

Analiza recesijskog dijela hidrograma otjecanja rijeke Vrljike

Čakelić, Kate

Master's thesis / Diplomski 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:123:049100>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Kate Čakelić

Split, 2014.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Kate Čakelić

**Analiza recesijskog dijela hidrograma
otjecanja rijeke Vrljike**

Diplomski rad

Split, 2014.

SAŽETAK

Iako Republika Hrvatska slovi kao vodom jedna od najbogatijih država Europe, problemi smanjene mogućnosti korištenja raspoloživih vodnih rezervi, koje mogu biti posljedica negativnih klimatskih uvjeta (suša) ili pak negativnih promjena kakvoće vode (zagađenja), u posljednje vrijeme sve više su tema raznovrsnih analiza i rasprava. Područje krša, koje zauzima značajan dio površine države, karakterizira bogatstvo vodnog potencijala, no poradi manjih količina oborina na predmetnom području i relativno malog kapaciteta krških struktura, vodne zalihe su tijekom sušnih razdoblja ograničene, pa možemo reći da ova osobina u velikoj mjeri ima utjecaj na režim otjecanja vode, odnosno oblik recesijske krivulje. Ovim radom izvršena je hidrološka analiza tipične krške rijeke, rijeke Vrljike, a prema podacima izmjeranima na izvoru Opačac. Analiza obuhvaća osnovnu statističku obradu podataka o dnevnim protocima, izradu histograma učestalosti i krivulja trajanja. Rad iznosi rezultate i prikazuje postupke određivanja recesijske krivulje hidrograma otjecanja za rijeku Vrljiku u razdoblju od 1995. do 2010. godine, pri čemu je koeficijent recesije određen metodom konstrukcije krivulje pražnjenja definirane Mailletovom funkcijom pražnjenja. Analizirani su i točkasti podaci iz kojih se nastojalo definirati šire zakonitosti.

Ključne riječi:

rijeka Vrljika, stanica Opačac, krš, male vode, protok, hidrogram otjecanja, histogram učestalosti, krivulja trajanja, recesijska krivulja, koeficijent recesije

ABSTRACT

Although Croatia is considered as the water one of the richest countries in Europe, the problems about reduced possibility of using available water reserves, which may be result of negative climatic conditions (drought) or negative changes in water quality (pollution), more and more are the subject of various analysis and discussions. Karst region, which occupies a significant part of the state surface is characterized by the affluence of water potential, but because small amount of rainfall in the area and relatively smaller capacity of karst structures, water supplies during dry periods are limited, so we can say that this characteristic significantly influence on the regime of flowing and recession curve forming. This paper brings hydrological analysis of typical karst river, river Vrljika, according to data measured at the source Opačac. The analysis includes the basic statistical calculation of daily flows data, histogram frequency and duration curve. The paper presents the results and shows procedures for determination of the spring hydrograph recession curve of the river Vrljika in the period of 1995. to 2010., wherein the recession coefficient determined by the method of construction of discharge curve defined by Maillet discharge function. There are also given the point data analysis which tried to define a general principles.

Keywords:

river Vrljika, station Opačac, karst, small waters, flow, spring hydrograph, frequency curve, duration curve, recession curve, recession coefficient

Ovaj rad izrađen je kao diplomski rad, na dodiplomskom studiju konstruktorskog usmjerenja, Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, pod mentorstvom prof.dr.sc. Vesne Denić-Jukić.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. KRŠ	4
2.1. OPĆENITO	5
2.2. MORFOLOŠKI OBLICI	6
2.3. HIDROGEOLOŠKI OBLICI	8
2.4. KRETANJE VODE U KRŠU	10
2.5. ANALIZA HIDROGRAMA IZVORA I OBNAVLJANJA ZALIHA	13
PODZEMNIH VODA	13
3. MALE VODE	17
3.1. OPĆENITO	18
3.2. STATISTIČKA ANALIZA MALIH VODA	21
3.3. PODRUČNA I ANALIZA KRIVULJE TRAJANJA MALIH VODA	24
3.4. ANALIZA RECESIJSKE GRANE HIDROGRAMA	26
3.5. VODNOGOSPODARSKI ASPEKTI MALIH VODA	27
4. KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA	29
4.1. OPĆENITO	30
4.2. METEOROLOŠKI, GEOLOŠKI I HIDROLOŠKI PODACI	32
4.3. HIDROGEOLOŠKA SITUACIJA	36
5. HIDROLOŠKA ANALIZA	38
5.1. OPĆENITO	39

5.2. ANALIZA PROTOKA.....	40
5.3. KRIVULJE TRAJANJA PROTOKA I HISTOGRAMI UČESTALOSTI	43
6. KRIVULJA PRAŽNJENJA REZERV VODE.....	53
6.1. OPĆENITO.....	54
6.2. IZDVAJANJE RAZDOBLJA RECESIJE IZ HIDROGRAMA	59
OTJECANJA	59
6.3. KONSTRUKCIJA KRIVULJE RECESIJE DEFINIRANA FUNKCIJOM.....	68
PRAŽNJENJA PO MAILLETU	68
7. ZAKLJUČAK	92
8. PRILOZI.....	96
9. LITERATURA.....	113
9.1. TISKANA LITERATURA	114
9.2. ELEKTRONIČKA LITERATURA	114

1. UVOD

Republika Hrvatska slovi kao jedna od pitkom vodom najbogatijih zemalja u Europi. Iako je ova izjava u velikoj mjeri istinita, problemi smanjenja mogućnosti korištenja raspoloživih vodnih rezervi, koje mogu biti posljedica negativnih klimatskih uvjeta ili pak negativnih promjena kakvoće vode, u posljednje vrijeme sve su više tema raznovrsnih analiza i rasprava.

Ukupni procesi otjecanja unutar hidrološkog ciklusa, bilo da se promatra šire ili uže predmetno područje, osnova su za analizu pojave velikih i malih voda pojedinih izvora i riječnih tokova. Sustavi gospodarenja vodom i vodnim resursima, prema tome, ne mogu se promatrati odvojeno od svog okruženja, već je nužno u obzir uzeti sve vezane procese. Korištenje voda i efikasna zaštita kvalitete voda pod velikim su utjecajem režima malih voda riječnih tokova. Problemi pojave i trajanja malih voda kao i definiranje samog pojma male vode tijesno su povezani s fenomenom suše. Iako se u projektiranju hidroloških sustava najčešće koristi termin stogodišnje vode, s vremenom je čest izraz uvjetno postao i pojam stogodišnje suše. Učestale pojave suša u dobroj mjeri ukazuju na nužnost preraspodjele vodnog režima. Tako, nije osnovno poznavati samo maksimalne protoke kod pojave velikih voda kao jedan rubni uvjet pri dimenzioniranju, već i minimalne protoke kod pojave malih voda kao drugi rubni uvjet pri proračunu vodnih potencijala.

Razmatrajući navedeno, možemo uočiti činjenicu da su učestala sušna razdoblja postala dio svakodnevnog života, što rezultira da bitna stavka u gospodarenju vodnim resursima mora biti i gospodarenje u uvjetima naglašenih i dugotrajnih sušnih razdoblja. Kod rješavanja ovog problema, poseban značaj imaju analize hidroloških potreba, odnosno analize međudnosa u danim uvjetima, prognoze takvih razdoblja te preporuke za optimalno korištenje vodnih rezervi za čitav niz korisnika.

Kod efluentnih vodotoka, pri prestanku površinskog otjecanja, dolazi do podzemnog otjecanja vode, koja se sve više smanjuje i koja se, u ovisnosti o karakteristikama sliva, može održati kroz kraći ili duži niz vremena. Osobina terena da vodu koja se pojavila u slivu zadrži u podzemlju, predstavlja jednu od važnijih karakteristika sliva. Znatan dio kopnenog dijela Republike Hrvatske čini područje krša. Iako krš karakterizira bogatstvo vodnog potencijala, poradi manje količine oborina kao klimatske karakteristike predmetnog područja i relativno malog kapaciteta krških struktura, vodne su zalihe tijekom sušnih razdoblja ograničene, stoga možemo reći da ova osobina u velikoj mjeri ima utjecaj na režim otjecanja vode, odnosno oblik recesijske krivulje. Interesi za što većim kapacitetima vodnog potencijala unutar sušnih mjeseci u izravnoj su suprotnosti s raspoloživim vodnim rezervama. Time, sadašnji i budući problem jest definiranje značajki vodnih resursa u domeni malih voda. [1, 2]

Izračunavanje vjerojatnosti pojave malih voda metodom matematičke statistike vrši se na jednak način kao i za velike vode različitih povratnih razdoblja pri čemu se veličine za male

vode smanjuju s produljenjem povratnog razdoblja, odnosno minimalni godišnji protoci različitih povratnih razdoblja računaju se na temelju nizova minimalnih godišnjih protoka. Nizovi ulaznih proračunskih podataka moraju zadovoljiti kriterije statističke obrade.

U radu je obrađena osnovna problematika korištenja vodnih resursa u uvjetima trajanja malih voda. Izvršena je hidrološka analiza rijeke Vrljike kao reprezentativnog primjera krške rijeke. Prema podacima izmjeranima na izvoru Opačac, provedena je osnovna statistička obrada podataka o dnevnim protocima te su izrađeni histogrami učestalosti i krivulje trajanja.

Doprinos rada ogleda se u iznošenju rezultata i prikazu postupka definiranja recesijske krivulje hidrograma otjecanja i glavne krivulje recesije te prikazu postupka njene konstrukcije. Za izradu recesijske krivulje, tj. za određivanje koeficijenta recesije, korištena je metoda konstrukcije krivulje pražnjenja definirane Mailletovom funkcijom pražnjenja. Radom su analizirane recesijske krivulje dobivene na osnovi recesijskih dijelova hidrograma otjecanja tijekom 16-godišnjeg razdoblja (1995.-2010.). Analizirani su i točkasti podaci iz kojih se nastojalo definirati šire zakonitosti.



Slika 1.1.: Rijeka Vrljika

2. KRŠ

2.1. OPĆENITO

Rijeka Vrljika pruža se kroz tipično području krša, što rezultira potrebom dodatnog osvrta na svojstva ovog područja kao karakterističnog geološkog pojma. Iako se odnosom količina vode koja se kreće po površini, infiltrira u podzemlje te postotkom koji se neposredno vraća u atmosferu bavi hidrologija, bilanca podzemnih voda, intenzitet procjeđivanja te obnavljanje podzemnih voda u funkciji je ne samo klimatskih uvjeta već u velikoj mjeri ovisi i o općim geološkim te posebice hidrogeološkim odnosima promatranog prostora. To je predmet hidrogeologije, pa će i osvrt na krš biti razmatran kroz prizmu dva navedena pojma.

Krš je, općenito govoreći, naziv za skup morfoloških, hidroloških i hidrogeoloških značajki terena čiji je sastav stijenska masa topiva u vodi, odnosno masa sastavljena od karbonatnih stijena (vapnenaca i rjeđe dolomita), soli i gipsa te metamorfnih mramora. Krški predjeli obuhvaćaju oko 46 % površine Republike Hrvatske, no, unutar istog područja potrebno je istaknuti Dinarski krš koji je u svijetu poznat kao klasični tip krša, tj. "locus tipicus", a u kojem se nalazi i predmetni riječni tok.

Na temelju morfoloških i hidrogeoloških osobina, područje Dinarskog krša dijelimo na jadransko područje, područje visokog krša i unutrašnje područje. U jadranskom području vladaju sredozemne klimatske prilike s relativno malo oborina (600-1200 mm/god) koje su nepravilno raspoređene tijekom godine te s velikom evaporacijom i blizinom mora. Morfologija je zavrtana tektonikom, a pošto je u neogenu razina mora bila znatno ispod današnje morske razine, okršavanje je bilo moguće znatno dublje pa se moralo odraziti i na površinskoj i na podzemnoj morfologiji. U hidrogeološkom pogledu ovaj pojas karakteriziran je postojanjem velikog broja slatkih izvora, bočatih priobalnih izvora te podmorskih izvora, tj. vrulja, pri čemu su izvori stalni ili povremeni. Područje visokog krša obiluje oborinama (1000-4000 mm/god) koje su tijekom godine pravilnije raspoređene, pri čemu je dio oborina u obliku snijega pa nije rijetka pojava privremenih površinskih akumulacija vode. To je relativno uzdignuti teren s kompliciranom tektonikom pa su i hidrološki odnosi vrlo zamršeni. Neotektonskim relaksacijskim kretanjima često nastaje prodor starijih ili mlađih kompleksa prema površini te time dolazi do raskida prethodnih tektonskih struktura (navlaka) što dovodi do još kompliciranijih hidrogeoloških odnosa u trenu. Područje visokog krša u hidrološkom pogledu odlikuje se estavelam, ponornicama te velikim depresijama koje se dreniraju isključivo podzemno ili putem površinske drenaže kroz kanjonske dijelove. Značajan je i veći ili manji nesklad između površinske i podzemne razvodnice te se veliki problem javlja oko određivanja slivova. U zoni visokog krša razvodnica je Jadranskog i Crnomorskog sliva, no zbog kompleksnih hidrogeoloških odnosa nju je mjestimice vrlo teško odrediti. Unutrašnji pojas karakteriziran je znatno plićim kršem, površinskim vodotocima koji su mnogobrojni, a u svojoj građi ima više nekarbonatnih komponenti te se naziva i fluviokrškim pojasom. [3]

2.2. MORFOLOŠKI OBLICI

Morfološki oblici u kršu dijele se na površinske i podzemne krške oblike (slika 2.1.). Površinski krški oblici su škrape, vrtače ili ponikve, uvale ili suhe doline i krška polja, a u podzemne se ubrajaju jame, špilje i kaverne.

Škrape su najmanji, ali najbrojniji krški oblici na površini, veličine od centimetra do desetak metara, nastali erozijskim radom vode. Mogu biti u obliku žljebova ili mreža. Škrape u obliku žljebova nastaju zbog korozijskog djelovanja oborina na strmijim dijelovima golih karbonatnih blokova, dok one u obliku mreža nastaju na blago nagnutim i ravnim područjima gdje se nalaze male pukotine koje se pod utjecajem vode šire i produbljuju. Na blagim udubljenjima u kršu, kao posljedica korozijskog djelovanja vode, nastaju plitka udubljenja tj. kamenice. Teško prohodna područja golog krša s brojnim škrapama nazivamo škrapari ili ljuti krš. [3]

Vrtače ili ponikve uvalna su udubljenja nastala korozijskim i mehaničkim djelovanjem površinske i podzemne vode. Širina i dubina mogu biti od par do nekoliko stotina metara, a prema izgledu mogu biti tavaste, ljevkaste i bunaraste. Tavastim vrtačama promjer može biti do deset puta veći od dubine, kod ljevkastih je ta razlika manja, dok su kod bunarastih vrtača rubovi mnogo strmiji jer nastaju naglo ili postupnim urušavanjem. Vrtače se prema dnu sužavaju, izuzev bunarastih te im je dno pretežito prekriveno obradivom zemljom crvenicom. Najčešće se nalaze iznad razine podzemne vode. Brojnost vrtača ovisi o razlici u sustavu stijena, odnosno o razlomljenosti pojedinog krškog područja koji je nastao u geološkoj prošlosti. [3]

Uvale ili suhe doline su veće, izdužene, zatvorene forme s podzemnim odvodnjavanjem. Duljina uvale iznosi od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara, a širina je znatno manja. Postanak im je vezan uz znatnu tektonsku razlomljenost terena te mehanički i korozijski rad vode. Dno uvale nije ravno, a kroz uvale ne prolaze stalni vodotoci, već eventualno povremeni koji se nakon kratkog toka gube u podzemlju, što je posljedica činjenice da je razina podzemne vode zbog snažne karstifikacije niska i nikad se ili vrlo rijetko izdigne do površine, pa je prihranjivanje površinskog toka podzemnom vodom nemoguće. [3]

Krška polja su najveće i najznačajnije morfološke forme u kršu i predstavljaju ravne obradive površine u području dubokog dinarskog krša. To su velike depresije, dužine do nekoliko desetaka kilometara, a znatno manje širine. Duža os im se pruža paralelno pružanju glavnih tektonskih jedinica. Kroz većinu krških polja protječu stalni ili povremeni (bujični) vodotoci, poznati kao ponornice. Izvori tih vodotoka pojavljuju se na rubnom dijelu jedne strane polja, a na drugoj strani se ti tokovi gube nestajući u okršeno podzemlje. Zbog neujednačenosti kapaciteta izviranja i poniranja krška su polja gotovo uvijek plavljena u vlažnom razdoblju godine, a u sušnom pate od nedostatka vode. [3]



Slika 2.1.: Nadzemni i podzemni morfološki oblici

Jame su pretežito vertikalni krški kanali (nagiba većeg od 45°) koji se spuštaju duboko u karbonatni masiv. To su najmoćniji mehanizmi kroz koje voda cirkulira s površine u krško podzemlje. Jame, vrlo često smještene u nižim dijelovima polja, imaju funkciju ponora ili estavela, pri čemu se površinski vodotoci naglo i u potpunosti gube u podzemlju. Kapacitet ponora ovisan je o ulaznom dijelu, ali i o pukotinskom sustavu u zaleđu ponora te o dotoku vode sa strana. [3]

Špilje su pretežito horizontalne ili subhorizontalne podzemne šupljine (nagiba manjeg od 45°), otvorom spojene s površinom koje nastaju erozijskim i korozijskim radom podzemne vode. Većina špilja nastaje kada se u podzemnoj vodi nalazi slabo koncentrirana karbonatna kiselina koja otapa vapnenca po pukotinama i slojnim ploham, pri čemu se otvara špiljski sustav procesom ispiranja kalcita. Podzemna voda uglavnom je slabo kisela zbog otopljenog ugljičnog dioksida koji potječe iz atmosfere ili iz plinova u tlu. Većina špilja vjerojatno je nastala djelovanjem podzemne vode koja je cirkulirala ispod vodne plohe. Ako se razina podzemne vode snizi ili se zemlja izdigne iznad vodne plohe, tada se špilja počinje ispunjavati istaloženim kalcitom. Naslage kalcita koje izgrađuju špilje nastale kapanjem vode nazivaju se sige. U nekim dijelovima špilja vodeni tokovi se zadržavaju poput tanke prevlake na dnu špilje, pa time nastaju pločasti oblici iskristaliziranog kalcita. Dna većih špilja pokrivena su sedimentom, tj. rezidualnom glinom sitnozrnih čestica koja preostaju kao netopivi ostatak prilikom otapanja vapnenca. Drugi sedimenti koje je moguće naći na dnu špilja jesu krupnozrnati sedimenti nanoseni špiljskim tokovima, osobito kada površinski tokovi utječu u špiljski sustav kroz njegove otvore na površini. [3]

Kaverne su podzemne šupljine u kršu koje nemaju prirodnog ulaza sa površine, već se na njih često nailazi pri bušenju ili u kamenolomima.

2.3. HIDROGEOLOŠKI OBLICI

Bitna hidrogeološka značajka krša je njegovo veće bogatstvo podzemnom hidrografskom mrežom nego površinskom. Raspored vode u podzemlju je nepravilan, a površinski vodotoci su relativno rijetki. Veći broj površinskih vodotoka u kršu ponire, teče podzemno pa nizvodno ponovno izvire na površinu. Specifični hidrogeološki oblici u kršu su krški izvori, estavele, sifonalna vrela, rijeke ponornice, vrulje i bočati izvori (slika 2.2.).

Krški izvori nastali su kao rezultat prelijevanja podzemnih voda na površinu, pojavljuju se na hipsometrijski najnižim djelovima terena. Izdašnost krških izvora ovisi o nekoliko faktora, među kojima se posebice mogu istaknuti veličina hidrogeološkog sliva, hidrološki uvjeti u slivu te stupanj okršenosti i vodonepropusnosti karbonatnih naslaga. Krški izvori podložni su, više ili manje, znatnim promjenama izdašnosti što rezultira promjenjivošću kapaciteta, odnosno velikom razlikom između maksimalne i minimalne količine istjecanja. Velika promjenjivost izdašnosti krških izvora posljedica je manjih hidrogeoloških slivova i njihovih promjenjivih granica tijekom godine, nastalih kao rezultat tektonskog sklopa Dinarida. S druge strane, postoje i veliki krški izvori relativno ujednačene izdašnosti, što se pak objašnjava velikim i razvučenim slivnim područjem po glavnom pravcu podzemne cirkulacije. Prema vremenskom toku istjecanja krški se izvori dijele na stalne, povremene i periodičke izvore. Povremeni izvori odraz su različitih dimenzija podzemnih šupljina i složenog protjecanja. Periodički izvori obično su preljevni izvori, ali sa sifonskim spremnikom koji kontrolira njihovo izlivanje. Prema načinu kretanja vode u odnosu na horizontalnu ravninu razlikujemo dva tipa krških izvora i to silazni i uzlazni. Silazni izbijaju iz krškog vodonosnika, poradi čega se podzemne vode kreću prema mjestima izviranja gravitacijom ne mijenjajući generalni smjer kretanja, a mogu biti i drenažni preljevni izvori. Silazno drenažni izvori omogućuju da se u prirodnim uvjetima, ako prestane njihovo prihranjivanje, sva količina podzemne vode koja ih prihranjuje, izdrenira iz krškog vodonosnika. U silazno preljevnim izvorima jedan dio vodonosnika, često onaj značajniji dio, nalazi se ispod erozijske baze vodonosnika, odnosno ispod kontakata propusnih i nepropusnih naslaga. Tako dio podzemne vode ostaje stalno akumuliran u krškom vodonosniku i ne može prirodnim putem istjecati. Ulazno-preljevni izvori su izvori koji izbijaju na kontaktu okršenih karbonatnih naslaga i nepropusnih ili slabije propusnih mlađih sedimenata, obično neogenskih i kvartarnih naslaga. Nepropusni ili slabije propusni sedimenti imaju funkciju barijere kretanju podzemne vode uzrokujući na taj način prelijevanje podzemne vode. Ovakvi izvori česti su u krškim poljima u podnožju velikih karbonatnih masiva. Izbijanje podzemne vode na površinu terena može bit koncentrirano u vidu jedinstvenog mlaza kakvi su uglavnom izvori od kojih se oblikuju pravi riječni tokovi kojima otječe podzemna voda formirana u okršenim stijenama. Katkada se nekoliko izvora pojavljuje u užem prostoru, obično tektonski predisponiranom i tada je riječ o razbijenom izvorištu ili izvorišnoj zoni. [3]

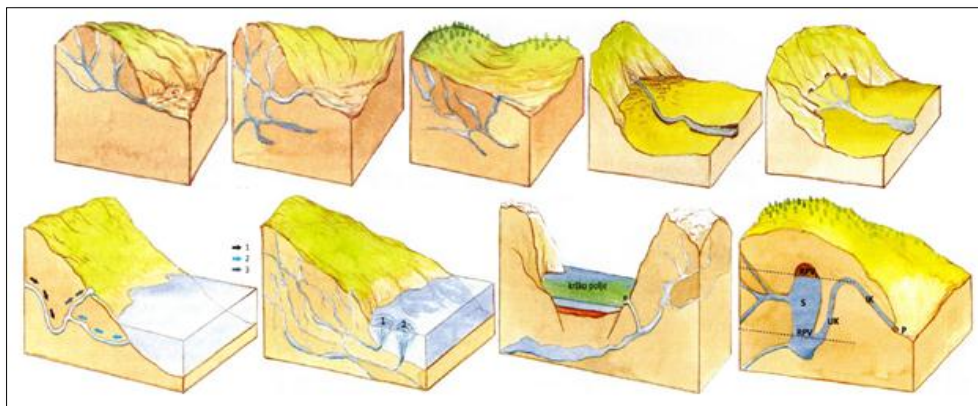
Sifonalna vrela ili potajnice, poseban su tip krškog izvora u kojemu voda istječe u određenim vremenskim intervalima. Vrijeme istjecanja vode i trajanja prekida na raznim izvorima ovog tipa traje od nekoliko minuta do više sati. U sušnom razdoblju godine ti prekidi su duži, a u kišnom kraći. Princip rada potajnice objašnjava se time da se u unutrašnjosti vapnenačke mase nalazi veliko proširenje špiljskog kanala, tj. spremnik, koji se u daljnjem pružanju sužava i uzdiže kao ulazni kanal, a potom spušta kao izlazni kanal te izbija na površinu. Spremnik se puni vodom koja dotiče kanalima i pukotinama pa se u njemu razina vode postupno izdiže. Prema zakonu spojenih posuda, voda se izdiže i u ulaznom kanalu. Kada se razina vode toliko izdigne da ona dosegne pregib između ulaznog i izlaznog kanala počinje prelijevanje i gravitacijsko istjecanje podzemne vode. U kanalu stvoreni vakuum zatim isisava vodu iz spremnika, nakon čega vrelo prestaje funkcionirati, dok se u spremnik ponovno ne napuni na prijašnju visinu. [3]

Estavele su specifični izvori, odnosno kombinacija krškog izvora i ponora, a pojavljuju se u periodički poplavljenim poljima i uvalama. U njima za vrijeme visoke podzemne vode voda izvire kroz istu pukotinu kroz koju za vrijeme niskih voda ponire. [3]

Ponornice su najčešće manje tekućice (potoci ili rijeke), koje se nakon kratkog površinskog toka s velikim kolebanjem u protoku gube u podzemlje kroz jedan ili više ponora.

Vrulje su stalni ili povremeni krški izvori slatke vode ispod mora, a pojavljuju se pojedinačno ili u skupinama podalje od obale kopna. Jakost izbijanja, a time i njihova vidljivost promjenjiva je i ovisi o pritjecanju vode iz zaleđa, odnosno o zimskom i ljetnom razdoblju. [3]

Bočati izvori javljaju se u krškom priobalnom području, duž morske obale. Od mora su obično udaljeni do nekoliko desetaka metara, a preljev im je viši od razine mora, najčešće 30 cm do 70 cm, pri čemu intenzitet zaslanjenja vode na izvoru ovisi o mogućnostima miješanja slatke i morske vode te režimu voda koji vlada u neposrednoj okolini izvorišta. [3]



Slika 2.2.: Hidrogeološki oblici

2.4. KRETANJE VODE U KRŠU

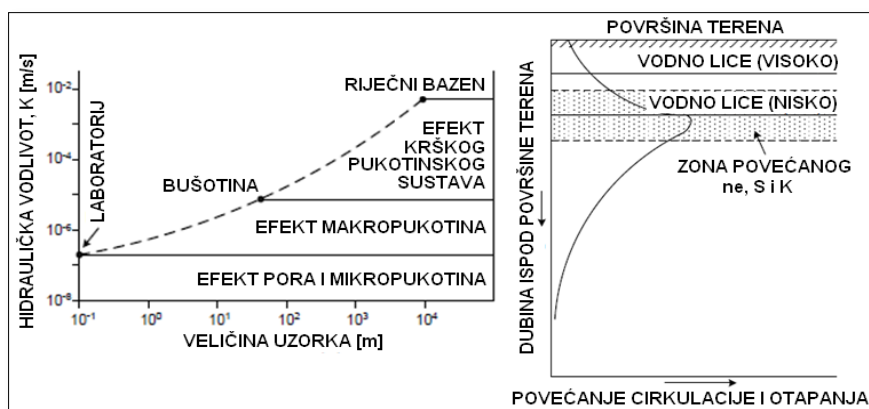
Krš je bio predmet razmatranja još u antičkom dobu pa dokumente vezane za hidrologiju krških fenomena možemo pronaći kod starih Grka. Glavna svrha istraživanja vode i njenog kretanja u kršu jest razumijevanje procesa koji se događaju uslijed djelovanja vode, utjecaja vode na nastanak krški oblika te samog toka podzemne vode, a u svrhu određivanja potencijala i mogućnosti korištenja voda u takvome slivu u vidu stvaranja hidroakumulacija ili saniranja poplavnih opasnosti, no sve češće i za praćenje zagađenih podzemnih voda. Kako je krš izrazito heterogeno područje, raspored i dinamika podzemnih voda ovisi o sustavima pukotina i njihovim značajkama. S obzirom na specifičnost krša u hidrogeološkom i hidrološkom smislu, istraživanje voda je izuzetan problem koji se multiplicira nemogućnošću shematiziranja, jer su i na relativno bliskim lokacijama odnosi često različiti. Krški sustav u hidrološkom smislu možemo promatrati kao otvoreni sustav omeđen rubovima sliva s ulazom, prolazom tj. zadržavanjem i izlazom vode. Krški sustav, tako, ima dva integrirana hidrološka i geokemjska podsustava koja djeluju na okolinu. Stoga, kretanje podzemne vode može se sagledati samo na osnovi velikog broja mjerenja razina podzemne vode, protoka i brzine te kemijskog sastava i temperature, a mjerenja treba provoditi na nizu mjernih mjesta tijekom razmjerno dugog razdoblja.

Općenito govoreći, kretanje vode kroz krš je nepoznanica, takozvana "crna kutija" za koju znamo samo ulaz i izlaz. Hidrogeološke značajke krša kojima pokušavamo opisati kretanje vode u kršu jesu položaj vodnog lica, kolebanje vodnog lica, poroznost, hidraulička vodljivost, transmisivnosti te uskladištenje. [3]

Položaj vodnog lica podzemne vode u kršu ovisi o reljefu terena i propusnosti stijena. U propusnim stijenama ispod visokog reljefa vodno lice je duboko, dok je u niskim terenima vodno lice plitko s površinom. Za kolebanje vodnog lica, odnosno kretanje vode u kršu svojstvene su velike i brze oscilacije razine podzemne vode te velike razlike između minimalnih i maksimalnih razina, od 20 m do 80 m (u nizinskim krajevima razlika iznosi svega 1 m), što je posljedica relativno malog kapaciteta prihvaćanja vode. S obzirom da nije poznat točan put kretanja vode, pa prema tome niti njegova stvarna dužina, nije poznata ni stvarna brzina. U kršu se stoga određuju prividne brzine kretanja podzemne vode i to primjenom obilježivača, odnosno trasera.

Za analizu i određivanje infiltracije, formiranje podzemnih akumulacija i određivanje otjecanja podzemnih voda bitne su značajke stijenskih masa koje izgrađuju sliv, odnosno tip njihove poroznost. Krš se odlikuje primarnom i sekundarnom poroznošću. Primarna poroznost najčešće je mala tako da je s hidrogeološkog aspekta sekundarna poroznost daleko važnija. Sekundarnu poroznost čine pukotine koje su nastale tektonskim pokretima i naknadnim procesima otapanja vodom. Zbog kemijskog, ali i fizičkog djelovanja vode, broj i dimenzije

pukotina s vremenom se povećavaju što rezultira da se s vremenom povećava i sekundarna poroznost, a time i propusnost (slika 2.3.).



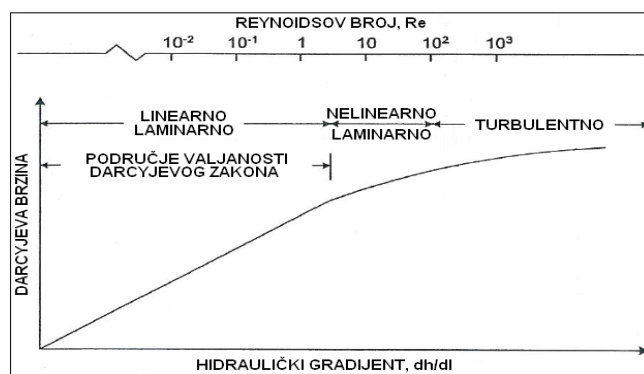
Slika 2.3.: Promjena vrijednosti propusnosti i poroznosti stijena kao funkcije razmatranog volumena stijenske mase (lijevo) te promjena vrijednosti hidrauličke vodljivosti, uskladištenosti i efektivne poroznosti po dubini terena (desno) [2]

Propusnost stijena je veća bliže površini terena, a smanjuje se prema dubini, budući da se s dubinom smanjuje broj pukotina, tj. smanjuje se okršenost. U vertikalnom presjeku okršenost se u pravilu smanjuje po eksponencijalnoj zakonitosti. Kada bi pukotine bile ravnomjerno raspoređene, poroznost krša kretala bi se od 0.5 % do 3 %, no, kako su značajke krša pukotine velikih dimenzija, iako ih nema mnogo, poroznost krša znatno je veća i to do 45 %. Jaka raspucalost površine krša omogućuje veliku infiltraciju oborina te je glavna značajka krša da se više vode nalazi u podzemlju nego na površini. Stoga, iako se visina godišnjih oborina na hrvatskom kršu kreće od 500 mm do 3500 mm, krški su tereni često bezvodni. Površinski vodotoci se formiraju samo kada se smanji infiltracija, a moguć je i njen izostanak što je posljedica prisutnosti humusa na površini terena. Zbog mogućnosti brzog poniranja vode u podzemlje povoljna okolnost je da su gubici uslijed isparavanja vode manji u krškim nego u ne krškim područjima. [3]

Krš je izrazito anizotropna sredina u kojoj je hidraulička vodljivost najveća u pravcu pružanja pukotina. Budući da se s dubinom okršenost smanjuje, smanjuje se i hidraulička vodljivost (slika 2.3.). Transmisivnost, kao umnožak hidrauličke vodljivosti i debljine vodonosnika, također varira s obzirom na smjer. Specifično otpuštanje se smanjuje s dubinom (slika 2.3.).

Bitno obilježje krša kapacitet je podzemlja. U podzemlje penetrira oborinska voda koja padne na utjecajnu slivnu površinu, a veličina podzemne retencije i propusna moć izvorišta u najvećoj mjeri upravljaju izlazom iz podzemnog sistema, odnosno otjecanjem u površinski vodotok. Ako su šupljine u krškom terenu raspoređene više ili manje pravilno, tada i raspored

podzemne vode uglavnom odgovara rasporedu u terenima koji su izgrađeni od zrnatih naslaga. No takvi su relativno pravilni tereni u kršu prostorno veoma ograničeni. Češće se događa da su šupljine u podzemlju krških terena nepravilno raspoređene, a po dimenzijama i obliku znatno se razlikuju (od spilja do superkapilarnih pora). Krške podzemne vode mogu biti međusobno povezane i imati zajedničku razinu, ali mogu biti odvojene i teći izoliranim, odnosno privilegiranim podzemnim putevima. Sustav velikih pukotina predstavljaju primarne putove toka podzemne vode unutar kojih Darcyjev zakon sigurno nije primjenjiv. Ipak, za regionalne procjene hidrauličkih značajki prihvatljiva je pretpostavka o krškom vodonosniku kao kontinuumu, posebice kada su hidraulički gradijenti mali, a uskladištenje veliko (slika 2.4.).



Slika 2.4.: Područje valjanosti Darcyjevog zakona u krškoj okolini [2]

Najčešće je u kršu teško uočiti neku pravilnost, pa se događa da i bliski sustavi šupljina nisu u neposrednoj vezi ili je ta veza slabija nego s nekim udaljenijim sustavom. Zato ima nepravilnosti u rasporedu i dinamici podzemne vode u kršu, pa postoje različiti tokovi od lokalnih podzemnih rijeka i slapova s turbulentnim kretanjem do laminarnog toka u šupljinama malih dimenzija. Koja će od ove dvije mogućnosti karakterizirati neko područje ovisi o nizu hidroloških, geoloških i hidrogeoloških aspekata. U tektonski jače poremećenim krškim terenima postoje i razlike u povezanosti na različitim razinama krškog terena. Zato se može dogoditi da neki vodeni sustavi za vrijeme nižeg vodostaja nisu povezani, dok za vrijeme višeg postoji mogućnost prelijevanja. Katkad pri niskoj vodi postoji tečenje u jednom smjeru, a pri visokoj u drugom, pa čak i obrnutom. Zbog toga je podzemne vode u kršu teško obuhvatiti jednom uopćenom predodžbom koja bi se mogla primijeniti na sve krške terene jer su oni po svom sastavu i strukturi veoma različiti. U takvim okolnostima može se dogoditi da je dio terena manje propusan od podinskog, a da su nepropusne naslage navučene na propusne pa voda teče ispod njih. Raspored propusnih i nepropusnih naslaga uvjetuje formiranje odvojenih slivova podzemne vode. Granično područje u kojem ne postoji mogućnost miješanja dva susjedna sliva nazivamo razvodnica. Razvodnice u kršu još su jedan od elemenata koji razlikuje krške od nekrških terena, a uzrokovane su najčešće razlikama u sustavu stijena i strukturno-tektonskim odnosima, koji mogu činiti barijere prolasku podzemnih voda neovisno o površinskoj konfiguraciji. Da bi se odredile razvodnice u kršu potrebna su znatno ozbiljnija hidrogeološka istraživanja. [3]

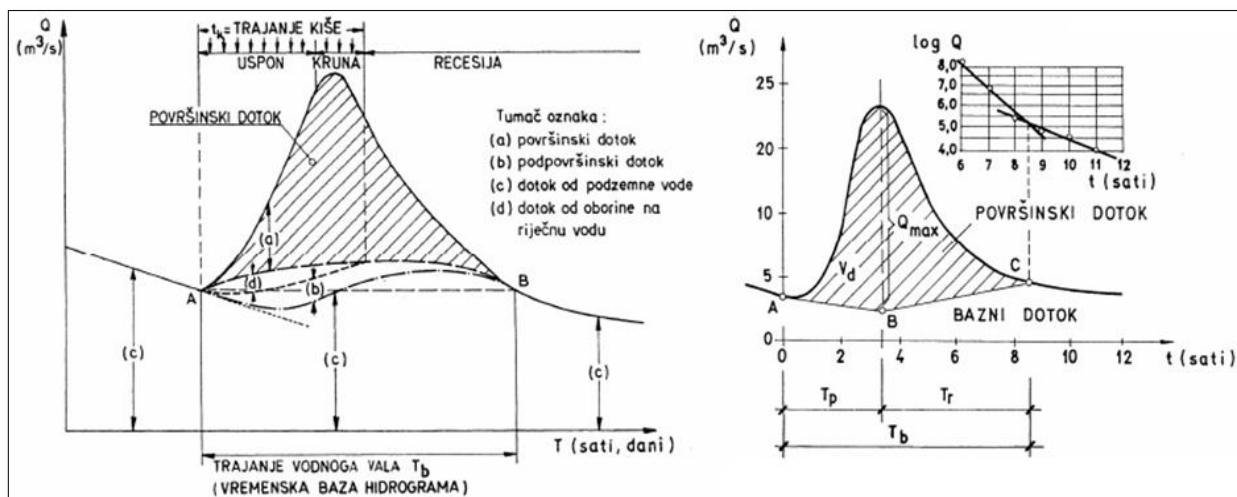
2.5. ANALIZA HIDROGRAMA IZVORA I OBNAVLJANJA ZALIHA PODZEMNIH VODA

U krški sustav voda u principu ulazi difuzno, a ovisno o klimi i godišnjem dobu, najčešće percipitacijom kao kiša ili snijeg, pri čemu se snijeg može shvatiti kao akumulacija vode na površini terena. U Dinaridima oko 75 % vode odlazi u podzemlje, dok ostatak ispari ili otječe s površinom. Otjecanje vode pak, odnosno izlaz, može biti površinsko ili podzemno. Površinsko otjecanje u kršu značajno je za onaj dio voda koje ostaju na površini u vidu prirodnih ili umjetnih retencija. Za analizu ulaza i izlaza u krškom području potrebno je poznavati točan sliv vodotoka ili izvora te sve ulazne i izlazne komponente. Pri tome postoje različite metode određivanja tih istih komponenti, no u svakoj od njih pojavljuju se manje ili veće poteškoće.

Reakcija krškog hidrogeološkog sustava na punjenje infiltracijom oborina manifestira se na hidrogramu otjecanja na mjestima koncentriranog pražnjenja, to jest na izvorima. Iz odnosa hidrograma otjecanja vode i ovisnosti koncentracije trasera o vremenu proteklom od trenutka trasiranja, mogu se dobiti podaci o načinu kretanja podzemne vode kroz podzemlje što donekle upućuje na stupanj razvijenosti i razgranatosti podzemne pukotinske mreže i stanju podzemne vode. Oblik hidrograma otjecanja na izvoru rezultat je djelovanje nekoliko čimbenika, a u prvom redu su to oborine. Ako oborine traju duže te su manjeg prosječnog intenziteta, hidrogram otjecanja bit će razvučen, dok pljuskovi velikog intenziteta izazivaju oštre visoke hidrograme s manjom vremenskom bazom i imaju mal utjecaj na povećanje zaliha podzemnih voda koje se prazne na izvoru. Međutim, iste efektivne oborine ne izazivaju uvijek isti odaziv u vidu približno identičnog hidrograma pražnjenja. Oblik i karakteristike krivulje pražnjenja ovise o čitavom nizu čimbenika, u prvom redu o poroznosti, a zatim i položaju razine podzemne vode, zasićenosti iznad izvora, dotoku iz drugih izvora te ostalim. Kada se glavno akumuliranje infiltrirane vode obavlja u relativno ravnomjerno raspoređenoj pukotinskoj poroznosti i u klasičnoj ispuni krških šupljina, utjecaj direktne infiltracije oborina biti će znatno prigušen i to s mogućim dužim vremenom podizanja hidrograma, odnosno dužim vremenom recesije. Ako su pak dominantni krupni krški kanali i šupljine s malom akumulativnom i velikom sprovodnom moći, reakcija sliva na oborine može biti kraća od jednog dana uz višestruko povećanje otjecanja. Stoga, možemo zaključiti da oblik složenog hidrograma izdašnosti krškog izvora, zajedno s paralelno nanesenim visinama oborina, omogućava donošenje relativno ispravnih primarnih zaključaka o karakteristikama krškog sustava. [3]

Razdvajanje komponenti hidrograma vodotoka podrazumijeva određivanje udjela površinskog slijevanja u površinski tok, potpovršinskog slijevanja i dotok podzemnih voda u površinski tok. Pošto je u praksi nemoguće odvojiti sve komponente hidrograma realnog fizičkog sliva, problem razdvajanja komponenti (slika 2.5.) svodi se na odvajanje baznog toka koji se formira na račun dreniranja podzemnih voda i ostalih komponenti koje se zajedno

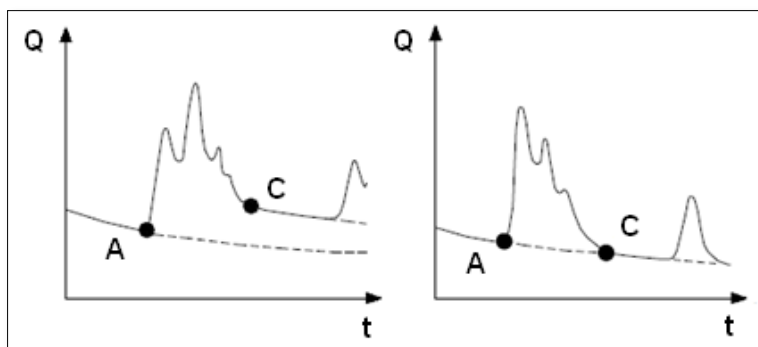
tretiraju kao direktno površinsko otjecanje. Ekvivalentni hod hidrograma izdašnosti izvora bi prema tome činili protok koji se formira pražnjenjem prethodno uskladištene podzemne vode i protok koji je posljedica direktnog nailaska novoinfiltrirane vode. Točka infleksije koja na hidrogramu površinskog toka predstavlja kraj direktnog površinskog otjecanja pale kiše na hidrogramu krškog izvora predstavlja početak pražnjenja bez direktnog utjecaja oborina.



Slika 2.5.: Hidrogram pojedinačne jake kiše s prikazom izdvajanja komponenti [2]

Navedeno razdvajanje najčešće se vrši na dva osnovna načina i to grafički te u posljednje vrijeme sve više, na osnovu kemijskih i izotropnih analiza vode prije, za vrijeme i nakon prihranjivanja. Pri tome u vidu treba imati da je prva reakcija sliva, odnosno prvo početno povećanje izdašnosti izvora, u najvećem broju slučajeva posljedica prenošenja tlaka kroz sistem krških kanala, a ne izlazak novoinfiltrirane vode. Nakon završetka prihranjivanja izvora i prestanka direktnog otjecanja moguća su dva slučaja (slika 2.6.) i to da je došlo do povećanja zaliha podzemnih voda koje su akumulirane u sitnijim pukotinama i ispuni krških šupljina, odnosno da je bazno otjecanje podignuto na viši nivo hidrograma ili to da je novoinfiltrirana voda najvećim dijelom istekla preko dobro razrađenih krških kanala te nije došlo do popunjavanja efektivne poroznosti od koje se formira bazno otjecanje, odnosno da se bazno otjecanje nastavlja po istoj liniji produženoj ispod hidrograma novih oborina. Prvi slučaj je karakterističan za vlažni period godine u kojem se obavlja glavno prihranjivanje izvora. Gubici na evaporaciji nisu izraženi, razina podzemnih voda je visoka, a zona iznad izvora relativno zasićena vlagom. U takvim uvjetima infiltrirana se voda lakše utiskuje u pukotine i povećava zalihe izvora. U ljetnim mjesecima kada su razine podzemnih voda niske, a u zoni iznad izvora postoji deficit vlažnosti, dominira vertikalna cirkulacija infiltriranih voda bez popunjavanja zaliha izvora. Tako, u sušnom razdoblju kada je slabo izraženo popunjavanje podzemnih rezervi, a prilikom crpljenja se iskorištava temeljni tok, nove oborine prvo ispunjavaju podzemnu akumulaciju, a tek kada je nadopune, očituje se djelovanje oborina na izvor, što dovodi do

zaključka da je kod niskih voda u podzemlju u hidrauličkom smislu izražena raspršenosti vodonosnog ustava.



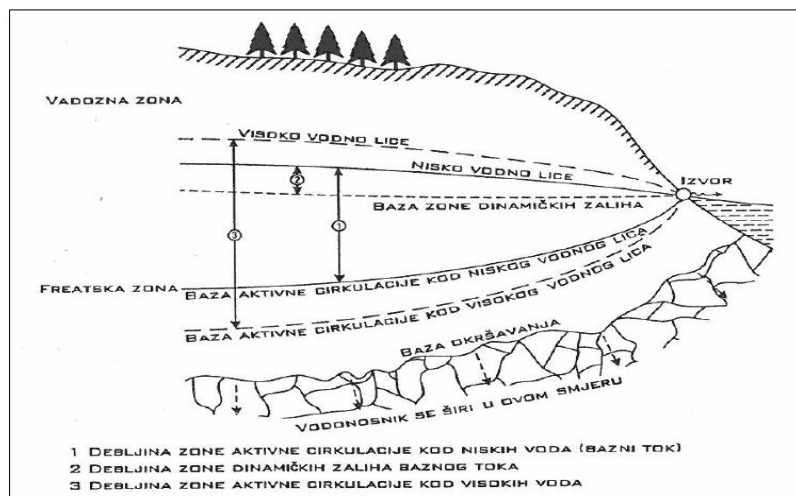
Slika 2.6.: Shematski prikaz podizanja baznog otjecanja na viši nivo (lijevo) i istjecanja novoinfiltrirane vode bez popunjavanja zaliha izvora (desno) kao mogućih reakcija krškog izvora na infiltraciju oborina [2]

Pod recesijskom analizom podrazumijeva se analiza opadajućeg dijela hidrograma (koji odgovara baznom toku) u razdoblju bez oborina, odnosno direktnog utjecaja prethodnih oborina. Pod pretpostavkom da je pražnjenje izvora uvjetovano samo otjecanjem efektivne poroznosti i gravitacije, odnosno da nema poremećaja uzrokovanih brzim priljevom novoinfiltrirane vode, recesijska analiza pruža uvid u režim pražnjenja izvora. Na osnovi uspostave matematičke ovisnosti između protoka i vremena moguće je prognozirati izdašnost izvora nakon pretpostavljenog dužeg razdoblja bez oborina te odrediti volumen uskladištene, odnosno istekle vode. Idealni recesijski uvjeti, tj. višetjedni period bez oborina, rijetka su karakteristika umjerene klime, pa ljetne i ranog jesenske kiše izazivaju manje ili veće poremećaje na krivuljama recesije koje se ne mogu jednoznačno otkloniti tijekom analize. Zbog toga je poželjno da se analiza obavi na što većem broju recesijskih krivulja iz više godina. Veći uzorak omogućava dobivanje prosječne recesijske krivulje krškog izvora kao i analizu anvelope minimalnih vrijednosti. Na taj način se s mnogo većom sigurnošću mogu izvoditi zaključci o akumulacijskoj sposobnosti krškog hidrogeološkog sustava, očekivanim minimalnim protocima i slično. [2]

Matematički opis pražnjenja podzemnih voda u bazni tok rijeke, kada on nije pod utjecajem oborina, predložili su početkom 20. stoljeća Boussinesq i Maillet. Volumen vode baznog toka koji je akumuliran u saturiranoj zoni iznad razine istjecanja, odnosno iznad kote izvora zove se dinamički volumen i predstavlja sezonske zalihe (slika 2.7.). Sezonske zalihe baznog toka, tj. volumen vode koji se nalazi uskladišten u vodonosniku iznad kote preljeva može se izračunati po formulaciji:

$$V = \int_0^{\infty} Q_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} = \frac{Q_0}{\alpha} \cdot c \quad (\text{II.-1.})$$

pri čemu je V volumen baznog toka ili dinamičke zalihe izražen u m^3 , Q_0 količina istjecanja na početku baznog toka izražena u m^3/s , α koeficijent recesije izražen u dan^{-1} te c konstanta u iznosu od 86400 (ukoliko se Q_0 izražava u m^3/s , a α u dan^{-1}). [1]



Slika 2.7.: Profil krškog vodoosnika [2]

Treba istaknut da se u praksi često za vrijednosti Q_0 pogrešno uzima vrijednost otjecanja na početku silaznog dijela hidrograma, a koji se odnosi na brzo pražnjenje uzrokovano oborinama, odnosno na količinu vode koja je na izvor pristigla bez zadržavanja u podzemlju. Na taj način se proračunom dobivaju nerealno visoke vrijednosti sezonskih zaliha. Analizu silaznih dijelova hidrograma treba vršiti po principu da se brzo otjecanje izdvoji od baznog toka, a u proračun se za vrijednosti Q_0 trebaju uzimati vrijednosti koje odgovaraju početku istjecanja baznog toka. Kako bi se dobio što točniji rezultat, analizu je potrebno izvršiti na što većem broju recesijskih krivulja iz više godina. [1]

Koristeći jednadžbu III.-1. može se proračunati veličina prihranjivanja između dvije recesije tako da se odredi volumen vode koji je preostao u podzemlju na kraju jedne recesije te ga se oduzme od volumena koji se nalazi u podzemlju na početku iduće recesije dana je formulacijom:

$$V_{\text{prihranjivanja}} = \left(\frac{Q_2}{\alpha_2} - \frac{Q_1}{\alpha_1} \right) \cdot c \quad (\text{II.-2.})$$

pri čemu je V volumen baznog toka izražen u m^3 , Q_1 količina istjecanja na kraju prve recesije izražena u m^3/s , Q_2 količina istjecanja na početku iduće recesije izražena u m^3/s , α_1 koeficijent prve recesije izražen u dan^{-1} , α_2 koeficijent druge recesije izražen u dan^{-1} te c konstanta u iznosu od 86400 (ukoliko se Q izražava u m^3/s , a α u dan^{-1}). [1]

3. MALE VODE

3.1. OPĆENITO

Velike su vode definirane maksimalnim protocima i hidrogramima velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja. Za male slivove bez izmjerenih hidroloških veličina velike vode treba definirati na osnovi iskustvenih izraza. Pritom se prvenstveno preporuča rabiti područne izraze ukoliko su oni izvedeni za područje unutar kojeg se nalazi razmatrani sliv ili za područje sličnih karakteristika otjecanja velikih voda. Velike vode najčešće služe za dimenzioniranje evakuacijskih organa te za dimenzioniranje retencijskih prostora i predstavljaju najznačajniji pojam u stručnom znanstvenom i gospodarskom pogledu.

Period u kojem se javlja deficit padalina u odnosu na neku očekivanu vrijednost naziva se sušom. Kako beskišni period, odnosno nedostatak padalina na predmetnom slivu utječe na smanjenje protoka u vodotoku te na opadanje razine, a time i zaliha podzemne vode, može se govoriti o hidrološkoj suši, pri čemu se misli na duži vremenski period s niskim protocima u vodotocima koji su znatno manji od prosječnog protoka vode (malovodni period). Tokom takvog vremena, vodotoci se prihranjuju iz podzemnih spremnika (akvifera) uzrokujući protoke koji su manji od nekih uobičajenih ili očekivanih vrijednosti. Tako se može zaključiti da duži vremenski period bez padalina (meteorološka suša) uzrokuje hidrološku sušu ili male vode. Pojava suša (slika 3.1.) sve je češća u cijelom svijetu. Za razliku od većine drugih elementarnih nepogoda, suša se pojavljuje postepeno, traje dugo i može zahvatiti vrlo velika područja. U hidrološkoj literaturi zasada ne postoji opća i jedinstvena definicija malih voda ili suše. To je posljedica činjenice da općenito razmatrajući, definicija suše ovisi o cilju željene analize.



Slika 3.1.: Meteorološka suša kao izravan uzrok hidrološkoj suši, odnosno malim vodama

Male vode mogu biti posljedica ili prirodnih uvjeta u slivnom području vodotoka ili rezultat poželjnih te nepoželjnih aktivnosti čovjeka. Prirodni režim malih vodotoka rezultat je brojnih meteoroloških, hidroloških i mnogih drugih faktora. Promjene u prirodnom režimu malih

voda mogu se javiti kao rezultat iznenadnih događaja. Utjecaj čovjeka pak, najintenzivniji je u gusto naseljenim područjima i mjestima gdje se voda zahvaća za različite potrebe društva, ali i u formi naglih ili polaganih promjena pri čemu su polagane promjene rezultat urbanizacije ili melioracije, a nagle rezultat početka rada akumulacija, zahvata vode ili radova na reguliranju vodotoka.

Hidrološki režim primarno je određen režimom padalina koji se općenito može opisati kao tipični prekidni stohastički proces s neovisnim veličinama. Transformacija režima padalina u režim otjecanja ovisi o mnogo faktora koji karakteriziraju površinu sliva, a koji su ujedno vrlo promjenjivi u vremenu i prostoru. U sušnom periodu kada nema padalina ili su one zanemarive, režim otjecanja okarakteriziran je krivuljom iscrpljenja sliva, odnosno recesijskom krivuljom hidrograma otjecanja. Primarna pretpostavka je da se krivulja iscrpljenja može predstaviti jednom eksponencijalnom funkcijom s konstantnim parametrom, međutim istraživanja hidrograma otjecanja na vodotocima ukazuju da je takva pretpostavka rijetko zadovoljena s obzirom na promjenjive karakteristike površine sliva tokom dugačkih sušnih perioda. Karakteristike sušnih perioda (suša) zbog toga se teško opisuju pomoću determinističkih metoda, što implicira da na promatrane dugačke vremenske serije dnevnih protoka za ocjenu suša kod korištenja voda, zaštite kvalitete voda i druge hidroekološke projekte, treba primijeniti probabilističke metode. [1]

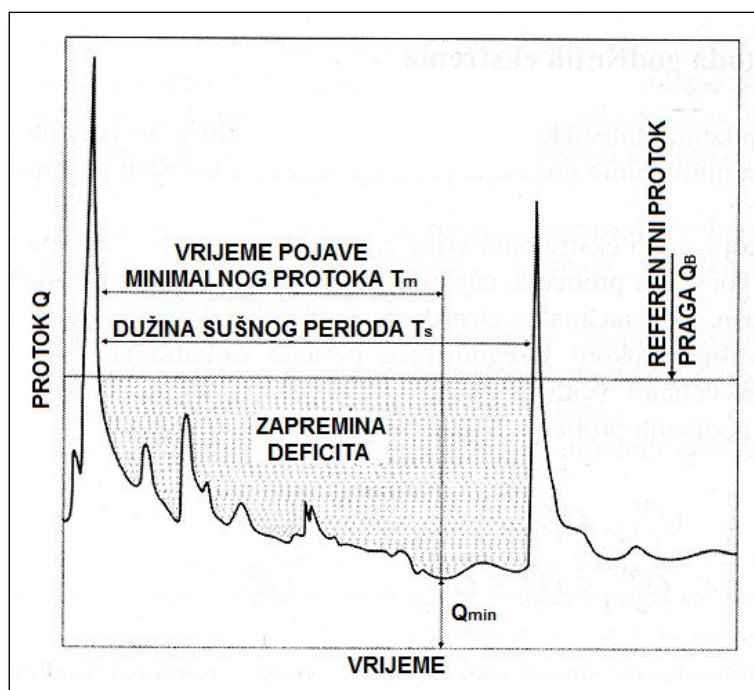
Mogućnost nekog vodotoka da vodom snabdijeva naselja i industriju, kao i da primi otpadne vode te eventualno osigura dovoljnu količinu vode za potrebe navodnjavanja i omogućiti povoljne uvjete za razvoj i opstanak flore i faune, obično se ocjenjuje i određuje analizom režima njegovih malih voda. Karakteristike režima malih voda od posebne su važnosti za očuvanje i zaštitu kvaliteta vodotoka, tako da se ne dopusti ni kemijsko ni biološko degradiranje kvalitete voda do kritične mjere, kada se više ne mogu koristiti u raznim sektorima društva. Sa stajališta zaštite kvaliteta vodotoka, male vode su od posebne važnosti iz razloga što u malovodnim periodima recipijent ima najmanju sposobnost da razloži te razblaži organske i druge otpadne materijale, pa se u pravilu kvaliteta vodotoka izrazito pogoršava u sušnim periodima godine. Hidrološkom analizom režima malih voda definira se mjerodavna mala voda predmetnog vodotoka za koju se određuju normativni pokazatelji dopuštenih koncentracija pojedinih indikatora zagađivanja vode vodotoka. Režimi i karakteristike malih voda vodotoka veoma su važni za projektiranje, građenje, održavanje i upravljanje raznim vodnogospodarskim sustavima i objektima. Iz tog razloga očigledno je da se moraju definirati određeni kriteriji za male vode. Takav se protok u vodotoku mora održavati tijekom sušnog perioda s namjerom harmonizacije potreba za vodom s raspoloživom količinom i zahtijevanom kvalitetom. To se pak postiže mjerama reguliranja protoka, a u slučaju kada to nije moguće, za potrebe korisnika utvrđuju se novi uvjeti režima malih voda. Time je predstavljen jedini način da se zadovolje minimalne potrebe korisnika vode, a da se ujedno očuva kvaliteta vode i svi ekosistemi ovisni o toj vodi. [1]

Veliki broj zemalja koje imaju nedostatak vodnih resursa i to po količini i po kvaliteti, najčešće uvode takozvanu projektiranu malu vodu. U bivšoj Jugoslaviji projektirana mala voda definirana je kao prosječni mjesečni protok 95 % vjerojatnosti pojavljivanja ili zahtijevani protok nizvodno od umjetnih akumulacija. Pregledom stručne literature, može se zaključiti da se projektirana mala voda određuje na osnovi vremenskog perioda od 7 do 30 dana s povratnim periodom koji varira od 10 do 25 godina. Podaci o malim vodama potrebni za analizu i procjenu projektirane male vode najčešće su definirani od strane institucija koje se bave upravljanjem vodama, agencija za zaštitu okoliša, vodoopskrbnih tvrtki, hidroenergetskih tvrtki, tvrtki koje se bave vodnim transportom i drugima. Ovisno o problemima koji se rješavaju definiraju se i potrebne karakteristike malih voda. Znanstvenici su najčešće suočeni sa zadacima definiranja problema koji treba riješiti, izborom konačnih parametara malih voda, izborom podataka i metoda njihove obrade te odlukom o željenoj točnosti koju treba postići u analizi. Statistička analiza malih voda zahtijeva serije minimalnih godišnjih protoka trajanja t (u danima). Druga osnova za analizu može biti trenutni hidrogram otjecanja na predmetnom vodotoku. U područnoj statističkoj analizi uz podatke o protocima koriste se i podaci o slivnim površinama, odnosno veliki broj topografskih, meteoroloških, klimatoloških, pedoloških i drugih podataka o slivu koje je potrebno osigurati. U inženjerskoj praksi zahtijevaju se i dodatni podaci kao što su stabilnost korita vodotoka, indeksi bioloških karakteristika vodotoka, razvoj vegetacije i druge karakteristike sustava koje gravitiraju vodotoku, a koje su određenom odnosu s tečenjem. Takvi podaci mogu se koristiti za analizu, procjenu, prognozu, projektiranje, planiranje i upravljanje različitim aktivnostima čovjeka. Na osnovu raspoloživih hidroloških podataka, mogu se osigurati odgovarajuće karakteristike malih voda kao što su minimalni vodostaj, minimalni protok, krivulje trajanja vodostaja ili protoka, funkcije raspodjele vjerojatnosti prosječnih malih voda trajanja t dana te specifični protoci zadanog trajanja i vjerojatnosti prijelaza. [1]

Od svih bitnih problema u hidrologiji, vjerojatno najmanje razmatrana pojava je pojava malih voda u vodotocima. U mnogim zemljama svijeta pa čak i onim razvijenim, postoji popriličan vakuum po pitanju obrade i opisa kompletnog režima malih voda većine vodotoka od interesa za stručnu praksu i gospodarstvo. Analogno tome je i pitanje formiranja izbora najbolje i najkvalitetnije metode kao normativnog standarda za kompletnu i uspješnu analizu malih voda. Kada postoje pouzdani podaci dovoljno dugačkog vremenskog perioda, minimalna vrijednost se dobiva obradom neposrednih mjerenja pri čemu osnovu za određivanje predstavljaju takozvani hidrološki godišnjaci. Minimalni se protok tako obično izražava na dva načina i to kao sekundarni protok u m^3/s ili kao modul otjecanja (specifična minimalna izdašnost) koji se obično izražava u $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ili u $\text{l}/\text{s}/\text{km}^2$. Da bi se proučile karakteristike malih voda u praksi se vrše statističke analize malih voda (analize serija minimalnih godišnjih protoka trajanja od 1 do 30 dana), područne i druge analize malih voda, analize recesijske grane hidrograma otjecanja, analize krivulje trajanja protoka te analize malovodnih perioda.

3.2. STATISTIČKA ANALIZA MALIH VODA

Statistička analiza malih voda najčešće se bazira na analizi serija minimalnih godišnjih protoka trajanja od 1 do 30 dana. Statističke serije formiraju se na način da se na osnovu podataka dugogodišnjih opažanja dnevnih protoka izdvoje prosječne vrijednosti najmanjih protoka trajanja navedenog broja uzastopnih dana. Ti protoci nazivaju se protocima malovodnih perioda. Serije podataka o malim vodama moraju biti statistički dovoljne duljine i zadovoljavajuće kvalitete. Jedan od razloga za to je što se male vode često moraju računati za slivne površine bez opažanja. Poželjno je da takav uzorak bude reprezentativan, odnosno dovoljno velik. U hidrološkoj se praksi smatra da je minimalna duljina uzorka neophodna za relativnu statističku analizu barem 30 godina. Režim je malih voda također karakteriziran i nekim drugim varijablama (slika 3.2.) kao što su duljina sušnog perioda, vrijeme do pojave minimalnog protoka i zapremina deficita (manjka) količine vode. U prvom redu, raspoloživi podaci moraju proći odgovarajuće statističke testove te je uvijek pozitivno znati uvjete pod kojima su isti prikupljeni, možebitne promjene položaja vodomjerne stanice, kvalitetu prikupljanja, stabilnost poprečnog profila vodomjerne stanice i ostalo. Ovakve informacije mogu poslužiti za primarnu selekciju iskoristivih podataka od onih koji su na raspolaganju. Za statističku analizu podaci se moraju testirati na slučajnost, nezavisnost, homogenost i stacionarnost. Ako statističke hipoteze zadovoljavaju, definira se jedna zadovoljavajuća teoretska raspodjela vjerojatnosti. [1]



Slika 3.2.: Osnovne varijable u analizi malih voda [2]

Kada je u pitanju statistička analiza malih voda, može se reći da je statistička analiza serija minimalnih godišnjih protoka najčešće korišteni postupak. Pri statičkoj analizi ekstremnih vrijednosti hidroloških veličina, pa prema tome i minimalnih godišnjih protoka, najčešće se koristi metoda godišnjih ekstrema. Metoda je zasnovana na analizi ekstremno opažanih veličina u svakoj godini (jedan podatak godišnje) tokom višegodišnjeg perioda opažanja. Uređivanjem ovih podataka po veličini određuje se statistički niz realizacija minimalnih godišnjih protoka. Cilj analize je da se odredi vjerojatnost pojave, odnosno funkcija raspodjele vjerojatnosti godišnjeg protoka što se naposljetku postiže određivanjem funkcije raspodjele vjerojatnosti, pri čemu je funkcija raspodjele vjerojatnosti potpuna karakteristika raspodjele, što pak znači da se svi rezultati o slučajnoj varijabli mogu dobiti iz funkcije raspodjele vjerojatnosti. Analiza ekstremno opažanih veličina u svakoj godini sastoji se od formiranja statističkog niza te uređenog niza, određivanja empirijske funkcije raspodjele vjerojatnosti, proračuna statističkog niza minimalnih godišnjih protoka, određivanja parametara i vrijednosti odabranih teoretskih funkcija raspodjele vjerojatnosti, statističkih testova suglasnosti empirijskih i teoretskih funkcija raspodjele vjerojatnosti kojima se obavlja konačan izbor teoretske funkcije raspodjele vjerojatnosti, proračuna vrijednosti minimalnih godišnjih protoka za karakteristične vjerojatnosti pojave pomoću konačno odabrane teoretske funkcije raspodjele vjerojatnosti te određivanja intervala povjerenja za vrijednosti minimalnih godišnjih protoka određenog povratnog perioda pojave. Osim za minimalne godišnje protoke za čije se trajanje uzima 1 dan, identična analiza provodi se i za minimalne godišnje protoke drugih trajanja te za serije minimalnih srednjih mjesečnih protoka. [1]

Učestalost hidroloških varijabli najčešće se procjenjuje kroz statističku analizu godišnjih maksimuma ili minimuma, što podrazumijeva jednu vrijednost po jednoj godini. Takve serije ne moraju nužno uključivati sve bitne ekstreme tijekom opažanog razdoblja iz razloga što se može dogoditi da se dva ili više značajnih događaja pojave tijekom jedne godine, dok se neki beznačajni događaji iz neke druge godine uzimaju u razmatanje. Metoda pikova koja se bazira na parcijalnim serijama, uzima u razmatranje sve ekstreme ili ispod određene referentne vrijednosti ili praga. Metoda pikova može ujedno koristiti i za definiranje karakteristika malih voda u vidu funkcije raspodjele vjerojatnosti prosječnih dnevnih minimalnih protoka, broja javljanja minimalnih protoka u vremenskom intervalu $(0,t)$ te zapremine deficita i trajanja perioda malih voda. Postupak metode pikova temelji se na analizi broja javljanja ekstrema ispod odabranog praga Q_B tijekom vremenskog intervala $(0,T)$ pri čemu T predstavlja godinu ili sezonu, na analizi ekstrema ispod odabranog praga Q_B koji se nazivaju pikovima te na analizi godišnjih ekstrema. Kada su analizirani maksimumi, pik je definiran kao jedno prekoračenje praga, dok je kod pojave godišnjih minimuma pik definiran kao vrijednost ispod praga. U cilju definiranja funkcije raspodjele maksimuma ili minimuma nužno je analizirati funkciju raspodjele vjerojatnosti broja pikova odvojeno od funkcije raspodjele vjerojatnosti visine pikova. Broj pikova koji se javljaju unutar vremenskog intervala $(0,t)$, odnosno godine, diskretna je slučajna varijabla. Teoretska funkcija raspodjele vjerojatnosti za diskretnu slučajnu varijablu koja se

primjenjuje za prilagođavanje empirijskoj funkciji broja pikova jesu Poissonova funkcija te binomna i negativna binomna funkcija. U praksi, odgovarajući model za broj pikova se indetificira ispitivanjem odnosa varijance i prosječne vrijednosti procesa. Taj je odnos za Poissonov raspodjelu jednak jedinici, manji je od jedinice za binomnu raspodjelu, a veći od jedinice za negativnu binomnu raspodjelu. Vrijednost pikova preko određenog praga predstavlja kontinuiranu varijablu promjenjivu s funkcijom raspodjele vjerojatnosti. Najčešće se preporuča da se vrijednostima pikova izvrši prilagođavanje jedno ili dvoparametarske teoretske funkcije raspodjele vjerojatnosti. [1]

Za razliku od analize minimalnih godišnjih protoka, kod analize malovodnih perioda provodi se analiza prosječnih vrijednosti protoka u prethodno određenom vremenskom periodu unutar sušnog perioda godine. Odnosno, serije minimalnih protoka određuju se tako da se na osnovu podataka dugogodišnjih opažanja izdvajaju prosječne minimalne godišnje vrijednosti protoka trajanja određenog broja uzastopnih dana koji predstavljaju minimalne protoke malovodnih perioda. Malovodni periodi karakteriziraju se time što su im količine vode u vodotoku najmanje, a time su i mogućnosti za razrjeđenje unesenih zagađenja u vodotok najmanje. U odnosu na mjerodavnu malu vodu, ustvrđuju se normativni pokazatelji dopuštenih koncentracija pojedinih indikatora zagađenja vode. Mjerodavna mala voda polazni je uvjet za definiranje mjera i ocjene efekta zaštite kvalitete voda. U analizi malovodnih perioda definira se vremenski interval Δt koji je klizni interval čiji se položaj na vremenskoj osi određuje tako da veličina $_{\min, \text{god.}} Q_{\Delta t}$ ima najmanju vrijednost za hidrogram dane godine. Tako se iz niza od N godina opažanja protoka na predmetnoj vodomjernoj postaji dobiva N vrijednosti za $_{\min, \text{god.}} Q_{\Delta t}$, odnosno N promatranih vrijednosti protoka malih voda određenog trajanja Δt . Na osnovu N promatranih vrijednosti protoka malih voda određenog trajanja Δt , određuje se familija empirijskih i teoretskih funkcija raspodjele vjerojatnosti $_{\min, \text{god.}} Q_{\Delta t}$, prema postupku identičnom za minimalne godišnje protoke, odnosno $_{\min, \text{god.}} Q_1$ (Δt jednak je 1 dan). Navedena statističko-hidrološka analiza, daje potpun opis malih voda predmetnog vodotoka na željenoj vodomjernoj stanici. Također, daje i veličinu protoka minimalnih godišnjih protoka razne duljine trajanja malovodnih perioda Δt , odnosno $_{\min, \text{god.}} Q_{\Delta t}$ te za razne vjerojatnosti pojave, odnosno za razne povratne periode, javljanja razmatranih pojava. [1]

3.3. PODRUČNA I ANALIZA KRIVULJE TRAJANJA MALIH VODA

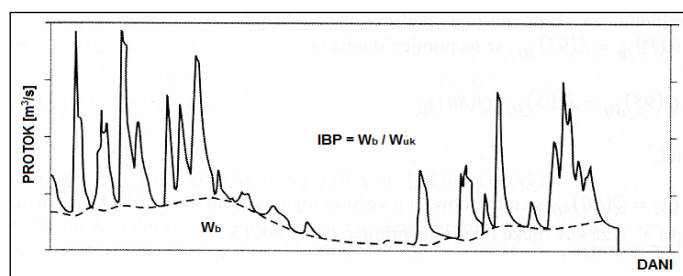
Metoda područnih analiza razvijena je iz potrebe da se odrede karakteristike malih voda na profilima na kojima nema opažanja. Primarni pokušaji vršeni su na ocjeni malih voda korištenjem recesijskih modela između malih voda i karakteristika slivne površine. Pri tome ciljevi područne analize malih voda postaju nadilaženje problema nedovoljne duljine serija protoka na određenim vodomjernim profilima, unaprjeđenje kvaliteta određivanja funkcija raspodjele protoka smanjenjem grešaka u ocjeni parametara raspodjele na zahtijevanom mjestu te mogućnost ocjene malih voda na vodomjernim profilima bez opažanja. Osnovni zadatak područne analize malih voda jest da se nedostatak podataka o protocima na jednoj vodomjernoj stanici nadomjesti s više serija podataka iz područja u kojem se nalazi mjerna stanica. Pri tome je rad usmjeren na definiranje višestrukih recesijskih odnosa malih voda i različitih karakteristika sliva, uključujući i geološke karakteristike. Modeli višestruke regresije najčešće se koriste kako bi se opisale neke od karakteristika malih voda kao fizikalno-geografske funkcije i funkcije klimatskih faktora. Parametri koji definiraju geološke karakteristike također se koriste kao važni, međutim, postoje teškoće u njihovom kvantitativnom izražavanju, ako u vidu imamo širok raspon mogućih slučajeva u stvarnoj problematici. [1]

Kvaliteta regresijskog modela ovisi o količini i kvaliteti podataka korištenih u formulaciji modela. U praksi, upotreba regresijskih modela često je ograničena nedovoljnim ili neadekvatnim podacima o varijablama uključenima u model, kao što su nepravilno ocijenjeni topografski parametri. Kada se regresijski model upotrebljava kod slivova bez opažanja, rezultat ne ovisi samo o tipu regresijskog modela i broju varijabli, već i o raspoloživosti podataka ili njihovoj kvaliteti za predmetni sliv. Ponekad se sve varijable u regresijskom modelu ne mogu koristiti iz razloga što se uopće ne mogu ocijeniti. U praksi se pokazalo da regresijska analiza ne vodi uvijek prema zadovoljavajućim rezultatima. Jaka veza između malih voda i karakteristika slivne površine može se očekivati jedino u područjima gdje bitne karakteristike sliva ne variraju značajno. Ocjena malih voda na slivovima bez opažanja i mjerenja, bazirana na regresijskim modelima, često je nepouzdana iz razloga što male vode ovise o litološkoj kompoziciji i drugim osobinama akvifera kao što je evapotranspiracija, koju je teško kvantificirati. Mnogo bolji rezultati dobiju se ako se na slivu bez opažanja provede makar kratko opažanje ili mjerenje. [1]

Iako su ocjene karakteristika malih voda vodotoka na osnovu karakteristika slivne površine, općenito gledajući, veoma grube, potreba za takvim analizama, često na hitan zahtjev, opravdava izradu područnih ovisnosti tamo gdje su uvjeti za to pogodni. U primjeni područne analize kod malih voda važno je upotrijebiti sve varijable te nastojati da iste budu ispravno kvantificirane. Zbog nedovoljnog broja i vrsta svih potrebnih podataka o značajnim karakteristikama sliva u vezi procesa otjecanja njegovog glavnog vodotoka, dosadašnja hidrološka iskustva ukazuju da regresijska tehnika ne daje uvijek zadovoljavajuće rezultate u

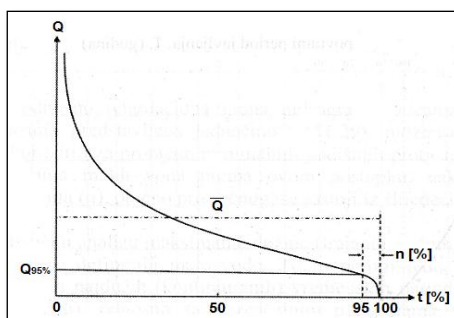
vezi analize malih voda. Veze između malih voda i karakteristika sliva u pravilu su slabe iz primarnog razloga što geološki sustav ima presudni utjecaj na izdašnost sliva u sušnom periodu. Kao geološka karakteristika sliva, uveden je indeks baznog protoka (slika 3.3.) kao odnos protoka ispod linije koja odvaja bazni protok od ukupnog protoka vodotoka.

U teoriji postoje i druge područne metode za ocjenu malih voda na slivovima bez opažanja, pri čemu su najpoznatije prostorna korelacije, metoda približnog određivanja minimalnih mjesečnih i godišnjih protoka na osnovu protoka, temperature, vlažnosti i padalina sa obližnje vodomjerne stanice te druge.



Slika 3.3.: Način određivanja indeksa baznog protoka (IBP) [2]

Odabrane točke na donjem dijelu krivulje trajanja protoka mogu se koristiti kao veličina za male vode predmetnog vodotoka pri čemu se najčešće koriste dva indeksa i to protok koji je zastupljen u 95 % vremena ($Q_{95\%}$) te postotak vremena u kojem je zastupljen protok ($Q'/4$) pri čemu je Q' prosječni višegodišnji protok. U kronološkom nizu dnevnih protoka, broj uzastopnih dana tijekom kojih nije prijeđena vrijednost određenog minimalnog protoka naziva se malovodni period N . Na osnovi dugogodišnjih opažanja i dobivenih podataka o protoku, odnosno N linija trajanja za svaku od razmatranih godina, mogu se izdvojiti trajanja perioda u kojima vrijedi da je protok manji ili jednak $Q_{95\%}$ (slika 3.4.) te se na bazi ovako formirane statističke serije može izvršiti analiza vjerojatnosti pojave malovodnih perioda. S obzirom da ovaj način uvjetuje da se unaprijed odrede reporni protoci, u praksi se obično vrši statistička analiza minimalnih protoka trajanja od 1 do 30 dana. [1]



Slika 3.4.: Određivanje 95 %-tnog protoka ($Q_{95\%}$) na krivulji trajanja protoka [2]

3.4. ANALIZA RECESIJSKE GRANE HIDROGRAMA

Kod efluentnih vodotoka, nakon prestanka površinskog otjecanja dolazi do podzemnog otjecanja vode koje se sve više smanjuje i koji se može, ovisno o karakteristikama sliva održati kroz duži ili kraći vremenski period. Karakteristika terena da vodu koja je pala na sliv zadrži u podzemlju, jedna je od važnijih karakteristika sliva te ima utjecaj na oblik recesijske krivulje hidrograma otjecanja. Grafička analiza recesijske krivulje provodi se tako da se izdvajaju opadajući dijelovi većeg broja poplavnih valova na odgovarajućim dijelovima hidrograma koji sigurno potječu samo od doprinosa podzemnih voda (periodi bez kiše). S porastom beskišnog perioda nad slivom priliv podzemne vode u korito vodotoka sve je manji pa je i oblik njegova hidrograma sličan eksponencijalnoj krivulji pri čemu se razlikuje protok u trenutku t , protok u proizvoljnom trenutku t_0 koji prethodi trenutku t te složeni koeficijent α čija je dimenzija T^{-1} i koji ne ovisi samo o promjeni režima tečenja i propusnosti λ već i o nagloj promjeni aktivne površine podzemnog rezervoara u slivu. U slučaju kada se zakon iscrpljenja podzemnih voda ne mijenja iz godine u godinu, na osnovi prethodne krivulje približno se može odrediti zapremina podzemnih rezervi u trenutku t_0 , polazeći od protoka koji odgovara trenutku t_0 , pri čemu se trenutak t_0 mora nalaziti u periodu u kojem je prestalo površinsko otjecanje. No, tako dobiven kapacitet zadržavanja podzemnih voda u slivu u obzir ne uzima gubitke evapotranspiracije, stoga se s te strane pri određivanju vrijednosti kapaciteta unosi greška. Također, vrijednost navedenog kapaciteta vrijedi ako se vodotok u sušnom razdoblju godine prihranjuje iz samo jednog podzemnog izvora. No, situacija u svakom prirodnom slivu daleko je složenija te se u periodu malih voda jedan recipijent najčešće prihranjuje iz više izvora. U trenutku t , protok vodotoka u periodu malih voda tako će biti predstavljen sumom protoka određenih po prvoj krivulji. [1]

Recesijska se krivulja po prestanku površinskog otjecanja može iskoristiti i za analizu minimalnih godišnjih protoka, odnosno malih voda, pri čemu se postupak definiranja, nakon definiranja koeficijenta recesije, najčešće prosječnog, sastoji se iz dva dijela. U prvom dijelu provodi se statistička analize maksimalne duljine (trajanja) sušnih perioda u slivu vodotoka za koji se definiraju male vode, što podrazumijeva formiranje uzoraka najduljih kontinuiranih vremenskih beskišnih perioda, odnosno perioda s beznačajnim padalinama, a na temelju pregleda meteoroloških godišnjaka za jednu ili više kišomjernih stanica koje su reprezentativne za predmetni sliv. Takav uzorak se statistički analizira s ciljem definiranja funkcije raspodjele vjerojatnosti beskišnih perioda. Uređivanjem ovih podataka prema veličini, određuje se statistički niz realizacija maksimalnih godišnjih beskišnih perioda kao statistički uzorak. Cilj ove analize jest da se odredi vjerojatnost pojave, odnosno funkcija raspodjele vjerojatnosti maksimalnih beskišnih perioda. Daljnji postupak odnosi se na definiranje funkcije raspodjele vjerojatnosti maksimalnih beskišnih perioda. Drugi dio podrazumijeva da je povratni period pojave malih voda, T , jednak povratnom periodu duljine beskišnog perioda d_T , pa se minimalni protok povratnog period T određuje izjednačavanjem vrijednosti d_t sa razlikom vrijednosti t i t_0 .

3.5. VODNOGOSPODARSKI ASPEKTI MALIH VODA

Pod vodnim režimima koji praktično predstavljaju ključnu kategoriju za vodnogospodarska planiranja, podrazumijeva se čitava dinamika stalnih kvalitativnih i kvantitativnih promjena osobina vode, kao i dinamika odnosa vode s okolinom koja ju okružuje. Iz navedenog jasno proizlazi da vodni režimi imaju dvije zasebne komponente i to kvalitativnu, odnosno količinu voda po prostoru i vremenu te kvalitativnu, odnosno promjenu kvalitete voda po prostoru i vremenu. Vodni režimi mogu biti prirodni vodni režimi, kojima se teško ili skoro nikako ne može upravljati te umjetni, stoga ih po nazivu dijelimo na neupravljane i upravljane. Osnovni cilj vodnogospodarskih djelatnosti upravo je u tome da se iz domene neupravljanih vodnih režima prijeđe na što potpunije upravljanje vodnim režimima. Kako bi se to omogućilo, neophodni su odgovarajući objekti koji vodnogospodarski sustavi čine upravljivim, pri čemu se ponajprije misli na akumulacije (vremenska preraspodjela voda) uz neophodno predviđanje voda (prostorna preraspodjela voda). Osim akumulacija, odnosno prirodnih retenzija, u objekte koji sustav čine upravljivim spadaju i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda kojima se mijenjanu kvalitativne karakteristike voda. [1]

S aspekta korištenja i zaštite voda, posebno su važna dva upravljana režima voda. Vodnogospodarski minimum (Q_{vm}) definiran je kao protok koji uzvodni korisnici moraju ostvariti u vodotoku nizvodno od svojih zahvata kako bi osigurali potrebe svih nizvodnih korisnika, a do ove veličine dolazi se optimalizacijom i iterativnim usuglašavanjem ciljeva te interesa uzvodnih i nizvodnih korisnika. Ekološki prihvatljiv minimum (Q_{em}) definiran je kao protok koji se određuje na temelju ekoloških studija i koji mora u vodotoku postojati konstantno kako bi se osiguralo normalno funkcioniranje biosustava te opstanak i razvoj biljnog i životinjskog svijeta u njemu. Ekološki prihvatljiv minimum u upravljačke analize ulazi kao ograničenje, dok vodnogospodarski minimum ulazi kao upravljačka veličina. Zahtijevani minimum ili zahtijevani protok (Q_{gin}) uključuje obje navedene kategorije. Prilikom određivanja zahtijevanog minimuma nužno je zadovoljiti niz općih uvjeta i to da na dionici vodotoka uvijek mora biti ostvaren ekološki prihvatljiv minimum predviđen za određeni period godine, da uzvodni potrošači vode moraju osigurati propisane vodnogospodarske minimume neophodne za korisnike u nizvodnim segmentima vodotoka, da zahtijevani minimum na dionici vodotoka uvijek predstavlja veću vrijednost protoka i to ili ekološki prihvatljivog minimuma ili vodnogospodarskog minimuma te da zahtijevani minimum mora biti osiguran unutar cijelog toka vodotoka pri čemu je ostvarenje ekološki prihvatljivog minimuma sasvim blizu 100 %, dok je ostvarenje vodnogospodarskog minimuma jednako ostvarenju nizvodnih korisnika kojima se taj protok upućuje. Kod vodnih tokova s nereguliranim protokom, zahtijevani minimum se najčešće definira kao tridesetodnevna mala voda s 95 %-tnim ostvarenjem i vjerojatnosti pojave prosječno jednom u dvadeset godina. S obzirom na relativno složen proračun, u hidrološkoj praksi

vodnogospodarski se minimum određuje kao minimalni srednji mjesečni 95 %-tni protok. Ovo pojednostavljenje se prihvaća iz razloga što razlike u proračunu iznose tek 10 % do 15 %.

U praksi se najčešće preporuča da najmanja dubina vodotoka ne smije biti manja od 20 cm, te da se iz vodotoka treba prestati uzimati voda kod graničnih protoka koji se pak razlikuju ovisno o vodotoku te tako postaju stvar zasebnih analiza. Za vodotoke u nizinama koji imaju relativno široka korita preporuča se da u svakom metru širine korita mora teći od 30 do 40 l/s vode, dok za ostale manje vodotoke ta brojka seže do 75 l/s vode. Također postoje i preporuke da vrijednost ekološki prihvatljivog minimuma ne smije biti niža od 2 do 3 l/s/km² pri čemu je potrebno poznavanje površine sliva. [1]

Kriteriji i mjerila, a time i po njima zasnovane metode određivanja zahtijevanog minimuma, značajno se razlikuju. Prve metode za cilj su imale zaštitu vrha hranidbenog lanca, pošto se smatralo da ako se njih zaštititi, zaštićeni su i ostali manje osjetljivi dijelovi hranidbenog lanca, no takav se pristup pokazao nedovoljnim. Određeni znanstvenici smatraju da je pri određivanju zahtijevanog minimuma potrebno pronaći ravnotežu između potreba za vodom ekosistema i socio-ekonomskog okoliša, što izravno vodi prema holističkom, odnosno sveobuhvatnom pristupu upravljanja vodnim resursima otvorenih vodotoka (slika 3.5.).



Slika 3.5.: HE Peruća kao najbolji primjer holističkog pristupa upravljanju vodnim resursima

4. KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA

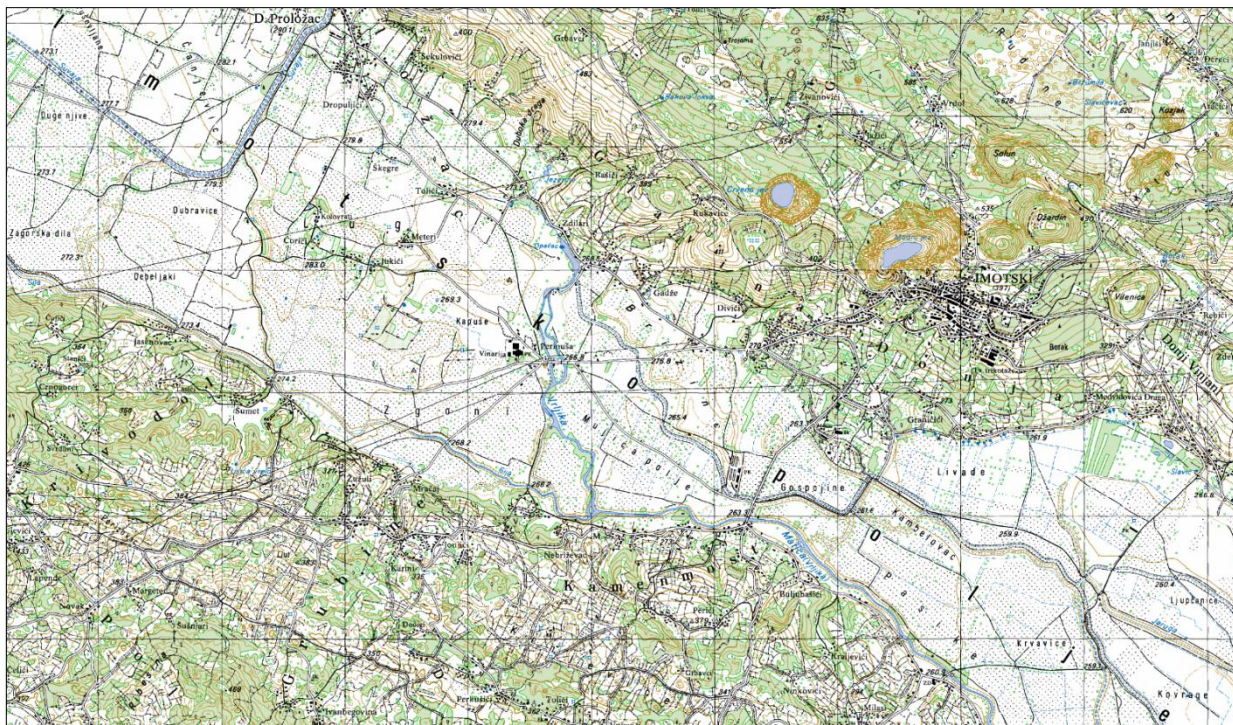
4.1. OPĆENITO

Rijeka Vrljika među stanovnicima kraja kroz koji protječe ima naziv "hraniteljica života" iz razloga što je jedina rijeka s izvorištima pitke vode između rijeka Cetine i Neretve. Zbog izolacije od drugih vodotoka u njoj se razvilo više endemičnih vrsta, stoga se može zaključiti da je cjelokupni sustav rijeke iznimno važan za biološko funkcioniranje kraja, pri čemu treba naglasiti da je isti vrlo osjetljiv na vanjske utjecaje. Vrljika je manja krška rijeka ponornica koja izvire iz više izvora. Ukupna dužina toka je oko 70 km i na tom putu čak pet puta mijenja ime. Tako izvire kao Vrljika, nakon Kamenmosta postaje Matica pa uvire u ponor Šajnovac te ponovno izvire u Peć Mlinima i postaje Tihaljina, Mlada i Trebižat. Već po prvim navedenim podacima očito je da se izučavanje karakteristika sliva dodatno komplicira s obzirom na znatnu povezanost i umreženost niza izvora, vodotoka i jezera u predmetnom području. Kako bi se dobio što bolji uvid u pravu sliku slivnog područja potrebno je razmotriti širi aspekt, odnosno razmatrati šire slivno područje koje je definirano Imotskim poljem (slika 4.1.) kao dominantnom površinom kroz koju protječe rijeka Vrljika.



Slika 4.1.: Imotsko polje kao dominantna površina kroz koju protječe rijeka Vrljika [8]

Jedan od prvorazrednih krških fenomena, Imotsko polje, odavno je privlačilo pažnju mnogih istraživača. Posjedujući sve karakteristike krškog polja s naglašenim dinarskim elementom pružanja, sadrži veoma interesantne i složene hidrografske i hidrogeološke odnose. O polju postoji relativno podosta raznovrsnih podataka, ipak, novim saznanjima treba upotpuniti sliku hidroloških odnosa polja i njegov hidrološki značaj u regionalnom smislu.



Slika 4.2.: Karta terena Imotskog polja oko rijeke Vrljike [8]

Imotsko polje (slika 4.2.) zatvoreni je tip polja izduženog oblika, površine oko 565 km², a proteže se kroz RH i BiH u smjeru sjeverozapad-jugoistok (na teritorij RH otpada oko 4400 ha). Dužina polja je oko 33 km, a širina promjenjiva i to od 0.8 do 5.5 km. Polje se pruža na nadmorskoj visini od 253 m do 270 m. U regionalnom pogledu hipsometrijski postavlja horizont u nizu polja koja se od Livanjskog i Duvanjskog polja stepeničasto spuštaju prema jugoistoku u smjeru doline i ušća Neretve. Polje je blago nagnuto od sjeveroistoka prema jugozapadu i od sjeverozapada prema jugoistoku, što je jasno izraženo hidrografskom mrežom. Obodni reljef uz uzdužni rub polja je strmiji i viši, posebno onaj uzduž sjeveroistočnog ruba. Uz sjeverozapadni rub je nešto niži, a najniži je uz jugoistočni rub polja.

4.2. METEOROLOŠKI, GEOLOŠKI I HIDROLOŠKI PODACI

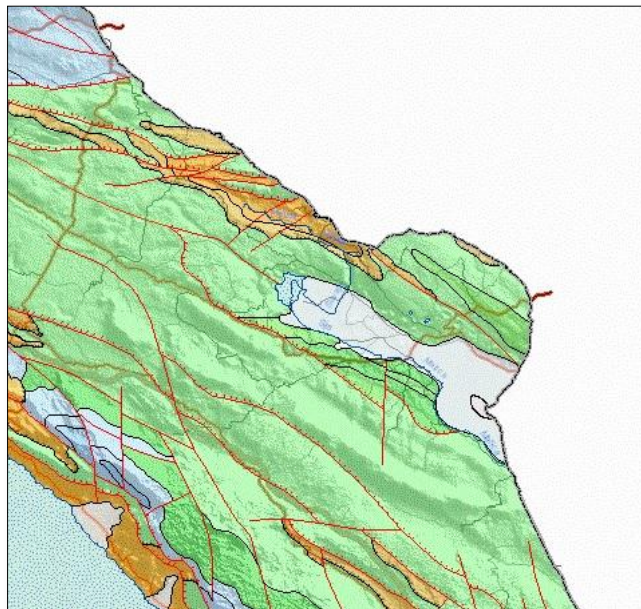
Područje Imotskog polja karakterizira kombinacija utjecaja dvaju klima, odnosno karakterizira ga izmijenjena mediteranska klima karakteristična za dalmatinsku Zagoru, a čiji je puni intenzitet u ovom slučaju spriječen masivom Biokova tako da se mogu naglasiti i segmenti kontinentalne klime s porastom nadmorske visine. Sredozemni utjecaji dolaze s jugoistoka dolinama Neretve, Trebižata i Tihaljine i zbog otvorenosti reljefa prema jugoistoku u području Imotskog polja nešto su izrazitiji nego u susjednim područjima. Srednja godišnja temperatura zraka iznosi 13.4 °C, srednja godišnja temperaturna amplituda 19.4 °C, najniža zabilježena temperatura iznosi -13 °C, a najviša 43 °C (mjerna postaja Imotski). Srednje količine padalina u ljeto iznose 168 mm, jesen 421 mm, zimu 422 mm, a u proljeće 299 mm. Srednja godišnja količina padalina iznosi 1310 mm. [6]

Uz rub polja razvijene su stijene kredne starosti, dok u polju nalazimo naslage koje najvjerojatnije u cjelini pripadaju kvartaru. U širem području sjeverozapadnog dijela terena nalaze se stijene paleogenske starosti. Za kredu se vežu najstariji vanenci čija je debljina procijenjena na oko 500 m, u postupnom slijedu na ovim vapnencima leže dolomiti, dolomitični vapnenci i vapnenci. U sklopu ovih naslaga konkordantno leže vapnenci s hondrodontama i rudistima. U nižim dijelovima to su tamnosivi do crni brečasti vapnenci, koji bočno prelaze u dolomitične vapnence i čiste dolomite. U višem dijelu u vapnencima dolaze ulošci dolomita. Najmlađe kredne naslage su vapnenci, obično slabo uslojeni i masivni, bogati ruditnom faunom čija je ukupna debljina procijenjena na oko 700 m. Paleogen je zastupan foraminiferskim vapnencima i sedimentima fliša. Kvartarne naslage sastavljene su od glina i lapora te pijesaka, šljunaka i glina pomiješanih s crvenicom i humusom. [6]

Analizom geoloških, hidrogeoloških, hidrografskih i geomorfoloških podataka (slika 4.3.) te pojava u Imotskom polju, dolazi se do sljedećih zaključaka. Najuzi dio polja između Kamenmosta i Donje Glavine, koji vjerojatno sadrži manju debljinu kvartara, dijeli polje u dva dijela od kojih svaki ima svoje specifičnosti. Sjeverozapadni dio polja ima različit litološki sastav i debljinu naslaga, te vrlo izraženu morfologiju dna, tj. podlogu kvartara. Kod Vinarije kvartar je sastavljen od lapora i glina i debljina mu iznosi 145 m, dok idući prema sjeverozapadu dolaze u površinskom dijelu naslage šljunka pomiješane s nešto crvenice i pijeska. U krajnjem sjeverozapadnom dijelu debljina kvartara iznosi svega nekoliko metara, a uz rub jezera Blato na površinu izbijaju izdanci vapnenca. Jugoistočni dio polja ima pretežito jednoličan sastav, a radi se o glinovito-laporovitim materijalima pomiješanim sa pijeskom, šljunkom, kamenim okršjem i humusom, a najveća debljina kvartara utvrđena bušenjem kreće se od 102 m do 131 m. [6]

Prema tektonskoj podjeli provedenoj na temelju geološke karte, polje je uvršteno u strukturnu jedinicu Imotski koja je prema jugozapadu navučena na strukturnu jedinicu Slivno, a

duž sjeveroistočnog kontakta na nju je navučena strukturna jedinica Zavelim-Tribistovo. U strukturalnoj jedinici Imotski razvijen je veći broj antiklinala i sinklinala, od kojih su neke rasjedima djelomično reducirane ili prevrnutе. Vrlo značajna je kredna antiklinala sjeveroistočno od Imotskog koja se od Gornjih Vinjana proteže prema jugoistoku do Sovića i Gruda. Veći i značajniji rasjedi pružaju se u pravcu sjeverozapad-jugoistok. U hidrogeološkom smislu važni su rasjedi koji se od ruba polja protežu prema zaleđu u karbonatno područje, prvenstveno na području Imotski-Proložac-Lokvičić. [6]



Slika 4.3.: Geološka karta Imotskog polja [8]

Uzduž sjeveroistočnog ruba polja postoje brojni stalni i povremeni izvori vode, dok duž jugozapadno ruba polja nema stalnih izvora. Kod Zmijavaca ima nekoliko povremenih izvora, a u predjelu Runovića i uz rub Bijelog polja postoje ponori. Kvartarne naslage u većem dijelu Imotskog polja vrše funkciju barijere i imaju važnu ulogu u raspodjeli podzemnih voda koje iz zaleđa na sjeveru i sjeveroistoku gravitiraju polju. Kroz Imotsko polje teče stalni vodotok Vrljika s kojom se spaja povremeni tok Jaruga, nastavak Suvaje, koja povremeno unosi velike količine vode u Imotsko polje. Ovaj zajednički vodotok nizvodno od Kamenmosta naziva se Matica koja u dnu Bijelog polja dijelom ponire u ponor Šajnovac, dok se veći dio vode evakuira tunelom u smjer doline Tihaljine. U središnjem dijelu polja izrađeni su kanali kojima se u fazi velikih voda i poplava odvodi voda u Vrljiku ili Maticu. Od Grudskog vrela postoji povremeni vodotok do ponora uz južni rub polja kod Zelenikovca. Za vrijeme maksimalnog kapaciteta izvora i velikih voda vodotoka Vrljike i Suvaje, te zbog malog gradijenta nagiba polja, dolazi do plavljenja nekih djelova polja (slika 4.4.). Pojave izdanaka podzemnih voda uz sjeveroistočni rub polja vezane su na nekoliko lokaliteta. To je područje Prološkog blata, izvorište Vrljike, izvori kod Donjih Vinjana, izvori na potezu Gorica-Grude, te Imotska jezera i Drinovčka Krenica.



Slika 4.4.: Poplavljeno Imotsko polje [8]

Najznačajniji izvori su oni koji čine izvorište Vrljike (slika 4.5.). Među njima je najveći Opačac, koji se nalazi uz desnu stranu Vrljike, udaljen oko 60 m od ruba polja. Izvire sifonski, a s betonskim propustima ograđeno jezerce ima promjer oko 25 m. Na njemu je ugrađen zahvat za vodoopkrbu Imotskog i Prološca, dijela Glavine i Donjih Vinjana te za potrebe Vinarije. Minimalna izdašnost izvora kreće se oko 1200 l/sec, a zajedno s ostalim izvorima u blizini oko 1500 l/sec. Srednja izdašnost izvora iznosi oko 7 m³/sek, dok se temperatura vode kreće od 10 °C do 11 °C. Neposredno uzvodno od Opačca s lijeve strane rijeke nalazi se izvor Jauk s vrlo velikim oscilacijama, tako da za dugotrajnih suša skoro potpuno presuši. Na istoj strani nekoliko desetaka metara uzvodno, za vlažnog dijela godine uz rub korita Vrljike na više mjesta izvire voda. Na otprilike 500 m Sjeverozapadno od izvora Opačac, nalazi se izvorište Utopišće minimalne izdašnosti 200 l/sec. Glavnina vode izvire iz dva jezercu i pored njih nalazi se nekoliko manjih izvora. Uz rub polja zapadno od Zdilara, u crvenici postoje dva jezercu s vodom pod imenom Jezerine ili Zdilarova oka na međusobnoj udaljenosti oko 4 m i promjera oko 40 m. Dubina gornjeg oka je 12 m a donjeg 6 m. Iz gornjeg jezera voda jedva primjetno teče plitkim jarkom do donjeg, a iz njega manjim potočićem u Dragu. Sjeverozapadno od Jezerina povremeni je izvor Duboka Draga iz kojeg pri maksimalnom kapacitetu izvire nekoliko m³/sek. U neposrednoj blizini nalazi se još manje značajnih povremenih izvora koji se pojave kratkotrajno i poslije intenzivnih i dugotrajnih oborina. Prološko Blato, malo jezerce uz njega Krenica te jezera u velikim vrtačama Galipovac, Lokvičić i Knezović čine jedan sistem. Oscilacija nivoa vode u njima iznose nekoliko metara. Nešto drugačiji uzroci promjene razine vode su kod Prološkog Blata jer on dobiva vodu osim po dubini i površinski preko povremenog vodotoka Suvaje. Najveća izmjerena dubina iznosi oko 35 m. Krenica je promjera oko 170 m i dubine 5 m, a za vrijeme poplave prekriveno je vodom, dok za sušnog razdoblja stalno ima vodu koja je na nešto višoj koti od vode u Prološkom Blatu. Vjerojatno se radi o udubljenju u kvartaru sa zamuljenim dnom koje nije povezano s vodom Blata i drugih jezera. Voda u oba jezera dotiče odozdo prema gore kroz dna i sa strane ponikava, dok se na sličan način vrši i oticanje. Izvan polja, u

neposrednoj blizini grda Imotskog nalaze se u krednim vapnencima rijetki prirodni fenomeni Crveno i Modro jezero. [6]

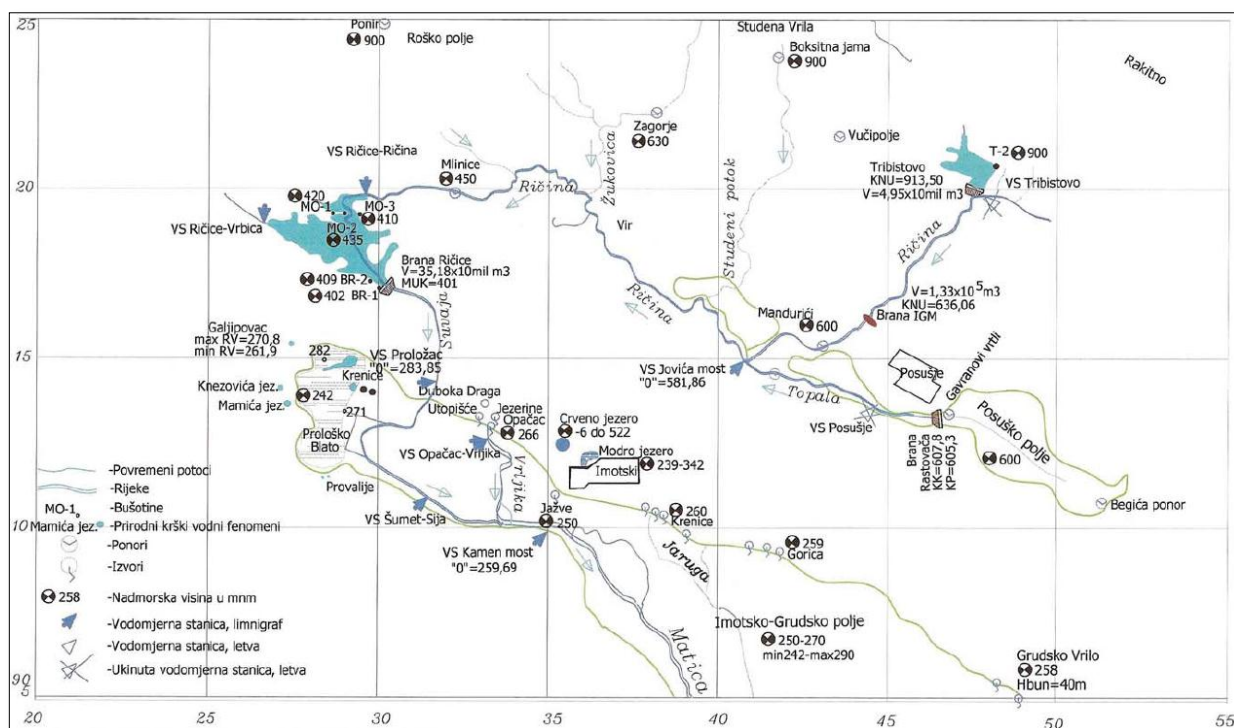


Slika 4.5.: Satelitski snimak terena Imotskog polja oko rijeke Vrljike [Google Maps]

Voda se nalazi u dubokim vrtačama vrlo strmih strana i ima velike oscilacije nivoa. Iako se nalaze na udaljenosti od oko 1 km, amplituda nivoa Modrog jezera je neusporedivo veća od amplitude Crvenog jezera. Najveća je oscilacija nivoa vode kod Modrog jezera s obzirom da jezero ponekad presuši. Iz odnosa kota izvora Opačac i minimalnih nivoa vode registriranih u jezerima proizlazi da se nivo vode u Modrom jezeru spusti za oko 30 m, a u crvenom za oko 15 m ispod kote Imotskog polja kod Opačca. Različite oscilacije vodostaja u Modrom i Crvenom jezeru, pa i drugim jezerima uz sjeverozapadni rub polja, iako se nalaze u stijenama istih hidroloških osobina tumače se različitim kapacitetom putova koji spajaju jezera s podzemnim vodotocima. Osnovni zaključak za sva jezera u okolini Imotskog je da gube vodu isključivo podzemnim putovima. Iznimka je kod Prološkog Blata čije vode kod visokih vodostaja dijelom površinski otječu u rijeku Vrljiku. [6]

4.3. HIDROGEOLOŠKA SITUACIJA

Prema podacima simultanog mjerenja vodostaja na vodnim pojavama u području Imotski-Proložac (*Petrik, 1955.-58.*), prostorno i hipsometrijskom položaju ovih pojava, te drugim hidrološkim i hidrogeološkim pokazateljima, može se reći da su hidrogeološki odnosi u Imotskom polju vrlo složeni. Jednako tako složena je i hidrogeološka funkcija polja u regionalnom smislu. Već su raniji istraživači zapazili da pojedine vodne pojave, pa i one koje se međusobno nalaze na maloj udaljenosti, imaju različit hidrološki režim. Međutim, ne može se prihvatiti mišljenje da su hidrogeološki međusobno izolirane i da među njima ne postoji veza, odnosno da svaka vodna pojava ima svoje porijeklo i vlastiti sliv. Najvjerojatnije neke od ovih vodnih pojava imaju zajedničko porijeklo gdje voda razgranatim kanalima i pukotinama pritječe i hrani ove vodne pojave. Kapacitet ovih podzemnih putova koji dovode vodu i različiti kapacitet kanala i pukotina kojima voda dalje podzemno otječe, glavni je razlog nejednakog režima kojeg manifestiraju ove vodne pojave. [6]



Slika 4.6.: Shematski prikaz Imotskog polja s pripadajućim vodotocima i vodnim fenomenima [7]

Jedan od osnovnih hidroloških problema je određivanje sliva Imotskog polja, koji je potpuno asimetričan. Skoro svi izvori se prihranjuju podzemnim vodama sa sjevera i sjeveroistoka. Hidrogeološki odnosi bližeg i daljnjeg zaleđa vrlo su složeni (slika 4.6.). Područje je izgrađeno od propusnih i nepropusnih stijena s vrlo kompliciranim tektonskim odnosima. Vrlo

značajnu hidrogeološku ulogu imaju prominkse naslage Zavelima, naslage eocenskog fliša Vira i Ričica, miocenske laporovito-vapnene naslage Posušskog polja te dolomitno-vapnenačka antiklinala na potezu Gornji Vinjani-Gorica. Ove naslage u terenu vrše funkcije barijera i regionalnog usmjerivača podzemnih voda prema erozijskim bazama, tj. Imotskom polju i moru. Međutim, vapnenci zaleđa su razlomljeni i vrlo okršeni te za vodu dobro propusni. Podzemne vode između ponora u Roškom i Rastovačkom polju i izvora u Imotskom polju dokazane su bojanjem. Podzemne veze na svom putu ili prolaze ispod nekih od prije navedenih barijera ili njihovih dijelova ili ih zaobilaze preferirajući putove koji su najčešće predisponirani tektonikom i višim stupnjem okršavanja. Nemoguće je za sada govoriti o slivnom području pojedinih grupa izvora u Imotskom polju, ali se može na temelju poznatih hidrogeoloških i tektonskih elemenata pretpostaviti da podzemne vode područja istočno i jugoistočno od linije Posušje-Tribistovo izviru uz rub jugoistočnog dijela Imotskog polja. Podzemne vode pak iz područja zapadno i sjeverozapadno od navedene linije prihranjuju izvore Imotskog polja na potezu od Donjih Vinjana do Lokvičića, uključujući i Imotska jezera. Kvartar polja na čitavom području ne predstavlja kompletnu barijeru. Svojstva nepotpune, tj. viseće barijere, u prvom redu ima sjeverozapadni dio Imotskog polja oko Prološkog Blata, suženi dio polja između Kamenmosta i Glavine, te jugoistočni dio prema rubu polja. Takva geološka građa i hidrogeološki odnosi u polju uvjetovali su da jedan dio podzemnih voda iz zaleđa polja ne izbija na površinu na horizontu Imotskog polja, već otječe ispod i mimo polja u smjeru nižih polja i mora. Najveći dio voda koje izviru na horizontu Imotskog polja otječe Vrljikom i drugim površinskim tokovima do ruba jugoistočnog dijela polja gdje ponire, a dio se odvodi tunelom prema dolini Tihaljine. Podzemne vode koje teku ispod i mimo sjeverozapadnog dijela Imotskog polja, te preko skupine jezera u području Prološkog Blata i Imotskih jezera, otječu podzemno prema moru. Gotovo je sigurno da veliki dio vode protječući kroz razlomljene i okršene vapnence u smjeru morske uvale Vrlje, snažno izvire u formi vrulje na dubini od 38 m. [6]

5. HIDROLOŠKA ANALIZA

5.1. OPĆENITO

Osnovni dijelovi hidrološkoga procesa smatraju se ulaz i izlaz vode. Otjecanje vode je vrlo složena prirodna pojava, zbog čega se u hidrološkim analizama primjenjuju dva pristupa hidrološkim podacima i to deterministički (određeni) te stohastički (slučajni, odnosno probabilistički) pristupi. Deterministički procesi u hidrologiji rezultat su zakonitosti mehanike fluida i fizičkih zakona, a vežu se za hidrološke pojave koje se opisuju ograničenim brojem varijabli te se mogu jednoznačno povezati funkcionalnim vezama (npr. krivulja protoka je funkcionalna veza između vodostaja i protoka). Stohastički procesi u hidrologiji određeni su zakonima slučajnosti (npr. oborine, otjecanje,...), a zbog vrlo velika broja različitih utjecaja na postanak hidroloških veličina kojima se opisuje otjecanje, mogu se prihvatiti kao slučajne promjenljive veličine, tj. slučajne varijable. Determinističko-stohastički proces je metoda analize hidroloških procesa koja se koristi determinističkim pristupom kako bi se ispitali odgovori hidroloških sustava pomoću različitih parametara te stohastičkim pristupom koji hidrološke procese i fenomene opisuje i analizira pomoću metoda teorije vjerojatnosti.

Karakter pojava malih voda u uvjetima krša je da se male vode, gotovo u pravilu, javljaju tijekom ljetnih sušnih razdoblja, kada su potrebe za vodom najizrazitije, a uvjeti u vodnim sustavima najnepovoljniji. Male vode mogu biti posljedica ili prirodnih uvjeta u slivnom području vodotoka ili rezultat poželjnih ili pak nepoželjnih aktivnosti čovjeka. Prirodni režim malih voda rezultat je niza meteoroloških, hidroloških, hidrogeoloških i inih drugih faktora. Promjene u prirodnom režimu malih voda mogu se javiti kao rezultati iznenadnih događaja, kao što su požari, potresi, vulkanske aktivnosti itd., no utjecaj čovjeka, koji se može javiti u formi naglih ili postepenih promjena je najintenzivniji, posebice u gusto naseljenim područjima i mjestima gdje se voda zahvaća za različite potrebe društva.

Razlog činjenici da su vjerojatnost i statistika postale nužan instrument u rukama svih inženjera jest taj da na elementarna pitanja koja proizlaze iz vodnogospodarskih aktivnosti odgovoriti je moguće poprilici samo iz uređenog saznanja o vodama te uz uvid u moguće vjerojatne razvoje vodnogospodarskih procesa. Takva analiza karakteristika malih voda u vodnim sustavima važna je za zaštitu prirodnih ekosustava, planiranje, projektiranje, izgradnju te upravljanje raznovrsnim vodnogospodarskim sistemima i objektima. O hidrološkim značajkama malih voda ovisi mogućnost nekog vodnog resursa da osigura vodu za naselja, industriju ili melioraciju, bilo to vodotoka, izvora, vodonosnika, jezera ili akumulacije. Značajke malih voda uvjetuju povoljne uvjete za razvoj i opstanak biljnog i životinjskog svijeta u prirodnim vodnim sustavima, a posebice i mogućnost prihvaćanja otpadnih te oborinskih voda s površina urbanih naselja.

5.2. ANALIZA PROTOKA

Mnoge pojave i procesi u prirodi rezultat su velikog broja faktora, čiji se pojedinačni utjecaji ne mogu vrednovati, zbog čega se ne može predvidjeti niti veličina, niti vrijeme odigravanja neke pojave. Da bi mogli sagledati mogućnosti i vjerojatnosti za pojavljivanje neke veličine razmatranog hidrološkog procesa, služimo se metodama matematičke statistike i teorijama vjerojatnosti. Svi faktori hidrološkog režima rezultat su slučajnih procesa koji se događaju u prirodi. Zbog navedenog se primjena teorije vjerojatnosti i statistike nameće kao neophodan, a čini se i jedini pravilan pristup. Članovi vremenskih (kronoloških) nizova imaju postupan vremenski slijed, a dobivaju se na temelju izravnih motrenja i mjerenja na terenu. U tu vrstu spada većina podataka koji se u hidrologiji obračunavaju. Kao karakteristična neprekidna varijabla analizirani su protoci.

Takozvana gornja granica za hidrologiju malih voda određena je u vidu prosječnog godišnjeg protoka. To je prosječna veličina ukupnih godišnjih protoka raspoloživih protočno vremenskih serija i jedna od osnovnih hidroloških karakteristika. Dijeljenjem prosječnog godišnjeg protoka brojevima sekundi u godini dobijemo dugoročno prosječni dnevni protok. Različiti pokazatelji malih voda mogu biti izraženi kao postotak prosječnog godišnjeg ili dnevnog protoka. Sadržaj informacije najmanjeg zabilježenog dnevnog protoka razlikuje se sa duljinom promatranja, odnosno snimanja i ovisi o graničnim mjerenjima protočnih veličina. Isprekidani i kratkotrajni protoci su karakterizirani periodima nultih protoka, koji se definiraju kao takozvana donja granica malih voda. [2]

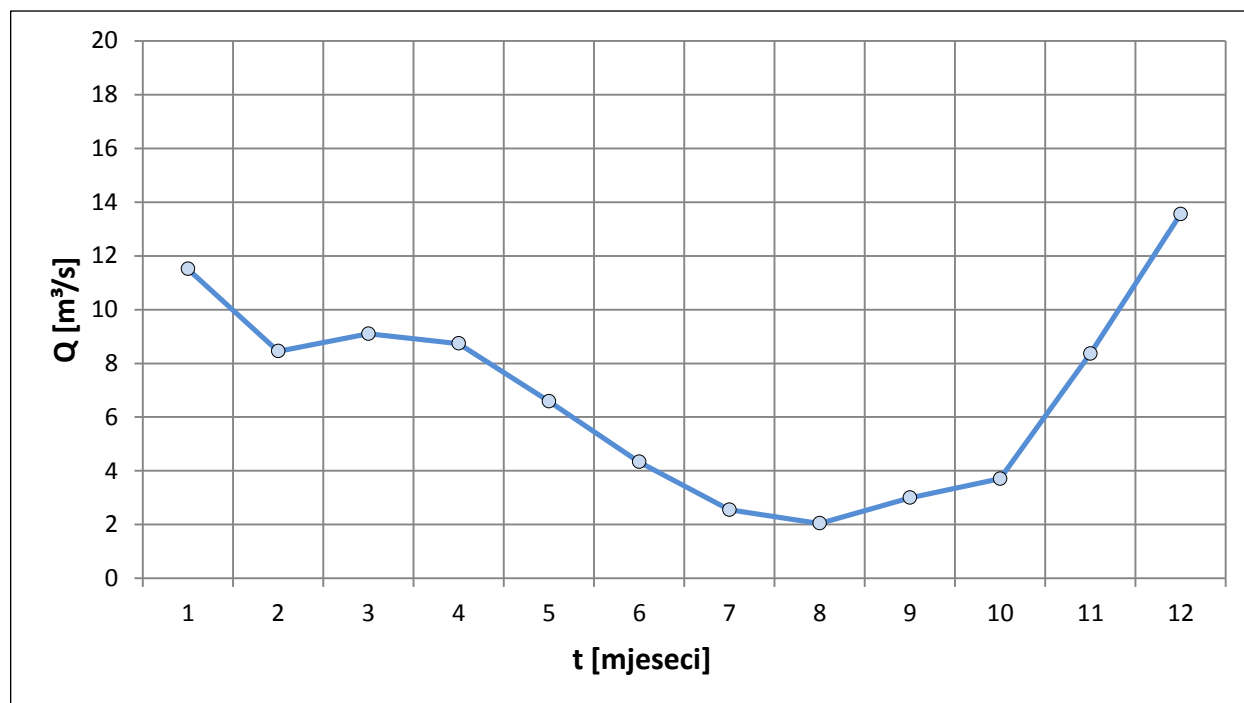
U tablici 5.1. (i na slikama 5.2.-5.4.) dani su srednji mjesečni i godišnji protoci izmjereni na izvoru Opačac (slika 5.1.) za razdoblje od 1995. do 2010. godine. Hidrološka analiza obuhvaća statističke karakteristične vrijednosti (tablica 5.1.) u vidu srednjih, minimalnih i maksimalnih mjesečnih te godišnjih vrijednosti protoka, kao i srednja kvadratna odstupanja, odnosno varijance te standardna odstupanja, odnosno devijacije.



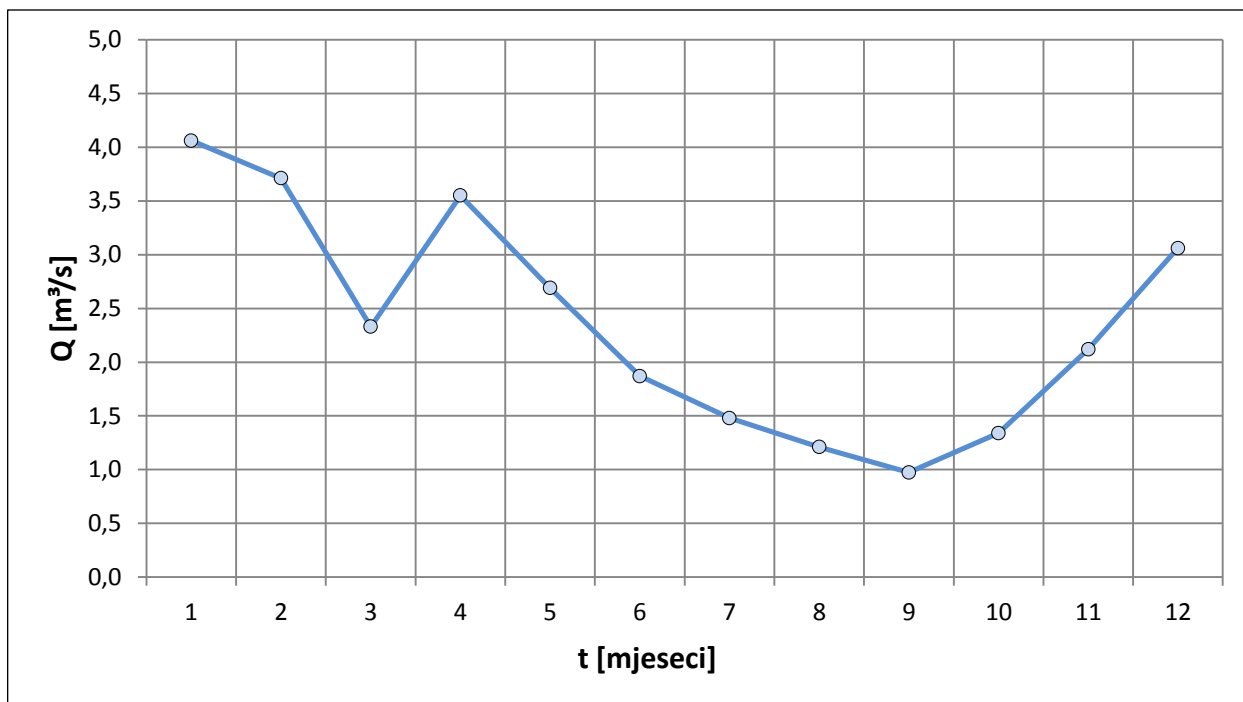
Slika 5.1.: Izvor Opačac

Tablica 5.1. Podaci o srednjim mjesečnim i godišnjim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za razdoblje od 1995. do 2010. godine

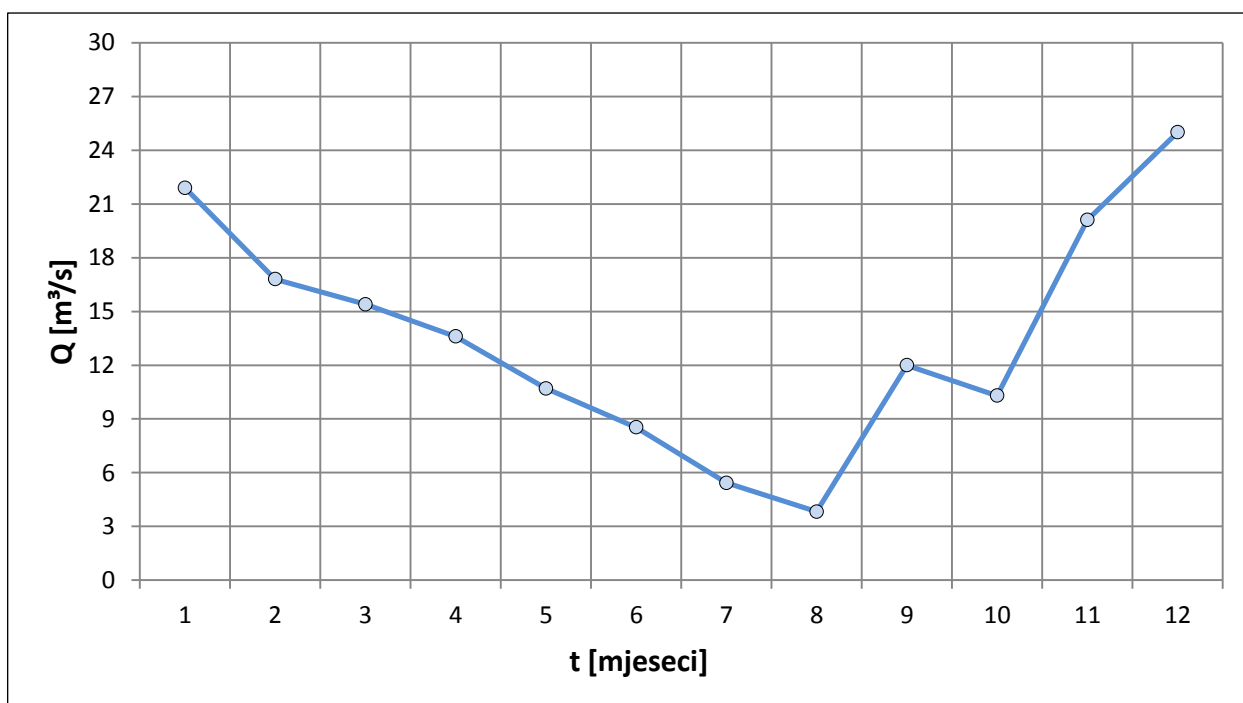
G / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	GOD.
1995.	6,04	7,34	11,20	8,92	9,83	8,53	3,02	2,48	12,00	5,19	4,85	20,90	8,36
1996.	19,40	10,80	7,88	11,80	10,00	5,02	2,54	1,85	3,47	6,76	12,90	13,30	8,81
1997.	13,70	5,88	5,33	5,66	6,99	3,92	1,98	1,65	1,90	1,62	11,60	13,70	6,16
1998.	6,84	3,71	2,33	5,66	4,76	3,02	1,56	1,40	3,68	6,20	6,63	11,30	4,76
1999.	11,10	10,10	9,65	9,46	6,87	3,76	2,19	1,38	1,24	1,53	9,25	18,70	7,10
2000.	8,23	6,23	4,23	5,98	2,69	1,98	1,61	1,71	1,60	2,41	14,30	13,10	5,34
2001.	15,30	9,77	11,00	12,00	5,33	2,53	1,73	1,29	1,46	1,34	4,48	3,06	5,77
2002.	4,06	7,89	3,58	4,34	4,32	2,97	1,77	3,83	5,50	10,30	5,83	8,75	5,26
2003.	16,90	8,67	5,02	3,55	2,75	1,87	1,48	1,21	0,97	5,65	8,51	7,12	5,31
2004.	10,40	8,12	15,40	13,40	8,69	5,82	2,97	2,11	2,14	3,76	5,64	16,90	7,95
2005.	7,98	4,34	10,20	11,40	6,93	3,64	2,56	2,18	2,03	2,63	9,15	18,00	6,75
2006.	13,80	5,77	9,11	7,08	6,79	3,83	2,36	1,94	2,40	2,54	2,12	3,20	5,08
2007.	4,19	9,23	12,90	7,68	5,33	4,20	2,36	1,85	1,82	1,48	2,71	5,29	4,92
2008.	9,42	5,18	12,70	13,60	6,40	5,12	2,80	1,99	1,94	2,21	9,51	23,80	7,89
2009.	14,90	16,80	10,60	8,07	6,96	6,73	5,43	2,92	2,62	2,36	6,21	14,70	8,19
2010.	21,90	15,40	14,40	11,20	10,70	6,39	4,41	2,94	3,21	3,29	20,10	25,00	11,58
Q_{sr}	11,51	8,45	9,10	8,74	6,58	4,33	2,55	2,05	3,00	3,70	8,36	13,55	6,83
Q_{min}	4,06	3,71	2,33	3,55	2,69	1,87	1,48	1,21	0,97	1,34	2,12	3,06	4,76
Q_{max}	21,90	16,80	15,40	13,60	10,70	8,53	5,43	3,83	12,00	10,30	20,10	25,00	11,58
σ_2	28,07	13,27	15,96	10,41	5,71	3,37	1,14	0,50	7,03	6,20	21,78	46,95	3,51
σ	5,30	3,64	3,99	3,23	2,39	1,84	1,07	0,70	2,65	2,49	4,67	6,85	1,87



Slika 5.2.: Srednji mjesečni protoci rijeke Vrljike za razdoblje od 1995. do 2010. godine



Slika 5.3.: Minimalni mjesečni protoci rijeke Vrljike za razdoblje od 1995. do 2010. godine



Slika 5.4.: Maksimalni mjesečni protoci rijeke Vrljike za razdoblje od 1995. do 2010. godine

5.3. KRIVULJE TRAJANJA PROTOKA I HISTOGRAMI UČESTALOSTI

Učestalost je broj pojavljivanja neke vrijednosti u proizvoljnom, ali određenom razdoblju opažanja. Grafički prikaz učestalosti u koordinatnom sustavu naziva se raspodjela učestalosti ili histogram, a učestalosti pojavljivanja ujedno se može aproksimirati neprekidnom krivuljom koja se naziva krivulja učestalosti. Zbrojna učestalost neke vrijednosti je zbroj učestalosti svih vrijednosti manjih ili jednakih toj vrijednosti ili obrnuto te predstavlja trajnost i grafički se prikazuje krivuljom trajanja. [1]

Krivulja trajanja protoka jedna je od najinformativnijih metoda za prikaz raspona protoka vodotoka od pojava malih voda do nastupa poplava. To je veza između bilo koje dane vrijednosti protoka i postotka vremena u kojem je taj protok jednak ili veći. Krivulja protoka konstruira se sastavljanjem vrijednosti protočno vremenskih serija prema padajućem redu po veličini, pridruživanjem vrijednosti protoka u klasne intervale i brojanjem događaja, odnosno vremenskih koraka unutar pojedinog intervala klase. Zajedničke se klase učestalosti potom izračunavaju i izražavaju kao postotak ukupnog broja vremenskih koraka u opažanom periodu. Konačno, donja granica pojedinog intervala klase protoka iscrtava se prema postocima točaka. Alternativno, sve kategorije protoka mogu se iskazati kao postotak ukupnog broja promatranih vremenskih koraka. Krivulja trajanja protoka može biti konstruirana i korištenjem različitih vremenskih rezolucija podataka o protoku i to na razini godišnjih, mjesečnih ili dnevnih podataka. Krivulja trajanja konstruirana na temelju dnevnih protočno vremenskih serija, pruža najdetaljniji način ispitivanja trajanja karakteristika vodotoka.

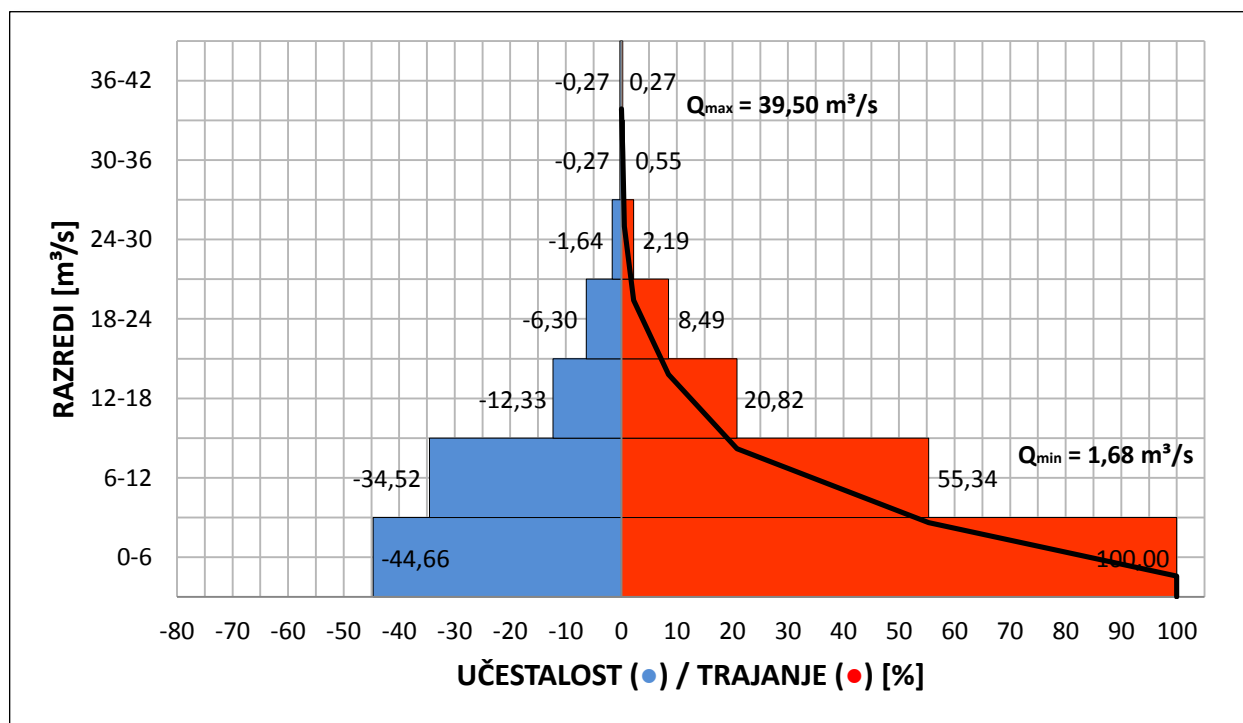
Krivulje trajanja protoka učestalo se koriste u inženjerskoj praksi, od upravljanja zalihama voda do upravljanja kakvoćom voda. Pri proučavanju malih voda, najzanimljiviji je dio takozvanih niskih protoka iz krivulje trajanja koji može biti proizvoljno određen kao dio krivulje protoka ispod srednjeg protoka, što pak odgovara jednakom ili većem protoku u 50% vremena, a označava se kao $Q_{50\%}$. Cijelo ovo područje krivulje može se tumačiti kao pokazatelj doprinosa podzemnih voda protočnom toku iz potpovršinskih zaliha. Ako je nagib niskog protočnog dijela na krivulji malen, tada je doprinos podzemnih ili podpovršinskih voda značajan, pa su i male vode održive. Strmi nagib krivulje pak označava mali ili promjenjiv doprinos baznih protoka. Prema navedenom, oblik krivulje trajanja protoka dobar je pokazatelj hidrogeoloških karakteristika sliva. Ujedno, potrebno je napomenuti da postotak vremena toka u uvjetima bez protoka opisuje stupanj izostajanja toka i predstavlja postotak dana ili mjeseci (ovisno o rezoluciji podataka) nultih protoka u ukupnoj evidenciji. Najduži zabilježeni period uzastopnih dana nultih protoka je pokazatelj najekstremnijih suša, ali ujedno ovisi i o dužini promatranja.

Kako smo već napomenuli, učestalost predstavlja broj koji nam govori koliko se puta neka diskretna varijabla pojavila u određenom vremenskom razdoblju. Krivulja učestalosti je

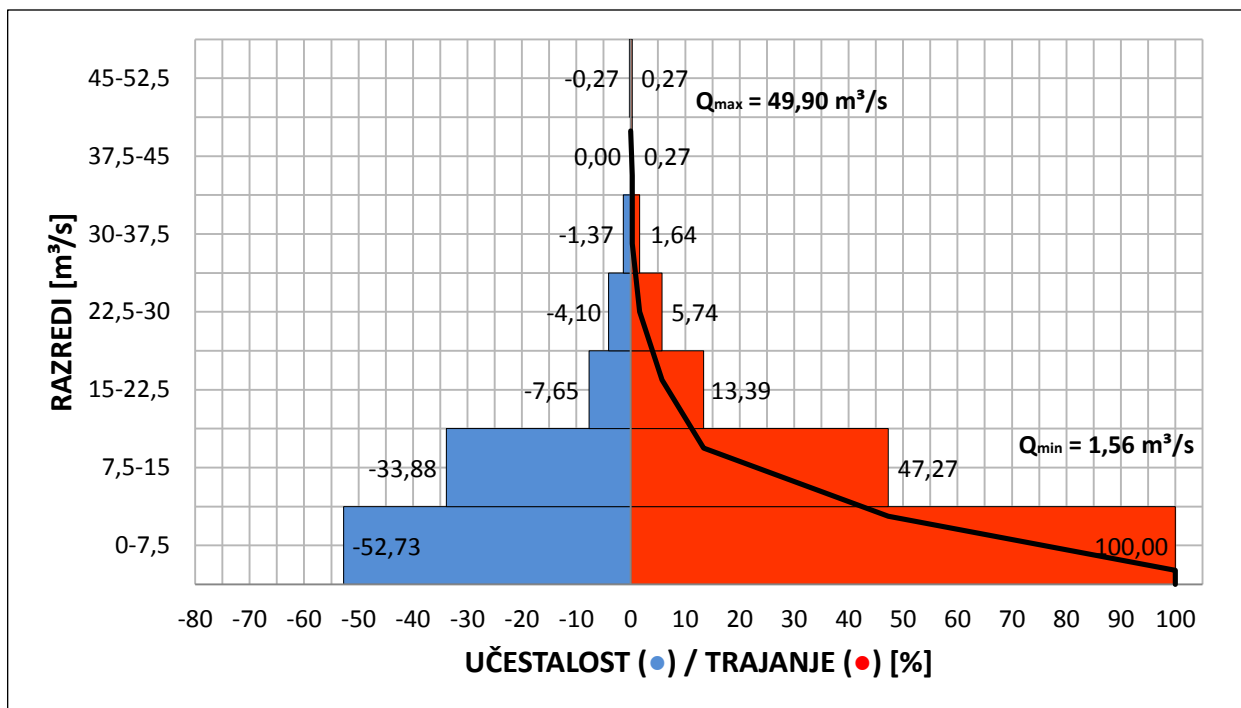
empirijska funkcija koja predstavlja broj ili postotak pojava nekog hidrološkog procesa u određenom klasnom intervalu. Krivulja učestalosti konstruira se na način da se zabilježeni interval varijacije protoka podijeli u određeni broj klasnih intervala te se zatim vrši prebrojavanje kako bi se ustvrdio broj dana u kojima je protok bio količinom takav da pripada određenom klasnom intervalu. Prebrojavanje se na ovaj način može vršiti po mjesecima, a zatim i za čitavu godinu.

U praksi postoje različiti oblici krivulja učestalosti protoka što je posljedica veze s geološkim karakteristikama terena. Osnovni tipovi oblici krivulje su simetričan (normalan) oblik, asimetričan oblik s jakim maksimum, asimetričan oblik s dva maksimuma te jednostrani oblik. U slučaju krške sredine zanimljiv je jednostrani oblik krivulje učestalosti koji se najčešće, u daljnjoj analizi protoka za krške vodotoke, nameće kao prevladavajući, uz par iznimaka koji su vjerojatno posljedica nepoklapanja hidrološke i kalendarske godine promatranog razdoblja.

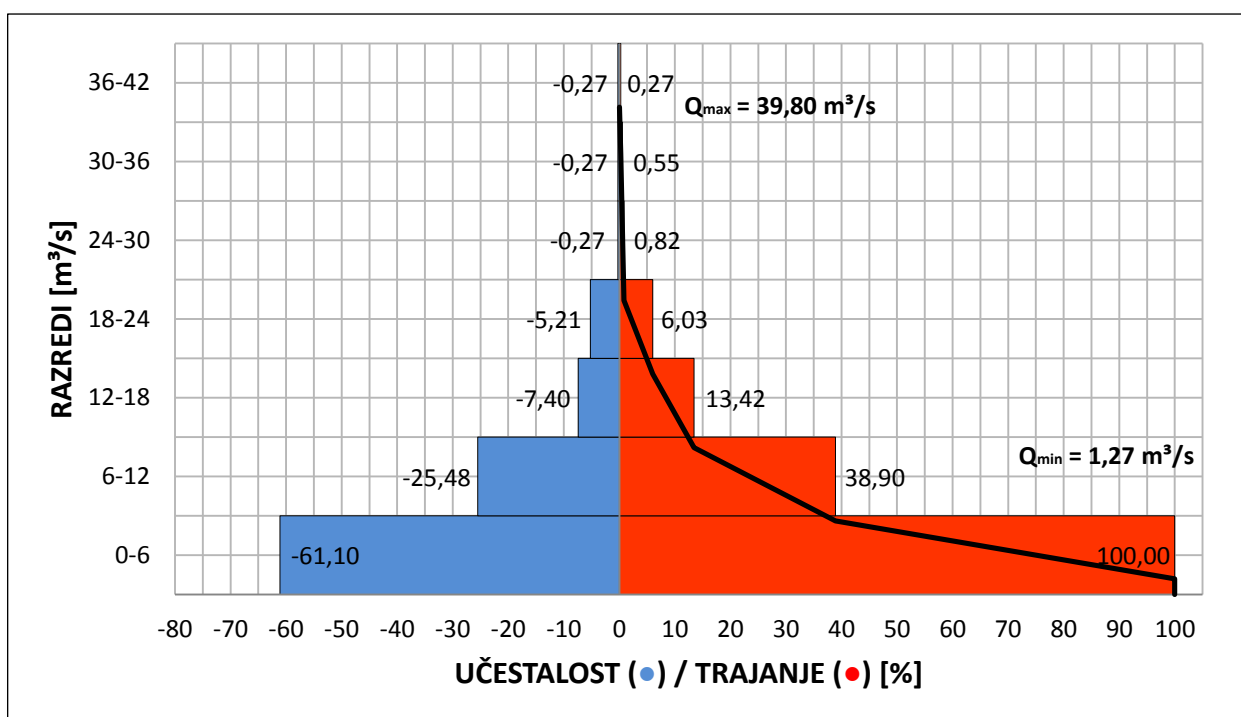
Prema podacima o protocima izmjenjenima na izvoru Opačac za razdoblje od 1995. do 2010. godine, na slikama 5.5.-5.20. dane su krivulje trajanja protoka te histogrami učestalosti za pojedinu godinu navedenog razdoblja.



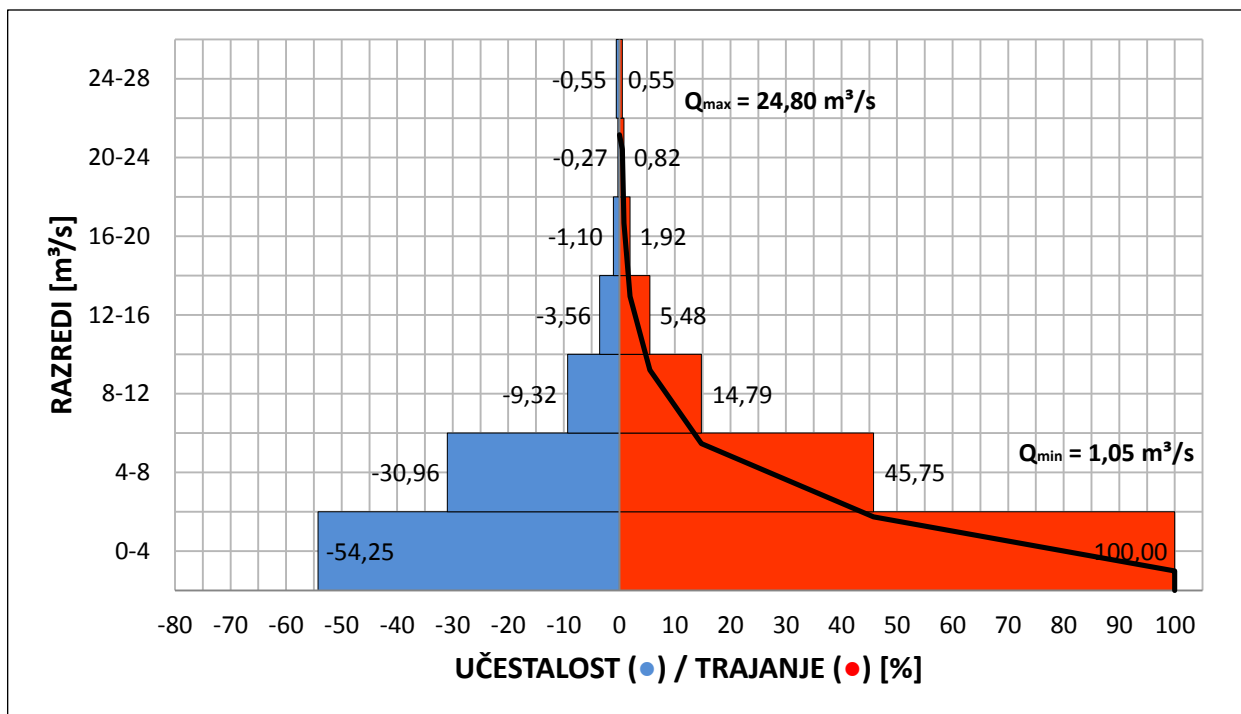
Slika 5.5.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 1995. godinu



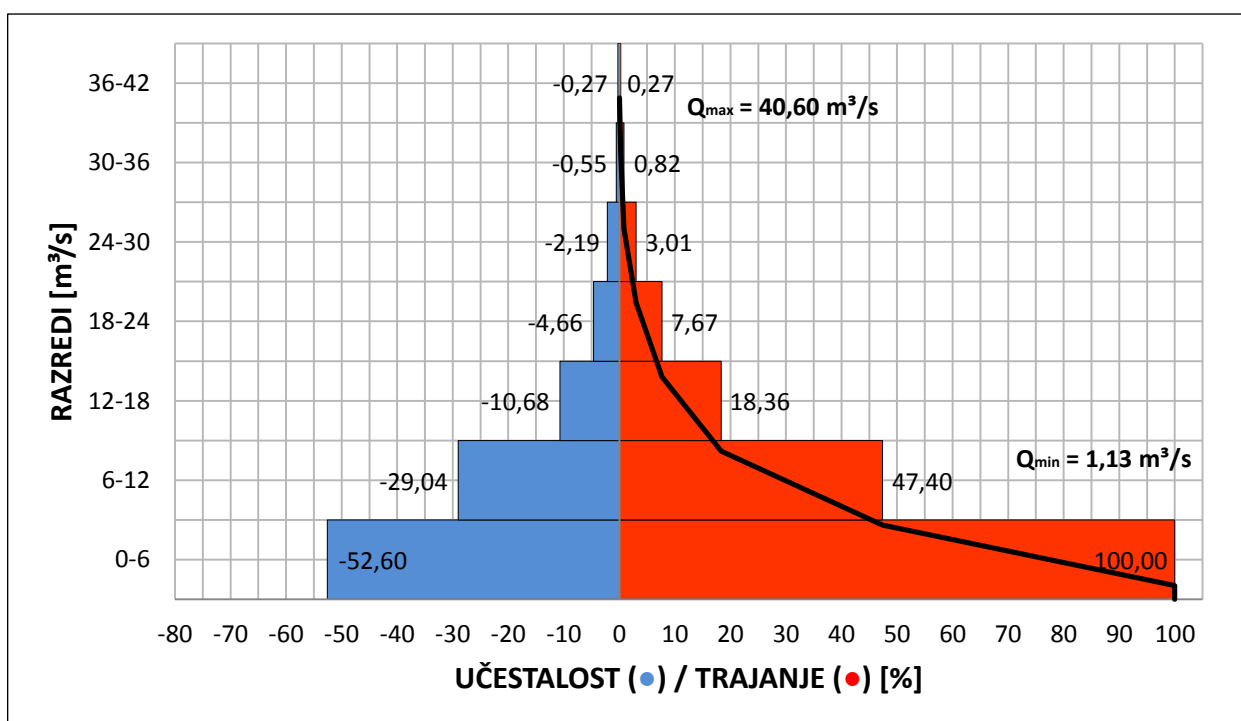
Slika 5.6.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 1996. godinu



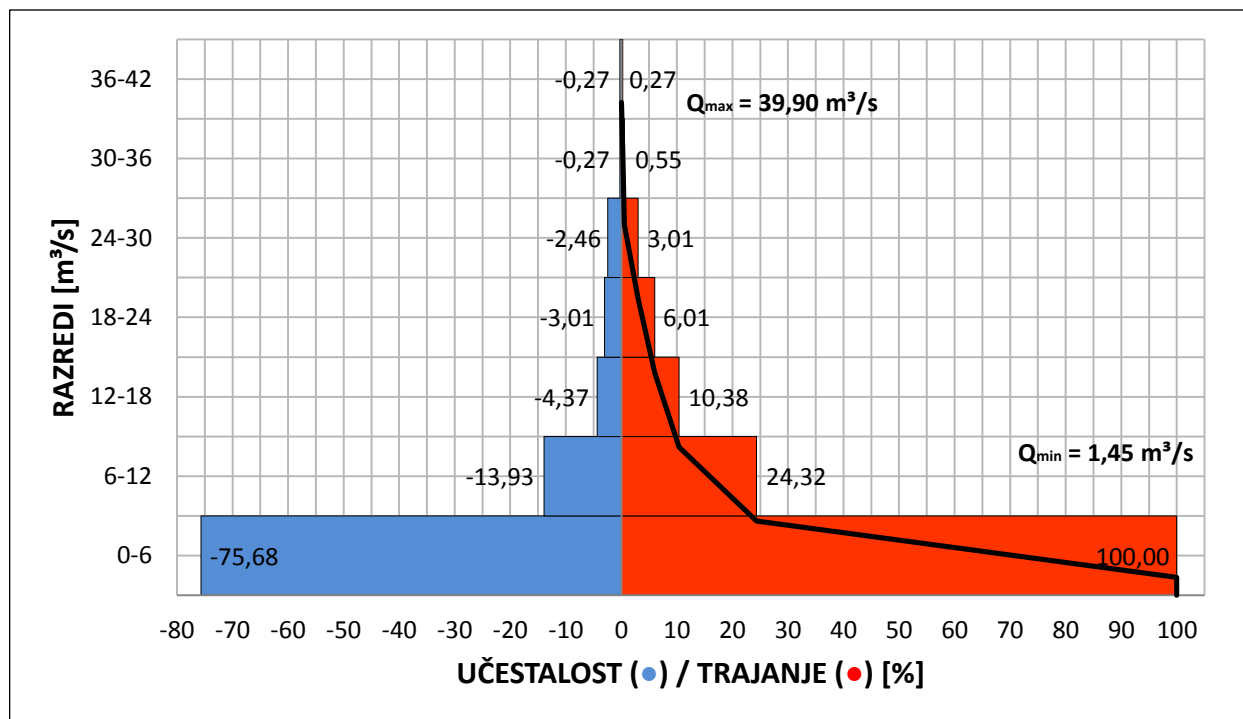
Slika 5.7.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 1997. godinu



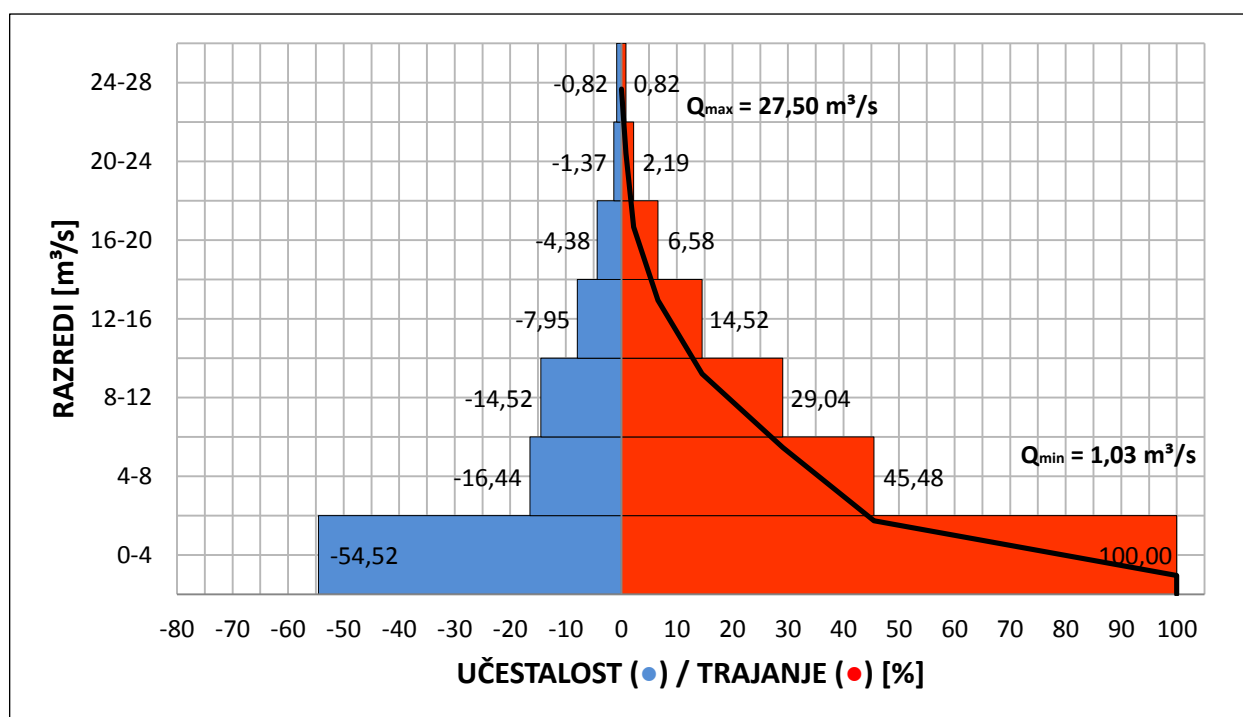
Slika 5.8.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 1998. godinu



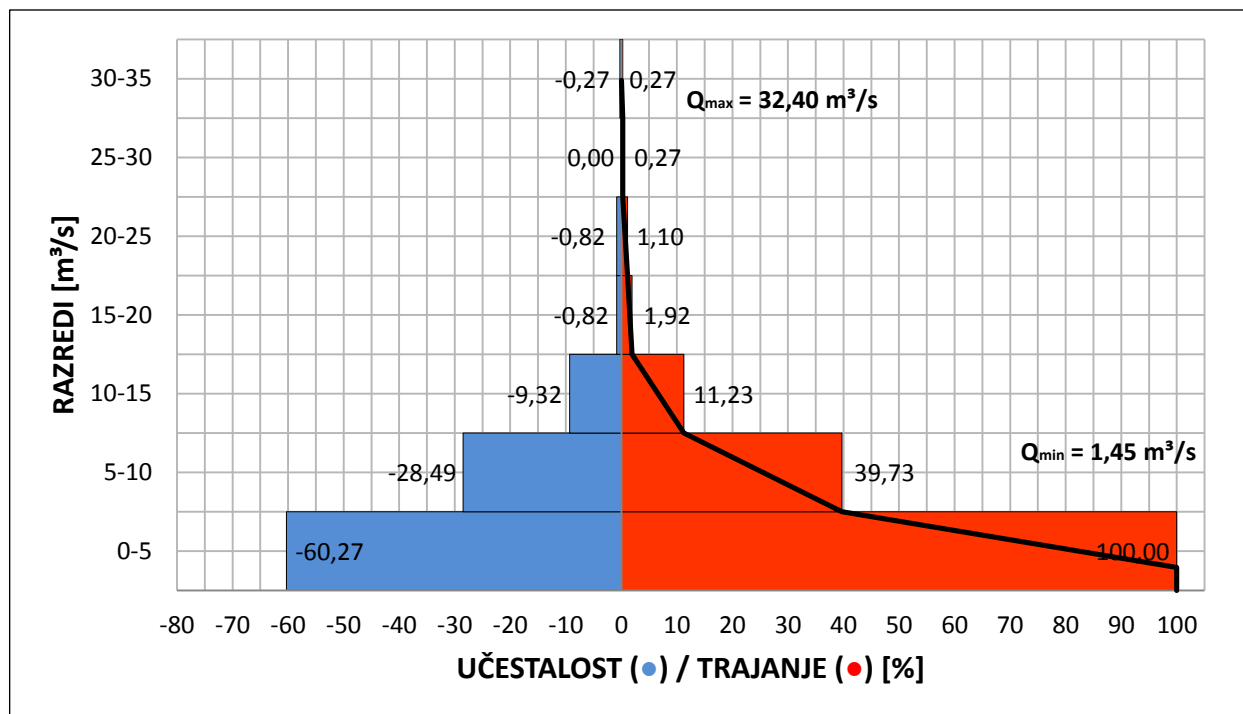
Slika 5.9.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 1999. godinu



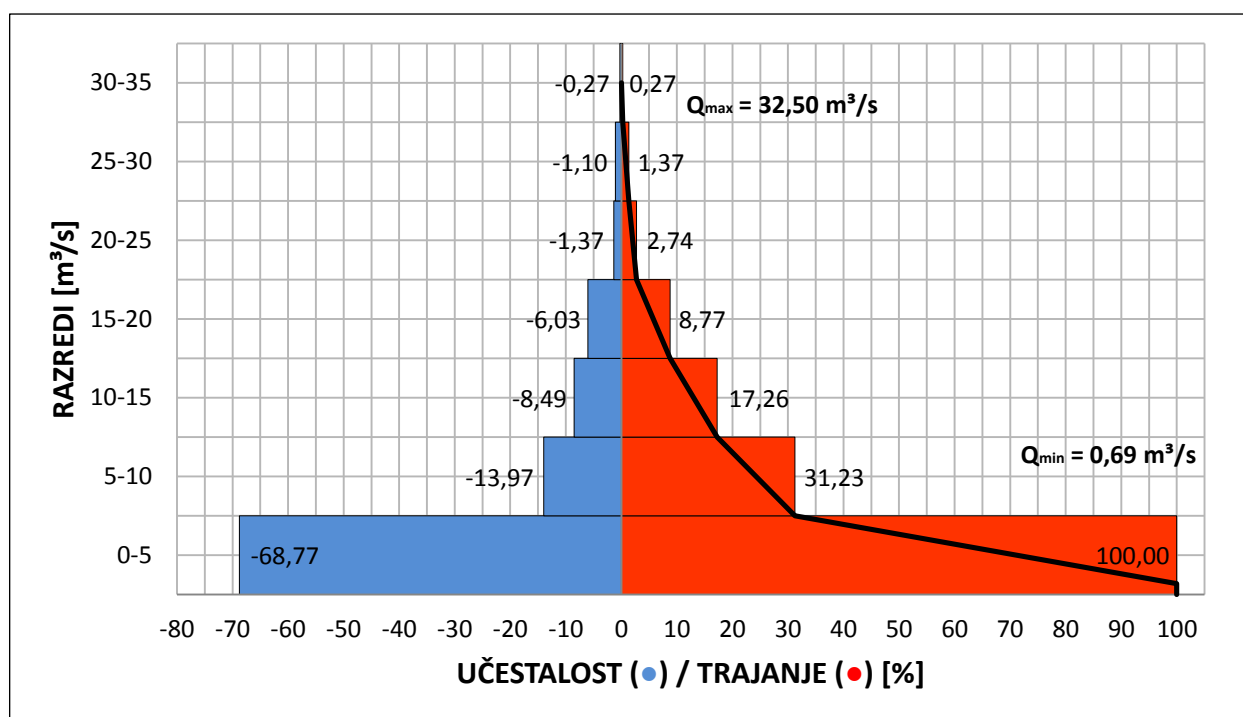
Slika 5.10.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2000. godinu



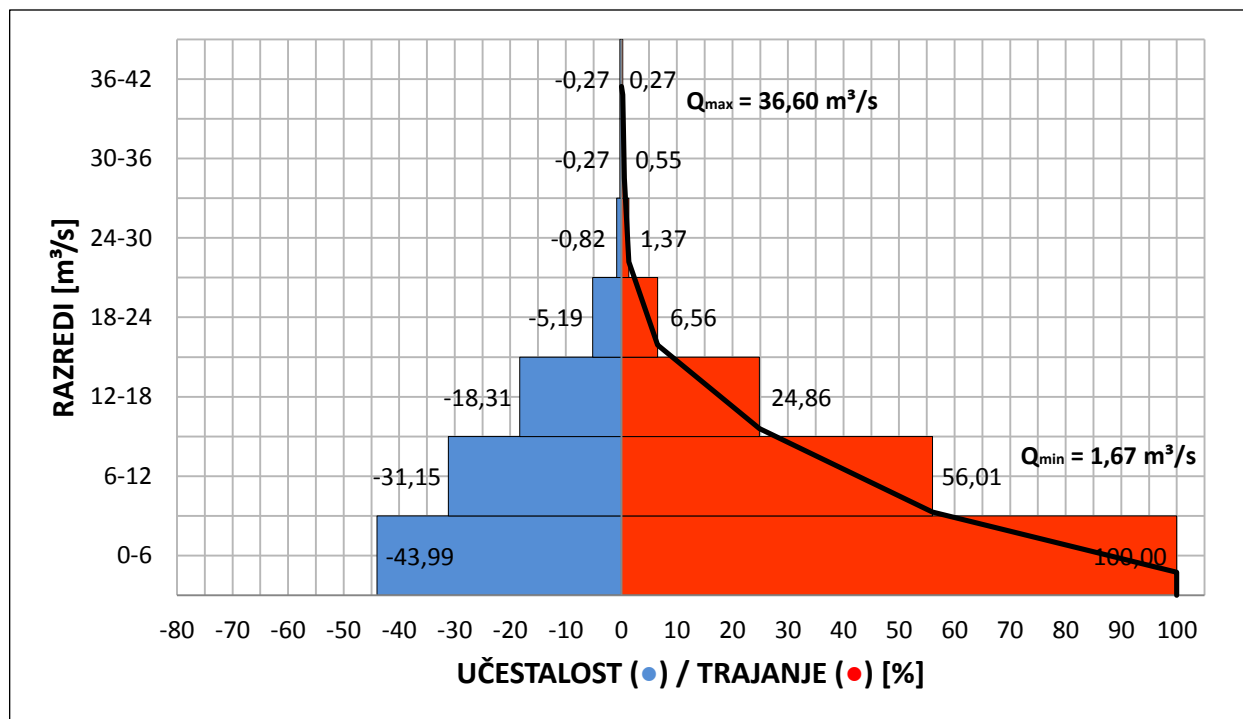
Slika 5.11.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2001. godinu



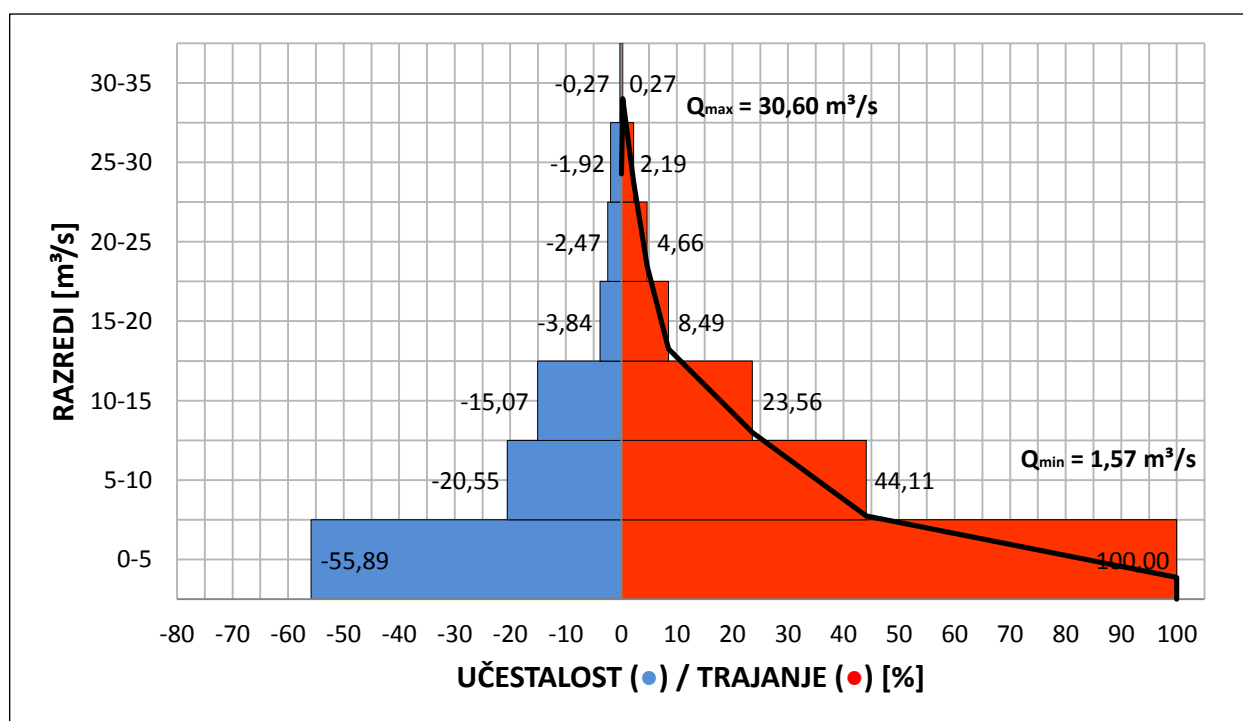
Slika 5.12.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2002. godinu



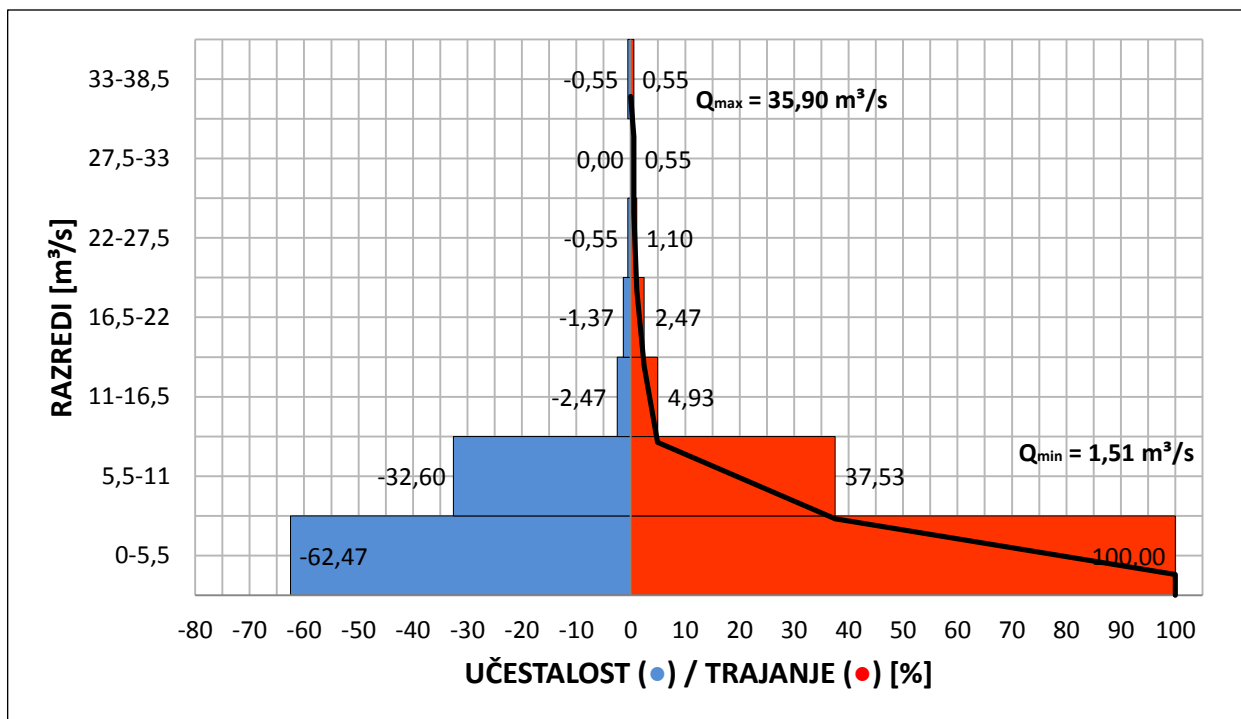
Slika 5.13.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2003. godinu



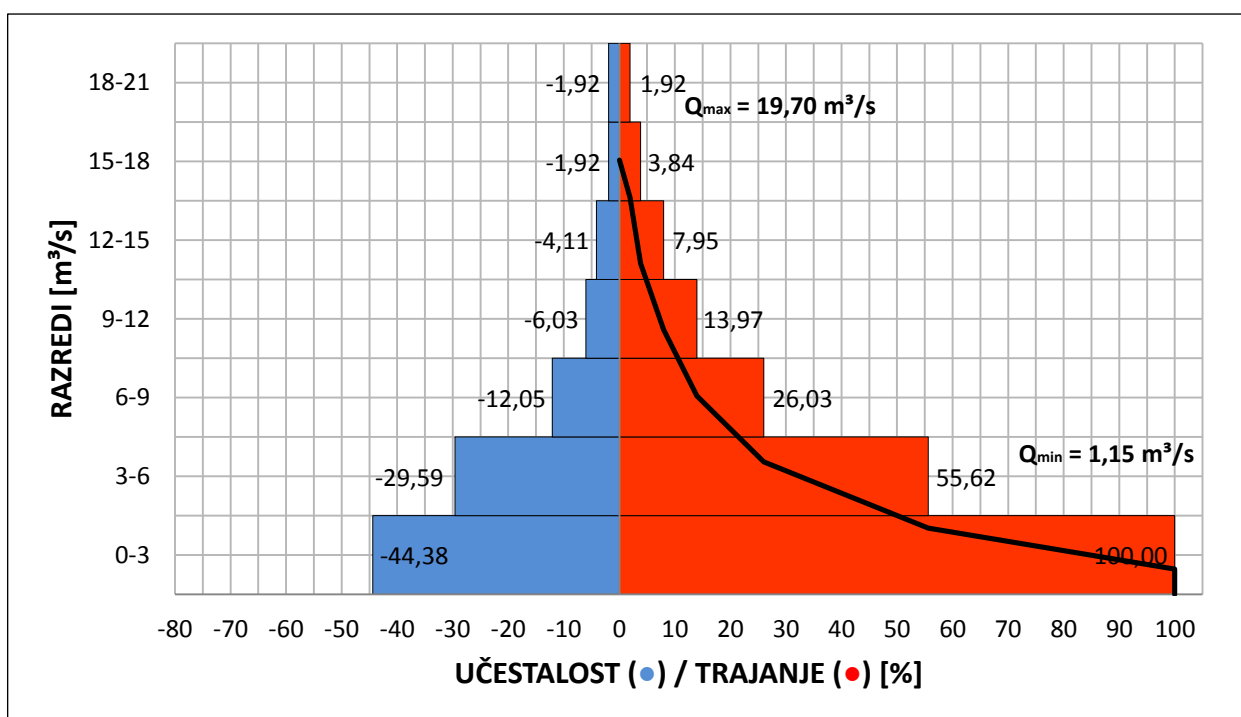
Slika 5.14.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2004. godinu



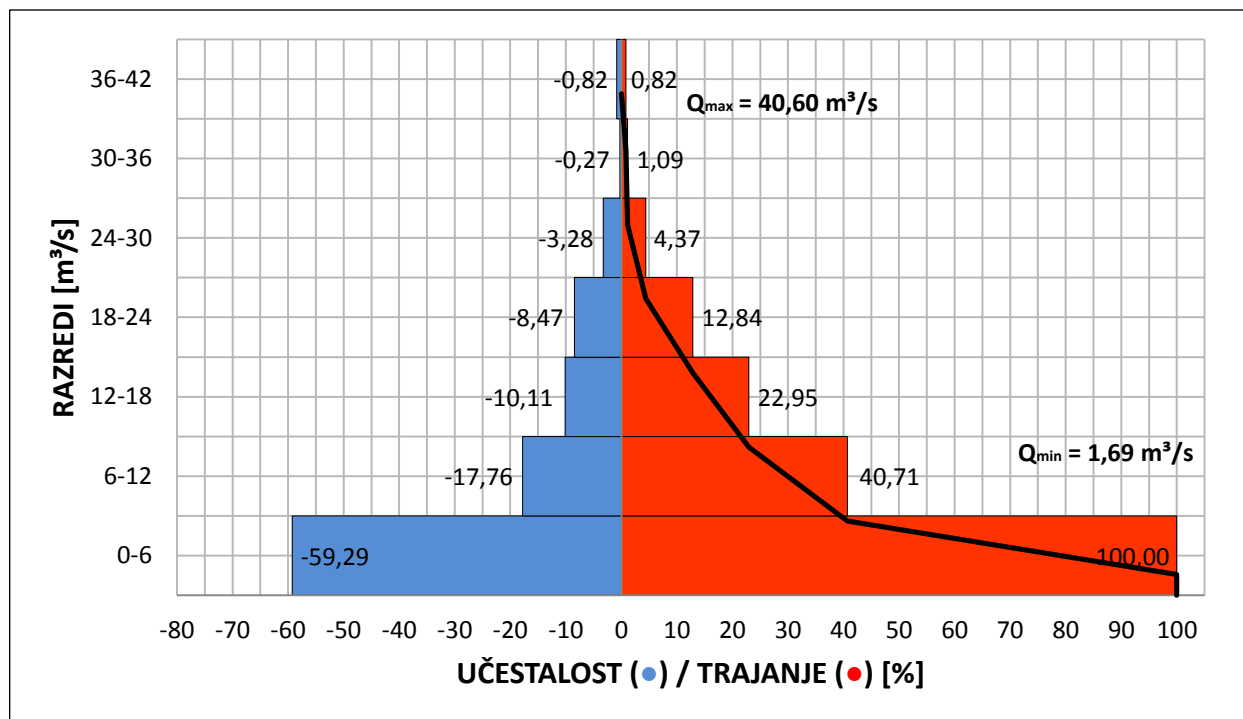
Slika 5.15.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2005. godinu



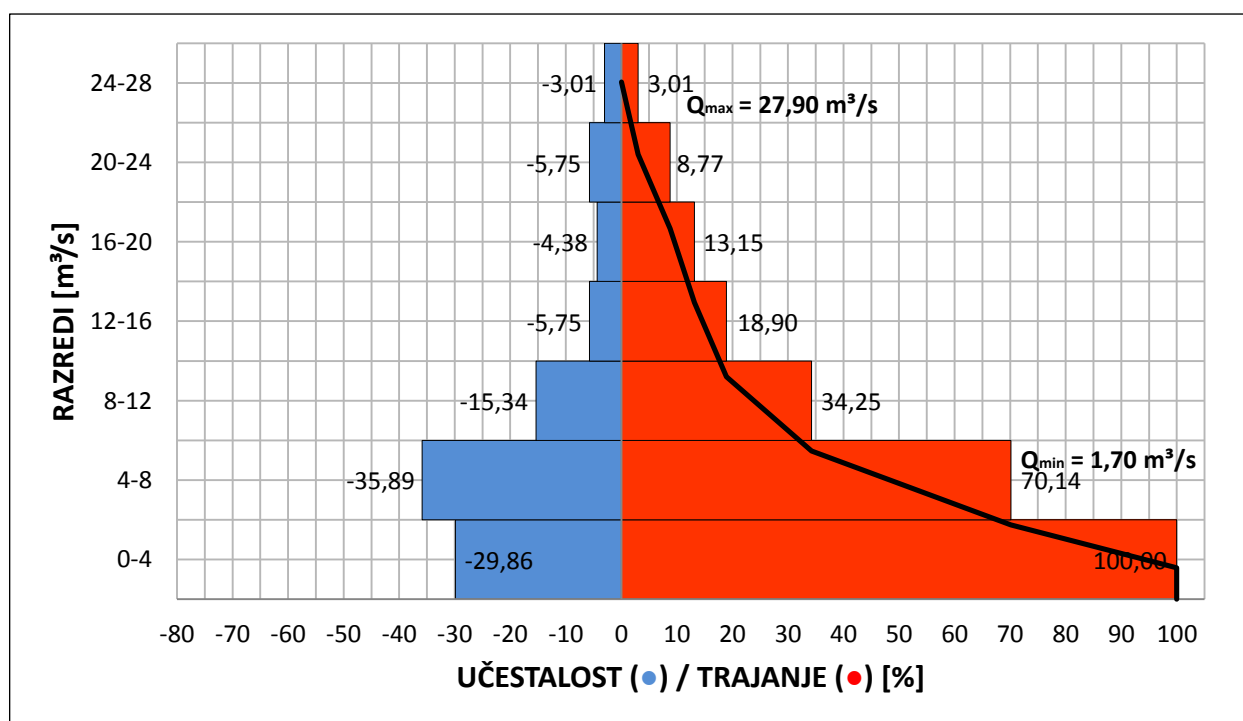
Slika 5.16.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2006. godinu



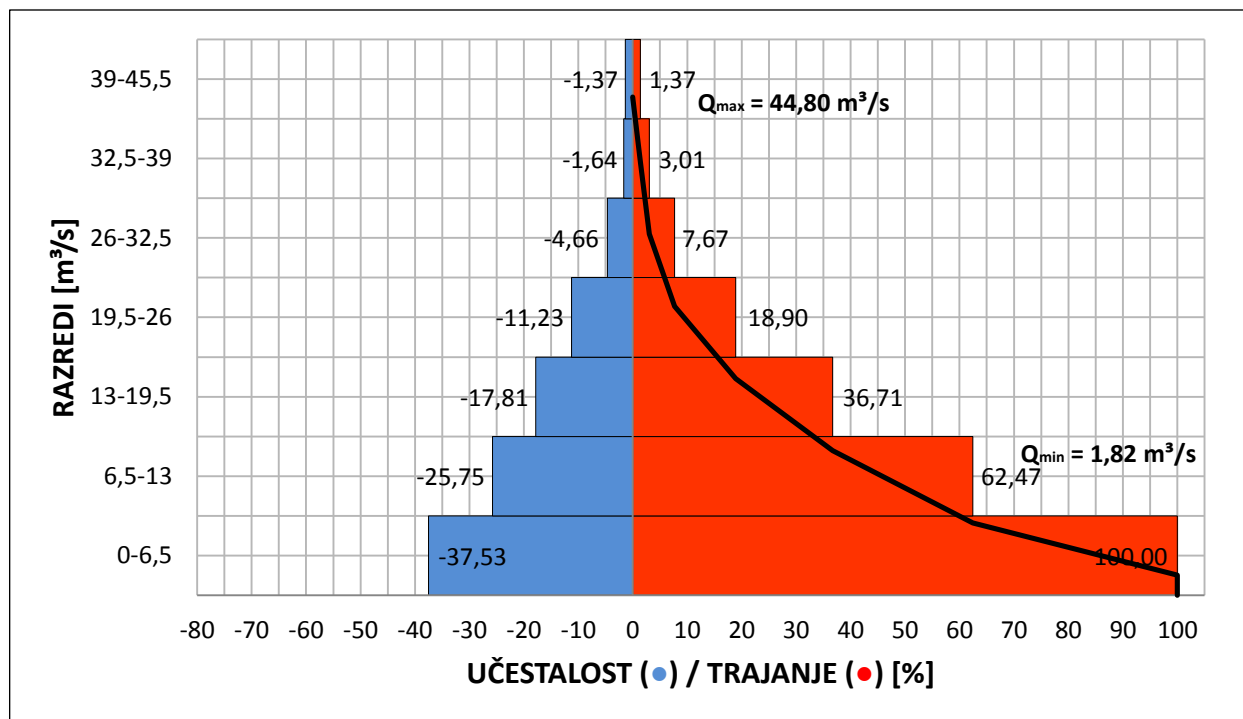
Slika 5.17.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2007. godinu



Slika 5.18.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2008. godinu



Slika 5.19.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2009. godinu



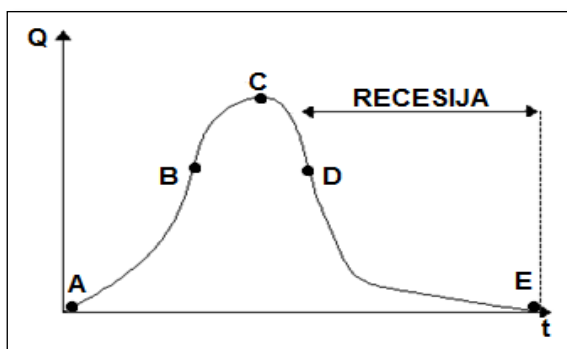
Slika 5.20.: Histogram učestalosti i krivulja trajanja protoka rijeke Vrljike za 2010. godinu

6. KRIVULJA PRAŽNJENJA REZERVİ VODE

6.1. OPĆENITO

Ukupno otjecanje na izlaznom profilu sliva pojavljuje se kao vremenska funkcija čiji se grafički prikaz zove hidrogram otjecanja. Tako se hidrogram otjecanja ili hod protoka otjecanja, može definirati kao grafički prikaz protoka vodotoka u vremenu na određenoj lokaciji vodotoka, a dobije se kada se zabilježbom vodostaja preko protočne krivulje odrede odgovarajući protoci vode. U različitim hidrološkim profilima hidrogrami otjecanja redovito se značajno razlikuju, stoga ih je potrebno i zasebno analizirati. Hidrogram se ujedno smatra integralnim izrazom fizikalno-geografskih i klimatskih karakteristika te procesa koji definiraju odnose i zavisnost između padalina i otjecanja predmetnog sliva na predmetnoj lokaciji vodotoka. [1]

Hidrogram otjecanja, koji je posljedica padanja kiše jednakog intenziteta i ravnomjerno raspoređene po površini sliva, generalno govoreći, ima karakterističnu formu sa četiri tipična segmenta (slika 6.1.). U hidrološkim se analizama tako, na jediničnom hidrogramu otjecanja izdvajaju četiri osnovna grafička oblika koja izražavaju utjecaj kiše na izdašnost nekog izvora ili protoka i to osnovica (AE), rastuća grana (AB), odnosno povećanje protoka u vremenu koje se još naziva krivulja koncentracije, vršni dio hidrograma (BCD) koji predstavlja trenutak kada protok dostiže svoj maksimum, odnosno dio hidrograma od točke infleksije na grani porasta do točke infleksije na grani opadanja te padajuća grana koja predstavlja krivulju recesije (DE).

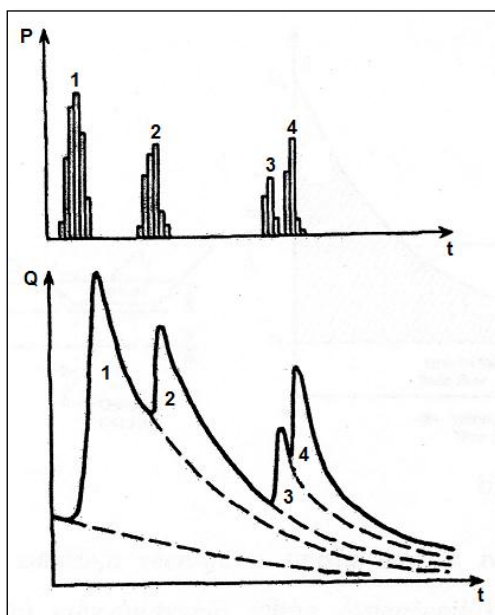


Slika 6.1.: Komponente hidrograma otjecanja [2]

Recesijska krivulja dio je hidrograma otjecanja koja predstavlja vrijeme pražnjenja vodonosnika. Ovaj dio hidrograma predstavljen je jednom konveksnom krivuljom reprezentirajući otjecanje akumulirane vode u slivu čija je akumulacija najveća u točki infleksije D. Kada su kiše koje se jave na površini sliva koncentrirane bliže predmetnoj točki na vodotoku tada je duljina krivulje kraća, nasuprot slučaju kada su kiše koncentrirane bliže kraju površine sliva, kada je duljina recesijske krivulje veća. Ipak, oblik ove krivulje ne ovisi o karakteristikama kiše i infiltracije nego u prvom redu o fizičkim karakteristikama sliva i hidrografskoj mreži. Točka E predstavlja vrijeme kada je količina vode u vodotoku doprinos samo dotoka podzemne vode u mrežu vodotoka. Od tog trenutka ne postoji doprinos kiše u otjecanju, a karakteristike korita vodotoka

uglavnom determiniraju tip opadajuće ili recesijske grane hidrograma, pri čemu nagib recesijske krivulje ukazuje na intenzitet otjecanja akumulirane vode u koritu vodotoka.

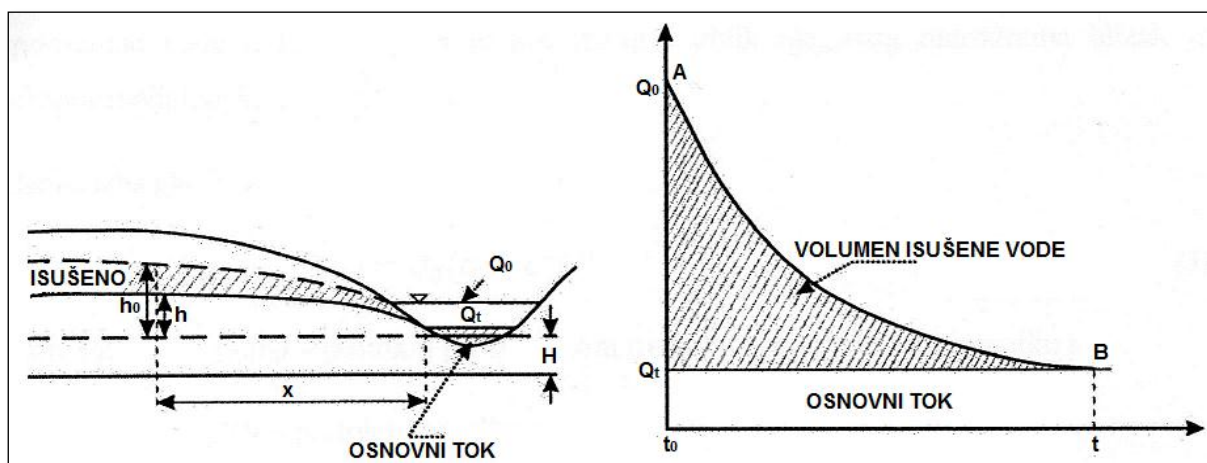
Kod efluentnih vodotoka dolazi do podzemnog otjecanja vode koje se progresivno smanjuje i može se, u ovisnosti o karakteristikama sliva, održati kroz određeno vrijeme. Karakteristika terena da vodu koja se pojavila na slivu zadrži u podzemlju predstavlja bitnu karakteristiku sliva. U periodu kada izostaju padaline, odnosno u neovisnom režimu, izvori i vodotoci napajaju se samo podzemnim vodama te predstavljaju one zalihe koje su uskladištene u hidrološkom bazenu, vodonosniku ili hidrogeološkoj strukturi tijekom prethodnog kišnog perioda. Protok izvora ili vodotoka, tako, u beskišnom razdoblju predstavlja produkt odvodnjavanja jedinstvenog vodonosnika ili složenog vodonosnog sustava kojim se oni napajaju (slika 6.2.). Razvitak izdašnosti izvora tijekom recesijskog perioda kada nema vanjskih utjecaja, a voda pod tlakom otječe kroz neku šupljinu, može se razmatrati kao funkcija u kojoj je otjecanje povezano s regionalnim geometrijskim obilježjima vodonosnog sustava i promjenama energetskog stanja pod utjecajem odvodnjavanja vodonosnika, pri čemu se za krško područje moraju zadovoljiti uvjeti kakvi se pretpostavljaju za porozni kontinuum, osim za lokalno izraženi ulazni karakter izvora. Ova osobina u velikoj mjeri ima utjecaj na režim otjecanja vode odnosno na oblik recesijske krivulje hidrograma. Oblik recesijske krivulje tako, u velikoj mjeri ovisi o hidrogeološkim karakteristikama vodonosnog sustava, a njegova matematička identifikacija omogućuje prognozu opadanja izdašnosti u sušnom razdoblju. [1]



Slika 6.2.: Hidrogram složenog otjecanja kao superpozicija vodnih valova [2]

Oblik krivulje recesije u beskišnom razdoblju posljedica je procesa odvodnjavanja vodonosnika. Početak A na slici 6.3. odgovara količini Q_0 na početku promatranog razdoblja

odvodnjavanja, a kraj B odgovara osnovnom toku ili u određenim slučajevima potpunom odvodnjavanju kada zalihe podzemne vode iznad kote preljeva postaju zanemarive. Oblik idealne recesijske krivulje dobio bi se ukoliko bi na kraju razdoblja površinskog otjecanja podzemna voda bila na svojoj maksimalnoj razini i kada se idući "input" u sliv ne bi pojavio toliko dugo da bi došlo do presušenja korita vodotoka. Najbolji uvid u recesiju daju hidrogrami tropskih vodotoka iz razloga što su u tim krajevima kišno i sušno razdoblje strogo razdvojeni, stoga je u sušnom periodu, koji nekad zna potrajati i do šest mjeseci, krivulja pražnjenja jasno određena.



Slika 6.3.: Značenja recesije u smislu otjecanja podzemnih voda površinskim vodotokom [2]

Jedan od klasičnih pristupa proučavanju malovodnih razdoblja temelji se na analizi hidrograma protoka tijekom navedenih situacija, odnosno krivulja pražnjenja (recesije), a koja u sebi odražava ukupan utjecaj različitih fizičkih karakteristika sliva. Kada nema površinskog otjecanja od oborina ili otapanja snijega, tada je protok u nekom vodotoku jednak nuli ili potječe od baznog otjecanja odnosno podzemnih voda čije se rezerve u slivu ili pak pripadajućem krškom vodonosniku tim putem prazne. Pri tome postoje određene zakonitosti u takvom pražnjenju te se analizom odnosno uspostavljanjem matematičke funkcionalne veze između protoka i vremena, pomoću takvih krivulja pražnjenja, može na vrlo jednostavan način prognozirati stanje (količina) otjecanja za određeno razdoblje unaprijed, pod uvjetom da u slivu neće biti značajnih oborina tijekom prognoziranih razdoblja. Određivanjem funkcionalne veze između protoka i vremena za krivulju recesije, na relativno se lagan način mogu vršiti prognoze o količini otjecanja za buduće periode, uz uvjet da za prognozirana razdoblja recesije neće biti značajnih oborina odnosno "inputa" u sliv. [2]

Ideja o načinu povezivanja hidrograma s prethodnim padalinama i pojam jediničnog hidrograma pri analizi protoka nastala je u sklopu hidrogeoloških analiza izvora u slivu rijeke La Vanne za potrebe vodoopskrbe Pariza koje je prezentirao francuski fizičar Edmond Maillet 1903. godine. Do spomenute ideje Maillet je došao prvenstveno temeljem bogatog osobnog

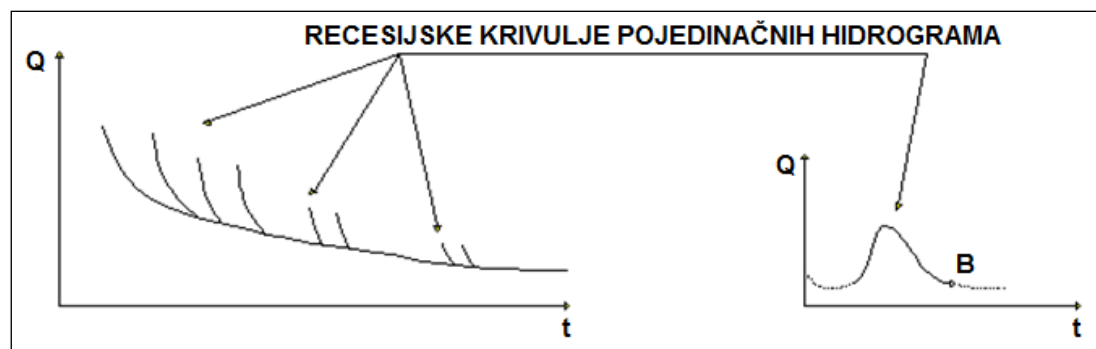
iskustva, iako je predložena rješenja temeljio na Fourierovoj teoriji prenošenja topline iz 1822. godine te Boussinesqovim raspravama o rješavanju osnovne diferencijalne jednačbe toka u vodonosniku iz 1877. godine. Kasnije teorijske analize uglavnom su potvrđivale njegove empirijske formulacije koje već stotinjak godina predstavljaju snažno sredstvo u hidrološkim i hidrogeološkim istraživanjima. [2]

Mailletova funkcionalna veza, odnosno analitički izraz kojim se može predstaviti recesijska grana hidrograma otjecanja (krivulja pražnjenja), služi opisivanju protoka izvora u periodu kada se ne vrši nikakvo obnavljanje zaliha podzemne vode (ponekad se krivulja pražnjenja posebno radi za vegetacijsku, a posebno za zimsku sezonu). Tako, bazni protok u vodotoku potječe od priliva vode u korito vodotoka i u korita pritoka od podzemne vode iz priobalja. S porastom beskišnog perioda nad površinom sliva, taj je priliv vode u korito vodotoka sve manji stoga je i oblik njegovog hidrograma blizak eksponencijalnoj krivulji koja je dana formulacijom:

$$Q(t) = Q(t_0) \cdot t_0 \cdot e^{-\alpha \cdot (t-t_0)} \quad (\text{VI.-1.})$$

pri čemu je $Q(t)$ protok u trenutku t , $Q_0(t_0)$ protok u proizvoljnom trenutku t_0 koji prethodi trenutku t , e baza prirodnog logaritma, α koeficijent pražnjenja vodonosnika, a razlika $(t-t_0)$, odnosno Δt , vrijeme trajanja recesije. [1]

Vrijednost koeficijenta α ovisi o retencijskim karakteristikama podzemnog rezervoara, odnosno o hidrogeološkim karakteristikama sliva i vodonosnika te o njihovoj geometriji, pri čemu vrijednosti koeficijenta sežu od 0.003 s^{-1} do 0.03 s^{-1} . Učinak pojedinih hidroloških čimbenika na koeficijent recesije i njegovo područno značenje najbolje se ilustrira hidrauličkim izvodom funkcije recesije. Praksa smatra da vrijednostima α reda veličine 10^{-2} odgovara brzo pražnjenje krupnih krških kanala i pukotina, dok blaži nagibi krivulja pražnjenja za α reda veličine 10^{-3} ukazuju na pražnjenje sitnih pukotina, prslina te klastičnih ispuna krških šupljina.



Slika 6.4.: Superpozicija recesijskih krivulja kao rezultat različitih hidrograma [2]

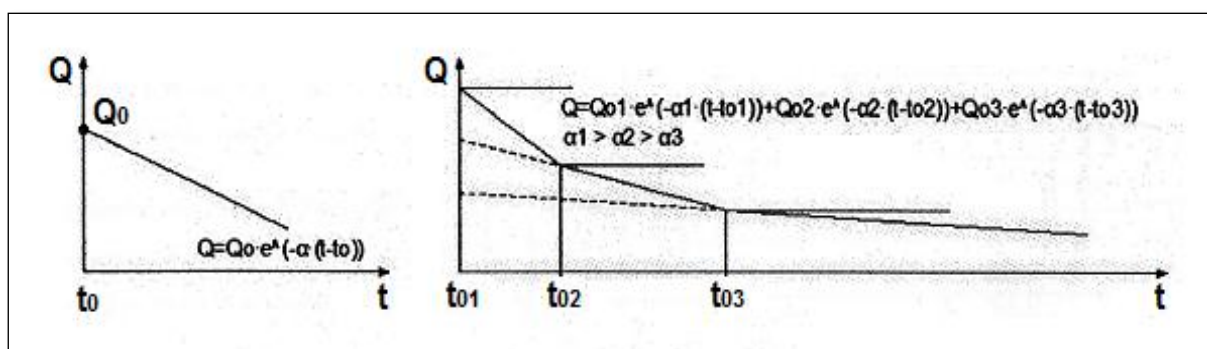
Ako se definicija otjecanja podzemnih voda ne mijenja u dužem vremenskom periodu, tada je moguće približno odrediti ukupni volumen podzemnog vodonosnika koji je dan formulacijom:

$$V = \int_0^{\infty} Q(t) dt = \int_0^{\infty} Q(t_0) \cdot e^{-u \cdot t} du = \frac{1}{\alpha} \cdot Q(t_0) \quad (\text{VI.-2.})$$

pri čemu je V procjena kapaciteta zadržavanja podzemnih voda u slivu. Iako se u navedenoj formulaciji u obzir ne uzimaju gubici evapotranspiracije, pa se pri određivanju volumena javlja stanovita greška, problem se javlja i u činjenici da formulacija vrijedi samo ako se vodotok u sušnom periodu prihranjuje iz jednog izvora. U realnom slivu sustav izvora je znatno kompliciranije definiran jer se u periodu malih voda jedan recipijent prihranjuje iz više izvora (slika 6.4.), stoga je i protok u određenom trenutku u periodu malih voda dan formulacijom:

$$Q = Q_1 \cdot e^{-\alpha_1 \cdot t} + Q_2 \cdot e^{-\alpha_2 \cdot t} + \dots + Q_n \cdot e^{-\alpha_n \cdot t} \quad (\text{VI.-3.})$$

Ako se krivulja recesije prikaže u polulogaritamskom mjerilu i to na način da se na ordinatu nanese logaritmi protoka, a na apcisu vrijeme po jednadžbi VI.-1., tada recesijska krivulja koja pripada podzemnim vodama preuzima oblik ravne linije (slika 6.5.). Općenito gledajući, na takvom hidrogramu ravna linija predstavlja homogenu kamenu sredinu i što je vodonosnik propusniji pravac je nagnutiji, a vrijednost koeficijenta pražnjenja raste. Složena struktura krškog podzemlja implicira i veoma složene recesijske krivulje, pa je kod složene krivulje svaki lom, odnosno promjena nagiba pravca, posljedica promjene u samoj strukturi krškog podzemlja, bilo geometrijskoj ili geomorfološkoj. Tako, koeficijent pražnjenja biti će veći što je propusnost u krškom podzemlju veća, što su veće krške pukotine te što je efektivna poroznost veća. Prema veličini koeficijenta pražnjenja mogu se okarakterizirati i akumulacijske sposobnosti vodonosnika na način da veće vrijednosti recesijskog koeficijenta impliciraju brzo trošenje dinamičke sposobnosti rezerve te slabiju akumulacijsku sposobnost vodonosnika. [1]

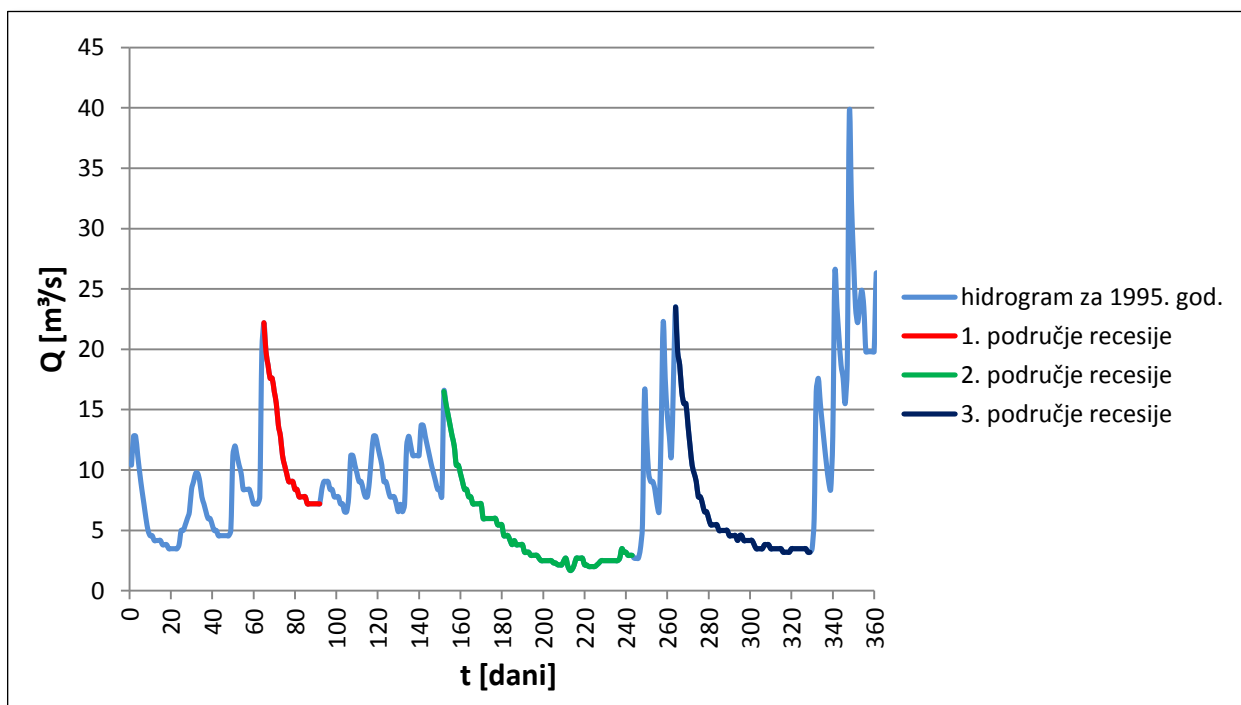


Slika 6.5.: Recesijska krivulja u logaritamskom mjerilu za jedan sistem pražnjenja (lijevo) te krivulja za složeni sistem pražnjenja (desno) [2]

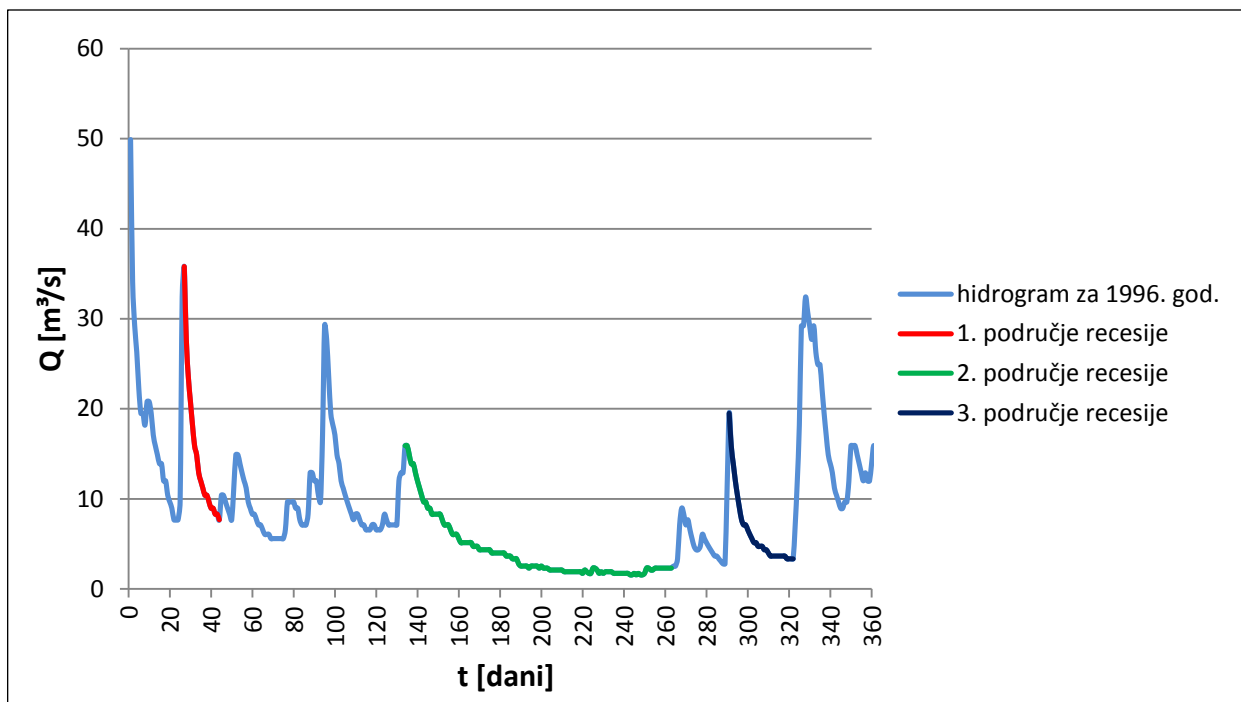
6.2. IZDVAJANJE RAZDOBLJA RECESIJE IZ HIDROGRAMA OTJECANJA

Granična analiza recesijske krivulje može se provesti izdvajanjem opadajuće grane većeg broja poplavnih valova s odgovarajućih dijelova hidrograma koji sigurno potiču samo od doprinosa podzemnih voda (sušni periodi) te nanošenjem ovako izdvojenih segmenata na Q-t dijagram. Ako se umjesto protoka Q na ordinatu nanese $\log Q$, krivulja recesije podzemnih voda predstavljena je ravnom linijom što znatno olakšava daljnju analizu.

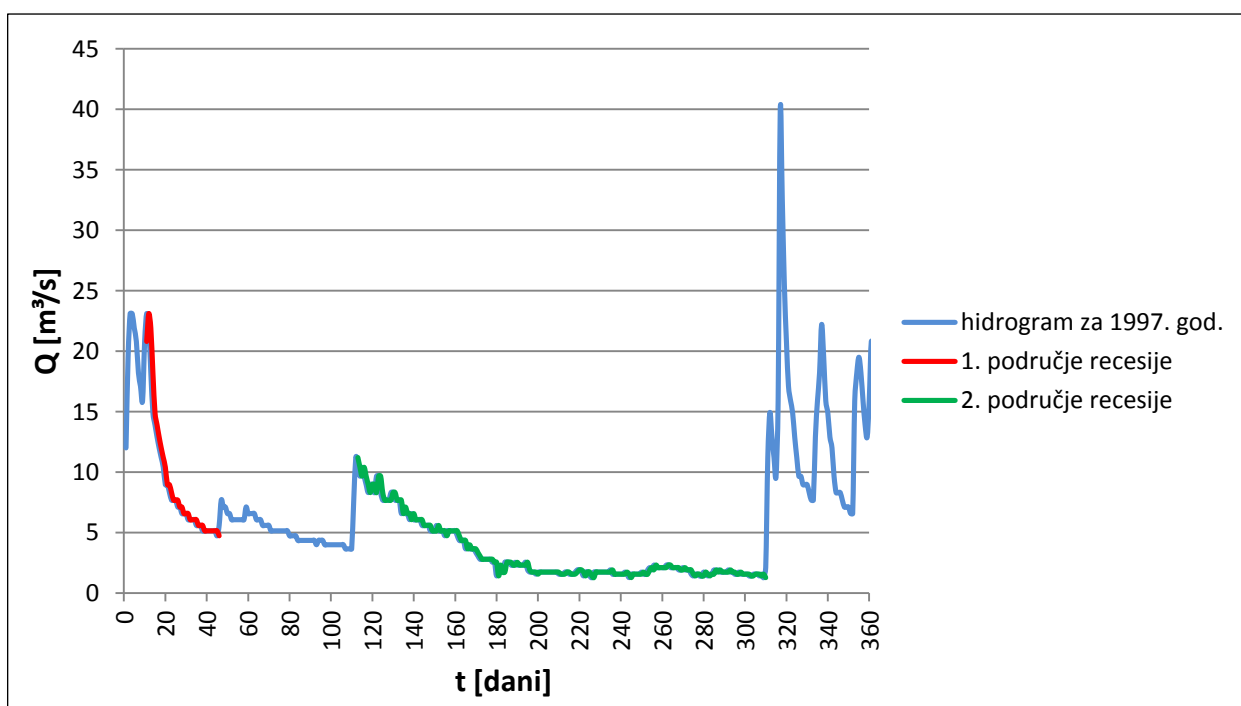
Prema podacima o protocima izmjeranima na izvoru Opačac za razdoblje od 1995. do 2010. godine, na slikama 6.6.-6.21. dani su hidrogrami otjecanja te razdoblja recesija za pojedinu godinu navedenog razdoblja. Iz navedenih oblika hidrograma vidljivo je da izvor Opačac, odnosno rijeku Vrljiku, karakterizira relativno mala akumulacijska sposobnost podzemnih krških rezervi te da se tijekom godine javljaju dva do tri relativno dugotrajna recesijska razdoblja.



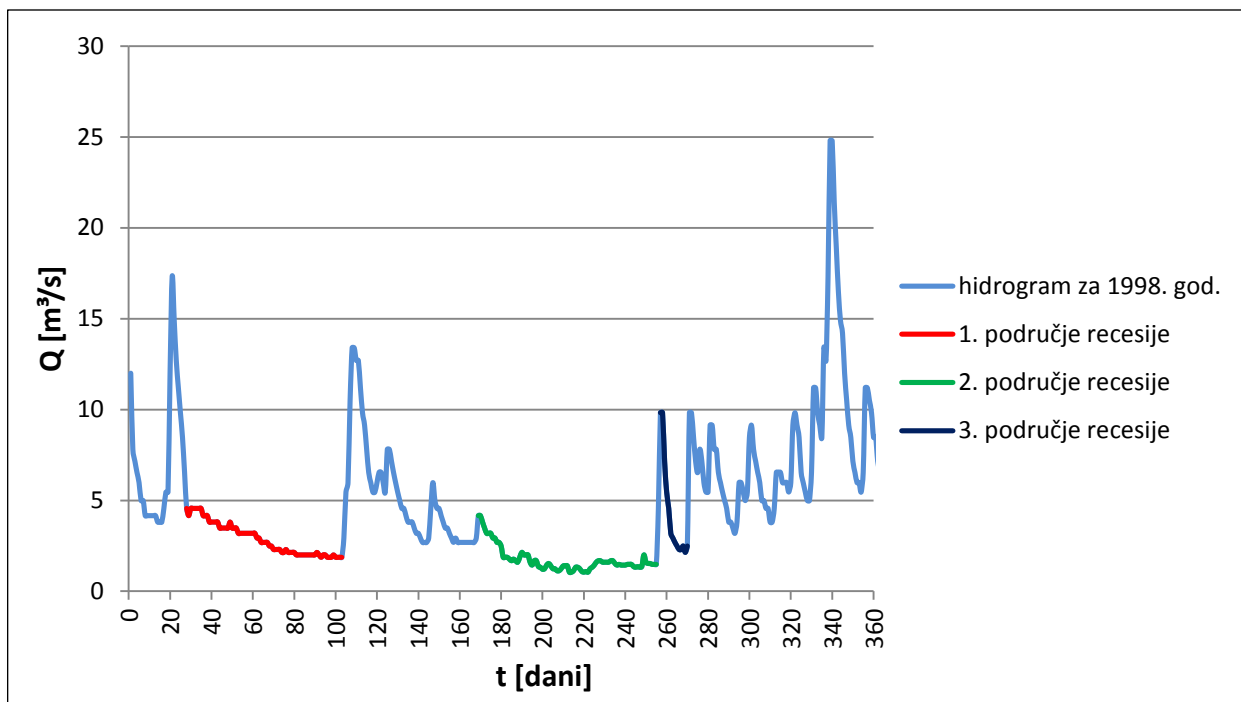
Slika 6.6.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 1995. godinu



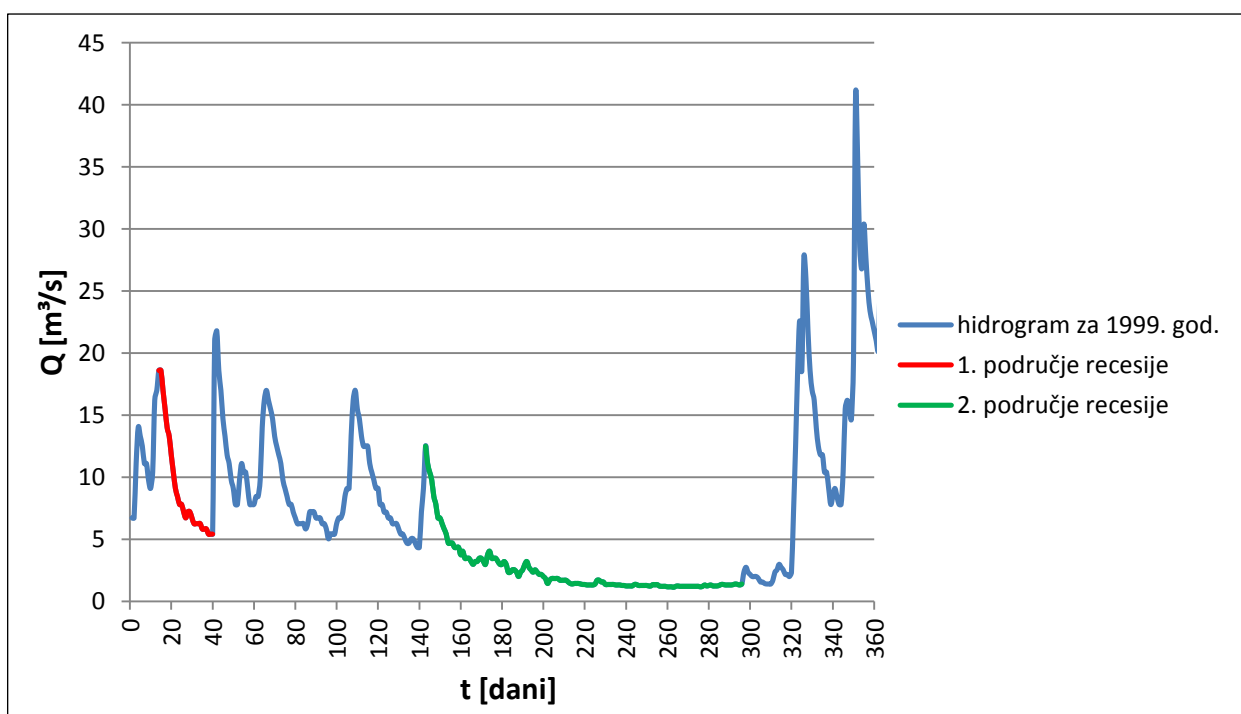
Slika 6.7.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 1996. godinu



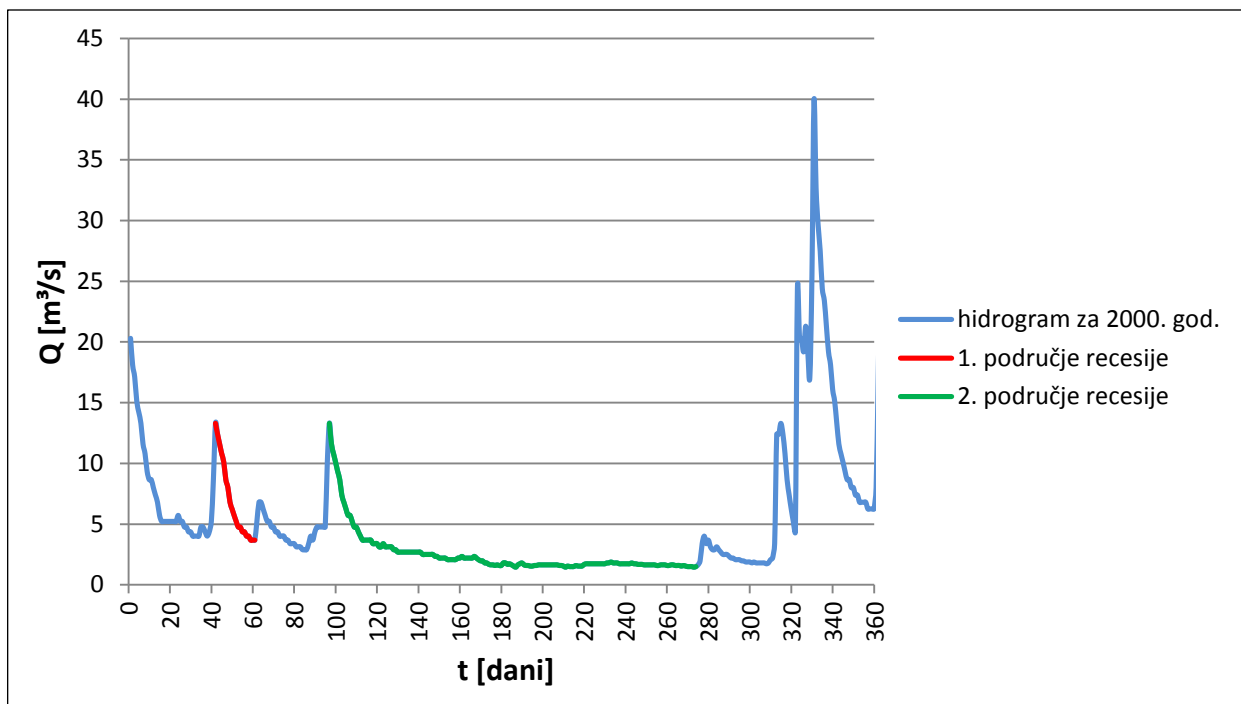
Slika 6.8.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 1997. godinu



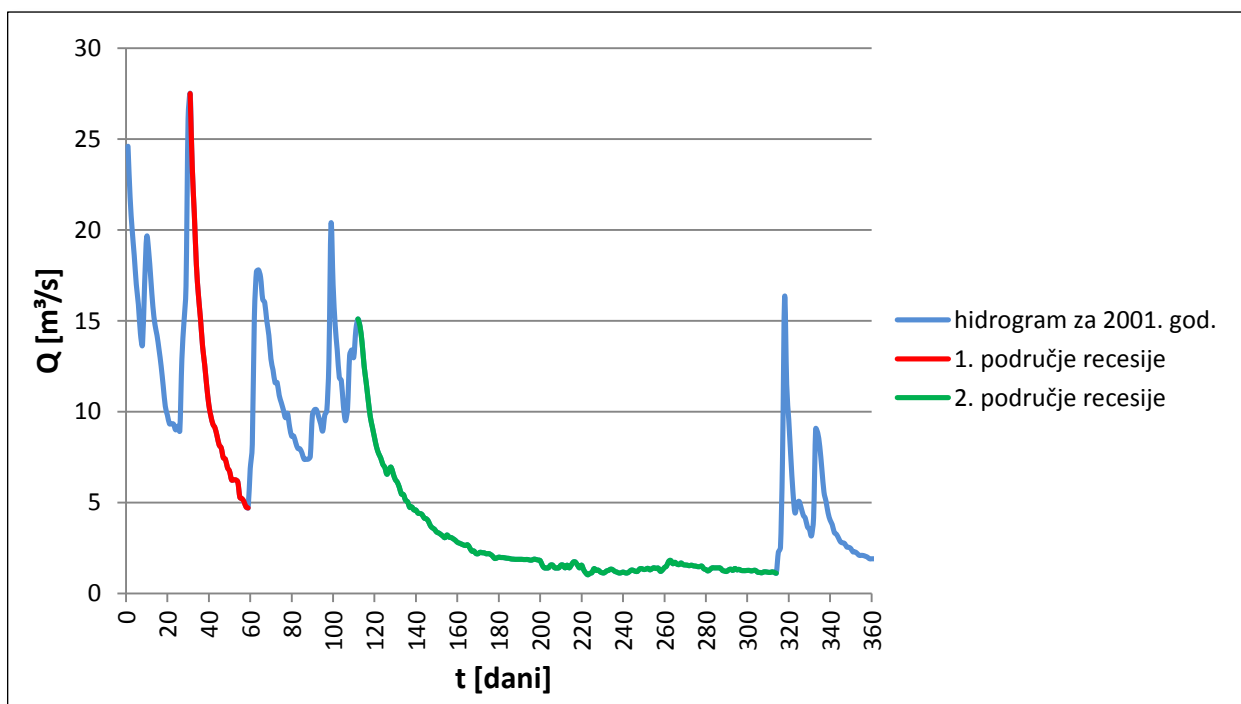
Slika 6.9.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 1998. godinu



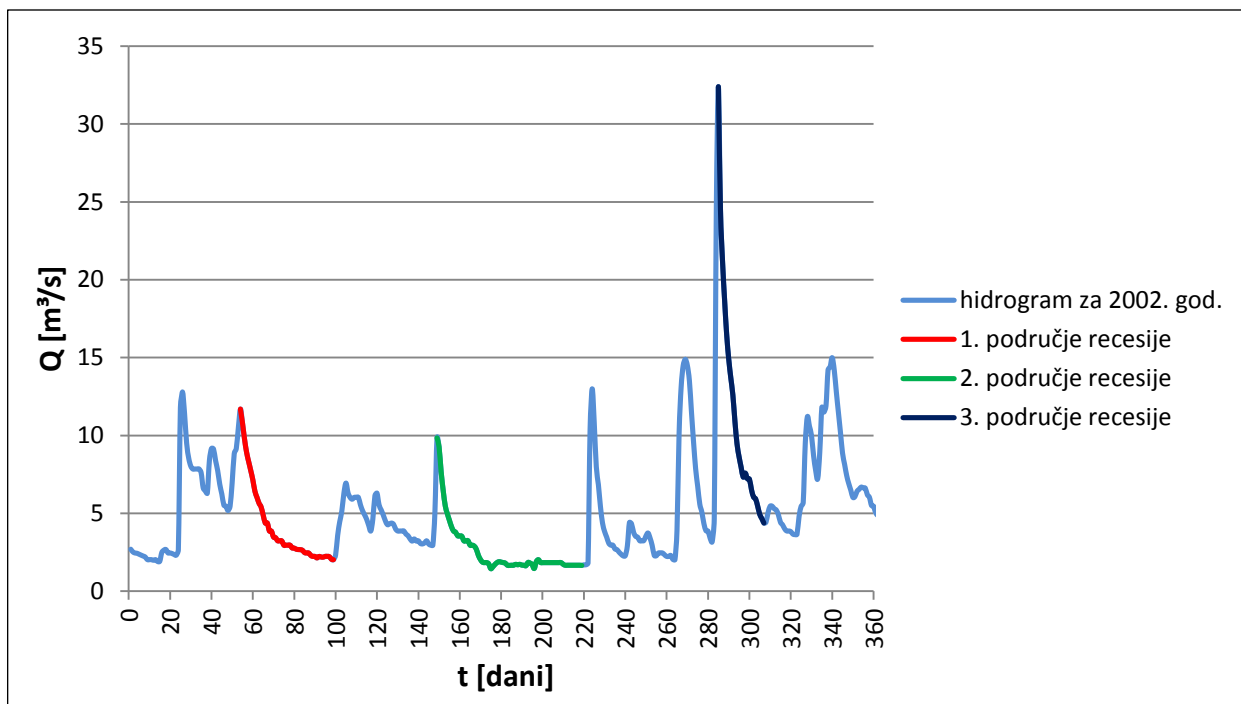
Slika 6.10.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 1999. godinu



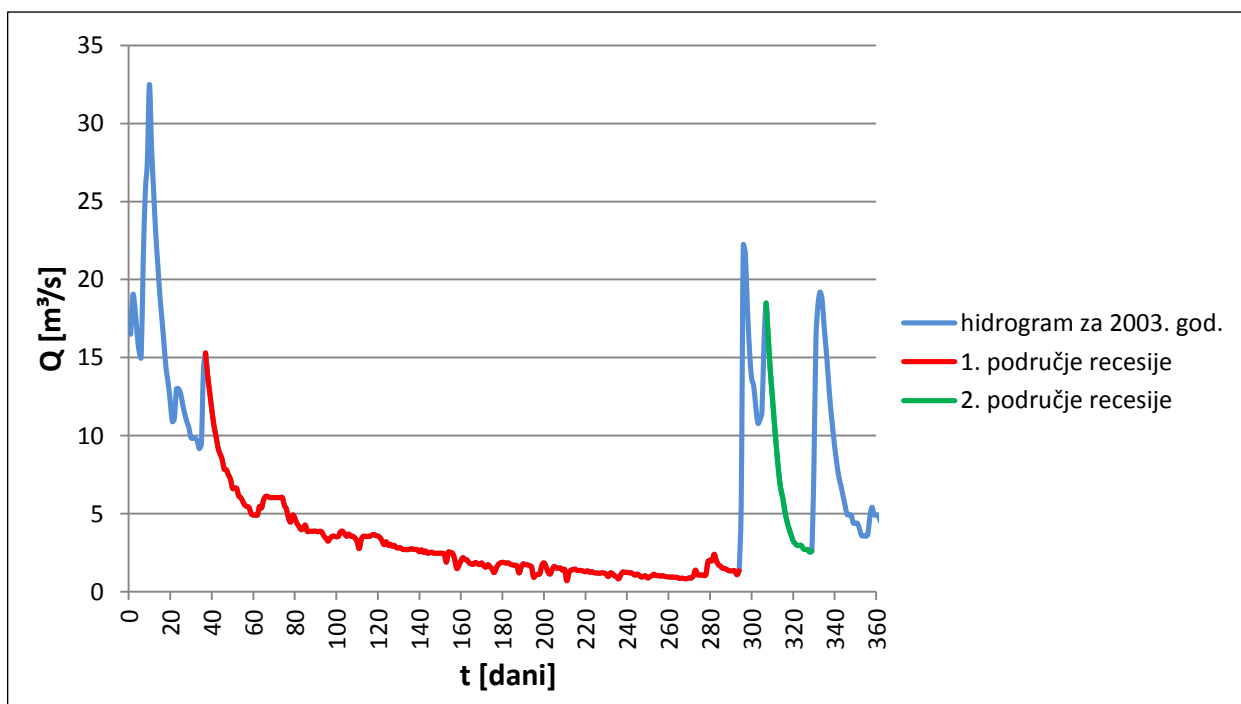
Slika 6.11.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2000. godinu



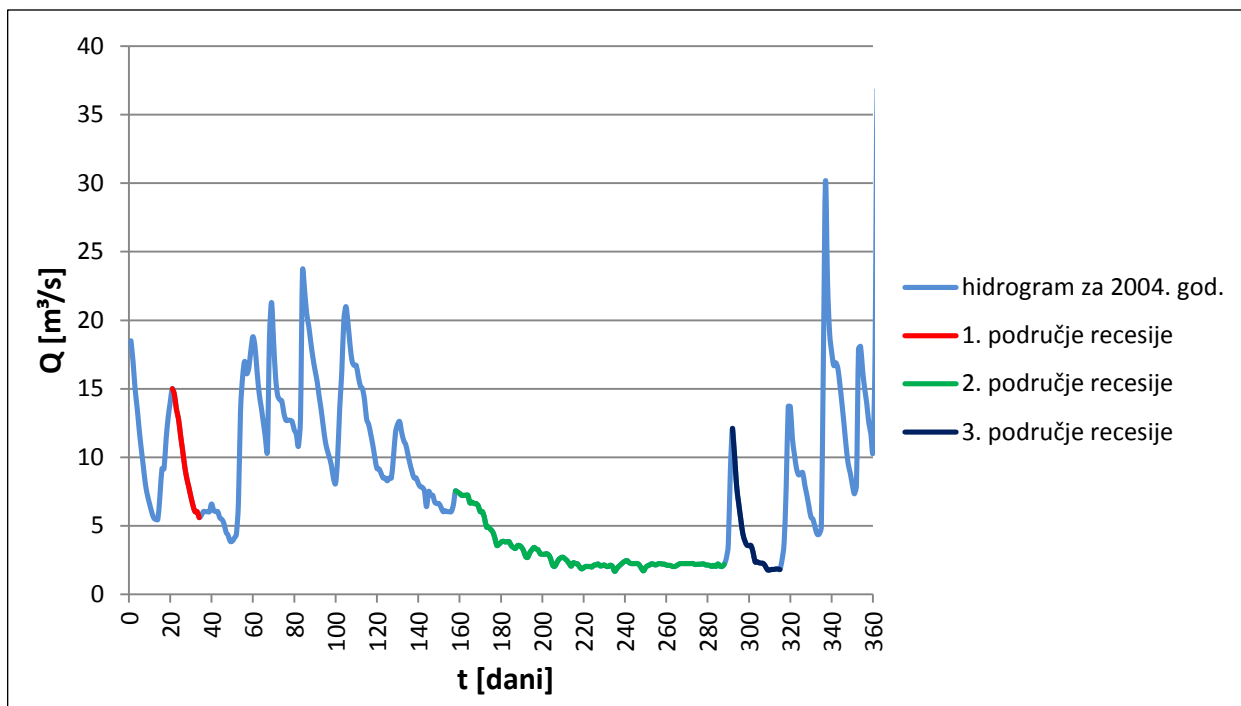
Slika 6.12.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2001. godinu



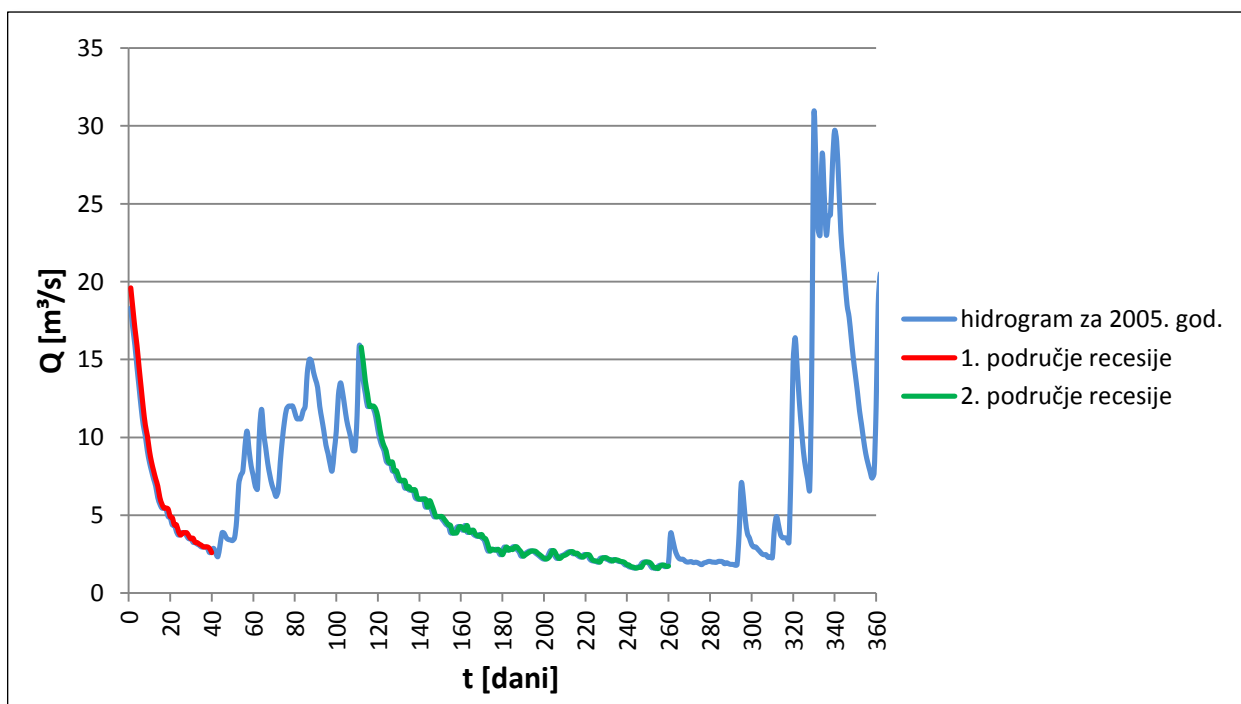
Slika 6.13.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2002. godinu



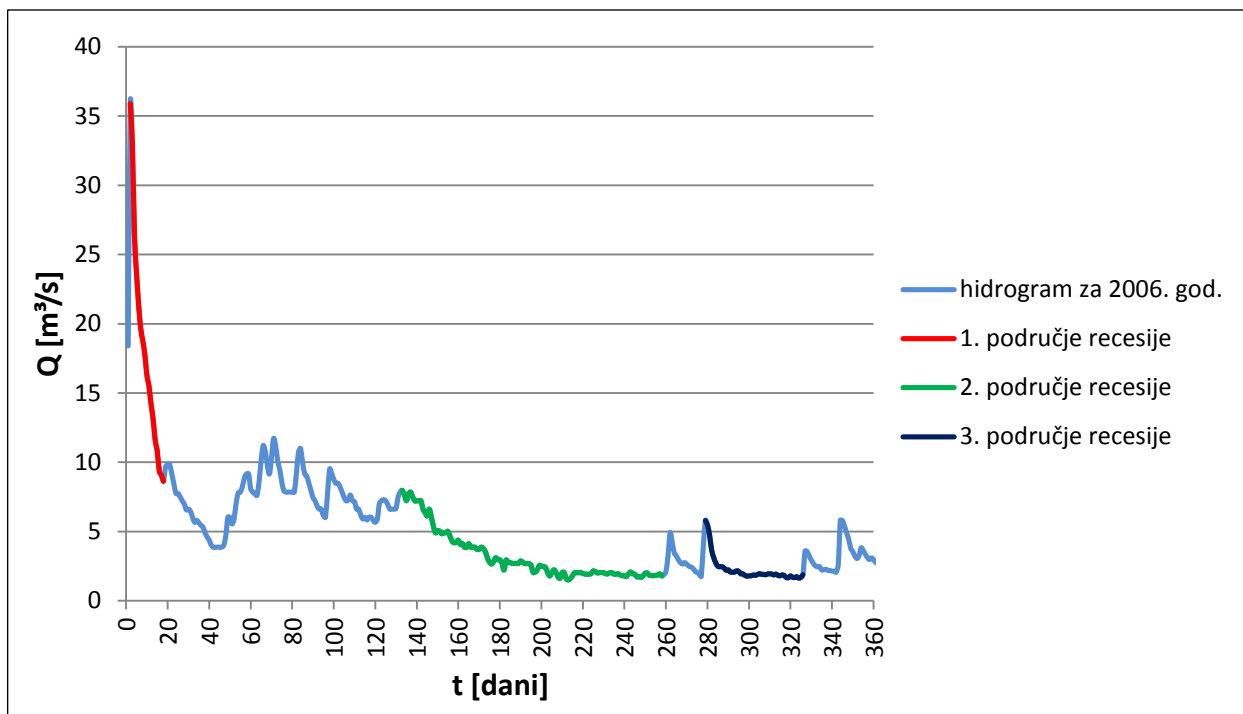
Slika 6.14.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2003. godinu



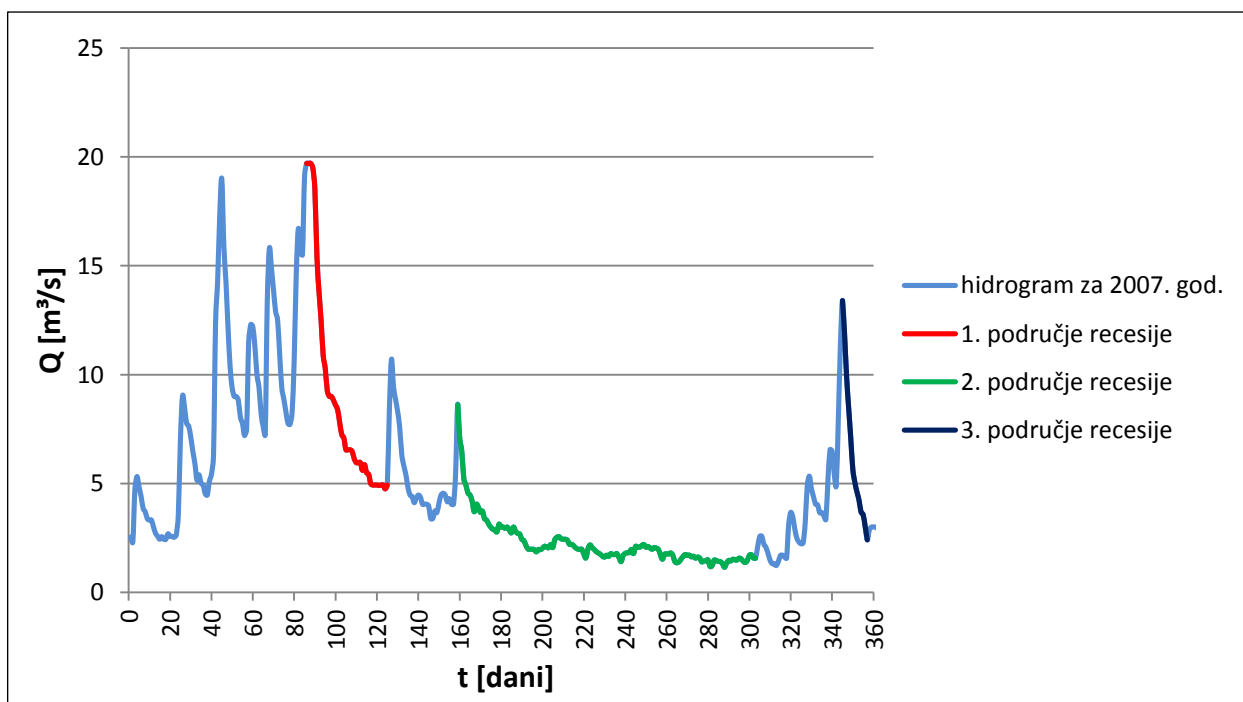
Slika 6.15.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2004. godinu



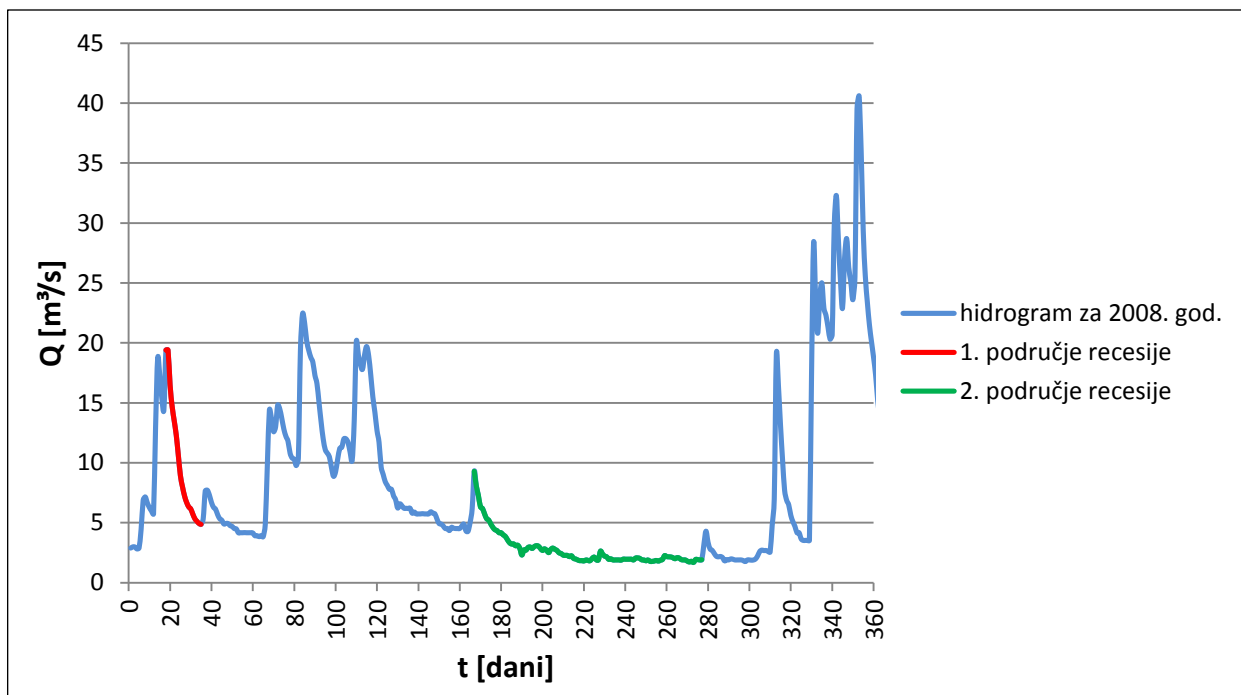
Slika 6.16.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2005. godinu



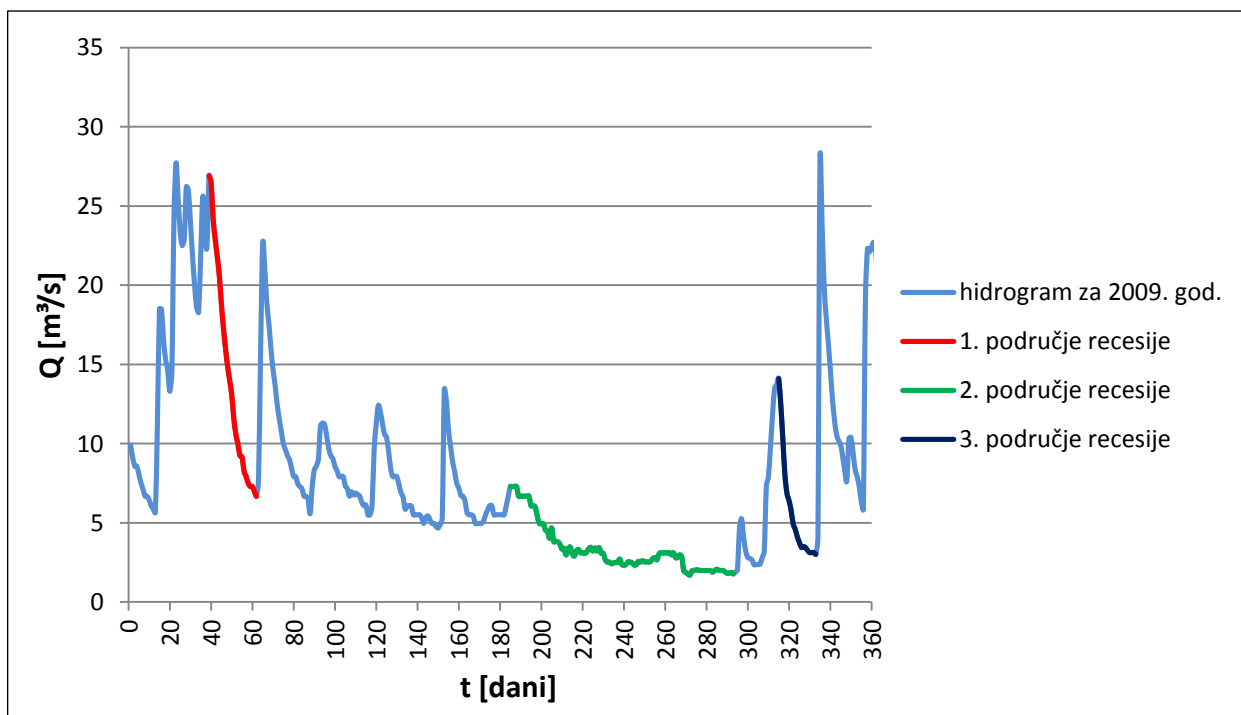
Slika 6.17.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2006. godinu



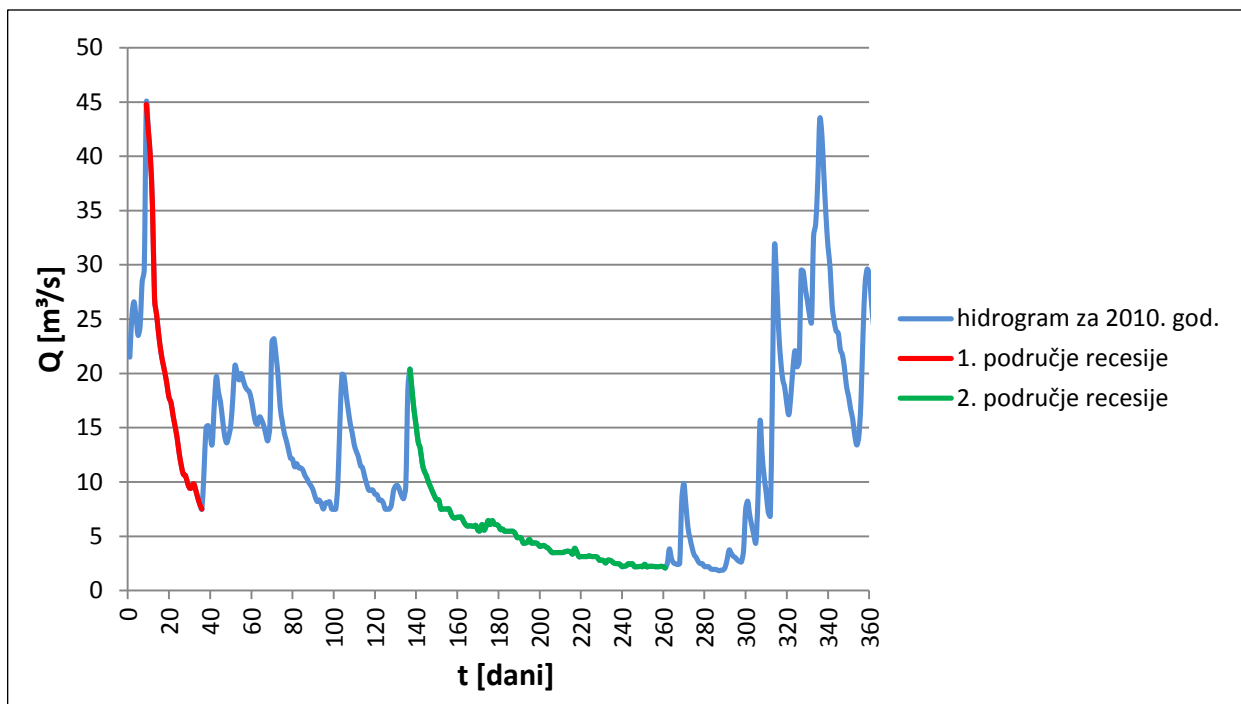
Slika 6.18.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2007. godinu



Slika 6.19.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2008. godinu



Slika 6.20.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2009. godinu

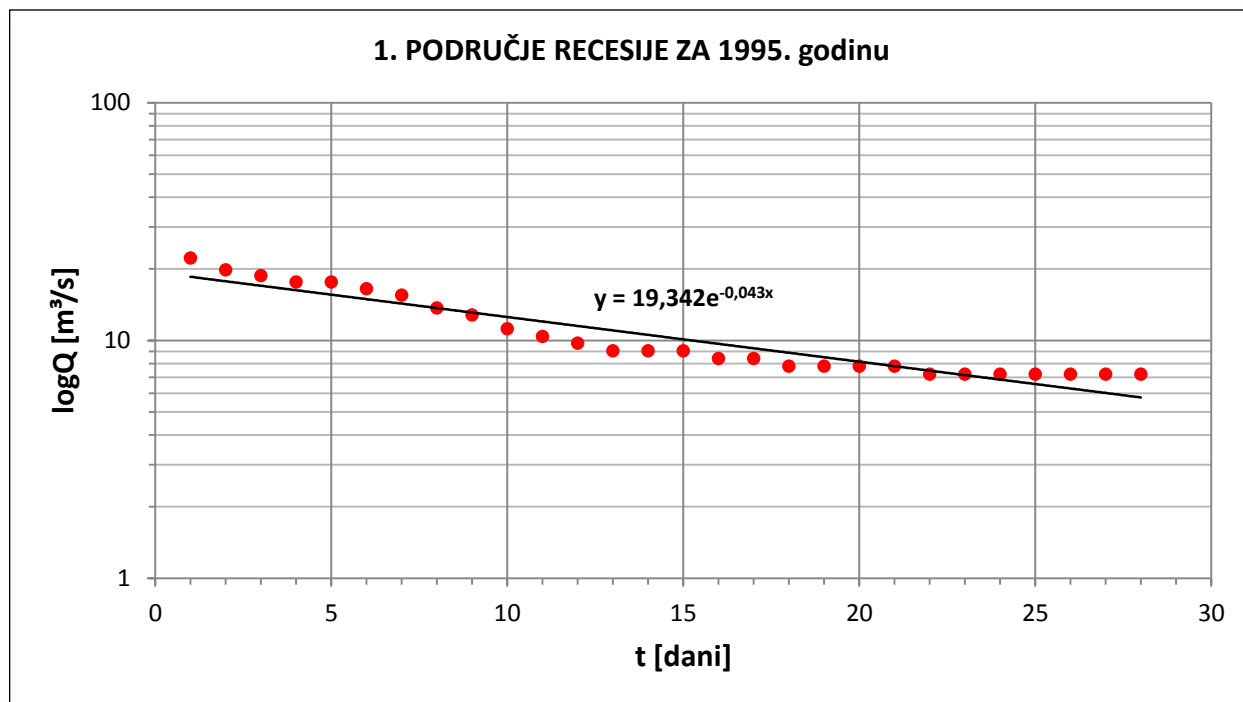


Slika 6.21.: Hidrogram otjecanja rijeke Vrljike za 2010. godinu

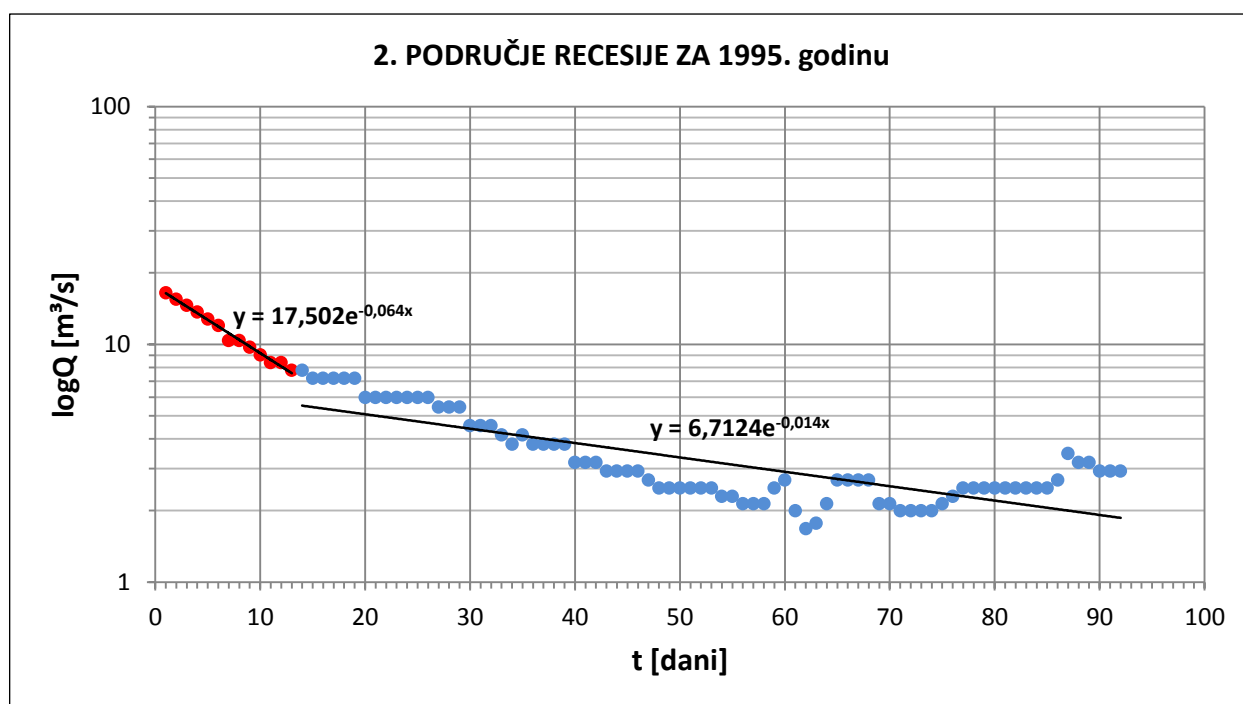
6.3. KONSTRUKCIJA KRIVLJE RECESIJE DEFINIRANA FUNKCIJOM PRAŽNJENJA PO MAILLETU

Svojim jednostavnim pristupom, Mailletov oblik funkcije pražnjenja daje za analizu vrlo zanimljive informacije o dinamici pražnjenja izvora te omogućava preliminarne prognoze izdašnosti izvora. Pri tome se izdvajanja recesijske krivulje pojednostavljeno provode na način da se grafički prikazi krivulje pražnjenja prezentiraju u polulogaritamskom mjerilu nakon čega se određuje točka infleksije, odnosno točka otklona krivulje od pravca s čijim se oblikom opadajuća grana hidrograma u recesijskim uvjetima obično dobro podudara. Počevši s recesijskom krivuljom koja daje najmanje proticaje, raspoloživi segmenti hidrograma se podešavaju na način da se dobije kontinuirana krivulja koja predstavlja prosječnu recesijsku krivulju sliva.

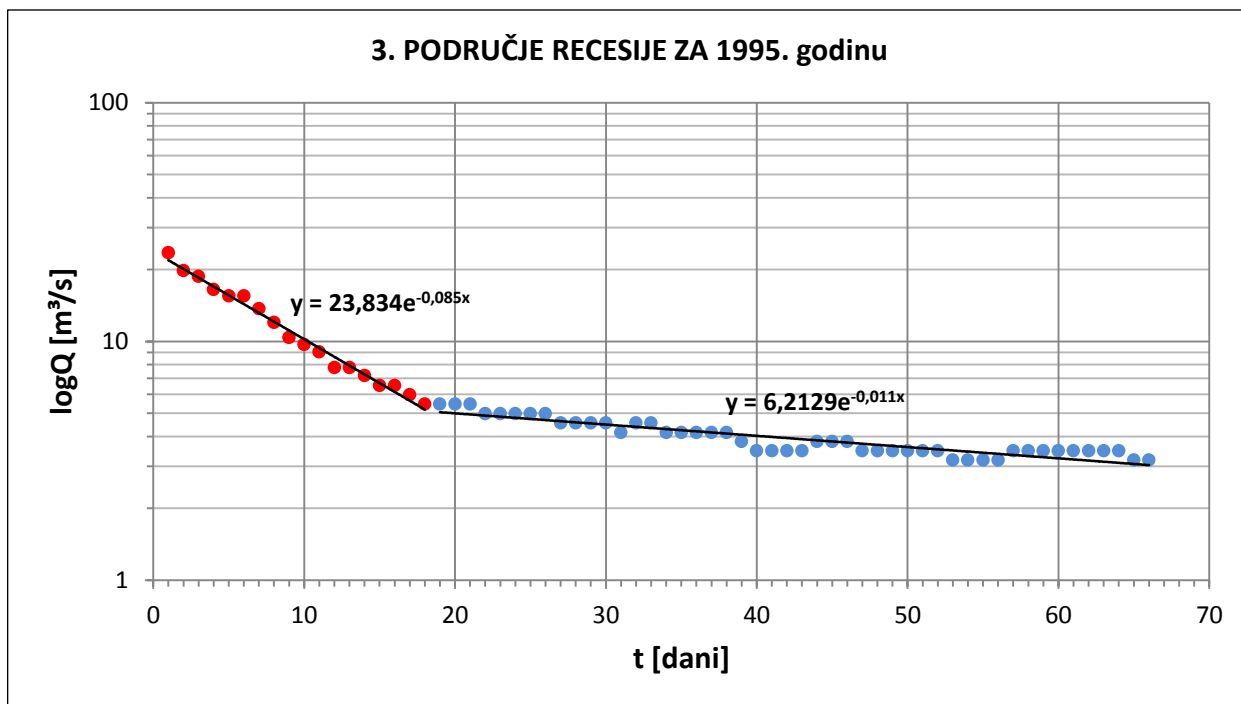
Prema podacima o protocima izmjerenima na izvoru Opačac za razdoblje od 1995. do 2010. godine, na slikama 6.22.-6.61. dane su krivulje recesije za izdvojene periode s pripadajućim koeficijentima za pojedinu godinu navedenog razdoblja. Iz navedenih oblika krivulja recesije vidljivo je da izvor Opačac, odnosno rijeku Vrljiku, tijekom navedenog razdoblja karakteriziraju manje oscilacije protoka u odnosu na funkciju recesije prikazanu u obliku pravca na polulogaritamskom mjerilu. Uzrok tome jesu promjene mikrorežima istjecanja uslijed pojave oborina, kao i promjene režima rada vodocrpilišta, no, navedene promjene ne utječu bitno na režim pražnjenja podzemnih rezervi te se, kao takva, navedena razdoblja mogu koristiti za provedbu regresijskih analiza. Iz navedenih oblika krivulja recesije također je vidljivo da neka od izdvojenih recesijskih razdoblja karakterizira različit režim pražnjenja, odnosno početne dijelove hidrograma neposredno nakon pojave vršne vrijednosti protoka karakterizira značajnije i intenzivnije pražnjenje nego li je to slučaj za razdoblje koje slijedi unutar istog hidrograma, stoga su u većini slučajeva izdvojena do dva takva područja s različitim režimom pražnjenja za koja su definirane pripadajuće Mailletove krivulje pražnjenja.



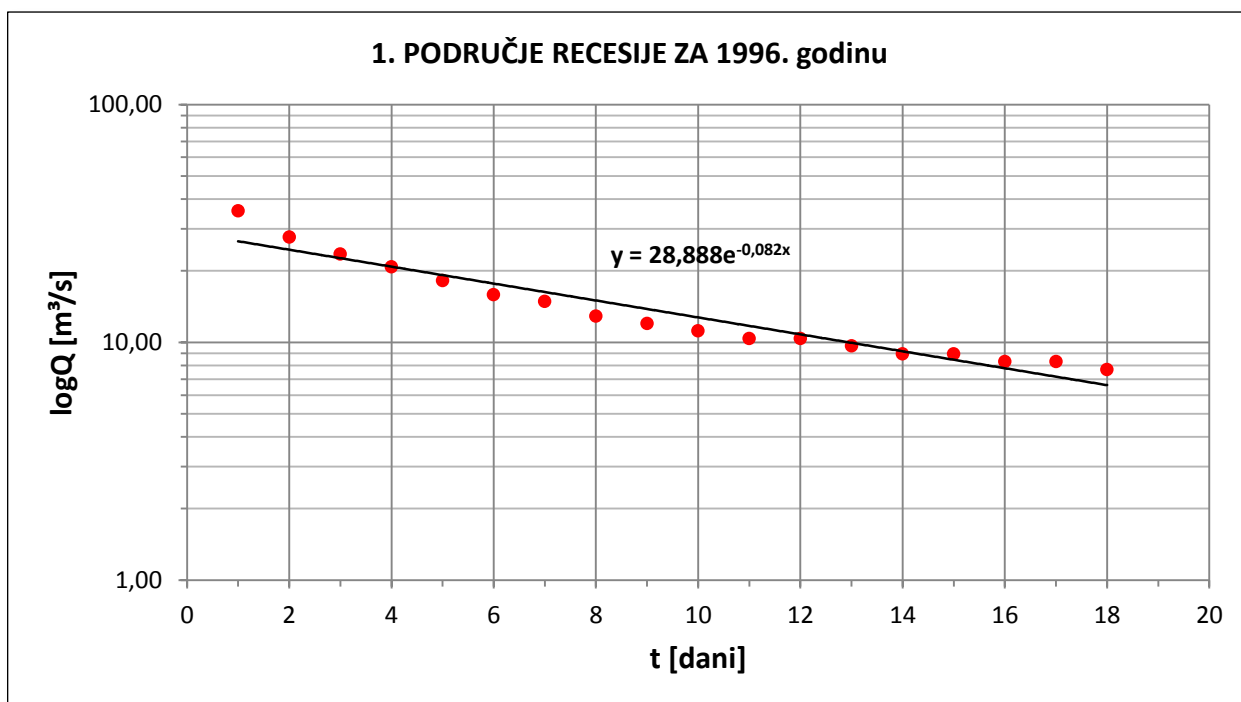
Slika 6.22.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1995. godinu u periodu od 06.03. do 02.04.



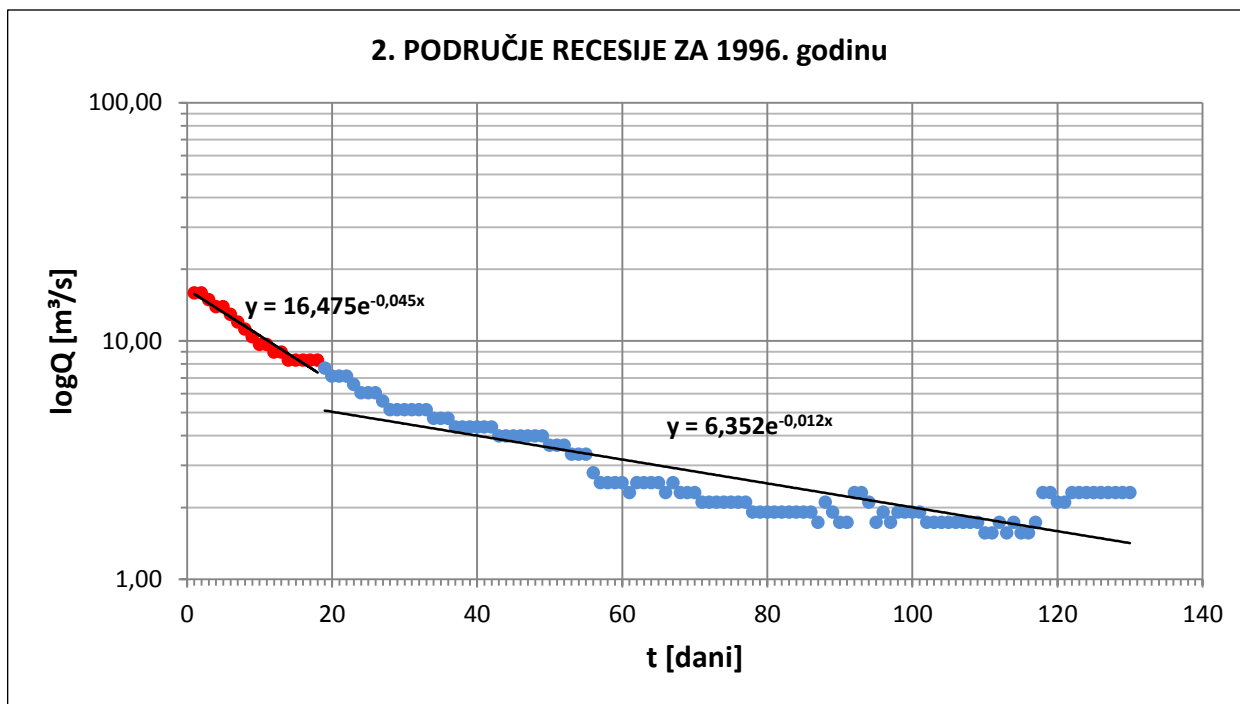
Slika 6.23.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1995. godinu u periodu od 01.06. do 31.08.



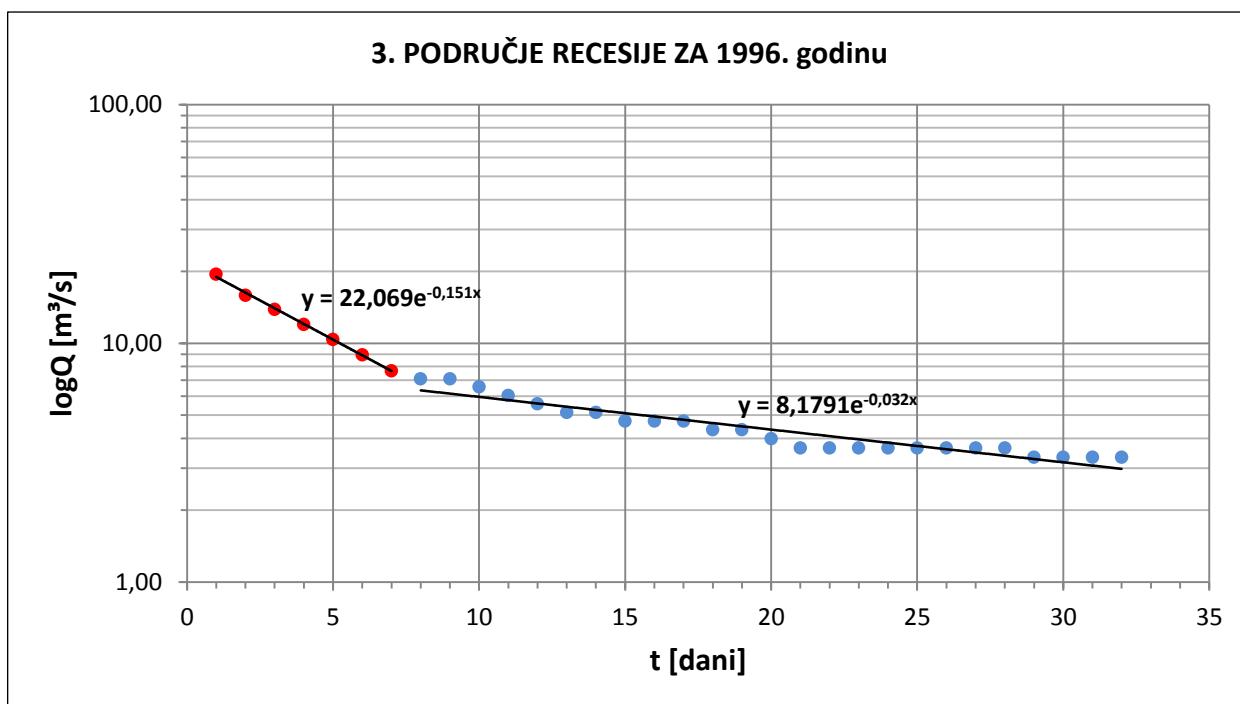
Slika 6.24.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1995. godinu u periodu od 21.09. do 25.11.



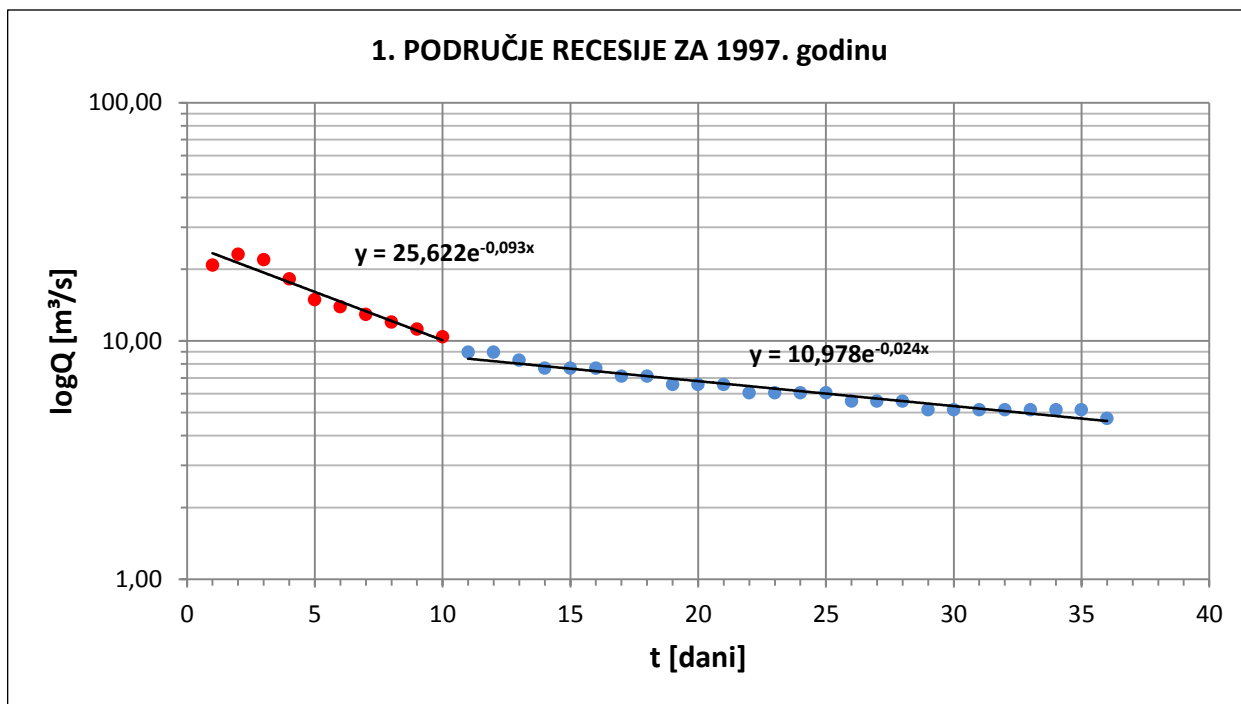
Slika 6.25.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1996. godinu u periodu od 27.01. do 13.02.



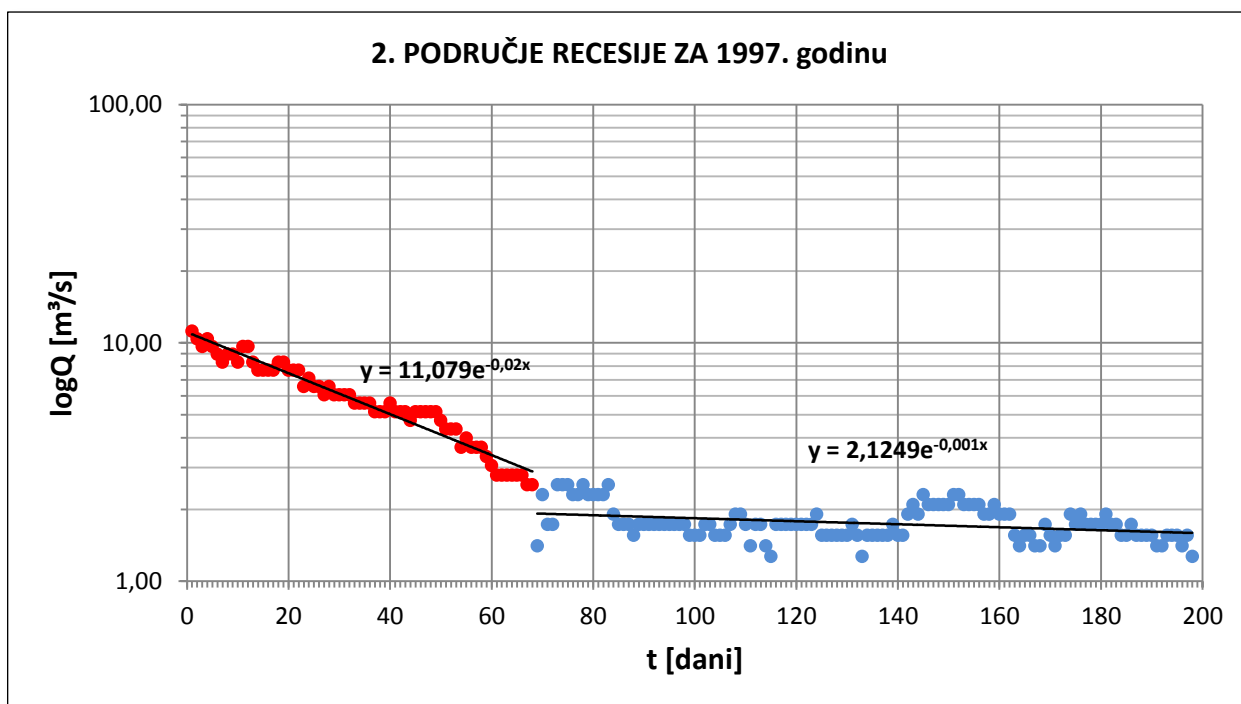
Slika 6.26.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1996. godinu u periodu od 13.05. do 19.09.



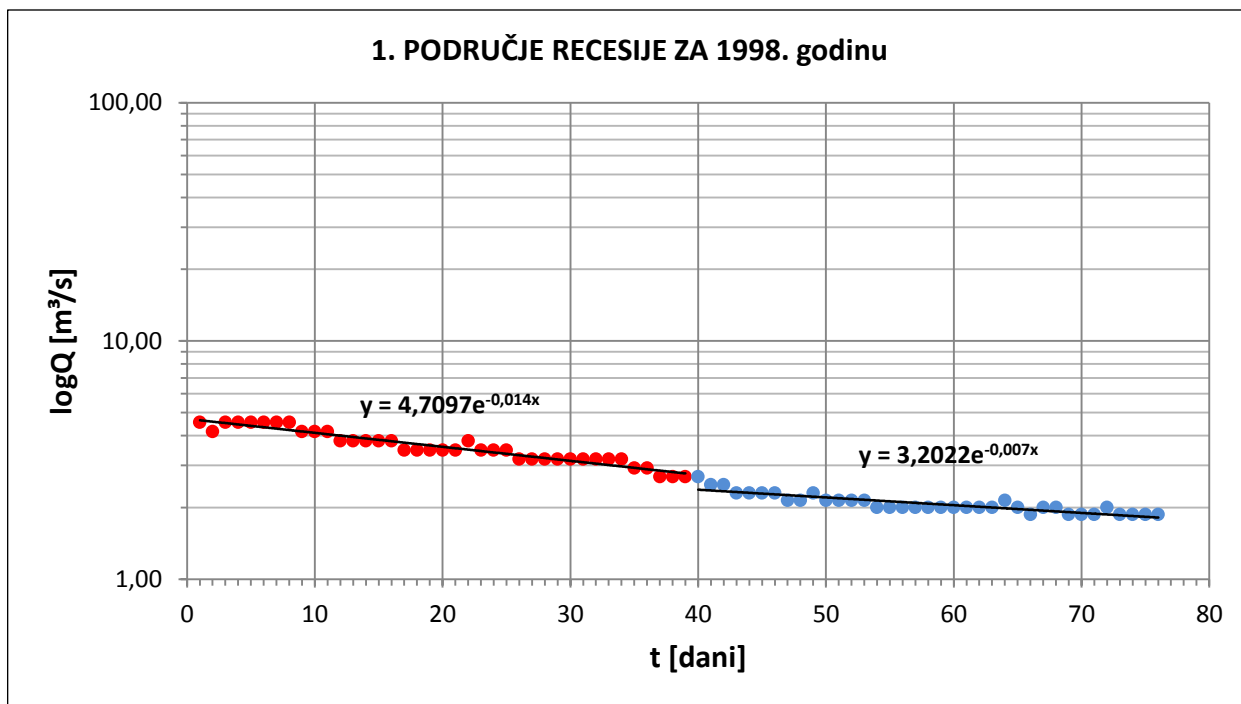
Slika 6.27.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1996. godinu u periodu od 17.10. do 17.11.



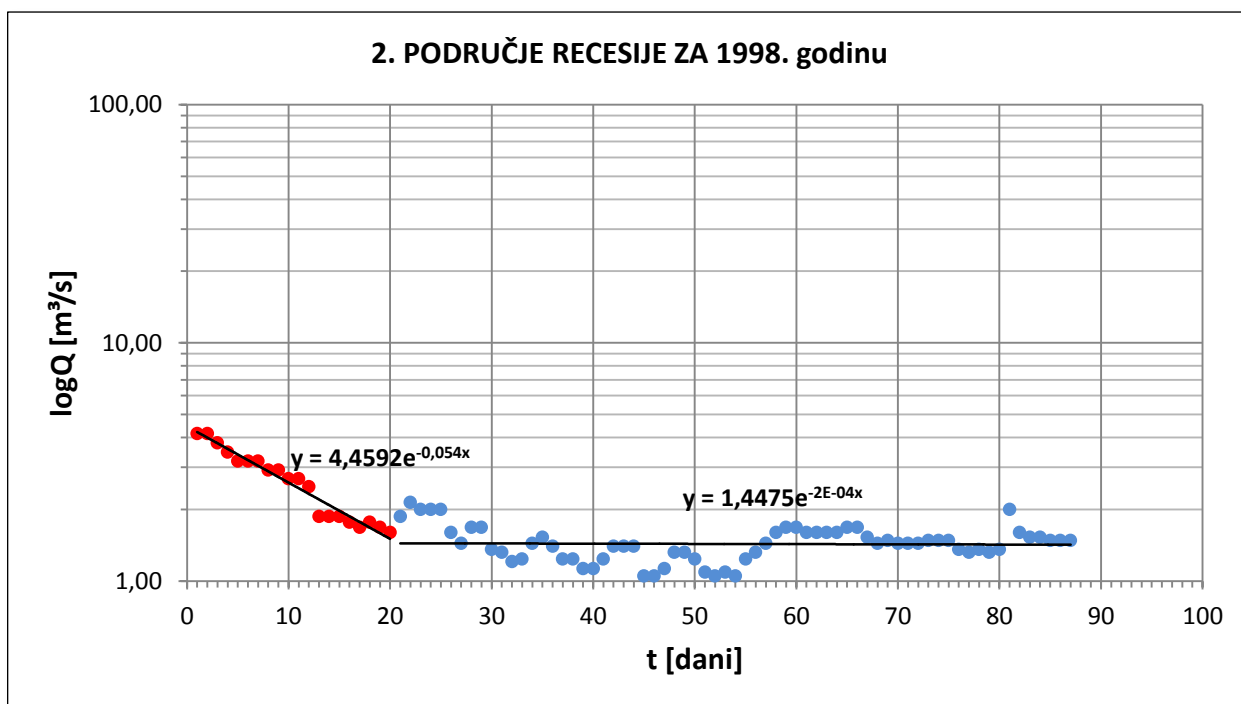
Slika 6.28.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1997. godinu u periodu od 11.01. do 15.02.



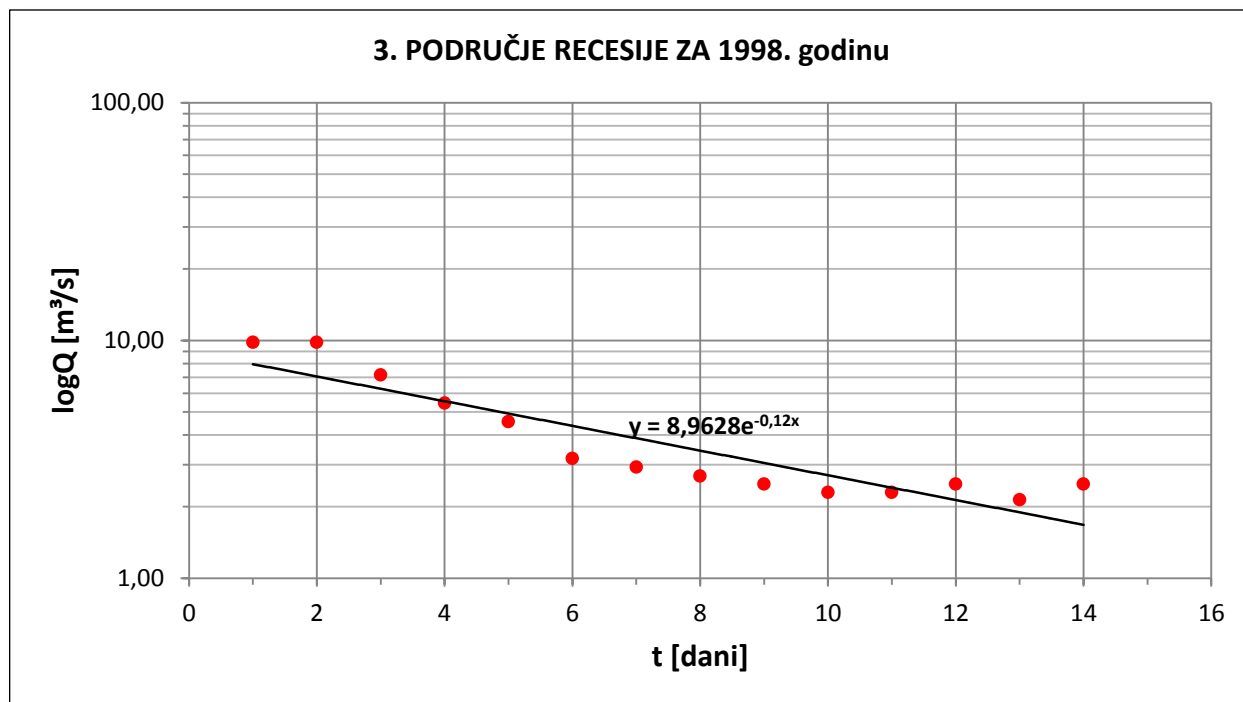
Slika 6.29.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1997. godinu u periodu od 23.04. do 06.11.



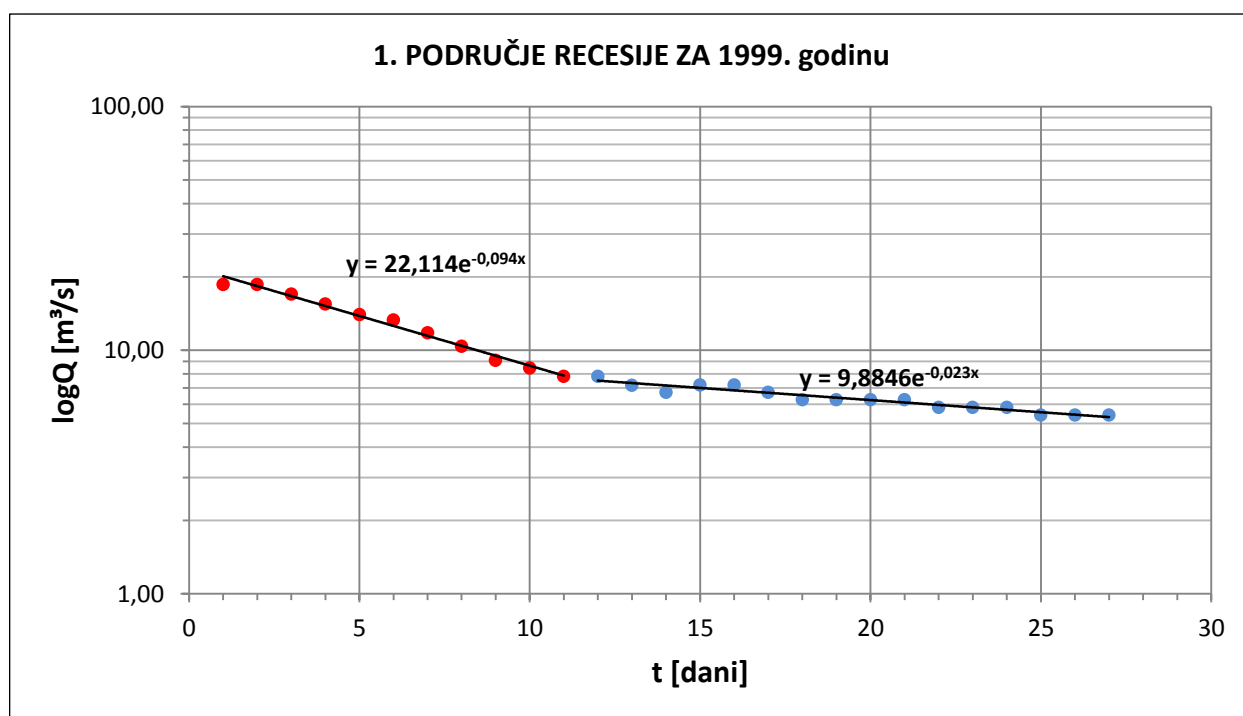
Slika 6.30.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1998. godinu u periodu od 28.01. do 13.04.



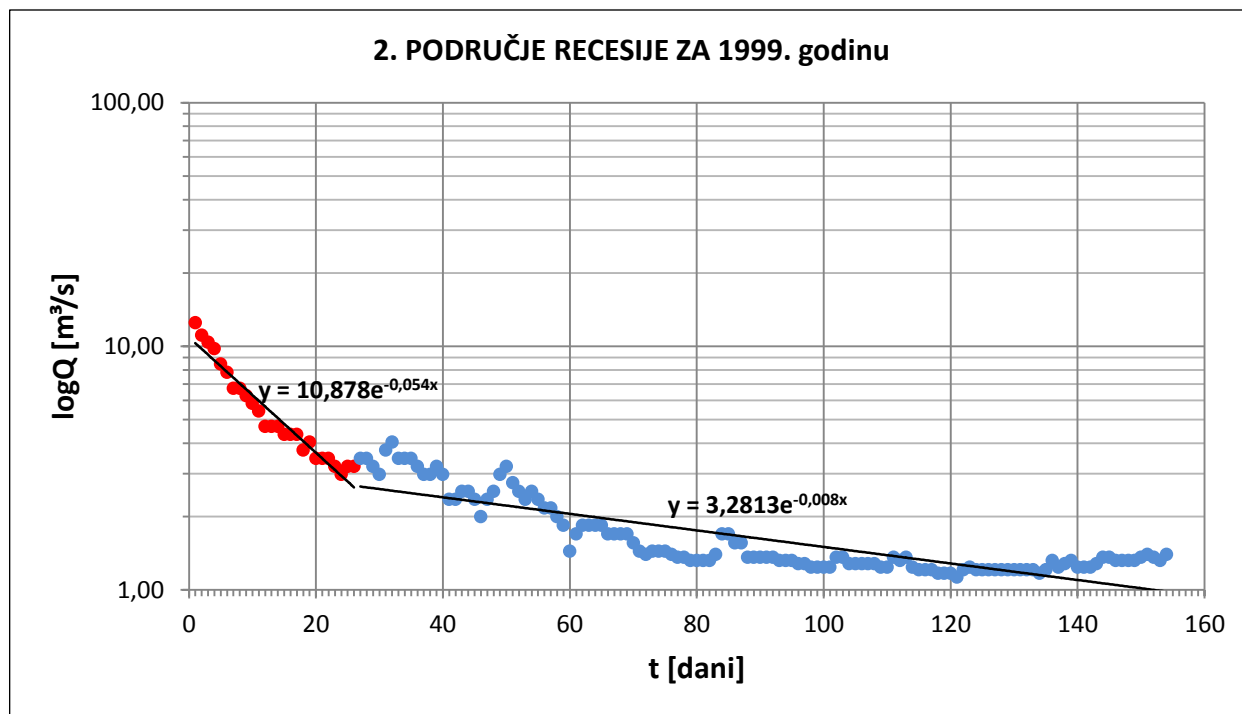
Slika 6.31.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1998. godinu u periodu od 18.06. do 12.09.



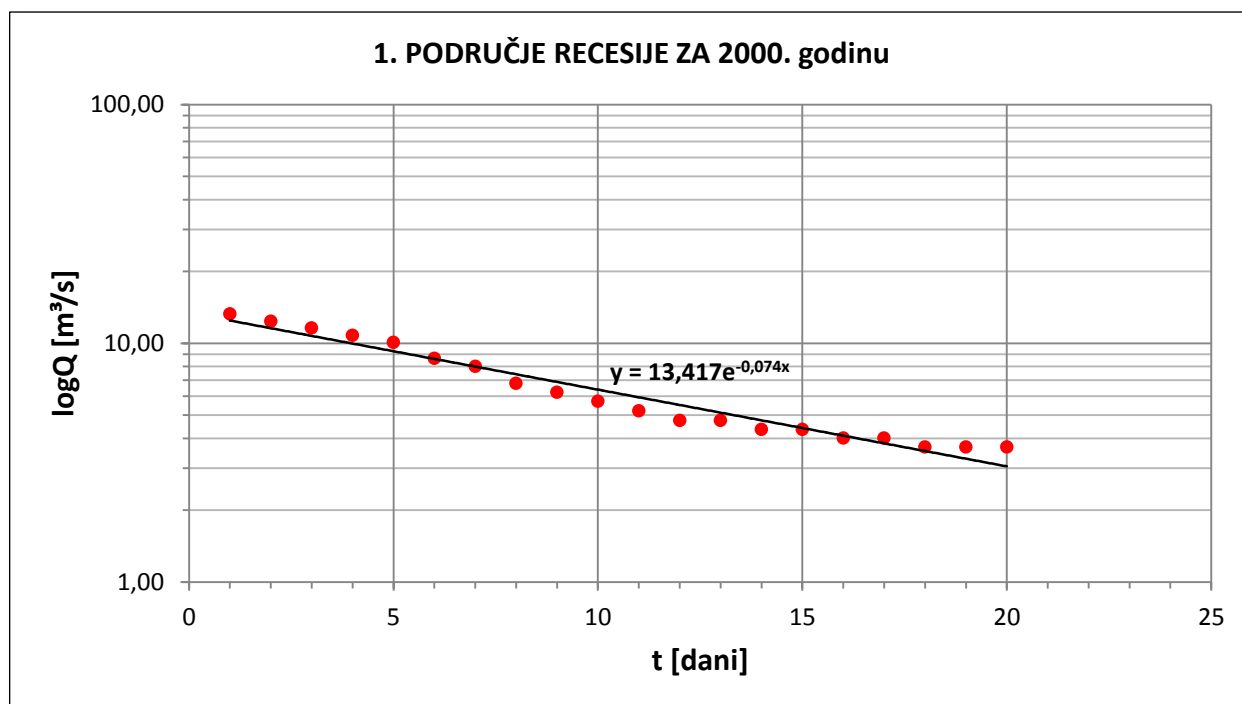
Slika 6.32.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1998. godinu u periodu od 14.09. do 27.09.



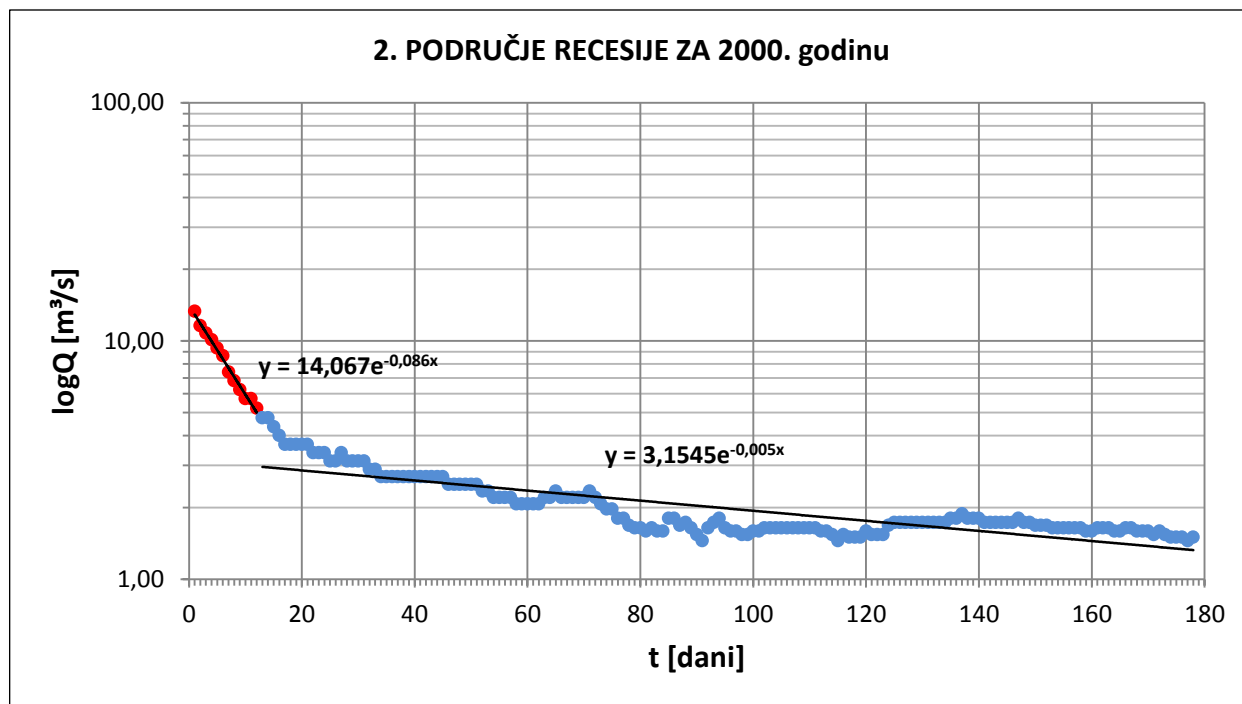
Slika 6.33.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1999. godinu u periodu od 14.01. do 09.02.



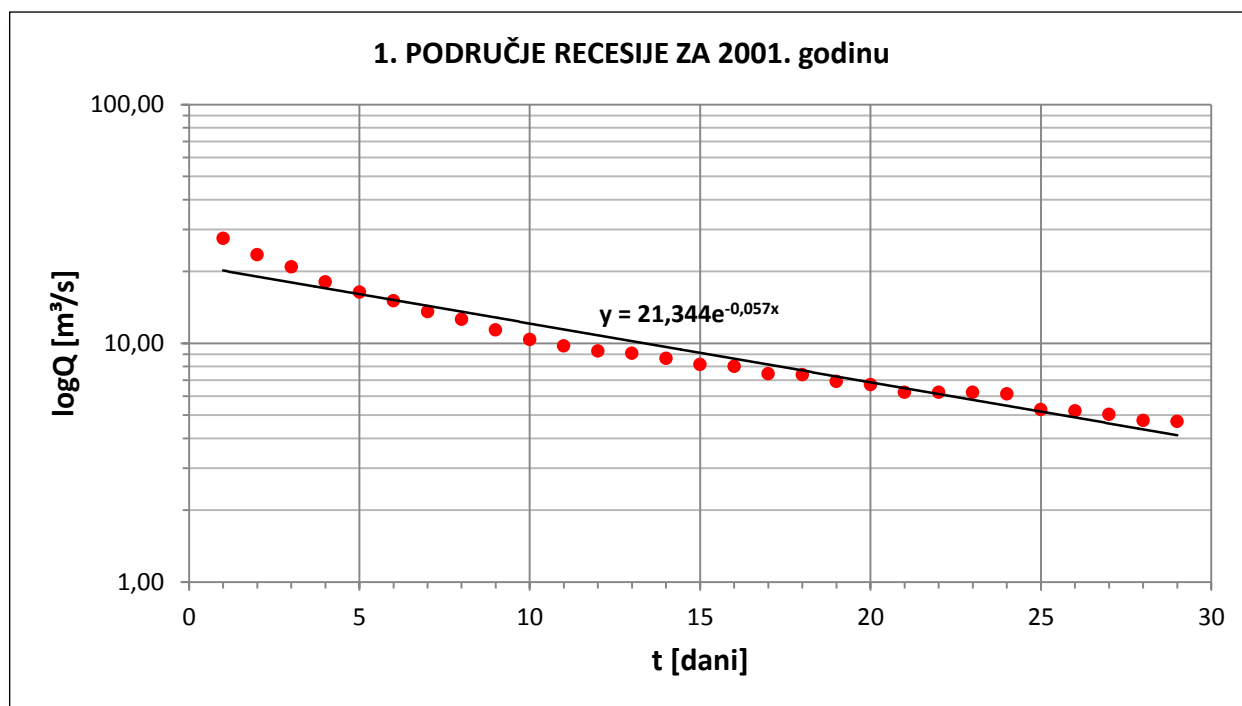
Slika 6.34.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 1999. godinu u periodu od 23.05. do 23.10.



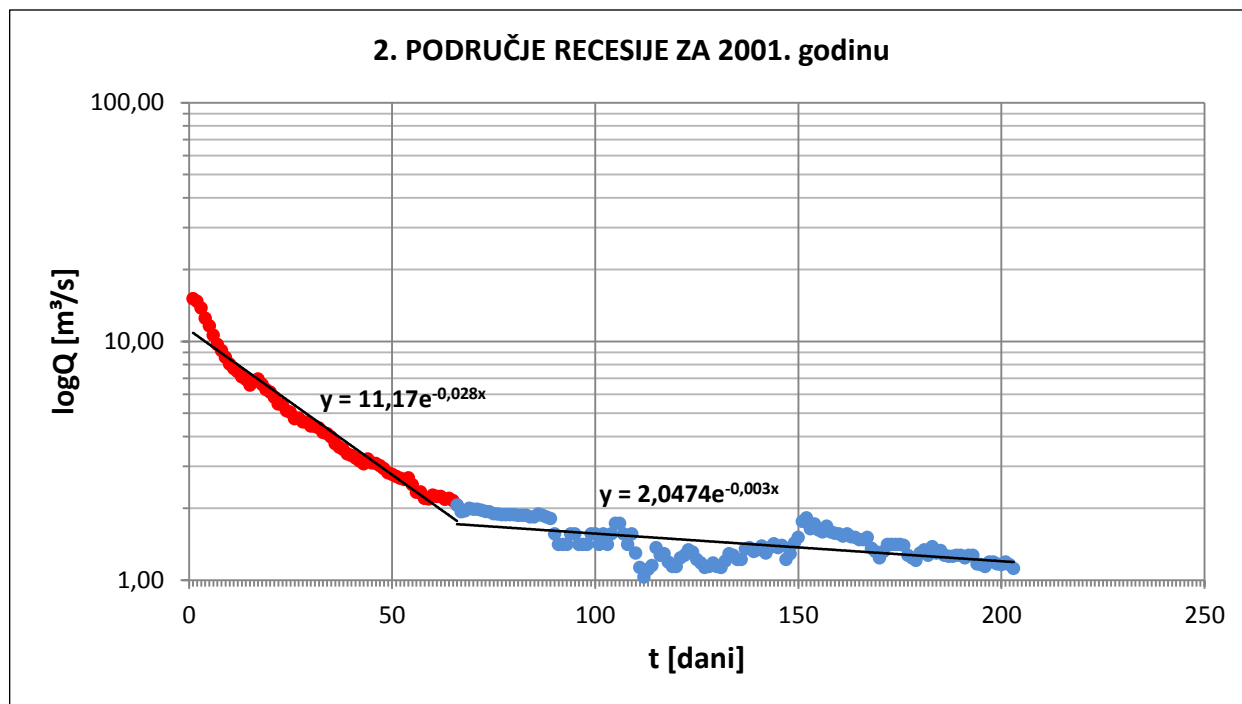
Slika 6.35.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2000. godinu u periodu od 11.02. do 01.03.



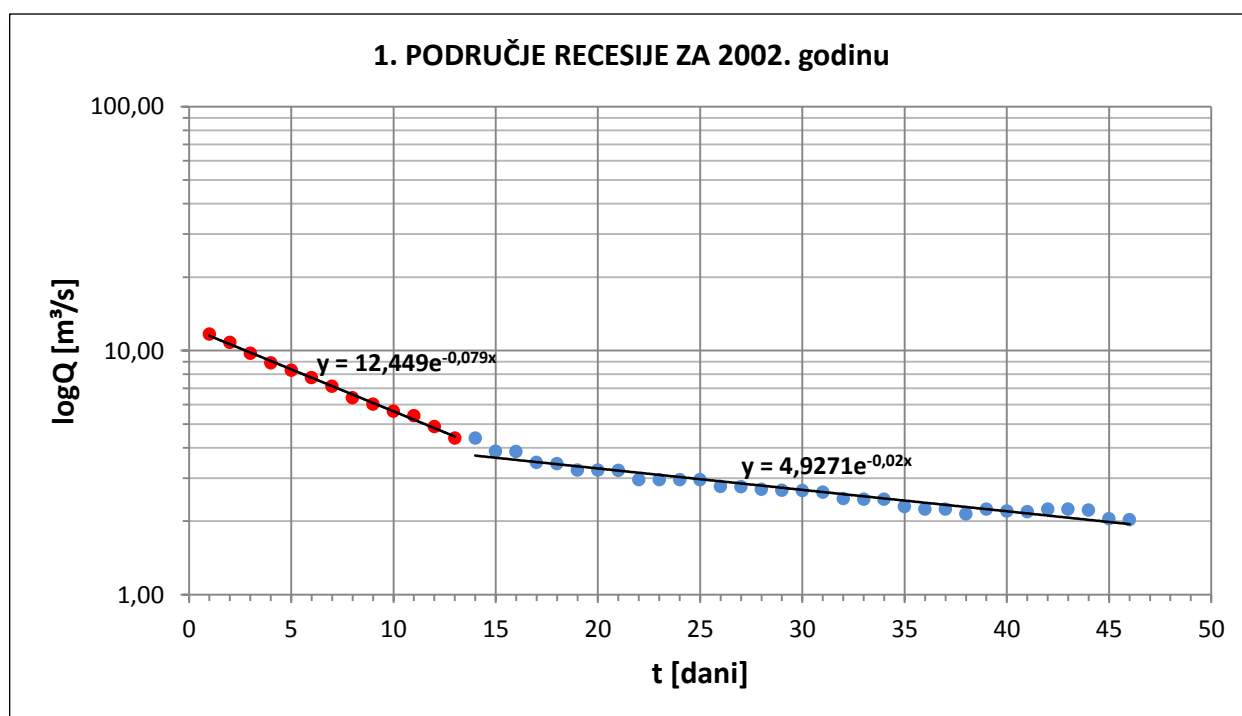
Slika 6.36.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2000. godinu u periodu od 06.04. do 30.09.



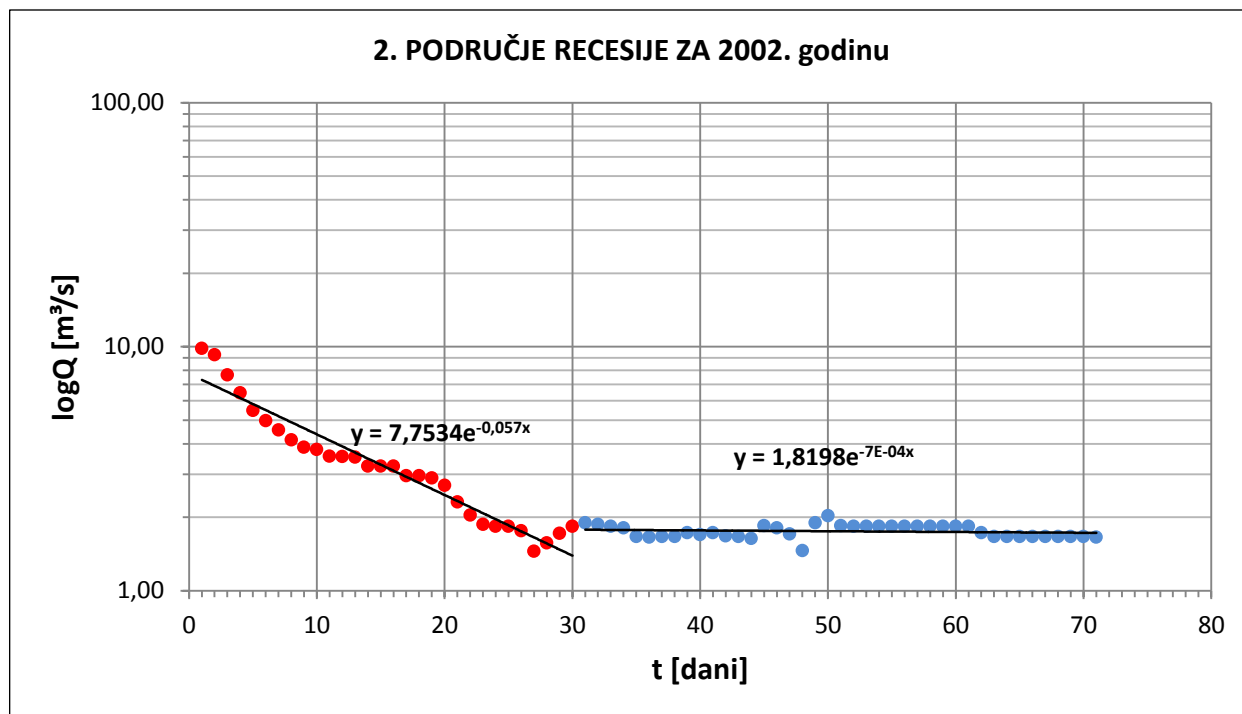
Slika 6.37.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2001. godinu u periodu od 31.01. do 28.02.



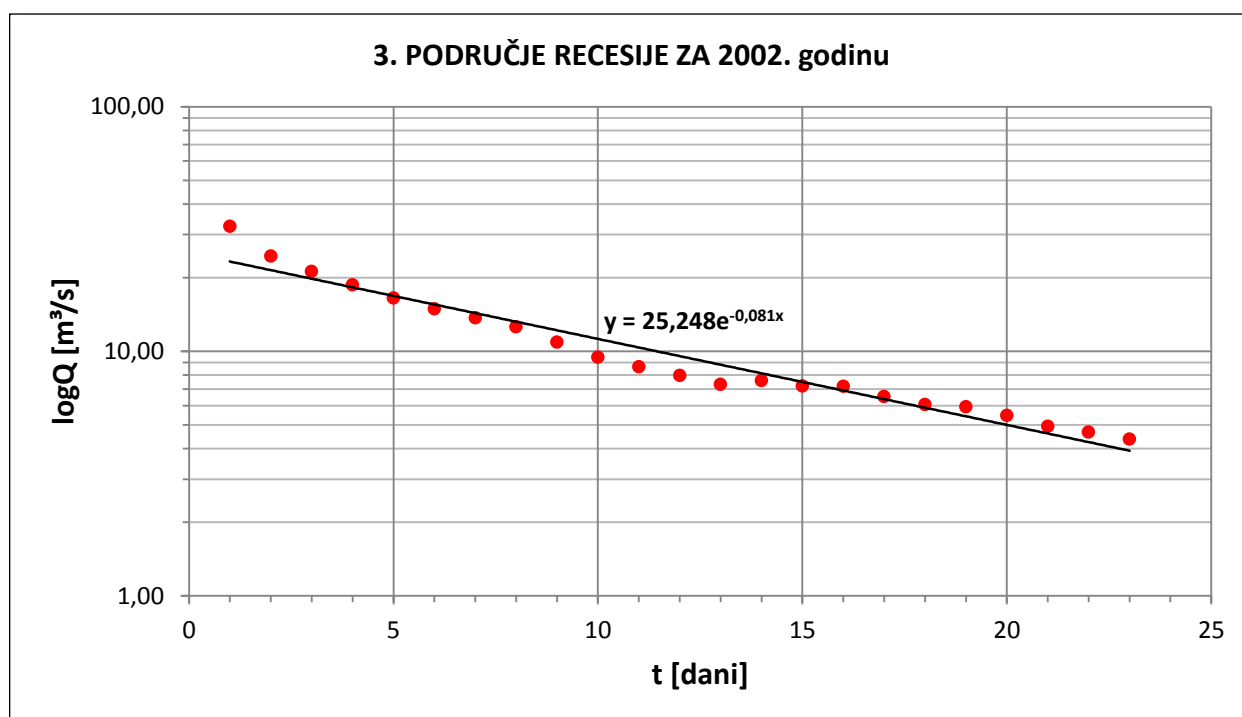
Slika 6.38.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2001. godinu u periodu od 22.04. do 10.11.



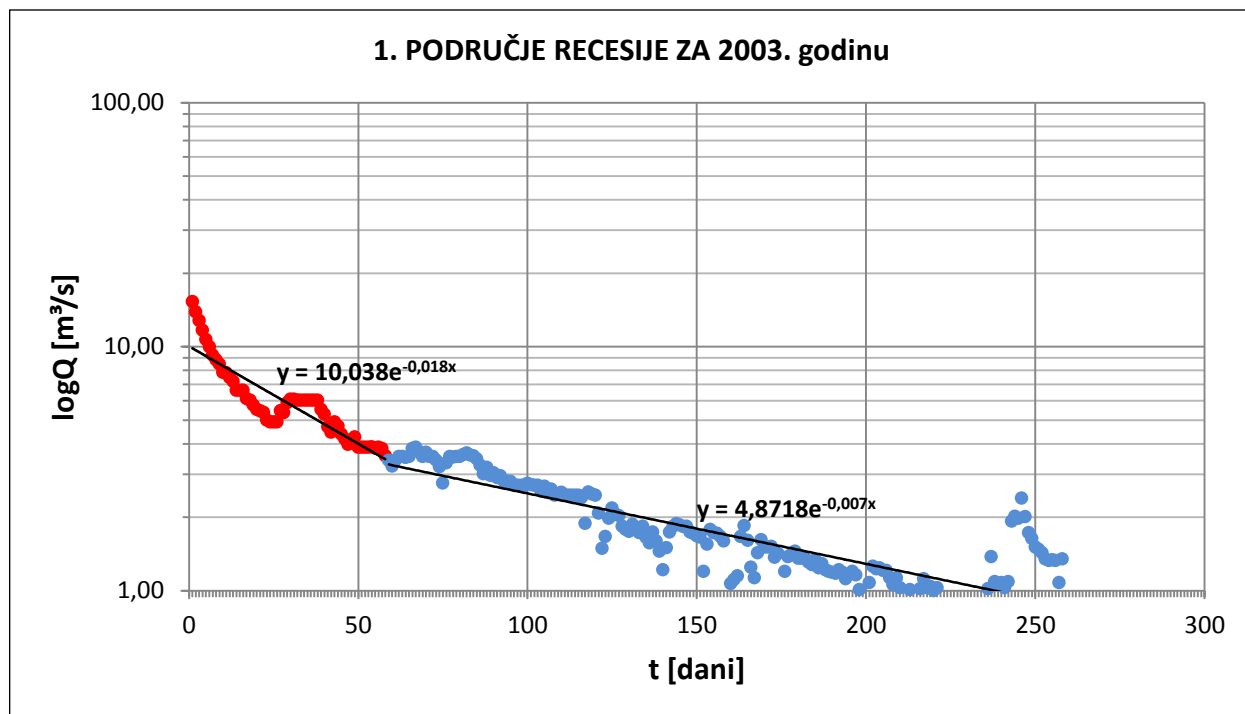
Slika 6.39.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2002. godinu u periodu od 23.02. do 09.04.



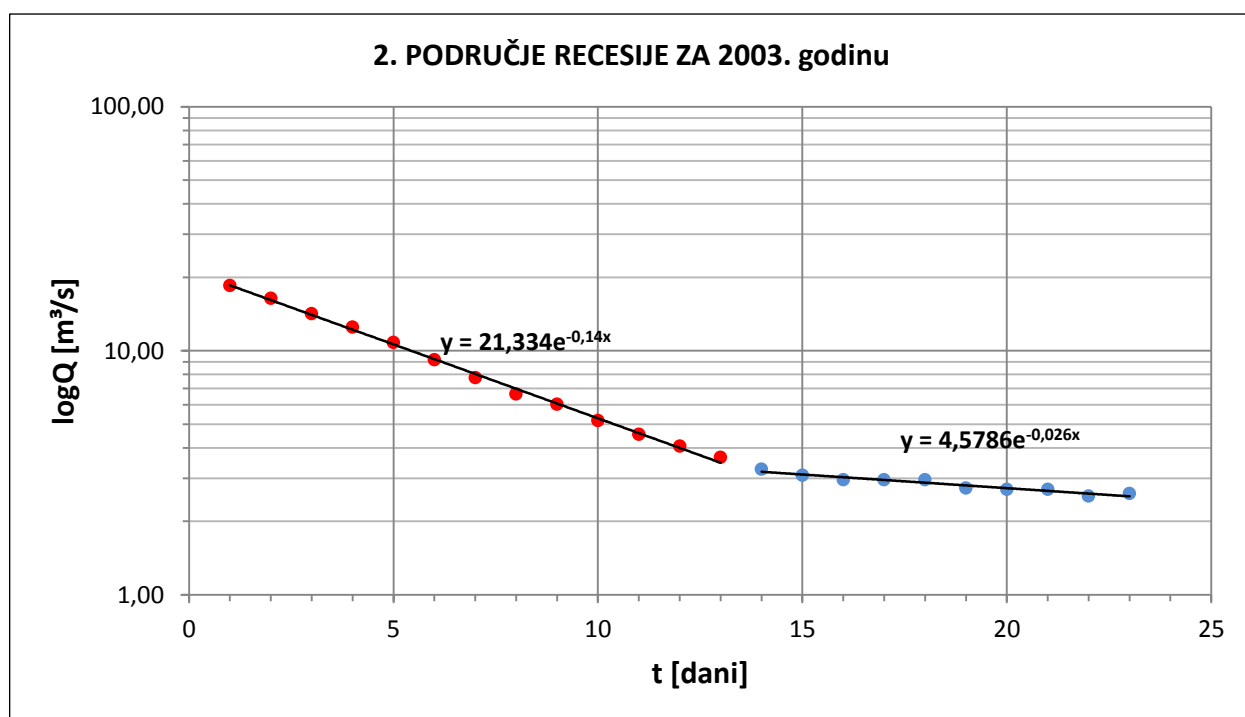
Slika 6.40.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2002. godinu u periodu od 29.05. do 07.08.



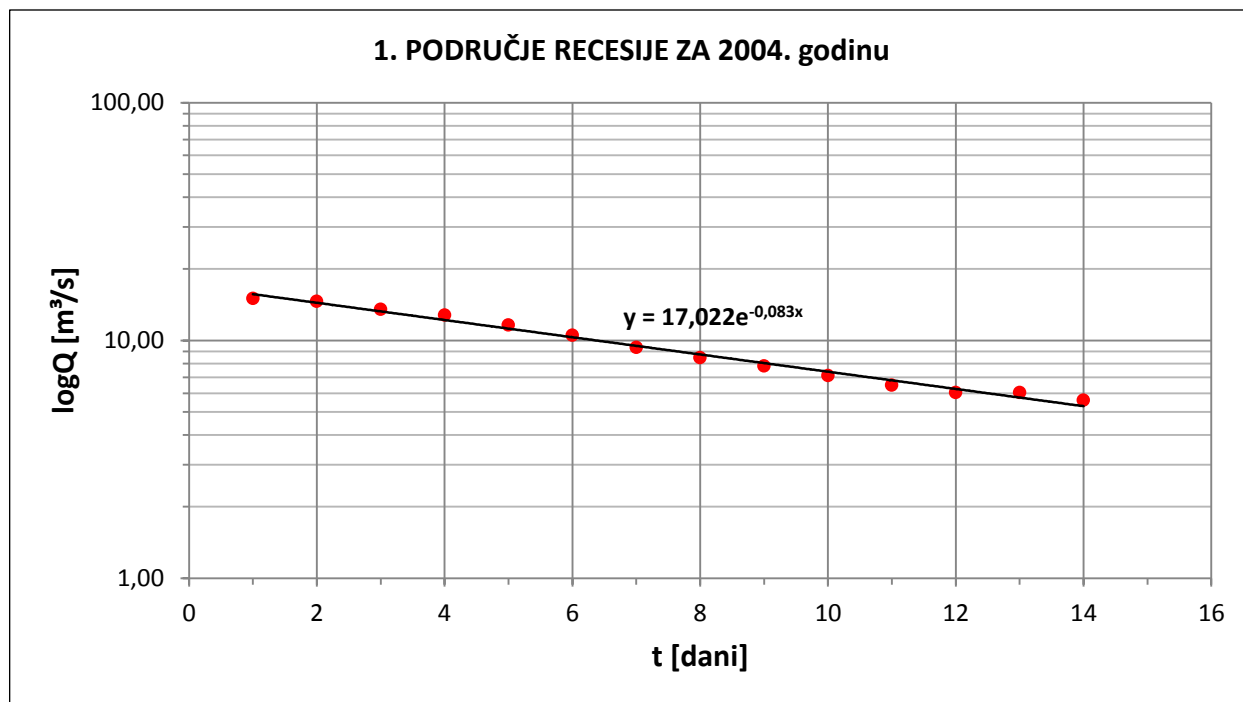
Slika 6.41.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2002. godinu u periodu od 12.10. do 03.11.



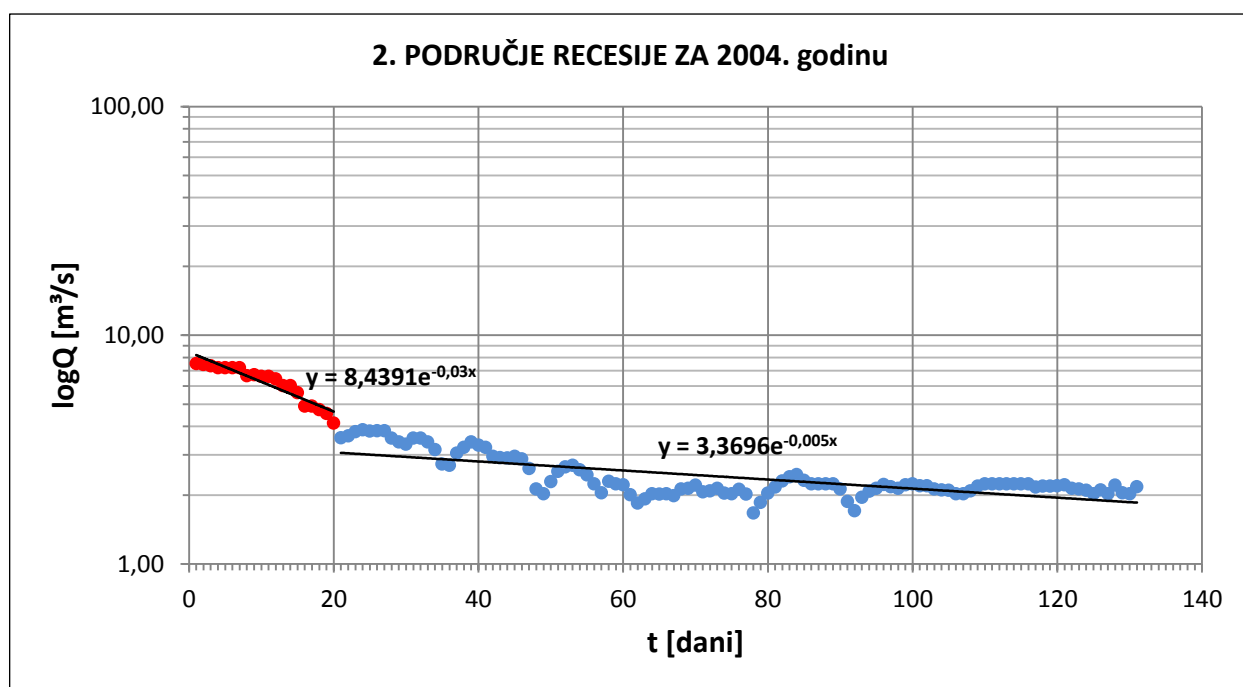
Slika 6.42.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2003. godinu u periodu od 06.02. do 21.10.



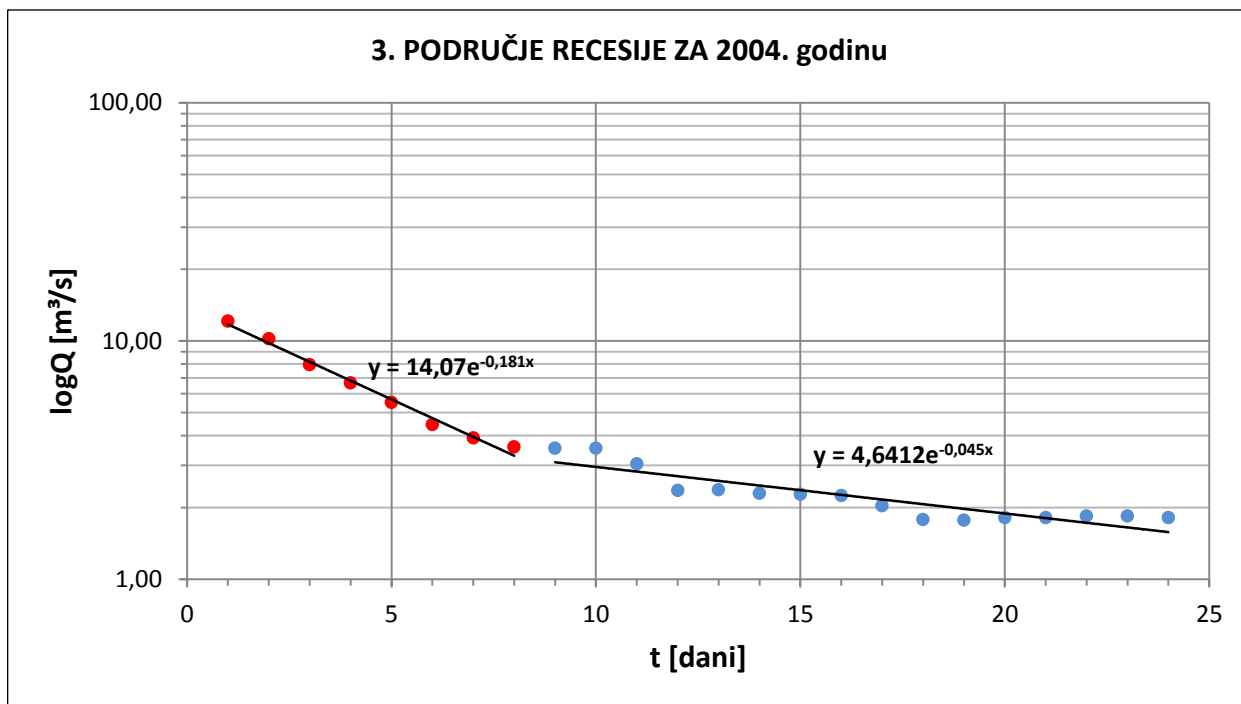
Slika 6.43.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2003. godinu u periodu od 03.11. do 25.11.



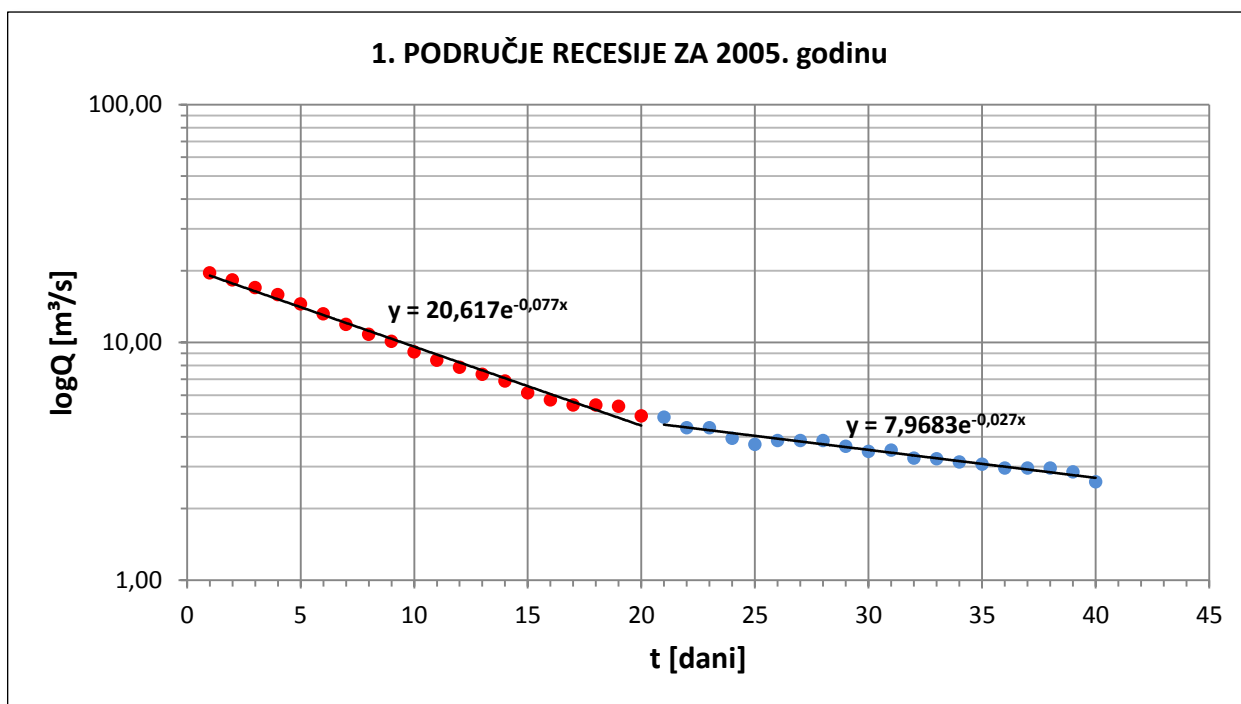
Slika 6.44.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2004. godinu u periodu od 21.01. do 03.02.



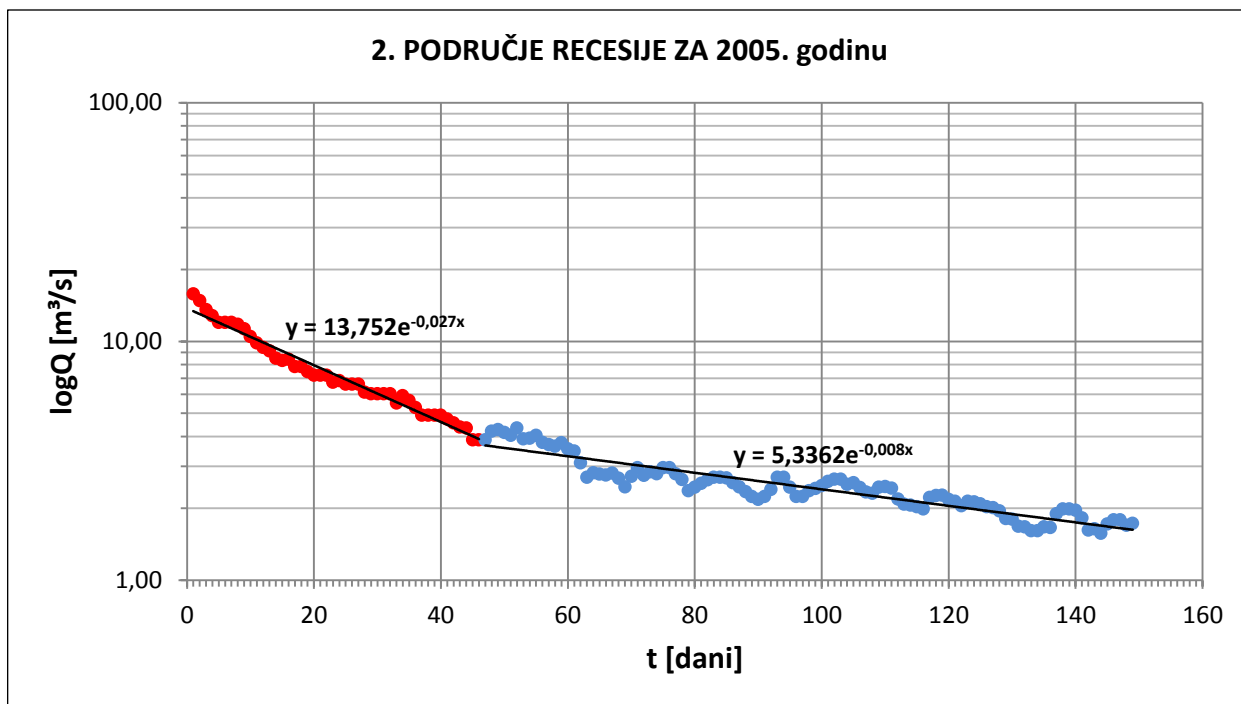
Slika 6.45.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2004. godinu u periodu od 06.06. do 14.10.



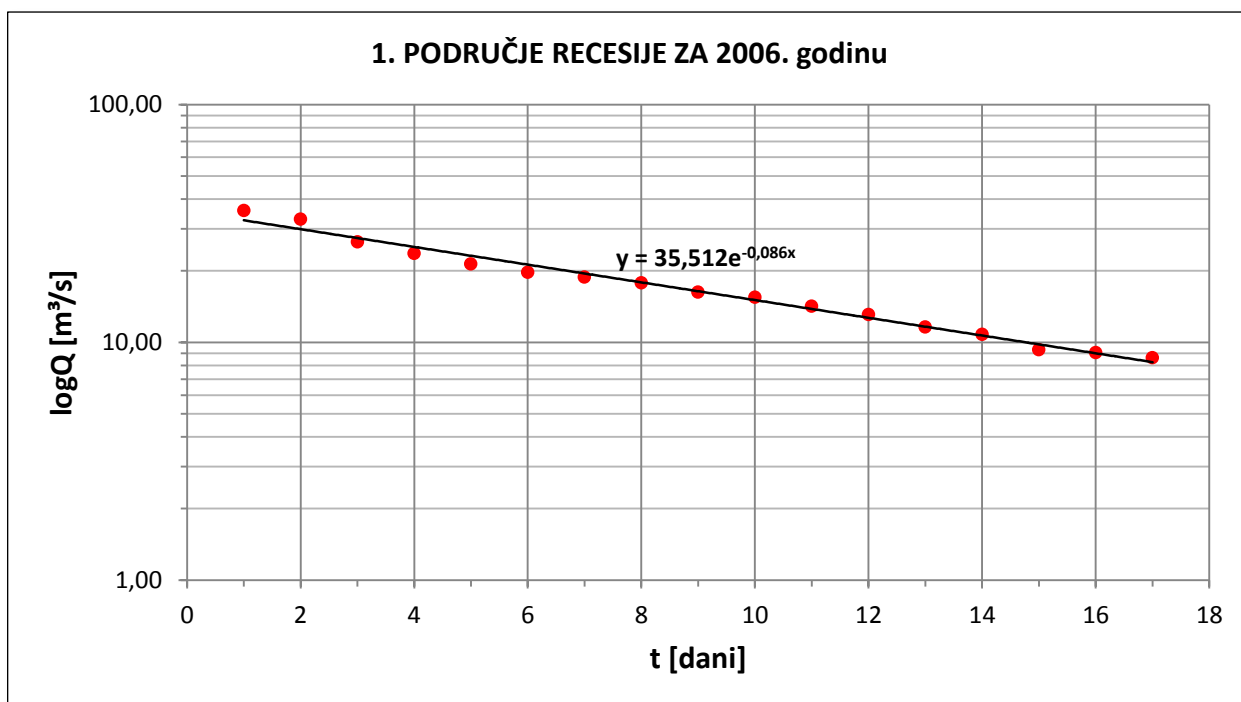
Slika 6.46.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2004. godinu u periodu od 18.10. do 10.11.



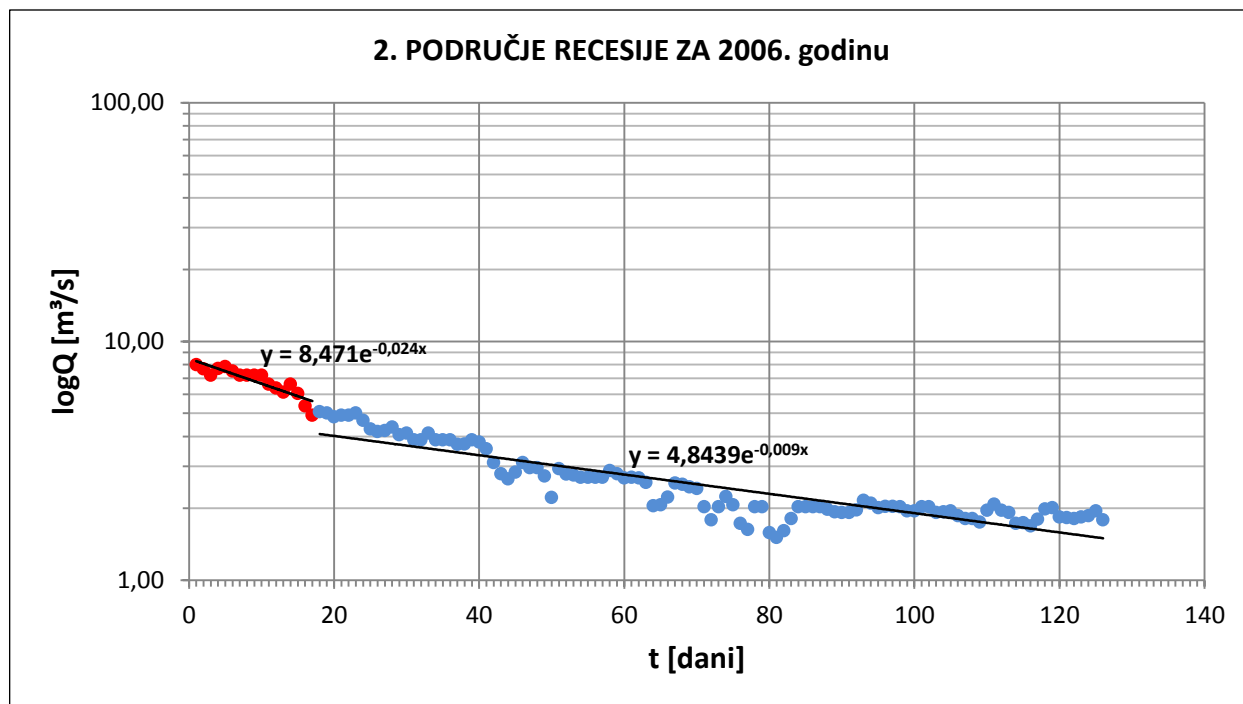
Slika 6.47.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2005. godinu u periodu od 01.01. do 09.02.



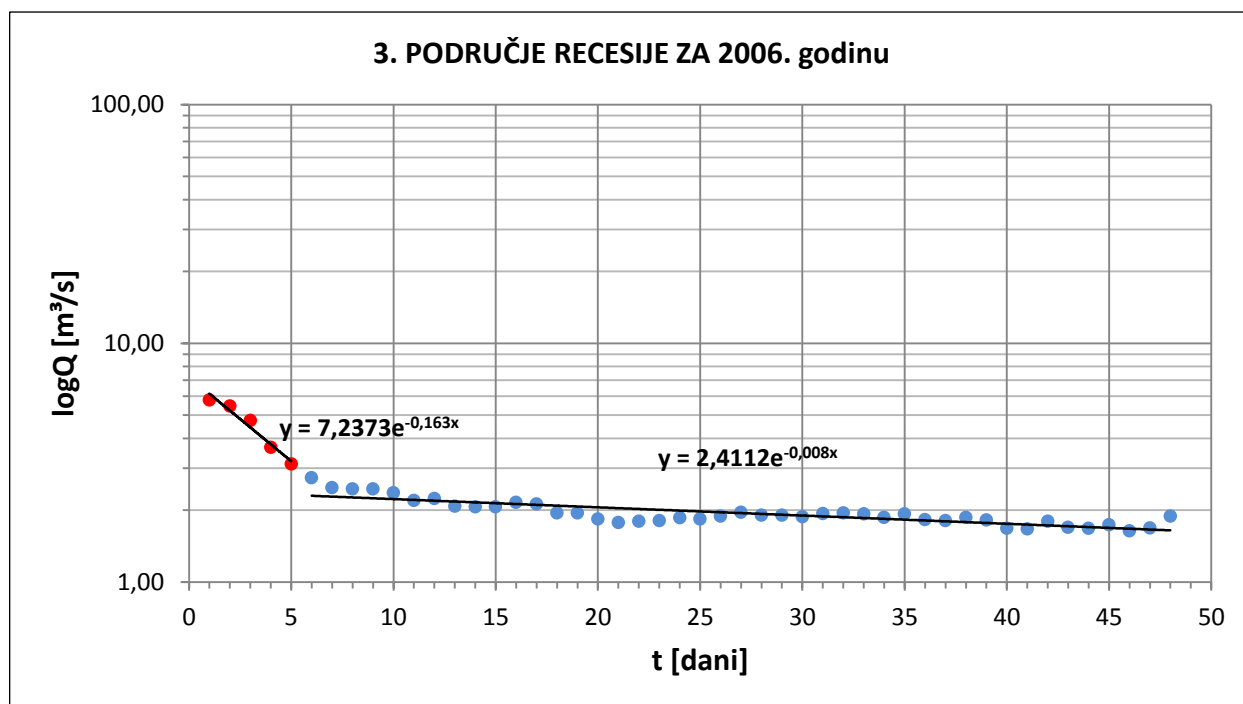
Slika 6.48.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2005. godinu u periodu od 22.04. do 17.09.



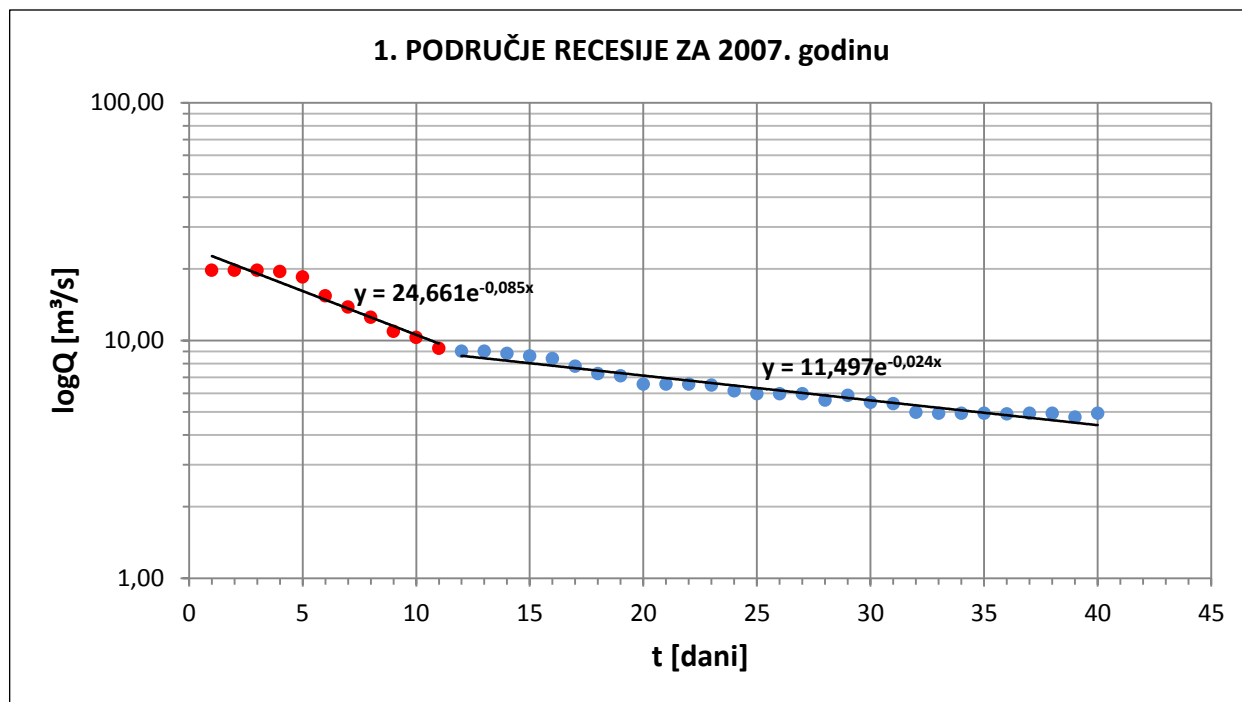
Slika 6.49.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2006. godinu u periodu od 02.01. do 18.01.



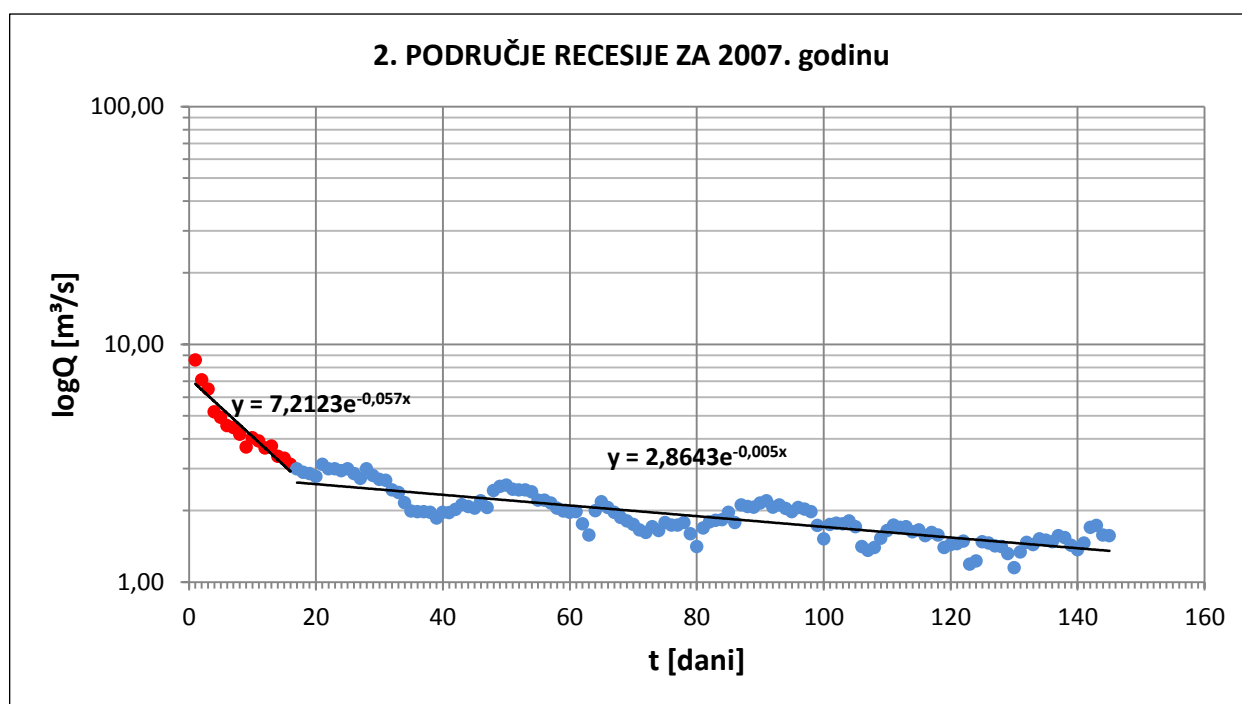
Slika 6.50.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2006. godinu u periodu od 13.05. do 15.09.



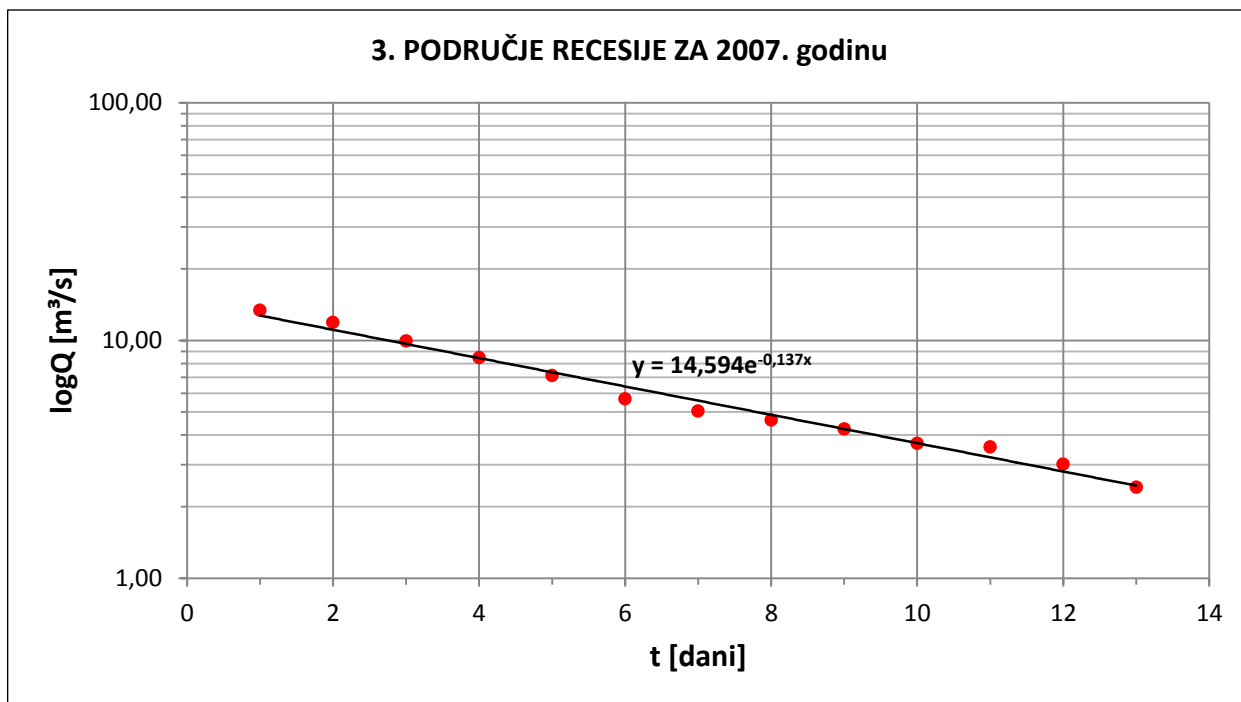
Slika 6.51.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2006. godinu u periodu od 06.10. do 22.11.



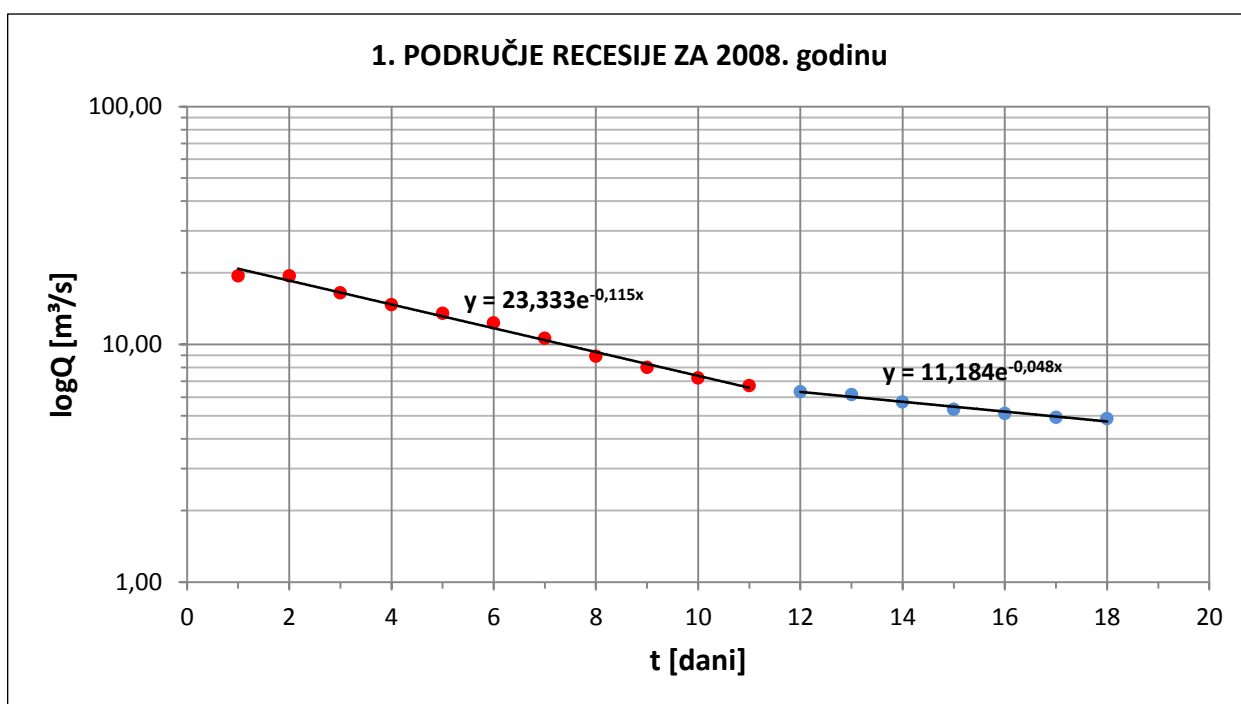
Slika 6.52.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2007. godinu u periodu od 27.03. do 05.05.



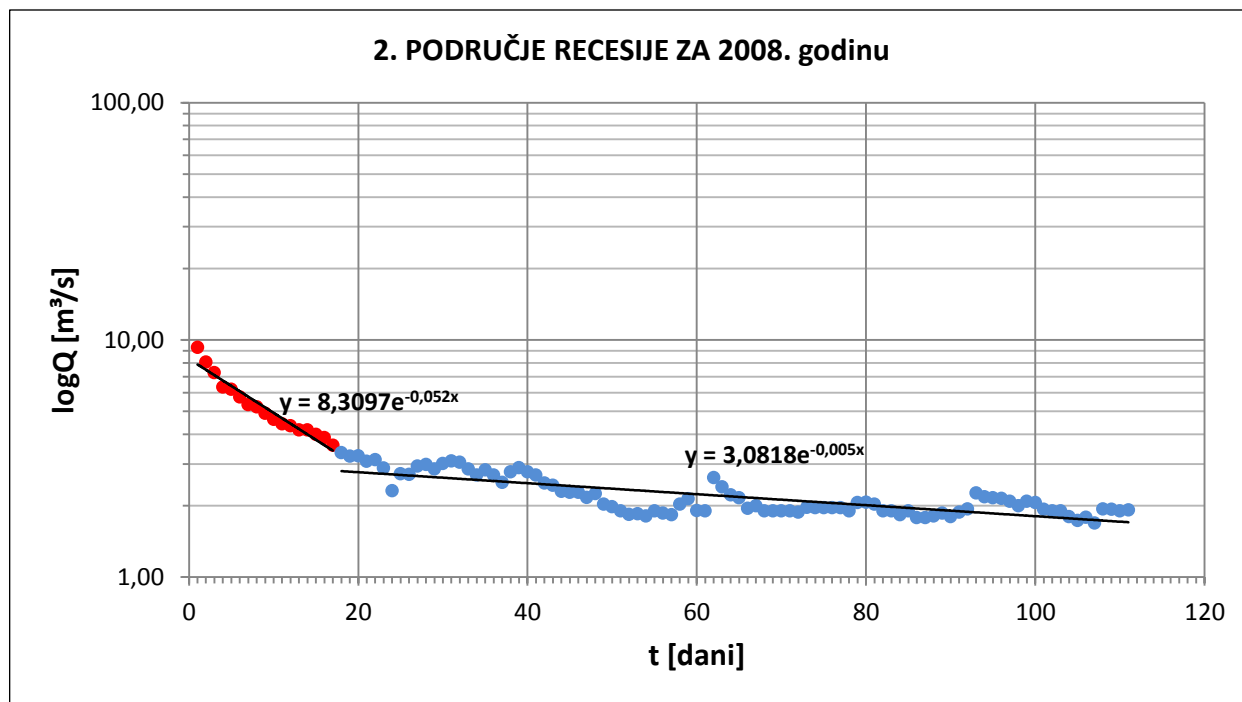
Slika 6.53.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2007. godinu u periodu od 08.06. do 30.10.



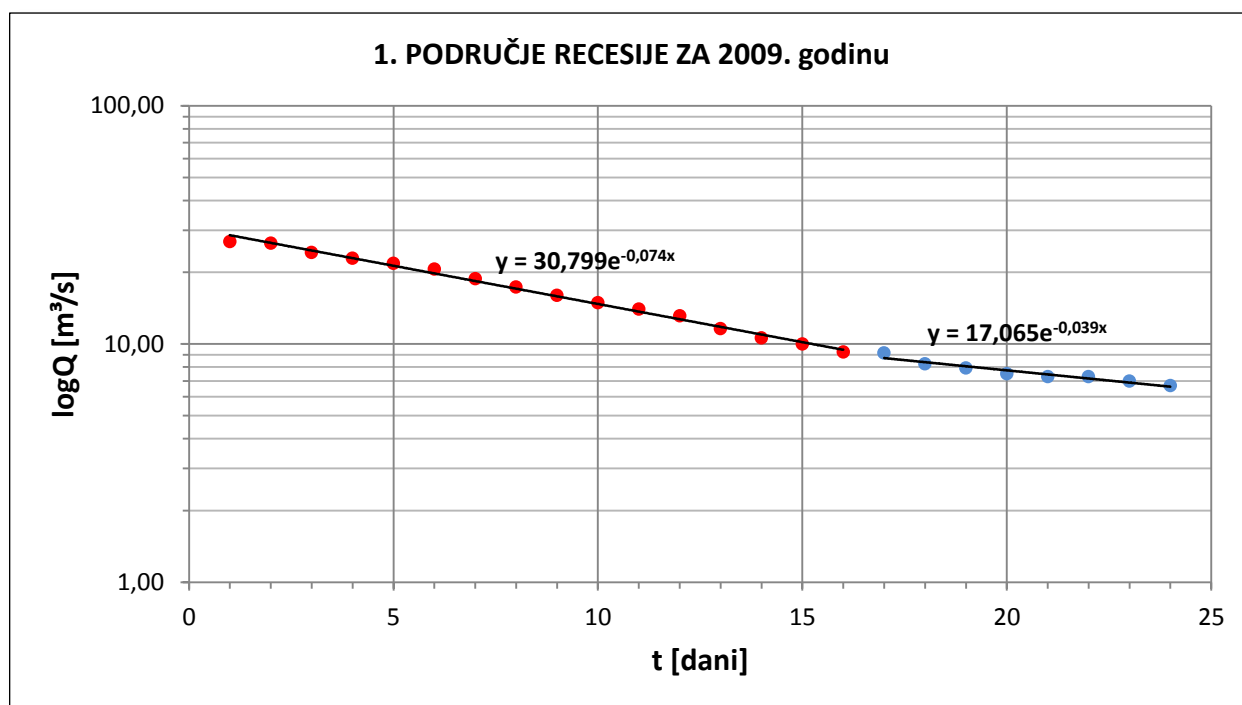
Slika 6.54.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2007. godinu u periodu od 11.12. do 23.12.



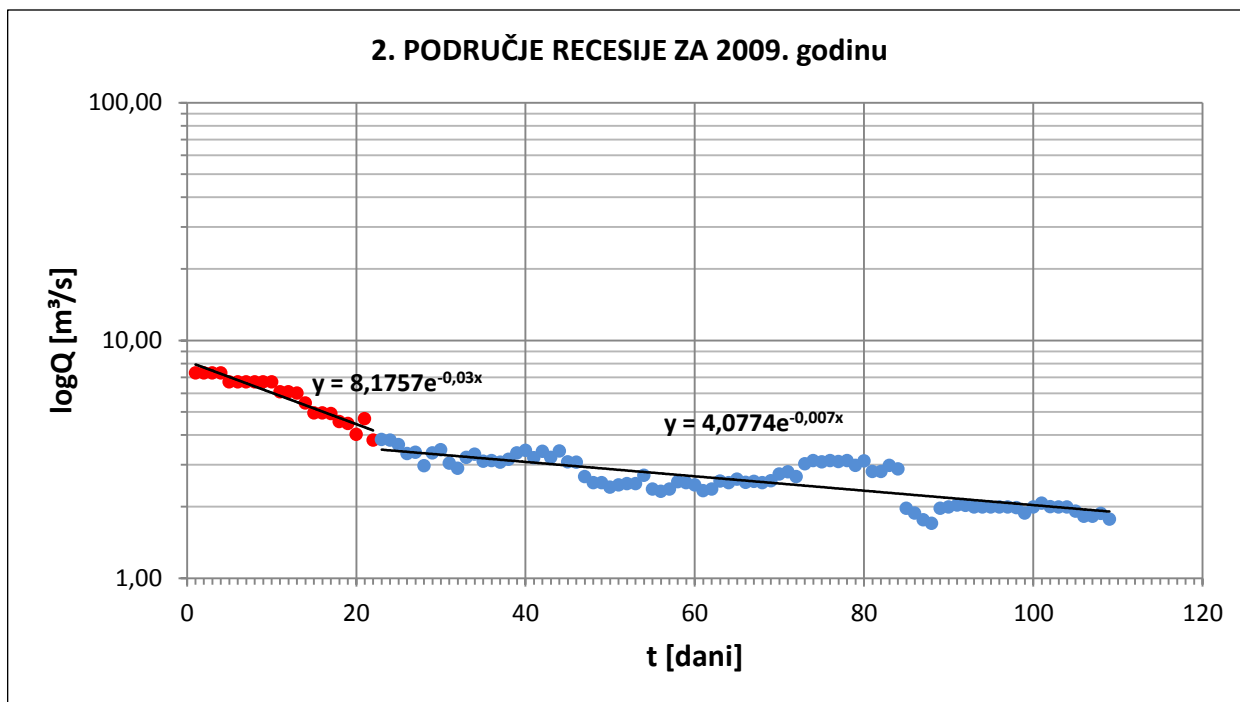
Slika 6.55.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2008. godinu u periodu od 18.01. do 04.02.



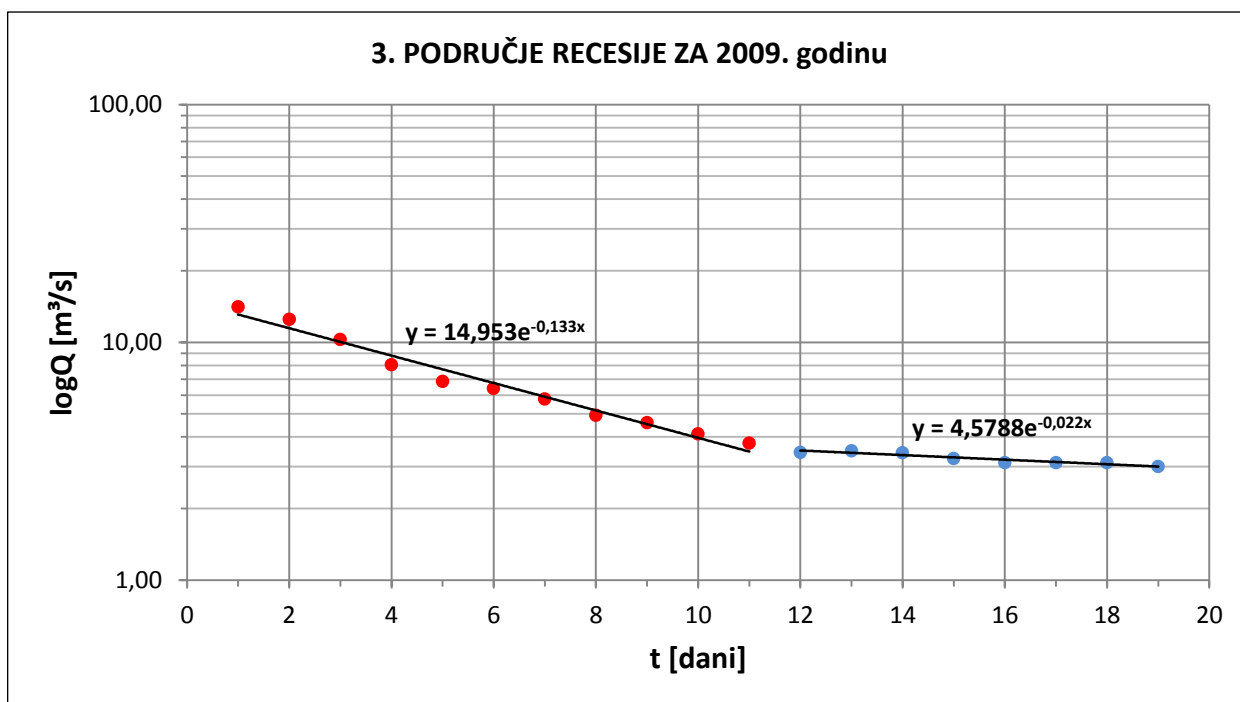
Slika 6.56.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2008. godinu u periodu od 15.06. do 03.10.



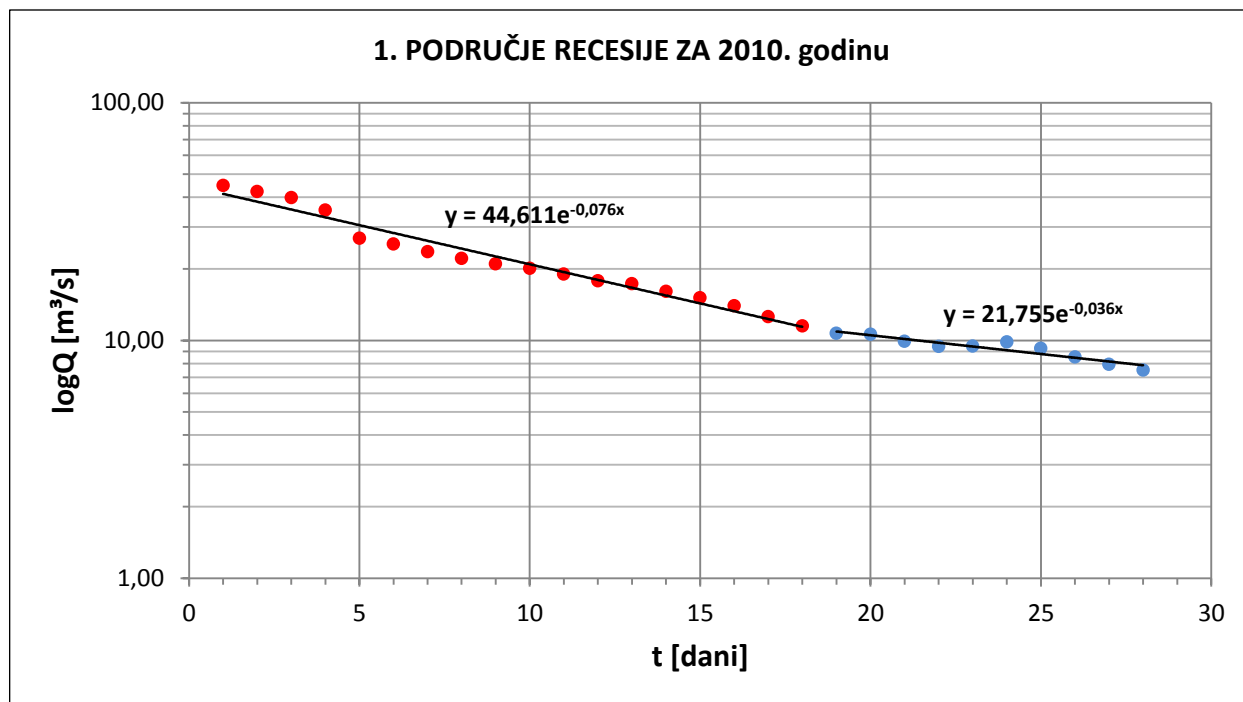
Slika 6.57.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2009. godinu u periodu od 08.02. do 03.03.



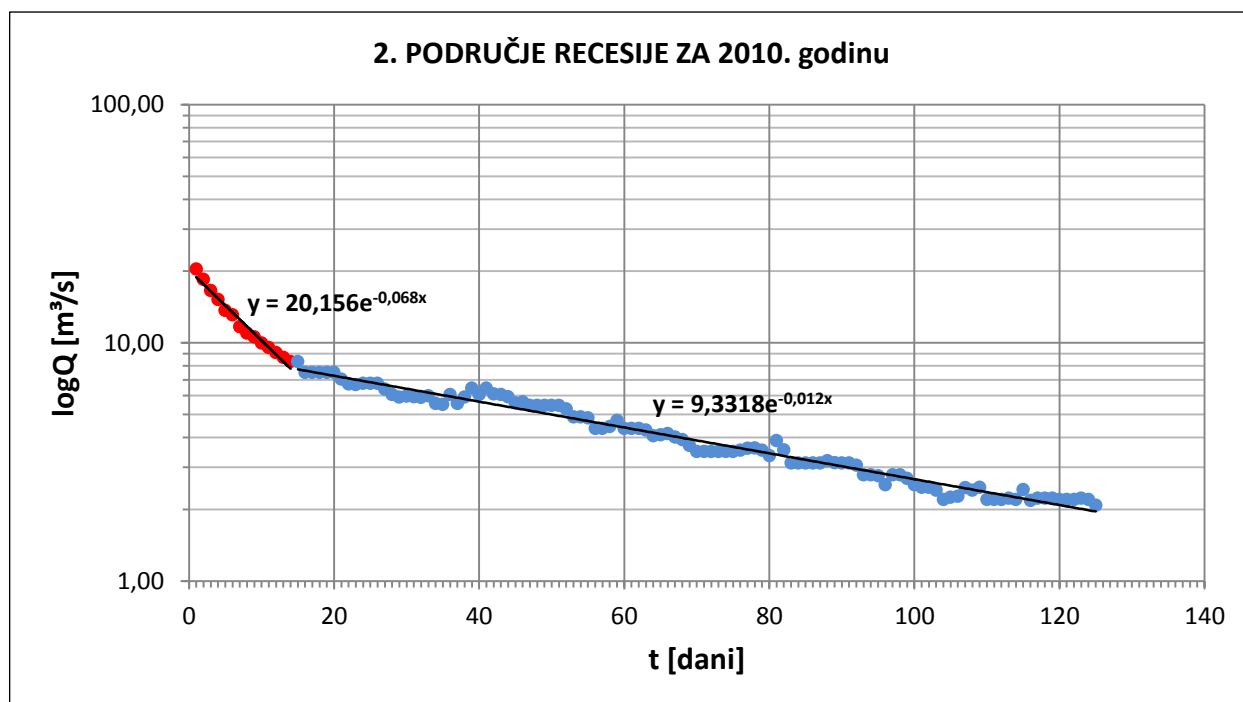
Slika 6.58.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2009. godinu u periodu od 04.07. do 20.10.



Slika 6.59.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2009. godinu u periodu od 11.11. do 29.11.



Slika 6.60.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2010. godinu u periodu od 09.01. do 05.02.



Slika 6.61.: Krivulja recesije rijeke Vrljike za 2010. godinu u periodu od 17.05. do 18.09.

Prema podacima o protocima izmjerenima na izvoru Opačac za razdoblje od 1995. do 2010. godine, u tablici 6.1. dan je pregled koeficijentata recesije za izdvojene periode za pojedinu godinu navedenog razdoblja. Iz navedenih vrijednosti koeficijentata recesije vidljivo je da izvor Opačac, odnosno rijeku Vrljiku, tijekom navedenog razdoblja karakteriziraju komponente brzog i sporog pražnjenja tako da na veličinu koeficijenta recesije utjecaj ima i duljina analiziranog perioda pri čemu se ističe velik broj dugotrajnih recesijskih perioda koji obuhvaćaju sušna razdoblja (ljetne periode). Za dugotrajna razdoblja recesije (tablica 6.2.) pretežito vrijedi da su pripadajući koeficijenti recesije mali, reda veličine 10^{-3} , što ukazuje na sporo pražnjenje, odnosno nižu razinu vode na izvoru i u podzemlju. Za realniju ekstrapolaciju pri utvrđivanju krivulje pražnjenja, u slučaju vrlo dugotrajnih nizova podataka, preporučeno je uzeti samo donji dio podataka o protoku iz predmetnog razdoblja, poradi čega je na slici 6.62. dan prikaz 95 %-tnog protoka rijeke Vrljike za navedeno razdoblje koji u prosjeku iznosi $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Ujedno je potrebno napomenuti da sniženje vode na izvorištima, uvjetovano crpljenjem za vodoopskrbu, značajno utječe na izmjenu režima malih voda. U takvim slučajevima dolazi do prelijevanja izvorišta, a hidrološko stanje ulazi u funkciju režima crpljenja, kao i postignuta razina vode na izvoru te dinamika priliva vode iz vodonosnika iz kojeg se izvor prihranjuje. Na taj se način koriste rezerve podzemnih voda koje u prirodnim uvjetima na izvorima ne bi mogle slobodno otjecati. Izvori koji sporije prazne svoje podzemne rezerve imaju veći akumulacijski kapacitet, a time i veću mogućnost dodatnog korištenja podzemnih voda u razdoblju kada su one potrebne za određene gospodarske potrebe.

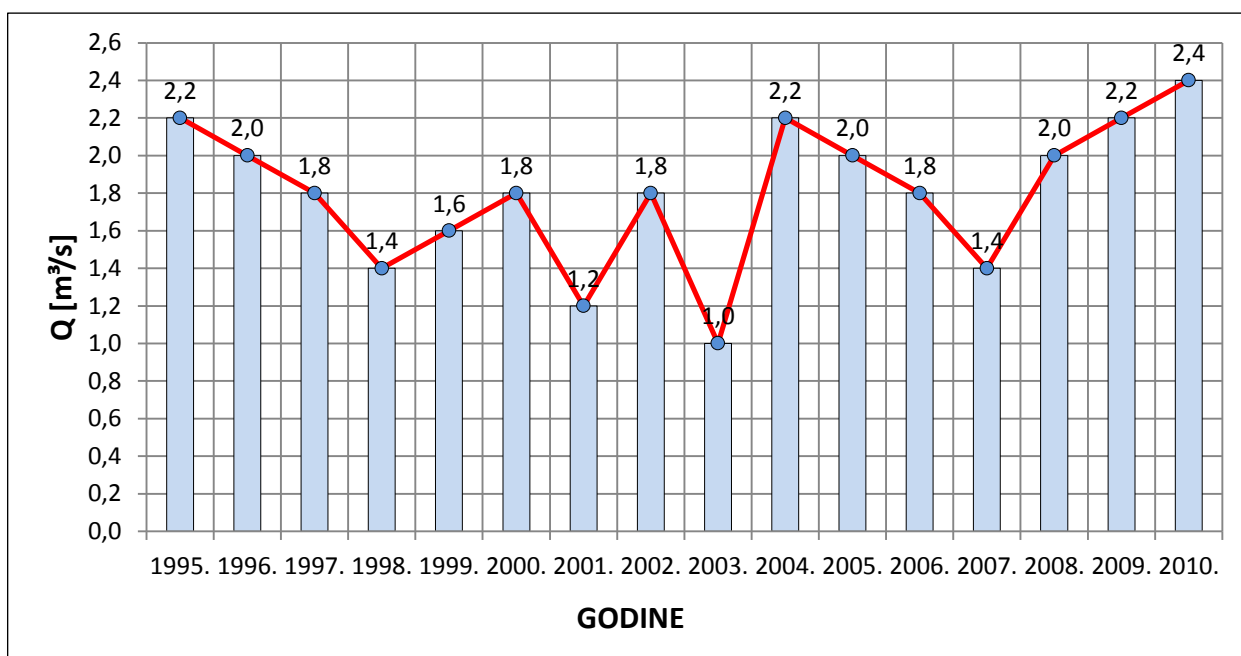
Tablica 6.1. Prikaz koeficijentata recesije za razdoblje od 1995. do 2010. godine

REDNI BROJ	GODINA	$Q_{95\%} [\text{m}^3/\text{s}]$	PERIOD	$Q_0 [\text{m}^3/\text{s}]$	$\alpha [\text{sek}^{-1}]$
1.	1995.	2,20	06.03. - 02.04.	19,342	$\alpha_{11} = 0,043$
			01.06. - 31.08.	17,502	$\alpha_{21} = 0,064$
				6,7124	$\alpha_{22} = 0,014$
			21.09. - 25.11.	23,834	$\alpha_{31} = 0,085$
				6,2129	$\alpha_{32} = 0,011$
2.	1996.	2,00	27.01. - 13.02.	28,888	$\alpha_{11} = 0,082$
			13.05. - 19.09.	16,475	$\alpha_{21} = 0,045$
				6,352	$\alpha_{22} = 0,012$
			17.10. - 17.11.	22,069	$\alpha_{31} = 0,151$
				8,1791	$\alpha_{32} = 0,032$
3.	1997.	1,80	11.01. - 15.02.	25,622	$\alpha_{11} = 0,093$
				10,978	$\alpha_{12} = 0,024$
			23.04. - 06.11.	11,079	$\alpha_{21} = 0,020$
				2,1249	$\alpha_{22} = 0,001$
				4,7097	$\alpha_{11} = 0,014$
4.	1998.	1,40	28.01. - 13.04.	3,2022	$\alpha_{12} = 0,007$
				4,4592	$\alpha_{21} = 0,054$
			18.06. - 12.09.	1,4475	$\alpha_{22} = 0,001$
				8,9628	$\alpha_{31} = 0,120$
			14.09. - 27.09.	22,114	$\alpha_{11} = 0,094$
5.	1999.	1,60	14.01. - 09.02.	9,8846	$\alpha_{12} = 0,023$
				10,878	$\alpha_{21} = 0,054$
			23.05. - 23.10.	3,2813	$\alpha_{22} = 0,008$

6.	2000.	1,80	11.02. - 01.03.	13,417	$\alpha_{11} = 0,074$
			06.04. - 30.09.	14,067	$\alpha_{21} = 0,086$
7.	2001.	1,20		3,1545	$\alpha_{22} = 0,005$
			31.01. - 28.02.	21,344	$\alpha_{11} = 0,057$
8.	2002.	1,80	22.04. - 10.11.	11,17	$\alpha_{21} = 0,028$
				2,0474	$\alpha_{22} = 0,003$
9.	2003.	1,00	23.02. - 09.04.	12,449	$\alpha_{11} = 0,079$
				4,9271	$\alpha_{12} = 0,020$
10.	2004.	2,20	29.05. - 07.08.	7,7534	$\alpha_{21} = 0,057$
				1,8198	$\alpha_{22} = 0,001$
11.	2005.	2,00	12.10. - 03.11.	25,248	$\alpha_{31} = 0,081$
			06.02. - 21.10.	10,038	$\alpha_{11} = 0,018$
12.	2006.	1,80		4,8718	$\alpha_{12} = 0,007$
			03.11. - 25.11.	21,334	$\alpha_{21} = 0,140$
13.	2007.	1,40		4,5786	$\alpha_{22} = 0,026$
			21.01. - 03.02.	17,022	$\alpha_{11} = 0,083$
14.	2008.	2,00	06.06. - 14.10.	8,4391	$\alpha_{21} = 0,030$
				3,3696	$\alpha_{22} = 0,005$
15.	2009.	2,20	18.10. - 10.11.	14,070	$\alpha_{31} = 0,181$
				4,6412	$\alpha_{32} = 0,045$
16.	2010.	2,40	01.01. - 09.02.	20,617	$\alpha_{11} = 0,077$
				7,9683	$\alpha_{12} = 0,027$
17.	2011.	2,00	22.04. - 17.09.	13,752	$\alpha_{21} = 0,027$
				5,3362	$\alpha_{22} = 0,008$
18.	2012.	1,80	02.01. - 18.01.	35,512	$\alpha_{11} = 0,086$
			13.05. - 15.09.	8,471	$\alpha_{21} = 0,024$
19.	2013.	1,40		4,8439	$\alpha_{22} = 0,009$
			06.10. - 22.11.	7,2373	$\alpha_{31} = 0,163$
20.	2014.	2,00		2,4112	$\alpha_{32} = 0,008$
			27.03. - 05.05.	24,661	$\alpha_{11} = 0,085$
21.	2015.	2,20		11,497	$\alpha_{12} = 0,024$
			08.06. - 30.10.	7,2123	$\alpha_{21} = 0,057$
22.	2016.	2,40		2,8643	$\alpha_{22} = 0,005$
			11.12. - 23.12.	14,594	$\alpha_{31} = 0,137$
23.	2017.	2,00	18.01. - 04.02.	23,333	$\alpha_{11} = 0,115$
				11,184	$\alpha_{12} = 0,048$
24.	2018.	2,20	15.06. - 03.10.	8,3097	$\alpha_{21} = 0,052$
				3,0818	$\alpha_{22} = 0,005$
25.	2019.	2,40	08.02. - 03.03.	30,799	$\alpha_{11} = 0,074$
				17,065	$\alpha_{12} = 0,039$
26.	2020.	2,00	04.07. - 20.10.	8,1757	$\alpha_{21} = 0,030$
				4,0774	$\alpha_{22} = 0,007$
27.	2021.	2,20	11.11. - 29.11.	14,953	$\alpha_{31} = 0,133$
				4,5788	$\alpha_{32} = 0,022$
28.	2022.	2,40	09.01. - 05.02.	44,611	$\alpha_{11} = 0,076$
				21,755	$\alpha_{12} = 0,036$
29.	2023.	2,00	17.05. - 18.09.	20,156	$\alpha_{21} = 0,068$
				9,3318	$\alpha_{22} = 0,012$

Tablica 6.2. Prikaz koeficijenata recesije za izdvojene periode od 1995. do 2010. godine

REDNI BROJ	GODINA	PERIOD	$\alpha_1 [\text{sek}^{-1}]$	$\alpha_2 [\text{sek}^{-1}]$
1.	1995.	01.06. - 31.08.	0,064	0,014
2.	1996.	13.05. - 19.09.	0,045	0,012
3.	1997.	23.04. - 06.11.	0,020	0,001
4.	1998.	18.06. - 12.09.	0,054	0,001
5.	1999.	23.05. - 23.10.	0,054	0,008
6.	2000.	06.04. - 30.09.	0,086	0,005
7.	2001.	22.04. - 10.11.	0,028	0,003
8.	2002.	29.05. - 07.08.	0,057	0,001
9.	2003.	06.02. - 21.10.	0,018	0,007
10.	2004.	18.10. - 10.11.	0,030	0,005
11.	2005.	22.04. - 17.09.	0,027	0,008
12.	2006.	13.05. - 15.09.	0,024	0,009
13.	2007.	08.06. - 30.10.	0,057	0,005
14.	2008.	15.06. - 03.10.	0,052	0,005
15.	2009.	04.07. - 20.10.	0,030	0,007
16.	2010.	17.05. - 18.09.	0,068	0,012
SREDNJA VRIJEDNOST KOEFICIJENATA RECESIJE			$\alpha_{1,\text{sr}} = 0,044625$	$\alpha_{2,\text{sr}} = 0,006438$

Slika 6.62.: 95 %-tni protok ($Q_{95\%}$) rijeke Vrljike za razdoblje od 1995. do 2010. godine

7. ZAKLJUČAK

Izdašnost izvora djelomično ovisi o količini padalina koje padnu na pripadajuću slivnu površinu. Glavni problem, koji je izravni rezultat djelovanja suše, snižavanje je razine podzemne vode kojom se izvor prihranjuje. Male podzemne retencije koje su karakteristične za male slivove, tako se, uslijed djelovanja suše, mogu isprazniti unutar nekoliko mjeseci ili tijekom godine. Pod malovodnim razdobljem, a ujedno i sušom nad otvorenim vodotocima, podrazumijeva se razdoblje u kojem su prirodni protoci vode manji do onih koji su potrebni različitim korisnicima. Male se vode u novije vrijeme sve češće javljaju i to sa sve većim deficitima otjecanja, pri čemu vodnogospodarski sustavi koji su vezani za te iste vode postaju sve kompleksniji. Razlog nepovoljnijih trendova, odnosno kolebanja minimalnih protoka, razina vode te kakvoće vode, dijelom su i vodnogospodarski sustavi koji se prilikom planiranja često i ne usklade s ekološkim zahtjevima. Zbog izrazite nehomogenosti područja i značajki vodnih pojava, poseban naglasak potrebno je staviti na hidrosustave u kršu. Osnovu za njihovo planiranje, projektiranje i upravljanje čine upravo hidrološke podloge. Te podloge pružaju informacije nužne za analizu stanja, kao i procjenu ponašanja vodnih sustava.

Analiza padajućeg dijela hidrograma otjecanja koja je opisana periodom bez značajnih padalina naziva se recesijska analiza, a ista pruža informacije o dinamici pražnjenja te omogućuje preliminarne prognoze o izdašnosti izvora. Meteorološki, klimatski i geomorfološki uvjeti znatno utječu na oblik hidrograma, a samim time i na recesijsku granu hidrograma otjecanja. U predjelima koji relativno obiluju kišom tijekom cijele godine, kao što je to slučaj za krške sredine, postupak izdvajanja jasne recesijske grane hidrograma nije u potpunosti jednostavan iz razloga relativno konstantnog "inputa" u sliv, što pak rezultira činjenicom da je analizu nužno započeti dobro definiranim početnim protokom kako bi se tako maleni brojevi opažanja recesijske krivulje što bolje izolirali. Krivulja pražnjenja, odnosno recesijska krivulja eksponencijalne je prirode i definirana je dvama varijablama i to protokom u proizvoljnom trenutku te koeficijentom pražnjenja koji ovisi o retencijskim karakteristikama podzemnog rezervoara. Nagib recesijske krivulje ukazuje na intenzitet otjecanja akumulirane vode pri čemu se sama krivulja najčešće određuje Maillettovom metodom.

Glavna tema ovog rada jest matematički pristup određivanju recesijskih krivulja (poprilično složenog karaktera) krške rijeke Vrljike za razdoblje od 1995. do 2010. godine te prikaz mogućnosti procjene dinamike pražnjenja podzemnih vodnih rezervi tijekom malovodnih razdoblja korištenjem najjednostavnijeg, odnosno Maillettovog modela, kojim se ipak dobivaju vrlo korisne i uporabive informacije.

Radom su analizirana recesijska razdoblja tijekom šesnaest godina, a prema podacima o dnevnim protocima izmjerjenima na izvoru Opačac. Glavni parametri analize recesijskih krivulja definiranih pomoću Mailletove funkcije pražnjenja su početni, odnosno inicijalni protok recesijske krivulje te koeficijent pražnjenja akvifera. Pravilnim odabirom inicijalnog protoka definirane su točke infleksije na recesijskim granama hidrograma. Odabir početnog protoka od

značaja je bio i za definiranje koeficijenta recesije, odnosno za definiranje nagiba aproksimiranih pravaca iz razloga što je koeficijent pražnjenja gradijent aproksimacijskog pravca. Kod otjecanja je analizom zamijećena komponenta brzog i sporog pražnjenja, no kako na veličinu koeficijenta recesije utjecaj ima duljina analiziranog razdoblja, za realniju eksploataciju (slučaj s dosta dugim kontinuiranim nizom podataka) uzet je samo donji dio recesijske krivulje. Na temelju navedenog izdvojena su duga recesijska razdoblja, primjenom spomenute metode dobivene su konačne vrijednosti koeficijenta recesije te je određen srednji koeficijenti recesije α_{sr} vrijednosti 0.006438. Vrijednost koeficijenta je reda veličine 10^{-3} što ukazuje na relativno sporo pražnjenje, odnosno ukazuje na opis geološke formacije terena te ostalih hidrogeoloških karakteristika predmetnog specifičnog sliva čije se pražnjenje podzemnih voda odvija kroz sitne pukotine, prsline te klastične ispune krških šupljina. Naime, sam koeficijent pražnjenja fizikalno najviše ovisi o geomorfološkim karakteristikama terena. Za heterogeni vodonosnik, kada se recesija prikaže na polulogaritamskoj skali, specifične su zakrivljene linije. U predmetnom slučaju vrijednost nije konstanta za cijelu krivulju, već je u funkciji vremena, a pošto se u predmetnom području radi o kršu i α će ovisiti o geometriji krških oblika ispod površine promatranog sliva. Time, što je veći gradijent pražnjenja prilikom pražnjenja vodonosnika to je krš veći, a vrijedi i obrat, što je manji gradijent pražnjenja to je krški aluvij manji, odnosno u slučaju njegove veće vrijednosti isti ukazuje na tlo krškog karaktera, dok u slučaju niže vrijednosti ukazuje na tlo aluvijalnog karaktera.

Treba napomenuti da iako metoda korištena u radu dobro opisuje krivulju recesije, u slučaju da nije moguće doći do dovoljno duge krivulje recesije, što je uvjetovano isprekidanošću recesijskih grana hidrograma konstantnim "inputom" u sliv, krivulja recesije može se odrediti metodom odvajanja baznog od direktnog otjecanja, pri čemu se na dobivenim krivuljama recesije primjenjuje neka od metoda analize recesije. S obzirom da su predmetni periodi analiziranja relativno dugi, u radu ovaj postupak nije izvršen.

Naposljetku možemo zaključiti da iako je za područje krša u Hrvatskoj karakteristično bogatstvo oborina, a time ujedno i vodnog potencijala, zbog relativno malog kapaciteta krških struktura vodne zalihe tijekom sušnih razdoblja zapravo su ograničene, pa su tako kao posljedica negativnih klimatskih promjena smanjene i mogućnosti korištenja vodnih rezervi. Ako želimo provesti kvalitativnu analizu krivulje ili bilo koju drugu analizu nekog promatranog sliva, potrebno je uzeti u obzir što više godina promatranja sa što više podataka kako bi neki promatrani sliv što bolje opisali za buduće prognoze ili kako bi podatke iz analiziranog sliva mogli što točnije primijeniti na slivove sličnih meteoroloških, klimatskih i geomorfoloških karakteristika. Važnost analiza recesijskih krivulja u kršu ogleda se u definiranju vodonosnika poradi mogućnosti vodoopskrbe, stvaranja akumulacija ili sprječavanja poplavnih opasnosti kao i za praćenje zagađenja podzemnih voda, što je od izuzetne važnosti u suvremeno vrijeme kada ekološke katastrofe mogu rezultirati enormnim posljedicama. U isto vrijeme sama rijeka Vrljika pod velikim je pritiskom. Potrebe lokalnog stanovništva, naseljavanje, vodnogospodarske mjere,

nepostojanje sustava sakupljanja i pročišćavanja otpadnih voda te administrativna rascjepkanost u većoj ili manjoj mjeri utječe na ekološko stanje rijeke Vrljike, a time, naposljetku, i na kvalitetu života u samoj regiji. U najskorije vrijeme tako bi trebalo poraditi na prekograničnoj i međusektorskoj suradnji u vezi značajnije analize i budućnosti predmetnog vodnog sustava.



Slika 7.1.: Rijeka Vrljika

8. PRILOZI

Tablica 8.1. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 1995. godinu

1995. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	10,40	9,72	7,20	7,20	11,20	16,50	4,56	1,68	2,69	9,04	3,48	13,70
2	12,80	9,72	7,20	7,20	10,40	15,50	4,56	1,77	2,69	7,78	3,48	12,00
3	12,80	9,04	7,20	8,39	9,04	14,60	4,16	2,14	2,69	7,78	3,81	10,40
4	11,20	7,78	7,78	9,04	9,04	13,70	3,81	2,69	3,48	7,20	3,81	9,04
5	9,72	7,20	19,80	9,04	8,39	12,80	4,16	2,69	5,46	6,54	3,81	8,39
6	8,39	6,54	22,20	9,04	7,78	12,00	3,81	2,69	16,50	6,54	3,48	12,80
7	7,20	5,98	19,80	8,39	7,78	10,40	3,81	2,69	12,80	5,98	3,48	26,30
8	5,98	5,98	18,70	8,39	7,78	10,40	3,81	2,14	9,72	5,46	3,48	23,50
9	4,99	5,46	17,60	7,78	7,20	9,72	3,81	2,14	9,04	5,46	3,48	21,00
10	4,56	4,99	17,60	7,78	6,54	9,04	3,19	2,00	9,04	5,46	3,48	18,70
11	4,56	4,99	16,50	7,78	7,16	8,39	3,19	2,00	8,39	5,46	3,48	17,60
12	4,16	4,56	15,50	7,20	6,54	8,39	3,19	2,00	7,20	4,99	3,19	15,50
13	4,16	4,56	13,70	7,20	7,16	7,78	2,93	2,00	6,54	4,99	3,19	18,70
14	4,16	4,56	12,80	6,54	12,00	7,78	2,93	2,14	12,80	4,99	3,19	39,50
15	4,16	4,56	11,20	6,54	12,80	7,20	2,93	2,30	22,20	4,99	3,19	32,40
16	3,81	4,56	10,40	7,78	12,00	7,20	2,93	2,49	17,60	4,99	3,48	27,70
17	3,81	4,56	9,72	11,20	11,20	7,20	2,69	2,49	14,60	4,56	3,48	23,50
18	3,81	4,99	9,04	11,20	11,20	7,20	2,49	2,49	12,80	4,56	3,48	22,20
19	3,48	11,20	9,04	10,40	11,20	7,20	2,49	2,49	11,20	4,56	3,48	23,50
20	3,48	12,00	9,04	9,72	11,20	5,98	2,49	2,49	17,60	4,56	3,48	24,90
21	3,48	11,20	8,39	9,04	13,70	5,98	2,49	2,49	23,50	4,16	3,48	23,50
22	3,48	10,40	8,39	9,04	13,70	5,98	2,49	2,49	19,80	4,56	3,48	19,80
23	3,48	9,72	7,78	8,39	12,80	5,98	2,49	2,49	18,70	4,56	3,48	19,80
24	3,81	8,39	7,78	7,78	12,00	5,98	2,30	2,49	16,50	4,16	3,19	19,80
25	4,99	8,39	7,78	7,78	11,20	5,98	2,30	2,69	15,50	4,16	3,19	19,80
26	4,99	8,39	7,78	9,04	10,40	5,98	2,14	3,48	15,50	4,16	3,48	19,80
27	5,46	8,39	7,20	11,20	9,72	5,46	2,14	3,19	13,70	4,16	5,98	26,30
28	5,98	7,78	7,20	12,80	9,04	5,46	2,14	3,19	12,00	4,16	16,50	26,30
29	6,54	/	7,20	12,80	8,39	5,46	2,49	2,93	10,40	3,81	17,60	24,90
30	8,39	/	7,20	12,00	8,39	4,56	2,69	2,93	9,72	3,48	15,50	22,20
31	9,04	/	7,20	/	7,78	/	2,00	2,93	/	3,48	/	23,50
dat Q _{min}	21.	14.	3.	13.	9.	30.	28.	8.	1.	30.	8.	5.
Q _{min}	3,19	4,16	6,54	6,54	6,54	4,56	1,68	1,35	2,49	3,48	3,19	7,78
Q _{sr}	6,04	7,34	11,2	8,92	9,83	8,53	3,02	2,48	12	5,19	4,85	20,9
Q _{max}	15,5	12,8	22,2	13,7	14,6	17,6	4,56	4,16	32,4	9,04	18,7	43,5
dat Q _{max}	2.	19.	6.	28.	22.	1.	1.	27.	20.	1.	28.	14.
σ ₂	8,23	5,79	22,72	3,22	4,73	10,83	0,57	0,18	33,32	1,78	16,53	44,70
σ	2,87	2,41	4,77	1,79	2,17	3,29	0,76	0,42	5,77	1,34	4,07	6,69

Tablica 8.2. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 1996. godinu

1996. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	49,90	15,90	8,30	10,40	6,57	7,11	3,65	1,91	1,73	4,35	4,73	22,20
2	34,10	14,90	7,68	9,66	7,11	7,11	3,65	1,91	1,56	4,35	4,73	19,50
3	29,20	12,90	7,11	17,10	8,30	7,11	3,65	1,91	1,73	4,73	4,35	17,10
4	26,30	12,00	7,11	29,20	7,68	6,57	3,34	1,91	1,56	6,06	4,35	14,90
5	22,20	11,20	6,57	27,70	7,11	6,06	3,34	1,91	1,56	5,59	3,99	13,90
6	19,50	10,40	6,06	23,50	7,11	6,06	3,34	1,91	1,73	5,14	3,65	12,90
7	19,50	10,40	6,06	19,50	7,11	6,06	2,79	1,73	2,31	4,73	3,65	11,20
8	18,20	9,66	6,06	18,20	7,11	5,59	2,54	2,10	2,31	4,35	3,65	10,40
9	20,80	8,96	5,59	17,10	7,11	5,14	2,54	1,91	2,10	3,99	3,65	9,66
10	20,80	8,96	5,59	14,90	12,00	5,14	2,54	1,73	2,10	3,65	3,65	8,96
11	19,50	8,30	5,59	13,90	12,90	5,14	2,54	1,73	2,31	3,65	3,65	8,96
12	17,10	8,30	5,59	12,00	12,90	5,14	2,31	2,31	2,31	3,34	3,65	9,66
13	15,90	7,68	5,59	11,20	15,90	5,14	2,54	2,31	2,31	3,06	3,65	9,66
14	14,90	10,40	5,59	10,40	15,90	5,14	2,54	2,10	2,31	2,79	3,34	12,00
15	13,90	10,40	5,59	9,66	14,90	4,73	2,54	1,73	2,31	2,79	3,34	15,90
16	13,90	9,66	6,57	8,96	13,90	4,73	2,54	1,91	2,31	11,20	3,34	15,90
17	12,00	8,96	9,66	8,30	13,90	4,73	2,31	1,73	2,31	19,50	3,34	15,90
18	12,00	8,30	9,66	7,68	12,90	4,35	2,54	1,91	2,31	15,90	7,11	14,90
19	10,40	7,68	9,66	8,30	12,00	4,35	2,31	1,91	2,31	13,90	12,00	13,90
20	9,66	11,20	9,66	8,30	11,20	4,35	2,31	1,91	2,54	12,00	18,20	12,90
21	8,96	14,90	8,96	7,68	10,40	4,35	2,31	1,91	2,54	10,40	29,20	12,00
22	7,68	14,90	8,96	7,11	9,66	4,35	2,10	1,73	3,34	8,96	29,20	12,90
23	7,68	13,90	7,68	7,11	9,66	4,35	2,10	1,73	7,11	7,68	32,40	12,00
24	7,68	12,90	7,11	6,57	8,96	3,99	2,10	1,73	8,96	7,11	30,80	12,00
25	9,66	12,00	7,11	6,57	8,96	3,99	2,10	1,73	8,30	7,11	29,20	13,90
26	32,40	11,20	7,11	6,57	8,30	3,99	2,10	1,73	7,11	6,57	27,70	15,90
27	35,80	9,66	8,30	7,11	8,30	3,99	2,10	1,73	7,68	6,06	29,20	14,90
28	27,70	8,96	12,90	7,11	8,30	3,99	2,10	1,73	6,57	5,59	26,30	12,90
29	23,50	8,30	12,90	6,57	8,30	3,99	1,91	1,73	5,59	5,14	24,90	12,90
30	20,80	/	12,00	6,57	8,30	3,99	1,91	1,56	4,73	5,14	24,90	12,00
31	18,20	/	12,00	/	7,68	/	1,91	1,56	/	4,73	/	10,40
dat Q _{min}	24.	12.	9.	30.	1.	28.	7.	6.	4.	14.	14.	9.
Q _{min}	7,11	7,68	5,59	6,06	6,06	3,65	1,91	1,41	1,41	2,79	3,34	8,96
Q _{sr}	19,40	10,80	7,88	11,80	10,00	5,02	2,54	1,85	3,47	6,76	12,90	13,30
Q _{max}	54,50	17,10	12,90	30,80	15,90	7,68	3,99	3,65	9,66	23,50	34,10	24,90
dat Q _{max}	1.	1.	28.	4.	12.	1.	1.	6.	24.	16.	22.	1.
σ ₂	94,33	5,74	5,09	40,69	8,38	1,02	0,28	0,03	5,30	16,28	135,23	9,19
σ	9,71	2,40	2,26	6,38	2,89	1,01	0,53	0,18	2,30	4,04	11,63	3,03

Tablica 8.3. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 1997. godinu

1997. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	9,66	6,06	7,11	4,35	8,96	5,59	2,31	1,56	1,56	1,91	1,56	12,90
2	12,00	6,06	6,57	4,35	8,30	5,14	1,73	1,73	1,27	1,56	1,56	15,90
3	19,50	6,06	6,57	4,35	9,66	5,14	1,73	1,73	1,56	1,41	1,56	18,20
4	23,10	6,06	6,57	3,99	9,66	5,14	2,54	1,56	1,56	1,56	1,41	22,20
5	23,10	5,59	6,57	4,35	8,30	4,73	2,54	1,56	1,56	1,56	1,56	19,50
6	21,90	5,59	6,06	4,35	7,68	5,14	2,54	1,56	1,56	1,41	1,27	15,90
7	20,80	5,59	6,06	4,35	7,68	5,14	2,31	1,73	1,56	1,41	2,10	14,90
8	18,20	5,14	6,06	3,99	7,68	5,14	2,31	1,91	1,73	1,73	11,20	12,90
9	17,10	5,14	5,59	3,99	7,68	5,14	2,54	1,91	1,56	1,56	14,90	12,00
10	15,90	5,14	5,59	3,99	8,30	5,14	2,31	1,73	1,56	1,41	12,90	9,66
11	20,80	5,14	5,59	3,99	8,30	4,73	2,31	1,41	1,91	1,56	11,20	8,30
12	23,10	5,14	5,59	3,99	7,68	4,35	2,31	1,73	2,10	1,56	9,66	8,30
13	21,90	5,14	5,14	3,99	7,68	4,35	2,31	1,73	1,91	1,91	15,90	8,30
14	18,20	5,14	5,14	3,99	7,68	4,35	2,54	1,41	2,31	1,73	39,80	7,68
15	14,90	4,73	5,14	3,99	6,57	3,65	1,91	1,27	2,10	1,91	32,60	7,11
16	13,90	5,59	5,14	3,99	7,11	3,99	1,73	1,73	2,10	1,73	25,50	7,11
17	12,90	7,68	5,14	3,99	6,57	3,65	1,73	1,73	2,10	1,73	20,80	7,11
18	12,00	7,11	5,14	3,65	6,57	3,65	1,73	1,73	2,10	1,73	17,10	6,57
19	11,20	7,11	5,14	3,65	6,06	3,65	1,56	1,73	2,10	1,73	15,90	6,57
20	10,40	6,57	5,14	3,65	6,57	3,34	1,73	1,73	2,31	1,91	14,90	15,90
21	8,96	6,57	5,14	3,65	6,06	3,06	1,73	1,73	2,31	1,73	12,90	18,20
22	8,96	6,06	4,73	7,68	6,06	2,79	1,73	1,73	2,10	1,73	11,20	19,50
23	8,30	6,06	4,73	11,20	6,06	2,79	1,73	1,73	2,10	1,56	9,66	18,20
24	7,68	6,06	4,73	10,40	6,06	2,79	1,73	1,91	2,10	1,56	9,66	15,90
25	7,68	6,06	4,73	9,66	5,59	2,79	1,73	1,56	2,10	1,73	8,96	13,90
26	7,68	6,06	4,35	10,40	5,59	2,79	1,73	1,56	1,91	1,56	8,96	12,90
27	7,11	6,06	4,35	9,66	5,59	2,79	1,73	1,56	1,91	1,56	8,96	15,90
28	7,11	6,06	4,35	8,96	5,59	2,54	1,73	1,56	2,10	1,56	8,30	20,80
29	6,57	/	4,35	8,30	5,14	2,54	1,73	1,56	1,91	1,56	7,68	18,20
30	6,57	/	4,35	8,96	5,14	1,41	1,56	1,56	1,91	1,41	7,68	17,10
31	6,57	/	4,35	/	5,14	/	1,56	1,73	/	1,41	/	15,90
dat Q _{min}	31.	14.	25.	15.	25.	30.	1.	14.	2.	3.	6.	19.
Q _{min}	6,06	4,73	4,35	3,65	5,14	0,82	1,14	1,27	0,40	1,27	1,02	6,06
Q _{sr}	13,70	5,88	5,33	5,66	6,99	3,92	1,98	1,65	1,90	1,62	11,60	13,70
Q _{max}	23,10	7,68	7,11	12,00	10,40	5,59	3,99	3,06	2,31	2,31	42,20	21,90
dat Q _{max}	3.	17.	1.	23.	3.	1.	1.	16.	12.	15.	15.	3.
σ ₂	35,15	0,48	0,62	6,81	1,72	1,23	0,13	0,02	0,08	0,03	82,23	22,99
σ	5,93	0,70	0,79	2,61	1,31	1,11	0,36	0,15	0,28	0,16	9,07	4,80

Tablica 8.4. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 1998. godinu

1998. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	12,00	4,56	3,19	2,14	6,54	3,81	1,87	1,05	1,36	7,16	5,98	8,47
2	7,81	4,56	3,19	2,00	6,54	3,48	1,87	1,05	1,32	6,54	4,99	13,40
3	7,16	4,56	2,93	1,87	5,98	3,48	1,77	1,13	1,36	7,81	4,99	12,70
4	6,54	4,56	2,93	2,00	5,46	3,19	1,68	1,32	1,32	7,16	4,56	17,30
5	5,98	4,16	2,69	2,00	7,81	2,93	1,77	1,32	1,36	5,98	4,56	24,80
6	4,99	4,16	2,69	1,87	7,81	2,69	1,68	1,24	2,00	5,46	3,81	24,80
7	4,99	4,16	2,69	1,87	7,16	2,93	1,60	1,09	1,60	5,46	3,81	21,40
8	4,16	3,81	2,69	1,87	6,54	2,69	1,87	1,05	1,53	9,14	4,56	18,90
9	4,16	3,81	2,49	2,00	5,98	2,69	2,14	1,09	1,53	9,14	6,54	16,50
10	4,16	3,81	2,49	1,87	5,46	2,69	2,00	1,05	1,48	7,81	6,54	14,90
11	4,16	3,81	2,30	1,87	4,99	2,69	2,00	1,24	1,48	7,81	6,54	14,20
12	4,16	3,81	2,30	1,87	4,56	2,69	2,00	1,32	1,48	6,54	5,98	12,00
13	4,16	3,48	2,30	1,87	4,56	2,69	1,60	1,44	4,56	5,98	5,98	10,50
14	3,81	3,48	2,30	2,93	4,16	2,69	1,44	1,60	9,83	5,46	5,98	9,14
15	3,81	3,48	2,14	5,46	3,81	2,69	1,68	1,68	9,83	4,99	5,46	8,47
16	3,81	3,48	2,14	5,98	3,81	2,69	1,68	1,68	7,16	4,56	5,98	7,16
17	4,56	3,48	2,30	10,50	3,81	2,93	1,36	1,60	5,46	3,81	9,14	6,54
18	5,46	3,81	2,14	13,40	3,48	4,16	1,32	1,60	4,56	3,81	9,83	5,98
19	5,46	3,48	2,14	13,40	3,19	4,16	1,21	1,60	3,19	3,48	9,14	5,98
20	12,00	3,48	2,14	12,70	3,19	3,81	1,24	1,60	2,93	3,19	8,47	5,46
21	17,30	3,48	2,14	12,70	2,93	3,48	1,44	1,68	2,69	3,81	6,54	6,54
22	14,90	3,19	2,00	11,20	2,69	3,19	1,53	1,68	2,49	5,98	5,98	11,20
23	12,70	3,19	2,00	9,83	2,69	3,19	1,40	1,53	2,30	5,98	5,46	11,20
24	11,20	3,19	2,00	9,14	2,69	3,19	1,24	1,44	2,30	5,46	4,99	10,50
25	9,83	3,19	2,00	7,81	2,93	2,93	1,24	1,48	2,49	4,99	4,99	9,83
26	8,47	3,19	2,00	6,54	4,56	2,93	1,13	1,44	2,14	5,46	6,54	8,47
27	6,54	3,19	2,00	5,98	5,98	2,69	1,13	1,44	2,49	8,47	11,20	8,47
28	4,56	3,19	2,00	5,46	4,99	2,69	1,24	1,44	9,83	9,14	11,20	7,16
29	4,16	/	2,00	5,46	4,56	2,49	1,40	1,48	9,83	7,81	9,83	6,54
30	4,56	/	2,00	5,98	4,56	1,87	1,40	1,48	8,47	7,16	9,14	5,98
31	4,56	/	2,00	/	4,16	/	1,40	1,48	/	6,54	/	4,99
dat Q _{min}	16.	16.	27.	7.	22.	30.	23.	5.	1.	19.	6.	21.
Q _{min}	3,48	3,19	1,77	1,77	2,69	1,21	0,74	0,66	1,28	3,19	3,81	4,99
Q _{sr}	6,84	3,71	2,33	5,66	4,76	3,02	1,56	1,40	3,68	6,20	6,63	11,30
Q _{max}	19,70	4,56	3,19	14,20	7,81	4,56	2,69	2,49	11,20	9,14	12,00	27,50
dat Q _{max}	20.	1.	1.	18.	5.	18.	8.	13.	14.	8.	27.	5.
σ ₂	13,46	0,22	0,14	17,13	2,31	0,26	0,08	0,05	9,02	2,89	4,46	30,56
σ	3,67	0,47	0,37	4,14	1,52	0,51	0,29	0,22	3,00	1,70	2,11	5,53

Tablica 8.5. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 1999. godinu

1999. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	6,72	6,26	7,81	6,72	7,81	5,83	2,98	1,44	1,36	1,21	1,56	11,80
2	6,72	6,26	8,45	6,72	7,81	5,42	2,35	1,40	1,36	1,21	1,56	10,40
3	11,10	6,26	8,45	6,26	7,19	4,69	2,35	1,44	1,28	1,17	1,44	10,40
4	14,00	5,83	9,77	6,26	7,19	4,69	2,54	1,44	1,28	1,21	1,40	9,10
5	13,30	5,83	14,00	5,83	6,72	4,69	2,54	1,44	1,28	1,32	1,40	7,81
6	12,50	5,83	16,20	5,04	6,72	4,35	2,35	1,40	1,28	1,24	1,40	8,45
7	11,10	5,42	17,00	5,42	6,26	4,35	2,00	1,36	1,28	1,28	1,70	9,10
8	11,10	5,42	16,20	5,42	6,26	4,35	2,35	1,36	1,24	1,32	2,35	8,45
9	9,77	5,42	15,50	5,42	6,26	3,75	2,54	1,32	1,24	1,24	2,54	7,81
10	9,10	21,00	14,70	6,26	5,83	4,04	2,98	1,32	1,36	1,24	2,98	7,81
11	10,40	21,80	13,30	6,72	5,42	3,47	3,21	1,32	1,32	1,24	2,75	10,40
12	16,20	18,60	12,50	6,72	5,42	3,47	2,75	1,32	1,36	1,28	2,54	15,50
13	17,00	17,00	11,80	7,21	5,04	3,47	2,54	1,40	1,24	1,36	2,17	16,20
14	18,60	14,70	11,10	8,45	4,69	3,21	2,35	1,70	1,21	1,36	2,17	15,50
15	18,60	13,30	9,77	9,10	4,69	2,98	2,54	1,70	1,21	1,32	2,00	14,70
16	17,00	11,80	9,10	9,10	5,04	3,21	2,35	1,56	1,21	1,32	2,35	19,30
17	15,50	11,10	8,45	13,30	5,04	3,21	2,17	1,56	1,17	1,32	7,21	40,60
18	14,00	9,77	7,81	16,20	4,69	3,47	2,17	1,36	1,17	1,32	12,50	35,80
19	13,30	9,10	7,81	17,00	4,35	3,47	2,00	1,36	1,17	1,36	18,60	28,60
20	11,80	7,81	7,19	15,50	4,35	3,21	1,84	1,36	1,13	1,40	22,60	26,80
21	10,40	7,81	6,72	14,70	7,21	2,98	1,44	1,36	1,21	1,36	18,60	30,40
22	9,10	9,77	6,26	13,30	9,10	3,75	1,70	1,36	1,24	1,32	27,70	27,70
23	8,45	11,10	6,26	12,50	12,50	4,04	1,84	1,32	1,21	1,40	26,00	25,10
24	7,81	10,40	6,26	12,50	11,10	3,47	1,84	1,32	1,21	2,35	21,80	23,40
25	7,81	10,40	6,26	12,50	10,40	3,47	1,84	1,32	1,21	2,75	18,60	22,60
26	7,19	9,10	5,83	11,10	9,77	3,47	1,84	1,28	1,21	2,35	17,00	21,80
27	6,72	7,81	6,26	10,40	8,45	3,21	1,70	1,28	1,21	2,17	16,20	21,00
28	7,21	7,81	7,21	9,77	7,81	2,98	1,70	1,24	1,21	2,00	14,00	20,20
29	7,21	/	7,21	9,10	6,72	2,98	1,70	1,24	1,21	2,00	12,50	26,00
30	6,72	/	7,21	9,10	6,72	3,21	1,70	1,24	1,21	2,00	11,80	24,30
31	6,26	/	6,72	/	6,26	/	1,56	1,24	/	1,84	/	22,60
dat Q _{min}	30.	8.	26.	6.	19.	14.	7.	13.	19.	2.	3.	5.
Q _{min}	6,26	4,69	5,83	5,04	4,35	2,35	0,89	0,97	1,09	1,17	1,40	6,72
Q _{sr}	11,10	10,10	9,65	9,46	6,87	3,76	2,19	1,38	1,24	1,53	9,25	18,70
Q _{max}	19,30	26,00	17,00	17,80	12,50	6,26	4,04	1,84	1,44	2,98	29,50	43,50
dat Q _{max}	14.	10.	6.	18.	23.	1.	12.	14.	1.	24.	22.	17.
σ ₂	14,72	22,22	12,49	12,97	4,16	0,54	0,21	0,01	0,00	0,18	76,64	79,88
σ	3,84	4,71	3,53	3,60	2,04	0,74	0,46	0,12	0,06	0,42	8,75	8,94

Tablica 8.6. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2000. godinu

2000. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	20,30	4,01	3,68	4,76	3,13	2,20	1,68	1,50	1,73	1,64	1,80	23,40
2	18,10	4,01	5,22	4,76	3,39	2,07	1,73	1,50	1,68	1,97	1,80	21,30
3	17,10	4,01	6,80	4,76	3,13	2,07	1,64	1,59	1,68	3,39	1,73	19,20
4	15,10	4,76	6,80	4,76	3,13	2,07	1,54	1,54	1,68	4,01	1,80	18,10
5	14,20	4,76	6,25	10,10	3,13	2,07	1,45	1,54	1,64	3,39	2,07	16,10
6	13,30	4,36	5,72	13,30	3,13	2,07	1,64	1,54	1,64	3,68	2,20	15,10
7	11,60	4,01	5,22	11,60	2,89	2,20	1,73	1,68	1,64	3,13	3,39	13,30
8	10,80	4,36	5,22	10,80	2,89	2,20	1,80	1,73	1,64	2,89	12,40	11,60
9	9,34	5,22	4,76	10,10	2,69	2,34	1,64	1,73	1,64	2,89	12,40	10,80
10	8,66	8,66	4,76	9,34	2,69	2,20	1,59	1,73	1,64	3,13	13,30	10,10
11	8,66	13,30	4,36	8,66	2,69	2,20	1,59	1,73	1,59	2,89	12,40	9,34
12	8,01	12,40	4,36	7,39	2,69	2,20	1,54	1,73	1,59	2,69	10,80	8,66
13	7,39	11,60	4,01	6,80	2,69	2,20	1,54	1,73	1,64	2,50	8,66	8,66
14	6,80	10,80	4,01	6,25	2,69	2,20	1,59	1,73	1,64	2,50	7,39	8,01
15	5,72	10,10	4,01	5,72	2,69	2,34	1,59	1,73	1,64	2,50	6,25	8,01
16	5,22	8,66	3,68	5,72	2,69	2,20	1,64	1,73	1,59	2,34	5,22	7,39
17	5,22	8,01	3,68	5,22	2,69	2,07	1,64	1,73	1,59	2,20	4,36	7,39
18	5,22	6,80	3,39	4,76	2,69	1,97	1,64	1,80	1,64	2,20	24,40	6,80
19	5,22	6,25	3,39	4,76	2,69	1,97	1,64	1,80	1,64	2,07	20,30	6,80
20	5,22	5,72	3,39	4,36	2,69	1,80	1,64	1,88	1,59	2,07	20,30	6,80
21	5,22	5,22	3,13	4,01	2,50	1,80	1,64	1,80	1,59	2,07	19,20	6,80
22	5,22	4,76	3,13	3,68	2,50	1,68	1,64	1,80	1,59	1,97	21,30	6,25
23	5,22	4,76	3,13	3,68	2,50	1,64	1,64	1,80	1,54	1,97	19,20	6,25
24	5,72	4,36	2,89	3,68	2,50	1,64	1,64	1,73	1,59	1,88	17,10	6,25
25	5,22	4,36	2,89	3,68	2,50	1,59	1,64	1,73	1,54	1,88	25,40	6,25
26	5,22	4,01	2,89	3,68	2,50	1,64	1,59	1,73	1,50	1,88	39,90	8,01
27	4,76	4,01	3,39	3,39	2,34	1,59	1,59	1,73	1,50	1,80	32,70	17,10
28	4,76	3,68	4,01	3,39	2,34	1,59	1,54	1,73	1,50	1,88	29,60	26,50
29	4,36	3,68	3,68	3,39	2,20	1,80	1,45	1,73	1,45	1,80	27,50	28,50
30	4,36	/	4,36	3,13	2,20	1,80	1,54	1,80	1,50	1,80	24,40	29,60
31	4,01	/	4,76	/	2,20	/	1,50	1,73	/	1,80	/	28,50
dat Q _{min}	31.	26.	26.	27.	25.	20.	4.	1.	28.	1.	2.	25.
Q _{min}	4,01	3,68	2,69	3,13	1,97	1,35	1,07	1,45	1,35	1,54	1,68	5,72
Q _{sr}	8,23	6,23	4,23	5,98	2,69	1,98	1,61	1,71	1,60	2,41	14,30	13,10
Q _{max}	21,30	14,20	7,39	13,30	3,39	3,39	1,88	2,20	1,97	4,76	43,00	30,60
dat Q _{max}	1.	11.	3.	5.	1.	9.	7.	7.	1.	3.	26.	30.
σ_2	20,92	8,41	1,22	8,08	0,09	0,06	0,01	0,01	0,00	0,40	113,72	58,34
σ	4,57	2,90	1,10	2,84	0,30	0,25	0,08	0,10	0,07	0,64	10,66	7,64

Tablica 8.7. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2001. godinu

2001. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	24,60	23,50	6,87	10,10	8,05	3,25	1,98	1,56	1,29	1,52	1,17	8,07
2	21,80	20,90	8,20	10,10	7,70	3,16	1,96	1,41	1,27	1,51	1,16	6,83
3	20,00	18,10	15,20	9,73	7,46	3,07	1,94	1,56	1,22	1,48	1,14	5,58
4	18,60	16,40	17,70	9,34	7,11	3,22	1,93	1,73	1,22	1,48	1,19	5,07
5	17,00	15,10	17,80	8,94	6,93	3,10	1,90	1,73	1,35	1,51	1,19	4,43
6	15,90	13,60	17,40	9,82	6,56	3,08	1,89	1,56	1,37	1,36	1,17	4,03
7	14,30	12,60	16,20	10,10	6,81	3,01	1,88	1,41	1,32	1,32	1,16	3,79
8	13,70	11,40	16,00	12,80	6,95	2,93	1,88	1,56	1,34	1,24	1,19	3,36
9	17,00	10,40	15,00	20,30	6,60	2,82	1,88	1,30	1,39	1,32	1,16	3,26
10	19,60	9,76	14,20	17,00	6,28	2,77	1,88	1,13	1,30	1,41	1,12	3,06
11	18,80	9,31	12,90	14,80	6,12	2,72	1,87	1,03	1,37	1,41	2,28	2,84
12	17,30	9,11	12,30	13,40	5,84	2,67	1,87	1,11	1,42	1,41	2,54	2,79
13	15,80	8,66	11,60	11,90	5,47	2,64	1,87	1,15	1,37	1,41	7,46	2,75
14	14,80	8,17	11,60	11,70	5,44	2,68	1,84	1,37	1,40	1,40	16,30	2,56
15	14,20	8,01	10,90	10,30	5,13	2,51	1,84	1,27	1,22	1,27	11,50	2,54
16	13,40	7,47	10,50	9,50	5,04	2,33	1,89	1,29	1,29	1,24	9,58	2,47
17	12,50	7,39	10,10	10,20	4,74	2,34	1,87	1,19	1,43	1,21	7,51	2,29
18	11,40	6,93	9,67	13,10	4,77	2,20	1,84	1,14	1,51	1,30	5,63	2,29
19	10,30	6,73	9,91	13,40	4,60	2,19	1,81	1,14	1,76	1,34	4,44	2,21
20	9,82	6,25	9,17	13,00	4,59	2,27	1,56	1,24	1,82	1,27	4,93	2,10
21	9,34	6,25	8,66	14,50	4,42	2,24	1,41	1,27	1,64	1,38	5,07	2,10
22	9,34	6,25	8,66	15,10	4,40	2,24	1,41	1,34	1,72	1,30	4,72	2,09
23	9,31	6,14	8,28	14,70	4,34	2,18	1,41	1,31	1,62	1,33	4,31	2,05
24	9,00	5,29	7,98	13,80	4,15	2,20	1,56	1,22	1,59	1,27	4,14	2,00
25	9,20	5,22	7,96	12,50	4,11	2,15	1,56	1,18	1,68	1,26	3,68	1,91
26	8,94	5,05	7,72	11,60	3,98	2,06	1,41	1,13	1,59	1,26	3,52	1,91
27	12,90	4,76	7,39	10,60	3,73	1,93	1,41	1,14	1,57	1,27	3,18	1,91
28	14,90	4,71	7,39	9,70	3,61	1,95	1,41	1,18	1,56	1,27	4,16	1,91
29	16,90	/	7,39	9,14	3,53	2,00	1,56	1,14	1,53	1,24	9,06	1,91
30	26,10	/	7,54	8,58	3,38	1,98	1,56	1,13	1,56	1,27	8,83	1,96
31	27,50	/	9,79	/	3,33	/	1,41	1,20	/	1,27	/	2,69
dat Q _{min}	23.	28.	1.	30.	31.	26.	21.	9.	1.	8.	3.	30.
Q _{min}	8,66	4,32	5,22	8,05	3,21	1,83	1,41	0,819	1,14	1,14	1,02	1,73
Q _{sr}	15,3	9,77	11	12	5,33	2,53	1,73	1,29	1,46	1,34	4,48	3,06
Q _{max}	28,5	25,4	19,2	21,3	8,05	3,36	2	1,91	1,91	1,56	19,2	8,66
dat Q _{max}	31.	1.	3.	9.	1.	1.	1.	9.	19.	1.	13.	1.
σ_2	26,26	25,18	12,21	7,31	1,96	0,18	0,05	0,04	0,03	0,01	13,69	2,30
σ	5,12	5,02	3,49	2,70	1,40	0,43	0,21	0,19	0,17	0,09	3,70	1,52

Tablica 8.8. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2002. godinu

2002. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2,70	7,85	7,15	2,14	5,55	6,47	1,81	1,67	3,79	7,88	4,93	11,80
2	2,53	7,85	6,42	2,24	5,23	5,48	1,67	1,67	3,53	6,74	4,67	11,50
3	2,46	7,85	6,03	2,20	4,91	4,98	1,66	1,67	3,47	5,60	4,38	11,90
4	2,44	7,62	5,65	2,19	4,54	4,56	1,67	1,67	3,24	5,09	4,43	14,20
5	2,38	6,64	5,41	2,24	4,28	4,15	1,67	1,67	3,24	4,34	5,05	14,40
6	2,32	6,45	4,89	2,24	4,32	3,87	1,73	1,67	3,26	3,89	5,46	15,00
7	2,26	6,30	4,38	2,22	4,38	3,79	1,70	1,66	3,55	3,86	5,46	14,20
8	2,20	8,39	4,38	2,05	4,30	3,56	1,73	1,70	3,74	3,41	5,30	12,80
9	2,03	9,16	3,87	2,03	4,00	3,55	1,68	1,70	3,41	3,18	5,21	11,50
10	2,03	9,13	3,86	2,33	3,87	3,53	1,67	1,82	2,94	4,64	4,91	10,20
11	2,03	8,39	3,48	3,59	3,87	3,24	1,64	10,40	2,30	24,40	4,43	8,88
12	1,99	7,75	3,44	4,47	3,87	3,24	1,85	13,00	2,28	32,40	4,27	8,15
13	2,03	6,87	3,24	5,14	3,87	3,24	1,81	10,80	2,46	24,50	4,02	7,43
14	1,91	6,25	3,24	6,28	3,67	2,96	1,71	7,99	2,46	21,20	3,87	6,92
15	1,92	5,53	3,23	6,95	3,57	2,96	1,46	6,85	2,46	18,70	3,87	6,49
16	2,49	5,46	2,96	6,32	3,36	2,90	1,90	5,44	2,34	16,50	3,83	6,03
17	2,64	5,18	2,96	6,03	3,22	2,70	2,03	4,38	2,24	14,90	3,67	6,08
18	2,68	5,46	2,96	5,91	3,36	2,31	1,85	3,84	2,24	13,70	3,64	6,42
19	2,46	6,96	2,96	6,03	3,22	2,04	1,84	3,48	2,30	12,60	3,66	6,54
20	2,46	8,83	2,78	6,03	3,24	1,87	1,84	3,09	2,05	10,90	4,81	6,69
21	2,42	9,16	2,77	6,03	3,07	1,84	1,84	2,96	2,03	9,47	5,46	6,64
22	2,36	10,50	2,70	5,55	3,04	1,84	1,84	2,96	3,91	8,63	5,70	6,62
23	2,32	11,70	2,68	5,18	3,11	1,76	1,84	2,72	10,10	7,96	9,52	6,20
24	2,67	10,80	2,67	4,91	3,24	1,45	1,84	2,67	13,10	7,33	11,20	6,03
25	11,80	9,75	2,63	4,62	3,03	1,57	1,84	2,51	14,50	7,59	10,60	5,51
26	12,80	8,91	2,48	4,23	2,96	1,72	1,84	2,38	14,90	7,22	10,00	5,46
27	11,40	8,31	2,46	3,87	2,96	1,84	1,84	2,27	14,50	7,20	8,72	5,05
28	9,52	7,75	2,46	4,64	5,08	1,90	1,84	2,28	13,50	6,52	7,77	4,91
29	8,55	/	2,30	6,13	9,85	1,87	1,73	2,90	11,50	6,05	7,22	7,07
30	8,04	/	2,24	6,30	9,27	1,84	1,67	4,41	9,58	5,93	8,93	10,30
31	7,85	/	2,24	/	7,67	/	1,67	4,34	/	5,46	/	10,30
dat Q _{min}	10.	17.	26.	1.	17.	23.	15.	7.	11.	9.	16.	27.
Q _{min}	1,84	4,91	2,24	2,03	2,96	1,22	0,79	1,51	2,03	2,96	3,55	4,91
Q _{sr}	4,06	7,89	3,58	4,34	4,32	2,97	1,77	3,83	5,50	10,30	5,83	8,75
Q _{max}	13,50	12,00	7,22	7,85	10,50	7,22	2,24	17,50	15,80	39,10	11,20	15,00
dat Q _{max}	25.	22.	1.	15.	29.	1.	11.	11.	26.	11.	23.	5.
σ ₂	11,48	2,82	1,77	2,96	2,94	1,61	0,01	8,86	20,90	53,00	5,16	10,11
σ	3,39	1,68	1,33	1,72	1,71	1,27	0,11	2,98	4,57	7,28	2,27	3,18

Tablica 8.9. Podaci o dnevnim protocima izmjeranima na izvoru Opačac za 2003. godinu

2003. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	16,50	9,83	4,91	3,84	3,47	2,41	1,83	1,38	1,06	1,09	11,50	16,90
2	19,00	9,67	4,91	3,87	3,27	1,89	1,84	1,41	1,13	1,06	15,90	15,40
3	18,20	9,16	4,91	3,83	3,01	2,54	1,74	1,45	1,03	1,08	18,50	13,60
4	16,60	9,47	5,46	3,57	3,20	2,49	1,72	1,36	0,93	1,03	16,40	11,90
5	15,40	14,20	5,37	3,42	2,97	2,46	1,68	1,36	0,99	1,09	14,20	10,60
6	15,00	15,30	5,89	3,24	3,04	2,08	1,66	1,36	1,01	1,93	12,50	9,33
7	21,20	13,90	6,10	3,42	2,91	1,49	1,20	1,31	0,88	2,02	10,80	8,28
8	25,60	12,80	6,10	3,55	2,96	1,67	1,55	1,28	0,96	1,98	9,19	7,38
9	27,60	11,70	6,03	3,55	2,81	1,98	1,78	1,34	1,02	2,40	7,75	6,82
10	32,50	10,70	6,03	3,52	2,81	2,18	1,73	1,24	1,12	2,01	6,64	6,18
11	28,50	10,00	6,03	3,55	2,80	2,06	1,72	1,29	1,03	1,73	6,03	5,55
12	25,70	9,24	6,03	3,83	2,71	2,03	1,67	1,22	1,04	1,64	5,18	4,96
13	23,00	8,83	6,03	3,87	2,70	1,84	1,60	1,20	1,00	1,51	4,54	4,91
14	21,00	8,49	6,03	3,71	2,70	1,78	0,94	1,19	1,03	1,48	4,06	4,91
15	19,00	7,85	6,03	3,55	2,70	1,75	1,07	1,18	0,98	1,43	3,66	4,40
16	17,50	7,82	5,53	3,69	2,75	1,87	1,11	1,22	0,96	1,35	3,27	4,38
17	15,90	7,49	5,28	3,55	2,72	1,80	1,15	1,19	0,95	1,33	3,09	4,38
18	14,30	7,22	4,70	3,55	2,70	1,73	1,67	1,12	0,93	1,34	2,96	4,02
19	13,40	6,62	4,46	3,43	2,70	1,84	1,85	0,97	0,94	1,33	2,96	3,59
20	12,20	6,62	4,91	3,22	2,56	1,66	1,61	1,20	0,91	1,08	2,96	3,60
21	10,90	6,62	4,73	2,76	2,68	1,57	1,25	1,16	0,92	1,35	2,74	3,55
22	11,10	6,13	4,38	3,34	2,52	1,74	1,13	1,01	0,86	5,48	2,70	3,67
23	13,00	6,03	4,19	3,55	2,61	1,60	1,43	0,95	0,86	22,20	2,70	4,83
24	13,00	5,77	3,98	3,53	2,46	1,45	1,62	0,83	0,86	21,70	2,54	5,41
25	12,70	5,53	4,04	3,55	2,50	1,22	1,51	1,08	0,83	18,20	2,60	4,93
26	12,00	5,46	4,27	3,55	2,53	1,50	1,51	1,26	0,84	15,50	7,66	4,91
27	11,40	5,39	3,87	3,61	2,46	1,74	1,52	1,23	0,89	13,70	16,10	4,91
28	10,90	5,00	3,87	3,67	2,46	1,84	1,37	1,24	0,87	13,20	18,40	4,51
29	10,50	/	3,87	3,60	2,46	1,88	1,42	1,21	1,02	11,90	19,20	4,34
30	9,86	/	3,87	3,57	2,46	1,86	0,70	1,21	1,38	10,80	18,70	10,30
31	9,83	/	3,88	/	2,46	/	1,20	1,13	/	11,00	/	18,20
dat Q _{min}	30.	27.	18.	21.	7.	2.	31.	24.	25.	1.	24.	19.
Q _{min}	9,83	4,91	3,55	2,24	2,46	0,43	0,29	0,38	0,63	0,99	2,46	3,55
Q _{sr}	16,90	8,67	5,02	3,55	2,75	1,87	1,48	1,21	0,97	5,65	8,51	7,12
Q _{max}	33,70	15,80	6,62	3,87	3,55	3,55	2,46	1,51	1,67	24,70	20,10	19,20
dat Q _{max}	10.	6.	7.	1.	1.	2.	31.	1.	29.	23.	2.	31.
σ ₂	37,52	8,20	0,72	0,05	0,07	0,10	0,09	0,02	0,01	45,63	36,38	17,23
σ	6,13	2,86	0,85	0,22	0,26	0,32	0,29	0,14	0,11	6,75	6,03	4,15

Tablica 8.10. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2004. godinu

2004. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	18,50	6,03	18,10	14,50	8,83	6,10	3,83	2,05	2,24	2,19	2,27	17,10
2	17,00	6,03	16,30	13,50	8,49	6,03	3,83	2,30	2,24	2,19	2,24	30,10
3	15,00	5,60	14,70	12,30	8,49	6,03	3,55	2,24	2,13	2,20	2,03	22,90
4	13,60	5,74	13,70	11,20	8,28	6,03	3,42	2,22	1,88	2,22	1,78	19,10
5	12,00	6,03	12,60	10,50	8,49	6,54	3,34	2,01	1,71	2,14	1,77	17,70
6	10,60	6,03	11,50	10,00	8,49	7,54	3,55	1,85	1,96	2,13	1,81	16,70
7	9,33	6,03	10,40	9,38	10,00	7,46	3,55	1,93	2,08	2,10	1,81	16,90
8	8,04	6,03	18,60	8,44	11,80	7,36	3,42	2,03	2,14	2,03	1,84	16,50
9	7,22	6,59	21,30	8,09	12,40	7,22	3,16	2,02	2,23	2,11	1,84	15,30
10	6,60	6,13	18,50	9,99	12,60	7,22	2,74	2,03	2,18	2,03	1,81	13,90
11	6,03	6,03	15,80	13,60	11,80	7,22	2,70	1,99	2,14	2,21	2,51	12,40
12	5,58	6,03	14,50	16,20	11,20	7,22	3,05	2,13	2,22	2,05	3,72	10,80
13	5,46	5,58	14,20	20,00	10,90	6,67	3,24	2,14	2,24	2,03	7,75	9,52
14	5,46	5,46	14,10	21,00	10,20	6,72	3,42	2,21	2,20	2,18	13,70	8,85
15	7,11	5,16	13,20	19,80	9,52	6,62	3,31	2,07	2,20	2,60	13,70	8,01
16	9,16	4,54	12,70	18,20	8,94	6,62	3,24	2,09	2,13	3,62	11,40	7,33
17	9,16	4,30	12,70	17,00	8,49	6,45	2,96	2,14	2,11	8,98	10,20	7,95
18	11,30	3,87	12,70	16,70	8,49	6,03	2,92	2,04	2,10	12,10	9,18	17,90
19	12,90	3,87	12,60	16,70	8,09	6,03	2,91	2,03	2,03	10,20	8,72	18,10
20	14,00	4,10	12,00	15,90	7,85	5,61	2,96	2,12	2,03	7,94	8,83	16,30
21	15,00	4,38	11,70	15,20	7,80	4,91	2,88	2,02	2,09	6,67	8,88	15,00
22	14,60	6,69	10,80	15,00	7,54	4,91	2,62	1,67	2,19	5,51	7,98	13,90
23	13,50	13,30	12,70	14,20	6,39	4,73	2,13	1,86	2,24	4,45	7,25	12,50
24	12,80	15,80	23,60	12,80	7,49	4,56	2,03	2,04	2,24	3,91	6,42	11,70
25	11,60	17,00	22,20	12,40	7,22	4,14	2,29	2,17	2,24	3,59	5,63	10,40
26	10,50	16,10	20,50	11,70	7,22	3,57	2,54	2,31	2,24	3,55	5,46	17,50
27	9,35	16,50	19,60	10,90	6,72	3,64	2,66	2,41	2,24	3,55	4,87	36,60
28	8,47	17,80	18,40	9,98	6,62	3,79	2,70	2,46	2,24	3,05	4,38	28,60
29	7,82	18,80	17,30	9,18	6,62	3,87	2,58	2,32	2,24	2,36	4,40	27,20
30	7,12	/	16,40	9,16	6,35	3,82	2,45	2,24	2,17	2,37	4,91	24,00
31	6,49	/	15,60	/	6,03	/	2,24	2,24	/	2,29	/	21,50
dat Q _{min}	12.	17.	7.	8.	23.	25.	23.	23.	4.	1.	4.	1.
Q _{min}	5,46	3,87	9,83	7,85	2,46	3,55	2,03	1,51	1,67	2,03	1,67	4,91
Q _{sr}	10,40	8,12	15,40	13,40	8,69	5,82	2,97	2,11	2,14	3,76	5,64	16,90
Q _{max}	19,20	19,20	24,70	21,00	12,70	7,85	3,87	2,70	2,24	12,70	15,00	40,20
dat Q _{max}	1.	29.	24.	14.	9.	6.	1.	26.	1.	17.	14.	27.
σ ₂	13,09	24,20	12,57	13,32	3,47	1,69	0,24	0,03	0,02	7,10	13,66	48,73
σ	3,62	4,92	3,55	3,65	1,86	1,30	0,49	0,17	0,12	2,67	3,70	6,98

Tablica 8.11. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2005. godinu

2005. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	19,60	3,26	8,15	13,70	10,50	4,73	2,96	2,65	1,61	1,98	2,67	28,20
2	18,30	3,24	7,54	13,20	9,86	4,56	2,75	2,65	1,61	1,95	2,52	25,60
3	17,00	3,14	6,84	12,00	9,44	4,38	2,84	2,52	1,67	1,88	2,46	23,00
4	15,90	3,07	6,67	11,20	9,13	4,34	2,79	2,56	1,66	1,82	2,46	24,20
5	14,50	2,96	10,40	10,40	8,49	3,87	2,96	2,44	1,90	1,93	2,29	24,30
6	13,20	2,96	11,80	9,50	8,33	3,87	2,96	2,34	1,99	1,96	2,33	27,60
7	11,90	2,96	10,30	8,96	8,41	3,87	2,79	2,31	1,99	2,02	2,27	29,70
8	10,80	2,85	9,33	8,28	7,85	4,21	2,64	2,45	1,96	2,03	4,10	29,00
9	10,10	2,59	8,31	7,85	7,85	4,27	2,37	2,47	1,82	1,99	4,91	26,30
10	9,13	2,77	7,56	9,14	7,46	4,15	2,45	2,43	1,62	1,98	4,36	23,20
11	8,41	2,86	6,95	10,40	7,22	4,04	2,54	2,19	1,64	1,97	3,74	21,50
12	7,85	2,52	6,57	12,70	7,22	4,34	2,63	2,08	1,57	2,03	3,55	20,00
13	7,33	2,35	6,20	13,50	7,22	3,91	2,70	2,06	1,72	2,03	3,55	18,50
14	6,87	3,07	6,59	12,90	6,74	3,93	2,70	2,03	1,79	2,01	3,48	17,70
15	6,13	3,87	8,37	12,00	6,84	4,04	2,68	1,99	1,79	1,88	3,24	16,40
16	5,72	3,83	9,84	11,10	6,62	3,78	2,56	2,22	1,70	1,95	7,90	15,10
17	5,46	3,55	11,00	10,50	6,62	3,69	2,46	2,26	1,73	1,88	14,70	14,00
18	5,46	3,44	11,80	9,95	6,62	3,64	2,35	2,27	1,95	1,84	16,40	12,90
19	5,39	3,41	12,00	9,16	6,13	3,76	2,24	2,18	3,83	1,84	14,40	11,70
20	4,91	3,37	12,00	9,16	6,03	3,55	2,18	2,14	3,44	1,79	12,30	10,80
21	4,84	3,55	12,00	11,40	6,03	3,47	2,24	2,05	2,84	1,82	10,60	9,81
22	4,38	4,68	11,60	15,80	6,03	3,10	2,40	2,14	2,45	3,79	9,07	8,96
23	4,38	6,97	11,20	14,80	6,03	2,70	2,70	2,13	2,23	7,00	8,07	8,36
24	3,95	7,56	11,20	13,60	5,51	2,82	2,70	2,09	2,17	6,23	7,33	7,85
25	3,72	7,85	11,20	12,80	5,93	2,78	2,45	2,03	2,17	4,74	6,62	7,38
26	3,87	9,42	11,70	12,00	5,65	2,76	2,24	2,01	2,05	3,83	14,70	7,70
27	3,87	10,40	12,00	12,00	5,28	2,81	2,24	1,95	1,99	3,53	30,60	11,90
28	3,87	9,16	14,10	12,00	4,91	2,67	2,37	1,81	2,00	3,13	27,50	18,50
29	3,65	/	15,00	11,80	4,91	2,46	2,42	1,80	2,02	2,96	23,40	20,50
30	3,48	/	14,90	11,30	4,91	2,72	2,49	1,68	1,95	2,96	23,00	19,60
31	3,52	/	14,20	/	4,91	/	2,59	1,67	/	2,81	/	18,00
dat Q _{min}	30.	12.	12.	8.	27.	28.	20.	28.	1.	4.	7.	26.
Q _{min}	3,24	2,24	6,03	7,85	4,91	2,46	2,03	1,67	1,51	1,67	2,03	6,62
Q _{sr}	7,98	4,34	10,20	11,40	6,93	3,64	2,56	2,18	2,03	2,63	9,15	18,00
Q _{max}	20,10	10,50	15,00	15,80	10,50	4,91	3,24	2,70	3,87	7,22	34,70	30,60
dat Q _{max}	1.	26.	28.	22.	1.	1.	11.	1.	19.	23.	27.	6.
σ_2	23,45	5,55	6,83	3,75	2,31	0,43	0,05	0,07	0,27	1,70	65,51	49,40
σ	4,84	2,36	2,61	1,94	1,52	0,66	0,23	0,26	0,52	1,30	8,09	7,03

Tablica 8.12. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2006. godinu

2006. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	18,40	6,03	8,09	7,22	5,91	4,84	2,22	1,51	1,96	2,14	1,96	2,24
2	35,90	5,67	7,85	6,84	7,02	4,91	2,93	1,61	1,92	2,04	1,91	2,23
3	33,00	5,81	7,72	6,62	7,22	4,91	2,78	1,81	1,73	1,94	1,91	2,28
4	26,50	5,63	7,62	6,62	7,30	5,02	2,76	2,03	1,74	1,77	1,88	2,20
5	23,70	5,46	8,55	6,15	7,22	4,67	2,70	2,03	1,69	3,97	1,94	2,18
6	21,40	5,32	10,10	6,03	6,95	4,30	2,70	2,03	1,80	5,79	1,95	2,15
7	19,70	4,91	11,20	7,74	6,62	4,19	2,70	2,03	1,99	5,46	1,93	2,13
8	18,80	4,62	10,80	9,50	6,62	4,23	2,70	1,98	2,01	4,76	1,87	2,07
9	17,80	4,38	9,81	9,18	6,62	4,38	2,88	1,93	1,84	3,67	1,93	2,62
10	16,30	4,02	9,16	8,77	6,67	4,06	2,79	1,92	1,83	3,13	1,83	5,81
11	15,50	3,87	10,30	8,49	7,49	4,13	2,68	1,92	1,81	2,74	1,81	5,79
12	14,20	3,87	11,70	8,49	7,85	3,87	2,70	1,97	1,84	2,49	1,87	5,39
13	13,10	3,87	11,20	8,23	7,98	3,87	2,68	2,16	1,86	2,46	1,82	4,91
14	11,60	3,87	10,10	7,85	7,67	4,13	2,57	2,10	1,95	2,46	1,68	4,45
15	10,80	3,87	9,47	7,46	7,22	3,87	2,05	2,01	1,79	2,37	1,67	3,79
16	9,33	4,00	8,55	7,22	7,69	3,87	2,07	2,04	1,89	2,20	1,80	3,55
17	9,07	4,70	7,93	7,28	7,85	3,87	2,23	2,04	2,11	2,24	1,70	3,23
18	8,63	6,03	7,85	7,64	7,51	3,71	2,55	2,03	3,23	2,08	1,68	3,05
19	9,67	6,03	7,85	7,22	7,22	3,72	2,52	1,95	4,92	2,07	1,74	3,26
20	9,83	5,55	7,85	7,15	7,22	3,87	2,46	1,95	4,23	2,07	1,64	3,82
21	9,83	5,91	7,85	6,62	7,22	3,79	2,42	2,03	3,46	2,16	1,69	3,63
22	9,16	7,07	7,85	6,62	7,22	3,55	2,03	2,03	3,24	2,13	1,89	3,37
23	8,44	7,80	9,19	6,20	6,62	3,11	1,79	1,92	2,97	1,95	3,59	3,13
24	7,75	7,85	10,70	5,91	6,37	2,79	2,03	1,93	2,76	1,95	3,55	2,98
25	7,75	8,25	11,00	6,03	6,13	2,66	2,24	1,95	2,66	1,84	3,23	3,10
26	7,51	8,88	9,98	5,84	6,62	2,83	2,07	1,86	2,76	1,78	2,94	2,98
27	7,22	9,16	9,16	6,03	6,06	3,11	1,73	1,81	2,65	1,80	2,70	2,77
28	6,98	9,16	8,99	6,03	5,37	2,96	1,63	1,81	2,50	1,81	2,52	2,70
29	6,57	/	8,49	5,81	4,91	2,96	2,03	1,75	2,44	1,86	2,46	2,65
30	6,62	/	7,98	5,67	5,07	2,73	2,03	1,96	2,35	1,84	2,46	2,46
31	6,45	/	7,46	/	5,02	/	1,58	2,08	/	1,89	/	2,45
dat Q _{min}	28.	10.	3.	24.	28.	25.	28.	1.	3.	4.	18.	8.
Q _{min}	5,46	3,87	7,22	5,46	4,91	2,46	1,51	1,51	1,51	1,36	1,51	1,84
Q _{sr}	13,80	5,77	9,11	7,08	6,79	3,83	2,36	1,94	2,40	2,54	2,12	3,20
Q _{max}	39,10	9,16	12,00	9,83	8,49	5,46	2,96	2,46	5,46	6,03	3,87	6,62
dat Q _{max}	2.	26.	12.	8.	13.	4.	2.	13.	19.	6.	23.	10.
σ_2	60,77	2,92	1,68	1,15	0,72	0,48	0,15	0,02	0,62	1,15	0,31	1,15
σ	7,80	1,71	1,29	1,07	0,85	0,69	0,39	0,14	0,79	1,07	0,56	1,07

Tablica 8.13. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2007. godinu

2007. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2,54	5,92	12,20	15,40	4,91	4,55	2,94	2,21	1,78	1,57	2,56	3,67
2	2,30	5,15	11,30	13,80	4,93	4,47	3,00	2,21	2,11	1,62	2,58	3,51
3	4,73	5,40	10,00	12,50	4,93	4,16	2,86	2,15	2,08	1,58	2,22	3,35
4	5,32	5,01	9,40	10,90	4,75	4,30	2,73	2,05	2,07	1,40	2,07	5,18
5	4,85	4,93	8,21	10,30	4,93	4,05	3,00	1,99	2,15	1,44	1,80	6,55
6	4,40	4,53	7,62	9,26	8,37	4,05	2,81	1,97	2,20	1,45	1,48	6,48
7	3,85	4,47	7,24	9,00	10,70	5,40	2,71	1,98	2,07	1,49	1,32	5,47
8	3,70	5,10	13,40	9,00	9,43	8,61	2,68	1,76	2,11	1,19	1,32	4,91
9	3,38	5,42	15,80	8,82	8,87	7,09	2,44	1,58	2,04	1,23	1,23	7,91
10	3,32	6,27	14,90	8,60	8,31	6,48	2,38	2,00	1,98	1,48	1,41	11,30
11	3,32	12,40	13,90	8,39	7,57	5,21	2,16	2,18	2,06	1,46	1,69	13,40
12	3,00	14,30	12,90	7,79	6,33	4,93	1,99	2,06	2,03	1,42	1,71	11,90
13	2,71	17,30	12,50	7,24	5,81	4,56	1,98	1,97	1,98	1,41	1,62	9,93
14	2,58	19,00	10,90	7,09	5,40	4,47	1,98	1,87	1,73	1,32	1,57	8,47
15	2,44	15,90	9,40	6,55	4,81	4,19	1,97	1,81	1,52	1,15	3,10	7,12
16	2,56	14,30	8,87	6,55	4,47	3,70	1,86	1,75	1,75	1,34	3,67	5,67
17	2,44	12,20	8,29	6,55	4,40	4,05	1,97	1,66	1,77	1,47	3,47	5,05
18	2,44	10,40	7,76	6,48	4,12	3,92	1,96	1,62	1,76	1,44	2,89	4,62
19	2,69	9,40	7,72	6,14	4,33	3,67	2,02	1,71	1,81	1,52	2,48	4,24
20	2,57	9,00	8,27	5,96	4,47	3,73	2,12	1,65	1,71	1,50	2,31	3,69
21	2,57	9,00	10,70	5,96	4,38	3,38	2,08	1,78	1,41	1,48	2,23	3,57
22	2,53	8,82	14,60	5,96	4,05	3,32	2,05	1,74	1,36	1,57	2,27	3,02
23	2,64	8,04	16,70	5,60	4,05	3,13	2,20	1,74	1,40	1,54	3,19	2,41
24	3,57	7,76	15,60	5,87	4,05	3,00	2,06	1,78	1,53	1,43	4,90	2,87
25	7,02	7,20	15,50	5,49	3,97	2,90	2,43	1,60	1,65	1,37	5,34	3,00
26	9,00	7,49	19,10	5,42	3,39	2,86	2,53	1,41	1,74	1,46	4,77	3,00
27	8,50	11,50	19,70	4,99	3,39	2,78	2,56	1,69	1,70	1,70	4,40	3,00
28	7,76	12,30	19,70	4,93	3,74	3,13	2,46	1,79	1,71	1,73	4,05	2,92
29	7,64	/	19,70	4,93	3,67	3,00	2,44	1,82	1,63	1,58	4,02	2,71
30	7,14	/	19,50	4,93	4,11	3,00	2,44	1,83	1,66	1,57	3,66	2,71
31	6,48	/	18,50	/	4,47	/	2,40	1,97	/	2,08	/	2,40
dat Q _{min}	2.	6.	6.	27.	26.	27.	15.	25.	21.	8.	10.	31.
Q _{min}	1,78	4,47	7,20	4,93	3,32	2,44	1,78	1,15	1,29	0,82	1,03	1,78
Q _{sr}	4,19	9,23	12,90	7,68	5,33	4,20	2,36	1,85	1,82	1,48	2,71	5,29
Q _{max}	9,00	20,70	19,70	15,80	11,20	12,00	3,32	2,44	2,20	3,32	5,42	13,80
dat Q _{max}	26.	13.	26.	1.	6.	7.	1.	1.	2.	31.	24.	10.
σ ₂	4,34	17,26	17,87	7,26	3,71	1,75	0,12	0,04	0,06	0,03	1,42	8,99
σ	2,08	4,15	4,23	2,70	1,93	1,32	0,35	0,20	0,24	0,17	1,19	3,00

Tablica 8.14. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2008. godinu

2008. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2,89	5,33	3,92	15,00	9,66	4,52	3,60	2,25	2,06	1,93	2,72	22,90
2	2,99	5,12	3,93	13,40	9,03	4,52	3,35	2,03	2,07	1,90	2,68	22,30
3	2,98	4,94	3,84	12,00	8,42	4,35	3,23	1,98	2,03	1,92	2,69	21,30
4	2,82	4,87	3,93	11,10	8,12	4,62	3,24	1,90	1,90	3,20	2,61	20,30
5	2,90	5,32	3,84	10,80	7,79	4,55	3,08	1,84	1,90	4,30	2,56	20,70
6	4,44	7,65	4,85	10,50	7,79	4,52	3,13	1,85	1,83	3,37	4,78	29,80
7	6,88	7,72	9,73	9,60	7,25	4,52	2,88	1,81	1,90	2,81	6,96	32,30
8	7,16	7,31	14,40	8,87	6,92	4,52	2,31	1,90	1,78	2,70	19,00	28,60
9	6,66	6,70	13,70	9,26	6,23	4,73	2,73	1,86	1,78	2,44	16,50	25,20
10	6,27	6,29	12,60	10,30	6,58	4,89	2,71	1,83	1,81	2,21	13,20	22,90
11	5,99	6,13	13,00	11,20	6,43	4,32	2,94	2,03	1,86	2,16	10,30	27,10
12	5,74	5,67	14,80	11,30	6,21	4,29	2,98	2,14	1,80	2,19	7,71	28,70
13	13,00	5,34	14,50	12,00	6,21	5,02	2,86	1,91	1,88	2,10	6,88	26,30
14	18,70	5,21	13,70	12,00	6,19	6,17	3,01	1,90	1,94	1,82	6,49	25,10
15	17,30	4,90	12,80	11,70	6,21	9,29	3,09	2,63	2,26	1,93	5,62	23,60
16	15,40	4,94	12,20	10,90	5,80	8,07	3,05	2,40	2,18	1,90	5,10	25,50
17	14,40	4,94	11,80	10,20	5,90	7,28	2,86	2,22	2,16	1,99	4,70	39,50
18	19,40	4,76	10,80	13,50	5,74	6,33	2,69	2,16	2,15	1,96	4,17	40,60
19	19,40	4,70	10,40	20,10	5,74	6,19	2,83	1,95	2,09	1,90	4,17	36,00
20	16,50	4,52	10,30	19,00	5,74	5,74	2,69	2,00	2,00	1,90	3,66	29,40
21	14,70	4,49	9,77	18,20	5,76	5,34	2,51	1,90	2,09	1,90	3,53	25,60
22	13,50	4,17	10,40	17,80	5,74	5,22	2,78	1,90	2,06	1,90	3,53	23,40
23	12,30	4,17	19,40	19,00	5,74	4,90	2,89	1,90	1,93	1,85	3,53	21,50
24	10,60	4,17	22,40	19,70	5,74	4,62	2,78	1,90	1,90	1,76	3,53	20,10
25	8,93	4,18	21,70	18,90	5,92	4,42	2,69	1,88	1,90	1,90	17,10	18,80
26	8,00	4,17	20,20	17,30	5,80	4,35	2,49	1,97	1,80	1,90	28,30	17,30
27	7,23	4,17	19,40	15,50	5,74	4,17	2,44	1,96	1,73	1,88	23,70	15,20
28	6,70	4,17	18,80	14,20	5,31	4,17	2,30	1,96	1,79	1,90	20,80	13,70
29	6,33	4,15	18,40	12,70	4,94	3,99	2,28	1,96	1,69	1,99	23,90	12,00
30	6,15	/	17,30	11,70	4,90	3,87	2,28	1,96	1,94	2,25	25,00	11,20
31	5,72	/	16,60	/	4,74	/	2,17	1,90	/	2,61	/	10,20
dat Q _{min}	2.	29.	1.	8.	31.	25.	9.	13.	29.	13.	1.	31.
Q _{min}	2,28	3,84	3,84	8,39	4,52	3,24	1,43	1,30	1,43	1,07	2,50	9,71
Q _{sr}	9,42	5,18	12,70	13,60	6,40	5,12	2,80	1,99	1,94	2,21	9,51	23,80
Q _{max}	20,70	7,79	22,60	20,70	10,40	9,71	4,90	2,73	2,50	9,71	29,60	43,50
dat Q _{max}	19.	6.	24.	19.	1.	15.	9.	15.	1.	13.	25.	17.
σ ₂	28,81	1,13	30,93	12,47	1,42	1,57	0,12	0,03	0,02	0,31	66,03	55,62
σ	5,37	1,06	5,56	3,53	1,19	1,25	0,34	0,18	0,15	0,56	8,13	7,46

Tablica 8.15. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2009. godinu

2009. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	9,90	20,00	7,29	8,57	12,40	5,28	5,51	3,36	2,47	1,99	2,37	27,90
2	9,15	18,60	6,98	9,05	12,00	13,40	6,08	3,47	2,33	2,03	2,40	23,90
3	8,57	18,30	6,68	11,10	11,30	12,70	6,68	3,04	2,37	2,02	2,81	20,00
4	8,57	22,00	7,74	11,30	10,60	10,90	7,29	2,90	2,56	1,99	3,21	18,00
5	8,08	25,60	15,90	11,20	10,40	9,87	7,29	3,22	2,52	1,99	7,27	16,40
6	7,53	23,60	22,60	10,50	9,52	8,88	7,29	3,32	2,61	1,99	7,90	14,70
7	7,14	22,40	21,10	9,69	8,44	8,22	7,29	3,10	2,53	1,99	9,75	12,90
8	6,68	26,90	18,90	9,24	7,92	7,50	6,68	3,12	2,55	1,99	11,80	11,50
9	6,68	26,50	17,60	9,04	7,92	7,21	6,68	3,07	2,52	1,98	13,50	10,60
10	6,45	24,20	16,00	8,57	7,92	6,73	6,68	3,16	2,57	1,88	13,70	10,20
11	6,08	22,90	14,70	8,30	7,42	6,68	6,68	3,36	2,74	1,99	14,10	9,92
12	5,87	21,80	13,70	7,92	6,91	6,40	6,68	3,45	2,80	2,07	12,50	9,18
13	5,65	20,60	12,50	7,92	6,63	5,63	6,68	3,21	2,67	2,00	10,30	8,30
14	11,30	18,80	11,60	7,92	5,87	5,51	6,08	3,41	3,03	1,99	8,05	7,66
15	18,50	17,30	10,80	7,34	6,06	5,51	6,08	3,22	3,12	1,99	6,86	10,30
16	18,50	16,00	10,00	7,16	6,08	5,42	6,01	3,43	3,08	1,91	6,40	10,40
17	16,50	14,90	9,64	6,68	6,06	4,96	5,46	3,08	3,12	1,82	5,79	9,47
18	15,30	14,00	9,24	6,96	5,51	4,96	4,96	3,07	3,09	1,82	4,94	8,38
19	14,60	13,10	8,99	6,75	5,51	4,96	4,96	2,67	3,12	1,87	4,60	7,92
20	13,30	11,60	8,44	6,88	5,51	4,96	4,92	2,52	2,98	1,77	4,12	7,29
21	14,50	10,60	7,92	6,78	5,51	5,12	4,55	2,52	3,11	1,89	3,77	6,33
22	24,10	9,98	7,92	6,68	5,32	5,51	4,47	2,41	2,81	2,03	3,45	5,85
23	27,70	9,24	7,47	6,30	4,96	5,82	4,03	2,47	2,81	4,63	3,50	19,00
24	25,60	9,15	7,29	6,08	5,32	6,08	4,68	2,50	2,98	5,26	3,44	22,30
25	23,40	8,25	7,16	6,13	5,44	6,08	3,81	2,50	2,88	4,10	3,25	22,10
26	22,50	7,92	6,68	5,51	5,21	5,51	3,83	2,71	1,97	3,22	3,12	22,40
27	22,90	7,50	6,68	5,51	4,96	5,51	3,80	2,37	1,88	2,81	3,12	22,70
28	26,20	7,29	6,48	6,10	4,96	5,51	3,64	2,32	1,76	2,75	3,12	22,10
29	26,00	/	5,58	9,62	4,77	5,51	3,34	2,37	1,70	2,67	3,01	20,10
30	24,00	/	7,30	11,20	4,67	5,51	3,38	2,54	1,97	2,36	4,13	18,80
31	21,90	/	8,33	/	4,90	/	2,97	2,52	/	2,36	/	17,70
dat Q _{min}	12.	27.	28.	26.	31.	21.	29.	3.	27.	5.	1.	21.
Q _{min}	5,51	7,29	5,51	5,51	1,14	3,80	1,33	1,33	1,54	1,76	1,99	5,51
Q _{sr}	14,90	16,80	10,60	8,07	6,96	6,73	5,43	2,92	2,62	2,36	6,21	14,70
Q _{max}	27,80	27,80	23,00	12,10	12,80	14,40	7,29	6,68	3,45	6,08	14,40	31,90
dat Q _{max}	23.	8.	5.	30.	1.	2.	4.	14.	14.	24.	10.	1.
σ ₂	57,82	41,18	21,81	3,21	5,33	5,13	1,90	0,15	0,18	0,72	14,43	40,45
σ	7,60	6,42	4,67	1,79	2,31	2,27	1,38	0,39	0,42	0,85	3,80	6,36

Tablica 8.16. Podaci o dnevnim protocima izmjerenima na izvoru Opačac za 2010. godinu

2010. GODINA												
D / M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	21,50	9,84	17,60	8,61	8,83	7,51	5,66	3,61	2,41	3,96	4,42	37,50
2	25,30	9,25	16,50	8,20	8,34	7,51	5,46	3,62	2,48	3,30	8,48	43,40
3	26,60	8,53	15,50	8,34	8,34	7,51	5,46	3,55	2,20	3,05	15,60	42,10
4	25,20	7,93	15,30	7,96	8,10	7,51	5,46	3,36	2,20	2,67	12,60	38,30
5	23,50	7,51	16,00	7,51	7,51	7,51	5,46	3,89	2,20	2,48	10,50	34,60
6	24,40	10,90	15,70	8,06	7,51	7,04	5,46	3,56	2,23	2,48	9,00	31,70
7	28,50	15,00	15,20	8,06	7,51	6,73	5,29	3,13	2,20	2,21	7,20	29,80
8	29,60	15,20	14,40	8,17	7,86	6,68	4,89	3,13	2,42	2,20	6,86	26,30
9	44,80	14,40	13,80	7,51	9,17	6,76	4,89	3,13	2,18	2,20	18,20	24,80
10	42,30	13,50	15,20	7,51	9,61	6,76	4,84	3,13	2,23	2,00	31,60	23,90
11	39,80	17,10	22,90	7,51	9,67	6,76	4,38	3,13	2,23	1,95	28,80	23,70
12	35,30	19,70	23,20	9,84	9,25	6,39	4,38	3,20	2,23	1,95	24,20	22,20
13	26,90	18,30	21,60	15,40	8,72	6,08	4,45	3,14	2,20	1,92	21,30	21,70
14	25,40	17,40	19,70	19,90	8,49	5,93	4,72	3,13	2,20	1,82	19,50	20,50
15	23,60	15,80	16,90	19,80	9,64	5,97	4,38	3,13	2,20	1,88	18,70	18,80
16	22,10	14,30	15,60	18,10	18,50	5,94	4,38	3,07	2,23	1,88	17,20	17,90
17	21,00	13,60	14,50	16,70	20,40	5,90	4,38	2,79	2,20	2,11	16,20	16,70
18	20,10	14,20	13,80	15,40	18,50	6,00	4,31	2,79	2,08	2,83	18,00	15,80
19	19,00	15,20	13,00	14,50	16,60	5,56	4,07	2,77	2,52	3,73	20,50	14,30
20	17,80	17,70	12,20	13,40	15,20	5,51	4,11	2,54	3,84	3,44	22,10	13,40
21	17,30	20,70	12,10	12,80	13,70	6,08	4,16	2,79	2,94	3,16	20,60	14,20
22	16,10	20,10	11,40	12,30	13,10	5,56	4,02	2,79	2,56	3,04	21,10	17,40
23	15,10	19,40	11,70	11,50	11,70	5,93	3,92	2,70	2,46	2,81	29,50	23,50
24	14,00	20,00	11,30	11,30	11,00	6,45	3,71	2,54	2,40	2,68	29,40	28,20
25	12,60	19,40	11,30	10,50	10,60	6,08	3,50	2,48	2,50	2,65	27,80	29,60
26	11,50	18,80	11,10	9,84	10,00	6,45	3,50	2,48	8,31	3,70	26,70	29,20
27	10,70	18,50	10,60	9,25	9,56	6,11	3,50	2,41	9,87	7,44	25,40	26,80
28	10,60	18,30	10,30	9,25	9,10	6,08	3,50	2,20	7,90	8,24	24,70	24,60
29	9,92	/	9,92	9,25	8,68	5,95	3,50	2,25	5,82	6,95	32,60	23,10
30	9,44	/	9,64	8,87	8,34	5,61	3,50	2,27	4,82	6,00	33,70	21,20
31	9,47	/	9,25	/	8,34	/	3,55	2,47	/	5,10	/	19,60
dat Q _{min}	30.	4.	30.	2.	4.	14.	10.	29.	9.	13.	2.	20.
Q _{min}	9,25	7,51	9,25	7,51	7,51	2,48	2,20	1,95	1,95	1,73	3,92	12,80
Q _{sr}	21,90	15,40	14,40	11,20	10,70	6,39	4,41	2,94	3,21	3,29	20,10	25,00
Q _{max}	46,40	21,20	23,90	20,30	22,10	9,25	8,34	3,92	10,60	8,34	35,00	44,00
dat Q _{max}	9.	21.	12.	14.	16.	24.	10.	1.	26.	27.	29.	2.
σ_2	91,03	16,19	13,97	14,52	12,76	0,41	0,52	0,20	4,21	2,93	67,18	64,52
σ	9,54	4,02	3,74	3,81	3,57	0,64	0,72	0,45	2,05	1,71	8,20	8,03

9. LITERATURA

9.1. TISKANA LITERATURA

- [1] Hrelja, H.: Inženjerska hidrologija; Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu; Sarajevo, 2007.
- [2] Juras, T.: Analiza recesijskog dijela hidrograma otjecanja rijeke Omble, diplomski rad; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu; Split, 2011.
- [3] Vlahović, T.: Geologija za građevinare; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu; Split, 2010.
- [4] Žugaj, R.: Velike vode malih slivova; Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu; Zagreb, 2012.
- [5] Bonacci, O.: Karst hydrology With Special Reference to the Dinaric Karst; Springer-Verlag, Heidelberg; Berlin, 1987.
- [6] Bojanić, L., Ivičić, D., Batić, V.: Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu; Geološki vjesnik br. 34, 127.-135. str.; Zagreb, 1981.
- [7] Džeba, T.: Određivanje otjecanja u slivu Ričine, Suvaje i Matice, magistarski rad; Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu; Split, 2010.

9.2. ELEKTRONIČKA LITERATURA

- [8] Slaven Zdilar: Krška hidrografija, Podbablje 2009.
(<http://www.podbablje.hr/priroda/vode/328-krska-hidrografija-slaven-zdilar>)
- [9] Hrvatski radioamaterski savez: Croatian Protected Areas – river Vrljika, Zagreb 2009.
(http://web.hamradio.hr/9aff/9AFF-066_Vrljika/Vrljika.htm)
- [10] Državni hidrometeorološki zavod: Digitalne klimatološke karte za razdoblje 1961-1990 i Arhiva odstupanja od klimatskog prosjeka 1961-1990, Zagreb 2014.
(http://klima.hr/klima.php?id=digitalne_karte, http://klima.hr/klima.php?id=digitalne_karte)

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: Sveučilišni dodiplomski

KANDIDAT: Kate Čakelić

BROJ INDEKSA: 2960

KATEDRA: Katedra za hidrologiju

PREDMET: Hidrologija

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: ANALIZA RECESIJSKOG DIJELA HIDROGRAMA OTJECANJA RIJEKE VRLJIKE

Opis zadatka: Na temelju izmjerenih podataka o protocima izvora Opačac potrebno je izvršiti hidrološku analizu. Hidrološka analiza obuhvaća statističku obradu, izradu krivulje trajanja i učestalosti dnevnih protoka za cjelokupno raspoloživo razdoblje. Pored toga potrebno je izvršiti analizu recesijskog dijela hidrograma otjecanja te utvrditi koeficijente recesije.

U Splitu, 03.09.2014. datum zadatka

Voditelj diplomskog rada:

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:

Prof. dr. sc. Vesna Denić-Jukić

Prof. dr. sc. Mirela Galić