

PRIMJENA HIDROLOŠKIH METODA U ODREĐIVANJU EKOLOŠKI PRIHVATLJIVOG PROTICAJA RIJEKE VRBANJE

Apstrakt: Antropogeni uticaj na tekuće vode sve je izraženiji u posljednjih nekoliko decenija. Korištenje vode može doprinijeti privrednom razvoju nekog prostora, posebno ako se nastoji iskoristiti njen potencijal ili ako se ona upotrebi u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina. Međutim, izgradnja akumulacija ili drugih hidrotehničkih objekata najčešće sa sobom nosi veoma teške posljedice u smislu uticaja na ekosistem vodotoka, morfologiju riječnog korita, fizičko - hemijske karakteristike vode i druge elemente. Brojna istraživanja ukazala su na negativne efekte izmijenjenog režima rijeke i potrebe definisanja ekološki prihvatljivog proticaja. U radu je prikazana primjena nekoliko hidroloških metoda u određivanju ekološki prihvatljivog proticaja, i to posebno onih koje se trenutno koriste u Evropi i u našoj zemlji.

Ključne riječi : vodni resursi, proticaj, ekološki prihvatljiv proticaj, rijeka Vrbanja.

Abstract : Human influence on running waters is being more expressed in last few decades. Use of water may contribute to the economic development of a certain area if its potential was intended to be exploited as well as if it was to be used for the irrigation of a agricultural areas. However, constructions of accumulations or other hydrotechnic structures usually carries very serious consequences in terms of impact on the ecosystem of water, morphology of river-bed, physical and chemical characteristics of water and other elements. Numerous studies have pointed to the negative effects of changed running river regime and the need to define environmental flow. The paper describes the application of a hydrological method in determining environmental flow, especially those currently used in Europe as well as in our country.

Key words : water resources, flow, environmental flow, river Vrbanja.

UVOD

U nauci je već odavno poznata činjenica da brojni tehnički sistemi koje čovjek stvara, prolaze tokom vremena kroz proces oprečnih ocjena i kvalifikacija. U prvoj fazi oni bivaju glorifikovani, da bi se ne dugo zatim negirali i to upravo onda kada se prvi put ispolje negativni efekti njihovog djelovanja na čovjeka i njegovo okruženje. Ipak, ne smije se zaboraviti da ovakav odnos treba posmatrati u svjetlu dijalektičkog materijalizma, koji ukazuje da svako stvaranje koje se definiše kao progres, treba istovremeno posmatrati i

¹ Dr Radislav Tošić, doc., Prirodno - matematičkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka, Bosna i Hercegovina.

² Mr Snežana Winterfeld, dipl. ing. građ., Zavod za vodoprivredu Bijeljina, Bijeljina, Bosna i Hercegovina.

³ Novica Lovrić, asistent Prirodno - matematičkog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci, Banja Luka, Bosna i Hercegovina.

kao uzrok poremećaja koji ugrožavaju druge komponente opšteg progresa. Primjer akumulacionih jezera je nazaobilazan, jer su ona, možda i više nego drugi tehnički sistemi i hvaljena i osporavana. Osporavanje je najčešće bazirano na nespremnosti da se vodoprivredni sistemi sa akumulacionim jezerima posmatraju kao podsistemi u jednom složenom socio - ekološkom sistemu, ali sistemu u kojem je neophodno jasno razgraničiti uzroke, posljedice, koristi, štete i u kojem je potrebno činiti organizovane i planirane aktivnosti kako bi se negativne posljedice svele na prihvatljivu mjeru sa aspekta složenog socio - ekološkog sistema. Razlog drugačijem pristupu, od osporavanja, je izraženi demografski rast i tehničko - tehnološki razvoj koji su uzrokovali povećanje potrošnje vode, čime se odnos raspoloživih kapaciteta vodnih resursa u slivovima smanjio u odnosu na zahtjeve potrošnje, pa je na zahtjeve bilo moguće odgovoriti samo uz izraženija izravnavanja proticaja.

Dakle, ova činjenica kao i stalni porast zahtjevane obezbjeđenosti svih vidova potrošnje, osnovni su faktor izražene potrebe izgradnje sve složenijih vodoprivrednih sistema sa akumulacionim jezerima kojima se obezbjeđuje potrebna vremenska raspodjela voda (Verčon et all., 1978, Tošić, 2007).

Iako se vodoprivredni sistemi sa akumulacionim jezerima grade već hiljade godina, tek se posljednjih decenija oni počinju izučavati u okviru većih sistema, socijalno - urbanih i ekoloških, jer se iz faze izgradnje izolovanih akumulacionih basena, sa ograničenim uticajem na okruženje - ekosistem, prešlo na izgradnju čitavih sistema vještačkih jezera - akumulacija i to ponegdje sa potpunim kaskadiraanjem vodotoka. Radikalnija promjena uslova u životnoj sredini, nametnula je obavezu sistemskog i ekološkog pristupa i otvorila prostor za uključivanje svih naučnih disciplina u čijoj su sferi proučavanje procesa i pojava u slivu akumulacije, u samoj akumulaciji, ali i pojava i procesa u vodotocima uzvodno i nizvodno od akumulacije

Na rijeci Vrbanji predviđena je izgradnja nekoliko malih hidroelektrana, trenutno je zainteresovano 18 koncesionara dok je jedna mala hidroelektrana i realizovana. Vrbanja ima najveći značaj kao rijeka koja može obezbijediti dovoljnu količinu vode potrebnu za navodnjavanje Lijevče polja i Srbačko-Nožičke ravni. Ovako definisan zahtjev nameće potrebu izgradnje akumulacija na Vrbanji, a ukupna potrebna zapremina akumulacionog prostora trebala bi da bude $160 - 170 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Dakle, bez relativno većih akumulacija, osnovni zadatak Vrbanje u okviru Vodoprivredne osnove rijeke Vrbasa ne bi mogao biti izvršen.

Prosječni specifični energetska kapacitet za cijeli tok iznosi 3.35 GWh/km, što ne svrstava Vrbanju u energetska značajne tokove, dok je ukupni energetska kapacitet toka je 310.9 GWh godišnje.

Osnovni razlog za ovo su relativno male proticajne količine vode, a i relativno velika dužina toka. Može se uočiti da je energetska kapacitet rijeke Vrbanje ravnomjernije raspoređen duž toka, nego kod ostalih pritoka Vrbasa. Izvorišni (od St. 92+800 do St. 87+700 km, 6.0 GWh/km), srednji (od St. 55+450 do 38+900 km, 3.9 GWh/km) i najnižvodniji potez (od St. 11+200 do St. 0+000 km, 4.9 GWh/km) imaju prosječnu vrijednost specifičnog energetska kapaciteta nešto veću od prosječne za cijeli tok, pa su to i najatraktivnija mjesta za energetska iskorištenje Vrbanje. Pošto je specifični energetska kapacitet duž toka Vrbanje prilično izravnat, to ne postoji neko posebno atraktivno mjesto koje bi bilo predodređeno za izgradnju postrojenja. Pored toga, jedan od značajnijih problema na rijeci Vrbanji je relativno mali proticaj, pa bez izraženih lokaliteta sa koncentrisanim padom korita, nema ni mogućnosti izgradnje nekog ključnog postrojenja, a da se pri tome ne pristupi izgradnji akumulacije. Usvojenim rasporedom postrojenja na

Vrbanji predviđeno je zadovoljenje osnovnog uslova – potrebe za navodnjavanjem Lijeve polja i Srbačko - Nožičke ravni, odnosno predviđeno je obezbjeđenje potrebnog proticaja na Vrbasu izgradnjom akumulacija na Vrbanji. Predviđene akumulacije „Šiprage“, „Grabovica“ i „Čelinac“ formirane su na mjestima gdje bi potapanje naselja bilo minimalno, ali da se obezbijedi potrebna zapremina. Usvojenom varijantom predviđeno je postojanje 18 postrojenja, od kojih su petnaest derivaciona: Divič, Kruševo, Stopan, Koritine, Jurići, Orahovo, Obodnik, Vrbanjci, Kotor Varoš I, Šibovi, Gradina, Rudine, Vrbanja I, Vrbanja II, Vrbanja III, i tri pribranska postrojenja: Šiprage, Grabovica i Čelinac I. Zbog izražene naseljenosti pojedinih mjesta uz vodotok i velikog pada, sa malim proticajima, u gornjem toku rijeke, sa navedenim rasporedom hidroelektrana, se postiže iskorištenje bruto pada od 683 m, što iznosi 52.6% od ukupno raspoloživog i formiranje akumulacionog prostora od $167 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Instalirana snaga je 56.42 MW i moguća srednja godišnja proizvodnja od 195.10 – 196.60 GWh (Bratić et al., 2006).

Pregrađivanjem vodotoka Vrbanje formiraće se akumulacije čime će se znatno izmijeniti vodni režim nizvodno od pregradnog objekta. Budući da je svaki vodotok specifičan po svojim prirodnim karakteristikama, pri svim vidovima bilansiranja voda u vodotocima uvijek se mora voditi računa o proticaju neophodnom za zadovoljavanje potreba onog dijela stanovništva uzvodno, ali i nizvodno od objekta, kao i proticaju koji je neophodan za ihtiofaunu i prateće biocenoze u slivu tog vodotoka. Dakle, potrebno je naglasiti da veličina šteta koje nastanu na vodotoku i u slivu, a koje su izazvane zahvatanjem vode najčešće jednaka ili veća od cijene koja se mora platiti za njegovu obnovu. U tom smislu, neophodno je predvidjeti posljedice zahvatanja vode na režim proticaja jer bilo kakav vještački uticaj na režim proticaja bitno će uticati i na sam ekosistem rijeke. Stoga, u ovakvim slučajevima neophodno je određivanje ekološki prihvatljivog proticaja koji treba obezbjediti adekvatan režim toka i to u smislu kvantiteta, kvaliteta i dinamike da bi se održao "dobar" status akvatičnih ekosistema (Bonacci et al., 1997, 1997a, Bonacci, 1999, 2000, 2003, Mišetić, 1995, 2003, Acreman, et al., 2004).

Oređivanje minimalnih količina vode koja će stalno teći u prirodnom koritu nizvodno od zahvata multidisciplinarni je problem. U razvijenim zemljama svijeta za definisanje ekološki prihvatljivog proticaja razrađene su složene ekološke metode i modeli biološkog odgovora čija primjena u Republici Srpskoj nije moguća zbog nedovoljne biološke i biocenotičke istraženosti vodotoka. Stoga, ekološki prihvatljiv proticaj propisuje se administrativno i to na bazi raspoloživih hidroloških analiza i dostupnih podataka. Ekološki prihvatljivi proticaj se trenutno utvrđuje na osnovu hidroloških osobina vodnog tijela za karakteristične sezone, i to kao minimalni srednji mjesečni proticaj 95 % obezbjeđenosti. Ipak, i u ovom dijelu aktivnosti definisanja ekoloških prihvatljivog proticaja postoji veliki broj metoda koje su uglavnom zasnovane na hidrološkim i statističkim vrijednostima.

U ovom radu biće primjenjeno nekoliko hidroloških metoda u cilju definisanja ekološki prihvatljivog proticaja rijeke Vrbanje, što u sadašnjim okolnostima definisanja ekološki prihvatljivog proticaja rijeke Vrbanje, kao i ekološki prihvatljivih proticaja drugih vodotoka na teritoriji Republike Srpske predstavlja glavni oslonac brojnim ekohidrološkim studijama.

PROSTOR I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Prostor istraživanja

Sliv rijeke Vrbanje smješten je u zapadnom dijelu Republike Srpske, odnosno na sjeveroistoku sliva rijeke Vrbas. Prostire se između $44^{\circ} 47' 39''$ i $44^{\circ} 20' 44''$ sjeverne geografske širine i $17^{\circ} 12' 33''$ i $17^{\circ} 14' 42''$ istočne geografske dužine. Rijeka Vrbanja desna je pritoka rijeke Vrbas, a njena slivna površina obuhvata prostor od 804.32 km^2 . Rijeka Vrbanja izvire na obroncima planine Vlašić, pružajući se pravcem sjeverozapad - jugoistok ulijeva se nakon 96.07 km u rijeku Vrbas. U morfološkom pogledu sliv rijeke Vrbanje pripada južnom dijelu oboda Panonskog basena, te dijelom središnjoj planinskoj oblasti prostora Republike Srpske i Bosne i Hercegovine. U administrativno - teritorijalnom smislu sliv rijeke Vrbanje sa 99.60% teritorije pripada entitetu Republika Srpska, dok je preostali dio na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine. U Republici Srpskoj sliv se prostire na teritoriji opština Banja Luka, Čelinac, Kotor Varoš, Kneževo, Mrkonjić Grad i Teslić. Dakle, povoljnost geografskog položaja sliva rijeke Vrbanje determinisana je prostornom pripadnošću većeg dijela sliva jednom entitetu, što pruža mogućnost racionalnog upravljanja resursima ovog prostora, ali i mogućnost definisanja i sprovođenja adekvatnih mjera zaštite vodotoka i sliva u cjelini.

Metodologija istraživanja

U posljednjih nekoliko decenija naučnici su prepoznali negativne efekte izmjena riječnog režima na ekosistem rijeke. U namjeri da se minimiziraju negativni efekti razvijeni su različiti metodološki pristupi regulacije riječnog režima i to u namjeri da se pored ekonomskih efekata značajna pažnja posveti ekosistemu rijeke (Žvanut et al., 2008).

Precizno definisanje ekološki prihvatljivog proticaja je veoma složen zadatak, brojni autori na različite načine definišu ovaj pojam i to u zavisnosti od kriterija i mjerila (Jowet, 1997. Dunbar et al., 1998., Acreman et al., 2003., Tharme 2003). Dakle, kriteriji i na osnovu njih definisane metode određivanja ekološki prihvatljivog proticaja značajno se razlikuju. Kriteriji za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja nisu uvijek isključivo ekološke prirode, što znači da se ne odnose samo na očuvanje akvatičnih ekosistema, već dobrim dijelom zavise i od ispunjenja zahtijeva ostalih korisnika vode. Upravo zbog ostalih korisnika vode, koji stalno povećavaju pritisak na vodotoke, u posljednje vrijeme sve je prisutnije smanjenje minimalnih i srednjegodišnjih proticaja i to posebno na dionicama nizvodno od brana i akumulacija. U ranijim fazama rješavanja ove problematike, metode su bile usmjerene na zaštitu vrha hranidbenog lanca ili ribljih vrsta u vodotoku, jer se smatralo da ako se ova vrsta zaštiti da će ujedno biti zaštićeni i drugi dijelovi hranidbenog lanca. Međutim, već ubrzo ovakav se pristup pokazao neefikasnim, pa Doupe i Pettit (2002) smatraju da je pri određivanju ekološki prihvatljivog proticaja potrebno naći ravnotežu između potrebe za vodom ekosistema i socio - ekonomskog okruženja što na određeni način usmjerava ka integralnom upravljanju vodnim resursima vodotoka (Doupe, et al., 2002, Bonacci, 2003, Mišetić, 2003). Stoga, ako bi u najkraćem željeli definisati pojam ekološki prihvatljivog proticaja, onda bi mogli reći da je riječ o određenoj količini vode koja osigurava ekološku ravnotežu i čuva prirodnu stabilnost ekosistema vodotoka. Određivanje minimalnih količina vode koje će stalno teći u vodotoku nizvodno od vodozahvata je multidisciplinarni zadatak. No, unatoč

kompleksnosti međusobnih interakcija bio - ekoloških faktora u vodotocima ovom se problemu veoma rijetko tako i pristupa.

Teoretski i praktični postupci ili metode u određivanju ekološki prihvatljivog proticaja pružaju brojna rješenja od najjednostavnijih do najsloženijih. Međutim, moramo biti svjesni da složene metode traže velik broj podataka koji u datom momentu ne postoje i koje je veoma teško sakupiti u kratkom vremenskom periodu. Iz tih razloga, u praksi se najčešće ekološki prihvatljiv proticaj propisuje administrativno (Zakon o vodama Republike Srpske) i to na bazi raspoloživih hidroloških analiza i hidrometrijskih mjerenja. Međutim, ovako determinisana vrijednost ekološki prihvatljivog proticaja uglavnom ne zadovoljava sve korisnike vode jer se ne bazira na bio - ekološkim karakteristikama vodotoka i zahtjevima okolnog prostora (Žvanut et al., 2008). Stoga, do momenta kada će se steći uslovi za primjenu složenih ili kompleksnih interdisciplinarnih metoda za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja, ostaje da se služimo brzim ili približnim postupcima određivanja ili metodama kod koji se koristi jedan ili manji broj važnih kriterija za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja. U tom smislu, u ovom istraživanju korištene su hidrološke metode - koje se baziraju na poznavanju serija hidroloških podataka.

Primjena **GEP metode** (garantovani ekološki proticaj) zasniva se na primjeni tri parametra:

(1) prosječni višegodišnji proticaj na profilu brane, odnosno mjesta zahvata vode (\bar{Q}),

(2) mala mjesečna voda obezbjeđenosti 95% ($Q_{95\%}^{\min.mes}$),

(3) mala mjesečna voda obezbjeđenosti 80% ($Q_{80\%}^{\min.mes}$).

Ukoliko se raspolože višegodišnjim serijama dnevnih proticaja, umjesto minimalnih mjesečnih proticaja ($Q_{95\%}^{\min.mes}$) i ($Q_{80\%}^{\min.mes}$) mogu se koristiti odgovarajuće vrijednosti 30-dnevnih proticaja malih voda istih vjerovatnoća ($Q_{95\%}^{\min.(30)}$) i ($Q_{80\%}^{\min.(30)}$).

Kada se raspolože tim podacima, onda se svi navedeni principi izbora sažimaju u veoma jasnom pravilu, koji definiše GEP metodu. Garantovani ekološki proticaj ($Q_{ekol.gar.}$) usvaja se u sledećim iznosima :

- u hladnom dijelu godine, koji obuhvata period (oktobar - mart) garantovani ekološki proticaj $Q_{ekol.gar.}$ treba odabrati tako da odgovara veličini mjesečne male vode vjerovatnoće 95% ($Q_{95\%}^{\min.mes}$), odnosno male 30-dnevne vode iste vjerovatnoće ($Q_{95\%}^{\min.(30)}$), ali ta vrijednost ne može da bude manja od $0,1 \times \bar{Q}$, niti veća od $0,15 \times \bar{Q}$.

U hladnom periodu godine $Q_{ekol.gar.}$ bira se na osnovu relacije:

$$Q_{ekol.gar.} = \begin{cases} 0.1 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \leq 0.1 \times \bar{Q} \\ Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} & \text{za } 0.1 \times \bar{Q} < Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} < 0.15 \times \bar{Q} \\ 0.15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \geq 0.15 \times \bar{Q} \end{cases}$$

(1)

U toplom dijelu godine, koji obuhvata period (april - septembar) $Q_{ekol.gar.}$ treba odabrati tako da odgovara veličini mjesečne male vode vjerovatnoće 80% ($Q_{80\%}^{\min.mes}$), odnosno male 30-dnevne vode iste vjerovatnoće ($Q_{80\%}^{\min.(30)}$), ali ta vrijednost ne može da bude manja od $0,15 \times \bar{Q}$, odnosno ne treba da bude veća od $0,25 \times \bar{Q}$.

Dakle, u toplom dijelu godine $Q_{\text{ekol.gar}}$ bira se na osnovu relacije :

$$Q_{\text{ekol.gar}} = \begin{cases} 0.15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\text{min.mes}} \text{ ili } Q_{80\%}^{\text{min.(30)}} \leq 0.15 \times \bar{Q} \\ Q_{80\%}^{\text{min.mes}} \text{ ili } Q_{80\%}^{\text{min.(30)}} & \text{za } 0.15 \times \bar{Q} < Q_{80\%}^{\text{min.mes}} \text{ ili } Q_{80\%}^{\text{min.(30)}} < 0.25 \times \bar{Q} \\ 0.25 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\text{min.mes}} \text{ ili } Q_{80\%}^{\text{min.(30)}} \geq 0.25 \times \bar{Q} \end{cases} \quad (2)$$

U slučaju da vrijednosti garantovanih ekoloških proticaja dobijene preko definisanih vjerovatnoća malih voda izlaze izvan opsega koji su definisani gornjim pravilima i nejednačinama, usvajaju se granične vrijednosti (Đorđević, et all., 2009).

Metoda Matthey se primjenjuje u Švajcarskoj, to je jedna od metoda koje su preporučene od strane ESHA (European Small Hydropower Association), Evropske asocijacije za male hidroelektrane. Minimalne količine vode koje su potrebne za život riba treba da se odrede na empirijskim osnovama. Gruba procjena je da te količine odgovaraju većem broju proticaja u dugim serijama godina, što obično odgovara Q_{300} (Bonacci, 2003). Proračun je urađen prema sledećoj formuli:

$$Q_{\text{epp}} = 15 \frac{Q_{300}}{(\ln Q_{300})^2} \quad (3)$$

(ukoliko se obezbjedi da je $Q_{300} > 50 \text{ l/s}$)

Metoda MNQ za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja koja se bazira na jednoj od definicija biološkog minimuma na temelju koje treba u prirodnom koritu vodotoka zadržati sve količine vode do prosječne minimalne količine u vodotoku :

$$Q_o = \text{MNQ} \quad (4)$$

MNQ je prosječni minimalni godišnji proticaj, definisan kao aritmetička sredina minimalnih godišnjih proticaja u razmatranom razdoblju (Bonacci, 2003).

Slovenačka metoda - Metoda za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja koja se bazira na Uredbi Republike Slovenije o kriterijumima za određivanje i praćenje ekološki prihvatljivog proticaja, donesena marta 2009. godine. Ekološki prihvatljiv proticaj Q_{es} se treba odrediti za svaku specifičnu upotrebu površinske vode, koja lako može prouzročiti smanjenje proticaja vode, sniženje nivoa vode ili narušavanje kvaliteta vode. Q_{es} se izračunava po jednačinama, koje su oblikovane u skladu sa podacima, određenim u proteklim godinama, o srednjim malim i srednjim proticajima u području specifične upotrebe vode. Jednačine se razlikuju u pogledu odnosa između sQ_{np} i sQ_{s} , dužina i količina zahvatanja te vraćanja zahvaćene vode u vodotok. Vrijednosti sQ_{np} , sQ_{s} in $sQ_{\text{dek(j)}}$ na području posebnog korištenja površinske vode određuje Agencija Republike Slovenije za okoliš iz podataka državnog hidrološkoga monitoringa (Žvanut et all, 2008).

Kriteriji za određivanje Q_{es} :

Q_{es} se određuje na osnovu podataka o sQ_{np} i sQ_{s} prema:

- odnosu između sQ_{np} i sQ_{s} ,
- odnosu između $sQ_{\text{dek(j)}}$ i sQ_{s} ,
- dužine zahvatanja vode,
- nepovratno ili povratno zahvatanje vode i
- količina zahvatanja.

Gdje je: srednji mali proticaj (sQ_{np}) na području specifične upotrebe površinske vode je aritmetička sredina najnižih godišnjih vrijednosti srednjeg dnevnog proticaja na tom području u daljem periodu osmatranja. Srednji mali proticaj se izražava u m^3/s i računa se po jednačini:

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{np,i} / N \quad (5)$$

gdje je $Q_{np,i}$ najmanji srednji dnevni proticaj u i -toj kalendarskoj godini i N broj godina u periodu osmatranja, običajno posljednjih 30 godina srednji proticaj (sQ_s) na području specifične upotrebe površinske vode je aritmetička sredina srednjih godišnjih vrijednosti proticaja na tom području u daljem periodu osmatranja. Srednji proticaj se izražava u m^3/s i računa se po jednačini:

$$sQ_s = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{s,i} / N \quad (6)$$

gdje je $sQ_{s,i}$ srednji godišnji proticaj u i -toj kalendarskoj godini i N je broj godina u periodu osmatranja, obično posljednjih 30 godina. Srednji dekadni proticaj ($sQ_{dek(j)}$) na području posebnog korištenja površinske vode je aritmetička sredina srednjih dekadnih vrijednosti proticaja na tom području za svaku dekadu u godini u daljem periodu osmatranja. Srednji dekadni proticaj se izražava u m^3/s i računa se po jednačini:

$$sQ_{dek(j)} = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{dek(j),i} / N \quad (7)$$

gdje je $sQ_{dek(j),i}$ srednji dekadni proticaj u j -toj dekadi u i -toj kalendarskoj godini i N je broj godina u periodu osmatranja, obično posljednjih 30 godina;

Dužina zahvatanja je :

1. tačkasta, kada je rastojanje između zahvatanja i ponovnog dotoka u vodotok manja ili jednaka 10 m
2. kratka, kada je rastojanje između zahvatanja i ponovnog dotoka u vodotok:
 - veće od 10 m i manje ili jednako 100 m i slivno područje do mjesta zahvata manje ili jednako 100 km^2 , ili veća od 10 m i manja ili jednaka 200 m, slivno područje do mjesta zahvata veće od 100 km^2 ;
3. duga, kada je rastojanje između zahvatanja i ponovnog dotoka u vodotok više, nego u slučajevima iz prethodnog stava. Zahvatanje vode je povratno, kada se zahvaćena voda vraća površinski nazad u isti vodotok, inače se zahvatanje smatra za nepovratno. Zahvat, kad je količina zahvaćene vode manja ili jednaka od 20 % sQ_s , smatraće se za manji zahvat. Zahvat, kad je količina zahvaćene vode iz vodotoka veća od 20 % sQ_s , smatraće se velikim zahvatom.

Jednačine za računanje Q_{es} :

Posebna korištenja površinske vode sa povratnim zahvatanjem

Izračunavanje Q_{es} za posebno korištenje vode na području vodotoka, kada je odnos između sQ_s i sQ_{np} manje i jednako 20 : 1

Jednačine za izračunavanje Q_{es} pri tačkastom zahvatu:

– za manje zahvate: $Q_{es} = 1,0 \cdot sQ_{np}$

– za velike zahvate: $Q_{es} = 1,2 \cdot sQ_{np}$

Jednačine za izračunavanje Q_{es} pri kratkom zahvatu:

– za manje zahvate: $Q_{es} = 1,0 \cdot sQ_{np}$

– za velike zahvate Q_{es} se izračunava po dekadi:

kada je $sQ_{dek(j)}$ manje od sQs : $Qes = 1,5 \cdot sQnp$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veće ili jednako sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

Jednačine za izračunavanje Qes pri dugom zahvatu:

– za manje zahvate: $Qes = 1,2 \cdot sQnp$

– za velike zahvate Qes se izračunava po dekadi:

kada je $sQ_{dek(j)}$ manje od sQs : $Qes = 1,5 \cdot sQnp$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veće ili jednako sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

Izračunavanje Qes za posebno korištenje vode na području vodotoka, kada je odnos između sQs i $sQnp$ veći od 20 : 1

Jednačine za izračunavanje Qes pri tačkastom zahvatu :

– za manje zahvate: $Qes = 0,05 \cdot sQs$

– za velike zahvate: $Qes = 0,1 \cdot sQs$.

Jednačine za izračunavanje Qes pri kratkom zahvatu :

– za manje zahvate: $Qes = 0,05 \cdot sQs$

– za velike zahvate Qes se izračunava po dekadi :

kada je $sQ_{dek(j)}$ manje od sQs : $Qes = 0,1 \cdot sQs$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veće ili jednako sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

Jednačine za izračunavanje Qes pri dugom zahvatu :

– za manje zahvate: $Qes = 0,1 \cdot sQs$

– za velike zahvate Qes se izračunava po dekadi :

kada je $sQ_{dek(j)}$ manji od sQs : $Qes = 0,1 \cdot sQs$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veće ili jednako sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

Posebno korištenje površinske vode sa nepovratnim zahvatom. Izračunavanje Qes za posebno korištenje vode na području vodotoka, kada je odnos između sQs i $sQnp$ manje ili jednako 20 : 1

Jednačina za izračunavanje Qes pri manjem zahvatu:

$$Qes = 1,5 \cdot sQnp$$

Jednačina za izračunavanje Qes pri velikom zahvatu:

kada je $sQ_{dek(j)}$ manji od sQs : $Qes = 2,0 \cdot sQnp$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veći ili jednak sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

Izračunavanje Qes za posebno korištenje vode na području vodotoka, kada je odnos između sQs i $sQnp$ veće od 20 : 1

$Qes = 0,1 \cdot sQs$ Jednačina za izračunavanje Qes pri manjem zahvatu :

Jednačina za izračunavanje Qes pri velikom zahvatu :

kada je $sQ_{dek(j)}$ manji od sQs : $Qes = 0,2 \cdot sQs$

kada je $sQ_{dek(j)}$ veći ili jednak sQs : $Qes = 0,7 \cdot sQs$

U okviru postavljene metodologije osnovni zadaci hidrološke analize su : analiza hidroloških godišnjaka u cilju sagledavanja izvršenih hidroloških mjerenja i osmatranja, izbor mjerodavne dužine perioda za definisanje vodnosti sliva, proračun prosječne minimalne višemjesečne i višegodišnje vrijednosti poticaja, prosječne višemjesečne i višegodišnje vrijednost proticaja, te prosječne maksimalne višemjesečne i višegodišnje

vrijednosti proticaja, definisanje osobina vodnog režima prosječnih, malih i velikih voda kroz prosječnu liniju trajanja proticaja, te proračun vjerovatnoće pojave malih, srednjih i prosječnih voda, kao i karakteristike specifičnog oticaja sa sliva rijeke Vrbanje.

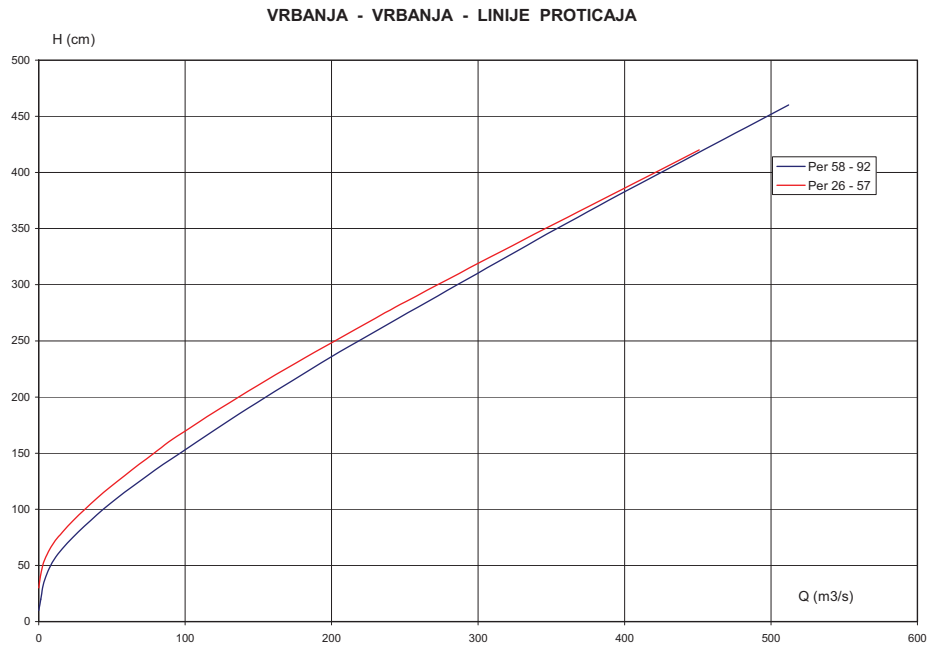
REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Hidrometrijska mjerenja na rijeci Vrbanji vršena su na hidrometrijskom profilu Obodnik i hidrometrijskom profilu Vrbanja koji se nalazi na neposrednom ušću u rijeku Vrbas. Podaci koji su bili dostupni omogućili su nam produžavanje i definisanje reprezentativnog niza, kao i definisanje homogenosti serija proticaja, jer se brojne izmjene u slivu mogu odraziti na promjene u režimu oticanja i time dovesti do nehomogenosti mjesečnih i godišnjih serija proticaja. Razlog inkonzistentije hidroloških serija mogu biti različiti faktori - modifikatori, te je stoga neophodno prije određivanja vrijednosti proticaja i drugih statističkih parametara ispitati homogenost. Homogenost hidroloških serija proticaja ispituje se korištenjem različitih metoda koje omogućavaju da se u posmatranoj hidrološkoj seriji utvrdi postoje li statističke značajnije promjene zbog nekih od prirodnih ili pak antropogenih aktivnosti. U slučaju testiranja homogenosti hidrološke serije proticaja rijeke Vrbanje korišten je test Kolmogorova. Poslije utvrđivanja reprezentativnog niza osmatranja i utvrđivanja homogenosti serije proticaja rijeke Vrbanje, određene su statističkim postupcima vrijednosti prosječne minimalne višemjesečne i višegodišnje vrijednosti proticaja, prosječne višemjesečne i višegodišnje vrijednosti proticaja, te prosječne maksimalne višemjesečne i višegodišnje vrijednosti proticaja (Tošić, 2007).

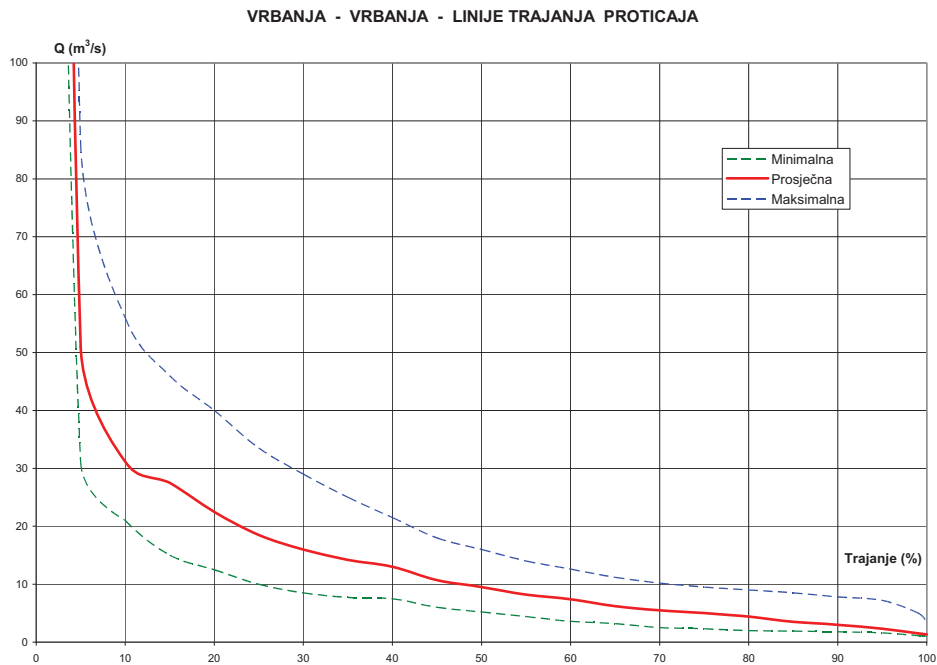
Tabela 1. Vrijednosti karakterističnih proticaja na hidrometrijskom profilu Vrbanja u periodu 1926 - 2006. godina.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.	Veg.
Q_{sminmi}	2.09	2.21	2.65	2.40	1.95	1.38	1.46	1.32	1.30	1.46	1.59	1.86	1.98	2.10
Q_{ssrmj}	17.90	21.58	22.95	24.63	18.04	16.46	9.87	7.32	6.94	11.03	15.64	19.30	15.93	(Q_{msm}) 3.61
Q_{smaxmi}	349	245	334	326	401	497	335	446	338	353	185	335	217	184

Dakle, u okviru ovog istraživanja određeni su najvažniji parametri vodnog režima, odnosno oni parametri za koje se smatra da imaju dominantnu ulogu u definisanju opštih režimskih karakteristika. U tu svrhu nakon uspostavljanja reprezentativnog niza i utvrđivanja njegove homogenosti, analizirani su minimalni, srednji i maksimalni proticaji rijeke Vrbanje na vodomjernoj stanici Vrbanja. Na osnovu analize proticaja unutar godina posmatranog niza (tabelarni prikaz podataka) vidljivo je da se minimalni srednje mjesečni proticaji javljaju na cijelom toku rijeke Vrbanje i to uglavnom u toku mjeseca avgusta i septembra. Pored toga, na osnovu upoređivanja prosječnih minimalnih proticaja iz definisanog i obrađenog niza i vegetacionog perioda, može se uočiti da se ekstremno male vode javljaju uglavnom van vegetacionog perioda. U pitanju su ekstremne vrijednosti čije je trajanje relativno kratko i javljaju se uglavnom u produžetku sušnog perioda ka jeseni. Izražena oticanja velikih voda na slivu rijeke Vrbanje javljaju se u mjesecu maju i decembru.



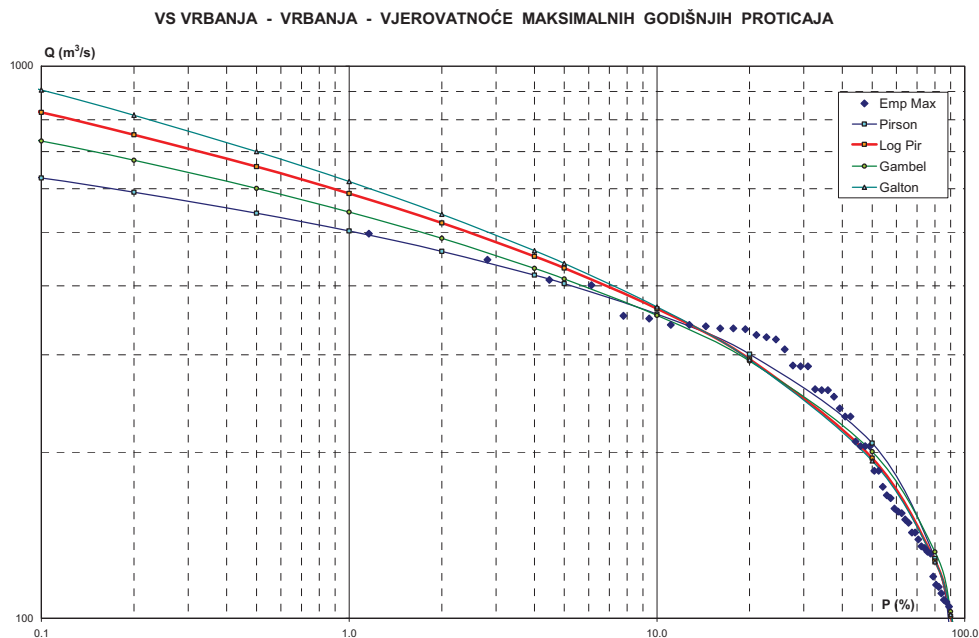
Slika 1. Grafički prikaz kriva proticaja rijeke Vrbanje - dva perioda



Slika 2. Grafički prikaz linije trajanja proticaja rijeke Vrbanje

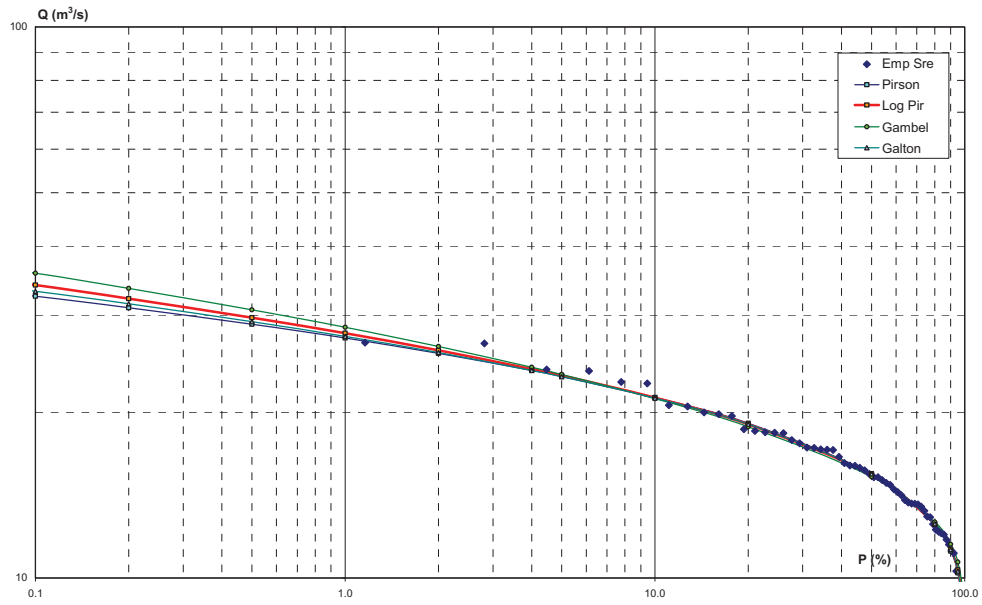
Nakon utvrđivanja kvantitativnih vrijednosti proticaja na vodomjernoj stanici Vrbanja, te analize njihovih pojavljivanja u toku godine, izvršena je analiza linije trajanja minimalnih, srednjih i maksimalnih proticaja rijeke Vrbanje kako bi se rezultati unutargodišnje raspodjele i kvantitativno dokumentovali. Podatke osmatranja proticaja na

rijeci Vrbanji moguće je posmatrati kao slučajne varijable pri čemu se najčešće pristupa proračunu vjerovatnoće pojave određenih proticaja, odnosno učestalosti pojedine hidrološke pojave koja se u hidrološkim analizama iskazuje u povratnim periodima pojave. U tom smislu, razmatrano je kada se teoretske funkcije raspodjele najbolje prilagođavaju empirijskom uzorku, ali i vodilo računa da se kod izbora teoretske krive - funkcije raspodjele što veća pažnja posveti prilagodljivosti po testu Kolmogorova i da se izabrana kriva nalazi između ostalih korištenih teoretskih vjerovatnoća. Stoga, vođeni ovim principima urađene su krive vjerovatnoća pojave i to vjerovatnoće maksimalnih godišnjih proticaja, vjerovatnoće srednje godišnjih proticaja, vjerovatnoće minimalnih srednje mjesečnih proticaja, te vjerovatnoće minimalnih godišnjih proticaja rijeke Vrbanje korištenjem nekoliko teoretskih i jedne empirijske funkcije.



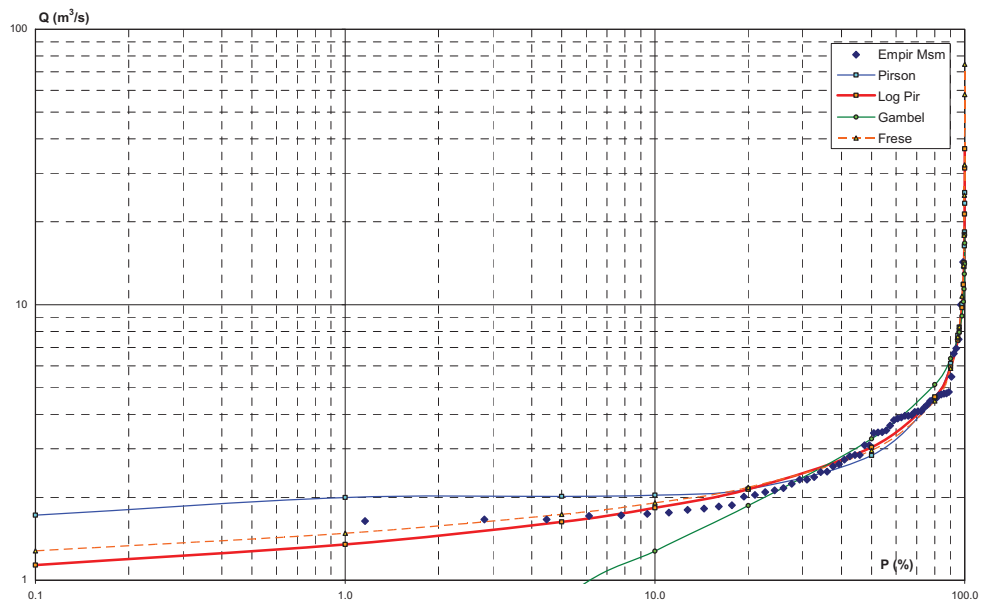
Slika 3. Grafički prikaz vjerovatnoće maksimalnih godišnjih proticaja rijeke Vrbanje

VS VRBANJA - VRBANJA - VJEROVATNOĆE SREDNJIH GODIŠNJIH PROTICAJA



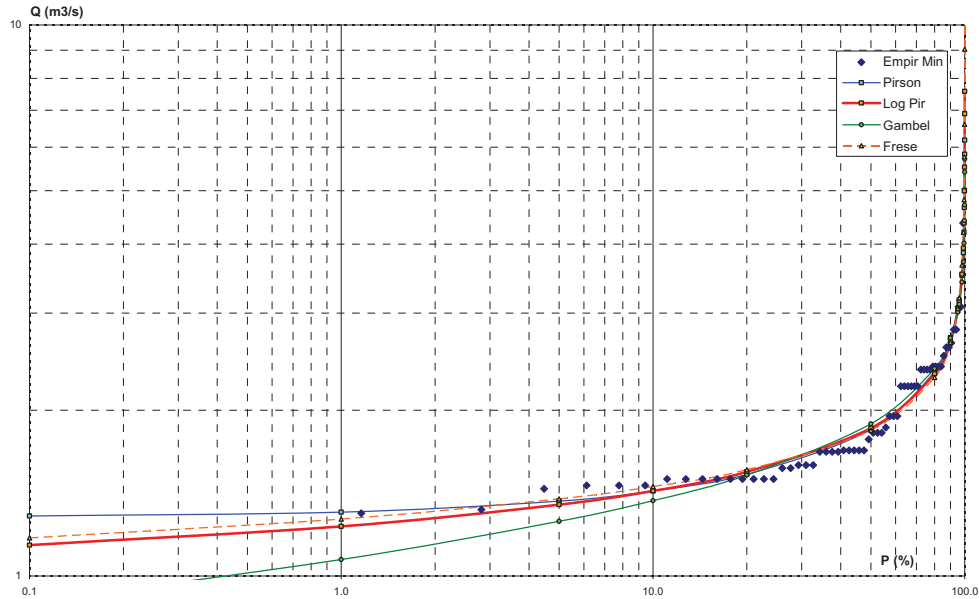
Slika 4. Grafički prikaz vjerovatnoće srednje godišnjih proticaja rijeke Vrbanje

VS VRBANJA - VRBANJA - VJEROVATNOĆE MINIMALNIH SREDNJIH MJESEČNIH PROTICAJA



Slika 5. Grafički prikaz vjerovatnoće minimalnih srednje mjesečnih proticaja rijeke Vrbanje

VS VRBANJA - VRBANJA - VJEROVATNOĆE MINIMALNIH GODIŠNJIH PROTICAJA



Slika 6. Grafički prikaz vjerojatnoće minimalnih godišnjih proticaja rijeke Vrbanje

Tabela 2. Prikaz vrijednosti srednjih proticaja i vjerojatnoće pojave malih voda na rijeci Vrbanji

VS Vrbanja period 1926 - 2006. godine				
Prosječan višegodišnji protok	$\bar{Q} = 15.93 \text{ m}^3/\text{s}$			
Vjerojatnoća, N = 80	Pirson	Log Pirson	Gumbel	Frese
mala mjesečna voda obezbjeđenosti 95% ($Q_{95\%}^{\text{min.mes}}$)	2.02	1.63	0.84	1.73
mala mjesečna voda obezbjeđenosti 80% ($Q_{80\%}^{\text{min.mes}}$)	2.14	2.14	1.87	2.47

Testirane su četiri teoretske raspodjele koje se najbolje prilagođavaju registrovanom - empirijskom uzorku, od kojih Log Pirson ima najbolje rezultate.

Prostorna raspodjela oticaja vezana je za analizu oticaja na hidrometrijskim profilima gdje postoje hidrološka osmatranja i na osnovu čega je moguće proračunati vrijednosti specifičnog oticaja. Specifični oticaj sa slivne površine rijeke Vrbanje determinisan je fizičkogeografskim karakteristikama sliva, a budući da se vrijednost specifičnog oticaja odnosi na cijeli sliv, njegova vrijednost teoretski odgovara težištu sliva uzvodno od hidrometrijskog profila Vrbanja gdje su vršena osmatranja. Međutim, za potrebe ovog istraživanja određene su vrijednosti specifičnog oticaja za pojedine karakteristične profile na uzdužnom profilu rijeke Vrbanje, ali i specifično oticanje za prostor međusliva (qsp-m) kako bi imali što precizniji uvid u vrijednosti oticaja sa slivne površine rijeke Vrbanje.

Tabela 3. Pregled vrijednosti proticaja i specifičnog oticaja za karakteristične profile rijeke Vrbanje

Rb.	Karakteristični profil	Vodomjerna stanica	Vodotok	Fsl (km ²)	Q _{sr - kor} (m ³ /s)	qsp (l/s/km ²)	qsp-m (l/s/km ²)
1.	Izvor Vrbanje		Vrbanja	2.00	0.07	36.50	36.50
2.	Početak nove dionice		Vrbanja	14.58	0.44	30.18	29.17
3.	Početak nove dionice		Vrbanja	81.97	2.13	25.99	25.08
4.	VS Šiprage	VS Šiprage	Vrbanja	100.00	2.56	25.60	23.85
5.	Ušće Kruševice uzv		Vrbanja	222.97	5.29	23.73	22.20
6.	Kruševica	Kruševica	Kruševica	51.66	1.10	21.29	21.29
7.	Ušće Kruševice niz		Vrbanja	274.63	6.39	23.27	-
8.	VS Obodnik	VS Obodnik	Vrbanja	290.00	6.72	23.17	21.47
9.	Ušće Jakotine uzv		Vrbanja	454.67	10.12	22.26	20.65
10.	Jakotina	Jakotina	Jakotina	61.34	1.23	20.05	20.05
11.	Ušće Jakotine niz		Vrbanja	516.01	11.35	22.00	-
12.	Čelinac		Vrbanja	627.00	13.55	21.61	19.84
13.	Ušće Jošavke uzv		Vrbanja	627.27	13.56	21.61	19.63
14.	Jošavka	Jošavka	Jošavka	120.20	2.30	19.13	19.13
15.	Ušće Jošavke niz		Vrbanja	747.47	15.86	21.21	-
16.	VS Vrbanja	VS Vrbanja	Vrbanja	800.00	16.90	21.13	19.85
17.	Ušće Vrbanje		Vrbanja	804.32	16.98	21.11	18.52

Analizom režimskih karakteristika rijeke Vrbanje stvoreni su preduslovi za izdvajanje neophodnih parametara koji se koriste prilikom određivanja ekološki prihvatljivog proticaja korištenjem neke od postojećih hidroloških metoda.

GEP metod : Potrebni parametri

prosječni višegodišnji proticaj na mjestu zahvata vode (\bar{Q})

mala mjesečna voda obezbjeđenosti 95% ($Q_{95\%}^{\min.mes}$)

mala mjesečna voda obezbjeđenosti 80% ($Q_{80\%}^{\min.mes}$)

$$\bar{Q} = 15.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{95\%}^{\min.mj} = 1.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{80\%}^{\min.mj} = 2.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Relacije za proračun :

U hladnom dijelu godine, koji obuhvata period (oktobar - mart)

$$Q_{ef} = \begin{cases} 0.1 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \leq 0.1 \times \bar{Q} \\ Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} & \text{za } 0.1 \times \bar{Q} < Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} < 0.15 \times \bar{Q} \\ 0.15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \geq 0.15 \times \bar{Q} \end{cases}$$

U toplom dijelu godine, koji obuhvata period (april - septembar)

$$Q_{ef} = \begin{cases} 0.15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} \leq 0.15 \times \bar{Q} \\ Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} & \text{za } 0.15 \times \bar{Q} < Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} < 0.25 \times \bar{Q} \\ 0.25 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} \geq 0.25 \times \bar{Q} \end{cases}$$

Proračun za hladni dio godine:

$$0.1 \times \bar{Q} = 0.1 \times 15.93 = 1.593 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.15 \times \bar{Q} = 0.15 \times 15.93 = 2.3895 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pošto je za } 0.1 \times \bar{Q} < Q_{95\%}^{\min.mj} < 0.15 \times \bar{Q} \Rightarrow 1.593 < Q_{95\%}^{\min.mj} = 1.63 < 2.3895$$

$$\Rightarrow Q_{GEP} = Q_{95\%}^{\min.mj} = 1.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

Proračun za topli dio godine:

$$0.15 \times \bar{Q} = 0.15 \times 15.93 = 2.3895 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Pošto je } Q_{80\%}^{\min.mj} < 0.15 \times \bar{Q} \Rightarrow Q_{eppGEP} = 0.15 \times \bar{Q} = 2.39 \text{ m}^3/\text{s}$$

Mathey metod : **Potrebni parametri**

- proticaj 300 dana u godini (Q_{300})

$$Q_{300} = 1.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

Relacija za proračun

$$Q_{epp} = 15 \frac{Q_{300}}{(\ln Q_{300})^2} \quad (\text{ukoliko se obezbjedi da je } Q_{300} > 50 \text{ l/s})$$

Proračun :

$$Q_{epp,Mathey} = 15 \times \frac{1950}{(\ln 1950)^2} = 509.67 \text{ l/s} = 0.509 \text{ m}^3/\text{s}$$

MNQ metod

Potrebni parametri - prosječni minimalni godišnji proticaj (MNQ)

$$MNQ = 1.98 \text{ m}^3/\text{s}$$

Relacije za proračun

$$Q_{epp} \geq MNQ$$

Proračun

$$Q_{epp,MNQ} = 1.98 \text{ m}^3/\text{s}$$

Slovenački metod : **Osnovne pretpostavke :**

- dužina zahvatanja vode - duga, kada je rastojanje između zahvatanja i ponovnog dotoka u vodotok > 200 m,
- zahvatanje vode je povratno, kada se zahvaćena voda vraća površinski nazad u isti vodotok,
- zahvat, kad je količina zahvaćene vode iz vodotoka veća od 20 % sQs, (20% od 15.93 m³/s) smatraće se velikim zahvatom (uzimajući u obzir da je na rijeci Vrbanji predviđena izgradnja velikog broja malih hidroelektrana, koje su u većini slučajeva derivacione, sa dužinom derivacije od 120 m do 5300 m, te sa instalisanim proticajima od 1.5 (samo dvije MHE) do 30 m³/s).

Potrebni parametri :
srednji proticaj (sQs)
sredji mali proticaj (sQnp)
srednji dekadni proticaj (sQdek)
 $sQs=15.93 \text{ m}^3/\text{s}$
 $sQnp=1.98 \text{ m}^3/\text{s}$

Relacije za proračun :

Za $sQs : sQnp \leq 20 : 1 \Rightarrow$ za velike zahvate Qes se izračunava po dekadi:

kada je $sQ_{dek(j)} < sQs$: $Q_{ef, slo} = 1,5 \cdot sQnp$

kada je $sQ_{dek(j)} \geq sQs$: $Q_{ef, slo} = 0,7 \cdot sQs$

Tabela 4. Proračun parametara za određivanje ekološki prihvatljivog proticaja - Slovenački metod

	$Q_{dekadno}$	$\bar{Q}=15.93 \text{ m}^3/\text{s}$ $sQnp=1.98 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{ef, slo}=0.7x \bar{Q}$ ili $Q_{ef, slo}=1.5 x sQnp$
Januar	19.20	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	16.88		
	17.68		
Februar	20.25	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	22.03		
	22.60		
Mart	22.13	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	22.15		
	24.44		
April	25.27	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	24.66		
	23.99		
Maj	19.56	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	18.47		
	16.27		
Jun	19.20	$Q_{dekadno} > \bar{Q}$	11.15
	15.28	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
	14.89	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
Jul	11.82	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
	9.81		
	8.16		
Avgust	5.71	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
	7.46		
	8.66		
Septembar	7.71	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
	6.16		
	6.95		
Oktobar	11.12	$Q_{dekadno} < \bar{Q}$	2.97
	9.92		
	11.96		

Novembar	13.34	$Q_{\text{dekadno}} < \bar{Q}$	2.97
	17.53	$Q_{\text{dekadno}} > \bar{Q}$	11.15
	16.06	$Q_{\text{dekadno}} > \bar{Q}$	11.15
Decembar	16.39	$Q_{\text{dekadno}} > \bar{Q}$	11.15
	20.55		
	20.81		

Tabela 5. Rezultati određivanja ekološki prihvatljivog proticaja na rijeci Vrbanji

Korištena metoda	Određen ekološki prihvatljiv proticaj
GEP	(okt - mart) $Q_{\text{epp}} = 1.63 \text{ m}^3/\text{s}$ (apr - sep) $Q_{\text{epp}} = 2.39 \text{ m}^3/\text{s}$
Matthey	$Q_{\text{epp}} = 0.509 \text{ m}^3/\text{s}$
MNQ	$Q_{\text{epp}} = 1.98 \text{ m}^3/\text{s}$
Slovenačka metoda	(nov - maj) $Q_{\text{epp}} = 11.15 \text{ m}^3/\text{s}$ (jun - okt) $Q_{\text{epp}} = 2.97 \text{ m}^3/\text{s}$

Dakle, najniža vrijednost ekološki prihvatljivog proticaja iznosi $Q_{\text{epp}} = 0.509 \text{ m}^3/\text{s}$, dok najviša vrijednost iznosi $Q_{\text{epp}} = 11.15 \text{ m}^3/\text{s}$. Očigledna je razlika između najviše i najniže vrijednosti, odnosno ona je veća gotovo više od 20 puta. Rezultati korištenja GEP i MNQ metode najbliži su vrijednostima koje se uzimaju kao procijenjeni ekološki prihvatljiv proticaj u trenutnoj važećoj zakonskoj regulativi Republike Srpske, pa i Bosne i Hercegovine u cjelini. Vrijednosti ekološki prihvatljivog proticaja određene Slovenačkom metodom značajno su više u odnosu na druge vrijednosti, te se samo u toplom dijelu godine one približavaju vrijednostima ostalih metoda i tada se razlika kreća od 12 - 15 %.

Proračun ekološki prihvatljivog proticaja korištenjem četiri različite hidrološke metode pokazao je svu složenost određivanja ovog parametra korištenjem isključivo hidroloških podataka. Stoga, pored ovih metoda neophodno je u proračun ekološki prihvatljivog proticaja inkorporirati: podatke o fizičko – hemijskim parametrima kvaliteta vode na pojedinim profilima, geometriju profila, biološke parametre, kao i druge elemente koji su bitni u funkcionisanju ekosistema otvorenih vodotoka.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U Republici Srpskoj još uvijek nije razrađena metodologija određivanja ekološki prihvatljivog proticaja u vodotocima nizvodno od vodozahvata, ali metodologija koja bi uvažavala sve relevantne morfometrijske i bio - ekološke karakteristike vodotoka i njegovog slivnog područja. Zadržani dotok vode nizvodno od zahvata, kojeg još uvijek često nazivaju "biološki minimum" trenutno se propisuje administrativno i to na osnovu hidroloških podataka. U ovom radu su prikazani rezultati četiri hidrološke metode određivanja ekološki prihvatljivog proticaja od kojih su rezultati GEP metode i MNQ metode najbliži vrijednostima koje se uzimaju kao procijenjene vrijednosti u trenutno važećoj zakonskoj regulativi Republike Srpske. Ipak, potrebno je napomenuti da prikazane metode određivanja ekološki prihvatljivog proticaja ne uključuju razmatranja vezana za problem akvatičnih ekosistema, već se dominantna prednost daje vrijednosti proticaja i ne vodi se dovoljno računa o ostalim fizičko - hemijskim karakteristikama bitnim za podršku

ekosistema otvorenih vodotoka. Dakle, kod definisanja ekološki prihvatljivog proticaja važnu ulogu moraju imati i stručnjaci iz ostalih oblasti jer je određivanje zadržanog dotoka nizvodno od vodozahvata multidisciplinarni problem, što znači da je neophodno pored hidroloških metoda koristiti i ekološke metode kako bi rezultati bili prihvatljiviji za širi krug korisnika. Cilj određivanja ekološki prihvatljivog proticaja rijeke Vrbanje je obezbjeđivanje adekvatnog režima toka u smislu kvantiteta, kvaliteta i dinamike kako bi se održalo "zdravlje" rijeke i akvatičnog sistema. Stepen dobrog "zdravlja" na kome će se održavati rijeka je društvena procjena koja će zavisiti od načina i pristupa upravljanja vodnim resursima sliva rijeke Vrbanje ili nekog drugog toka za koji se određuje vrijednost ekološki prihvatljivog proticaja. Stoga, šta je odgovarajući ekološki prihvatljiv proticaj za određenu rijeku zavisi od odluke kojom se nastoje izbalansirati ekonomske, ekološke i društvene aspiracije korištenja vode iz rijeke. Odluka o vrijednosti ekološki prihvatljivog proticaja treba da uspostavi balans između raspodjele voda da bi se zadovoljili ekološki zahtjevi i druge potrebe korištenja vode, odnosno iskorištavanje njenog hidropotencijala, kao i korištenje vodotoka za navodnjavanje, vodosnabdijevanje, turizam i rekreaciju na vodi, ribogojstvo i dr.

LITERATURA I IZVORI

- Acreman M., Dunbar J.M., 2004. Defining environmental river flow requirements - a review, *Hydrology and Earth System Sciences* **8**, (5). pp. 861 - 876.
- Acreman M., King J. 2003. Defining water requirements, in : M. Dyson, G. Bergkamp J. Scalon: *Flow, The Essential of Environmental Flows* (Gland : IUCN).
- Alonso - Gonzalez C., Gortazar J., Baezasanz D., Garcia de Jalon D., 2008. Dam function rules based on brown trout flow requirements: design of environmental flow regimes in regulated streams, *Hydrobiologia* **609**, pp. 253 - 262.
- Arthington A.H. 1998. Comparative evaluation of environmental flow assessment technique. review of holistic methodologies. LWRDC Occasional Paper 26/98 (Canberra: LWRDC).
- Bonacci O., 1999. Određivanje ekološki prihvatljivih protoka primjenom metode omočenog opsega. *Hrvatske vode* **7**, pp. 111 - 126.
- Bonacci O., 2000. Plavljene površine kao bitni dio ekosustava. *Hrvatska vodoprivreda* **IX**. pp. 23 - 26.
- Bonacci O. Roje - Bonacci T., 1997. Hidrološki vid određivanja biološkog minimuma rijeke Žrnovice. *Hrvatske vode* **5**, pp. 161 - 174.
- Bonacci O. Roje - Bonacci T., 1997a. Hidrološki vid određivanja biološkog minimuma rijeke Jadro. *Hrvatske vode* **5**, pp. 339 - 349
- Bonacci O., 2003. Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka, Građevinsko - Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu i IGH d.d. Zagreb. pp. 7 - 487.
- Barbaro G., Calabro S.P., Moschella D., 2008. Evaluation of the Minimum Discharge from the Dam on Menta Stream (Reggio Calabria, Italy), *Journal of water resources planning and management* **134**, pp. 357 - 365.
- Bratić R., Hrkalović U., et al., 2006. Okvirni plan razvoja vodoprivrede Republike Srpske, Zavod za vodoprivredu Bijeljina, Bijeljina.
- Doupe R.G., Pettit N.E., 2002. Ecological perspectives on regulation and water allocation for Ord River, Western Australia. *River Research and Applications* **18** (29) pp. 307 - 320.

- Dunbar M.J., Gustard A., Acreman M.C., Elliot C.R.N. 1998. Overseas Approches to Setting River Flow Objectives. R.D. Techical Report W 6 - 161 (Marlow: Environmental Agency and NERC).
- Dyson M., Bergkamp G., Scalon J., 2004. *Flow, The Esential of Environmental Flows* (Gland: IUCN).
- Đorđević B., 1998. Ključne ekološke zakonitosti bitne za planiranje vodoprivrednih sistema. *Vodoprivreda* **30**, pp. 335 - 345.
- Đorđević B., Dašić T., 2009. Elaborat određivanja ekološki prihvatljivog proticaja, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina.
- King J. Brown C., Hossein S., 2003. A scenario - based holistic approach to flow assessment for rivers, *River Research and Aplications*, **19**, pp. 53 - 67.
- Isailović D., Srna P., 1996. Hidrološki bilans površinskih voda Srbije i njegove varijacije, Institut za vodoprivredu " Jaroslav Černi " pp. 1 - 18.
- Jowet I.G.1997. Instream flow methods: a comparison of approaches, *Regulated Rivers: Research and Management* **13**, pp. 115 - 127.
- Mišetić S., 1995. Pristup utvrđivanju minimalnih količina vode za potrebe biološkog minimuma, Publikacija Hrvatskog hidrološkog društva, Uloga hidrologije u strukturi gospodarstva Hrvatske, *Zbornik radova*, pp. 99 -103.
- Mišetić S., 2000. Sektorska obrada i podloge za vodnogospodarsku osnovu Hrvatske - Ekološko prihvatljiv protok, Dokumentacija Hrvatske vode Zagreb, pp. 1 - 97.
- Ocokoljić M., 1991. Varijacije proticaja na rekama u Jugoslaviji, *Glasnik Srpskog geografskog društva*, Sveska **LXXI** (1) pp. 39 - 48.
- Prohaska J. S., 2003. Hidrologija I deo (hidro - meteorologija, hidrometrija i vodni režim), Rudarsko – geološki faklultet Beograd, pp. 1 - 256.
- Smakhtin V., 2008. Basin Closure and Environmental Flow Requirements *Water Resources Development* **24** (2) pp. 227- 233.
- Šegota T., Filipčić A., 2007. Suvremene promjene klime i smanjenje protoka Save u Zagrebu, *Geoadria* **12/1**, pp. 47 - 58.
- Tharme R.E.2003. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers, *River Research and Applications* **19**, pp. 397 - 441.
- Tošić R., 2003, Analiza cikličnosti sušnih i vodnih perioda na rijeci Ukrini, *Glasnik Geografskog društva Republike Srpske*, **8**, pp. 61 - 74.
- Tošić R., 2007. Problem erozije i upravljanje nanosom u Republici Srpskoj, *Zbornik radova sa naučnog skupa u Trebinju" Srbija i Republika Srpska u Regionalnim i globalnim procesima "*, *Geografski fakultet u Beogradu i Prirodno - matematički fakultet u Banjoj Luci.*, pp. 221 - 228.
- Tošić R., Crnogorac Č., 2005. Praktikum iz hidrologije (I dio Potamologija), Geografsko društvo Republike Srpske, Banja Luka, pp. 1 - 152.
- Tošić R., Crnogorac Č., 2007 Analiza prosječnih voda rijeke Vrbanje, *Glasnik Geografskog društva Republike Srpske*, **11**, pp.66 - 84.
- Žvanut N., Maddock I., Vrhovšek D., 2008. Evaluation and Application of Environmental Flows for running waters in Slovenia, *Water Resources Development* **24**, pp. 609 - 619.
- Verčon M., Đorđević B., 1978. Neka razmatranja društvene valorizacije vještačkih jezera, Simpozijum o uticaju vještačkih jezera na čovjekovu sredinu, Trebinje, pp. 7 - 11.
- Savezni Hidrometeorološki zavod, Podaci godišnjaka saveznog hidrometeorološkog zavoda, Beograd.

Meteorološki godišnjaci 1961 - 1990. godine : Republički hidrometeorološki zavod Banja Luka.

Zavod za vodoprivredu Sarajevo 1994. Okvirna vodoprivredna osnova BiH, Sarajevo.

SUMMARY

In the Republic of Srpska still has not been developed methodologies for determining of the environmental flow in running water from water intake, but methodologies which would respect all relevant morphometric and ecologic characteristics of running water and his catchment area. The preserved inflow lead downstream from the hold, which is often call the " biologic minimum " currently is defined administratively, and this on the basis of hydrological data. In this work have been presented results of four hydrological methods determining of the environmental flow, from which results of GEP and MNQ methods are the nearest to the values which are take like valuations in valid legislative regulations of Republic of Srpska. Nevertheless, it is necessary to mention, that shown methods of determining environmental flow does not include reconsideration which are related to the problem of aquatic ecosystems, already the predominant advantage gives values flow and do not give enough attention to the other physical and chemical characteristics important for the support of ecosystems of running water.