, kod Mokrog polja otjecala u rijeku Krku. Danas između tih dviju rijeka postoji samo podzemna veza. Podzemne vode Zrmanje koje izviru iz nekoliko vrela kod slapa Miljacka na rijeci Krki, očito znatno utječu na vodni režim srednjeg toka Zrmanje. S toga je za ljetnih suša dio toka od Mokrog polja do Crnog bunara, pa čak i nizvodno prema Žegarskom polju potpuno bez vode. Ovdje naglo mijenja svoj smjer tečenja te ispod Kravljeg mosta u oštrom luku skreće u pravcu zapada, vijugajući naizmjenično kroz manja krška polja i kanjone. Prolazi kroz Mokro polje, Ervenik i Žegarsko polje, nakon kojega zadržava smjer tečenja prema zapadu, te prima pritoku Krupu. Nizvodno od

Obrovca Zrmanja postepeno skreće u smjeru jugozapada te utječe u Novigradsko more.



Slika 4. Vrelo Zrmanje

Vrelo Zrmanje (Slika 4.) nalazi se na 395 m nadmorske visine a ušće u Novigradskom moru, što obzirom na ukupnu dužinu toka (69 km), znači da je prosječan pad rijeke 5,7 m na kilometar. Porijeklo Zrmanje prilično je široko. Iako rijeka prima najveći dio vode iz planine Poštak znatan je i utjecaj voda koje poniru na rubovima polja kod Gračaca te se javljaju u obliku vrela i pritoka koji se odvodnjavaju u Zrmanju. Srednji protok rijeke Zrmanje u izvorišnom dijelu kod Palanke iznosi 5,2 m/sec, a na donjem dijelu toka kod Jankovića buka uzvodno od Obrovca čak 40 m/sec što je uvjetovano pritokom Krupom i brojnim vrelima. Sa geološkog aspekta Zrmanja je također vrlo interesantna. Slivno područje Zrmanje je prema geološkim istraživanjima izgrađeno uglavnom od vapnenaca i dolomita. Vodopropusne stijene izgrađene su od vapnenaca iz geološkog razdoblja mezozoika, tj. trijasa, jure i krede (prije 220 do 140 milijuna godina). Malo propusne stijene izrađeni su od dolomita i pločastih vapnenaca iz geološkog razdoblja jure, dok su vodonepropusne stijene klastične, sastavljene od pješčenjaka, škriljaca, lapora i dolomita. Kao što je već prije rečeno prije otprilike 40 000 godina Zrmanja je utjecala u Krku. To znači da su se najveće geološke promjene dešavale upravo u posljednjih 40 000 godina. Geolozi pretpostavljaju da se u razdoblju od 40 000 godina do unatrag otprilike 8 000 godina odvijala najsnažnija erozija koja je rezultirala stvaranjem današnjeg korita rijeke Zrmanje. Također je današnje ušće u Novigradsko more uvjetovano podizanjem razine morske vode, koje je nastupilo nakon posljednjeg ledenog doba.



Slika 5. Zrmanja

3. Velike vode

Velika voda je jedno od karakterističnih stanja vodnog režima koje je posljedica naglog dizanja razine vode, odnosno pojavljivanja tzv. poplavnih vodnih valova. Količine vode se naglo povećavaju do velikih protoka, a zatim opadaju do srednjih odnosno niskih voda. Naglo povećanje razina vode izaziva plavljenje okolnih područja (Slika 6.), a njezin najviše dosegnut protok se naziva velika voda.



Slika 6. Poplava Zrmanje u Obrovcu

3.1. Uzroci pojave velikih voda

Uzroci pojave velikih voda mogu biti:

- Jake kiše posljedica kojih ovisi o njihovoj jačini, rasprostiranju, trajanju i pravcu kretanja.
- Topljenje nagomilanoga snijega.
- Uslijed pogrešnog rukovanja pokretnim ustavama na branama.
- Uslijed rušenja izgrađenih brana ili nasipa.
- Uslijed rušenja prethodno odronom stvorenih brana.
- Uslijed promjene vodnog režima na pritokama i stvaranja koincidencije pojave voda na glavnom vodotoku i pritokama.
- Uslijed formiranja ledenih barijera na rijekama.

- Usljed zaustavljanja i nagomilavanja drveća zbog nedovoljne propusnosti mostova i sl.
- Usljed pojave vjetra na ušćima velikih rijeka i mora (s utjecajem plime) i dr.

Prema UNESCO-vu i WMO-vu rječniku hidroloških pojava (1986.) velika voda se definira na tri načina:

- kao povišenje (obično naglo) vode u vodotoku do najviše vrijednosti, od koje razina vode počinje polagano opadati.
- kao velik tok vode mjeren visinom vodostaja ili veličinom protoka.
- kao rastuća plima.

Po toj je definiciji velika voda ekstremna pojava definirana vodostajem, sekundnim protokom ili volumenom u određenome vremenskom razdoblju opažanja ili je utvrđena kao vjerojatnost pojavljivanja u određenim vremenskim razdobljima (Ožanić 2002.).

3.2. Proračun maksimalnih protoka na hidrološki izučenim slivovima

Hidrološki izučeni profil je profil vodotoka, gdje postoje dovoljno duge serije pouzdanih mjerenja vodostaja i protoka. To su serije duže od 15-20 godina, dok za pouzdano stohastičko zaključivanje o pojavama velikih voda rijeđih javljanja i daleko dulje. Pouzdanost promatranih podataka sagledava se na dvije razine. Prije svega nužno je da se mjernim instrumentom korektno zabilježi hod praćene veličine (najčešće vodostaj), Potrebno je isto tako izmjerene podatke o vodostajima pouzdano prevesti u protoke, ukoliko se radi o najčešćem hidrološkom zadatku – proračunu maksimalnih protoka. Osnovna je pretpostavka da na analiziranom profilu imamo dovoljno dugu i pouzdanu seriju promatranih hidroloških podataka, posebno u domeni registriranih velikih voda. Kod takvih se proračuna najčešće koriste serije maksimalnih godišnjih protoka. Maksimalni godišnji protoci su vrijednosti maksimalnih protoka vodotoka na nekom profilu tijekom godine. Tako formirana serija predstavlja osnovu za sve dalje analize maksimalnih protoka. Te se analize temelje na praktičnoj primjeni teorije matematičke statistike i teorije vjerojatnosti pojavljivanja.

3.2.1. Reprezentativnost serije maksimalnih godišnjih vrijednosti protoka

Pretpostavimo li da serija maksimalnih protoka predstavlja realizaciju stohastičkog procesa, neophodno je da se prije praktičnog korištenja serije ispita njezina statistička struktura u smislu identifikacije razdoblja pojavljivanja većih ili manjih maksimalnih protoka.

Za to se koristi najjednostavnija procedura definiranja modulnih odstupanja od srednje vrijednosti, ili se praktično primjenjuje spektralna teorija slučajnih procesa. Razdoblje od dva ili tri puna ciklusa usvaja se za dužinu reprezentativne serije. Jedan puni ciklus obuhvaća oba razdoblja, sušno i kišno. Uz to reprezentativna vremenska serija mora biti takve dužine da sadrži pouzdane statističke parametre (Ožanić 2002.).

Neophodno je da relativna srednja kvadratna odstupanja statističkih parametara ne budu veća od 10 %, što se računa:

- za srednju vrijednost:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot 100$$

- za koeficijent varijacije:

$$\sigma_{c_v} = \left(\frac{c_v}{\sqrt{2n}} \sqrt{1 + c_v^2} \right) \cdot 100$$

- za koeficijent asimetrije:

$$\sigma_{c_s} = \sqrt{\frac{\sigma}{n} (1 + 6c_v^2 + 5c_v^4)} \cdot 100$$

gdje su:

$\bar{Q}$ = srednja vrijednost serije maksimalnih godišnjih protoka Q_{max}

σ = standardna devijacija serija Q_{max}

C_v = koeficijent varijacije serija Q_{max}

C_s = koeficijent asimetrije serije Q_{max}

n = ukupan broj članova serije Q_{max}

Vremenska serija može se smatrati reprezentativnom ako obuhvaća bar dva puna ciklusa i ako relativne srednje greške prikazanih parametara (maksimalnih protoka) zadovoljavaju postavljeni uvjet.

3.2.2. Empirijske funkcije raspodjele

Empirijska funkcija raspodjele $P^*(x)$ slučajno promjenjive X , predstavlja zakon promjene učestalosti događaja $X > x$ u razmatranom slučajnom uzorku:

$$P^*(x) = p^*(X > x) = p^*; \text{ a } p^* = \frac{m}{n}$$

Gdje je:

p^* = učestalost događaja empirijske funkcije $X > x$

m = broj elemenata u slučajnom uzorku koji zadovoljavaju uvjet $X > x$

N = ukupna veličina uzorka

Empirijska funkcija raspodjele računa se neposredno na osnovu kronološkog niza podataka (članova vremenske serije) koji su međusobno nezavisni. U praksi je uobičajeno da se članovi vremenske serije najprije uredi po opadajućim vrijednostima (Ožanić 2002.). Za proračun empirijske vjerojatnosti u hidrološkoj se praksi koriste približne formule, od kojih su u nastavku dane dvije:

- Hazena

$$P_m^* = \frac{m - 0,5}{N}$$

- Čegodajeva

$$P_m^* = \frac{m - 0,3}{N + 0,4}$$

Povratni period m-tog člana u nizu izračuna se:

$$T_m = \frac{1}{P_m^*}$$

Dimenzija povratnoga razdoblja ovisi o načinu formiranja osnovne serije slučajne promjenjive. Ako je serija formirana korištenjem samo jednoga podatka u godini (npr. max. god. protok), tada se povratno razdoblje izražava u godinama.

Povratno razdoblje označava prosječni interval vremena unutar kojega se, sa vjerojatnošću $P(x)$, ocjenjuje da će slučajna promjenjiva X biti jedanput veća od x . Tako npr. ako vjerojatnost slučajne promjenjive X , iznosi $P(x) = 0,02$ povratno razdoblje je:

$$T(x) = \frac{1}{P(x)} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ godina}$$

Za određivanje teorijskih vrijednosti maksimalnih godišnjih protoka određene vjerojatnosti pojavljivanja u praksi se vrši prilagođavanje teorijskih funkcija raspodjele empirijskim podacima. Najčešće se koriste sljedeće teorijske funkcije raspodjele slučajne promjenjive X : normalna, Log-normalna, Gumbelova, Pearson III i Log Pearson III zakoni raspodjele, a testiranje kvalitete prilagođavanja empirijskih i teorijskih funkcija raspodjele provodi se nekim od standardnih testova – npr. Smirnov-Kolmogorova. Numerička rješenja funkcija raspodjele koja se koriste u praksi uglavnom su dana tablično, odnosno njihove su funkcije ugrađene u rutine računalnih programa kojima se provode takvi proračuni.

3.3. Proračun maksimalnih protoka vode na hidrološki nedovoljno izučenim slivovima

Proračun maksimalnih protjecanja vode na hidrološki nedovoljno izučenim slivovima temelji se na analizi svih raspoloživih hidrometeoroloških podataka promatranja kako na analiziranom slivu, tako i na susjednim, analognim slivovima. Posebno se to odnosi na potrebu da se uz raspoložive nizove hidroloških

podataka, uglavnom kraćih razdoblja motrenja, detaljno analiziraju oborinske podloge značajki pojava kratkotrajnih jakih oborinskih intenziteta.

Napominje se, da su hidrološka promatranja, bez obzira na njihovu dužinu, dragocjeni fond informacija sa sliva koja mogu dati prvu sliku o procesima otjecanja koji se dešavaju u slivu. Na organizaciji tih promatranja uvijek treba inzistirati, jer organizacija i vršenje ovih promatranja daleko manje košta nego greške u hidrološkim proračunima.

Ovisno od dužine i obima sistematskih hidrometeoroloških promatranja na analiziranom vodotoku, proračun maksimalnih protoka voda može se provesti:

- objedinjavanjem pojedinih parametara velikih voda sa više hidroloških stanica
- uključivanjem više maksimuma pojavljenih u periodu promatranja – analizom serija prekoračenja maksimalnih protoka, a koja se analize i inače treba nastojati provoditi i na hidrološkim postajama na kojima su raspoloživi dugotrajniji nizovi opažanja.
- koristeći hidrometeorološke podatke u periodu promatranja na danom profilu i slivu, primjenjujući teoriju jediničnog hidrograma

3.4. Proračun velikih voda na slivovima bez hidroloških promatranja

Kada hidrološki podaci ne postoje, proračun velikih voda se vrši primjenom raznih metoda koje se temelje na teorijskim predstavama o procesima formiranja otjecanja.

Proračun velikih voda na slivovima se dijeli u dvije grupe:

1. Metode temeljene na teorijskim prikazima o formiranjima procesa otjecanja na padini sliva i u koritu vodotoka (teorija izokrona).
2. Metode temeljene na korištenju iskustvenih spoznaja o glavnim elementima otjecanja i faktorima koji ga uvjetuju.

Pošto su hidrološki procesi vrlo složeni, u praksi se najčešće koristi racionalna metoda i metoda jediničnog hidrograma.

3.4.1. Racionalna metoda

Racionalna metoda se koristi za područja od najviše 60 ha površine. Prema racionalnoj metodi, najveća količina oborine će se pojaviti kada je vrijeme padanja oborina jednako vremenu koncentracije.

$$Q_{\max} = C \cdot i \cdot A - \text{opća formula}$$

gdje je:

$Q_{\max}$ - maksimalni protok

- C - racionalni koeficijent ili koeficijent otjecanja
i - intenzitet oborine
A - površina sliva

Intenzitet oborine je veličina oborine u vremenu. Mjerodavni intenzitet oborine (i) je funkcija vremena koncentracije sliva (t_c) i povratnog razdoblja PP.

$$i = i(t_c, PP)$$

Intenzitet oborine pomoću izraza Faira i Geyera:

$$i = \frac{c \cdot P^m}{(t + d)^n}$$

gdje su:

- i – intenzitet oborina [l/s/ha]
PP – povratni period [godine]
t – trajanje oborina [min]

c, m, n, d – parametri u funkciji lokalnih klimatoloških karakteristika – određuju se metodom najmanjih kvadrata, uz korištenje podataka o izmjerenim intenzitetima različitih trajanja.

Vrijeme koncentracije sliva je vrijeme koje je potrebno da kiša koja padne u najudaljenijoj točki sliva stigne do mjesta opažanja protoka.

Vrijeme koncentracije je manje što je:

- vodonepropusnost veća
- nagib terena veći
- uređenost površinske odvodnje bolja
- povratno razdoblje veće

Vrijeme koncentracije sliva (Z.P. Kirpich, 1940):

$$T_c = 0,00032 \cdot L^{0,77} \cdot I_{\max}^{-0,385} \quad [\text{sati}]$$

gdje je:

- L – najveća duljina putovanja vode [m]
 $I_{\max}$ – pad sliva

$$I_{\max} = \frac{\Delta H}{L_{\max}}$$

ΔH [m] – visinska razlika između najviše točke na slivu i izlaznog profila

Povratno razdoblje je broj godina u kojima će se maksimalni godišnji protok dogoditi, s time da ga može i nadmašiti. Koje će se povratno razdoblje uzeti ovisi o stupnju sigurnosti koji želimo postići za neki zahvat ili objekt na slivu. Npr. za stogodišnji povratni period je stupanj sigurnosti 1%.

Racionalni koeficijent (C) predstavlja odnos između maksimalnog protoka $Q_{\max}$, umnoška intenziteta kiše (i) i površine (A).

Veličina racionalnog koeficijenta ovisi o:

- klimatskim karakteristikama područja
- karakteristikama slivne površine
- infiltraciji
- gubicima na raslinju i u depresijama
- evapotranspiraciji

Tablica 1. Vrijednosti racionalnog koeficijenta C (V. T. Chow, 1988)

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.)							
trava pokriva manje od 50% površine							
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							
Obradivo tlo							
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

U slučaju raznih vrsta površina u slivnom području računa se srednji koeficijent C_{sr} na sljedeći način:

$$C_{sr} = \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

gdje su:

$C_1, C_2, \dots, C_n$ - racionalni koeficijenti različitih tipova ili vrsta površina

$A_1, A_2, \dots, A_n$ - pripadajući dijelovi određenog tipa ili vrste površine



Slivna površina je površina s koje voda dotječe do protjecajnog profila razmatranog vodotoka.

4. Hidrogrami vodnih valova

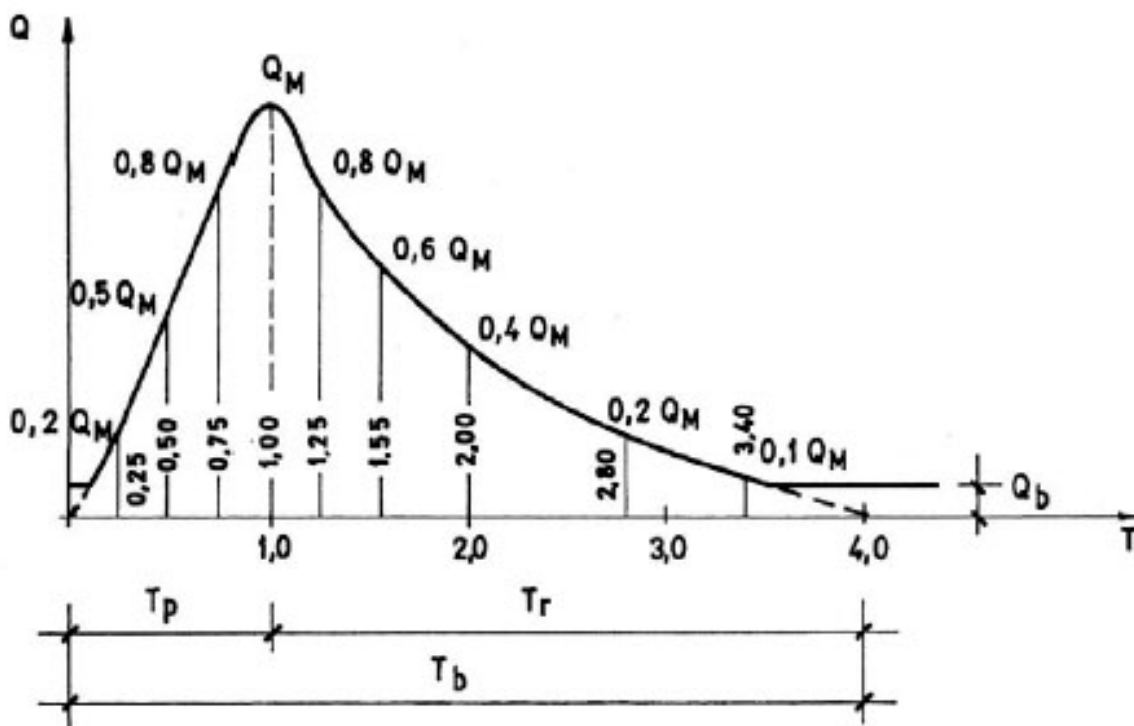
Hidrogram je grafički prikaz sekundnog protoka kroz izlazni presjek u vremenu. Njegov oblik ovisi o zemljopisno-fizikalnim i klimatskim činiocima slivnog područja.

Oblik i veličina vodnog vala ovisni su o brojnim parametrima koji se određuju analizom značajki sliva i jakih oborina.

4.1. Klasični načini određivanja hidrograma vodnih valova

4.1.1. Metoda Reitz-Kreps

Ovo je jedna od prvih metoda čija je primjena počela na području Hrvatske. Na osnovu obrade podataka o velikim vodama alpskih slivova dan je oblik hidrograma velikog vodnog vala u općem obliku, prikazanom na slici (Slika 7.).



Slika 7. Hidrogram vodnog vala prema H. Krepsu (1943)

Gdje je:

T_p - vrijeme podizanja vodnog vala

$$T_p = 0,872 \cdot A^{0,4} \quad [\text{sati}]$$

A - površina sliva [km²]

V - volumen vodnog vala [m³]

$$V = 5400 \cdot Q_m \cdot T_p$$

Q_m - vršni protok hidrograma [m³ / s]

T_b - trajanje vodnog vala [sati]

$$T_b = 4 \cdot T_p$$

Vrijeme podizanja vodnog vala odredio je Kreps za slivove u Austriji na kojima nema prirodnih retencija u kojima se voda zadržava i na taj način produljuje vrijeme podizanja T_p .

4.1.2. Shematizacija hidrograma po Goudrich-ovoj raspodjeli

Shematizacija hidrograma velikih voda može se vršiti primjenom zakona raspodjele po Goudrich-u (Petković, Prohaska, 1990), pa se u tom slučaju izražava jednačinom:

$$Q_i = Q_{\max,p} \cdot 10^{-a \frac{(1 - \frac{t_i}{T_p})^2}{\frac{t_i}{T_p}}}$$

gdje su:

$Q_{\max,p}$ - maksimalni protok vjerojatnosti p%

T_p - vrijeme porasta valova

Q_i, t_i - tekuće koordinate hidrograma

a - parametar koji zavisi o koeficijentu oblika hidrograma

$$\lambda = \frac{Q_{\max,p} \cdot T_p}{W_{\max,p}}$$

gdje je:

$W_{\max,p}$ - volumen hidrograma

Svakom koeficijentu oblika hidrograma λ odgovara određena veličina koeficijenta nesimetričnosti K_m .

$$K_s = \frac{\bar{W}}{W_{\max,p}} = \frac{\bar{h}}{h_{\max,p}} = f(\lambda)$$

gdje je:

$\bar{W}, \bar{h}$ - volumen (sloj otjecanja) za period porasta hidrograma

$h_{\max,p}$ - ukupan sloj otjecanja

(Tablica 2.) prikazuje nekoliko vrijednosti parametara a , K_s i λ .

Tablica 2. Vrijednosti parametara $a = f_1(K_s) = f_2(\lambda)$

K_s	0,193	0,231	0,262	0,289	0,310	0,328	0,343	0,355	0,367	0,377
λ	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
a	0,210	0,325	0,460	0,615	0,800	1,010	1,245	1,515	1,800	2,100

K_s	0,385	0,392	0,399	0,405	0,410	0,414	0,423	0,430	0,435	0,439
λ	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
a	2,46	2,82	3,22	3,65	4,10	4,60	5,53	6,75	8,00	9,41

Ako je poznata veličina K_s , tada se iz tablice može odrediti λ , a zatim po izrazu za λ odrediti računsko vrijeme porasta valova kao:

$$T_p = \frac{0,278 \cdot \lambda \cdot h_{\max,p}}{q_{\max,p}}$$

gdje je:

$q_{\max,p}$ - maksimalni koeficijent otjecanja $[m^3 / sm^2]$

$h_{\max,p}$ - sloj otjecanja $[mm]$

Koeficijent K_s može se odrediti na osnovu podataka sa sličnih rijeka ili pomoću trokutnog hidrograma i ovisnosti:

$$K = \frac{T_r}{T_p} = f(F)$$

tada je:

$$K_s = \frac{1}{1+K}$$

K - koeficijent odnosa vremena recesije i vremena porasta velikih vodnih valova ($K>1$) koji se lako može dovesti u vezu s površinom sliva.

Sloj otjecanja možemo odrediti prema izrazu:

$$h_{\max,p} = \alpha \cdot P_{\max,dn,p} \psi(\tau) \quad [\text{mm}]$$

a volumen otjecanja:

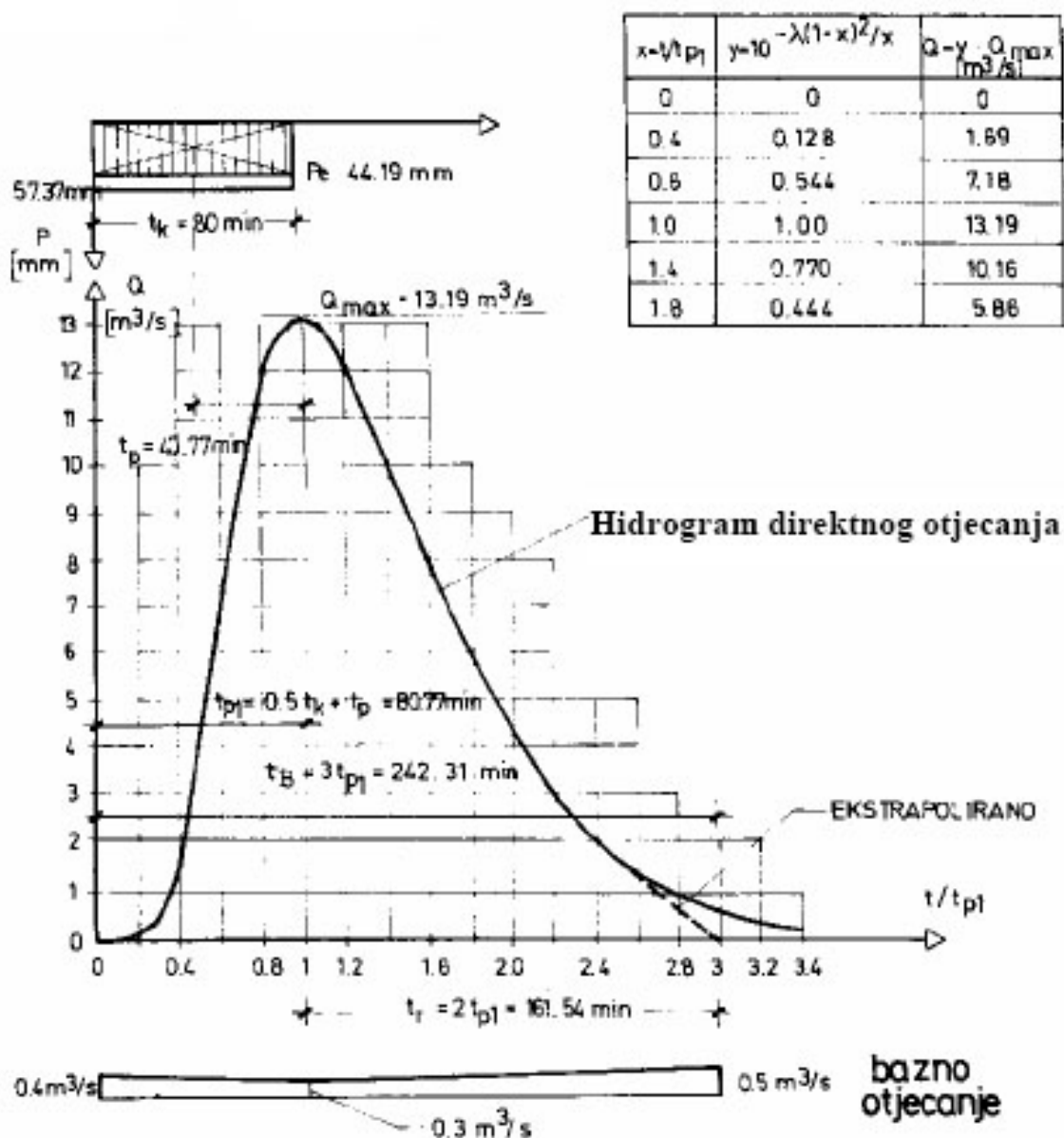
$$W_{\max,p} = 1000 \cdot h_{\max,p} \cdot F \quad [\text{m}^3]$$

gdje su:

$\psi(\tau)$ - ordinata redukcijske krivulje kiše

τ - vrijeme koncentracije kiše [min]

Primjer proračuna hidrograma oblika vodnog vala (Slika 8.) za sliv sa $Q_{\max} = 13,19 \text{ m}^3 / \text{s}$ iz Priručnika za hidrotehničke melioracije (Bonnaci, Roglić, 1985).



Slika 8. Hidrogram direktnog otjecanja

4.1.3. Jedinični hidrogram

Postupak jediničnog hidrograma temelji se na pretpostavci da vodni valovi površinskog otjecanja izazvani odvojenim kišama istog razdoblja, imaju približno jednaku vremensku osnovicu na hidrogramu, dakle približno isto trajanje otjecanja površinskih voda s promatranog sliva.

Idejni tvorac tog postupka Sherman (1932) je to objasnio na sljedeći način: «Jedinični hidrogram je površinsko otjecanje vode (bez učešća podzemnih voda) uslijed efektivne kiše koja padne u jedinici vremena na dati sliv».

Dijelom je to teorijska, a dijelom empirijska metoda koja objašnjava tu vezu, čije su osnovne postavke, odnosno usvojene aproksimacije (prema Srebrenović, 1986):

- Jake kiše koje uzrokuju otjecanje na određenom slivu jednakog trajanja dat će površinske hidrograme otjecanja sa približno istim vremenskim bazama, bez obzira na intenzitet oborina.
- Veličina ordinate koje u hidrogramu predstavljaju trenutnu protoku bit će proporcionalna s volumenom površinskog otjecanja kojeg proizvode kiše jednakog trajanja.
- Vremenska raspodjela otjecanja od dane kiše neovisna je o oborinama iz prethodnih razdoblja.

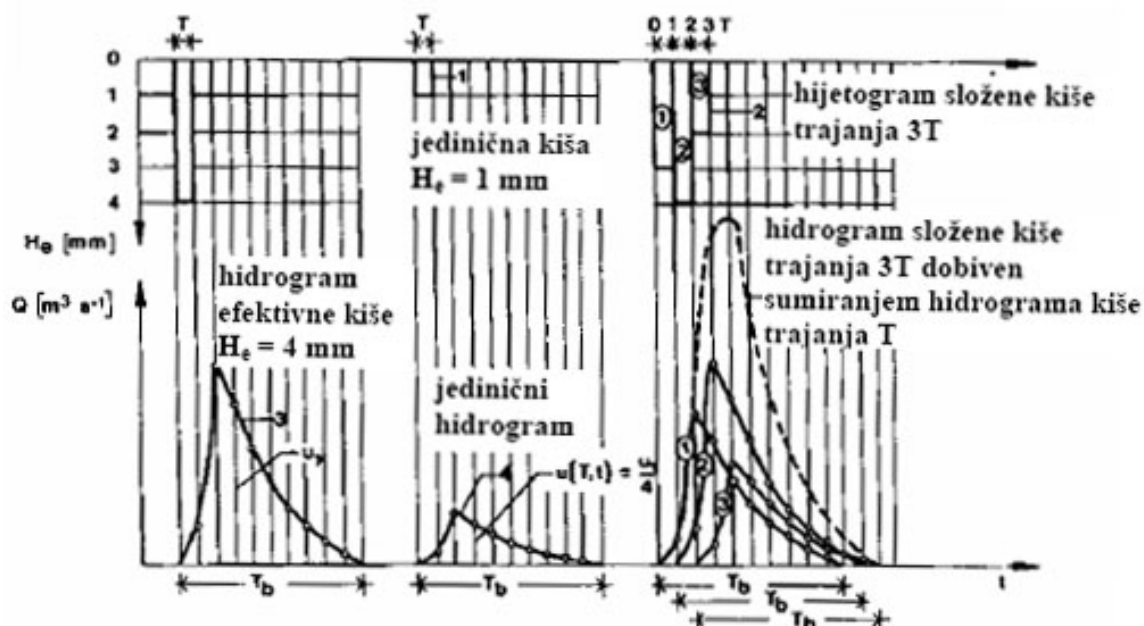
Postupkom jediničnog hidrograma zamjenjuju se statističke analize velikih voda statističkim analizama oborina, dakle pomoću jediničnog hidrograma se određuju hidrogrami kiša te otjecanje velikih voda različitog trajanja.

Zbog nedovoljno guste mreže pluviografa (instrument koji mjeri količinu padalina) postupak jediničnog hidrograma je kod nas relativno kasno našao svoju primjenu. Za izradu takvog hidrograma potrebno je odabrati takvu kišu koja je jednoliko raspoređena po slivu i da neposredno prije i poslije nije bilo kišnih razdoblja, zbog toga se da zaključiti da se metoda jediničnog hidrograma koristi na malim slivovima.

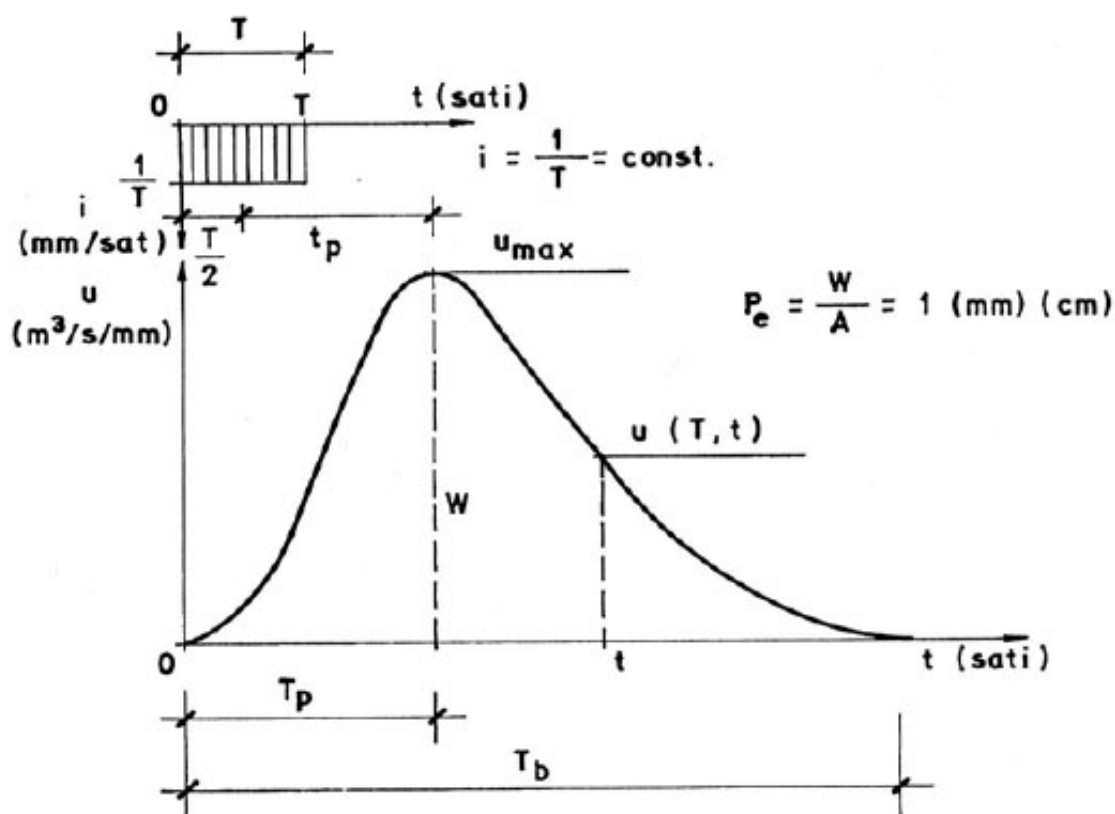
Hidrološki sustav je jedinstveni sustav koji se može po potrebi odvojeno analizirati. Ako se sustav podijeli na dva podsustava A i B, tada podsustav A određuje otjecanje na osnovi ukupno pale kiše i stanja sliva uoči te iste kiše, dok se podsustav B bavi samo jednim ulazom a to je efektivna kiša koja je izlazni podatak podsustava A. Izlaz iz podsustava B je predstavljen kao hidrogram površinskog otjecanja.

Model koji se najčešće koristi za tumačenje podsustava B je jedinični hidrogram, kome ulazni podatak predstavlja efektivnu kišu stalne jačine u nekom vremenu t .

(Slika 9.) predočava odnos između efektivne oborine jediničnog hidrograma i hidrograma složene efektivne oborine. U srednjem hidrogramu je prikazan hidrogram sloja efektivne kiše visine 1 mm, dok je u prvom hidrogramu prikazana efektivna kiša visine 4 mm, u trećem hidrogramu je prikazan hidrogram složene kiše kao suma prva dva hidrograma te trajanje kiše $3T$. Pretpostavimo li da se sliv ponaša kao linearan i ustaljen sustav ordinate u prvom dijelu u odnosu na drugi dio su četiri puta veće nego u prvom dijelu a vrijeme površinskog otjecanja je ostalo isto.



Slika 9. Odnos efektivne oborine jediničnog hidrograma i hidrograma složene efektivne oborine



Slika 10. T – satni jedinični hidrogram

Slika 10. Prikazuje zoran prikaz načela na kojem je zasnovana metoda jediničnog hidrograma. Hidrogram izravnog otjecanja sloja visine 1 mm ili 1 cm efektivne kiše jednolike jačine u vremenu T i jednoliko raspoređene po slivu naziva se T – satni

jedinični hidrogram. Kod ovog hidrograma vrijeme T ne smije biti veće od vremena koncentracije T_p . Jedinični hidrogram će se moći konstruirati za bilo koje trajanje u vremenu T , pri tome će se mijenjati samo njegov oblik.

U trenutku t ordinata $u=u(T,t)$, Ako se vrijeme trajanja kiše T smanji, jačina oborina se mora povećati, zbog toga što ukupna zapremina ostaje ista. U tom slučaju se vrh jediničnog hidrograma javlja ranije s povećanom ordinatom.

4.1.4. Sintetički hidrogram

Sintetički jedinični hidrogrami se koriste kada je potrebno izračunati Jedinični hidrogram na slivovima za koje ne postoje hidrološki podaci. Kod njih se koriste saznanja dobivena iz nekih sličnih mjerenja i njihovom analizom obuhvaćenih slivova.

Razvoj Sintetičkih jediničnih hidrograma se dijeli na metode koje uvažavaju različitost oblika jediničnih hidrograma za različite slivove i na metode koje polaze od pretpostavke da se svi jedinični hidrogrami mogu predstaviti jednom krivuljom ili familijom krivulja.

Metode koje uvažavaju različitost oblika jediničnih hidrograma za različite slivove:

- Snyder-ova metoda (1938)
- Clarkova metoda (1945)
- Nesh-ov model (1958)

Metode koje polaze od pretpostavke da se svi jedinični hidrogrami mogu predstaviti jednom krivuljom ili familijom krivulja:

- Commons-ova metoda (1942)
- Williams-ova metoda (1945)
- SCS (The Soil Conservation Service) metoda (1964)

Jedan od najpoznatijih postupaka za određivanje parametara sintetičkog jediničnog hidrograma dan je Snyder-ovim postupkom (1938), koji je razvijen analizom podataka s dvadeset planinskih slivova na istočnoj obali SAD-a.

Pojednostavljenje postupka Sintetičkog jediničnog hidrograma dala je američka institucija "The Soil Conservation Service (SCS)" svojom preporukom o upotrebi sintetičkog hidrograma u vidu trokuta (Slika 11.).

Trokutni sintetički hidrogram je definiran:

maksimalnim protokom:

$$Q_{\max,p} = U_{\max} P_{e,P}$$

vremenom porasta:

$$T_p = t_p + \frac{T_k}{2}$$

i vremenom opadanja:

$$T_r^* = K \cdot T_p$$

gdje su:

t_p - vrijeme zakašnjenja sliva

T_k - mjerodavno trajanje kiše

K - faktor sliva, koji je funkcija površine sliva

$U_{\max}$ - maksimalna ordinata jediničnog hidrograma

$P_{e,P}$ - efektivne oborine za trajanje kiše T_k


$$A \cdot P_e = \frac{Q_{\max} \cdot t_u}{2}$$

$$Q_{\max} = \frac{2 \cdot A \cdot P_e}{t_u}$$

A - površina
P_e - efektivna kiša
t_u - vrijeme volumena otjecanja

Postoje razni analitički izrazi za oblik sintetičkog jediničnog hidrograma. Važno je voditi računa da su parametri tog oblika izvedeni za različite regije i imaju lokalni karakter, na što treba posebno paziti kod primjene na drugim slivovima.

4.2. Modelski pristupi određivanja hidrograma

Modeliranje hidroloških sustava podrazumijeva aplikacije matematičkih i logičkih izraza koji definiraju odnose ulaznih (čimbenici koji utječu na formiranje tečenja) i izlaznih karakteristika (karakteristike tečenja).

Ta definicija pokriva sve pristupe, od empirijskih pristupa do modela utemeljenih na fizikalnim zakonima.

Pitanja iz domene upravljanja vodnim resursima koja se stavljaju pred hidrologe uključuju (Brezak, 2000):

- Raspoloživost vodnih resursa za određeni sliv
- Prostornu i vremensku raspodjelu količine i kvalitete voda
- Određivanje vodnih valova maksimalnog otjecanja
- Procjena količina vode potrebnih za navodnjavanje
- Određivanje volumena akumulacija
- Proračun zapunjavanja akumulacija nanosom
- Definiranje utjecaja ljudskih utjecaja ljudskih aktivnosti na hidrološki režim

Hidrološki modeli su jedan od najboljih načina da se odgovori na ova pitanja iz tog razloga je osnovni cilj modelskog pristupa osiguravanje točnih podataka koji su bitni za upravljanje vodnim resursima.

Razlikujemo dvije vrste hidroloških modela:

- Deterministički model
- Stohastički model

Deterministički modeli bave se opisom međudjelovanja i povezanosti različitih komponenti prostorno i vremenski promjenjivog hidrološkog sustava putem opće poznatih matematičkih izraza.

Stohastički modeli pak, podrazumijevaju transformaciju ulaznih veličina u izlazne bez razmatranja procesa zbog kojih se dogodila transformacija (Ožanić, 2003).

Modeli koji su najčešće korišteni na našim područjima:

- HEC – 1 model (Hydrologic Engineering Center)
- SSARR model
- Model Sacramento
- Model HBV

- Tank – model
- Modelski sustav oborine – otjecanje – PRMS
- MIKE 11 općeniti paket za modeliranje tečenja

Danas u hidrološkom modeliranju postoje razilaženja, dok jedni misle da je bolje razvijati nove modele, drugi misle da je bolje unaprijeđivati postojeće. U praksi se pokazalo da puno modela daje dobre rezultate, ali ne uvijek i zbog pravih razloga. Zagovornici pristupa da se modificiraju postojeći modeli, predlažu nadogradnju određenog broja odabranih, dovoljno pouzdanih modela koji bi na početku poslužili kao eksperimentalna područja.

5. Srebrenovićeva metoda

Dionis Srebrenović je pokušao utvrditi fizičku vezu između klimatskih elemenata, faktora sliva i površinskog otjecanja uz pomoć statističkih i fizikalno-hidroloških metoda. Problemi velikih voda imaju vrlo veliko značenje sa teorijskog i sa praktičnog stajališta.

Sa teorijskog gledišta on je najteži, jer je u njemu redovito sadržana hidrološka problematika u najkompleksnijoj formi, dok su s praktičnog gledišta zaključci o velikim vodama oni koji se najviše traže i koriste. Zadatak koji je razmatrao nigdje u svijetu nije dobio idealno rješenje, odnosno rješenje koje se može primjeniti na sve slivove. U pokušaju rješavanja velikih voda Srebrenović je proučavao slivove Save, Drave, te priobalno područje krških rijeka.

5.1. Brzina kretanja vodnog vala i vrijeme koncentracije

5.1.1. Vrijeme propagacije vodnog vala

Vrijeme propagacije ili brzina kretanja vodnog vala se može približno dati u obliku:

$$u = \frac{\partial Q}{\partial F}$$

gdje je:

Q - protoka

F - površina presjeka

Budući da je $Q=vF$

v - srednja brzina

bit će:

$$u = v + F \cdot \frac{\partial v}{\partial F}$$

Ovaj izraz pokazuje da je brzina propagacije veća od srednje profilske brzine.

Brzina vodnog vala (propagacije) se može odrediti na više načina npr. jednostavnim praćenjem pojave kulminacije maksimuma vodnog vala na gornjoj i donjoj strani, putem veze karakterističnih vodostaja dviju susjednih stanica itd.

5.1.2. Vrijeme koncentracije

Vrijeme koncentracije za neko slivno područje (bazen) je vrijeme koje je potrebno da voda dođe iz najudaljenijeg dijela bazena do izlaznog područja.

Vrijeme koncentracije τ za velike slivove je funkcija faktora F – veličine sliva, I – parametra pada i f – parametra krša.

Dakle:

$$\tau = \varphi(F, l, f)$$

Vrijeme koncentracije za male slivove razmatra se pod drukčijim uvjetima. Kod njegova formiranja uz već navedene faktore sudjeluje i kišni intenzitet kao mjerodavan faktor, jer je od vrlo velikog značaja za oblikovanje otjecanja po površini, dakle od neke točke do prirodnog recipijenta (rijeke ili pritoke). Prema tome se da zaključiti da se samo vrijeme koncentracije može podijeliti na dva dijela vrijeme površinskog tečenja (τ_1) i vrijeme tečenja po vodotoku (τ_2).

Konačni izraz za vrijeme površinskog tečenja glasi:

$$\tau_1 = \frac{20 \cdot \beta}{[H \cdot (1 + 1,5 \cdot \log P)]^{0,57} \cdot l^{0,43}} \quad [\text{sati}]$$

H - prosječna godišnja oborina

P - povratno razdoblje

l - prosječni pad sliva

β - faktor ovisan o geološkim karakteristikama terena i o obraslosti zemljišta, kreće se u rasponu od 1 do 3. Ako je 1 onda je to nepropusno tlo sa slabom vegetacijom, a 3 kod vrlo propusnog zemljišta obraslog gustom šumom.

Izraz za vrijeme tečenja po vodotoku glasi:

$$\tau_2 = 2,6 \cdot \left(\frac{F}{l}\right)^{\frac{1}{3}}$$

F - površina sliva

Konačni izraz za vrijeme koncentracije jednak je:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{20 \cdot \beta}{[H \cdot (1 + 1,5 \cdot \log P)]^{0,57} \cdot l^{0,43}} + 2,6 \cdot \left(\frac{F}{l}\right)^{\frac{1}{3}}$$

5.2. Proračun maksimalnih protoka

5.2.1. Maksimalni protok malih slivova

Budući da je kišni intenzitet funkcija trajanja kiše, uzet će se da je intenzitet i onaj koji odgovara vremenu koncentracije τ , jer se radi o malom slivu kod kojeg je trajanje kiše T, veće od vremena koncentracije τ .

Dobit ćemo da je vrijeme koncentracije τ :

$$\tau = \frac{20 \cdot \beta \cdot \omega}{[H \cdot (1 + 1,5 \cdot \log P)]^{0,57} \cdot l^{0,43}}$$

gdje je ω :

$$\omega = 1 + \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

Konačno dobijemo da je maksimalni protok $Q_{\max}$:

$$Q_{\max} = 0,48 \cdot \frac{\alpha}{(\beta \cdot \omega)^{0,75}} \cdot F^{0,96} \cdot (T \cdot (1 + 1,5 \log P))^{1,43} \cdot S^{0,33}$$

gdje je α koeficijent otjecanja jednak:

$$\alpha = 0,80 \cdot (1 + 0,075 \cdot (\log P - \beta))$$

5.2.2. Maksimalni protoci velikih slivova

Kod velikih slivova heterogenost raspodjele kiša u prostoru raste, kao i utjecaj interferencije valova. Oba navedena faktora djeluju isto, smanjuju specifične dotoke velikih voda iste frekvencije s povećanjem slivnog područja.

Maksimalni protok na velikim slivovima $Q_{\max}$ dobije se računom izjednačenja i glasi:

$$Q_{\max} = 0,45 \cdot F^{0,78} \cdot I^{0,15} \cdot H \cdot e^{-0,6f(1+0,4 \log P)} \cdot (1 + 1,25 \log P)$$

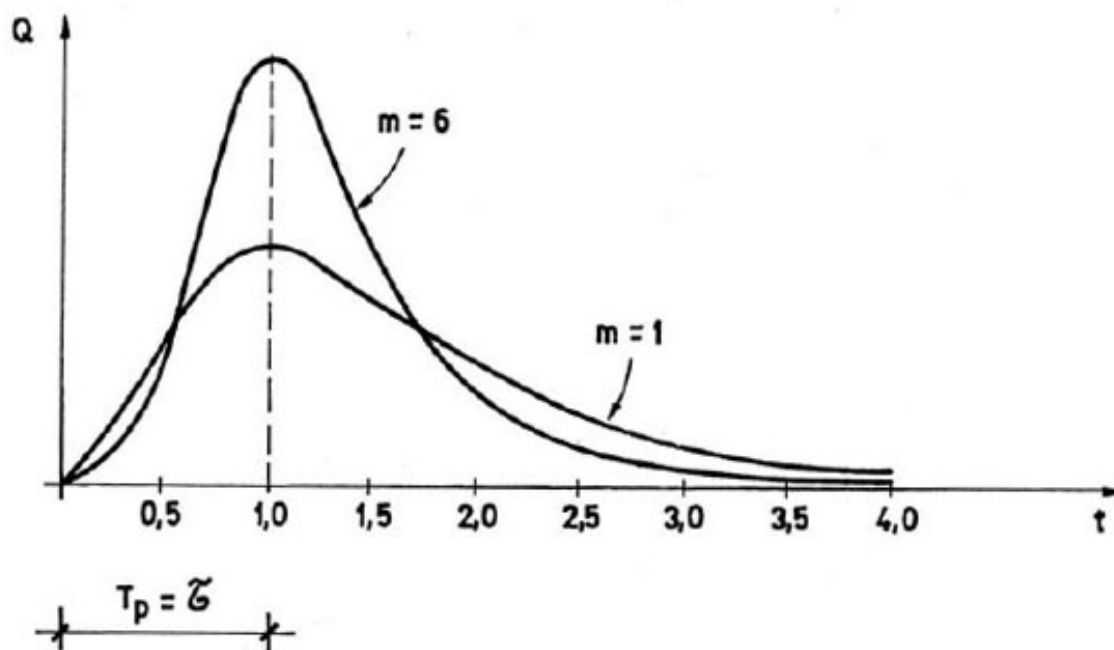
gdje je f faktor krša

5.2.3. Protok vodnog vala u vremenu t

Srebrenović je oblik hidrograma vodnog vala definirao pomoću tri parametra: maksimalnog protoka $Q_{\max}$, vremena koncentracije τ i koeficijenta oblika vodnog vala m . Protok vodnog vala u zadanome vremenu t je:

$$Q = Q_{\max} \cdot \left(\frac{t}{\tau}\right)^m \cdot e^{m \cdot (1 - \frac{t}{\tau})}$$

Budući da su maksimalni protok $Q_{\max}$ i koeficijent koncentracije τ poznati, nepoznat je jedino koeficijent vodnog oblika vodnog vala m , koji se kreće u granicama $m=1 - 6$. (Slika 12.) prikazuje karakteristične oblike hidrograma za $m=1$ i $m=6$.



Slika 12. Karakteristični oblici hidrograma velikih voda

Konačna formula za računanje vodnog vala definirana je:

ako je $t \leq \tau$ onda je:

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

ako je $t \geq \tau$ onda je:

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

gdje je n eksponent koji se mijenja sa povratnim razdobljem

$$n = 1,186 \cdot e^{\frac{0,146}{\log P}}$$

Ako se odnos baznog protoka Q_b i maksimalnog protoka $Q_{\max}$ označi sa φ onda je:

$$\varphi = \frac{Q_b}{Q_{\max}}$$

pa je volumen vodnog vala:

$$V = Q_{\max} \cdot \tau \gamma(\varphi, m)$$

za veličinu γ se na osnovu izraza za protok vodnog vala Q u vremenu t dobiva:

$$\gamma = 9450 \cdot m^{-0,515} (1 - \varphi)^{1,5} \cdot e^{-0,5\varphi}$$

Kada se ovaj izraz uvrsti u prethodni dobije se volumen vodnog vala:

$$V = 9450 \cdot Q_{\max} \cdot \tau \cdot m^{-0,515} \cdot (1 - \varphi)^{1,5} \cdot e^{-0,5\varphi}$$

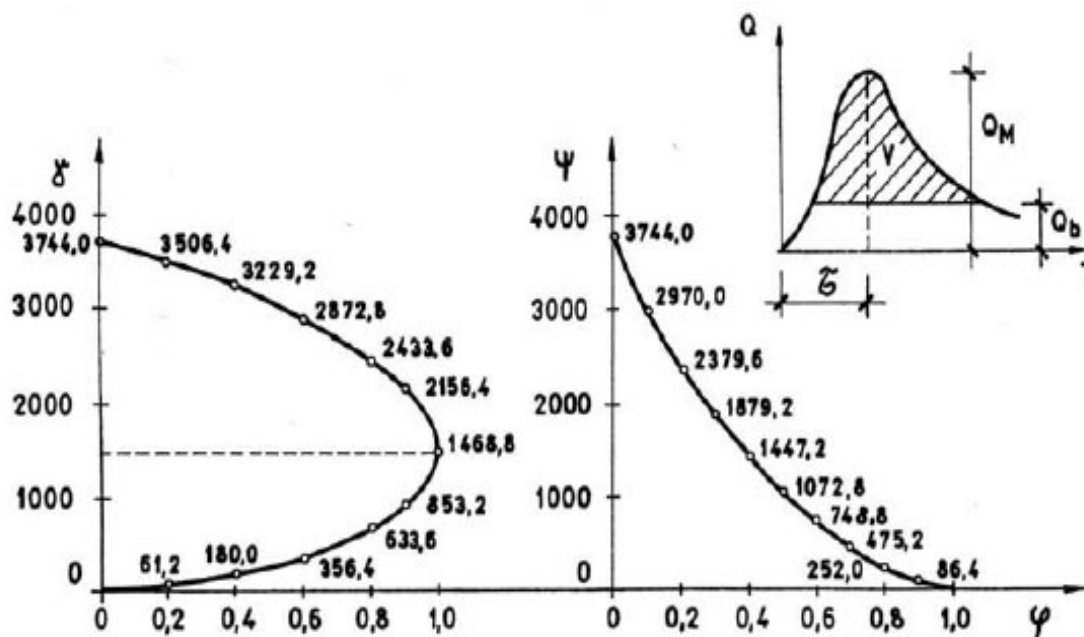
Parametar m je:

$$m = \left(\frac{9450 \cdot Q_{\max} \cdot \tau \cdot (1 - \varphi)^{1,5}}{V \cdot e^{0,5\varphi}} \right)^{1,94}$$

Da bi izračun parametra m bio moguć potrebno je znati volumen vodnog vala uslijed izravnog dotoka koji je:

$$V = Q_{\max} \cdot \tau \cdot \psi \quad [m^3]$$

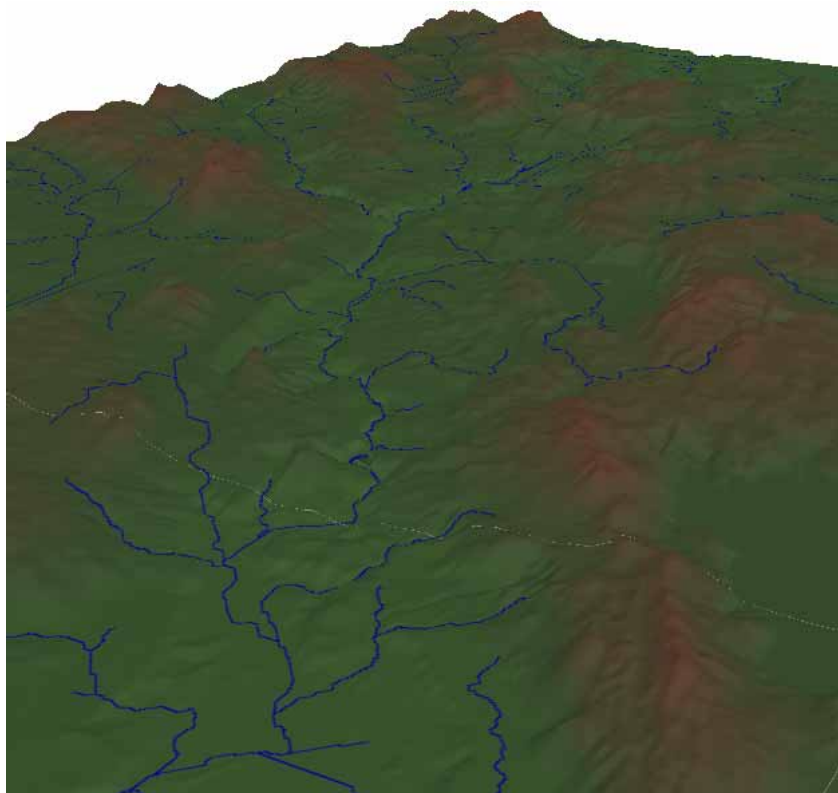
Veličina ψ , na osnovu koje se može izračunati koliki je volumen izravnog dotoka vodnog vala u zadanom vremenu t , prikazana je na slici kao funkcija $\varphi = Q_b / Q_{\max}$ (Slika 13.).



Slika 13. Odnosi $\gamma = f(\varphi)$ i $\psi = f(\varphi)$

5.3. Hidrogram vodnog vala na rijeci Zrmanji

Izračun diplomskog rada i određivanje hidrograma velikih voda rijeke Zrmanje izvršen je Microsoft Excelu, koji je sastavni dio programskog paketa Microsoft Office.



Slika 14. 3D Model slivnog područja rijeke Zrmanje

Nakon što su prikupljene sve ulazne veličine, krenuo sam u izračun diplomskog rada i to sljedećim redoslijedom:

- određivanjem površinskog tečenja
- tečenja po vodotoku
- vremena koncentracije
- maksimalnog protoka
- protoka u vremenu t

5.3.1. Korišteni podaci

Za izradu ovog diplomskog korišteni su podaci preuzeti iz «Prostorne baze podataka slivnog područja rijeke Zrmanje» (Čarapar, 2005). Dok su podaci za faktor krša preuzeti iz «HIDROGEOLOŠKE STUDIJE GRANIČNOGA PODRUČJA LIKA-DALMACIJA» koju je izradio "Institut za geološka istraživanja" iz Zagreba, 1993.godine.(Slika 14.) Prikazuje 3D model slivnog područja rijeke Zrmanje)

Tablica 3. Korišteni podaci

Površina sliva	F=	854	km2
Najviša točka sliva	h2=	395	m
Najniža točka sliva	h1=	0	m
Dužina toka	L=	69	km
Prosječni pad	I=	5,72	‰
Prosječna godišnja oborina	H=	1,302	m
Geološke karakteristike terena	β=	2,05	
Faktor krša	f=	0,77	

5.3.2. Određivanje vremena koncentracije

Vrijeme koncentracije je razdoblje potrebno da efektivna kiša dođe sa najudaljenije točke sliva do izlaznog presjeka.

To se razdoblje sastoji od dva dijela, površinskog tečenja i tečenja po vodotoku.

Srebrenović je formirao jednadžbu za površinsko otjecanje, vezanu za povratno razdoblje, te je pomoću iste izračunato površinsko tečenje:

$$\tau_1 = \frac{20 \cdot \beta}{[H \cdot (1 + 1,5 \cdot \log P)]^{0,57} \cdot I^{0,43}} \cdot$$

Dobivene su različite vrijednosti vezane za povratno razdoblje koje su se kasnije pridodale vrijednosti tečenja po vodotoku, koje je izračunato po formuli:

$$\tau_2 = 2,6 \cdot \left(\frac{F}{I}\right)^{\frac{1}{3}}$$

da bi se dobilo vrijeme koncentracije:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{20 \cdot \beta}{[H \cdot (1 + 1,5 \cdot \log P)]^{0,57} \cdot I^{0,43}} + 2,6 \cdot \left(\frac{F}{I}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Tablica 4. Podaci dobiveni izračunom

P=	2	5	10	25	50	100	godina
$\tau_1 =$	13,48	11,07	9,88	8,75	8,10	7,56	sati
$\tau_2 =$	13,79 sati						
$\tau =$	27,27	24,87	23,68	22,54	21,89	21,35	sati

5.3.3. Određivanje maksimalnih protoka

Maksimalni protok je najveća količina vode koja se može pojaviti na nekom slivu, a ovisna je o povratnom razdoblju, geografskim karakteristikama sliva, te prosječnoj godišnjoj količini oborina.

Određeni su maksimalni protoci sliva rijeke Zrmanje prema metodi Srebrenovića za velike slivove:

$$Q_{\max} = 0,45 \cdot F^{0,78} \cdot I^{0,15} \cdot H \cdot e^{-0,6f(1+0,4 \cdot \log P)} \cdot (1 + 1,25 \log P)$$

Tablica 5. Izračunati protoci:

P=	2	5	10	25	50	100	godina
Qmax=	143,03	222,38	292,17	397,33	486,63	584,34	m3/s

5.3.4. Protoci vodnih valova

Veličina vodnog vala je ovisna o vremenu, vremenu koncentracije te povratnom razdoblju.

Protoci Q su izračunati prema Srebrenovićevim izrazima za određivanje protoka, ovisno o tome da li je vrijeme manje ili veće od vremena koncentracije.

ako je:

vrijeme manje ili jednako vremenu koncentracije ($t \leq \tau$):

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

vrijeme veće ili jednako vremenu koncentracije ($t \geq \tau$):

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

Budući da su sada određeni parametri, potrebni za definiranje vodnih valova u određenom povratnom razdoblju (Tablica 6.). Na tablici su žutom bojom označene vrijednosti protoka u vremenu manjem ili jednakom vremenu koncentracije, te plavom bojom vrijednosti u vremenu većem ili jednakom vremenu koncentracije. Iscrtan je i hidrogram velikih voda slivnog područja rijeke Zrmanje što je bio i zadatak ovog diplomskog rada (Slika 15.).

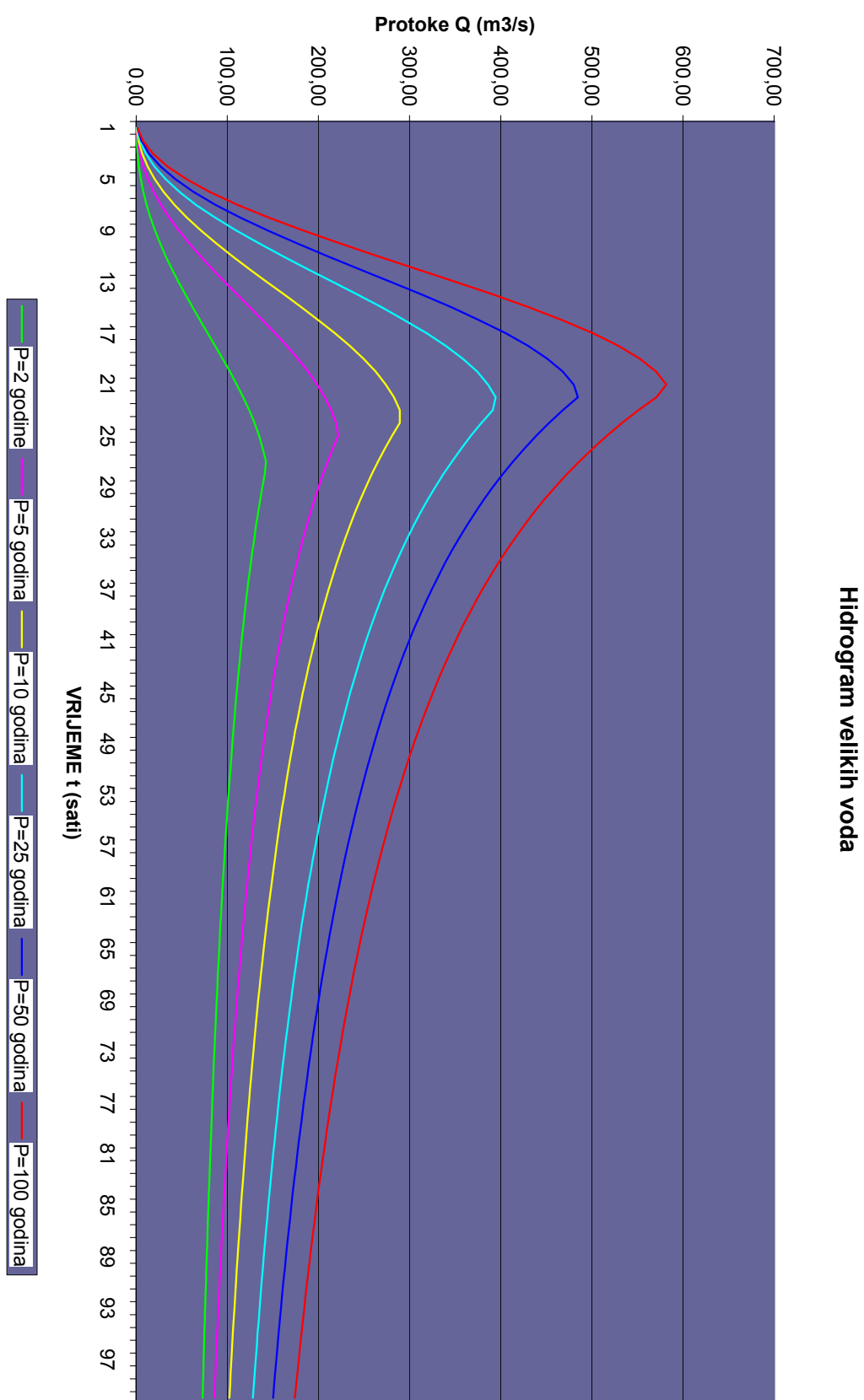


Tablica 6. Protoci u povratnom razdoblju

P=	2	5	10	25	50	100
t Sati	Q2 m3/s	Q5 m3/s	Q10 m3/s	Q25 m3/s	Q50 m3/s	Q100 m3/s
1	0,10	0,32	0,54	0,91	1,24	1,63
2	0,54	1,59	2,61	4,28	5,79	7,53
3	1,46	4,05	6,52	10,54	14,17	18,32
4	2,96	7,81	12,40	19,85	26,55	34,22
5	5,10	12,93	20,32	32,24	42,97	55,19
6	7,93	19,43	30,25	47,65	63,26	81,03
7	11,45	27,29	42,11	65,88	87,16	111,35
8	15,68	36,43	55,76	86,69	114,29	145,61
9	20,61	46,77	71,03	109,73	144,18	183,19
10	26,20	58,16	87,69	134,61	176,26	223,31
11	32,41	70,47	105,47	160,87	209,90	265,15
12	39,17	83,51	124,08	188,04	244,43	307,82
13	46,43	97,08	143,20	215,57	279,14	350,39
14	54,09	110,99	162,50	242,94	313,30	391,92
15	62,06	124,99	181,63	269,59	346,18	431,47
16	70,24	138,88	200,24	294,98	377,07	468,14
17	78,52	152,40	217,98	318,60	405,30	501,09
18	86,80	165,34	234,53	339,94	430,24	529,55
19	94,95	177,48	249,57	358,57	451,33	552,85
20	102,85	188,60	262,81	374,07	468,09	570,42
21	110,40	198,50	273,98	386,12	480,13	581,83
22	117,48	207,01	282,87	394,45	484,73	570,86
23	123,98	213,97	289,29	391,30	468,34	551,31
24	129,80	219,25	289,30	378,85	453,17	533,22
25	134,85	221,57	280,83	367,29	439,08	516,43
26	139,04	215,70	272,91	356,51	425,95	500,80
27	142,31	210,20	265,51	346,43	413,69	486,20
28	141,07	205,03	258,57	336,99	402,21	472,54
29	138,53	200,17	252,04	328,13	391,44	459,72
30	136,11	195,58	245,89	319,79	381,31	447,66
31	133,81	191,24	240,09	311,92	371,75	436,30
32	131,62	187,13	234,60	304,49	362,73	425,58
33	129,54	183,23	229,39	297,46	354,20	415,44
34	127,55	179,53	224,46	290,79	346,11	405,83
35	125,64	176,00	219,77	284,45	338,43	396,71
36	123,82	172,64	215,30	278,43	331,14	388,05
37	122,07	169,44	211,05	272,70	324,19	379,80
38	120,39	166,37	206,99	267,23	317,57	371,95
39	118,78	163,44	203,10	262,01	311,25	364,45
40	117,23	160,63	199,39	257,02	305,21	357,29
41	115,73	157,94	195,84	252,24	299,44	350,44
42	114,29	155,36	192,43	247,67	293,91	343,88
43	112,91	152,88	189,16	243,28	288,60	337,60
44	111,57	150,49	186,02	239,07	283,52	331,57
45	110,27	148,20	182,99	235,02	278,63	325,78
46	109,02	145,98	180,09	231,13	273,93	320,22
47	107,81	143,85	177,29	227,39	269,41	314,87



48	106,64	141,79	174,59	223,78	265,06	309,71
49	105,50	139,81	171,98	220,30	260,86	304,75
50	104,40	137,89	169,47	216,95	256,82	299,96
51	103,34	136,03	167,04	213,71	252,91	295,34
52	102,30	134,24	164,70	210,58	249,14	290,88
53	101,29	132,50	162,43	207,56	245,49	286,57
54	100,31	130,82	160,23	204,63	241,97	282,40
55	99,36	129,18	158,10	201,80	238,56	278,37
56	98,44	127,60	156,04	199,05	235,26	274,46
57	97,54	126,06	154,04	196,40	232,06	270,68
58	96,66	124,57	152,10	193,82	228,95	267,02
59	95,81	123,12	150,22	191,32	225,95	263,46
60	94,98	121,72	148,39	188,89	223,03	260,02
61	94,16	120,35	146,61	186,54	220,19	256,67
62	93,37	119,02	144,89	184,25	217,44	253,42
63	92,60	117,72	143,21	182,02	214,76	250,26
64	91,85	116,46	141,57	179,86	212,16	247,19
65	91,11	115,23	139,98	177,75	209,63	244,20
66	90,39	114,03	138,43	175,70	207,17	241,30
67	89,69	112,87	136,93	173,71	204,77	238,47
68	89,00	111,73	135,46	171,76	202,44	235,72
69	88,33	110,62	134,02	169,87	200,17	233,04
70	87,67	109,53	132,62	168,02	197,95	230,42
71	87,03	108,47	131,26	166,22	195,79	227,88
72	86,40	107,44	129,93	164,46	193,68	225,39
73	85,78	106,43	128,63	162,75	191,63	222,97
74	85,18	105,45	127,36	161,08	189,62	220,60
76	84,01	103,54	124,91	157,85	185,75	216,04
77	83,44	102,62	123,73	156,29	183,88	213,84
78	82,88	101,72	122,57	154,76	182,05	211,68
79	82,34	100,83	121,44	153,27	180,27	209,58
80	81,80	99,97	120,33	151,82	178,52	207,53
81	81,27	99,12	119,24	150,39	176,81	205,51
82	80,76	98,29	118,18	148,99	175,14	203,55
83	80,25	97,48	117,14	147,63	173,51	201,62
84	79,75	96,69	116,13	146,29	171,91	199,74
85	79,27	95,91	115,13	144,98	170,34	197,89
86	78,79	95,14	114,15	143,70	168,80	196,09
87	78,31	94,39	113,19	142,44	167,30	194,32
88	77,85	93,66	112,26	141,21	165,83	192,59
89	77,40	92,94	111,34	140,01	164,38	190,89
90	76,95	92,23	110,43	138,82	162,97	189,22
91	76,51	91,53	109,55	137,66	161,58	187,59
92	76,07	90,85	108,68	136,53	160,22	185,99
93	75,65	90,18	107,83	135,41	158,89	184,42
94	75,23	89,52	106,99	134,31	157,58	182,88
95	74,82	88,88	106,17	133,24	156,29	181,37
96	74,41	88,24	105,36	132,18	155,03	179,89
97	74,01	87,62	104,57	131,15	153,79	178,43
98	73,62	87,01	103,79	130,13	152,58	177,01
99	73,23	86,41	103,02	129,13	151,38	175,60
100	72,85	85,81	102,27	128,15	150,21	174,23



Slika 15. Hidrogram velikih voda rijeke Zrmanje

6. Zaključak

Cilj ovog diplomskog rada bio je odrediti hidrogram velikih voda u nekom povratnom razdoblju za sliv rijeke Zrmanje. U tu svrhu korišteni su sljedeći podaci: površina sliva, duljina toka, prosječni pad sliva, faktor krša, te faktor geoloških karakteristika terena preuzeti iz prostorne baze podataka slivnog područja rijeke Zrmanje (Čarapar 2005.).

Dobiveni hidrogram velikih voda može se iskoristiti za provođenje daljnjih istražnih radova koji su potrebni za sustav obrane od poplavnih voda na zemljištu pogodnom za razvoj intenzivne poljoprivrede ili izgradnju naselja na slivnom području rijeke Zrmanje.

Za hidrotehnička projektiranja neophodno je izučavanje svih uvjeta koji mogu utjecati na racionalno i ekonomično projektiranje nekog objekta. U tu svrhu vrše se hidrotehnička istraživanja i studije, jedna od tih istraživanja je i Hidrološka studija kojoj je hidrogram velikih voda sastavni dio

Najveći problem kod određivanja velikih voda je što se niti jedan model ne može primjeniti na sve slivove, jer svaki sliv ima svoje specifičnosti. Pa je upravo iz tog razloga metoda Srebrenovića bila idealna za ovaj slučaj. On u se u svojim istraživanjima vezao baš za naše područje (slivove Save, Drave i probalnog područja kraških rijeka u koji spada i rijeka Zrmanja).

Srebrenovićeva metoda se pokazala prilično efikasna u računanju velikih voda, iako u kraškom području problem predstavlja šupljikavost krša zbog koje dolazi do razilaženja između topološkog i hidrološkog razvođa, ali i uz to razilaženje Srebrenović tvrdi da pogreška neće biti veća od $\pm 10\%$.

6.1. Sadržaj priloženog medija (CD-a)

Na priloženom mediju pohranjeni su podaci korišteni pri izradi diplomskog rada i svi postignuti rezultati. Logički su organizirani prema smislu

RB.	Mapa/ Datoteka	Sadržaj
1	2	3
1.	Diplomski.doc	Tekst diplomskog rada
2.	Diplomski.pdf	Tekst diplomskog rada
3.	Diplomski.xls	Izračun hidrograma velikih voda

Literatura:

Čarapar I. (2005): Informacijski sustav za upravljanje slivnim područjem Zrmanje, diplomski rad, Geodetski fakultet, Zagreb.

Čavlek, E. (1992): Osnove hidrologije, knjigovežnica Karusel, Geodetski fakultet, Zagreb.

Čavlek E. (1985): Hidraulika, Liber, Zagreb.

Ožanić N. (2002): Velike vode, seminar Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka.

Ožanić N. (2003): Hidrogram velikih vodnih valova. Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, Knjiga I, Građevinski fakultet Rijeka, Rijeka.

Srebrenović, D. (1970): Problemi velikih voda. Tehnička knjiga, Zagreb.

Srebrenović, D. (1986): Primijenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb.

Žugaj, R., (2000.): Hidrologija, Rudarsko-geološko naftni fakultet Zagreb, Zagreb.

POPIS URL-ova:

URL 1. <http://www.crorivers.hr>, (veljača, 2006.)

URL 2. <http://geografija.hr>, (veljača, 2006.)

URL 3 <http://www.iwr.msu.edu/edmodule/water/cycle.htm> (veljača 2006)

URL 4 <http://www.groundwater.org/> (veljača 2006)



ŽIVOTOPIS

EUROPEAN CURRICULUM VITAE FORMAT



OSOBNE OBAVIJESTI

Ime	BURIĆ IGOR
Adresa	HVARSKA 11, 10000 ZAGREB, REPUBLIKA HRVATSKA
Telefon	0915256735
Faks	
E-pošta	iburic@geof.hr
Državljanstvo	Hrvatsko
Datum rođenja	14.11.1978.

RADNO ISKUSTVO

- Datum (od – do)
- Naziv i sjedište tvrtke zaposlenja
 - Vrsta posla ili područje
- Zanimanje i položaj koji obnaša
- Osnovne aktivnosti i odgovornosti

ŠKOLOVANJE I IZOBRAZBA

- | | |
|---|----------------------------------|
| • Datum (od – do) | RUJAN 1993. - LIPANJ 1997 |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Geodetska tehnička škola, Zagreb |
| • Osnovni predmet /zanimanje | |
| • Naslov postignut obrazovanjem | Geodetski tehničar |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije
(ako postoji) | |
-
- | | |
|---|------------------------------|
| • Datum (od – do) | RUJAN 1985. - LIPANJ 1993 |
| • Naziv i vrsta obrazovne ustanove | Osnovna škola Rapska, Zagreb |
| • Osnovni predmet /zanimanje | |
| • Naslov postignut obrazovanjem | |
| • Stupanj nacionalne kvalifikacije
(ako postoji) | |

OSOBNOSTNE VJEŠTINE I SPOSOBNOSTI

*Stecene radom/životom, karijerom, a
koje nisu potkrijepljene potvrdama i
diplomama.*

MATERINSKI JEZIK

HRVATSKI

DRUGI JEZICI

ENGLESKI

- sposobnost čitanja
- sposobnost pisanja
- sposobnost usmenog izražavanja

IZVRSNO

DOBRO

DOBRO

NJEMAČKI

- sposobnost čitanja
- sposobnost pisanja
- sposobnost usmenog izražavanja

IZVRSNO

DOBRO

DOBRO

TEHNIČKE VJEŠTINE I
SPOSOBNOSTI

*S računalima, posebnim vrstama
opreme, strojeva, itd.*

POZNAVANJE RADA U RAZLIČITIM CAD (AUTODESK, BENTLEY) I GRAFIČKIM APLIKACIJAMA (ADOBE),
PROGRAMSKOM PAKETU MICROSOFT OFFICE, PROGRAMSKOM PAKETU MACROMEDIA.

VOZAČKA DOZVOLA

Da, B kategorija