

# Metode identifikacije suše

---

Jelaš, Lea

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2015**

*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:123:973831>*

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

*Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-18***

*Repository / Repozitorij:*



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



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**DIPLOMSKI RAD**

**Lea Jelaš**

**Split, 2015**

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

**Lea Jelaš**

**Metode identifikacije suše**

**Diplomski rad**

**Split, 2015**

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

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: Lea Jelaš**

**BROJ INDEKSA: 439**

**KATEDRA: Katedra za hidrologiju**

**PREDMET: Inženjerska hidrologija**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: **Metode identifikacije suše**

Opis zadatka: Predmet ovog zadatka je obrada metoda identifikacije suše na temelju analize dnevnih podataka o protocima i oborinama. Analizom su obuhvaćeni podaci protoka Izvora Žrnovnice i oborina mjerne postaje Dugopolje tijekom razdoblja 2011. do 2013. godine. Kao rezultat primjene navedenih metoda priložit će se podaci o trajanjima, intenzitetu i jačini pojedinih sušnih perioda definiranih spomenutim metodama.

U zadatku treba dati i odgovarajuća tumačenja, slike i tablice nužne za bolje razumijevanje problema i predloženog rješenja.

U Splitu, srpanj 2015.

Voditelj Diplomskog rada:

prof.dr.sc. Vesna Denić-Jukić

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Prof. dr. sc. Ivica Boko

## Metode identifikacije suše

***Sažetak:***

U ovom diplomskom radu dan je prikaz metoda identifikacije suše. Promatrana je rijeka Žrnovnica u periodu 2011.-2013. godine. Protoci su uzeti sa mjerne postaje Izvor Žrnovnice, a podaci o oborinama sa kišomjerne postaje Dugopolje. Korištena je metoda praga transformacije i modificirana metoda te je dana usporedba dobivenih rezultata: trajanje, intenzitet i jakost sušnih perioda.

***Ključne riječi:***

Suša, metoda praga transformacije, modificirana metoda, trajanje, intenzitet, jakost sušnih perioda

## Methods for drought identification

***Abstract:***

The work presented in this thesis will show the application of the methods for drought identification. The Žrnovnica river was observed in period from 2011. till 2013. Flows were taken from the hydrometric station Izvor Žrnovnica and rainfall data from the rain gauge station Dugopolje. Threshold-level and modified methods were used and a comparison of the results is given: duration, intensity and severity of drought periods.

***Keywords:***

Drought, threshold-level method, modified method, duration, intensity,severity of drought

**SADRŽAJ**

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 6  |
| 2. OTJECANJE VODE U KRŠU.....   | 7  |
| 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RIJEKE ŽRNOVNICE .....                                    | 10 |
| 3.1. Slivno područje rijeka Žrnovnice i Jadra.....                                  | 10 |
| 3.2. Rijeka Žrnovnica .....   | 15 |
| 4. MALE VODE.....   | 16 |
| 4.1. Definicija suhoće, suše i suhih područja .....                                 | 16 |
| 4.2. Definicija malih voda .....  | 19 |
| 4.3. Karakteristike malih voda.....   | 20 |
| 4.4. Borba protiv suše.....   | 22 |
| 5. ANALIZA MALIH VODA.....  | 24 |
| 5.1. Metoda praga transformacije.....   | 24 |
| 5.1.1. Uvod .....   | 24 |
| 5.1.2. Određivanje praga transformacije na temelju krivulje trajanja .....          | 27 |
| 5.1.2.1. Fiksni prag transformacije za cijelo promatrano razdoblje .....            | 27 |
| 5.1.2.2. Varijabilni sezonski prag transformacije (1. travnja – 1. listopada).....  | 29 |
| 5.1.2.3. Varijabilni sezonski prag transformacije (1. svibnja - 1. listopada) ..... | 38 |
| 5.1.2.4. Varijabilni godišnji prag transformacije.....                              | 47 |
| 5.1.3. Određivanje praga transformacije na temelju srednjeg protoka .....           | 53 |
| 5.1.4. Određivanje trajanja, jakosti i intenziteta sušnih perioda.....              | 58 |
| 5.2. Modificirana metoda .....  | 66 |
| 5.2.1. Uvod .....   | 66 |
| 5.2.2. Opis metode.....   | 67 |
| 5.2.3. Primjena modificirane metode na rijeku Žrnovnicu s obzirom na protok .....   | 69 |
| 5.2.4. Primjena modificirane metode na rijeku Žrnovnicu s obzirom na oborine .....  | 78 |
| 5.2.5. Određivanje trajanja, jakosti i intenziteta sušnih perioda.....              | 87 |
| 6. ZAKLJUČAK .....  | 88 |
| Popis slika .....   | 89 |
| Popis tablica .....   | 91 |
| Popis literature.....   | 92 |
| Prilozi .....   | 93 |

## 1. UVOD

U ovom diplomskom radu provedena je analiza metoda identifikacije suše. Suša je ekstremna hidrološka pojava koja izaziva velike gospodarske i ekološke štete. Identifikacija i kvantifikacija suše provodi se primjenom različitih metoda, a osnovni problem je nedostatak pouzdane metode kojom bi se vršila usporedba suša koje su se javile u različitim razdobljima i različitim lokalitetima. Postoje brojni indeksi koji se međusobno dosta razlikuju a koriste se za procjenu suše na nekim klimatskim područjima ili lokalnim situacijama.

Provedena je metoda praga transformacije (threshold level) te modificirana metoda. Spomenute metode koriste se za procjenu frekvencije (učestalnosti) perioda malih voda i za dizajniranje i funkcioniranje regulacijskih rezervoara gdje su ispusti rezervoara napravljeni za poboljšanje nizvodnog toka vode. Primjeri ovakih metoda povezani su sa hidroelektranama te sustavima za navodnjavanje.

Korišteni su podaci o protoku izmjereni na mjernoj stanici izvora rijeke Žrnovnice u razdoblju od 1990.- 2013. godine te podaci o oborinama mjereni na kišomjernoj stanici Dugopolje u periodu 1991.-2013. godine, a analiza i procjena suše se vršila za period 2011.-2013. godine. Kao rezultat navedene metode prikazani su periodi sušnih razdoblja s obzirom na različite odabране pragove transformacije, jačine suša i intenziteti te je dana usporedba.

Korišteni podaci o protocima i oborinama za navedene periode dani su u tablicama u Prilogu.

## 2. OTJECANJE VODE U KRŠU

Pojam krš odnosi se na terene s karakterističnim hidrogeološkim, geomorfološkim i geološkim svojstvima, a razvija samo u topivim stijenama. Najtopivije stijene su halit, gips i anhidrit i još neke monomineralne stijene no one su relativno malo zastupljene u građi litosfere, pa se po značaju i rasprostranjenosti ističu nešto slabije topive karbonatne stijene. Stoga se u praksi pod pojmom krš obično podrazumijevaju područja čiji je razvoj uglavnom vezan za karbonatne stijene, vaspence i dolomite. Stijene podložne okršavanju tvore oko 25% površine kopnenog dijela Zemlje i gotovo 50% kopnene površine Republike Hrvatske.

Postoji pet ključnih elemenata nužnih za nastanak vodonosnika u karbonatnim stijenama:

1) područje ulaza vode ili napajanja: napajanje vodonosnika odvija se infiltracijom kroz nekonsolidirani materijal koji pokriva okršene stijene ili izravnim poniranjem vode u raspucanu i okršenu stijensku masu. Infiltrirana voda kreće se vertikalno dok ne dospije do horizontalnih podzemnih kanala koji su prošireni otapanjem i erozijskim djelovanjem tekuće vode;

2) sustav međusobno povezanih podzemnih kanala za prolaz vode: potrebno je postojanje mehaničke oštećenosti stijenske mase kako bi voda mogla prodirati s površine terena u dublje slojeve. Voda prodire u podzemlje kroz pukotine i prsline te uvelike ovise o njihovim karakteristikama kao npr. o veličini, položaju, otvorenosti, nagibu i sl;

3) točka istjecanja: informacije o izlazu se odnose na količinu i kakvoću podzemne vode koja se pojavljuje na izvoru ili u zoni izviranja. Te je podatke razmjerno lako prikupiti zbog jednostavnosti pristupa mjestima istjecanja podzemne vode i zbog jednostavnih, pouzdanih i jeftinih metoda mjerena, no često je problem osigurati vremenski dovoljno duga mjerena.

4) oborine: krš nastaje na područjima sa minimalno 250-300 mm/god oborina, dok se maksimalno okršavanje događa u područjima sa sezonskim izmjenama vlažnih i sušnih razdoblja;

5) reljef: među krškim oblicima ističu se škrape, vrtače (ponikve, doci), kanjoni, doline, krške uvale ili zavale, krška polja, krške zaravni, jame, špilje, kaverne, ponori, krška okna, krški izvori, estavele, vrulje i podzemni tokovi.

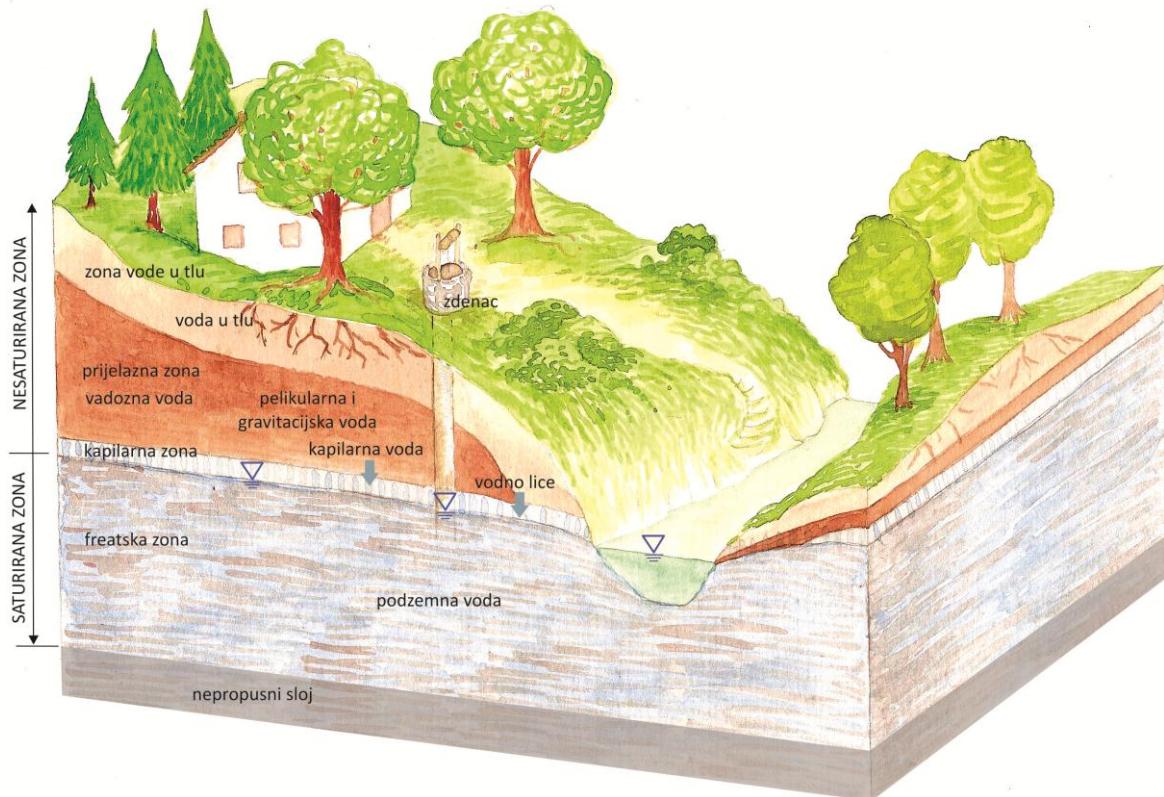
Ako bilo koji od ovih elemenata nedostaje, stijenska masa je hidrološki inertna i vjerojatno ne može funkcionirati kao vodonosnik.

Krški vodonosnici imaju sprecifičnu dinamiku podzemnih voda zbog značajne uloge topivosti stijena. Zbog izraženog otapanja i povećanja šupljina uzrokovanog cirkulacijom podzemne vode, krški vodonosnici se razvijaju tokom vremena te se javlja trend povećanja propusnosti stijena. Cirkulacija vode odvija se kroz uglavnom kroz kavernsku poroznost nastalu otapanjem stijena, iako krške stijene mogu imati i primarnu i sekundarnu poroznost.

Dva osnovna tipa krških akvifera mogu se opisati na temelju razvoja i provodljivosti krških kanala unutar sustava:

1) Provodljivi tip krškog sustava: karakteriziran je sa dobro razvijenom krškom mrežom koja dozvoljava brzi prijenos vode kroz akvifer. U tim sistemima, tok vode se prvo naglo pojavljuje u velikim pukotinama zbog nejednake provodljivosti stoga su ovi sistemi poznati kao sistemi brzog tečenja. Kako ovakvi akviferi obično ne mogu skladištiti količine vode na duže periode, hidrogrami ovakvog tipa krškog sustava su karakterizirani sa mnogim vršnim protocima koji nastaju odmah nakon kišnog događaja.

2) Difuzni tip krškog sistema: krška mreža nije dobro razvijena ili povezana te je potrebno puno vremena za putovanje podzemne vode kroz akvifer. Takvi sustavi definirani su kao sistemi sporog, difuznog ili disperzivnog tečenja, koje je kontrolirano sa malim krškim pukotinama i pojavljuje se u laminarnom režimu. Ovi krški akviferi zadržavaju više vode puno više vremena nego provodljivi tip. Oblik hidrograma u ovakovom tipu akvifera je karakteriziran sa jako malo ili samo jednim zaglađenim vrhom koji se pojavljuje nakon nekog vremena zakašnjenja s obzirom na kišnu sezonu. Takav tip hidrograma može ukazivati da se akvifer ponovno puni vodom pomoću difuzne infiltracije kroz nesaturiranu zonu. Ovaj fenomen može biti uzrokovan sa nepropusnim naslagama koji ograničavaju otjecanje i koncentriranu infiltraciju.



Slika 2.1. Raspodjela vode u podzemlju

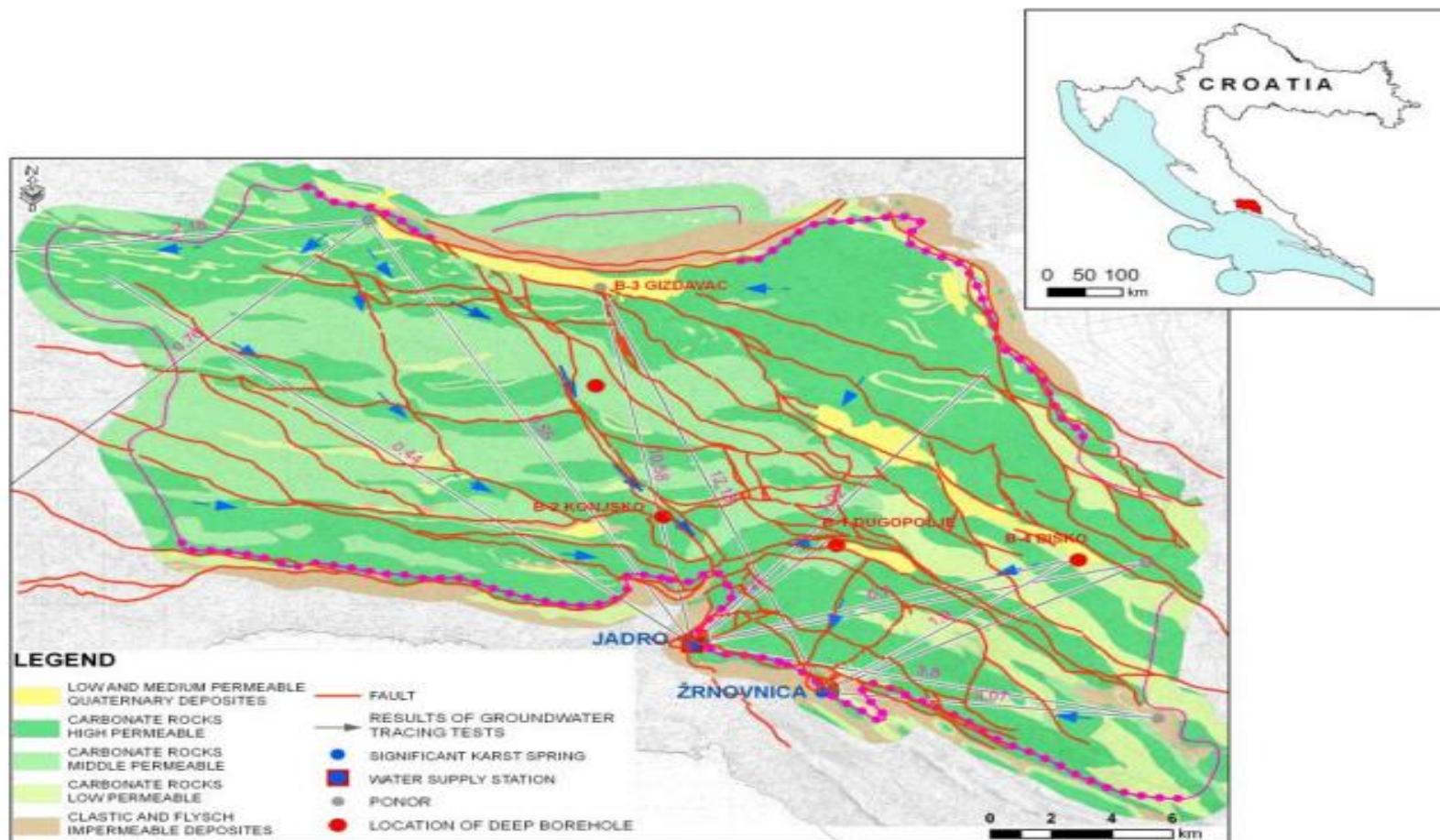
### 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RIJEKE ŽRNOVNICE

#### 3.1. Slivno područje rijeka Žrnovnice i Jadra

Ovo područje je vrlo je značajno s obzirom na broj stanovnika koji se opskrbljuje pitkom vodom s ovih izvorišta. Obuhvaća specifičan prirodno-geografski prostor u širem zaleđu Splita, površine oko  $430 \text{ km}^2$ . Jako složeni i promjenjivi hidrogeološki i hidrološki odnosi na slivnom području ne dopuštaju jednoznačno određivanje granice sliva. Slivne površine izvora Jadra i Žrnovnice su zajedničke te se nemogu promatrati odvojeno.

Sjevernu razvodnicu sliva uvjetuje hidrogeološka barijera sjeverno od Mućkog polja. Barijeru izgrađuju nepropusne stijene trijasa. Oborine koje padnu stvaraju više povremenih bujičnih tokova koje se slijevaju u polje u koje poniru na kontaktu s propusnim stijenama. Zapadna granica je podzemna razvodnica kojom ovaj sliv graniči sa slivom izvora Pantan. Južnu granicu određuje kontakt propusnih stijena Zagore i nepropusnih stijena priobalnog područja. Nepropusne stijene sežu duboko ispod razine mora i vrše funkciju hidrogeološke barijere. Istočnu granicu je teško odrediti zbog vrlo složenih hidrogeoloških odnosa u srednjem toku Cetine. Pretpostavlja se zonarna razvodnica koja se pomiče u zavisnosti od hidroloških uvjeta. Dokazana je podzemna veza sliva Cetine sa izvorom Jadra i Žrnovnice. Izgradnjom akumulacije Pranjčevići povećala se izdašnost izvora Žrnovnice pa više ne presušuje.

Na slici 3.1. prikazano je slivno područje rijeka Jadra i Žrnovnica.



Slika 3.1. Slivno područje rijeka Jadro i Žrnovnica

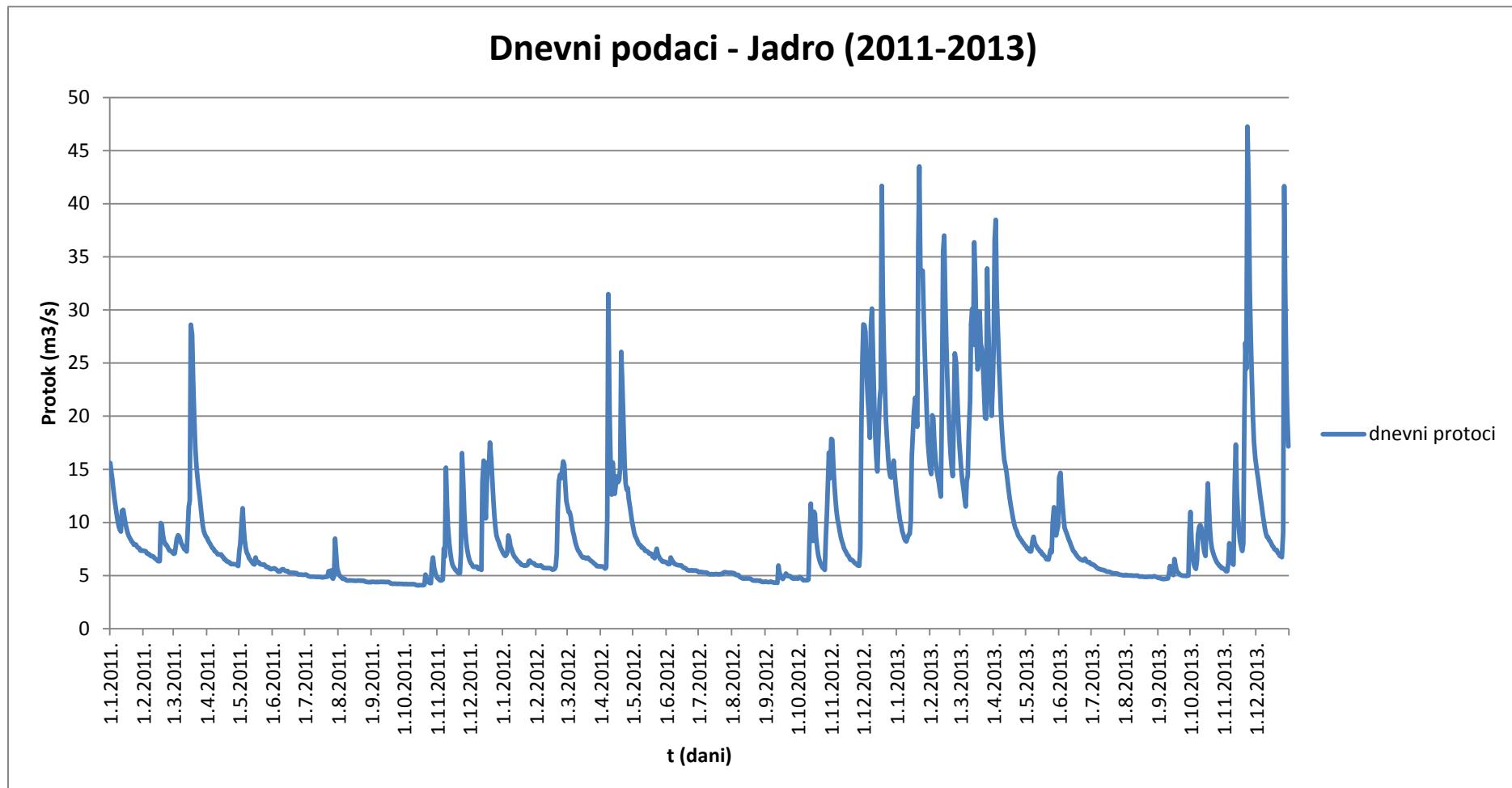
Na ovom slivnom području dnevne padaline mjerene su od 1961. na osam lokacija: Dugopolje, Lećevica, Dicmo, Muć, Klis, Bisko, Gornje Sitno i Prančević Brana. Hidrološka zapažanja su provedena u profilima koji su zanimljivi u smislu uporabe vode (npr određivanje kapaciteta izvora, ili kontrolu tlaka za propisani minimalni protok). Prikupljanje hidroloških podataka, uključujući vodostaje i protoke započelo je 1983. godine, a u međuvremenu neke hidrološke stanice prestala su s radom, neke su davale nepouzdane podatke, uglavnom zbog promjena u korita rijeka i utjecajem rukavce. Trenutno je pet hidrološke stanica aktivno: Jadro-Majdan, Jadro-Dioklecijanov kanal, Jadro-Novi kanal, Žrnovnica-Izvor i Žrnovnica-laboratorij.

Od 1970-ih, u skladu s Nacionalnim programom praćenja kvalitete vode, Hrvatske vode provode praćenje kakvoće voda na površinskim vodama i izvorima na sljedećim mjestima: Jadro-Izvorište, Jadro-Ribogojilište, Jadro-Ušće, Žrnovnica-Izvorište i Žrnovnica-Ušće. Praćenje stanja voda na tim postajama je izvedena 12 puta godišnje te se ispituju obvezni pokazatelji (fizikalno – kemijski, režim kisika, hranjive tvari, mikrobiološki, biološki) i specifični pokazatelji (metali, organski spojevi). Skupina obveznih pokazatelja služi za utvrđivanje opće ekološke funkcije voda, dok je skupina specifičnih pokazatelja služi za širu ocjenu opće ekološke funkcije vode i za određivanje uvjeta korištenja vode za pojedine namjene.

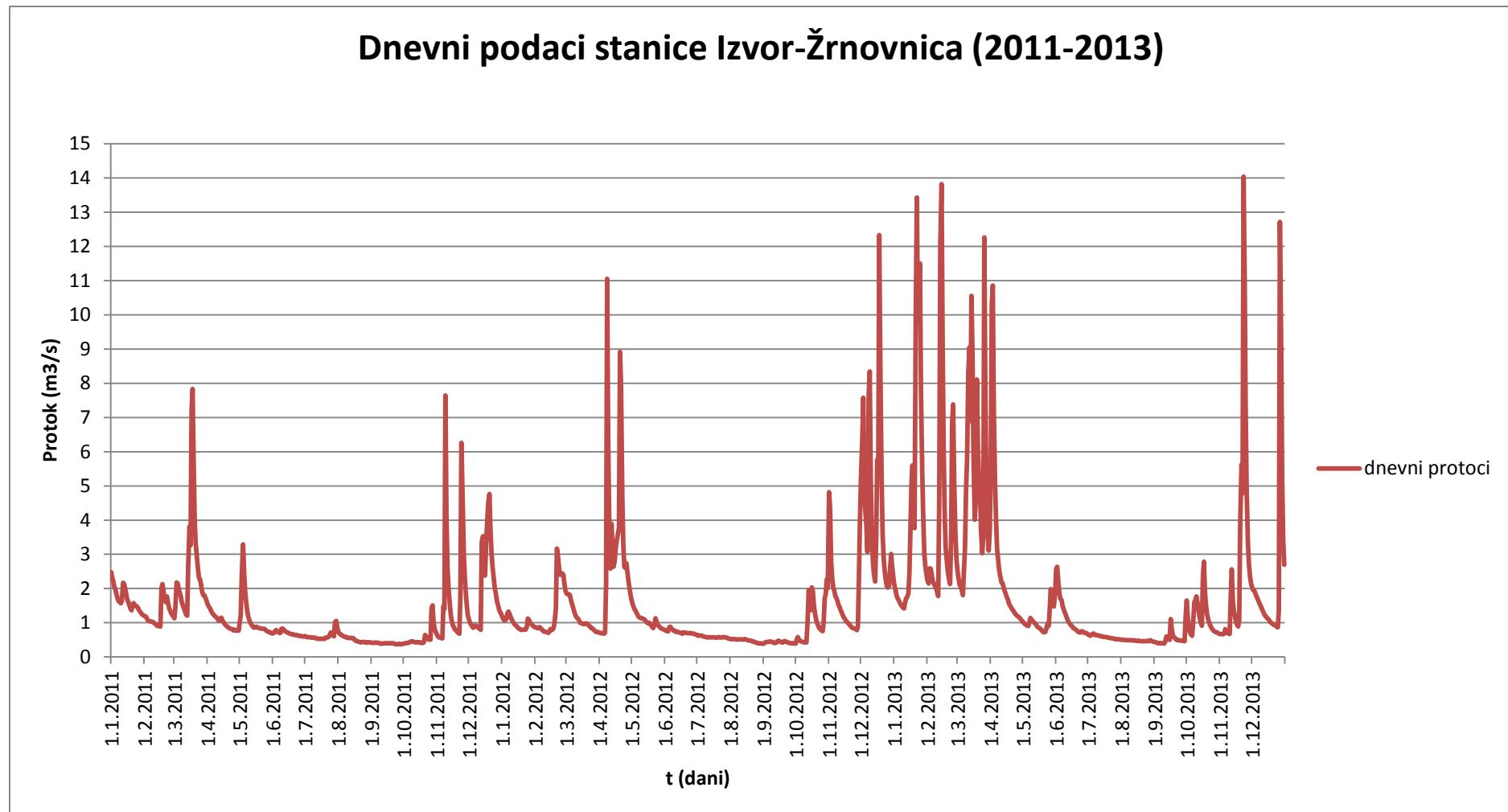
Podzemne monitoring točke su četiri bušotine koje se nalazi u: Dugopolju, Konjskom, Gisdavacu i Bisku. Praćenje kakvoće površina izvodi se na četiri mjesta: Jadro-Izvorište, Žrnovnica-Izvorište, Jadro-Ušće i Žrnovnica-Ušće. Meteorološki program praćenja predviđa ugradnju osam automatskih meteoroloških postaja koje se nalazi u: Dugopolju, Muću, Lećevici, Bisku, Dicmu, Gisdavacu, Konjskom, Vučevici i Putišiću.

Na slici 3.2. prikazan je hidrogram rijeke Jadro u periodu 2011.-2013. godine. Protoci su mjereni na 3 postaje: Kanal Majdan, Novi kanal i Dioklecijanov kanal. Dnevni podaci sa te mjerne stanice zbrojeni su te je tako dobiven ukupan dnevni protok rijeke Jadro koji je prikazan u hidrogramu. Minimalni dnevni protok iznosi  $4,081 \text{ m}^3/\text{s}$ , maksimalni  $47,271 \text{ m}^3/\text{s}$  te srednji  $9,124 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Na slici 3.3. prikazan je hidrogram rijeke Žrnovnice u periodu 2011.-2013. godine. Protok je mjerен na mjernej postaji Izvor Žrnovnice te je prikazan u priloženom hidrogram. Minimalni dnevni protok iznosi  $0,372 \text{ m}^3/\text{s}$ , maksimalni  $14,32 \text{ m}^3/\text{s}$  te srednji  $1,592 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 3.2. Hidrogram rijeke Jadro (2011.-2013.)



Slika 3.3. Hidrogram rijeke Jadro (2011.-2013.)

### 3.2. Rijeka Žrnovnica

Rijeka Žrnovnica je krška rijeka koja se nalazi u primorskom pojasu srednjeg Jadran. Udaljena je 4 kilometra istočno od Splita. Nalazi se u kotlini sa svih strana okružena uzvisinama. Izvire u podnožju Mosora, 2 km od naselja Žrnovnica te prolazi kroz Stobrečko polje. Ušće se nalazi nekoliko kilometara istočno od Splita. Ukupna duljina toka je 4800 m.

Izvor rijeke se sastoji od niza manjih izvora koji se javljaju na širem području u visinskom rasponu od 77 do 88 m n.m. Minimalna izdašnost izvorišta je  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , a maksimalna je  $19,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , dok srednji godišnji protok iznosi  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dio izvorišta se koristi za potrebe vodoopskrbe naselja Sitno Donje i Žrnovnica, a dio se koristi za navodnjavanje.

U gornjem toku proizvodi znatne količine vučenog nanosa koje taloži u srednjem i donjem toku. Zbog urbanizacije prostora oko rijeke, nametnuto je provođenje uređenja korita radi očuvanja i zaštite pjezažne i fizionomske raznolikosti. Regulacija ove rijeke se intezivno provodi zadnjih godina.



Slika 3.4. Rijeka Žrnovnica

## 4. MALE VODE

### 4.1. Definicija suhoće, suše i suhih područja

Postoji značajna razlika između pojmove suhoće i suše. Pod pojmom suhoća (aridity) podrazumijevamo dugotrajan klimatski fenomen što se razlikuje od kratkotrajnog fenomena suše (drought). Pojava suše i suhoće uzrokuje nastanak suhih područja (dryland). To su područja koja su stalno, sezonski ili povremeno izložena nedostatku vlage. Danas se 36% kontinentalne površine planeta može smatrati suhim područjem. Kod suhih područja razlikujemo 4 stupnja sušnosti:

- 1) Hiperaridno: 10-50 mm oborine godišnje;
- 2) Aridno ili pustinjsko: 50-100 mm godišnja oborina;
- 3) Poluaridno: 150-500 mm;
- 4) Subhumidno: 500-800 mm.

Suha područja također možemo klasificirati pomoću bioklimatskog indeksa suhoće tj. odnosa godišnjih oborina (P) i godišnje potencijalne evapotranspiracije  $ET_p$  pri čemu su:

- 1) Hiperaridna područja:  $\frac{P}{ET_p} < 0,03$  (puštinje);
- 2) Aridna područja:  $\frac{P}{ET_p} = 0,03-0,2$  (rijetka trava);
- 3) Poluaridna područja:  $\frac{P}{ET_p} = 0,2-0,5$  (stepe i šikare);
- 4) Subhumidna područja:  $\frac{P}{ET_p} = 0,5-0,75$  (savane).



Slika 4.1. Prikaz hiperaridnog, aridnog, poluaridnog i subhumidnog područja

Suha područja pojavljuju se i u hladnim i u vrućim područjima Zemlje a negativna posljedica toga je mali broj stanovnika koji živi na tim područjima. Kod vrućih pustinja najznačajniji faktor koji utječe na stalni nedostatak vode je jako intenzivna sunčeva radijacija uz visoke temperature zraka i ekstremne količine evapotranspiracije. Također veliku ulogu igraju i jaki vjetrovi koji nose velike količine sitnih čestica pijeska.

Za razliku od suhoće koja je stalni deficit oborina, suša predstavlja povremeni nedostatak oborina u odnosu na uobičajene prosječne oborine. Osim prethodno navedenih faktora, na pojavu suše i suhoće utječe velik broj topografskih, meteoroloških, klimaoloških i drugih karakteristika sliva a najčešće korišteni u analizi malih voda su: oborine, vlaga u zraku, povšina sliva, srednja nadmorska visina sliva, dužina glavnog toka, prosječne godišnje padaline, geološke karakteristike sliva, ospeg sliva, prosječna geografska širina sliva, faktor oblika sliva, nagib glavnog toka, urbanizirani dio sliva te prosječno godišnje otjecanje.

Postoje razne definicije suše s obzirom na to koja se znanstvena ili stručna grana bavi problematikom suše. Meteorološka suša je deficit oborina u odnosu na prosjek, a najčešće se javlja kao posljedica zapriječene anticiklone. Hidrološka suša se utvrđuje na temelju smanjena protoka u otvorenim vodotocima, razine podzemne vode u odnosu na prosječnu vrijednost i

razine vode u umjetnim i prirodnim jezerima. Pedolozi sušu utvrđuju na temelju infiltracijskih svojstava tla, odnosno što su manja infiltracijska svojstva tla to su pojačana svojstva suhoće i suše na nekom području. Poljoprivredna ili agrotehnička suša definirana je s obzirom na potrebe biljaka te se javlja kada su vodni resursi potrebni za poljoprivrednu nedostatni.

Suha područja općenito je moguće opisati sljedećim hidrološkim svojstvima (Thornes 1994.):

- a) Ukupni godišnji iznos oborina je malen, oborine su intenzivne te se javljaju u nepravilnim razmacima formirajući tako nepravilne početke kišnih sezona i veliki varijabilitet između godina;
- b) Javlja se smanjenje infiltracije i povećanje isparavanja jer kiša pada na dijelom golo i zbijeno tlo. Infiltracija ovisi o svojstvima površinskog sloga tla a posebno negativno na nju utječu gole stijene te stjenovita i solju bogata pjeskovita tla;
- c) Gubici isparavanjem ovise o pritisku vode u tlu, njenom pedološkom profilu te atmosferskim i klimatskim čimbenicima. Thornes (1994.) je procijenio da u vrućim pustinjskim krajevima na isparavanje vode u površinskom sloju tla otpada čak 1500 do 2000 mm godišnje;
- d) Nakon intenzivnih oborina javlja se kratko preplavljivanje terena a površinsko otjecanje traje kratko i ovisi o veličini oborine i gubicima;
- e) Otjecanje podzemne vode dominantno je u odnosu na otjecanje površinske vode.
- f) Suša izaziva ekološku neravnotežu u području u kojem se javlja. Prve nestaju vrste koje su najosjetljivije na nedostatak oborina što uzrokuje nestanak vrsta koje se njima hrane te se tako narušava hranidbeni lanac i biološka raznolikost. Uz narušavanje biološke raznolikosti, posljedice suše se najviše uočavaju na promjenama svojstava površinskog sloja tla.

U skladu sa prethodno rečenim, neke definicije suše odnose se na nedostatak oborina a neke na male vode, odnosno hidrološku sušu koja je obrađena u sljedećem poglavljju.

## 4.2. Definicija malih voda

Kako bezooborinski period utječe na smanjenje protoka u riječnom toku i te na opadanje nivoa i zaliha podzemne vode, smatra se da meterološka suša uzrokuje hidrološku sušu ili *male vode*. Tokom malih voda, zbog malih količina oborina dolazi do prihranjivanja riječnih tokova iz pozemnih rezervoara sa protocima manjim od očekivanih vrijednosti, te dolazi do problema u navodnjavanju, otežane vodoopskrbe ali i do smanjenja kvalitete vode zbog povećane koncentracije zagadivača i povećane potrošnje kisika u vodi.

Male vode su posljedica prirodnih uvjeta na nekom slivu ili su rezultat poželjnih te nepoželjnih aktivnosti čovjeka. Utjecaj čovjeka je najintezivniji u gusto naseljenim područjima gdje se voda zahvaća za različite potrebe društva. Neki antropogeni faktori utječu na poboljšanje a neki na pogoršanje raspoloživih malih voda. Tako npr, na poboljšanje raspoloživih malih voda utječu izgradnja brane sa akumulacijom, ispuštanje komunalnih i industrijskih otpadnih voda ili usporavanje vode objektima za regulaciju tokova, a na pogoršanje zahvaćanje podzemnih voda zbog korištenja vode za različite potrebe ili trasfера vode između slivova te poljoprivredne aktivnosti poput navodnjavanja.

Karakteristike malih voda su vrlo važne u upravljanju vodnim resursima. Poznavajući režim malih voda moguće je projektirati, graditi, održavati i upravljati raznim vodoprivrednim sustavima i objektima. Također, analizom malih voda ocjenjuje se da li je vodotok u mogućnosti da se koristi za vodoopskrbu naselja i industrije, da primi otpadne vode, da osigura vodu za navodnjavanje te da omogući povoljne uvjete za razvoj flore i faune. Na osnovu raspoloživih hidroloških podataka, mogu se osigurati karakteristike malih voda kao što su minimalni vodostaji/protoci, krivulje trajanja, funkcije raspodjele vjerojatnosti prosječnih malih voda.

### 4.3. Karakteristike malih voda

Veličina malih voda karakterizirana je svojstvima:

- 1) Vrijeme događaja – datum početka i kraja suše;
- 2) Trajanje deficitia T – trajanje jednog koraka suše;
- 3) Jakost deficitia S - suma svih pojedinih deficitia svih jedinica vremena tijekom trajanja i koraka suše;
- 4) Intenzitet deficitia – omjer jakosti i trajanja suše:  $I = \frac{S}{T}$ .

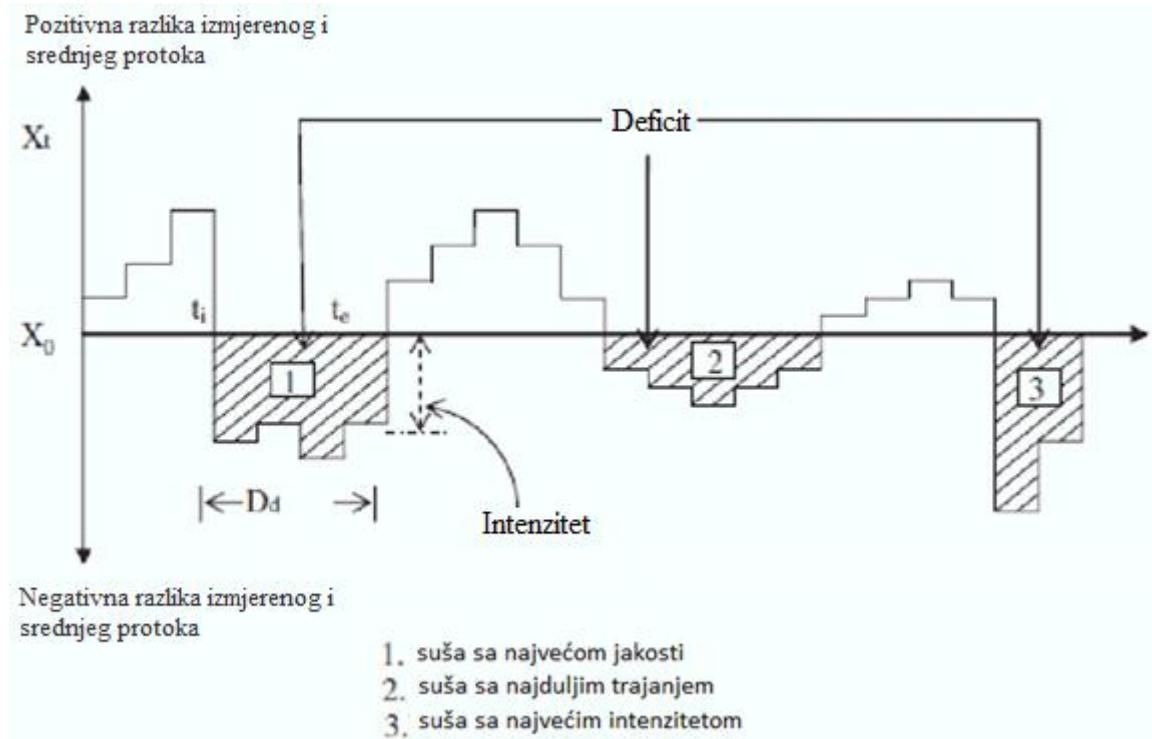
Odabir vremenskog koraka kod promatranja suše ovisi o dostupnim datumima, hidrološkom režimu i specifičnom problemu kojeg treba riješiti. Najčešće se koriste godišnji, mjesecni i dnevni protoci. U aridnim i semiaridnim područjima deficiti mogu trajati i do nekoliko godina stoga se za vremenski korak odabiru mjesecni podaci. U umjerenim klimama, kod odabira vremenskog koraka od jednog mjeseca, često se događa da deficitne prekidačke periodi velikih protoka pa je stoga optimalnije odabrati dnevne protoke.

Kod metode praga transformacije najčešće se za vremenski korak biraju dnevni protoci što uzrokuje probleme u zavisnosti između deficitia i manjeg deficitia. Tijekom sušnog perioda, mogu se javiti kraći periodi kada vrijednosti protoka premašuju vrijednost praga transformacije dijeleći tako sušni period na više manjih sušnih perioda koji su međusobno zavisni. Ukoliko se deficiti pojave u manje od unaprijed određenom broju dana  $t_{\min}$ , njihov volumen i trajanje udružujemo:

$$t_{uk} = t_i + t_{i+1};$$

$$V_{uk} = V_i + V_{i+1}.$$

Utvrđeno je da se  $t_{\min}=5$  dana može koristiti za višegodišnje ali i za povremene tokove (Fleig, 2006).



Slika 4.2. Karakteristike suše

#### 4.4. Borba protiv suše

Kako bi ostvariti učinkovitu borbu protiv suše potrebno je predviđati sušu, vršiti identifikaciju i monitoring suše, procjenu posljedica suše i njihovog upravljanja te stvarati politiku borbe protiv suše. Budući da je suša vrlo složena i svugdje prisutna pojava potrebno je problemu pristupiti interdisciplinarno. Posljedice suše se najsnažnije i najizravnije nepovoljno odražavaju na:

- a) Poljoprivredu i šumarstvo;
- b) Vodoprivredu (opskrbu vodom);
- c) Proizvodnju hidroenergije;
- d) Zaštitu okoliša (požari, zagađenja i devastacija okoliša).

Najintenzivnije se provodi interdisciplinarna analiza suše vezana za poljoprivrednu proizvodnju. Velika pažnja se zadnjih decenija usmjerava na istraživanja vrsti biljaka otpornih na sušu te se postigao značajan napredak u smislu uzgoja biljnih vrsta otpornih na sušu. Takav uzgoj često se postiže skraćivanjem vegetacijskog ciklusa biljka. Istražuje se mogućnost uzgoja prirodnih biljaka prilagođenih bezvodnim uvjetima kao kulturnih biljaka. Razvijeni su i brojni numerički modeli koji služe za simuliranje fizioloških procesa te tako pomažu u razumijevanju mehanizma otpornosti biljaka na nedostatak vode. Također se uvelike razvijaju razne tehnike upravljanja i gospodarenja tлом u cilju očuvanja njegovih vodnih resursa. Cilj je poboljšanje hidroloških svojstava tla i smanjenje gubitaka vlage na minimum. Ove tehnike prvo su se počele primjenjivati u suhim područjima SAD-a, Australije i Izraela, a posljednjih desetak godina intenzivno se uvode i u mediteranskom dijelu Europe. Njihovom primjenom poboljšava se retencioniranje vode u površinskom sloju tla, smanjuje se otjecanje s poljoprivrednih površina te se povećava infiltracija te njenom ravnomjerno prostiranje duž čitavog zemljišta. Također se upotrebljavaju kemijska sredstva s ciljem poboljšanja skladištenja vode u tlu, smanjena evapotranspiracija i gubitaka procjeđivanjem no ona su našla u praksi na brojna ograničenja, uglavnom ekomske prirode.

Kako bi se postigla bolja mogućnost prognoze suše potrebno je provoditi detaljna mjerena a zatim i analize klimatskih parametara pojedine regije. Kogan (2002.) je opisao novu metodu daljinskog mjerena globalnih svojstava suše koristeći satelite. Metoda se sastoji od mjerena razlika radijacija u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra. Naime, zdrava vegetacija

reflektira malu količinu sunčeve radijacije u vidljivom dijelu spektra zbog viška absorpcije klorofila. Kako suša smanjuje zelenilo vegetacije, sadržaj vlage i veličinu krošnje, povećava se reflektirani dio radijacije u vidljivom dijelu spektra. Mjeranjem razlika odbijene radijacije u vidljivom i infracrvenom dijelu spektra moguće je kontinuirano pratiti razvoj suše na Zemlji ali i rano predvidjeti i pouzdanu prognozirati.

U borbi protiv suše uvelike pomažu i brojni sustavi navodnjavanja i natapanja razvijeni posljednjih desetljeća. Najšire su upotrebljavani brojni indikatori vlage u tlu koji nam daju detaljan prikaz stanja vlažnosti tla u vremenu i prostoru što je vrlo bitno za uzgoj biljaka. Koristeći podatke indikatora pokreću se sustavi navodnjavanja koji biljkama daje potrebnu količinu vode za rast. Također, razvojem sustava za navodnjavanje kap na kap, površinskog navodnjavanja i navodnjavanja kišenjem ostvaren je veliki napredak u smislu ušteda vode. U praksi se sve češće koriste prethodno upotrebljavane vode koje treba djelomično očistiti za navodnjavanje biljaka.

Jedan od većih problema u borbi protiv suše je problem određivanja realne evapotranspiracije. Postojeći modeli i izrazi nam ne daju dovoljno zadovoljavajuće rezultate koji se pouzano mogu koristiti u praksi. Najmanja točnost postiže se kod dnevnih podataka o evapotranspiraciji koji su nam potrebni sa stajališta poljoprivrede, dok se mjesecne vrijednosti mogu točnije odrediti.

Suša predstavlja vrlo složenu pojavu koju nije lako odrediti ni kvantificirati. Ipak, razvojem novih tehnologija te provođenjem kontinuiranih strategija borbe protiv suše sve veća pažnja se usmjerava na velike posljedice koje suša može prouzročiti te se nastoje spriječiti u što većoj mjeri.

## 5. ANALIZA MALIH VODA

### 5.1. Metoda praga transformacije

#### 5.1.1. Uvod

Metoda praga transformacije bazira se na odabiru optimalnog praga. Izbor praga transformacije uvelike utječe na određivanje sušnih perioda. Veličina koja se odabire kao prag može predstavljati količinu vode potrebne za ribogojilište ili za plovidbu, ili razina donje vode kod regulacijskog bazena. Prag transformacije odabire se s obzirom na dostupne podatke, svrhu i područje studije. Pretpostavka je da se suša javlja ako je vrijednost izabranog parametra niža od praga transformacije.

Ukoliko su dostupni mjesečni podaci, tipičan prag je jednak srednjem protoku (medijani) ili srednjem protoku umanjenom za jednu standardnu devijaciju:

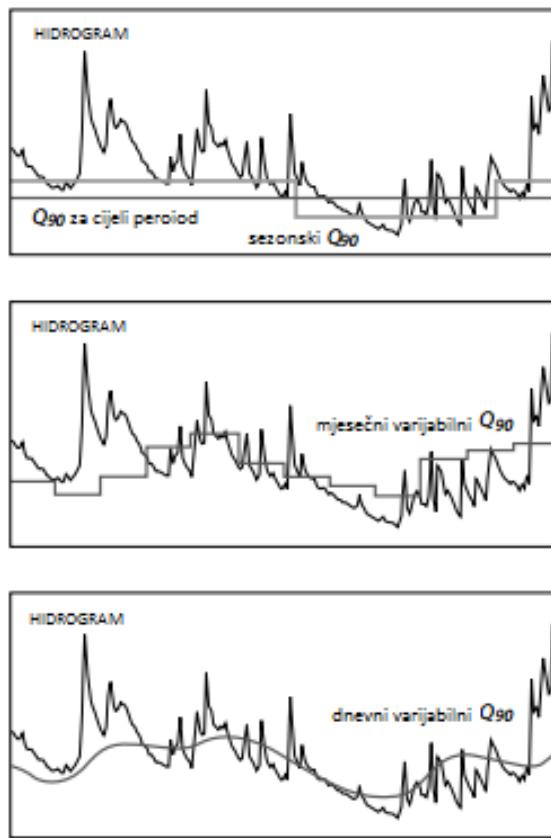
$$X_p = Q_{sr} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n};$$

$$X_p = Q_{sr} - \sigma = Q_{sr} - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{sr})^2}.$$

Ako je kao prag transformacije odabran srednji protok, tok je u deficitu 50% vremena.

Ukoliko su dostupni dnevni podaci, prag transformacije odabire se na temelju krivulje trajanja u rasponu od  $Q_{70}$  do  $Q_{90}$ . Za povremena i kratkotrajna promatranja rijeka kod kojih je često protok jednak nuli, potrebno je koristiti više postotke za prag, kao npr. srednji protok ili postotak u rasponu  $Q_5$  do  $Q_{20}$ . Alternativa tome je da se postotak računa samo na temelju vrijednosti koje su različite od nula.

Prag transformacije može biti odabran za cijelo promatrano razdoblje ili može biti varijabilan. U slučaju varijabilnog praga razlikuju se sezonski, mjesečni i dnevni varijabilni pragovi.

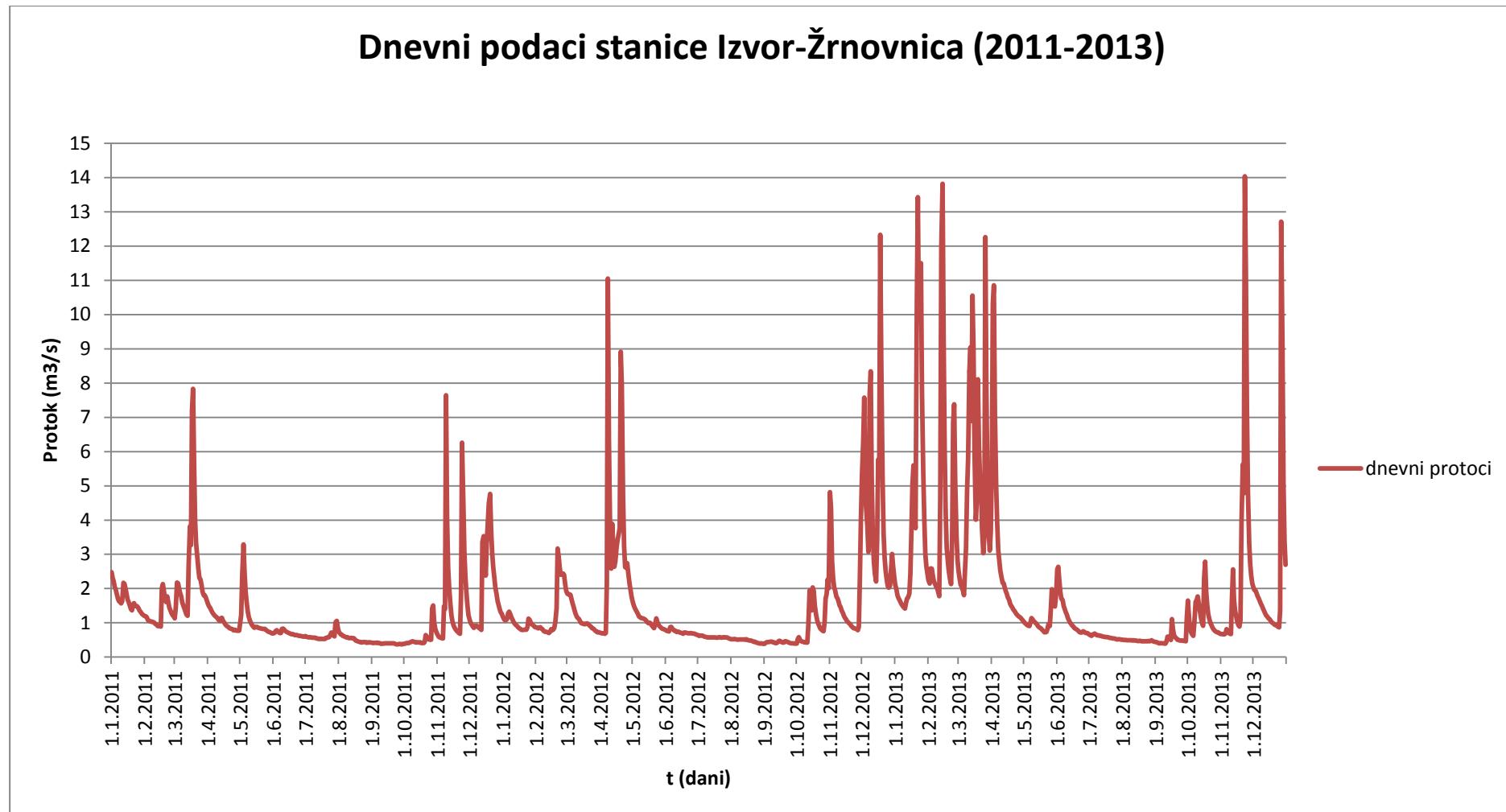


Slika 5.1. Prikaz fiksnog i sezonskog, mjesecnog i dnevnog varijabilnog praga

Prilikom odabira vrlo niskih pragova javlja se problem pojavljivanja predugog vremenskog perioda bez deficitia, odnosno bez sušnih razdoblja, a kod odabira vrlo visokih pragova javlja se problem višegodišnjih deficitia. Stoga prilikom odabira praga treba promotriti čitav period kako bi se na najoptimalniji način odredio prag transformacije.

U ovom radu analizirana je rijeka Žrnovnica u periodu od 2011. do 2013. godine. Prag transformacije određen je na temelju krivulje trajanja te na temelju srednje vrijednosti. Određen je fiksni prag transformacije za cijelo promatrano razdoblje kao i varijabilni sezonski i godišnji pragovi. Data je usporedba odabranih pragova te intenziteti i jačine pojedinih sušnih perioda dobivenih na temelju pragova.

Na slici 5.2. prikazan je hidrogram pripadajućeg razdoblja.



Slika 5.2. Hidrogram rijeke Žrnovnice (2011.-2013.)

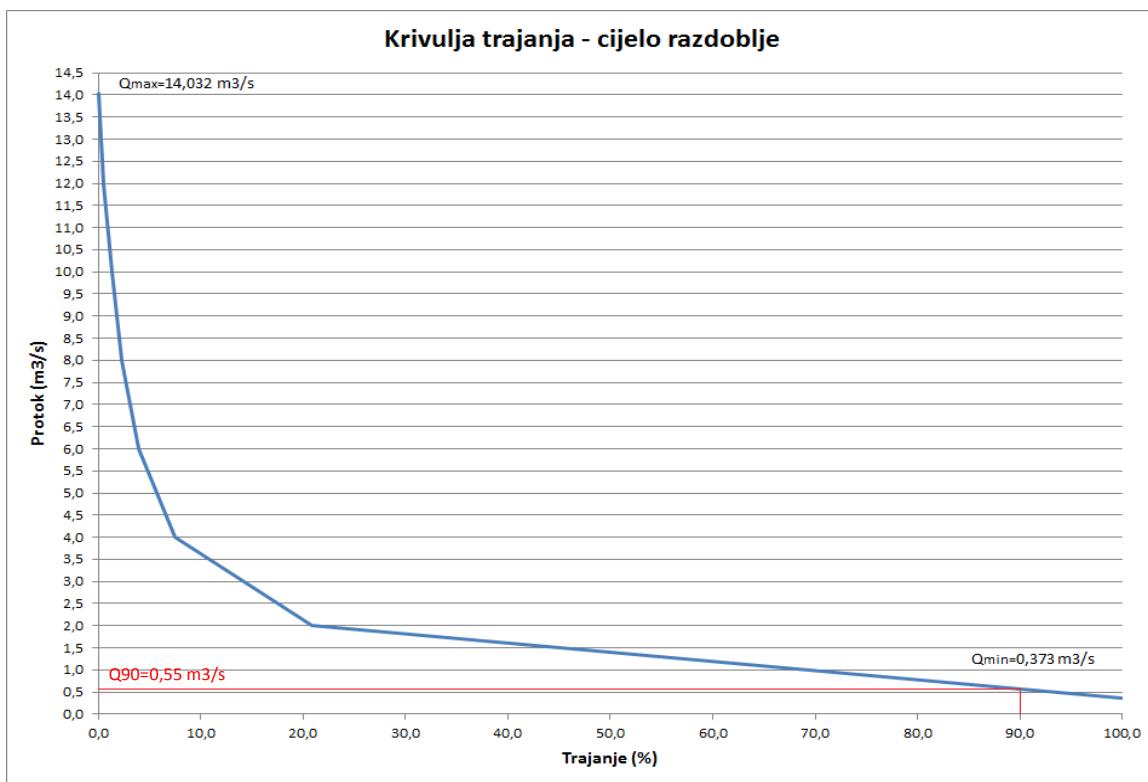
### 5.1.2. Određivanje praga transformacije na temelju krivulje trajanja

#### 5.1.2.1. Fiksni prag transformacije za cijelo promatrano razdoblje

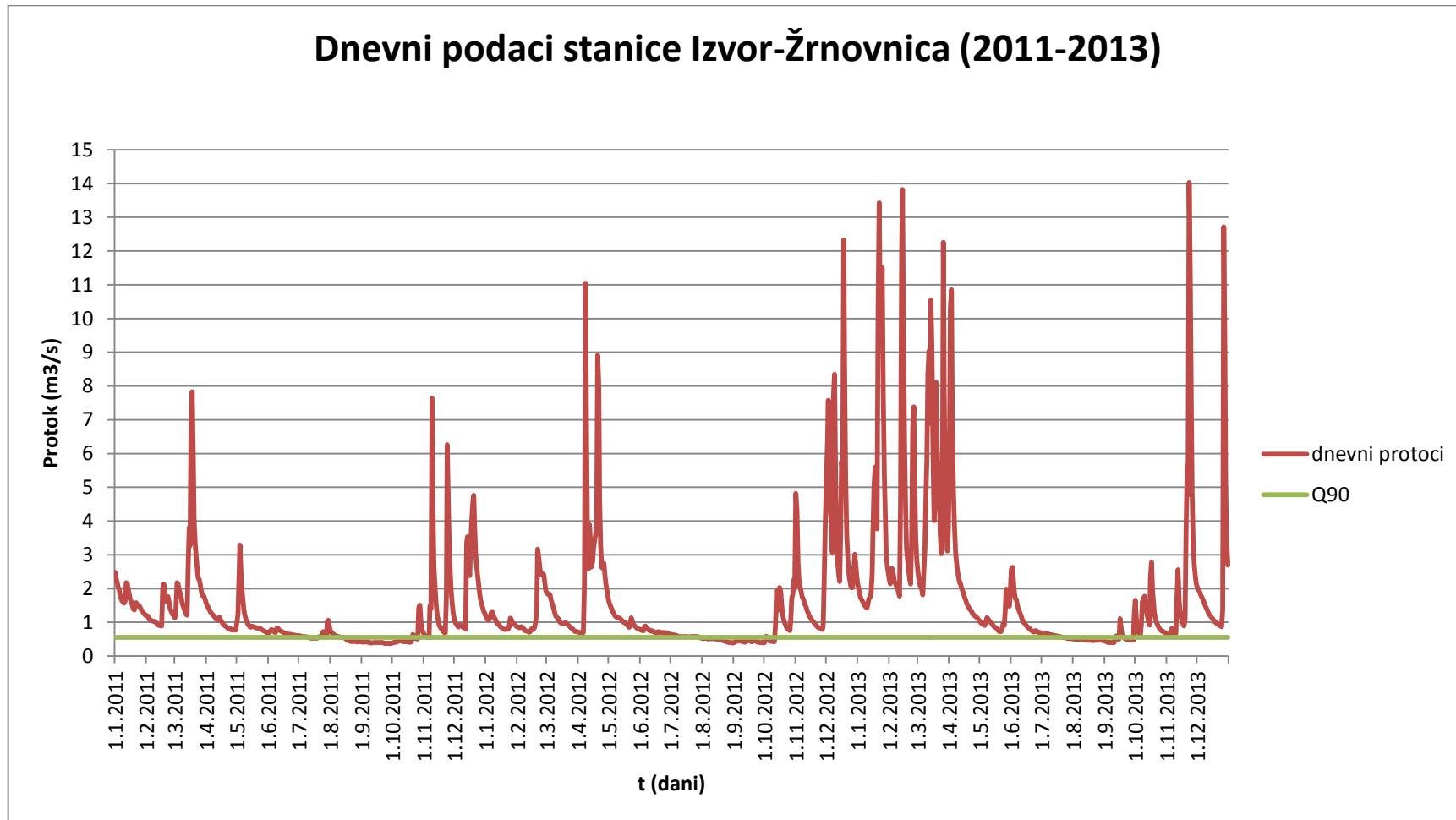
Na temelju krivulje trajanja za rijeku Žrnovnicu u periodu od 2011. do 2013. godine određen je prag  $Q_{90}$ . U tablici 5.1. je prikazan postupak izrade krivulje trajanja za odabrano razdoblje. Na slici 5.3. prikazana je krivulja trajanja te odabrani  $Q_{90}$ . Na slici 5.4. prikazan je hidrogram za cijelo razdoblje sa odabranim pragom transformacije.

| Razdoblje  |        | Učestalost |        | Trajanje |        |
|------------|--------|------------|--------|----------|--------|
| Redni broj | Raspon | Dan        | %      | Dan      | %      |
| 1          | 14-16  | 1          | 0,093  | 1        | 0,093  |
| 2          | 12-14  | 5          | 0,456  | 6        | 0,549  |
| 3          | 10-12  | 9          | 0,821  | 15       | 1,370  |
| 4          | 8-10   | 10         | 0,912  | 25       | 2,282  |
| 5          | 6-8    | 18         | 1,642  | 43       | 3,924  |
| 6          | 4-6    | 39         | 3,558  | 82       | 7,482  |
| 7          | 2-4    | 146        | 13,321 | 228      | 20,803 |
| 8          | 0-2    | 868        | 79,197 | 1096     | 100    |

Tabela 5.1. Izračun krivulje trajanja za period 2011.-2013.



Slika 5.3. Krivulja trajanja za period 2011.-2013



Slika 5.4. Hidrogram sa odabranim fiksnim pragom transformacije

### 5.1.2.2. *Varijabilni sezonski prag transformacije (1. travnja – 1. listopada)*

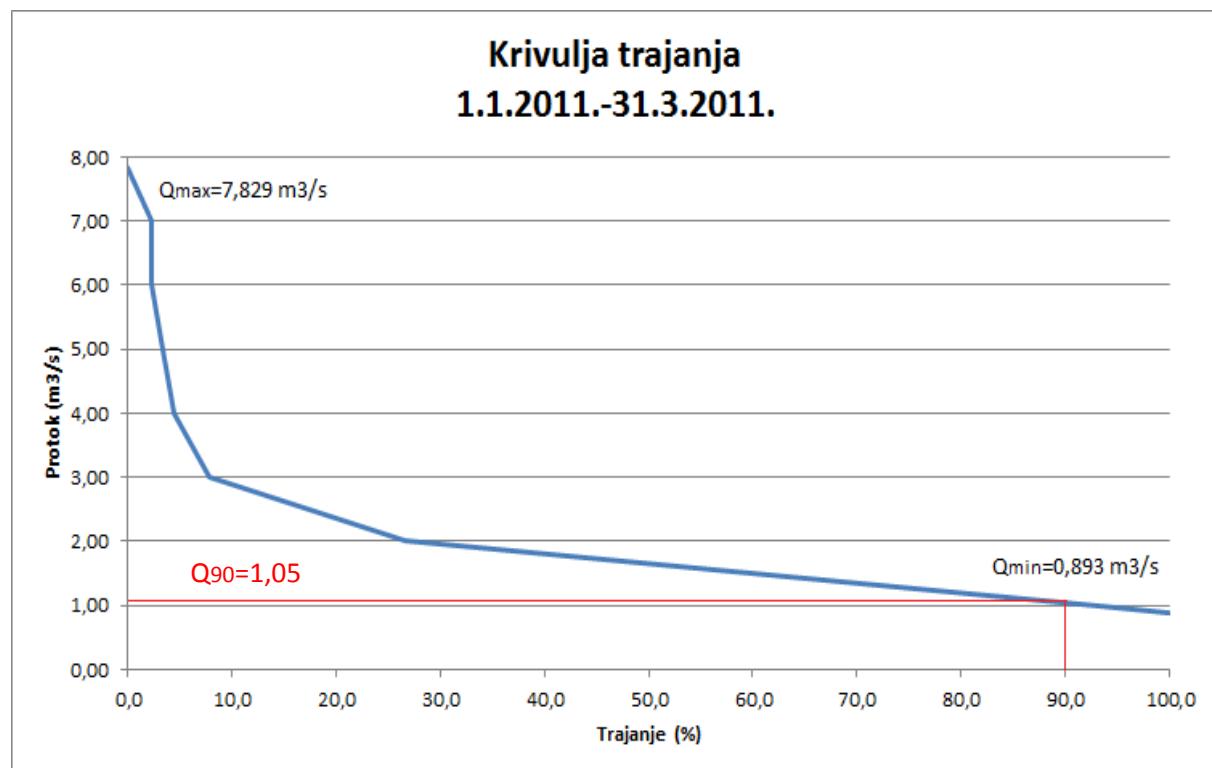
Promatrani period dijeli se na 7 podrazdoblja temeljenih na zimskim i ljetnim sezonomama:

- 1.) 1.1.2011.-31.3.2011.;
- 2.) 1.4.2011.-30.9.2011.;
- 3.) 1.10.2011.-31.3.2012.;
- 4.) 1.4.2012.-30.9.2012.;
- 5.) 1.10.2012.-31.3.2013.;
- 6.) 1.4.2013.-30.9.2013.;
- 7.) 1.10.2013.-31.12.2013.

Za svaki navedeni period proveden je postupak određivanja krivulje trajanja koji je prikazan u tablicama 5.2.-5.8. Na slikama 5.5.-5.11. prikazane su krivulje trajanja za svaku navedenu sezonu sa određenim  $Q_{90}$ . Na slici 5.12. prikazan je hidrogram sa varijabilnim sezonskim pragom transformacije.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|---------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 7,0-8,0 | 2          | 2,222  | 2        | 2,222   |
| 2          | 6,0-7,0 | 0          | 0,000  | 2        | 2,222   |
| 3          | 5,0-6,0 | 1          | 1,111  | 3        | 3,333   |
| 4          | 4,0-5,0 | 1          | 1,111  | 4        | 4,444   |
| 5          | 3,0-4,0 | 3          | 3,333  | 7        | 7,778   |
| 6          | 2,0-3,0 | 17         | 18,889 | 24       | 26,667  |
| 7          | 1,0-2,0 | 60         | 66,667 | 84       | 93,333  |
| 8          | 0-1,0   | 6          | 6,667  | 90       | 100,000 |

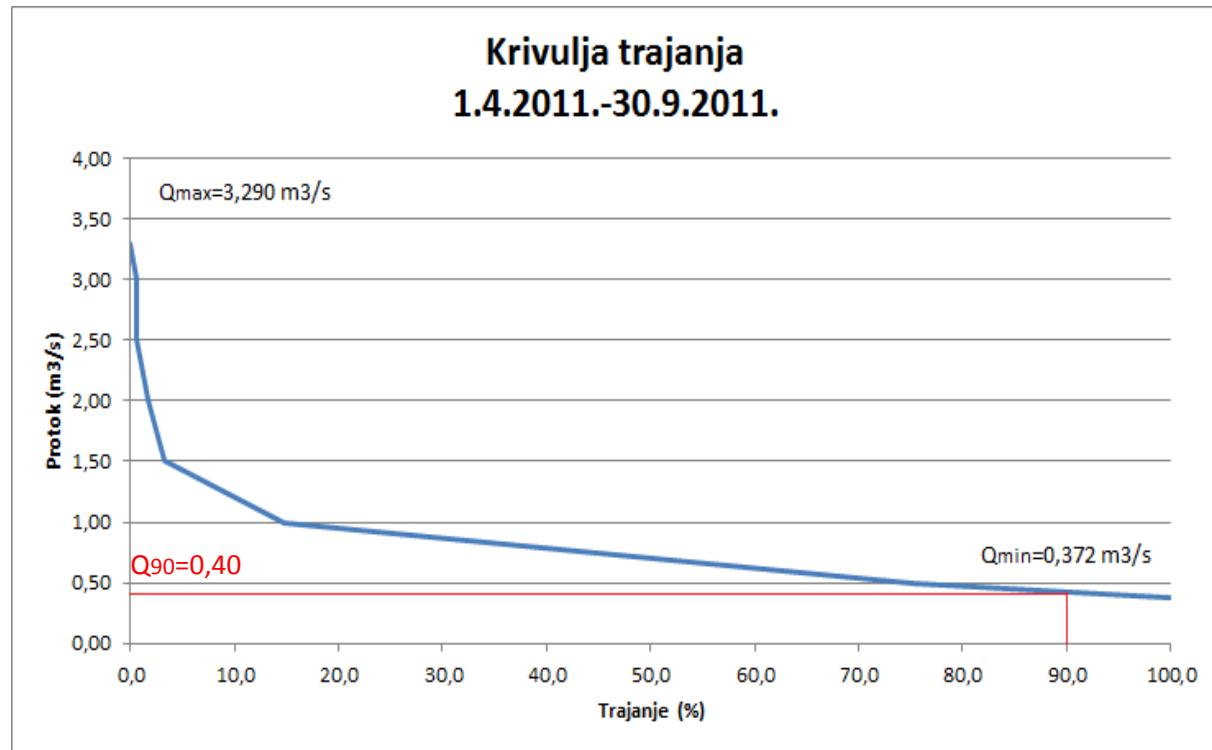
Tabela 5.2. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-31.3.2011.



Slika 5.5. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-31.3.2011.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |        |
|------------|---------|------------|--------|----------|--------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %      |
| 1          | 3,0-3,5 | 1          | 0,546  | 1        | 0,546  |
| 2          | 2,5-3,0 | 0          | 0      | 1        | 0,546  |
| 3          | 2,0-2,5 | 2          | 1,093  | 3        | 1,639  |
| 4          | 1,5-2,0 | 3          | 3,333  | 6        | 3,279  |
| 5          | 1,0-1,5 | 21         | 11,475 | 27       | 14,754 |
| 6          | 0,5-1,0 | 111        | 60,656 | 138      | 75,410 |
| 7          | 0-0,5   | 45         | 24,590 | 183      | 100    |

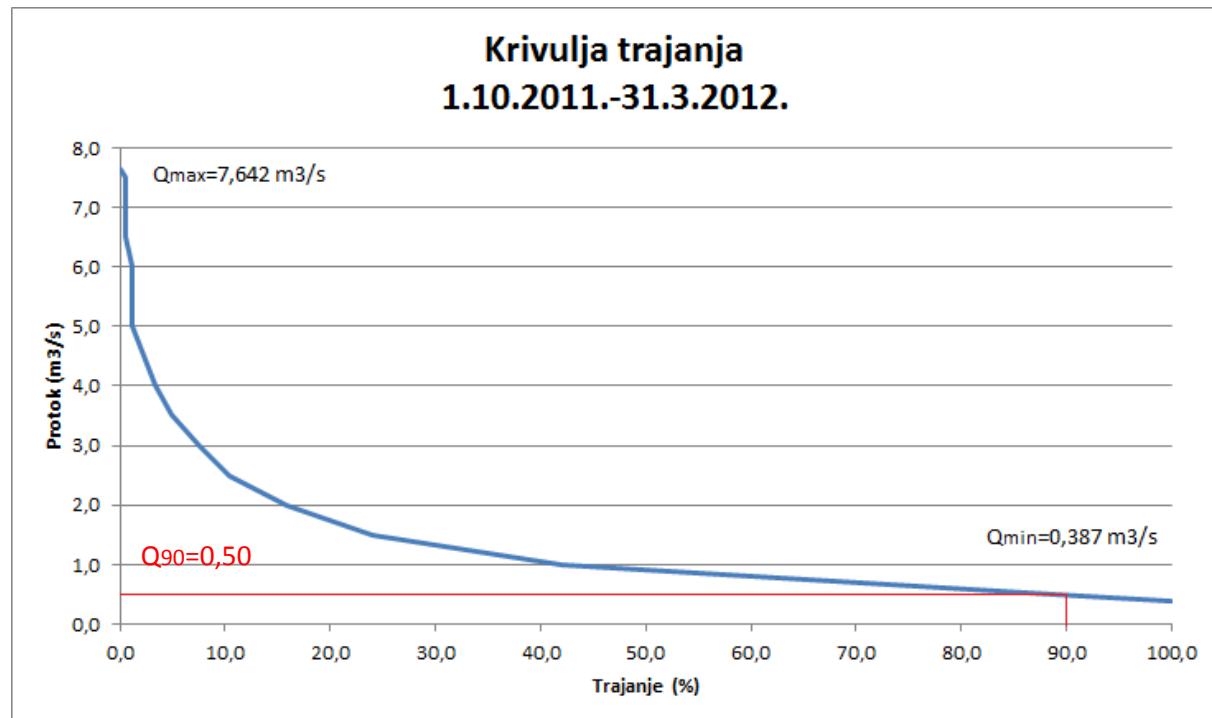
Tabela 5.3. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2011.-30.9.2011.



Slika 5.6. Krivulja trajanja za period 1.4.2011.-30.9.2011.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |        |
|------------|---------|------------|--------|----------|--------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %      |
| 1          | 7,5-8,0 | 1          | 0,564  | 1        | 0,546  |
| 2          | 7,0-7,5 | 0          | 0      | 1        | 0,546  |
| 3          | 6,5-7,0 | 0          | 0      | 1        | 0,546  |
| 4          | 6,0-6,5 | 1          | 0,564  | 2        | 1,093  |
| 5          | 5,5-6,0 | 0          | 0      | 2        | 1,093  |
| 6          | 5,0-5,5 | 0          | 0      | 2        | 1,093  |
| 7          | 4,5-5,0 | 2          | 1,093  | 4        | 2,186  |
| 8          | 4,0-4,5 | 2          | 1,093  | 6        | 3,279  |
| 9          | 3,5-4,0 | 3          | 1,639  | 9        | 4,918  |
| 10         | 3,0-3,5 | 5          | 2,732  | 14       | 7,650  |
| 11         | 2,5-3,0 | 5          | 2,732  | 19       | 10,383 |
| 12         | 2,0-2,5 | 10         | 5,464  | 29       | 15,847 |
| 13         | 1,5-2,0 | 15         | 8,197  | 44       | 24,044 |
| 14         | 1,0-1,5 | 33         | 18,033 | 77       | 42,077 |
| 15         | 0,5-1,0 | 86         | 46,995 | 163      | 89,071 |
| 16         | 0-0,5   | 20         | 10,929 | 183      | 100    |

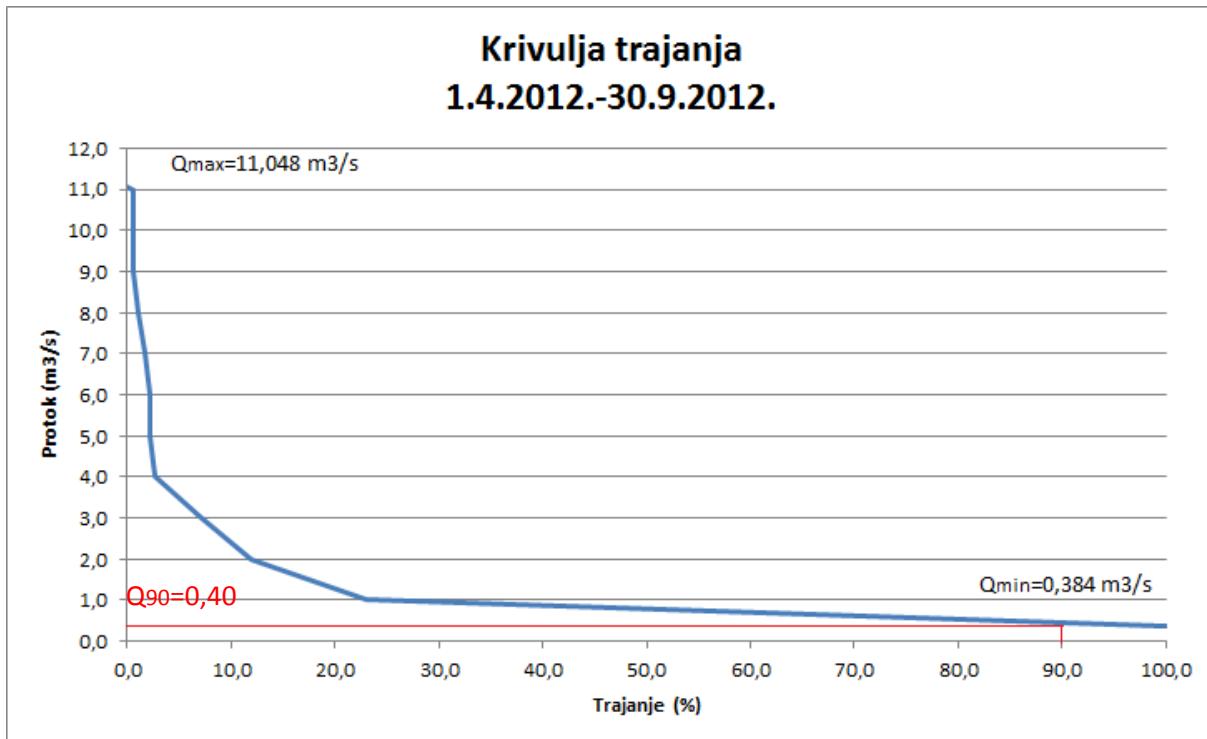
Tabela 5.4. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2011.-31.3.2012.



Slika 5.7. Krivulja trajanja za period 1.10.2011.-31.3.2012.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 11,0-12,0 | 1          | 0,546  | 1        | 0,546   |
| 2          | 10,0-11,0 | 0          | 0,000  | 1        | 0,546   |
| 3          | 9,0-10,0  | 0          | 0,000  | 1        | 0,546   |
| 4          | 8,0-9,0   | 1          | 0,546  | 2        | 1,093   |
| 5          | 7,0-8,0   | 1          | 0,546  | 3        | 1,639   |
| 6          | 6,0-7,0   | 1          | 0,546  | 4        | 2,186   |
| 7          | 5,0-6,0   | 0          | 0,000  | 4        | 2,186   |
| 8          | 4,0-5,0   | 1          | 0,546  | 5        | 2,732   |
| 9          | 3,0-4,0   | 8          | 4,372  | 13       | 7,104   |
| 10         | 2,0-3,0   | 9          | 4,918  | 22       | 12,022  |
| 11         | 1,0-2,0   | 20         | 10,929 | 42       | 22,951  |
| 12         | 0-1,0     | 141        | 77,049 | 183      | 100,000 |

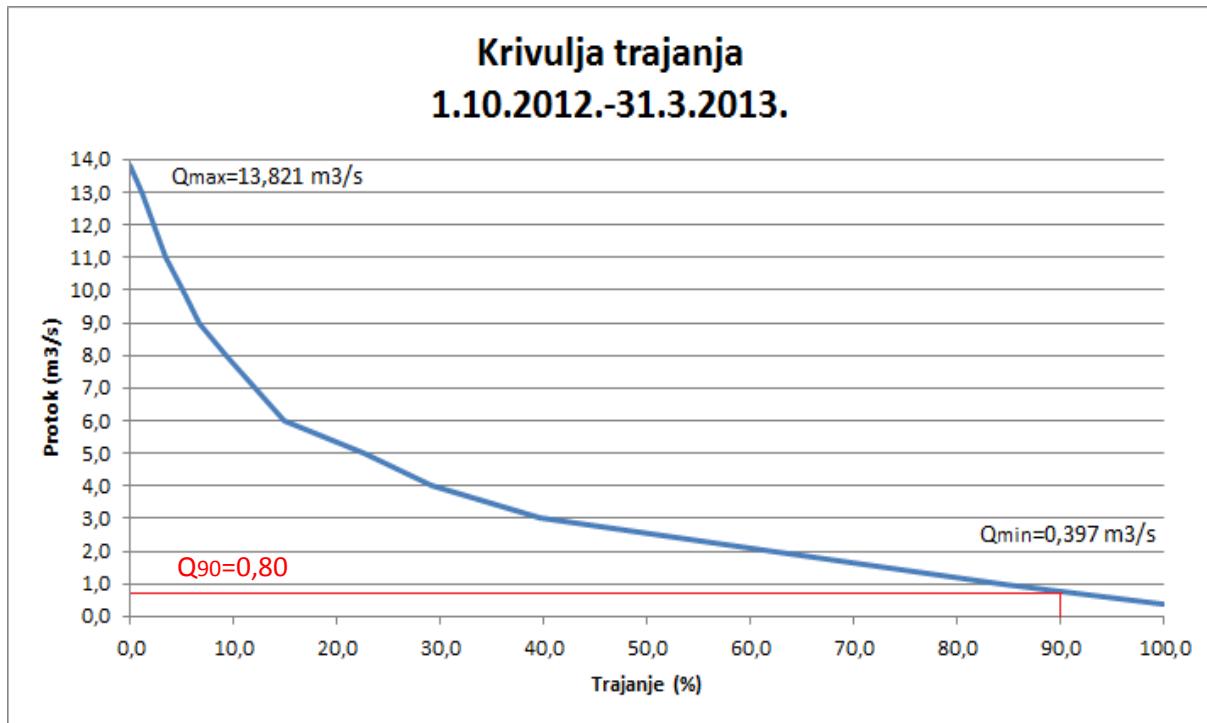
Tabela 5.5. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2012.-30.9.2012.



Slika 5.8. Krivulja trajanja za period 1.4.2012.-30.9.2012.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |        |
|------------|-----------|------------|--------|----------|--------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %      |
| 1          | 13,0-14,0 | 2          | 1,099  | 2        | 1,099  |
| 2          | 12,0-13,0 | 2          | 1,099  | 4        | 2,198  |
| 3          | 11,0-12,0 | 2          | 1,099  | 6        | 3,297  |
| 4          | 10,0-11,0 | 3          | 1,648  | 9        | 4,945  |
| 5          | 9,0-10,0  | 3          | 1,648  | 12       | 6,593  |
| 6          | 8,0-9,0   | 5          | 2,747  | 17       | 9,341  |
| 7          | 7,0-8,0   | 5          | 2,747  | 22       | 12,088 |
| 8          | 6,0-7,0   | 5          | 2,747  | 27       | 14,835 |
| 9          | 5,0-6,0   | 14         | 7,692  | 41       | 22,527 |
| 10         | 4,0-5,0   | 12         | 6,593  | 53       | 29,121 |
| 11         | 3,0-4,0   | 19         | 10,440 | 72       | 39,560 |
| 12         | 2,0-3,0   | 42         | 23,077 | 114      | 62,637 |
| 13         | 1,0-2,0   | 40         | 21,978 | 154      | 84,615 |
| 14         | 0-1,0     | 28         | 15,385 | 182      | 100    |

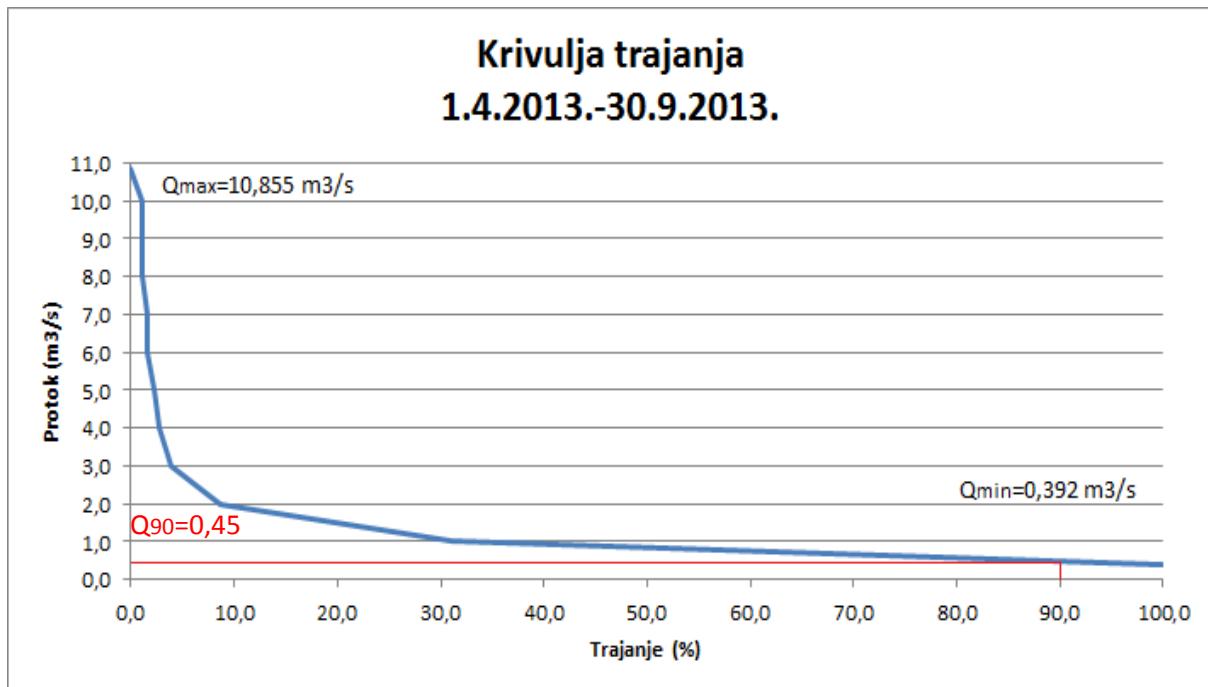
Tabela 5.6. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2012.-31.3.2013.



Slika 5.9. Krivulja trajanja za period 1.10.2012.-31.3.2013.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |        |
|------------|-----------|------------|--------|----------|--------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %      |
| 1          | 10,0-11,0 | 2          | 1,093  | 2        | 1,093  |
| 2          | 9,0-10,0  | 0          | 0      | 2        | 1,093  |
| 3          | 8,0-9,0   | 0          | 0      | 2        | 1,093  |
| 4          | 7,0-8,0   | 1          | 0,546  | 3        | 1,639  |
| 5          | 6,0-7,0   | 0          | 0      | 3        | 1,639  |
| 6          | 5,0-6,0   | 1          | 0,546  | 4        | 2,186  |
| 7          | 4,0-5,0   | 1          | 0,546  | 5        | 2,732  |
| 8          | 3,0-4,0   | 2          | 1,093  | 7        | 3,825  |
| 9          | 2,0-3,0   | 9          | 4,918  | 16       | 8,743  |
| 10         | 1,0-2,0   | 41         | 22,404 | 57       | 31,148 |
| 11         | 0-1,0     | 126        | 68,852 | 183      | 100    |

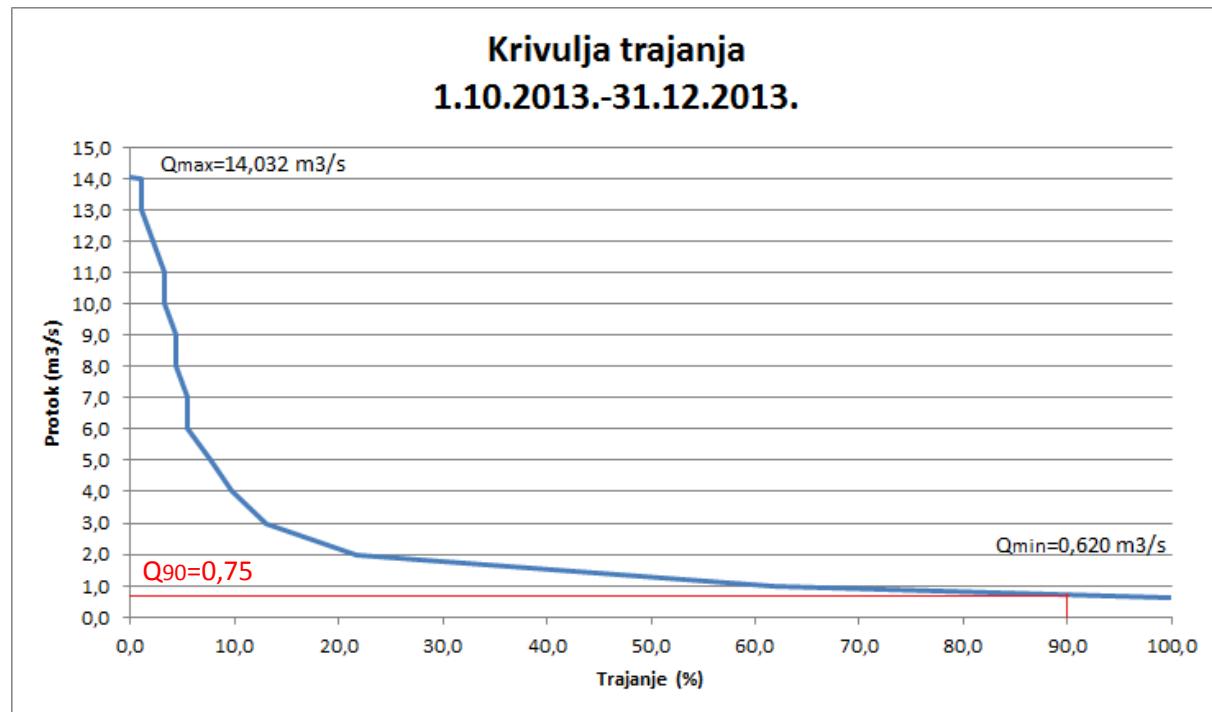
Tabela 5.7. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2013.-30.9.2013.



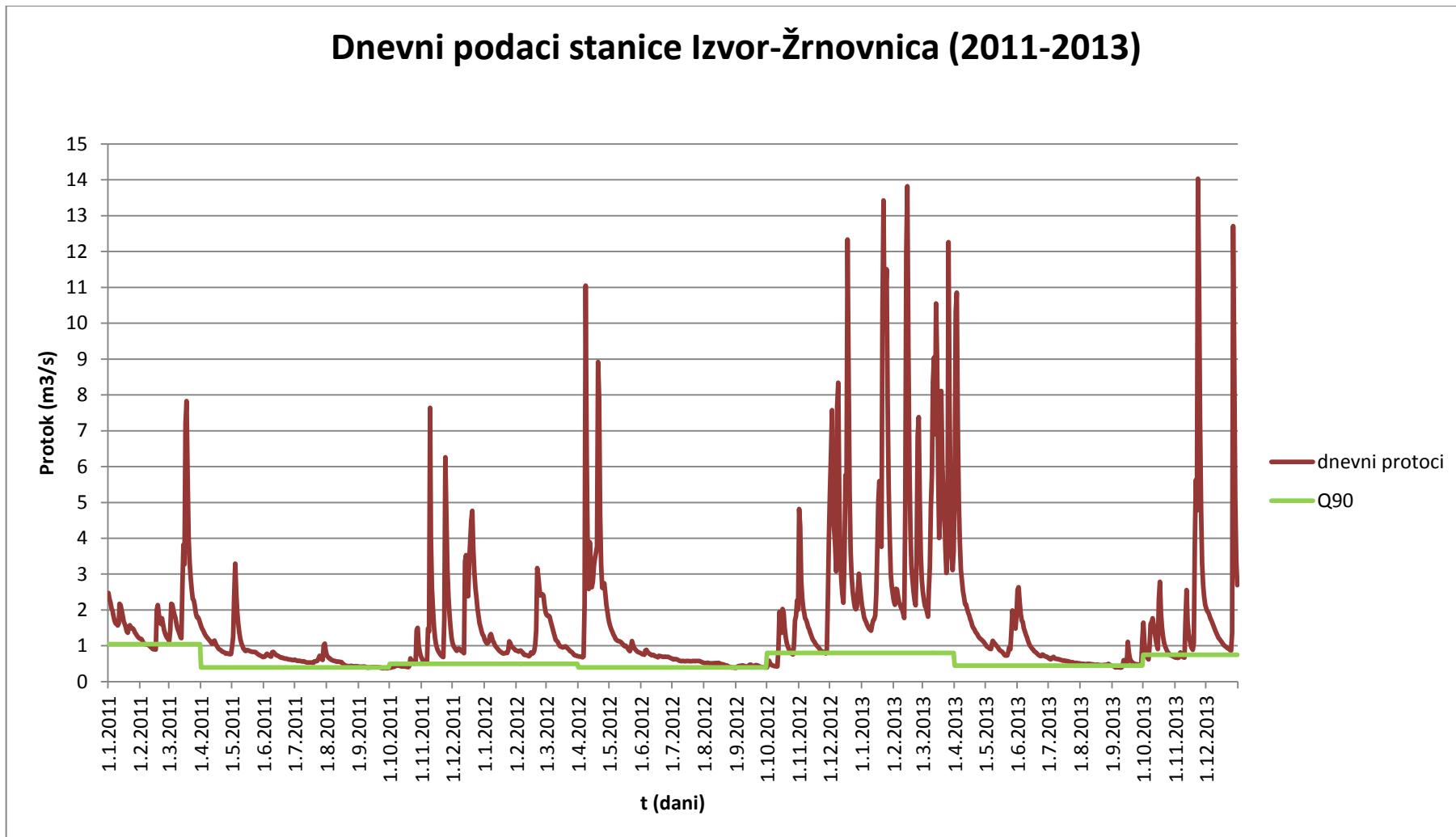
Slika 5.10. Krivulja trajanja za period 1.4.2013.-30.9.2013.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 14,0-15,0 | 1          | 1,087  | 1,00     | 1,087   |
| 2          | 13,0-14,0 | 0          | 0,000  | 1,00     | 1,087   |
| 3          | 12,0-13,0 | 1          | 1,087  | 2,00     | 2,174   |
| 4          | 11,0-12,0 | 1          | 1,087  | 3,00     | 3,261   |
| 5          | 10,0-11,0 | 0          | 0,000  | 3,00     | 3,261   |
| 6          | 9,0-10,0  | 1          | 1,087  | 4,00     | 4,348   |
| 7          | 8,0-9,0   | 0          | 0,000  | 4,00     | 4,348   |
| 8          | 7,0-8,0   | 1          | 1,087  | 5,00     | 5,435   |
| 9          | 6,0-7,0   | 0          | 0,000  | 5,00     | 5,435   |
| 10         | 5,0-6,0   | 2          | 2,174  | 7,00     | 7,609   |
| 11         | 4,0-5,0   | 2          | 2,174  | 9,00     | 9,783   |
| 12         | 3,0-4,0   | 3          | 3,261  | 12,00    | 13,043  |
| 13         | 2,0-3,0   | 8          | 8,696  | 20,00    | 21,739  |
| 14         | 1,0-2,0   | 37         | 40,217 | 57,00    | 61,957  |
| 15         | 0-1,0     | 35         | 38,043 | 92,00    | 100,000 |

Tabela 5.8. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.



Slika 5.11. Krivulja trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.



Slika 5.12. Hidrogram sa odabranim variabilnim sezonskim pragom transformacije

### 5.1.2.3. *Varijabilni sezonski prag transformacije (1. svibnja - 1. listopada)*

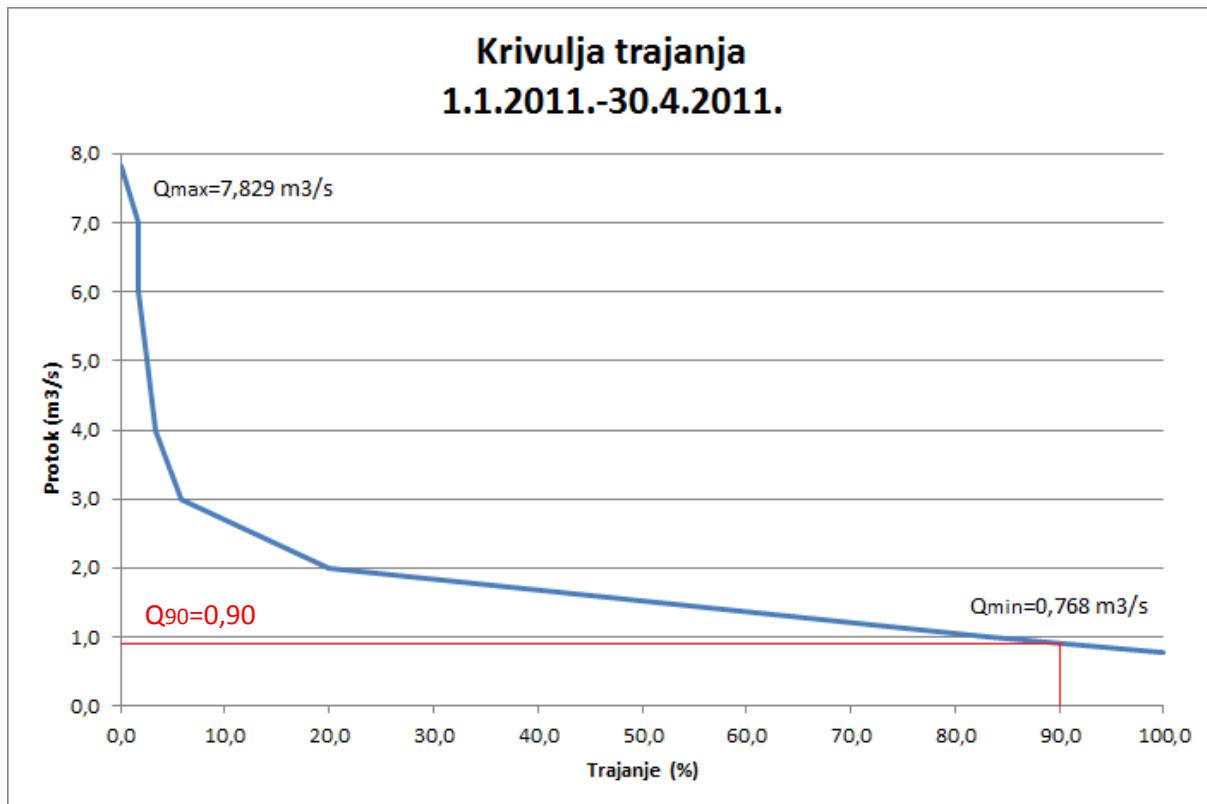
Promatrani period dijeli se na 7 podrazdoblja temeljenih na hidrološkim zimskim i ljetnim sezonomama:

- 1.) 1.1.2011.-30.4.2011.;
- 2.) 1.5.2011.-30.9.2011.;
- 3.) 1.10.2011.-30.4.2012.;
- 4.) 1.5.2012.-30.9.2012.;
- 5.) 1.10.2012.-30.4.2013.;
- 6.) 1.5.2013.-30.9.2013.;
- 7.) 1.10.2013.-31.12.2013.

Za svaki navedeni period proveden je postupak određivanja krivulje trajanja koji je prikazan u tablicama 5.9.-5.15. Na slikama 5.13.-5.19. prikazane su krivulje trajanja za svaku navedenu sezonu sa određenim  $Q_{90}$ . Na slici 5.20. prikazan je hidrogram sa varijabilnim sezonskim pragom transformacije.

| Razdoblje |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|-----------|---------|------------|--------|----------|---------|
| 1         | 7,0-8,0 | 2          | 1,667  | 2        | 1,667   |
| 2         | 6,0-7,0 | 0          | 0,000  | 2        | 1,667   |
| 3         | 5,0-6,0 | 1          | 0,833  | 3        | 2,500   |
| 4         | 4,0-5,0 | 1          | 0,833  | 4        | 3,333   |
| 5         | 3,0-4,0 | 3          | 2,500  | 7        | 5,833   |
| 6         | 2,0-3,0 | 17         | 14,167 | 24       | 20,000  |
| 7         | 1,0-2,0 | 76         | 63,333 | 100      | 83,333  |
| 8         | 0-1,0   | 20         | 16,666 | 120      | 100,000 |

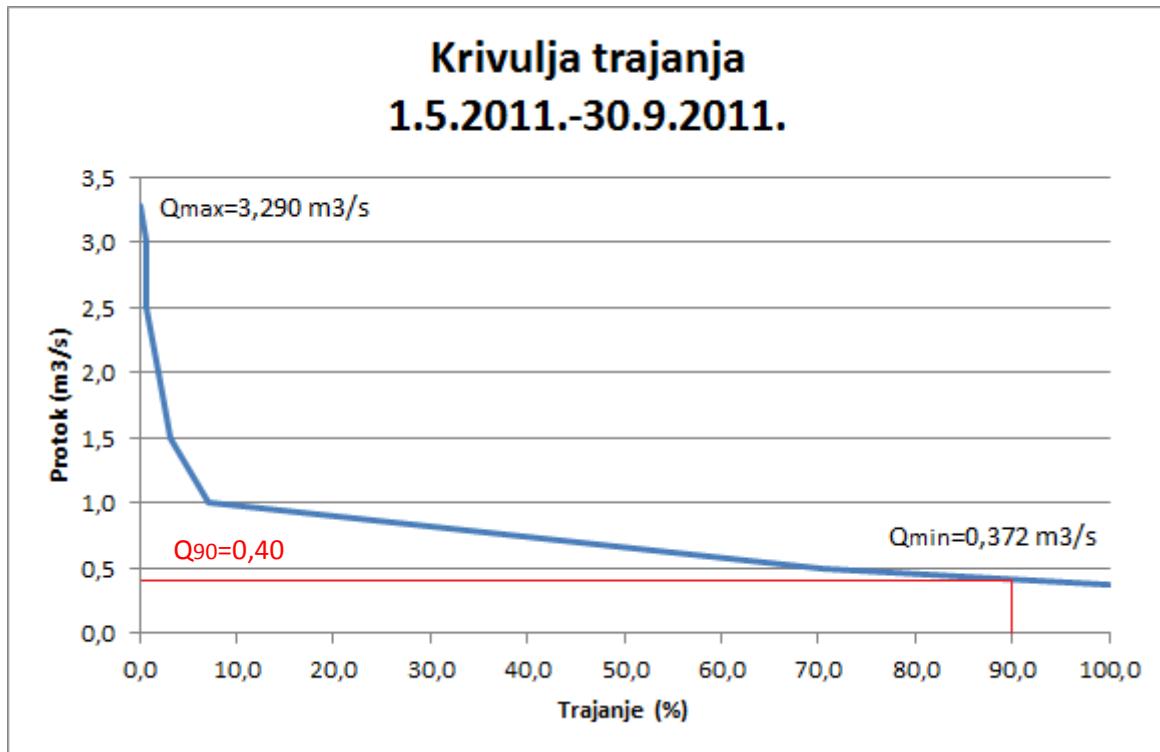
Tabela 5.9. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-30.4.2011.



Slika 5.13. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-30.4.2011.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|---------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 3,0-3,5 | 1          | 0,654  | 1        | 0,654   |
| 2          | 2,5-3,0 | 0          | 0,000  | 1        | 0,654   |
| 3          | 2,0-2,5 | 2          | 1,307  | 3        | 1,961   |
| 4          | 1,5-2,0 | 2          | 1,307  | 5        | 3,268   |
| 5          | 1,0-1,5 | 6          | 3,922  | 11       | 7,190   |
| 6          | 0,5-1,0 | 97         | 63,399 | 108      | 70,588  |
| 7          | 0-0,5   | 45         | 29,412 | 153      | 100,000 |

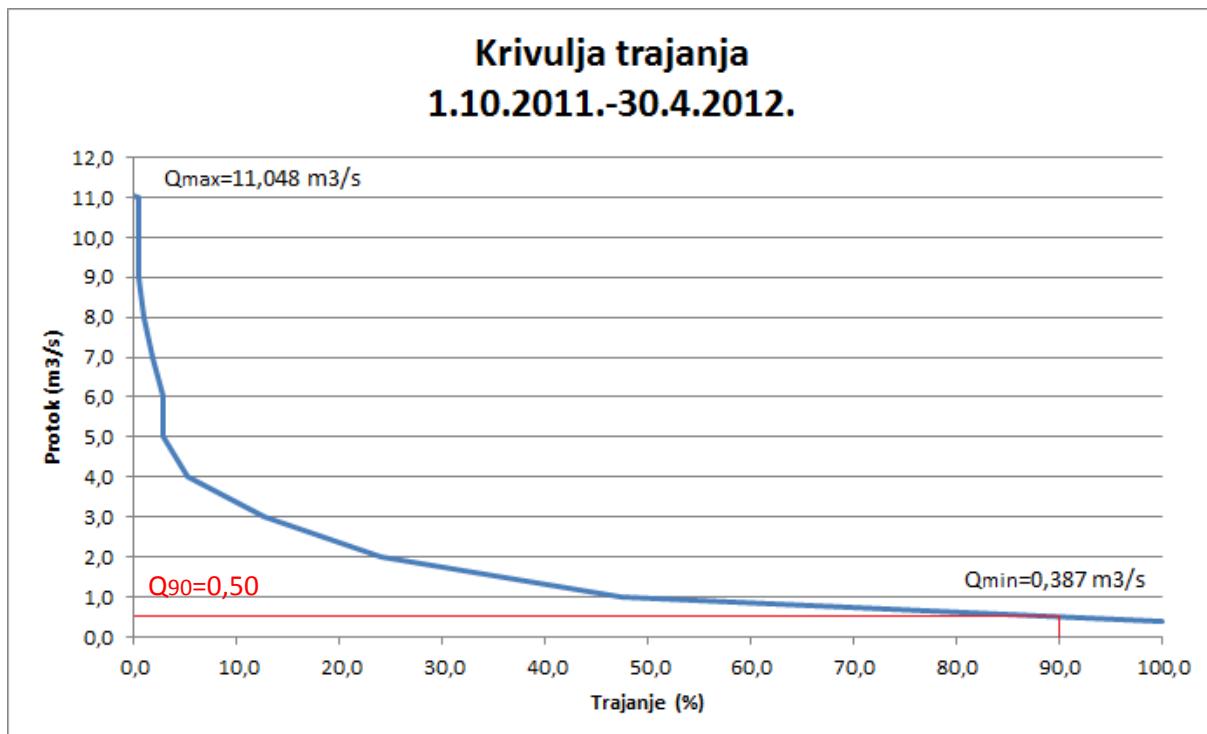
Tabela 5.10. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2011.-30.9.2011.



Slika 5.14. Krivulja trajanja za period 1.5.2011.-30.9.2011.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 11,0-12,0 | 1          | 0,469  | 1        | 0,469   |
| 2          | 10,0-11,0 | 0          | 0,000  | 1        | 0,469   |
| 3          | 9,0-10,0  | 0          | 0,000  | 1        | 0,469   |
| 4          | 8,0-9,0   | 1          | 0,469  | 2        | 0,939   |
| 5          | 7,0-8,0   | 2          | 0,939  | 4        | 1,878   |
| 6          | 6,0-7,0   | 2          | 0,939  | 6        | 2,817   |
| 7          | 5,0-6,0   | 0          | 0,000  | 6        | 2,817   |
| 8          | 4,0-5,0   | 5          | 2,347  | 11       | 5,164   |
| 9          | 3,0-4,0   | 16         | 7,512  | 27       | 12,676  |
| 10         | 2,0-3,0   | 24         | 11,268 | 51       | 23,944  |
| 11         | 1,0-2,0   | 50         | 23,474 | 101      | 47,418  |
| 12         | 0-1,0     | 112        | 52,582 | 213      | 100,000 |

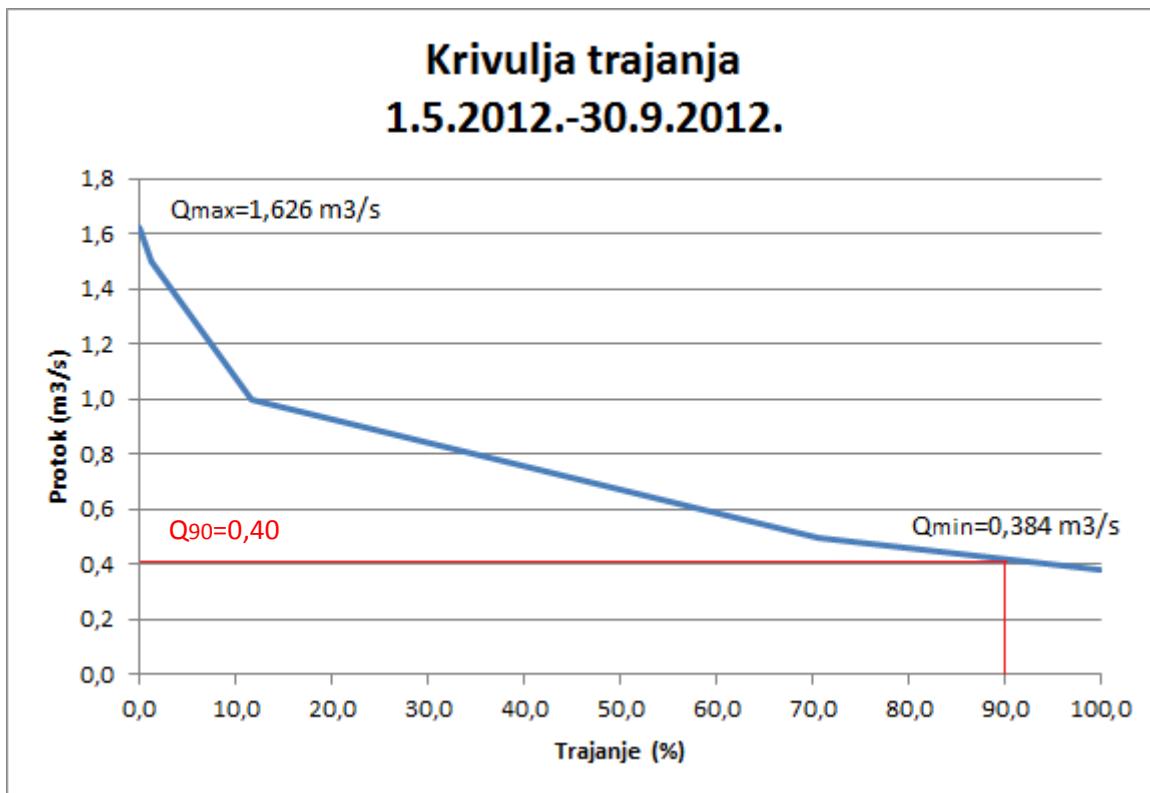
Tabela 5.11. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2011.-30.4.2012.



Slika 5.15. Krivulja trajanja za period 1.10.2011.-30.4.2012.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|---------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 1,5-2,0 | 2          | 1,307  | 2        | 1,307   |
| 2          | 1,0-1,5 | 16         | 10,458 | 18       | 11,765  |
| 3          | 0,5-1,0 | 90         | 58,824 | 108      | 70,588  |
| 4          | 0-0,5   | 45         | 29,412 | 153      | 100,000 |

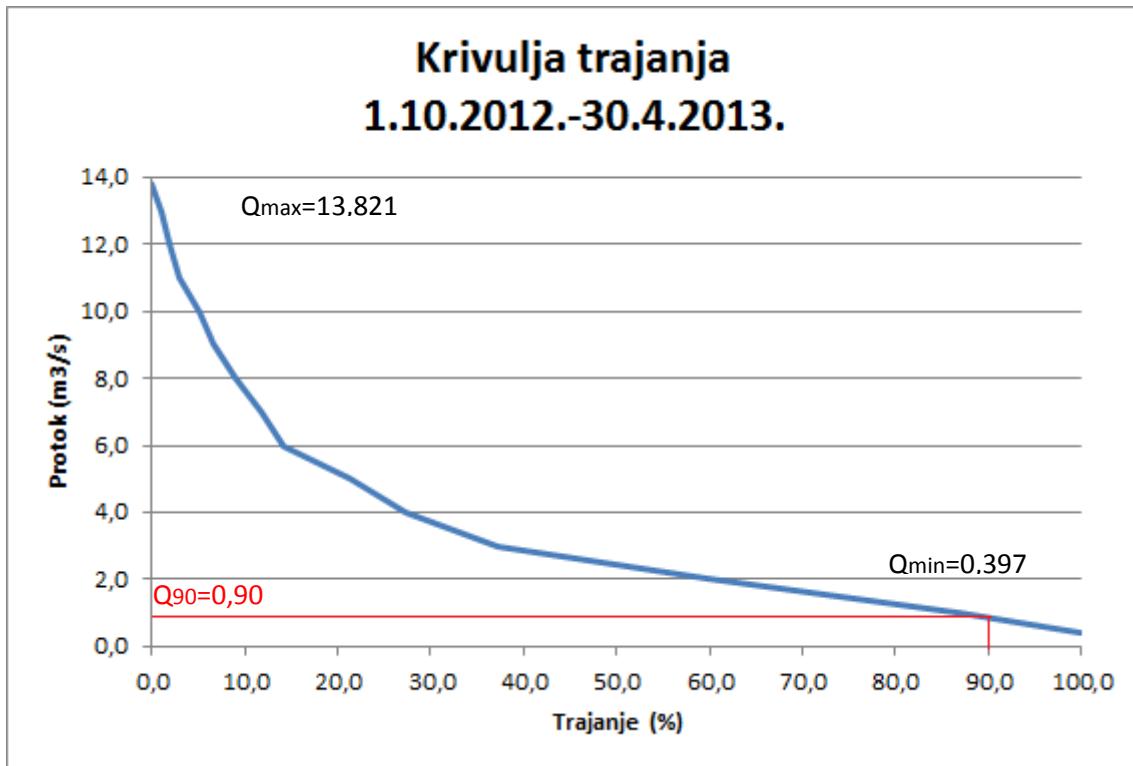
Tabela 5.12. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2012.-30.9.2012.



Slika 5.16. Krivulja trajanja za period 1.5.2012.-30.9.2012.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 13,0-14,0 | 2          | 0,943  | 2        | 0,943   |
| 2          | 12,0-13,0 | 2          | 0,943  | 4        | 1,887   |
| 3          | 11,0-12,0 | 2          | 0,943  | 6        | 2,830   |
| 4          | 10,0-11,0 | 5          | 2,358  | 11       | 5,189   |
| 5          | 9,0-10,0  | 3          | 1,415  | 14       | 6,604   |
| 6          | 8,0-9,0   | 5          | 2,358  | 19       | 8,962   |
| 7          | 7,0-8,0   | 6          | 2,830  | 25       | 11,792  |
| 8          | 6,0-7,0   | 5          | 2,358  | 30       | 14,151  |
| 9          | 5,0-6,0   | 15         | 7,075  | 45       | 21,226  |
| 10         | 4,0-5,0   | 13         | 6,132  | 58       | 27,358  |
| 11         | 3,0-4,0   | 21         | 9,906  | 79       | 37,264  |
| 12         | 2,0-3,0   | 48         | 22,642 | 127      | 59,906  |
| 13         | 1,0-2,0   | 57         | 26,887 | 184      | 86,792  |
| 14         | 0-1,0     | 28         | 13,208 | 212      | 100,000 |

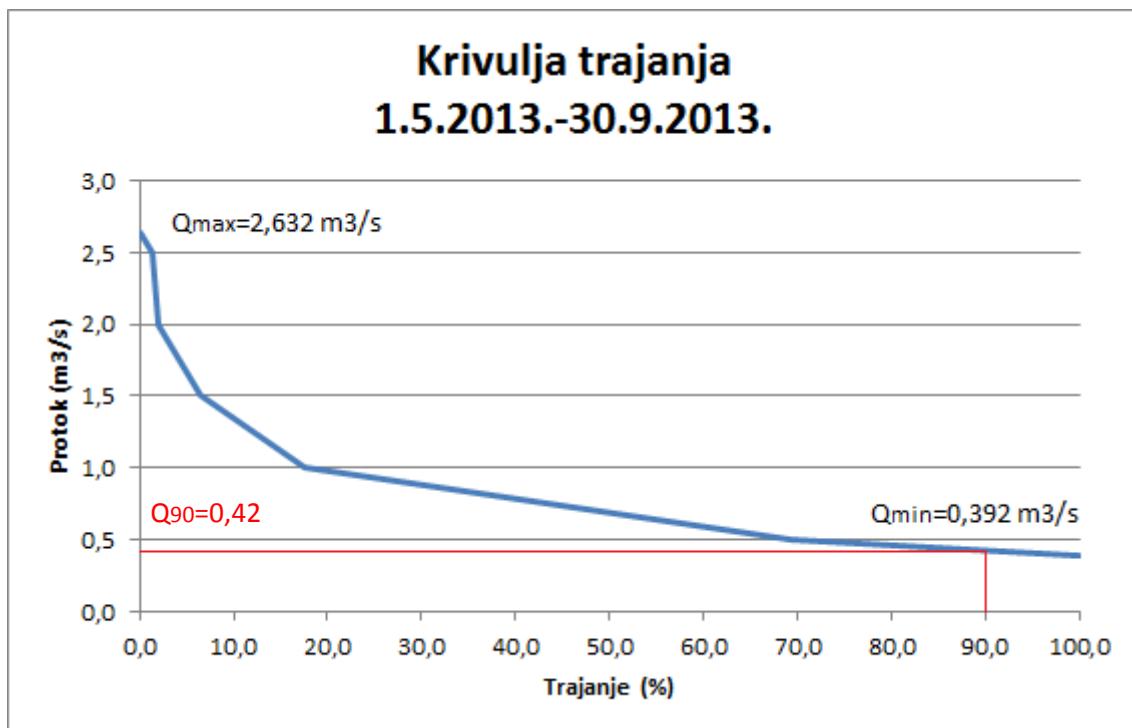
Tabela 5.13 Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2012.-30.4.2013.



Slika 5.17. Krivulja trajanja za period 1.10.2012.-30.4.2013.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|---------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 2,5-3,0 | 2          | 1,307  | 2        | 1,307   |
| 2          | 2,0-2,5 | 1          | 0,654  | 3        | 1,961   |
| 3          | 1,5-2,0 | 7          | 4,575  | 10       | 6,536   |
| 4          | 1,0-1,5 | 17         | 11,111 | 27       | 17,647  |
| 5          | 0,5-1,0 | 79         | 51,634 | 106      | 69,281  |
| 6          | 0-0,5   | 47         | 30,719 | 153      | 100,000 |

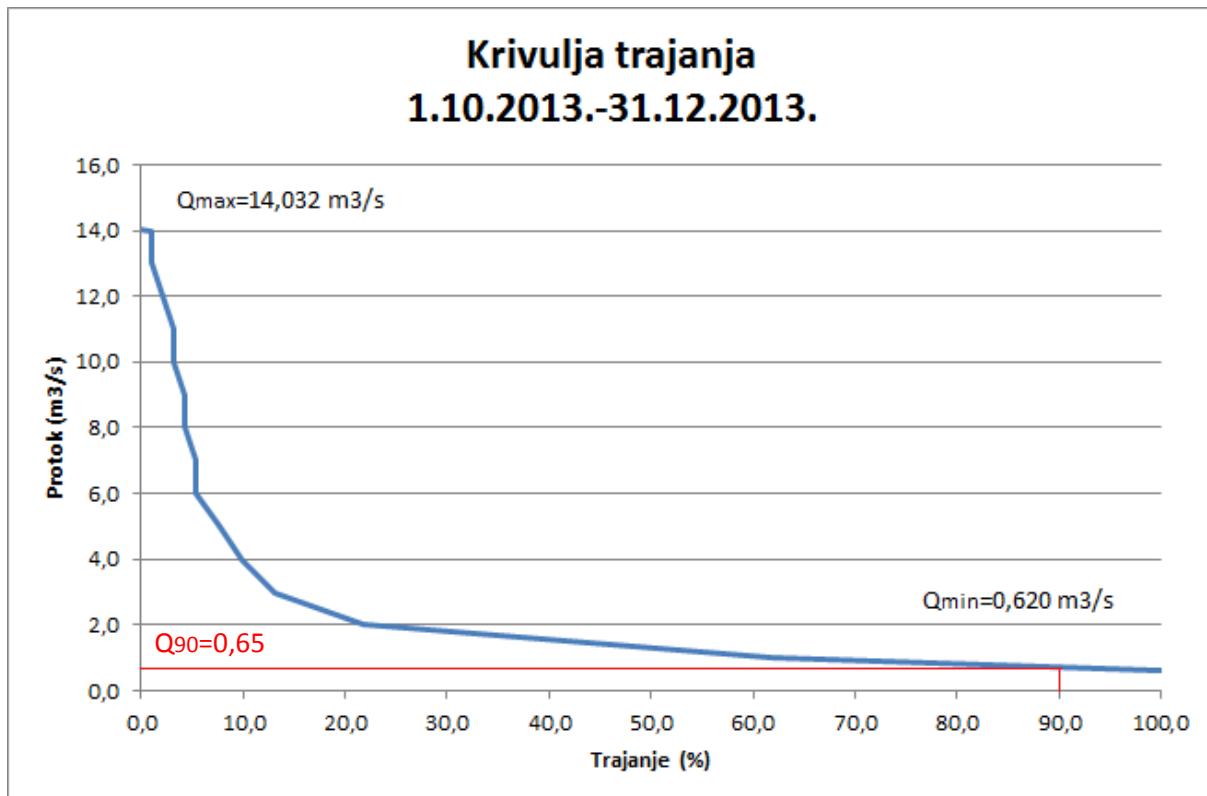
Tabela 5.14. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2013.-30.9.2013.



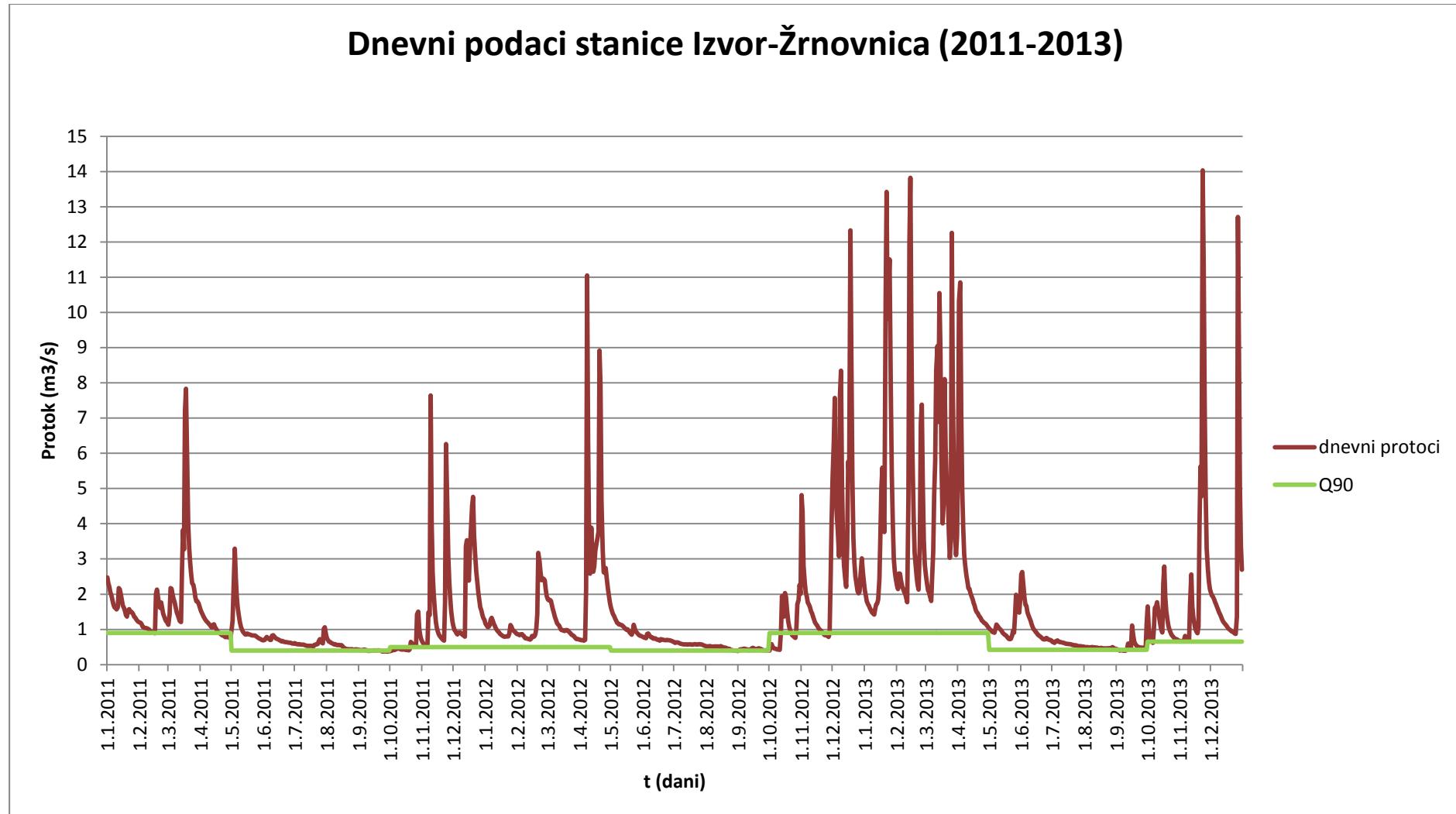
Slika 5.18. Krivulja trajanja za period 1.5.2013.-30.9.2013.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 14,0-15,0 | 1          | 1,087  | 1        | 1,087   |
| 2          | 13,0-14,0 | 0          | 0,000  | 1        | 1,087   |
| 3          | 12,0-13,0 | 1          | 1,087  | 2        | 2,174   |
| 4          | 11,0-12,0 | 1          | 1,087  | 3        | 3,261   |
| 5          | 10,0-11,0 | 0          | 0,000  | 3        | 3,261   |
| 6          | 9,0-10,0  | 1          | 1,087  | 4        | 4,348   |
| 7          | 8,0-9,0   | 0          | 0,000  | 4        | 4,348   |
| 8          | 7,0-8,0   | 1          | 1,087  | 5        | 5,435   |
| 9          | 6,0-7,0   | 0          | 0,000  | 5        | 5,435   |
| 10         | 5,0-6,0   | 2          | 2,174  | 7        | 7,609   |
| 11         | 4,0-5,0   | 2          | 2,174  | 9        | 9,783   |
| 12         | 3,0-4,0   | 3          | 3,261  | 12       | 13,043  |
| 13         | 2,0-3,0   | 8          | 8,696  | 20       | 21,739  |
| 14         | 1,0-2,0   | 37         | 40,217 | 57       | 61,957  |
| 15         | 0-1,0     | 35         | 38,044 | 92       | 100,000 |

Tabela 5.15. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.



Slika 5.19. Krivulja trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.



Slika 5.20. Hidrogram sa varijabilnim sezonskim pragom transformacije odabranim na temelju hidrološke godine

#### **5.1.2.4. Varijabilni godišnji prag transformacije**

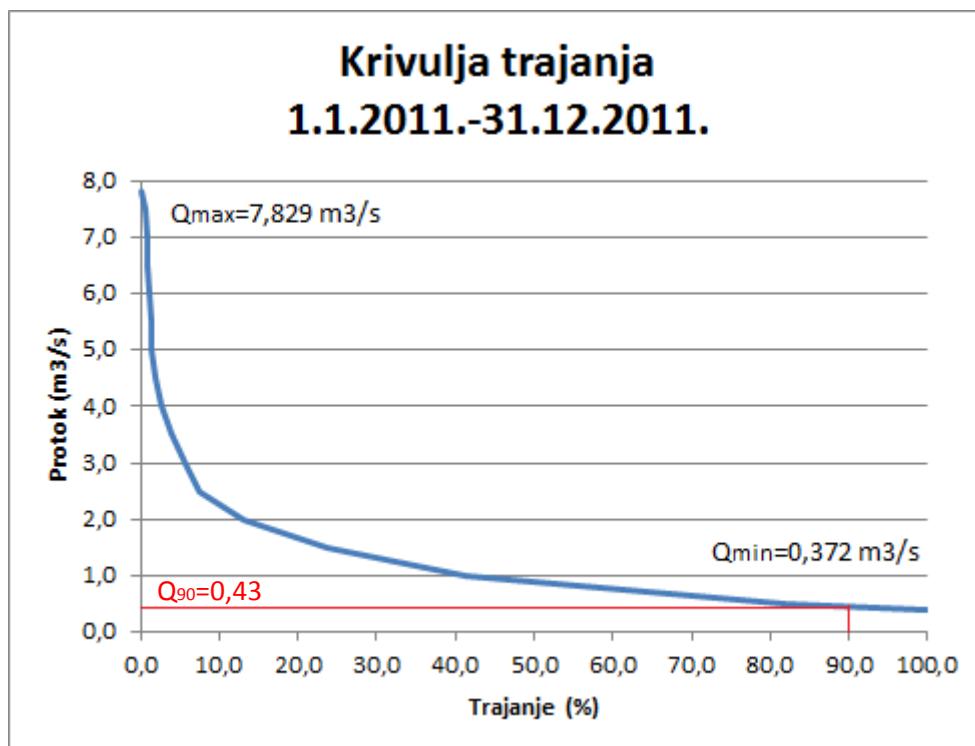
Promatrani period dijeli se na 3 podrazdoblja temeljenih na pojedinim godinama:

- 1.) 1.1.2011.-31.12.2011.;
- 2.) 1.1.2012.-31.12.2012.;
- 3.) 1.1.2013.-31.12.2013.;

Za svaki navedeni period proveden je postupak određivanja krivulje trajanja koji je prikazan u tablicama 5.16.-5.18. Na slikama 5.21.-5.23. prikazane su krivulje trajanja za svaku navedenu godinu sa određenim  $Q_{90}$ . Na slici 5.24. prikazan je hidrogram sa varijabilnim godišnjim pragom transformacije.

| Razdoblje  |         | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|---------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon  | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 7,5-8,0 | 2          | 0,548  | 2        | 0,548   |
| 2          | 7,0-7,5 | 1          | 0,274  | 3        | 0,822   |
| 3          | 6,5-7,0 | 0          | 0,000  | 3        | 0,822   |
| 4          | 6,0-6,5 | 1          | 0,274  | 4        | 1,096   |
| 5          | 5,5-6,0 | 1          | 0,274  | 5        | 1,370   |
| 6          | 5,0-5,5 | 0          | 0,00   | 5        | 1,370   |
| 7          | 4,5-5,0 | 2          | 0,548  | 7        | 1,918   |
| 8          | 4,0-4,5 | 3          | 0,822  | 10       | 2,740   |
| 9          | 3,5-4,0 | 4          | 1,096  | 14       | 3,836   |
| 10         | 3,0-3,5 | 7          | 1,918  | 21       | 5,753   |
| 11         | 2,5-3,0 | 6          | 1,644  | 27       | 7,397   |
| 12         | 2,0-2,5 | 21         | 5,753  | 48       | 13,151  |
| 13         | 1,5-2,0 | 39         | 10,685 | 87       | 23,836  |
| 14         | 1,0-1,5 | 64         | 17,534 | 151      | 41,370  |
| 15         | 0,5-1,0 | 149        | 40,822 | 300      | 82,192  |
| 16         | 0-0,5   | 65         | 17,808 | 365      | 100,000 |

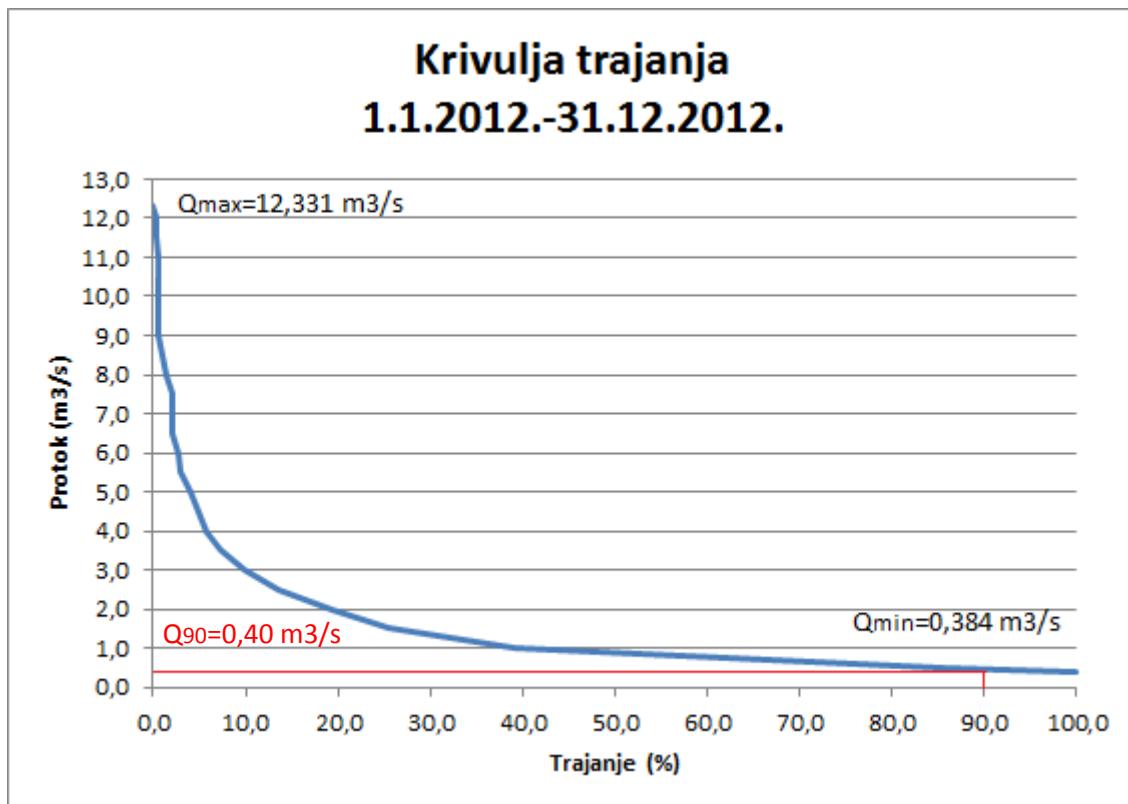
Tabela 5.16. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-31.12.2011.



Slika 5.21. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-31.12.2011.

| Razdoblje  |           | Učestalost |        | Trajanje |         |
|------------|-----------|------------|--------|----------|---------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %      | Dan      | %       |
| 1          | 12,0-12,5 | 1          | 0,273  | 1        | 0,273   |
| 2          | 11,5-12,0 | 0          | 0,000  | 1        | 0,273   |
| 3          | 11,0-11,5 | 1          | 0,273  | 2        | 0,546   |
| 4          | 10,5-11,0 | 0          | 0,000  | 2        | 0,546   |
| 5          | 10,0-10,5 | 0          | 0,000  | 2        | 0,546   |
| 6          | 9,5-10,0  | 0          | 0,000  | 2        | 0,546   |
| 7          | 9,0-9,5   | 0          | 0,000  | 2        | 0,546   |
| 8          | 8,5-9,0   | 2          | 0,546  | 4        | 1,093   |
| 9          | 8,0-8,5   | 1          | 0,273  | 5        | 1,366   |
| 10         | 7,5-8,0   | 3          | 0,820  | 8        | 2,186   |
| 11         | 7,0-7,5   | 0          | 0,000  | 8        | 2,186   |
| 12         | 6,5-7,0   | 0          | 0,000  | 8        | 2,186   |
| 13         | 6,0-6,5   | 2          | 0,546  | 10       | 2,732   |
| 14         | 5,5-6,0   | 1          | 0,273  | 11       | 3,005   |
| 15         | 5,0-5,5   | 4          | 1,093  | 15       | 4,098   |
| 16         | 4,5-5,0   | 3          | 0,820  | 148      | 4,918   |
| 17         | 4,0-4,5   | 3          | 0,820  | 21       | 5,738   |
| 18         | 3,5-4,0   | 6          | 1,639  | 27       | 7,377   |
| 19         | 3,0-3,5   | 9          | 2,459  | 36       | 9,836   |
| 20         | 2,5-3,0   | 14         | 3,825  | 50       | 13,661  |
| 21         | 2,0-2,5   | 21         | 5,738  | 71       | 19,399  |
| 22         | 1,5-2,0   | 22         | 6,011  | 93       | 25,410  |
| 23         | 1,0-1,5   | 50         | 13,661 | 143      | 39,071  |
| 24         | 0,5-1,0   | 170        | 46,448 | 313      | 85,519  |
| 25         | 0-0,5     | 53         | 14,481 | 366      | 100,000 |

Tabela 5.17. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2012.-31.12.2012.

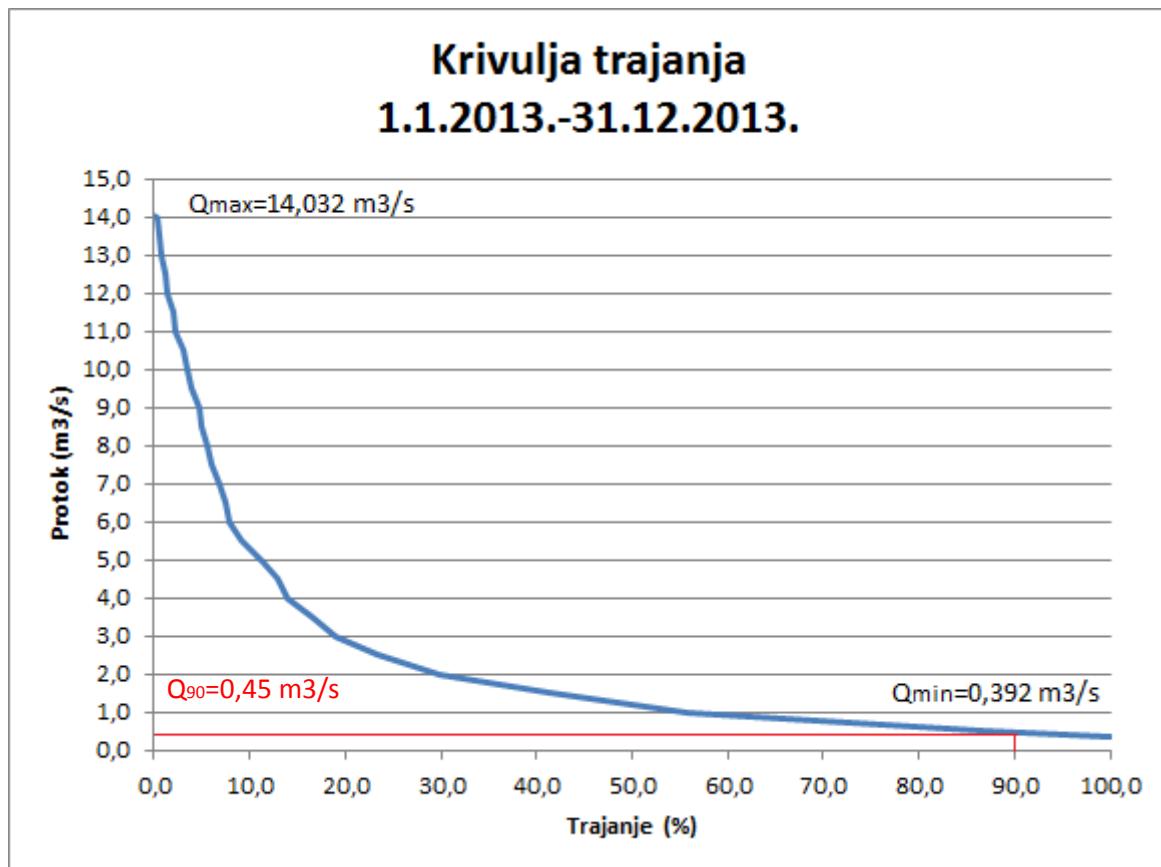


Slika 5.22. Krivulja trajanja za period 1.1.2012.-31.12.2012.

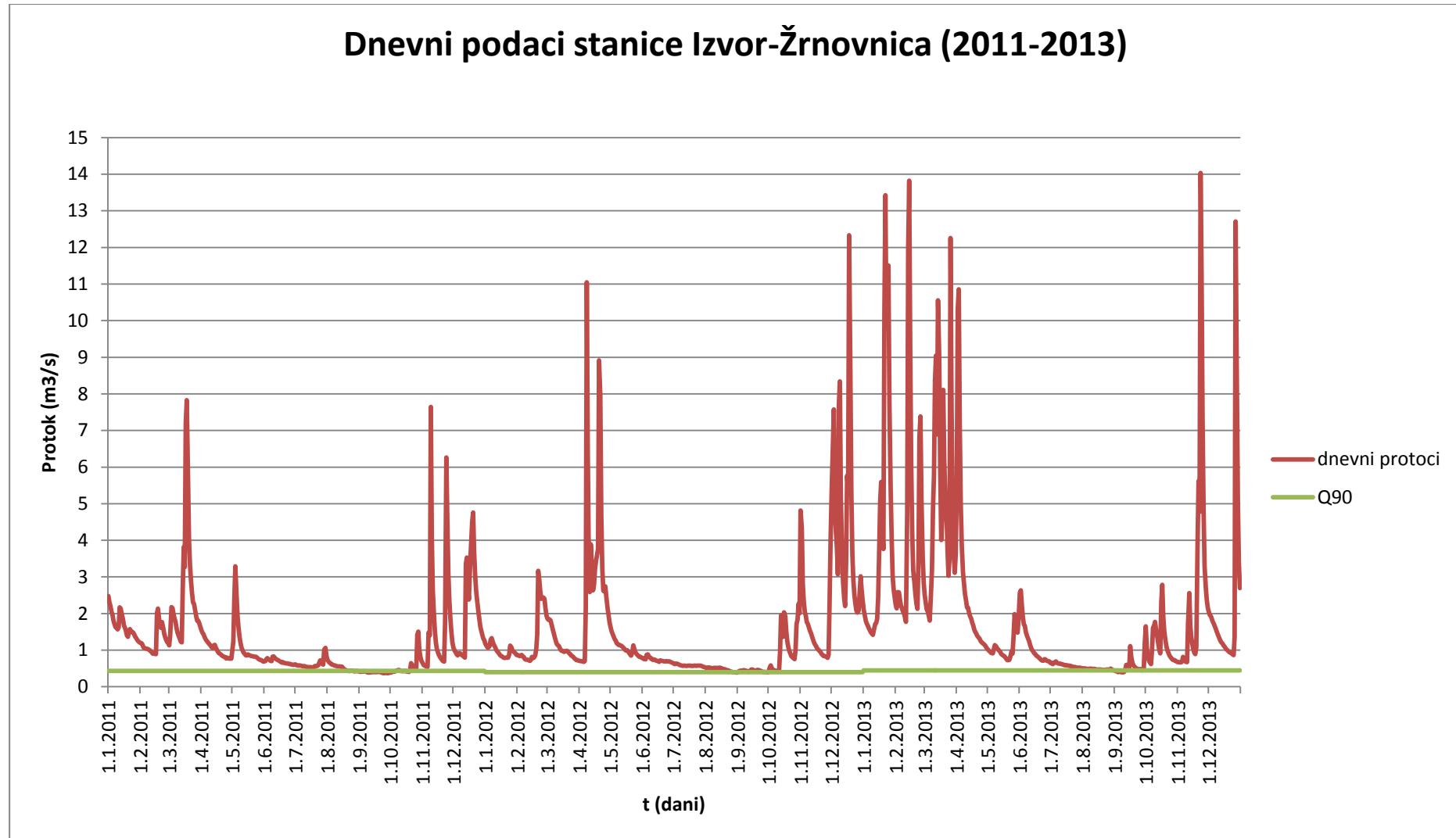
| Razdoblje  |           | Učestalost |       | Trajanje |       |
|------------|-----------|------------|-------|----------|-------|
| Redni broj | Raspon    | Dan        | %     | Dan      | %     |
| 1          | 14,0-14,5 | 1          | 0,274 | 1        | 0,274 |
| 2          | 13,5-14,0 | 1          | 0,274 | 2        | 0,548 |
| 3          | 13,0-13,5 | 1          | 0,274 | 3        | 0,822 |
| 4          | 12,5-13,0 | 1          | 0,274 | 4        | 1,096 |
| 5          | 12,0-12,5 | 1          | 0,274 | 5        | 1,370 |
| 6          | 11,5-12,0 | 2          | 0,548 | 7        | 1,918 |
| 7          | 11,0-11,5 | 1          | 0,274 | 8        | 2,192 |
| 8          | 10,5-11,0 | 3          | 0,822 | 11       | 3,014 |
| 9          | 10,0-10,5 | 2          | 0,548 | 13       | 3,562 |
| 10         | 9,5-10,0  | 1          | 0,274 | 14       | 3,836 |
| 11         | 9,0-9,5   | 3          | 0,822 | 17       | 4,658 |
| 12         | 8,5-9,0   | 1          | 0,274 | 18       | 4,932 |
| 13         | 8,0-8,5   | 2          | 0,548 | 20       | 5,479 |
| 14         | 7,5-8,0   | 2          | 0,548 | 22       | 6,027 |
| 15         | 7,0-7,5   | 3          | 0,822 | 25       | 6,849 |

|    |         |     |        |     |         |
|----|---------|-----|--------|-----|---------|
| 16 | 6,5-7,0 | 2   | 0,548  | 27  | 7,397   |
| 17 | 6,0-6,5 | 2   | 0,548  | 29  | 7,945   |
| 18 | 5,5-6,0 | 4   | 1,096  | 33  | 9,041   |
| 19 | 5,0-5,5 | 8   | 2,192  | 41  | 11,233  |
| 20 | 4,5-5,0 | 6   | 1,644  | 47  | 12,877  |
| 21 | 4,0-4,5 | 4   | 1,096  | 51  | 13,973  |
| 22 | 3,5-4,0 | 9   | 2,466  | 60  | 16,438  |
| 23 | 3,0-3,5 | 9   | 2,466  | 69  | 18,904  |
| 24 | 2,5-3,0 | 16  | 4,384  | 85  | 23,288  |
| 25 | 2,0-2,5 | 24  | 6,575  | 109 | 29,863  |
| 26 | 1,5-2,0 | 42  | 11,507 | 151 | 41,370  |
| 27 | 1,0-1,5 | 53  | 14,521 | 204 | 55,890  |
| 28 | 0,5-1,0 | 113 | 30,959 | 317 | 86,849  |
| 29 | 0-0,5   | 48  | 13,151 | 365 | 100,000 |

Tabela 5.18. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2013.-31.12.2013.



Slika 5.23. Krivulja trajanja za period 1.1.2013.-31.12.2013.



Slika 5.24. Hidrogram sa odabranim varijabilnim godišnjim pragom transformacije

### 5.1.3. Određivanje praga transformacije na temelju srednjeg protoka

Prag transformacije određen je kao srednja vrijednost promatranog vremenskog razdoblja. U tom slučaju 50% vremena nalazi se u deficitu stoga ova metoda određivanja praga transformacije nije realna te se dalje ne promatra za određivanje trajanja, jakosti i intenziteta sušnih perioda.

Promatrana su 4 slučaja:

- 1) Fiksni godišnji prag transformacije:  $Q_{sr}=1,594 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 2) Varijabilni sezonski prag transformacije (1.travnja - 1.listopada):

| Period                 | $Q_{sr}(\text{m}^3/\text{s})$ |
|------------------------|-------------------------------|
| 1.1.2011.-31.3.2011.   | 1,859                         |
| 1.4.2011.-30.9.2011.   | 0,732                         |
| 1.10.2011.-31.3.2012.  | 1,305                         |
| 1.4.2012.-30.9.2012.   | 1,084                         |
| 1.10.2012.-31.3.2013.  | 3,418                         |
| 1.4.2013.-30.9.2013.   | 1,095                         |
| 1.10.2013.-31.12.2013. | 2,018                         |

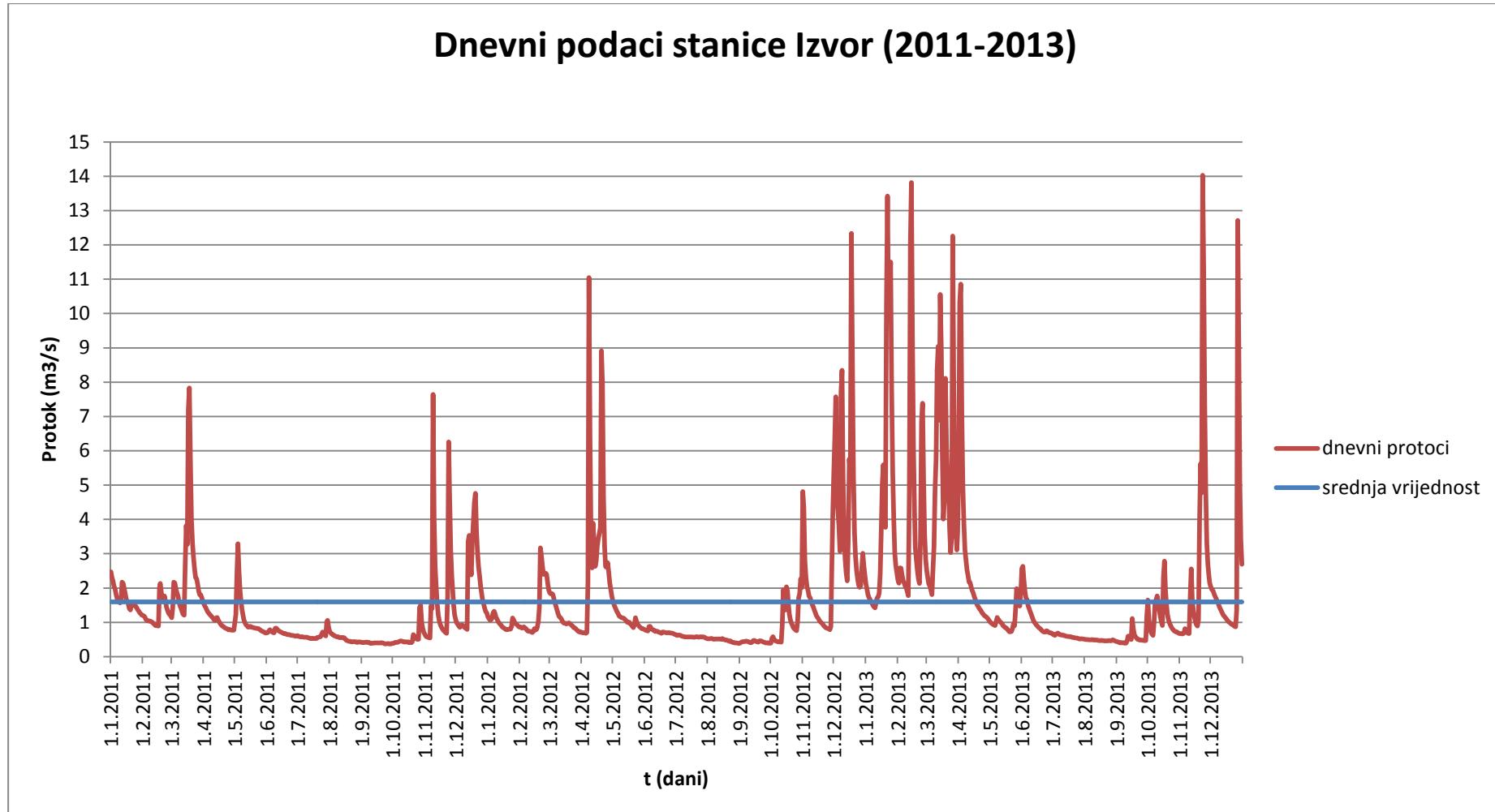
- 3) Varijabilni sezonski prag transformacije (1.svibnja - 1.listopada):

| Period                 | $Q_{sr}(\text{m}^3/\text{s})$ |
|------------------------|-------------------------------|
| 1.1.2011.-31.3.2011.   | 1,859                         |
| 1.5.2011.-30.9.2011.   | 0,671                         |
| 1.10.2011.-30.4.2012.  | 1,579                         |
| 1.5.2012.-30.9.2012.   | 0,660                         |
| 1.10.2012.-30.4.2013.  | 3,330                         |
| 1.5.2013.-30.9.2013.   | 0,762                         |
| 1.10.2013.-31.12.2013. | 2,018                         |

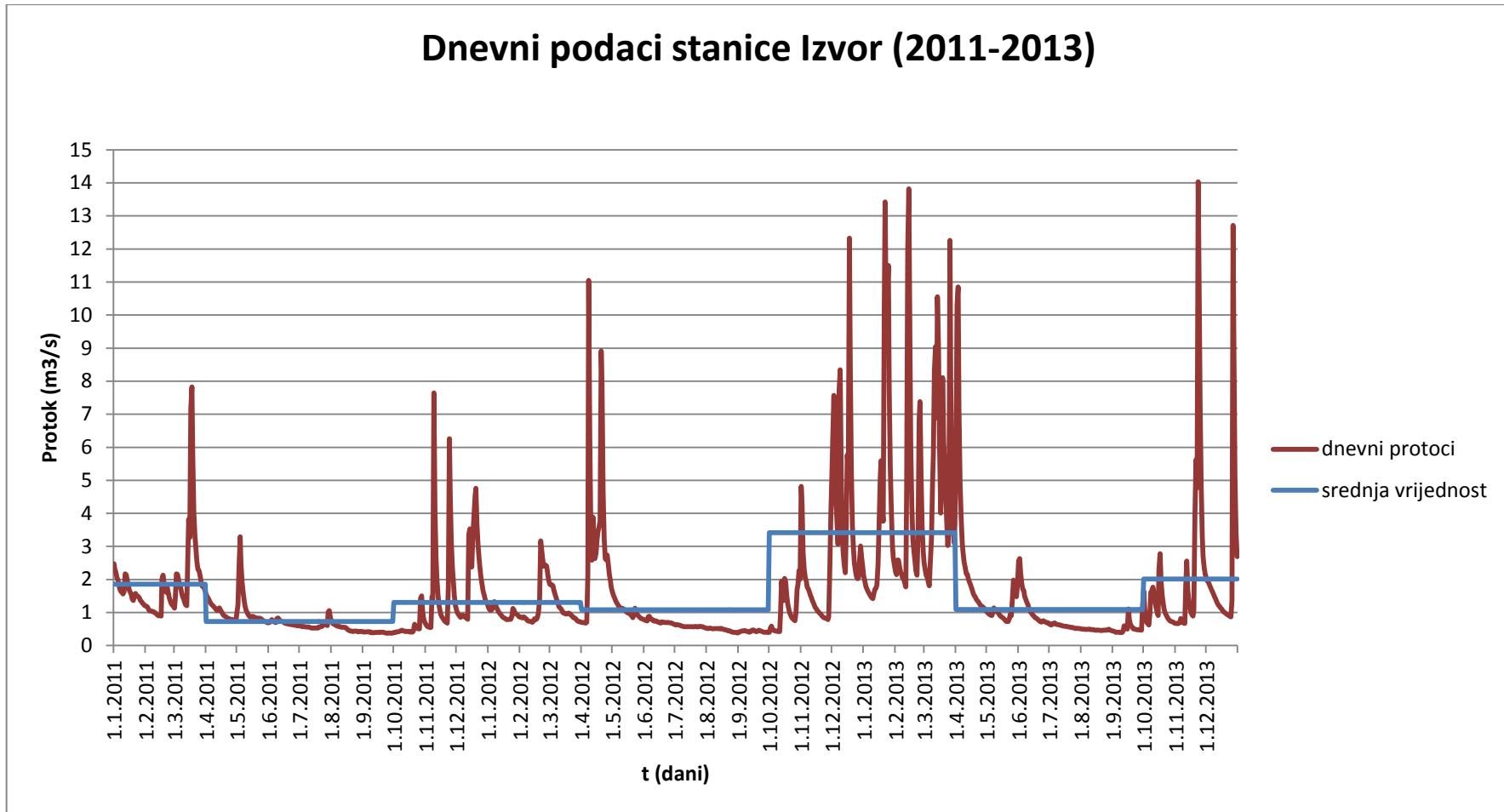
- 4) Varijabilni godišnji prag transformacije:

| Period                 | $Q_{sr}(\text{m}^3/\text{s})$ |
|------------------------|-------------------------------|
| 1.1.2011.-31.12.2011.  | 1,193                         |
| 1.1.2012.-31.12.2012.  | 1,425                         |
| 1.11.2013.-31.12.2013. | 2,164                         |

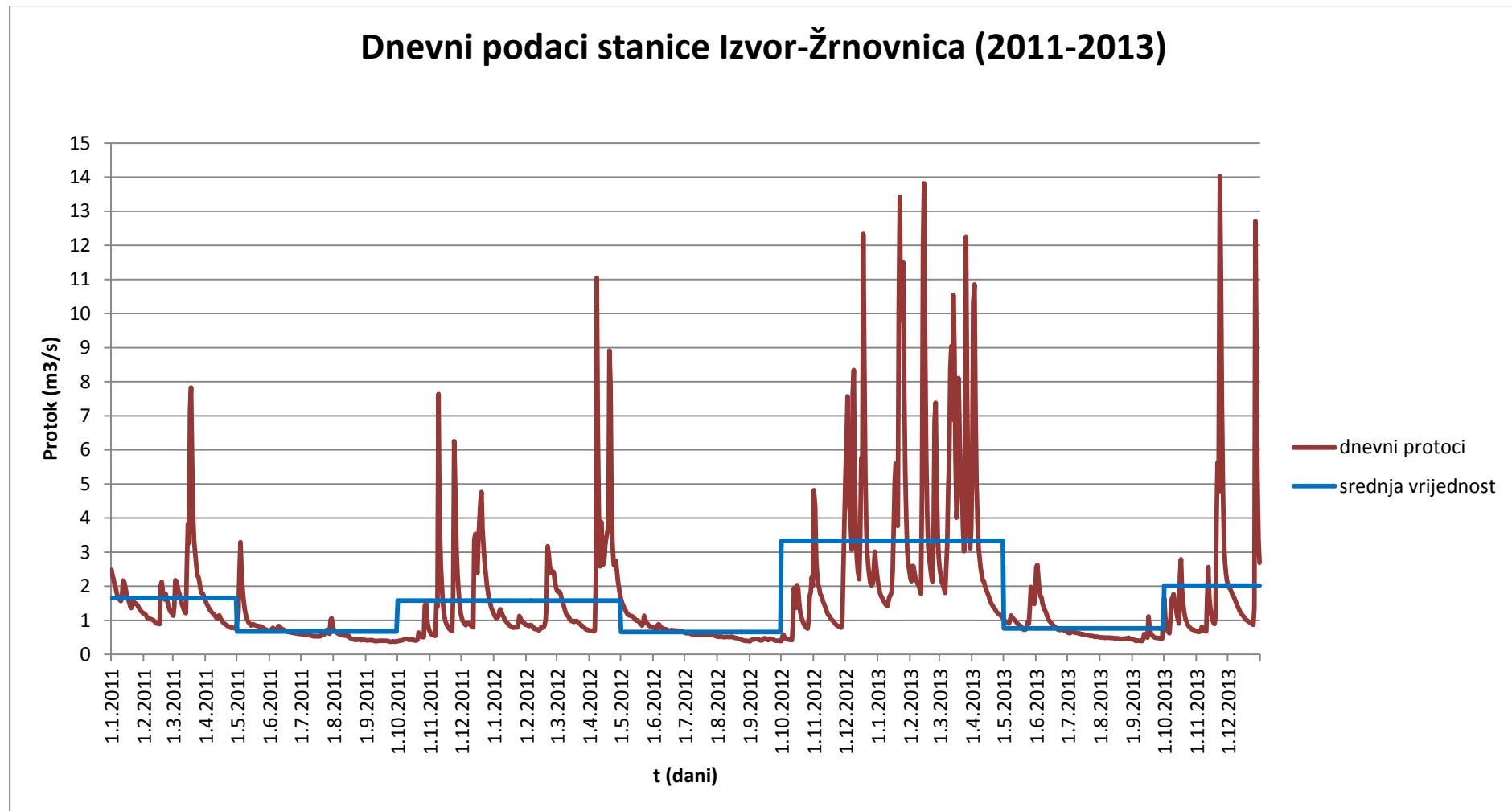
Na slikama 5.25.-5.28. prikazani su hidrogrami sa odabranim pragovima transformacije.



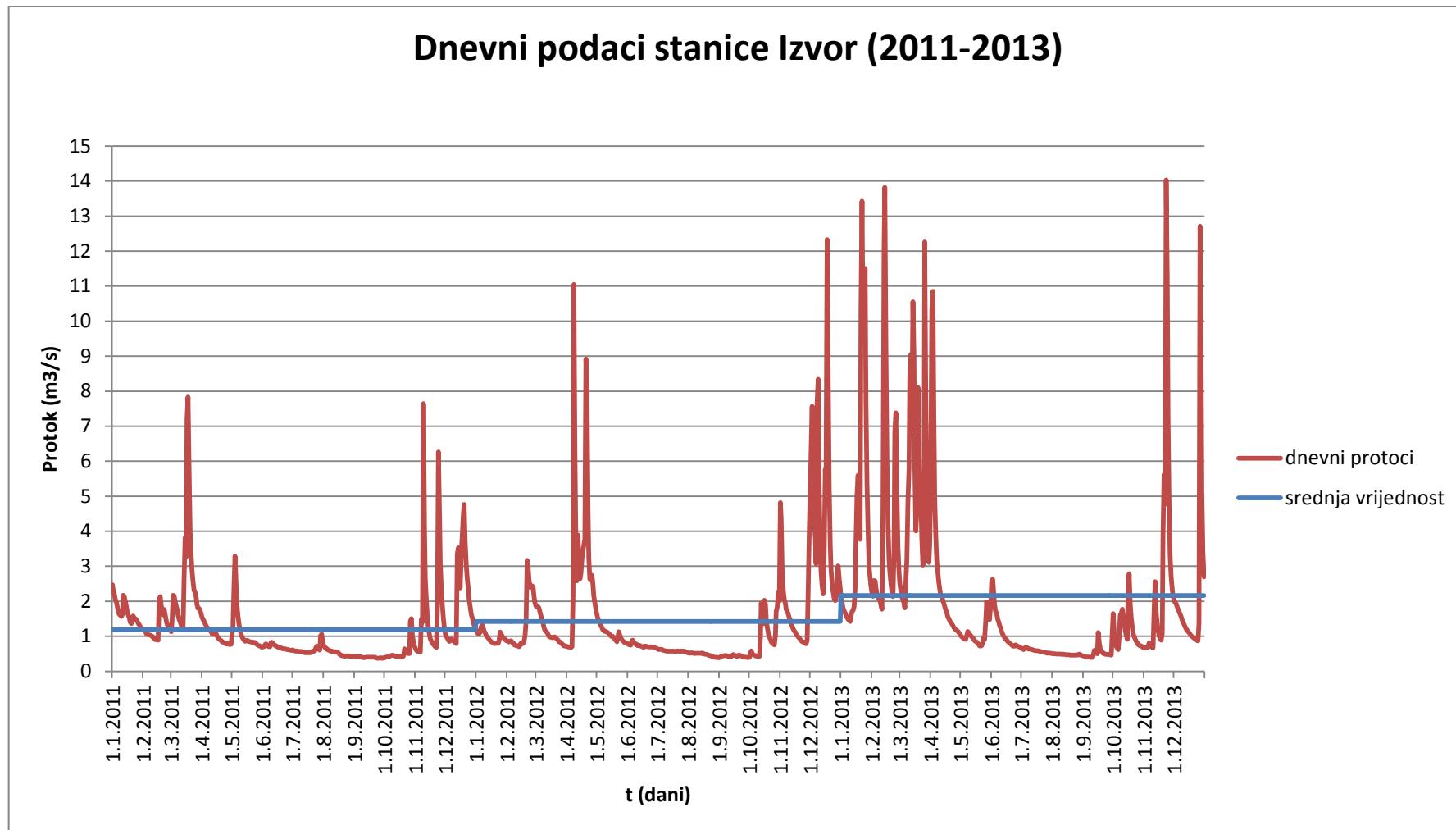
Slika 5.25. Hidrogram sa odabranim fiksnim godišnjim pragom transformacije



Slika 5.26. Hidrogram sa odabranim varijabilnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije



Slika 5.27. Hidrogram sa odabranim varijabilnim sezonskim (1.svibnja-1.listopada) pragom transformacije



Slika 5.28. Hidrogram sa odabranim varijabilnim godišnjim pragom transformacije

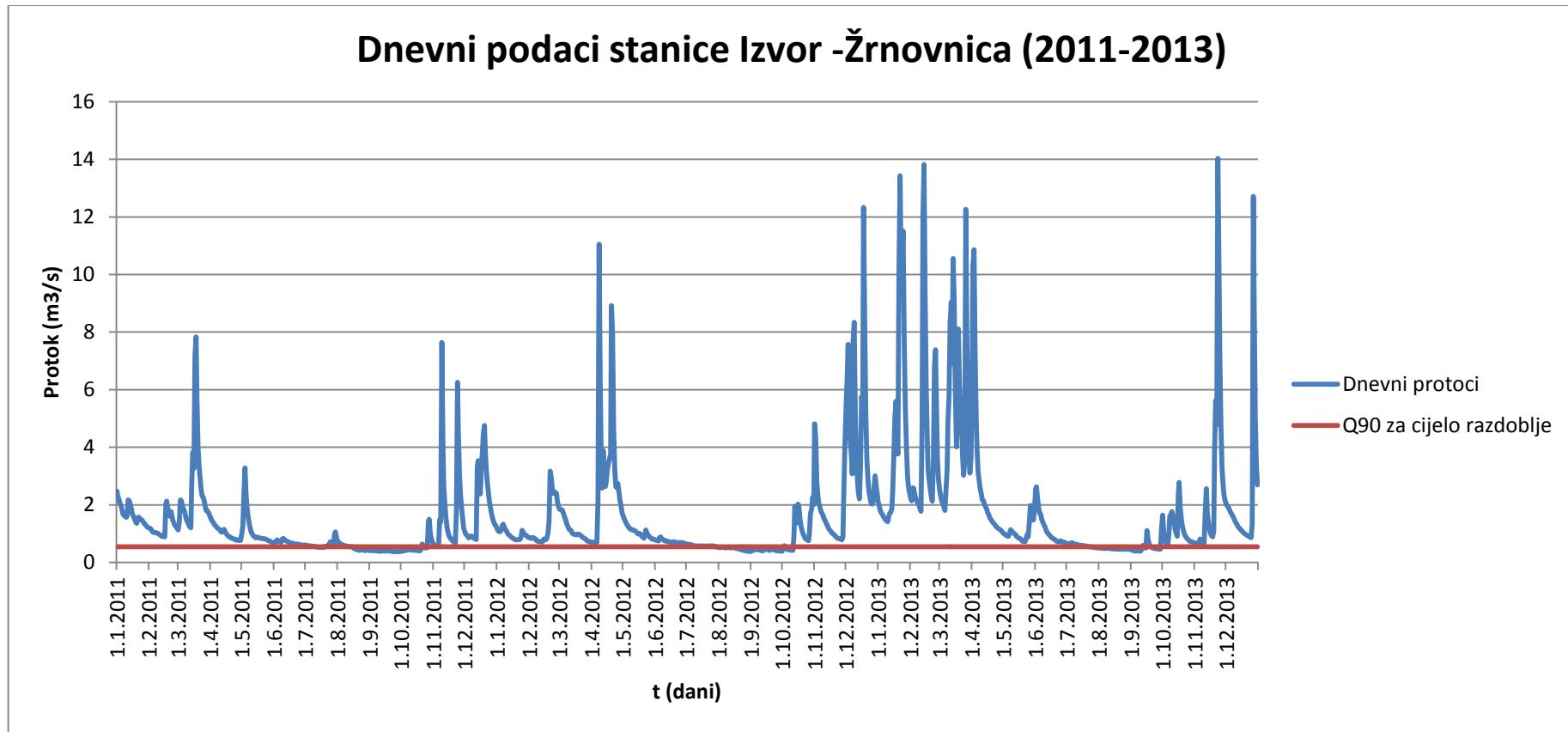
#### 5.1.4. Određivanje trajanja, jakosti i intenziteta sušnih perioda

Za određivanje karakteristika sušnih perioda (trajanja, jakosti i intenziteta) koriste se pragovi transformacije  $Q_{90}$  određeni u poglavlju 5.1.1. primjenjeni na čitavo vrijeme promatranja, tj. 1.1.2011.-31.12.2013. Odabrani pragovi transformacije su:

- 1) Fiksni prag transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  $Q_{90}=0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 2) Minimalni varijabilni sezonski (1.travnja-1.listopada) prag:  $Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 3) Maksimalni varijabilni sezonski (1.travnja-1.listopada) prag:  $Q_{90}=1,05 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 4) Minimalni varijabilni sezonski (1.svibnja-1.listopada) prag:  $Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 5) Maksimalni varijabilni sezonski (1.svibnja-1.listopada) prag:  $Q_{90}=0,90 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 6) Minimalni varijabilni godišnji prag transformacije:  $Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- 7) Maksimalni varijabilni godišnji prag transformacije:  $Q_{90}=0,90 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

Na slikama 5.29.-5.33. prikazani su hidrogrami za cijelo razdoblje sa odabranim pragom transformacije. Kako su minimalni varijabilni sezonski (1.travnja-1.listopada), minimalni varijabilni sezonski (1.svibnja-1.listopada) i minimalni varijabilni godišnji prag transformacije jednaki ( $Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ), u nastavku se promatra samo jedan od tri navedena slučaja: minimalni varijabilni sezonski (1.travnja-1.listopada) prag.

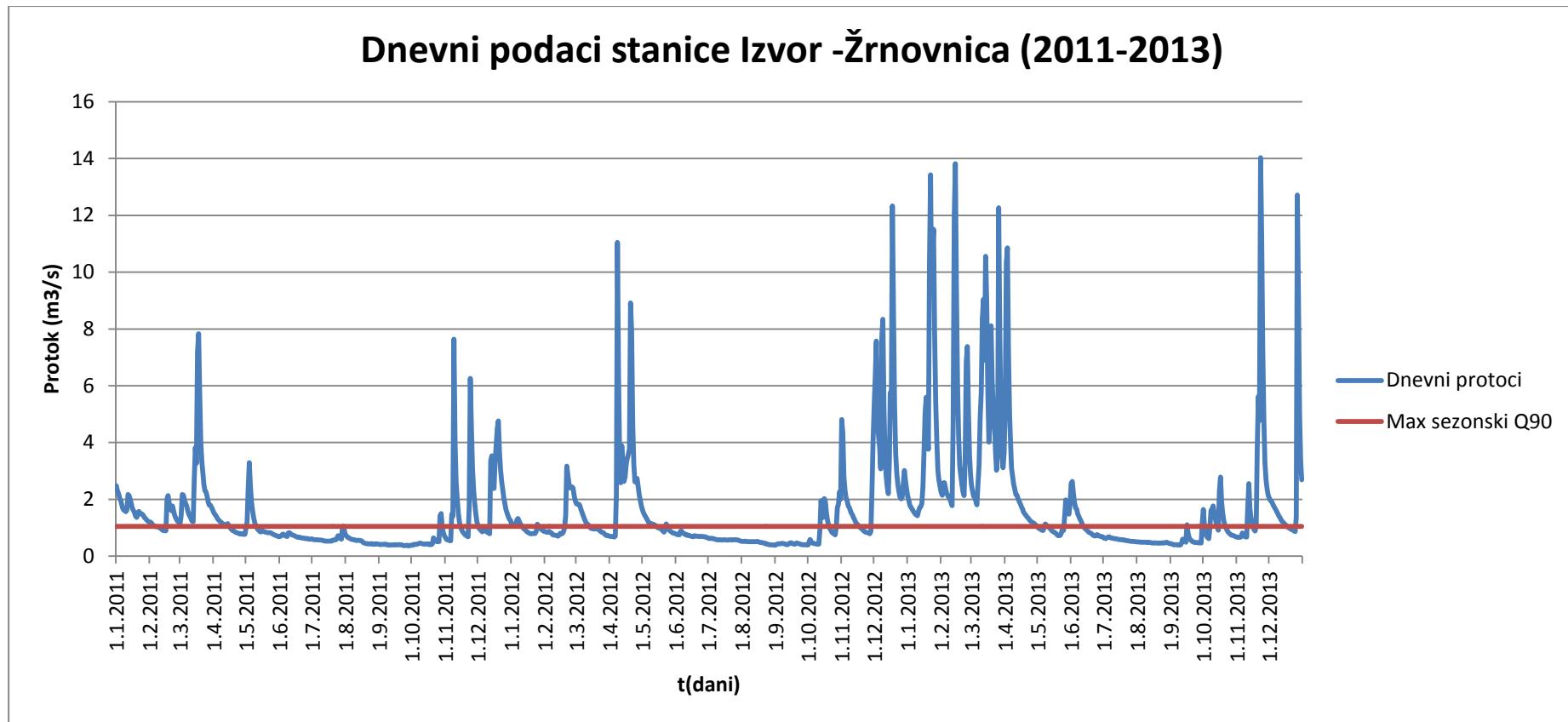
U tablicama 5.19.-5.23. su prikazani početak i kraj sušnog perioda, trajanje, jačina i intenzitet. Ljubičastom bojom spojeni su sušni periodi koji se mogu smatrati jednim događajem jer je vremenski razmak između njih manji od  $t_{\min}=5$  dana. Intenzitet sušnog perioda dobije se osrednjavanjem deficit-a sušnih perioda, dok se jačina dobije množenjem intenziteta i trajanja sušnih perioda.



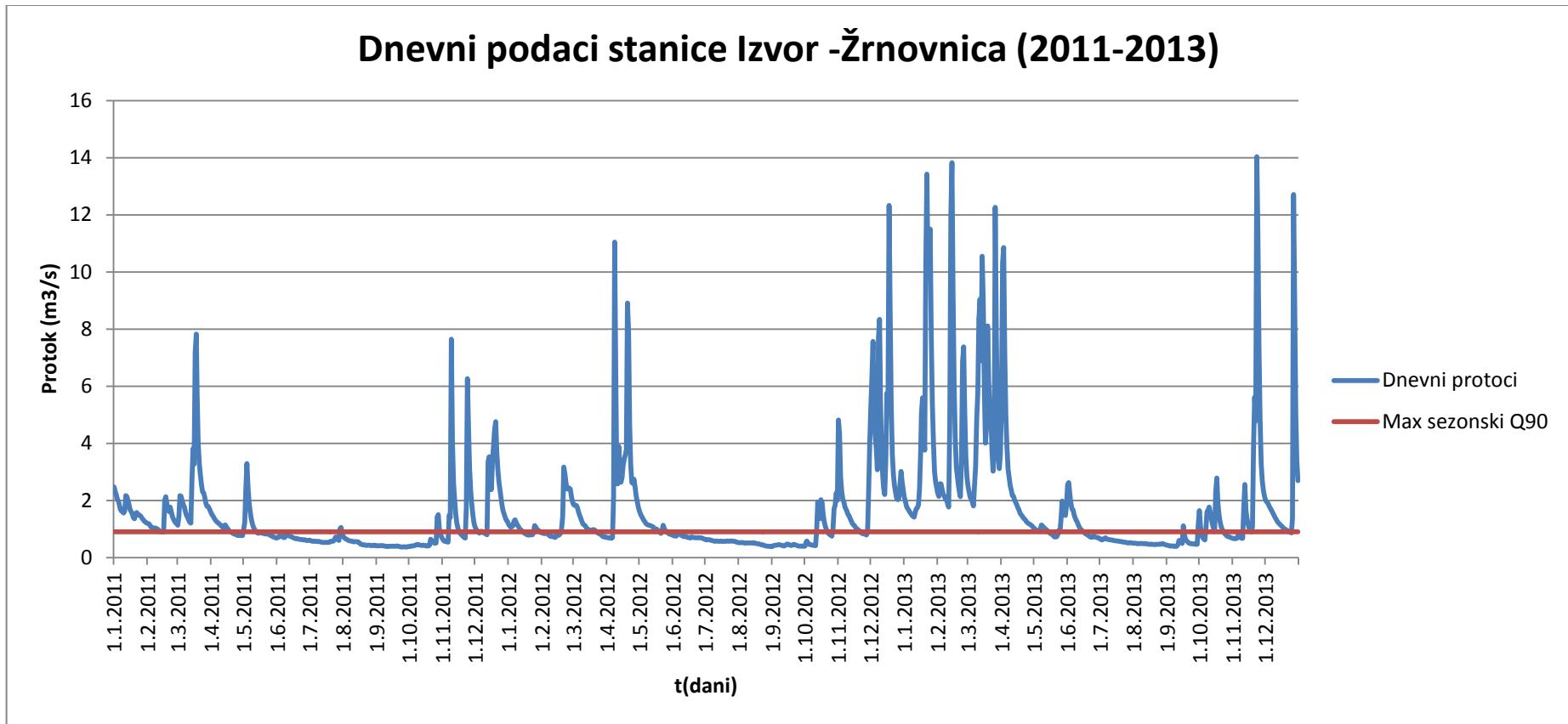
Slika 5.29. Hidrogram sa usvojenim fiksnim pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  $Q_{90}=0,55 \text{ m}^3/\text{s}$



Slika 5.30. Hidrogram sa usvojenim minimalnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  
 $Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}$



Slika 5.31. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  
 $Q_{90}=1,05 \text{ m}^3/\text{s}$



Slika 5.32. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim sezonskim (1.svibnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  
 $Q_{90}=0,90 \text{ m}^3/\text{s}$



Slika 5.33. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim godišnjim pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje:  $Q_{90}=0,45 \text{ m}^3/\text{s}$





## 5.2. Modificirana metoda

### 5.2.1. Uvod

Herbst (1966) je razvio metodu identifikacije suše koja se temelji na analitičkoj studiji suše. Spomenuta metoda koristi se za analizu suše baziranu na mjesecnim srednjim protocima i oborinama. Testirana je na primjeru područja Bhadra Reservoir u Indiji pomoću računalnog programa koji je razvijen za potrebe procjene suše pomoću navedene metode. Program je radio sa 52-godišnjim podacima o srednjim mjesecnim protocima (1937-1988) i 28-godišnjim podacima o oborinama (1956-1983). U tom primjeru pokazalo se da se rezultati dobiveni metodom procjene suše ne poklapaju sa povijesnim podacima prikupljenih od Rebella (1975) Chakrabortya i Roya (1979) i Rama Prasad (1987). Smatra se da su razlozi nepoklapanja sljedeći:

- 1.) Metoda je jedino primjenjiva za serije podataka čija standardna devijacija nije velika, odnosno ako podaci ne odstupaju puno od godine do godine;
- 2.) Metoda je primjenjiva samo na serije koje nemaju trend;
- 3.) Metoda nije primjenjiva za stanice koje su pogodene ili ekstemnom sušom ili ekstremnom poplavom jer takvi primjeri ne predstavljaju stvarnu realizaciju.

S obzirom na prethodno navedeno, razvijena je modificirana metoda za slučajeve sa velikom varijabilnosti mjesecnih srednjih protoka i oborina. Modificirana metoda pokazala se primjenjivom na širem području te dobrom metodom za identifikaciju i karakterizaciju suše, te je opisana u sljedećem poglavlju.

### 5.2.2. Opis metode

Postupak navedene metode je sljedeći: za svaki mjesec promatranog perioda oduzimamo srednji protok tog mjeseca od stvarnog izmjerenoj protoka i tako dobivamo manjak ili višak protoka tog mjeseca. Dobivenu razliku množimo sa težinskim faktorom za sljedeći mjesec mjesec te se produkt, bio pozitivan ili negativan, dodaje na algebarski iznos srednjeg protoka spomenutog sljedećeg mjeseca te dobivamo efektivni protok. Navedeni postupak prikazan je jednadžbama 1, 2. i 3.:

$$D(t) = Q(t) - T(t) \quad (1)$$

$$W(t) = 0,1 * \left( 1 + \frac{T(t)}{\sum_{t=1}^{12} \frac{T(t)}{12}} \right) \quad (2)$$

$$E(t) = Q(t) + D(t-1) * W(T) \quad (3)$$

pri čemu je:  $D(t)$  – pozitivna ili negativna razlika u periodu t;

$Q(t)$  – izmjereni srednji mjesečni protok u periodu t;

$T(t)$  – srednji mjesečni protok;

$W(t)$  – težinski faktor za mjesec t;

$E(t)$  – efektivni protok u periodu t;

Opisani postupak omogućava efekt prijenosa viška ili manjka protoka u sljedeći mjesec. Za prvi mjesec promatranog perioda uzima se da je prijenos jednak nuli, odnosno efektivni protok jednak je stvarnom protoku. Proces se ponavlja za svaki mjesec promatranog perioda.

Za određivanje početka i kraja suše potrebno je definirati nekoliko parametara:

- 1.) Srednji mjesečni deficit (MMD): računa se za svaki od 12 mjeseci iz razlika koje su definirane izrazom (2) za čitavi promatrani period. Srednji mjesečni deficit nije samo baziran na mjesecima u kojima se pojavljuju negativne razlike, za pozitivne razlike (negativne deficite) uzima se da je vrijednost nula te se tako uračunava u jednadžbu;
- 2.) Srednji godišnji deficit (MAD): dobije se sumiranjem srednjih mjesečnih deficitata;
- 3.) Maksimalni srednji mjesečni protok (MMMI).

Na temelju navedenih parametara definira se mjesecni inkrement X koji je dan u jednadžbi 4.:

$$X = \frac{MAD - MMMI}{11} \quad (4)$$

Vrijednost X dodaje se vrijednosti MMMI te se tako formira pomicna skala u kojoj je prva vrijednost jednaka MMMI, druga vrijednosti je jednaka MMMI+X, treća MMMI+2X, i tako dalje do MMMI+11X što je jednako MAD-u.

Procjena početka suše odvija se na sljedeći način: pretpostavljeno je da suše nije bilo prije početka promatranja. Razlika u prvom mjesecu je očekivana, i ako je pozitivna, početak suše nije označen. Razlike u idućim mjesecima su očekivane sve do mjeseca s prvom negativnom razlikom, a to je mjesec početka potencijalne suše. Apsolutna vrijednost negativne razlike uspoređena je sa prвом vrijednosti na pomicnoj skali, MMMI, i ako je absolutna vrijednost negativne razlike veća od MMMI suša je počela. Ukoliko nije, negativna razlika dodaje se negativnoj razlici idućeg meseca te je ta absolutna vrijednost uspoređena sa drugom vrijednosti na pomicnoj skali, MMMI+X. Analogno tome, absolutna vrijednost sume negativnih razlika kroz cijelu godinu uspoređuje se sa 12 vrijednosti pomicne skale, i ako u bilo kojem mjesecu sumirana vrijednost negativnih razlika od prvog do n-tog mjeseca prelazi vrijednost MMMI+(n-1)X, smatra se da je suša počela od prvog mjeseca. Ako u bilo kojem trenutku tijekom 11 testova suma postane pozitivna smatra se da je potencijalna suša završila te se ponovni početak suše može razmatrati u idućem mjesecu sa negativnom razlikom izmjerenoj i srednjeg protoka.

Sljedeći opisani test provodi se kako bi se ispitalo da li je došlo do prestanka suše ili samo do privremenog prekida. Test za provjeru da li je suša završila provodi se u mjesecu nakon prvog mjeseca sa pozitivnom razlikom koji se javlja nakon početka suše. Preduvjet je da barem jedan od naredna dva mjeseca nakon pojave pozitivne razlike također mora imati pozitivnu razliku. Ako je preuvjet zadovoljen sljedeća dva testa provode se istovremeno.

U prvom testu algebarski se zbrajaju sve razlike od prvog do n-tog mjeseca, i ako je suma postala negativna prije završetka drugog testa, smatra se da je suša samo privremeno prekinuta.

Drugi test se sastoji od 10 testova. Prvo se sumiraju stvarni izmjereni protoci od prvog do trećeg mjeseca ispitivanja te se usporede sa sumom tri najveća srednja mjesecna protoka. Ako je stvarni protok bio veći smatra se da je suša završena, a ako nije, suma prva 4 mjeseca ispitivanja se uspoređuju sa 4 najveće vrijednosti srednjeg protoka i tako dalje do usporedbe

sume 12 mjeseci sa zbrojem 12 srednjih mjesečnih protoka. Kad je suša završila, testiranje početka iduće suše počinje u prvom mjesecu sa negativnom razlikom nakon mjeseca u kojem je suša zavrsila.

### **5.2.3. Primjena modificirane metode na rijeku Žrnovnicu s obzirom na protok**

Opisana modificirana metoda primjenjena je na primjeru rijeke Žrnovnice od 2011.-2013. godine. Na temelju poznatih izmjerenih dnevnih protoka osrednjavanjem su izračunati mjesečni protoci za taj period, dok su srednji mjesečni protoci usvojeni na temelju dnevnih podataka za rijeku Žrnovnicu u periodu 1990.-2013. godine.

U tablici 5.24. prikazani su srednji mjesečni protoci usvojeni na temelju perioda 1990.-2013., a u tablici 5.25. mjesečni protoci za period 2011.-2013.

| Mjesec   | Protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|----------|----------------------------------|
| siječanj | 2,780                            |
| veljača  | 2,363                            |
| ožujak   | 2,400                            |
| travanj  | 2,355                            |
| svibanj  | 1,429                            |
| lipanj   | 0,932                            |
| srpanj   | 0,603                            |
| kolovoz  | 0,531                            |
| rujan    | 0,787                            |
| listopad | 1,235                            |
| studen   | 2,625                            |
| prosinac | 3,498                            |

Tabela 5.24. Srednji mjesečni protoci za period 1990.-2013.

| Mjesec         | Protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|----------------|----------------------------------|
| Siječanj 2011. | 1,682                            |
| Veljača 2011.  | 1,267                            |
| Ožujak 2011.   | 2,570                            |
| Travanj 2011.  | 1,040                            |
| Svibanj 2011.  | 1,124                            |
| Lipanj 2011.   | 0,693                            |
| Srpanj 2011.   | 0,607                            |
| Kolovoz 2011.  | 0,520                            |
| Rujan 2011.    | 0,398                            |
| Listopad 2011. | 0,558                            |
| Studeni 2011.  | 1,821                            |
| Prosinac 2011. | 2,004                            |
| Siječanj 2012. | 0,986                            |
| Veljača 2012.  | 1,354                            |
| Ožujak 2012.   | 1,127                            |
| Travanj 2012.  | 3,248                            |
| Svibanj 2012.  | 1,072                            |
| Lipanj 2012.   | 0,734                            |
| Srpanj 2012.   | 0,582                            |
| Kolovoz 2012.  | 0,520                            |
| Rujan 2012.    | 0,430                            |
| Listopad 2012. | 1,053                            |
| Studeni 2012.  | 1,653                            |
| Prosinac 2012. | 4,393                            |
| Siječanj 2013. | 4,175                            |
| Veljača 2013.  | 4,154                            |
| Ožujak 2013.   | 5,097                            |
| Travanj 2013.  | 2,790                            |
| Svibanj 2013.  | 1,061                            |
| Lipanj 2013.   | 1,154                            |
| Srpanj 2013.   | 0,589                            |
| Kolovoz 2013.  | 0,478                            |
| Rujan 2013.    | 0,534                            |
| Listopad 2013. | 1,175                            |
| Studeni 2013.  | 2,722                            |
| Prosinac 2013. | 2,178                            |

Tabela 5.25. Srednji mjesečni protoci za period 2011.-2013.

U nastavku su prikazani rezultati izračuna razlika mjesecnih protoka za period 2011.-2013 i srednjeg mjesecnog protoka  $D(t)$ , težinski faktor za svaki pojedini mjesec  $W(t)$  te efektivni protok  $E(t)$ . Rezultati su dobiveni na temelju jednadžbi (1), (2), i (3) iz poglavlja 5.2.2.

| Mjesec         | $D(t)$ ( $m^3/s$ ) | $W(t)$ | $E(T)$ ( $m^3/s$ ) |
|----------------|--------------------|--------|--------------------|
| Siječanj 2011. | -1,098             | 0,255  | 1,682              |
| Veljača 2011.  | -1,096             | 0,232  | 1,013              |
| Ožujak 2011.   | 0,170              | 0,234  | 2,314              |
| Travanj 2011.  | -1,315             | 0,231  | 1,079              |
| Svibanj 2011.  | -0,305             | 0,180  | 0,887              |
| Lipanj 2011.   | -0,239             | 0,152  | 0,647              |
| Srpanj 2011.   | 0,004              | 0,134  | 0,575              |
| Kolovoz 2011.  | -0,011             | 0,173  | 0,521              |
| Rujan 2011.    | -0,390             | 0,144  | 0,396              |
| Listopad 2011. | -0,676             | 0,169  | 0,493              |
| Studeni 2011.  | -0,804             | 0,246  | 1,654              |
| Prosinac 2011. | -1,494             | 0,295  | 1,767              |
| Siječanj 2012. | -1,794             | 0,255  | 0,606              |
| Veljača 2012.  | -1,009             | 0,232  | 0,938              |
| Ožujak 2012.   | -1,273             | 0,234  | 0,891              |
| Travanj 2012.  | 0,893              | 0,231  | 2,953              |
| Svibanj 2012.  | -0,357             | 0,180  | 1,233              |
| Lipanj 2012.   | -0,198             | 0,152  | 0,680              |
| Srpanj 2012.   | -0,021             | 0,134  | 0,556              |
| Kolovoz 2012.  | -0,011             | 0,173  | 0,517              |
| Rujan 2012.    | -0,357             | 0,144  | 0,429              |
| Listopad 2012. | -0,181             | 0,169  | 0,993              |
| Studeni 2012.  | -0,973             | 0,246  | 1,608              |
| Prosinac 2012. | 0,895              | 0,295  | 4,106              |
| Siječanj 2013. | 1,395              | 0,255  | 4,403              |
| Veljača 2013.  | 1,791              | 0,232  | 4,477              |
| Ožujak 2013.   | 2,697              | 0,234  | 5,515              |
| Travanj 2013.  | 0,435              | 0,231  | 3,414              |
| Svibanj 2013.  | -0,368             | 0,180  | 1,139              |
| Lipanj 2013.   | 0,222              | 0,152  | 1,099              |
| Srpanj 2013.   | -0,014             | 0,134  | 0,618              |
| Kolovoz 2013.  | -0,053             | 0,173  | 0,475              |
| Rujan 2013.    | -0,253             | 0,144  | 0,526              |
| Listopad 2013. | -0,060             | 0,169  | 1,132              |
| Studeni 2013.  | 0,097              | 0,246  | 2,708              |
| Prosinac 2013. | -1,320             | 0,295  | 2,207              |

Tabela 5.26. Prikaz  $D(t)$ ,  $W(t)$  i  $E(t)$  za period 2011.-2013.

U tablici 5.27. prikazani su srednji mjesecni deficiti MMD i srednji godišnji deficit MAD dobiven zbrajanjem srednjih mjesecnih deficita te mjesecni inkrementi X opisani jednadžbom (4).

| Mjesec         | MMD ( $m^3/s$ ) | MAD( $m^3/s$ ) | X ( $m^3/s$ ) |
|----------------|-----------------|----------------|---------------|
| Siječanj 2011. | -1,098          | -7,428         | -0,993        |
| Veljača 2011.  | -1,096          |                |               |
| Ožujak 2011.   | 0,000           |                |               |
| Travanj 2011.  | -1,315          |                |               |
| Svibanj 2011.  | -0,305          |                |               |
| Lipanj 2011.   | -0,239          |                |               |
| Srpanj 2011.   | 0,000           |                |               |
| Kolovoz 2011.  | -0,011          |                |               |
| Rujan 2011.    | -0,390          |                |               |
| Listopad 2011. | -0,676          |                |               |
| Studeni 2011.  | -0,804          |                |               |
| Prosinac 2011. | -1,494          |                |               |
| Siječanj 2012. | -1,794          | -6,174         | -0,879        |
| Veljača 2012.  | -1,009          |                |               |
| Ožujak 2012.   | -1,273          |                |               |
| Travanj 2012.  | 0,000           |                |               |
| Svibanj 2012.  | -0,357          |                |               |
| Lipanj 2012.   | -0,198          |                |               |
| Srpanj 2012.   | -0,021          |                |               |
| Kolovoz 2012.  | -0,011          |                |               |
| Rujan 2012.    | -0,357          |                |               |
| Listopad 2012. | -0,181          |                |               |
| Studeni 2012.  | -0,973          |                |               |
| Prosinac 2012. | 0,000           |                |               |
| Siječanj 2013. | 0,000           | -2,068         | -0,506        |
| Veljača 2013.  | 0,000           |                |               |
| Ožujak 2013.   | 0,000           |                |               |
| Travanj 2013.  | 0,000           |                |               |
| Svibanj 2013.  | -0,368          |                |               |
| Lipanj 2013.   | 0,000           |                |               |
| Srpanj 2013.   | -0,014          |                |               |
| Kolovoz 2013.  | -0,053          |                |               |
| Rujan 2013.    | -0,253          |                |               |
| Listopad 2013. | -0,060          |                |               |
| Studeni 2013.  | 0,000           |                |               |
| Prosinac 2013. | -1,320          |                |               |

Tabela 5.27. Prikaz MMD, MAD i X za period 2011.-2013.

U tablici 5.28. prikazana je pomicna skala u kojoj je prva vrijednost jednaka MMMI a posljednja MAD te absolutne vrijednosti zbrojenih razlika D(t). Prazna mesta u tablici označavaju mjesecu u kojima je razlika D(t) bila pozitivna pa se ne razmatraju za definiranje početka suše. Crvenom bojom označeni su mjeseci kada se javlja suša. Navedeni postupak opisan je u poglavljiju 5.2.2.

| Mjesec         | MMMI ( $m^3/s$ ) | Absolutne vrijednosti D(t) |
|----------------|------------------|----------------------------|
| Siječanj 2011. | 3,498            | 1,098                      |
| Veljača 2011.  | 2,505            | 2,194                      |
| Ožujak 2011.   | 1,511            |                            |
| Travanj 2011.  | 0,518            | 1,315                      |
| Svibanj 2011.  | -0,475           | 1,621                      |
| Lipanj 2011.   | -1,469           | 1,860                      |
| Srpanj 2011.   | -2,462           |                            |
| Kolovoz 2011.  | -3,455           | 0,011                      |
| Rujan 2011.    | -4,449           | 0,400                      |
| Listopad 2011. | -5,442           | 1,076                      |
| Studeni 2011.  | -6,435           | 1,881                      |
| Prosinac 2011. | -7,428           | 3,375                      |
| Siječanj 2012. | 3,498            | 1,794                      |
| Veljača 2012.  | 2,619            | 2,803                      |
| Ožujak 2012.   | 1,740            | 4,077                      |
| Travanj 2012.  | 0,860            |                            |
| Svibanj 2012.  | -0,019           | 0,357                      |
| Lipanj 2012.   | -0,898           | 0,555                      |
| Srpanj 2012.   | -1,777           | 0,576                      |
| Kolovoz 2012.  | -2,657           | 0,586                      |
| Rujan 2012.    | -3,536           | 0,943                      |
| Listopad 2012. | -4,415           | 1,124                      |
| Studeni 2012.  | -5,295           | 2,097                      |
| Prosinac 2012. | -6,174           |                            |
| Siječanj 2013. | 3,498            |                            |
| Veljača 2013.  | 2,992            |                            |
| Ožujak 2013.   | 2,486            |                            |
| Travanj 2013.  | 1,980            |                            |
| Svibanj 2013.  | 1,474            | 0,368                      |
| Lipanj 2013.   | 0,968            |                            |
| Srpanj 2013.   | 0,462            | 0,014                      |
| Kolovoz 2013.  | -0,044           | 0,067                      |
| Rujan 2013.    | -0,550           | 0,320                      |
| Listopad 2013. | -1,056           | 0,380                      |
| Studeni 2013.  | -1,562           |                            |
| Prosinac 2013. | -2,068           |                            |

Tabela 5.28. Prikaz pomicne skale i absolutnih vrijednosti zbroja D(t) za period 2011.-2013. godine

Konačno, na temelju podataka o protocima metoda je pokazala kako se u sljedećim periodima javlja suša:

- 1.) travanj 2011.-lipanj 2011.
- 2.) kolovoz 2011.-ožujak 2012.
- 3.) svibanj 2012.-studen 2012.
- 4.) srpanj 2013.-listopad 2013.

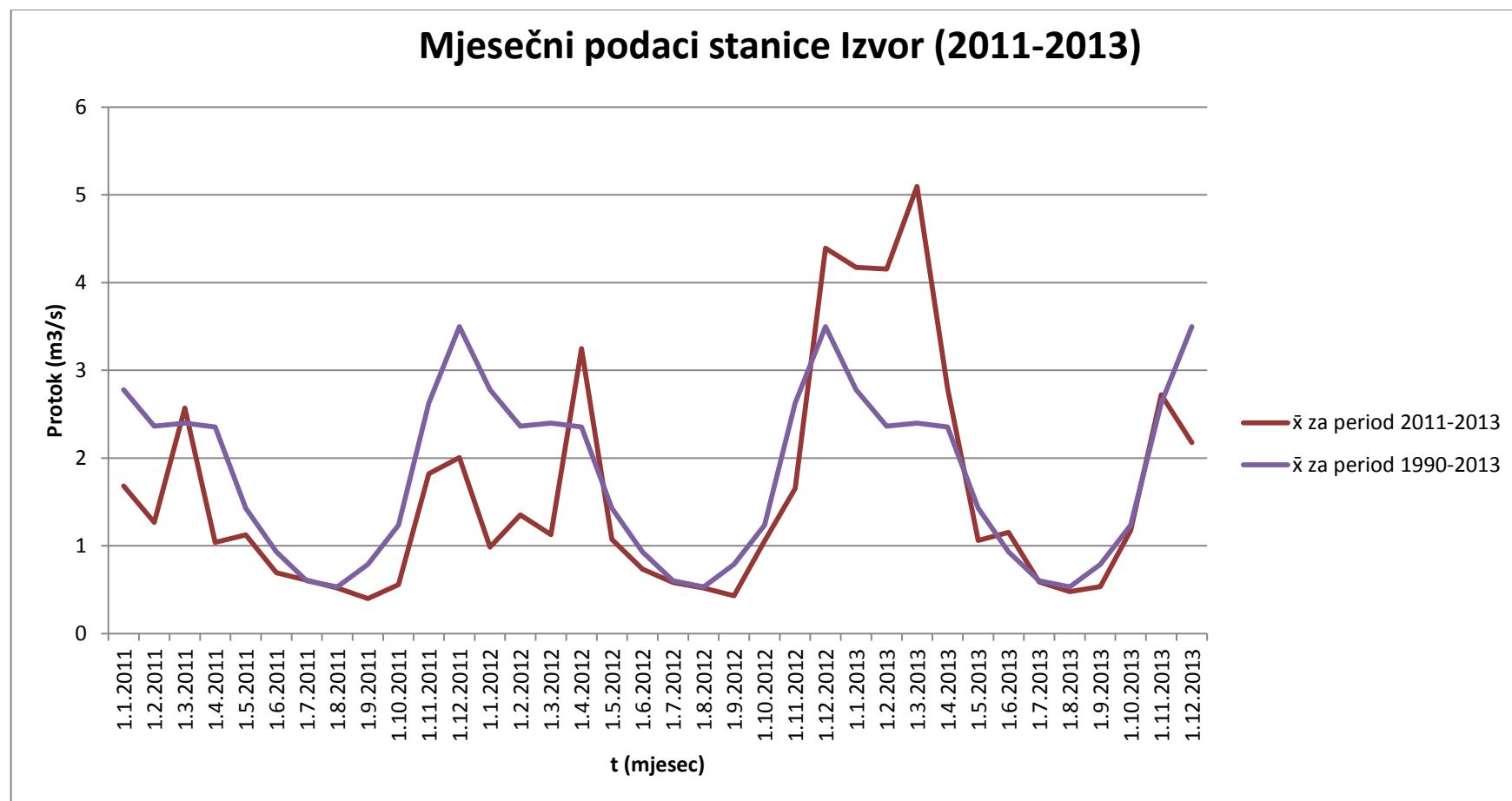
Uočavamo da je vremenski interval između sušnih razdoblja kod prva tri slučaja jedan mjesec (srpanj 2011. i travanj 2012.), pa se stoga ne može smatrati da je se javio prestanak suše već samo privremeni prekid jer nije ostvaren osnovni preduvjet postojanja tri mjeseca sa pozitivnom razlikom izmijerenog i srednjeg protoka. U zadnjem slučaju javlja se sedam mjeseci sa pauze između dva sušna perioda te je preduvjet ostvaren pa provodimo test da li suša završila ili je samo privremeno prekinuta. U tablici 5.29. su prikazani rezultati postupka opisanog u poglavljju 5.2.2. U prvom stupcu prikazan je redom zbroj protoka u prva tri mjeseca testiranja, zatim prva četiri mjeseca testiranja i tako dalje do zbroja svih 12 mjeseci testiranja u jednoj godini, dok je u drugom stupcu prikazan redom zbroj maksimalne tri vrijednosti srednjeg protoka, zatim zbroj maksimalne četiri vrijednosti srednjeg protoka i tako redom do zbroja svih 12 vrijednosti srednjeg protoka u toj godini.

| Zbroj izmijerenih protoka ( $m^3/s$ ) | Zbroj srednjih protoka ( $m^3/s$ ) |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 13,426                                | 8,904                              |
| 16,216                                | 11,304                             |
| 17,277                                | 13,667                             |
| 18,432                                | 16,022                             |
| 19,020                                | 17,451                             |
| 19,498                                | 18,686                             |
| 20,032                                | 19,618                             |
| 21,207                                | 20,405                             |
| 23,930                                | 21,008                             |
| 26,108                                | 21,539                             |

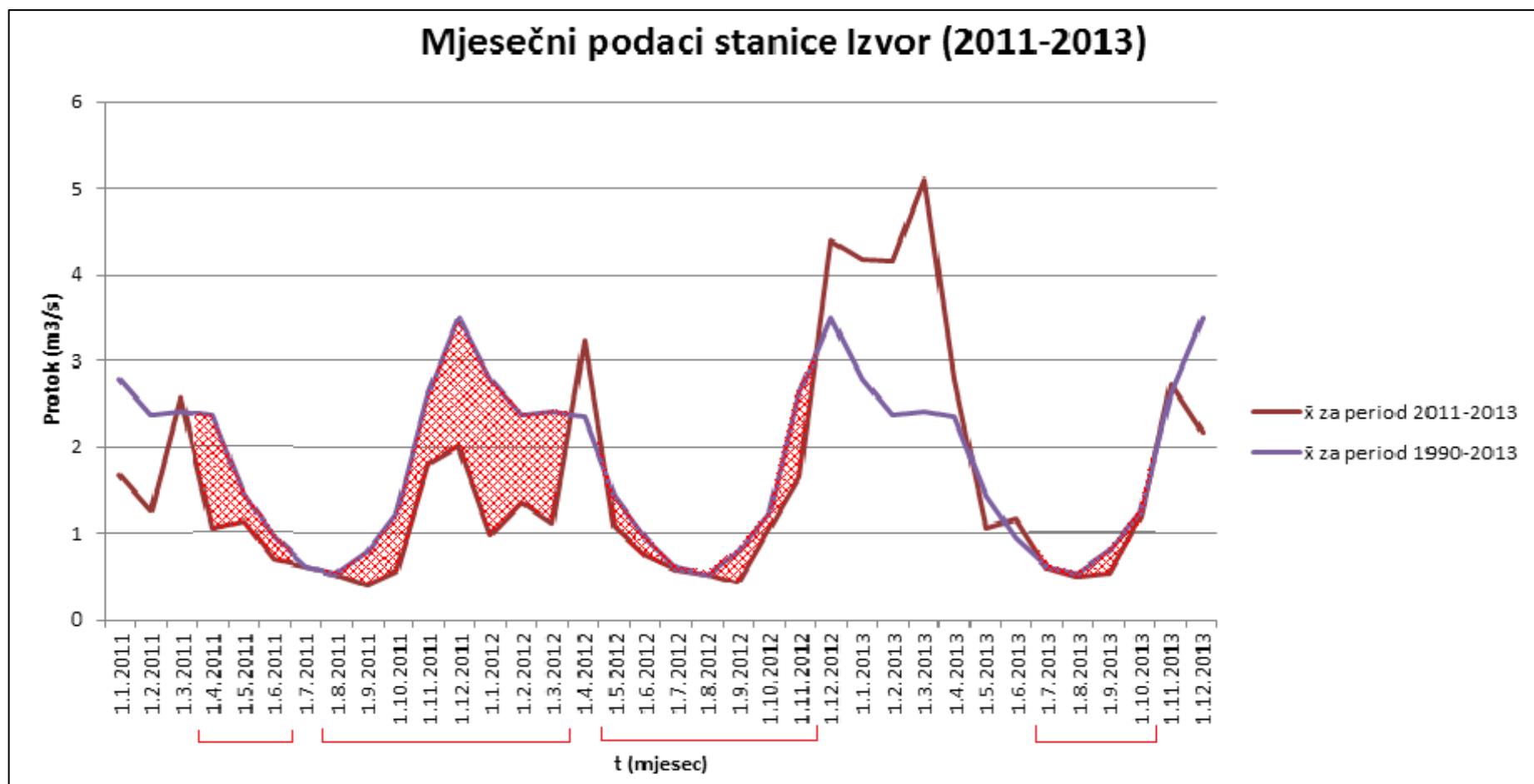
Tabela 5.29. Testiranje završetka suše

Uočavamo da se već u prvom retku javlja da je zbroj prva tri izmjerena protoka veći od zbroja tri maksimalna srednja protoka te godine pa se može zaključiti kako je došlo do prestaka suše. Paralelno sa ovim testom vrši se i algebarsko zbrajanje razlika protoka te ukoliko suma razlika postane negativna prije kraja prethodnog testa smatra se da je došlo do privremenog prekida suše. Budući da je zbroj razlika za prva tri mjeseca testiranja pozitivna ( $7,543 \text{ m}^3/\text{s}$ ), smatra se da je suša završena.

Na slici 5.34. prikazan je hidrogram srednjih mjesecnih protoka dobivenih za dva različita perioda; 1990.-2013. i 2011.-2013. Na slici 5.35. prikazani su sušni periodi dobiveni modificiranim metodom na temelju podataka o protocima.



Slika 5.34. Prikaz srednjih mjesečnih protoka dobivenih za 2 različita vremenska perioda



Slika 5.35. Prikaz sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju podataka o protocima

#### **5.2.4. Primjena modificirane metode na rijeku Žrnovnicu s obzirom na oborine**

Modificirana metoda primjena se na područje rijeke Žrnovnice i s obzirom na podatke o oborinama. Podaci su uzeti sa kišomjerne stanice Dugopolje na kojoj su se bilježili dnevni podaci. Na temelju poznatih izmjerenih dnevnih količina oborina zbrajanjem su izračunate mjesecne oborine za period 2011.-2013. godine, dok su referentne mjesecne oborine dobivene osrednjavanjem mjesecnih oborina dobivenih na temelju dnevnih oborina na kišomjernoj stanici Dugopolje u periodu 1991.-2013. godine.

U tablici 5.30. prikazani su prosječne mjesecne oborine za period 1991.-2013., a u tablici 5.31. mjesecne oborine za period 2011.-2013. godine.

| Mjesec   | Oborine (mm) |
|----------|--------------|
| siječanj | 131,265      |
| veljača  | 96,161       |
| ožujak   | 105,222      |
| travanj  | 98,979       |
| svibanj  | 77,930       |
| lipanj   | 72,483       |
| srpanj   | 39,634       |
| kolovoz  | 49,690       |
| rujan    | 105,957      |
| listopad | 105,630      |
| studen   | 210,657      |
| prosinac | 187,939      |

Tabela 5.30. Prosječne mjesecne oborine za period 1991.-2013. godine

| Mjesec         | Oborine (mm) |
|----------------|--------------|
| Siječanj 2011. | 25,600       |
| Veljača 2011.  | 32,500       |
| Ožujak 2011.   | 108,900      |
| Travanj 2011.  | 17,100       |
| Svibanj 2011.  | 94,800       |
| Lipanj 2011.   | 39,300       |
| Srpanj 2011.   | 193,600      |
| Kolovoz 2011.  | 1,400        |
| Rujan 2011.    | 52,100       |
| Listopad 2011. | 87,500       |
| Studeni 2011.  | 106,100      |
| Prosinac 2011. | 126,200      |
| Siječanj 2012. | 23,400       |
| Veljača 2012.  | 96,700       |
| Ožujak 2012.   | 0,000        |
| Travanj 2012.  | 189,200      |
| Svibanj 2012.  | 64,800       |
| Lipanj 2012.   | 21,200       |
| Srpanj 2012.   | 28,900       |
| Kolovoz 2012.  | 0,000        |
| Rujan 2012.    | 105,600      |
| Listopad 2012. | 193,700      |
| Studeni 2012.  | 127,000      |
| Prosinac 2012. | 276,800      |
| Siječanj 2013. | 225,600      |
| Veljača 2013.  | 235,100      |
| Ožujak 2013.   | 282,400      |
| Travanj 2013.  | 97,700       |
| Svibanj 2013.  | 109,800      |
| Lipanj 2013.   | 88,800       |
| Srpanj 2013.   | 5,600        |
| Kolovoz 2013.  | 20,300       |
| Rujan 2013.    | 114,800      |
| Listopad 2013. | 133,500      |
| Studeni 2013.  | 274,800      |
| Prosinac 2013. | 97,400       |

Tabela 5.31. Mjesečne oborine za period 2011.-2013. godine

U nastavku su prikazani rezultati izračuna razlika mjesečnih oborina za period 2011.-2013 i prosječnih mjesečnih oborina dobivenih za period 1991.-2013. godine D(t), težinski faktor za svaki pojedini mjesec W(t) te efektivne oborine E(t). Rezultati su dobiveni na temelju jednadžbi (1), (2), i (3) iz poglavlja 5.2.2.

| Mjesec         | D(t) (mm) | W(t)  | E(t) (mm) |
|----------------|-----------|-------|-----------|
| Siječanj 2011. | -105,665  | 0,223 | 25,600    |
| Veljača 2011.  | -63,661   | 0,200 | 11,333    |
| Ožujak 2011.   | 3,678     | 0,220 | 94,908    |
| Travanj 2011.  | -81,879   | 0,225 | 17,928    |
| Svibanj 2011.  | 16,870    | 0,210 | 77,603    |
| Lipanj 2011.   | -33,183   | 0,213 | 42,888    |
| Srpanj 2011.   | 153,966   | 0,168 | 188,026   |
| Kolovoz 2011.  | -48,290   | 0,190 | 30,709    |
| Rujan 2011.    | -53,857   | 0,308 | 37,208    |
| Listopad 2011. | -18,130   | 0,351 | 68,575    |
| Studeni 2011.  | -104,557  | 0,734 | 92,789    |
| Prosinac 2011. | -61,739   | 1,300 | -9,723    |
| Siječanj 2012. | -107,865  | 0,223 | 9,638     |
| Veljača 2012.  | 0,539     | 0,200 | 75,093    |
| Ožujak 2012.   | -105,222  | 0,220 | 0,118     |
| Travanj 2012.  | 90,221    | 0,225 | 165,507   |
| Svibanj 2012.  | -13,130   | 0,210 | 83,749    |
| Lipanj 2012.   | -51,283   | 0,213 | 18,408    |
| Srpanj 2012.   | -10,734   | 0,168 | 20,285    |
| Kolovoz 2012.  | -49,690   | 0,190 | -2,043    |
| Rujan 2012.    | -0,357    | 0,308 | 90,277    |
| Listopad 2012. | 88,070    | 0,351 | 193,575   |
| Studeni 2012.  | -83,657   | 0,734 | 191,660   |
| Prosinac 2012. | 88,861    | 1,300 | 168,047   |
| Siječanj 2013. | 94,335    | 0,223 | 245,408   |
| Veljača 2013.  | 138,939   | 0,200 | 253,997   |
| Ožujak 2013.   | 177,178   | 0,220 | 312,937   |
| Travanj 2013.  | -1,279    | 0,225 | 137,595   |
| Svibanj 2013.  | 31,870    | 0,210 | 109,531   |
| Lipanj 2013.   | 16,317    | 0,213 | 95,578    |
| Srpanj 2013.   | -34,034   | 0,168 | 8,341     |
| Kolovoz 2013.  | -29,390   | 0,190 | 13,821    |
| Rujan 2013.    | 8,843     | 0,308 | 105,737   |
| Listopad 2013. | 27,870    | 0,351 | 136,607   |
| Studeni 2013.  | 64,143    | 0,734 | 295,262   |
| Prosinac 2013. | -90,539   | 1,300 | 180,787   |

Tabela 5.32. Prikaz D(t), W(t) i E(t) za period 2011.-2013.

U tablici 5.33. prikazani su srednji mjesечni deficit oborina MMD i srednji godišnji deficit oborina MAD dobiven zbrajanjem srednjih mjesecnih deficitata te mjesecni inkrementi X opisani jednadžbom (4).

| Mjesec         | MMD (mm) | MAD(mm)  | X (mm)  |
|----------------|----------|----------|---------|
| Siječanj 2011. | -105,665 | -570,960 | -71,056 |
| Veljača 2011.  | -63,661  |          |         |
| Ožujak 2011.   | 0,000    |          |         |
| Travanj 2011.  | -81,879  |          |         |
| Svibanj 2011.  | 0,000    |          |         |
| Lipanj 2011.   | -33,183  |          |         |
| Srpanj 2011.   | 0,000    |          |         |
| Kolovoz 2011.  | -48,290  |          |         |
| Rujan 2011.    | -53,857  |          |         |
| Listopad 2011. | -18,130  |          |         |
| Studeni 2011.  | -104,557 |          |         |
| Prosinac 2011. | -61,739  |          |         |
| Siječanj 2012. | -107,865 | -421,937 | -57,508 |
| Veljača 2012.  | 0,000    |          |         |
| Ožujak 2012.   | -105,222 |          |         |
| Travanj 2012.  | 0,000    |          |         |
| Svibanj 2012.  | -13,130  |          |         |
| Lipanj 2012.   | -51,283  |          |         |
| Srpanj 2012.   | -10,734  |          |         |
| Kolovoz 2012.  | -49,690  |          |         |
| Rujan 2012.    | -0,357   |          |         |
| Listopad 2012. | 0,000    |          |         |
| Studeni 2012.  | -83,657  |          |         |
| Prosinac 2012. | 0,000    |          |         |
| Siječanj 2013. | 0,000    | -155,242 | -33,263 |
| Veljača 2013.  | 0,000    |          |         |
| Ožujak 2013.   | 0,000    |          |         |
| Travanj 2013.  | -1,279   |          |         |
| Svibanj 2013.  | 0,000    |          |         |
| Lipanj 2013.   | 0,000    |          |         |
| Srpanj 2013.   | -34,034  |          |         |
| Kolovoz 2013.  | -29,390  |          |         |
| Rujan 2013.    | 0,000    |          |         |
| Listopad 2013. | 0,000    |          |         |
| Studeni 2013.  | 0,000    |          |         |
| Prosinac 2013. | -90,539  |          |         |

Tabela 5.33. Prikaz MMD, MAD i X za period 2011.-2013.

U tablici 5.34. prikazana je pomicna skala u kojoj je prva vrijednost jednaka MMMI a posljednja MAD te absolutne vrijednosti zbrojenih razlika D(t). Prazna mesta u tablici označavaju mjesecu u kojima je razlika D(t) bila pozitivna pa se ne razmatraju za definiranje početka suše. Crvenom bojom označeni su mjeseci kada se javlja suša. Navedeni postupak opisan je u poglavljiju 5.2.2.

| Mjesec         | MMMI (mm) | Absolutne vrijednosti D(t) |
|----------------|-----------|----------------------------|
| Siječanj 2011. | 210,657   | 105,665                    |
| Veljača 2011.  | 139,600   | 169,326                    |
| Ožujak 2011.   | 68,544    |                            |
| Travanj 2011.  | -2,512    | 81,879                     |
| Svibanj 2011.  | -73,568   |                            |
| Lipanj 2011.   | -144,624  | 33,183                     |
| Srpanj 2011.   | -215,680  |                            |
| Kolovoz 2011.  | -286,736  | 48,290                     |
| Rujan 2011.    | -357,792  | 102,147                    |
| Listopad 2011. | -428,848  | 120,277                    |
| Studeni 2011.  | -499,904  | 224,833                    |
| Prosinac 2011. | -570,960  | 286,573                    |
| Siječanj 2012. | 210,657   | 394,438                    |
| Veljača 2012.  | 153,148   |                            |
| Ožujak 2012.   | 95,640    | 105,222                    |
| Travanj 2012.  | 38,131    |                            |
| Svibanj 2012.  | -19,377   | 13,130                     |
| Lipanj 2012.   | -76,886   | 64,413                     |
| Srpanj 2012.   | -134,394  | 75,147                     |
| Kolovoz 2012.  | -191,903  | 124,837                    |
| Rujan 2012.    | -249,411  | 125,1934                   |
| Listopad 2012. | -306,920  |                            |
| Studeni 2012.  | -364,428  | 83,657                     |
| Prosinac 2012. | -421,937  |                            |
| Siječanj 2013. | 210,657   |                            |
| Veljača 2013.  | 177,393   |                            |
| Ožujak 2013.   | 144,130   |                            |
| Travanj 2013.  | 110,866   | 1,279                      |
| Svibanj 2013.  | 77,603    |                            |
| Lipanj 2013.   | 44,339    |                            |
| Srpanj 2013.   | 11,076    | 34,034                     |
| Kolovoz 2013.  | -22,188   | 63,424                     |
| Rujan 2013.    | -55,451   |                            |
| Listopad 2013. | -88,715   |                            |
| Studeni 2013.  | -121,978  |                            |
| Prosinac 2013. | -155,242  | 90,540                     |

Tabela 5.34. Prikaz pomicne skale i absolutnih vrijednosti zbroja D(t) za period 2011.-2013. godine

Konačno, na temelju podataka o oborinama metoda je pokazala kako se u sljedećim periodima javlja suša:

- 1.) siječanj 2011.-veljača 2011.
- 2.) travanj 2011.
- 3.) lipanj 2011.
- 4.) kolovoz 2011.-siječanj 2012.
- 5.) ožujak 2012.
- 6.) svibanj 2012.-rujan 2012.
- 7.) studeni 2012.
- 8.) srpanj 2013.-kolovoz 2013.

Uočavamo da je vremenski interval između sušnih razdoblja kod prvih 7 slučajeva jedan mjesec (ožujak 2011., svibanj 2011., srpanj 2011., veljača 2012., travanj 2012., listopad 2012.), pa se stoga ne može smatrati da je se javio prestanak suše već samo privremeni prekid jer nije ostvaren osnovni preduvjet postojanja tri mjeseca sa pozitivnom razlikom srednjih i izmjerena oborina. U zadnjem slučaju javlja se sedam mjeseci pauze između dva sušna perioda te je preduvjet ostvaren pa provodimo test da li suša završila ili je samo privremeno prekinuta. U tablici 5.29. su prikazani rezultati postupka opisanog u poglavljju 5.2.2. U prvom stupcu prikazan je redom zbroj izmjerena mjesecnih oborina u prva tri mjeseca testiranja, zatim prva četiri mjeseca testiranja i tako dalje do zbroja svih 12 mjeseci testiranja u jednoj godini, dok je u drugom stupcu prikazan redom zbroj maksimalne tri vrijednosti prosječnih mjesecnih oborina, zatim zbroj maksimalne četiri vrijednosti prosječnih mjesecnih oborina i tako redom do zbroja svih 12 vrijednosti prosječnih mjesecnih oborina u toj godini.

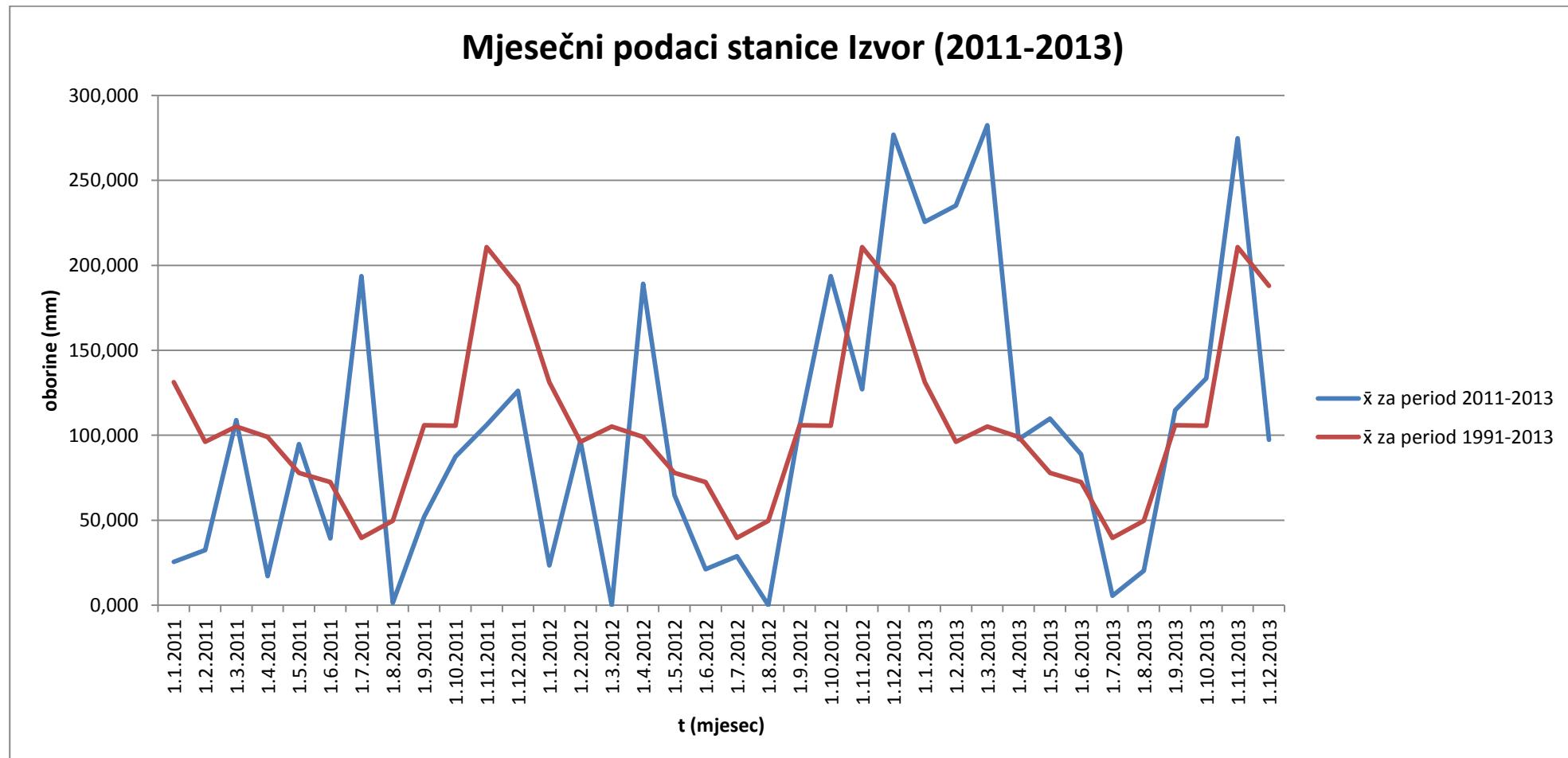
| Zbroj izmjerena<br>mjesečnih oborina<br>(mm) | Zbroj srednjih<br>mjesečnih oborina<br>(mm) |
|--|---|
| 743,100                                      | 529,861                                     |
| 840,800                                      | 635,817                                     |
| 950,600                                      | 741,448                                     |
| 1039,400                                     | 846,670                                     |
| 1045,000                                     | 945,648                                     |
| 1065,300                                     | 1041,809                                    |
| 1180,100                                     | 1119,740                                    |
| 1313,600                                     | 1192,222                                    |
| 1588,400                                     | 1241,912                                    |
| 1685,800                                     | 1281,546                                    |

Tabela 5.35. Testiranje završetka suše

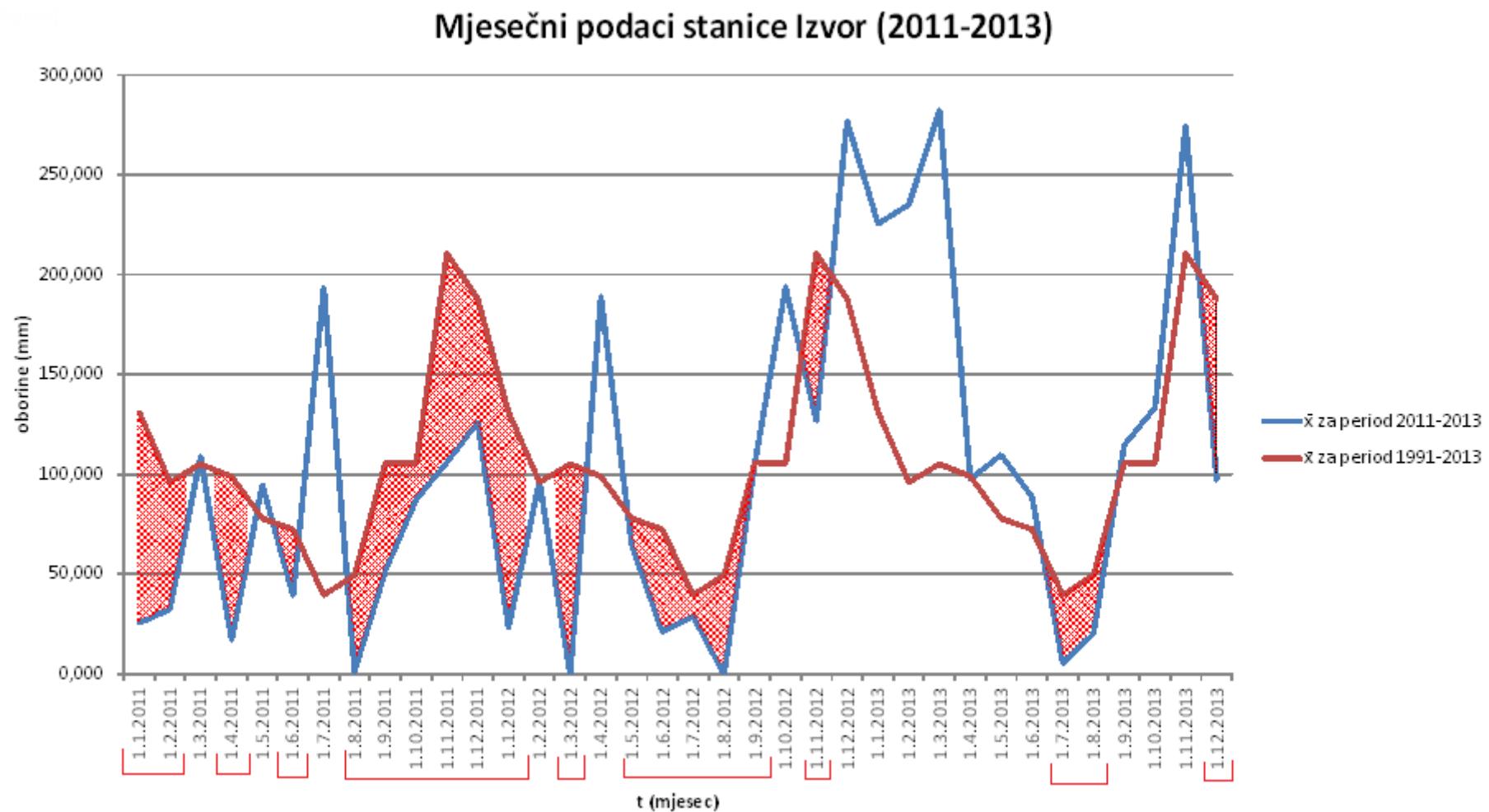
Uočavamo da se već u prvom retku javlja da je zbroj vrijednosti oborina u prva tri mjeseca perioda veći od zbroja triju maksimalnih vrijednosti srednjih mjesečnih oborina te godine pa se može zaključiti kako je došlo do prestaka suše. Paralelno sa ovim testom vrši se i algebarsko zbrajanje razlika oborina te ukoliko suma razlika postane negativna prije kraja prethodnog testa smatra se da je došlo do privremenog prekida suše. Budući da je zbroj razlika za prva tri mjeseca testiranja pozitivna (410,452 mm), smatra se da je suša završena.

Na slici 5.36. prikazan je hidrogram srednjih mjesečnih oborina dobivenih za dva različita perioda; 1990.-2013. i 2011.-2013.

Na slici 5.37. prikazani su sušni periodi dobiveni modificiranim metodom na temelju podataka o oborinama.



Slika 5.36. Prikaz mjesečnih oborina za period 2011.-2013. (plava boja) i srednjih mjesečnih oborina za period 1991.-2013. (crvena boja)



Slika 5.37. Prikaz sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju podataka o oborinama

### 5.2.5. Određivanje trajanja, jakosti i intenziteta sušnih perioda

U tablicama 5.36. i 5.37. prikazane su karakteristike sušnih perioda koje su dobivene na temelju podataka o protocima i oborinama: početak i kraj, trajanje, jačina i intenzitet. Ljubičastom bojom spojeni su sušni periodi koji se mogu smatrati jednim događajem kako je to definirano modificiranim metodom. Intenzitet sušnog perioda dobije se osrednjavanjem deficita sušnih perioda, dok se jačina dobije množenjem intenziteta i trajanja sušnih perioda.

| Redni broj | Početak    | Kraj        | Trajanje (dana) | Jačina ( $\text{m}^3$ ) | Intenzitet ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|------------|------------|-------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1          | travanj-11 | lipanj-11   | 91              | 4874688,0               | 0,620                                |
| 2          | kolovoz-11 | ožujak-12   | 243             | 19546531,2              | 0,931                                |
| 3          | svibanj-12 | studen-12   | 187             | 4847040,0               | 0,300                                |
| 4          | srpanj-13  | listopad-13 | 123             | 1009584,0               | 0,095                                |

Tabela 5.36. Prikaz karakteristika sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju protoka

| Redni broj | Početak     | Kraj        | Trajanje (mjesec) | Jačina (mm) | Intenzitet (mm/mjesec) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|------------------------|
| 1          | siječanj-11 | veljača-11  | 2                 | 169,326     | 84,663                 |
| 2          | travanj-11  | travanj-11  | 1                 | 81,879      | 81,879                 |
| 3          | lipanj-11   | lipanj-11   | 1                 | 33,183      | 33,183                 |
| 4          | kolovoz-11  | siječanj-12 | 6                 | 394,438     | 65,740                 |
| 5          | ožujak-12   | ožujak-12   | 1                 | 105,222     | 105,222                |
| 6          | svibanj-12  | rujan-12    | 5                 | 125,193     | 25,039                 |
| 7          | studen-12   | studen-12   | 1                 | 83,657      | 83,657                 |
| 8          | srpanj-13   | kolovoz-13  | 2                 | 63,424      | 31,712                 |
| 9          | prosinac-13 | prosinac-13 | 1                 | 90,539      | 90,539                 |

Tabela 5.37. Prikaz karakteristika sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju oborina

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju podataka o protoku izmjerena na mjernej stanici izvora rijeke Žrnovnice u razdoblju od 1990.-2013. godine te podataka o oborinama mjerena na kišomjernoj stanici Dugopolje u periodu 1991.-2013. godine, analiza i procjena suše se vršila za period 2011.-2013. godine. Kao rezultat navedene metode prikazani su periodi sušnih razdoblja s obzirom na različite odabrane pragove transformacije, jačine suša i intenziteti.

U navedenoj analizi promatrana je metoda transformacije na temelju četiri različita praga transformacije. Paralelno je promatrana modificirana metoda na temelju oborina i protoka.

Uočava se da sušni periodi dobiveni modificiranom metodom na temelju podataka o protocima počinju nešto kasnije nego periodi dobiveni na temelju oborina (travanj 2011. naspram siječnja 2011.). Razlog tome može se smatrati činjenica da meterološka suša uzrokovana smanjenom količinom oborina s obzirom na prosjek uzrokuje smanjenje protoka u vodotocima. Naime, nakon što se na nekom području jave manje količine oborina nego što je uobičajeno za taj period iz podzemnih rezerva crpe se određene količine vode no protok u vodotoku svakako opada. Ako meterološka suša potraje duži period ona uzrokuje male vode ili hidrološku sušu.

Budući da je metoda transformacije promatrana na temelju dnevnih podata a modificirana metoda na temelju mjesecnih podataka, metoda transformacije nam daje detaljnije podatke o sušnim periodima. No tu se javlja problem definiranja pojma sušnog perioda, odnosno minimalnog trajanja sušnog perioda. Kako je suša interdisciplinarni problem, svaka znanstvena ili stručna grana definira neke svoje pragove transformacije i kritične količine oborina ili protoka ispod kojih se javlja suša stoga se obje metode mogu koristiti te su se pokazale dovoljno precizne.

Kao što je već navedeno, osnovni problem u analizi identifikacije suše je nedostatak pouzdane metode kojom bi se vršila usporedba suša koje su se javile u različitim razdobljima i različitim lokalitetima. Kako suša predstavlja ekstremna hidrološku pojavu koja izaziva velike gospodarske i ekološke štete, sve veći napor se ulazi u razvijanje novih i tehnološki naprednijih načina identifikacije suše koji bi nas pravovremeno mogli upozoriti na mogućnost pojave te nepogode i na taj način smanjili njene negativne posljedice.

## Popis slika

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Slika 2.1. Raspodjela vode u podzemlju</i>   | <i>9</i>  |
| <i>Slika 3.1. Slivno područje rijeka Jadro i Žrnovnica</i>  | <i>11</i> |
| <i>Slika 3.2. Hidrogram rijeke Jadro (2011.-2013.)</i>  | <i>13</i> |
| <i>Slika 3.3. Hidrogram rijeke Jadro (2011.-2013.)</i>  | <i>14</i> |
| <i>Slika 3.4. Rijeka Žrnovnica</i>  | <i>15</i> |
| <i>Slika 4.1. Prikaz hiperaridnog, aridnog, poluaridnog i subhumidnog područja</i>  | <i>17</i> |
| <i>Slika 4.2. Karakteristike suše</i>   | <i>21</i> |
| <i>Slika 5.1. Prikaz fiksног i sezonskог, mjeseчног i dnevног varijabilnог praga</i>  | <i>25</i> |
| <i>Slika 5.2. Hidrogram rijeke Žrnovnice (2011.-2013.)</i>  | <i>26</i> |
| <i>Slika 5.3. Krivulja trajanja za period 2011.-2013</i>  | <i>27</i> |
| <i>Slika 5.4. Hidrogram sa odabranim fiksним pragom transformacije</i>  | <i>28</i> |
| <i>Slika 5.5. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-31.3.2011.</i>  | <i>30</i> |
| <i>Slika 5.6. Krivulja trajanja za period 1.4.2011.-30.9.2011.</i>  | <i>31</i> |
| <i>Slika 5.7. Krivulja trajanja za period 1.10.2011.-31.3.2012.</i>   | <i>32</i> |
| <i>Slika 5.8. Krivulja trajanja za period 1.4.2012.-30.9.2012.</i>  | <i>33</i> |
| <i>Slika 5.9. Krivulja trajanja za period 1.10.2012.-31.3.2013.</i>   | <i>34</i> |
| <i>Slika 5.10. Krivulja trajanja za period 1.4.2013.-30.9.2013.</i>   | <i>35</i> |
| <i>Slika 5.11. Krivulja trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.</i>   | <i>36</i> |
| <i>Slika 5.12. Hidrogram sa odabranim varijabilnim sezonskim pragom transformacije</i>  | <i>37</i> |
| <i>Slika 5.13. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-30.4.2011.</i>   | <i>39</i> |
| <i>Slika 5.14. Krivulja trajanja za period 1.5.2011.-30.9.2011.</i>   | <i>40</i> |
| <i>Slika 5.15. Krivulja trajanja za period 1.10.2011.-30.4.2012.</i>  | <i>41</i> |
| <i>Slika 5.16. Krivulja trajanja za period 1.5.2012.-30.9.2012.</i>   | <i>42</i> |
| <i>Slika 5.17. Krivulja trajanja za period 1.10.2012.-30.4.2013.</i>  | <i>43</i> |
| <i>Slika 5.18. Krivulja trajanja za period 1.5.2013.-30.9.2013.</i>   | <i>44</i> |
| <i>Slika 5.19. Krivulja trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.</i>   | <i>45</i> |
| <i>Slika 5.20. Hidrogram sa varijabilnim sezonskim pragom transformacije odabranim na temelju hidroloшке godine</i>   | <i>46</i> |
| <i>Slika 5.21. Krivulja trajanja za period 1.1.2011.-31.12.2011.</i>  | <i>48</i> |
| <i>Slika 5.22. Krivulja trajanja za period 1.1.2012.-31.12.2012.</i>  | <i>50</i> |
| <i>Slika 5.23. Krivulja trajanja za period 1.1.2013.-31.12.2013.</i>  | <i>51</i> |
| <i>Slika 5.24. Hidrogram sa odabranim varijabilnim godишnjim pragom transformacije</i>  | <i>52</i> |
| <i>Slika 5.25. Hidrogram sa odabranim fiksним godишnjim pragom transformacije</i>   | <i>54</i> |
| <i>Slika 5.26. Hidrogram sa odabranim varijabilnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije</i>  | <i>55</i> |
| <i>Slika 5.27. Hidrogram sa odabranim varijabilnim sezonskim (1.svibnja-1.listopada) pragom transformacije</i>  | <i>56</i> |
| <i>Slika 5.28. Hidrogram sa odabranim varijabilnim godишnjim pragom transformacije</i>  | <i>57</i> |
| <i>Slika 5.29. Hidrogram sa usvojenim fiksним pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje: <math>Q_{90}=0,55 \text{ m}^3/\text{s}</math></i>                                       | <i>59</i> |
| <i>Slika 5.30. Hidrogram sa usvojenim minimalnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje: <math>Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}</math></i>  | <i>60</i> |
| <i>Slika 5.31. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim sezonskim (1.travnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje: <math>Q_{90}=1,05 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>61</i> |
| <i>Slika 5.32. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim sezonskim (1.svibnja-1.listopada) pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje: <math>Q_{90}=0,90 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>62</i> |
| <i>Slika 5.33. Hidrogram sa usvojenim maksimalnim godишnjim pragom transformacije za cijelo promatrano razdoblje: <math>Q_{90}=0,45 \text{ m}^3/\text{s}</math></i>                         | <i>63</i> |
| <i>Slika 5.34. Prikaz srednjih mjeseчnih protoka dobivenih za 2 razliчita vremenska perioda</i>   | <i>76</i> |

|   |    |
|---|----|
| <i>Slika 5.35. Prikaz sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju podataka o protocima</i>  | 77 |
| <i>Slika 5.36. Prikaz mjesecnih oborina za period 2011.-2013. (plava boja) i srednjih mjesecnih oborina za period 1991.-2013. (crvena boja)</i> | 85 |
| <i>Slika 5.37. Prikaz sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju podataka o oborinama</i>  | 86 |

## Popis tablica

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabela 5.1. Izračun krivulje trajanja za period 2011.-2013.</i>  | <i>27</i> |
| <i>Tabela 5.2. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-31.3.2011.</i>   | <i>30</i> |
| <i>Tabela 5.3. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2011.-30.9.2011.</i>   | <i>31</i> |
| <i>Tabela 5.4. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2011.-31.3.2012.</i>  | <i>32</i> |
| <i>Tabela 5.5. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2012.-30.9.2012.</i>   | <i>33</i> |
| <i>Tabela 5.6. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2012.-31.3.2013.</i>  | <i>34</i> |
| <i>Tabela 5.7. Izračun krivulje trajanja za period 1.4.2013.-30.9.2013.</i>   | <i>35</i> |
| <i>Tabela 5.8. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.</i>   | <i>36</i> |
| <i>Tabela 5.9. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-30.4.2011.</i>   | <i>39</i> |
| <i>Tabela 5.10. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2011.-30.9.2011.</i>  | <i>40</i> |
| <i>Tabela 5.11. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2011.-30.4.2012.</i>   | <i>41</i> |
| <i>Tabela 5.12. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2012.-30.9.2012.</i>  | <i>42</i> |
| <i>Tabela 5.13 Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2012.-30.4.2013.</i>  | <i>43</i> |
| <i>Tabela 5.14. Izračun krivulje trajanja za period 1.5.2013.-30.9.2013.</i>  | <i>44</i> |
| <i>Tabela 5.15. Izračun krivulje trajanja za period 1.10.2013.-31.12.2013.</i>  | <i>45</i> |
| <i>Tabela 5.16. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2011.-31.12.2011.</i>   | <i>48</i> |
| <i>Tabela 5.17. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2012.-31.12.2012.</i>   | <i>49</i> |
| <i>Tabela 5.18. Izračun krivulje trajanja za period 1.1.2013.-31.12.2013.</i>   | <i>51</i> |
| <i>Tabela 5.19. Prikaz karakteristika sušnog perioda kada je odabran prag trasformacije <math>Q_{90}=0,55 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>64</i> |
| <i>Tabela 5.20. Prikaz karakteristika sušnog perioda kada je odabran prag trasformacije <math>Q_{90}=0,40 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>64</i> |
| <i>Tabela 5.21. Prikaz karakteristika sušnog perioda kada je odabran prag trasformacije <math>Q_{90}=1,05 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>64</i> |
| <i>Tabela 5.22. Prikaz karakteristika sušnog perioda kada je odabran prag trasformacije <math>Q_{90}=0,90 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>65</i> |
| <i>Tabela 5.23. Prikaz karakteristika sušnog perioda kada je odabran prag trasformacije <math>Q_{90}=0,45 \text{ m}^3/\text{s}</math></i> | <i>65</i> |
| <i>Tabela 5.24. Srednji mjesecni protoci za period 1990.-2013.</i>  | <i>69</i> |
| <i>Tabela 5.25. Srednji mjesecni protoci za period 2011.-2013.</i>  | <i>70</i> |
| <i>Tabela 5.26. Prikaz <math>D(t)</math>, <math>W(t)</math> i <math>E(t)</math> za period 2011.-2013.</i>                                 | <i>71</i> |
| <i>Tabela 5.27. Prikaz MMD, MAD i X za period 2011.-2013.</i>   | <i>72</i> |
| <i>Tabela 5.28. Prikaz pomicne skale i apsolutnih vrijednosti zbroja <math>D(t)</math> za period 2011.-2013. godine</i>                   | <i>73</i> |
| <i>Tabela 5.29. Testiranje završetka suše</i>   | <i>74</i> |
| <i>Tabela 5.30. Prosječne mjesecne oborine za period 1991.-2013. godine</i>   | <i>78</i> |
| <i>Tabela 5.31. Mjesecne oborine za period 2011.-2013. godine</i>   | <i>79</i> |
| <i>Tabela 5.32. Prikaz <math>D(t)</math>, <math>W(t)</math> i <math>E(t)</math> za period 2011.-2013.</i>                                 | <i>80</i> |
| <i>Tabela 5.33. Prikaz MMD, MAD i X za period 2011.-2013.</i>   | <i>81</i> |
| <i>Tabela 5.34. Prikaz pomicne skale i apsolutnih vrijednosti zbroja <math>D(t)</math> za period 2011.-2013. godine</i>                   | <i>82</i> |
| <i>Tabela 5.35. Testiranje završetka suše</i>   | <i>84</i> |
| <i>Tabela 5.36. Prikaz karakteristika sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju protoka</i>                               | <i>87</i> |
| <i>Tabela 5.37. Prikaz karakteristika sušnih perioda dobivenih modificiranim metodom na temelju oborina</i>                               | <i>87</i> |

## **Popis literature**

- [1] S. Mohan, N.C.V.Rangacharya: A modified method for drought identification, 2009
- [2] WMO: Manual on low-flow estimation and prediction, 2009
- [3] F. Fiorillo: Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment, 2009
- [4] O. Bonacci: Hydrological identification of drought, 2006
- [5] H. Hrelja: Inženjerska hidrologija, 2007
- [6] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Žrnovnica\\_\(Split\)](https://hr.wikipedia.org/wiki/Žrnovnica_(Split))
- [7] [http://www.voda.hr/sites/default/files/pdf\\_clanka/hv\\_79-80\\_2012\\_37-42\\_bonacci.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/pdf_clanka/hv_79-80_2012_37-42_bonacci.pdf)
- [8] P.H. Herbst, D.B. Bredenkamp, H.M.G. Barker: A technique for the evaluation of drought from rainfall data (str. 264-272), 1966

## **Prilozi**

Prilog 1 – Dnevni podaci o protoku stanice Izvor Žrnovnice za period 2011.-2013. godine

Prilog 2 – Mjesečni podaci o protoku stanice Izvor Žrnovnice za period 2011.-2013. godine

Prilog 3 - Dnevni podaci o oborinama sa kišomjerne Dugopolje za period 2011.-2013. godine

Prilog 4 - Mjesečni podaci o oborinama sa kišomjerne Dugopolje za period 2011.-2013. godine















|            |       |
|------------|-------|
| 29.11.2013 | 2,359 |
| 30.11.2013 | 2,147 |
| 1.12.2013  | 2,044 |
| 2.12.2013  | 1,960 |
| 3.12.2013  | 1,933 |
| 4.12.2013  | 1,853 |
| 5.12.2013  | 1,771 |
| 6.12.2013  | 1,707 |
| 7.12.2013  | 1,633 |
| 8.12.2013  | 1,563 |
| 9.12.2013  | 1,481 |
| 10.12.2013 | 1,409 |

|            |       |
|------------|-------|
| 11.12.2013 | 1,345 |
| 12.12.2013 | 1,275 |
| 13.12.2013 | 1,215 |
| 14.12.2013 | 1,183 |
| 15.12.2013 | 1,140 |
| 16.12.2013 | 1,105 |
| 17.12.2013 | 1,062 |
| 18.12.2013 | 1,020 |
| 19.12.2013 | 0,997 |
| 20.12.2013 | 0,976 |
| 21.12.2013 | 0,942 |
| 22.12.2013 | 0,932 |

|            |        |
|------------|--------|
| 23.12.2013 | 0,911  |
| 24.12.2013 | 0,884  |
| 25.12.2013 | 0,867  |
| 26.12.2013 | 1,364  |
| 27.12.2013 | 12,712 |
| 28.12.2013 | 9,076  |
| 29.12.2013 | 5,087  |
| 30.12.2013 | 3,384  |
| 31.12.2013 | 2,693  |

**Prilog 2**

| Datum       | Protok (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|----------------------------|
| siječanj-11 | 1,682                      |
| veljača-11  | 1,267                      |
| ožujak-11   | 2,570                      |
| travanj-11  | 1,040                      |
| svibanj-11  | 1,124                      |
| lipanj-11   | 0,693                      |
| srpanj-11   | 0,607                      |
| kolovoz-11  | 0,520                      |
| rujan-11    | 0,398                      |
| listopad-11 | 0,558                      |
| studen-11   | 1,821                      |
| prosinac-11 | 2,004                      |
| siječanj-12 | 0,986                      |
| veljača-12  | 1,354                      |
| ožujak-12   | 1,127                      |
| travanj-12  | 3,248                      |
| svibanj-12  | 1,072                      |
| lipanj-12   | 0,734                      |
| srpanj-12   | 0,582                      |
| kolovoz-12  | 0,520                      |
| rujan-12    | 0,430                      |
| listopad-12 | 1,053                      |
| studen-12   | 1,653                      |
| prosinac-12 | 4,393                      |
| siječanj-13 | 4,175                      |
| veljača-13  | 4,154                      |
| ožujak-13   | 5,097                      |
| travanj-13  | 2,790                      |
| svibanj-13  | 1,061                      |
| lipanj-13   | 1,154                      |
| srpanj-13   | 0,589                      |
| kolovoz-13  | 0,478                      |
| rujan-13    | 0,534                      |
| listopad-13 | 1,175                      |
| studen-13   | 2,722                      |
| prosinac-13 | 2,178                      |















|            |      |
|------------|------|
| 29.11.2013 | 0    |
| 30.11.2013 | 0    |
| 1.12.2013  | 13,3 |
| 2.12.2013  | 4,2  |
| 3.12.2013  | 0    |
| 4.12.2013  | 0    |
| 5.12.2013  | 0    |
| 6.12.2013  | 0    |
| 7.12.2013  | 0    |
| 8.12.2013  | 0    |
| 9.12.2013  | 0    |
| 10.12.2013 | 0    |
| 11.12.2013 | 0    |
| 12.12.2013 | 0    |
| 13.12.2013 | 0    |
| 14.12.2013 | 0    |
| 15.12.2013 | 0    |
| 16.12.2013 | 0    |
| 17.12.2013 | 0    |
| 18.12.2013 | 0    |
| 19.12.2013 | 0    |
| 20.12.2013 | 0    |
| 21.12.2013 | 0    |
| 22.12.2013 | 0    |
| 23.12.2013 | 0    |
| 24.12.2013 | 0    |
| 25.12.2013 | 0    |
| 26.12.2013 | 0    |
| 27.12.2013 | 78,8 |
| 28.12.2013 | 1,1  |
| 29.12.2013 | 0    |
| 30.12.2013 | 0    |
| 31.12.2013 | 0    |

**Prilog 4**

| Datum  | Oborine (mm) |
|--------|--------------|
| sij.11 | 25,600       |
| vlj.11 | 32,500       |
| ožu.11 | 108,900      |
| tra.11 | 17,100       |
| svi.11 | 94,800       |
| lip.11 | 39,300       |
| srp.11 | 193,600      |
| kol.11 | 1,400        |
| ruj.11 | 52,100       |
| lis.11 | 87,500       |
| stu.11 | 106,100      |
| pro.11 | 126,200      |
| sij.12 | 23,400       |
| vlj.12 | 96,700       |
| ožu.12 | 0,000        |
| tra.12 | 189,200      |
| svi.12 | 64,800       |
| lip.12 | 21,200       |
| srp.12 | 28,900       |
| kol.12 | 0,000        |
| ruj.12 | 105,600      |
| lis.12 | 193,700      |
| stu.12 | 127,000      |
| pro.12 | 276,800      |
| sij.13 | 225,600      |
| vlj.13 | 235,100      |
| ožu.13 | 282,400      |
| tra.13 | 97,700       |
| svi.13 | 109,800      |
| lip.13 | 88,800       |
| srp.13 | 5,600        |
| kol.13 | 20,300       |
| ruj.13 | 114,800      |
| lis.13 | 133,500      |
| stu.13 | 274,800      |
| pro.13 | 97,400       |