

METODA 'MABIS' KAO PODRŠKA ODLUČIVANJU PRI IZBORU EKOLOŠKI PRIHVATLJIVIH PROTOKA

Božo KNEŽEVIĆ¹ i Branislav ĐORĐEVIĆ²

¹ Zavod za vodoprivredu, Sarajevo

² Građevinski fakultet u Beogradu

REZIME

U članku se razmatra **M**etoda **A**biotičkih i **B**iotičkih parametara i **I**ndeksa **S**aprobnosti (skraćeno MABIS), kao podrška odlučivanju pri određivanju 'ekološki prihvatljivih protoka' (EPP) na deonicama reka sa modifikovanim vodnim režimima nizvodno od brana ili rečnih vodozahvata. Metoda (*Knežević, 2010a*) može se uspešno primenjivati u slučaju bolje izučenih vodotoka, kod kojih su sistematskim simultanim merenjima protoka i parametara kvaliteta u raznim hidrološkim uslovima, određivani ključni abiotički i biotički parametri reke kao ekosistema. U radu se prikazuje pristup analizi koja se zasniva na uspostavljanju višedimenzionalnih korelacionih veza tih parametara i indeksa saprobnosti, kao ključnog indikatora za ocenu kvaliteta reke kao ekosistema. Metoda MABIS je vrlo uspešno primenjena za određivanje kvalitativnih komponenti ekološki prihvatljivih protoka na reci Trebišnjici nizvodno od brana 'Grančarevo' i 'Gorica' u zoni grada Trebinja. Metoda MABIS se primenjuje simultano i komplementarno sa metodom GEP koja definiše kvantitativne parametre ekoloških protoka nizvodno od brana (*Đorđević i Dašić, 2011b*). Metoda GEP definiše kvantitativnu komponentu reke kao biotopa, dok metoda MABIS određuje neophodne uslove za opstanak i održanja biocenoza na reci sa modifikovanim vodnim režimom. Te dve metode razmatrane simultano pokazale su se kao pouzdan pristup pri određivanju ekološki prihvatljivog protoka na reci Trebišnjici nizvodno od Sistema HET-a.

Ključne reči: ekološki protok, abiotički i biotički parametri reke, indeks saprobnosti,

1. UVOD

Problem određivanja 'ekološki prihvatljivih protoka' na rekama sa modifikovanim vodnim režimima, nizvodno

od brana i vodozahvata (prema definiciji te veličine iz zakona o vodama FBiH i Republike Srpske) postaje sve složenija i odgovornija obaveza planera i korisnika hidrosistema. Naime, ubrzano sazreva shvatanje da su akumulacije i vodozahvati na rekama apsolutno neophodni objekti koji omogućavaju da se pouzdano obezbede potrošači vode i poboljšaju vodni režimi. Međutim, istovremeno je u stručnoj javnosti potpuno oformljen i izuzetno važan etički stav da se adekvatno odabranim ekološkim protocima (u svetu sve poznatijim kao *Environmental Flow*) koji se ispuštaju nizvodno od brana i vodozahvata, moraju sačuvati u ekološki dobrom stanju rečni ekosistemi, sa nenarušenim pokazateljima biološke raznovrsnosti. Međutim, akumulacije pružaju i još povoljnije ekološke mogućnosti, te se adekvatnim upravljanjem mogu koristiti i za poboljšavanje režima voda u malovodnim periodima, kako bi se na samo sačuvali, već i poboljšali ekološki parametri rečnih ekosistema u odnosu na prirodna stanja (*Đorđević i Dašić, 2011a*). Obaveza poboljšavanja vodnih režima ugrađena je i u strateška planska dokumenta Republike Srpske (*Bratić, Đorđević et al, 2006*).

U članku u prošlom broju Vodoprivrede (*Đorđević i Dašić, 2011b*) sistematizovani su protoci koji se moraju ispuštati nizvodno od brana i vodozahvata: garantovani ekološki protok (GEP), protok za vodoprivredne (vodne) potrebe, protok koji se mora održavati u koritu reke, protok koji se nepovratno zahvata za neke potrošače, kao i potrebno ispuštanje nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata. Garantovani ekološki protoci imaju prvi prioritet pri ispuštanju protoka iz akumulacija, tako da se zahvaljujući toj činjenici ostvaruju vrlo visoke pouzdanosti, veće od 99% pri ispuštanju tih količina vode namenjenih održavanju rečnih ekosistema u neporemećenom stanju. Tako visoka pouzdanost ostvarenja ekoloških protoka daje pravo da se tom protoku, koji je ekološka kategorija, i u samom nazivu doda atribut 'garantovani'. Taj atribut je

vrlo poželjan za komuniciranje sa ljudima van sektora voda, jer ukazuje na apsolutni prioritet koji se pri upravljanju akumulacijama daje ispuštanju dovoljnih protoka za očuvanje i razvoj rečnih ekosistema.

Pri određivanju ekoloških prihvatljivih protoka (EPP) nizvodno od brana moraju se potpuno ravnopravno razmatrati dve komponente ekološkog protoka:

(1) **Kvantitativna komponenta** – protok koji je neophodan za održavanje nizvodne deonice reke kao neporemećenog *biotopa* (rečne životne sredine). Slikovito, to je protok koji i u uslovima modifikacije vodnog režima obezbeđuje da deonica nizvodno od brane zadrži hidrauličko-morfološke karakteristike neporemećene reke. Ili, još slikovitije, taj se protok može tretirati kao '*protok koji reku čini – rekom*'.

(2) **Kvalitativna komponenta** tog protoka preko analize abiotičkih i biotičkih parametara i indeksa saprobnosti iskazuje 'stanje zdravlja' reke kao ekosistema, kao preduslov za opstanak i nesmetan razvoj *biocenoza*. Uspešnost primene ove druge analize ekološkog protoka zavisi od toga da li su tokom prethodnog perioda na razmatranoj deonici reke obavljana simultana merenja i analize ključnih abiotičkih i biotičkih parametara, ili se prethodno ti parametri moraju proceniti, koristeći i rezultate kratkotrajnih mjerenja ključnih abiotičkih parametara da bi se dobila informacija o biotičkim parametrima.

Iz definicije: *ekosistem = biotop + biocenoze*, jasno sledi da se ekološki prihvatljiv protok mora tretirati upravo na pomenut način - simultanim razmatranjem metoda koje razmatraju njegove biotičke i biocenozne komponente.

Biotičku komponentu ekološkog protoka uspešno modelira metoda GEP (Metoda **G**arantovanih **E**kololoških **P**rotoka) koja su razvili i u prošlom broju *Vodoprivrede* prikazali autori (Đorđević i Dašić, 2011b). Tom metodom se određuju kvantitativni aspekti ekološkog protoka, kao količine koju treba obezbediti ispuštanjem iz akumulacije da bi reka ostala neporemećena kao životna sredina – *biotop*. Druga komponenta, kvalitativna, podjednako je komplementarna sa prvom, jer ona definiše pokazatelje ekološkog protoka koji iskazuju 'stanje zdravlja' reke kao ekosistema, pre svega sa stanovišta ocene uslova neophodnih za razvoj *biocenoza* i održanje biodiverziteta.

Ti uslovi su dinamička kategorija i menjaju se zavisno od ključnih abiotičkih pokazatelja: temperature vode i

vazduha i veličine pojedinih abiotičkih pokazatelja kvaliteta. Za modeliranje te komponente razvijena je (Knežević, B. 2010. i 2011) **Metoda Abiotičkih i Biotičkih parametara i Indeksa Saprobnosti** (skraćeno MABIS), koja se celovito prikazuje u ovom radu. Obe metode – GEP i MABIS - komplementarno i spregnuto su vrlo uspešno korišćene za analize ekološki prihvatljivog protoka (EPP) na reci Trebišnjici nizvodno od sistema HET-a.

2. METODA 'MABIS' I MOGUĆNOSTI NJENOG KORIŠĆENJA

Metoda Abiotičkih i Biotičkih parametara i Indeksa Saprobnosti (MABIS) razvijena je u okviru projekta za ICPDR (Knežević 2010a), kojim su istraživani referentne (približno prirodne) vrednosti ključnih abiotičkih i biotičkih parametara za ostvarenje dobrog ekološkog statusa: na neporemećenim i izmenjenim sektorima reka / vodnim telima (deonice nizvodno od brana i vodozahvata, regulisane donice vodotoka). Metoda se može primenjivati u slučaju onih dobro izučених vodotoka, kod kojih su tokom nekog dovoljno dugog intervala vremena u raznim hidrološkim i meteorološkim situacijama obavljana istraživanja abiotičkih i biotičkih parametara. Hidroelektrane na Trebišnjici (HET) spadaju upravo u grupu malobrojnijih dobro organizovanih sistema koji imaju posebnu službu koja obavlja takva istraživanja, sa sređivanjem dobijenih rezultata u odgovarajućim bazama podataka. To je omogućilo da se upravo na primeru tog sistema uspešno primeni metoda MABIS i proverila njeno spregnuto korišćenje sa metodom GEP.

Za primenu metode MABIS neophodna su istraživanja abiotičkih i biotičkih parametara, u koje treba obavezno uključiti: protok vode (m^3/s), temperature vode i vazduha, sadržaj kiseonika (O_2) u vodi i procenat zasićenja, BPK_5 , PO_4 , pH, substrat dna, ključne biotičke parametre koji pokazuju sastav i stanje životnih zajednica, itd. Ti abiotički i biotički pokazatelji treba da budu dovoljni da se mogu definisati dva ključna pokazatelja stanja reke kao ekosistema:

(a) **Indeks saprobnosti (Is)** koji je uveo Liebmann, kao pokazatelj vrste bentonskih organizama u životnoj zajednici u zavisnosti od kvaliteta vode, obzirom da pojedine vrste žive samo u određenim povoljnijim uslovima. Indeks saprobnosti reprezentuje stanje životne zajednice dna vodnog sistema na izabranom mjestu koje je manje pokretno i kao takvo više izloženo promenljivim uslovima staništa.

$$I_s = \sum_{i=1}^N \frac{N_i \cdot u_i}{N} \quad (1)$$

I_s – indeks saprobnosti

N – ukupan broj organizama

N_i – broj organizama i -te vrste

u_i – indeks osjetljivosti pojedine vrste, pri čemu se njegove celobrojne vrijednosti kreće u intervalu od $u_1 = 1$ koja se dodjeljuje nađenim najosjetljivijim vrstama do $u_4 = 4$ koja se dodjeljuje najmanje osjetljivim vrstama.

(b) Drugi važan pokazatelj koji analitički definiše kvalitet nekog vodenog staništa i bogatstva biodiverziteta je **Indeks različitosti** koji opisuje i matematički kvantificira strukturu životne zajednice. Najčešće se koristi izraz koji se temelji na Teoriji informacija (*Welch, E.B., 1980*) u obliku:

$$H = \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \quad (2)$$

H – indeks raznovrsnosti,

N – ukupan broj organizama

N_i – broj organizama i -te vrste

S – ukupan broj vrsti.

Opšti matematički oblik. Metoda MABIS analitički dovodi u korelaciju vezu ključne abiotičke i biotičke parametre vodotoka. Najopštiji analitički pristup je traženje relacije opšteg tipa:

$$Y_{i,t} = f(X_{i,t}), \quad i = 1, \dots, m; \quad t = 1, \dots, n \quad (3)$$

gde su: $Y_{i,t}$ - vremenske diskretizovane serije raspoloživih bioloških parametara na razmatranoj deonici reke; $X_{j,t}$ - vremenske diskretizovane serije relevantnih fizičko-hemijskih parametara.

Činjenica da se od bioloških parametara monitoringom najčešće može odrediti samo I_s ne umanjuje značaj ove analize, jer se I_s kao pokazatelj biološkog stanja ('zdravlja') u vodotoku koristi u tu svrhu u mnogim evropskim zemljama. U tom slučaju se jed. (3) svodi na traženje zavisnosti $Y_t = f(X_{i,t})$, što je i učinjeno u metodi MABIS, gde je $Y_t = I_s$. Smisao traženja korelacionih zavisnosti je da se dođe do ključnog podatka: koji su proticaji koje treba obezbediti u reci nizvodno od neke brane ili vodozahvata pa da se ostvari još uvijek kvalitetno rečno stanište, čije ekološke funkcije nisu narušene. Taj protok, koji obezbeđuje potreban kvalitet rečnog staništa, u funkciji nekog od

najoperativnije merenog abiotičkog parametra - može se definisati kao Ekološki prihvatljiv protok (EPP). Ekološki protok se sve češće tretira kao dinamička kategorija, pa se određuje posebno za hladan i topli deo godine, a u nekim okolnostima, kod jako promenljivih temperatura vazduha tokom godine menja su u dve-tri klase temeparturnih opsega.

Za razvoj metode su korišćeni podaci merenja kvaliteta koja je RHMZBiH obavljao na 51 vodomernoj stanici u BiH u periodu od 1965. – 1990. godine (26 godina) sa dve do tri analize godišnje koje su obuhvatale jedan biološki parametar – indeks saprobnosti invertebrata (I_s) i oko 20-tak fizičko-hemijskih elemenata (O_2 , BPK₅, Tv°C vode, Tz°C zraka, pH, ortofosfate,...). Za konkretnu primenu – određivanje EPP na reci Trebišnjici - korišćeni su podaci merenja kvaliteta vode Trebišnjice koja su obavljena u istom intervalu vremena (1965÷1991) najčešće po tri puta godišnje.

Pokazalo se da se u slučaju dovođenja u analitičku vezu I_s kao biotičkog pokazatelja, u funkciji jednog (dominantnog) abiotičkog parametra (to je najčešće O_2) najbolje slaganje ostvaruje eksponencijalnom relacijom opšteg tipa:

$$I_s(x_0) = k_o \times e^{-a_o(x_0)^{m_o}} + 1 \quad (4)$$

Brojne analize koje su obavljena sa nizovima merenja koje su obavljena na vodotocima u BiH pokazuje: u slučaju da se I_s modelira u funkciji O_2 optimalne su sledeće vrednosti parametara u jednačini (3): $k_0=3$, $a_0=0,00022$, $m_0=3,6$.

U slučaju višedimanzionalne korelacije, kada se I_s traži kao funkcija fizičkih parametara (x_0, \dots, x_n) ta eksponencijalna relacija je složenija, tipa:

$$I_s(x_0, \dots, x_n) = k_o \times e^{-a_o \cdot \sum_{i=1}^n n_i(x_i)^{m_o}} + 1 \quad (5)$$

pri čemu je $n_i = f(x_i)$, tj. funkcija je pojedinih abiotičkih parametara koji se unose u model.

Analitički nije ograničen broj abiotičkih parametara koji mogu da budu obuhvaćeni jedn. (5). Međutim, obuhvatanje velikog broja abiotičkih parametara matematičkim modelom čiji je opšti oblik definisan jedn. 5, ne znači da će biti ostvarena i povećana tačnost dobijene zavisno promenljive, u ovom slučaju I_s . U svim višedimenzionalnim analizama postoji neki skup

parametara koji su najdominantniji, te je poželjno da se samo oni uvode u analizu¹.

U slučaju metode MABIS brojnim analizama je utvrđeno da su sledeći abiotički pokazatelji dominantni, te da njih treba uzimati u razmatranje pri formiranju zavisnosti tipa jedn.5:

- $x_0 = O_2$ – sadržaj kiseonika, ključni parametar koji treba da bude i osnovna promenljiva u slučaju da se ispituje samo jednoparameterska zavisnost;
- $x_1 = T_{max}$ – maksimalna osmotrena temperatura vode, kao vrlo bitan abiotički parametar ekosistema;
- $x_2 = PO_4$,
- $x_3 = O_2/O_{2max}$.

Naravno, moguće je i proširenja broja abiotičkih parametara obuhvaćenih analitičkom vezom, ukoliko se raspoložbe sa pouzdanim serijama simultanih merenja abiotičkih parametara. Ukoliko se broj parametara u relaciji tipa (5) proširuje, najviše razloga ima uvođenje u relaciju pokazatelja BPK₅ kao indikatora organskih zagađenja antropogenog porekla.

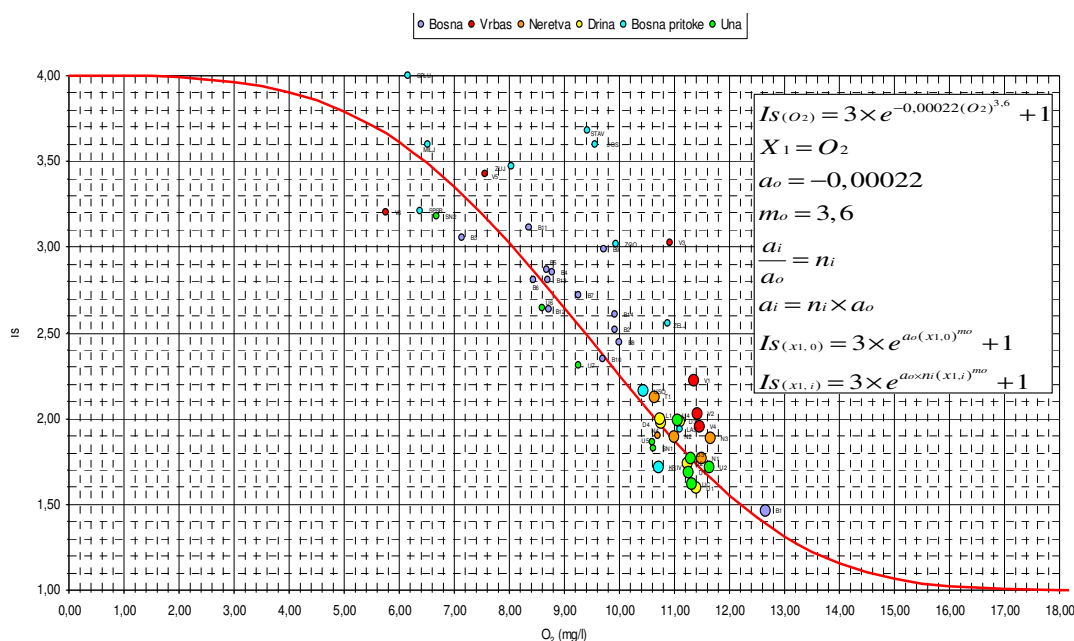
Na slici 1 prikazana je ključna, polazna analitička zavisnost indeksa saprobnosti i sadržaja kiseonika O_2 na osnovu svih merenja na vodotocima u BiH, koja je polazište i za druge analize takve veze na vodotocima na ovom delu Balkanskog poluostrva. Te analitička veza se kasnije je kasnije proširivana uvođenjem u analizu i abiotičkih parametara T_{max} , PO_4 , O_2/O_{2max} .

U razmatranom slučaju analize deonice Trebišnjice nizvodno od Bilečke i Trebinjske akumulacije u analitiku modeliranja uneti su parametri O_2 , T_{max} , PO_4 , O_2/O_{2max} . U skladu sa opštom relacijom (5) tada se analitička veza I_s sa pomenuta četiri abiotička parametra svodi na relaciju

$$I_s(O_2, T_{max}, PO_4, O_2/O_{2max}) = 3 \times e^{-0,00022 \times N(T_{max}, PO_4, O_2/O_{2max})^{O_2}^{3,6}} \quad (6)$$

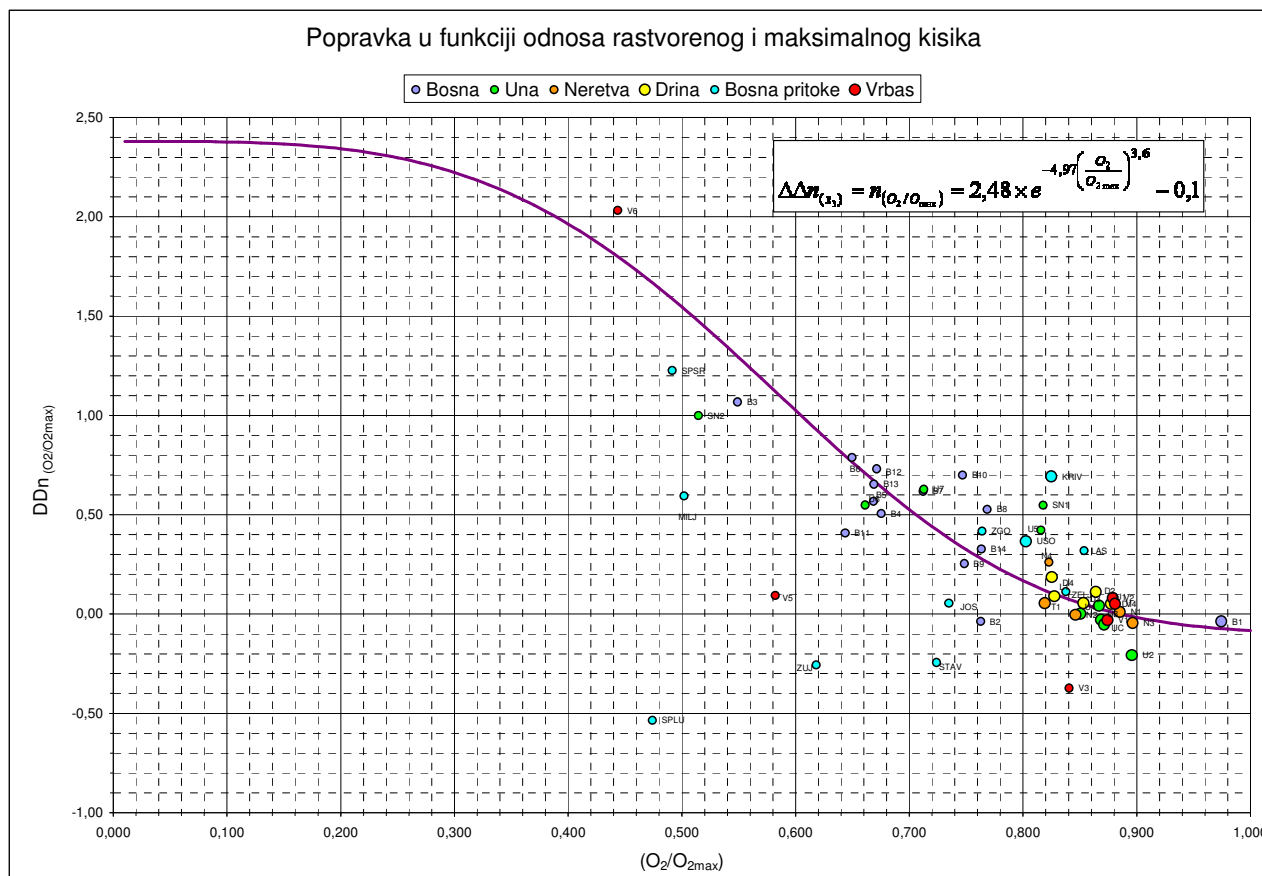
U jedn. (6) član N je:

$$N(T_{max}, PO_4, O_2/O_{2max}) = \sum_{i=1}^3 n_i = n_1(T_{max}) + n_2(PO_4) + n_3(O_2/O_{2max}) \quad (7)$$



Slika 1. Odnos između računskih vrednosti $(I_s)=f(O_2)$ i izmerenih vrednosti I_s na vodotocima u BiH

¹ Pri traženju pogodnog broja članova koje treba obuhvatiti višedimenzionalnim modelima važi analogija kao u slučaju modeliranja nizova primenom složenih markovskih lanaca. I kod njih postoji neki optimalan broj elemenata niza koje treba obuhvatiti modelom, da bi se ostvarilo najbolje slaganje, dok se povećavanjem broja obuhvaćenih elamanata niza (karika lanca) preko tog optimalnog broja pogoršava tačnost modeliranja. Zato će naredni korak istraživanja biti određivanje najpovoljnijeg broja abiotičkih parametara koji treba da budu obuhvaćeni modelom.



Slika 2. Popravka n_3 u funkciji odnosa rastvorenog i maksimalnog kiseonika: $n_3=f(O_2/O_{2,max})$

Analizom serija merenja na rekama BiH dobijene su zavisnosti za definisanje pojedinih korelacionih veza razmatrana dodatna tri abiotička parametara, od kojih se ovde grafički navodi samo povezanost sa odnosom O_2/O_{2max} (slika 2).

Za ta tri abiotička pokazatelja obuhvaćenih analizom zavisnost $n(x_j)=f(x_j)$ analitički su definisane relacijama:

$$n(T_{max}) = 0,55 \times e^{0,00003 \times T_{max}^{3,6}} + 0,7 \quad (8)$$

$$n(PO_4) = 3,6 \times e^{2,4(PO_4)^{0,18}} - 1 \quad (9)$$

$$n(O_2 / O_{2max}) = 2,48 \times e^{-4,97(O_2 / O_{2max})^{3,6}} - 0,1 \quad (10)$$

Ove relacije treba posmatrati u kontekstu konkretnih raspoloživih serija merenja parametara kvaliteta u BiH. To znači da važi za reke takvih hidrauličko-morfoloških i ekoloških osobnosti. Međutim, izvesno je da su analize tipova zavisnosti šire upotrebljive, posebno za vodotoke u ovom klimatskom i orografskom delu Balkanskog poluostrva. Posebno se mogu uopštaviti

navedena iskustva o načinu uvođenju vrste abiotičkih parametara u analizu.

Zaključak u vezi modeliranja: ukoliko se analizom obuhvata samo jedan, najdominantniji parametar to je svakako sadržaj kiseonika (O_2) u vodi, dok se u slučaju simultanog razmatranja više abiotičkih parametara (x_0, \dots, x_n), u jednačini (5) najčešće su relevantna četiri parametra, i to su onda O_2 , $T_{v,max}$ - maksimalna temperatura vode, PO_4 , O_2/O_{2max} . Ukoliko se želi dalje proširivanje broja parametara za obuhvat modelom prioritet bi imali BPK₅ i pH.

Zakovitosti veza Is i ključnih abiotičkih parametara.

Na bazi navedenih opštih zakonitosti veza biotičkog pokazatelja Is i abiotičkih parametara urađene su analize za sve raspoložive serije merenja u periodu od 26 godina na vodotocima BiH. Najpre je urađena zavisnost $Is=f(O_2)$, jer je sadržaj kiseonika ključni abiotički parametar kojim se iskazuje stanje razmatrane deonice reke. Grafička zavisnost je prikazana na slici 1, dok je

dobijena analitička relacija, na osnovu najboljeg prilagođavanja eksponencijalne funkcije navedena na samom dijagramu.

Kriterijum za ocjenu stanja životne zajednice u rečnim ekosistemima tada se svodi na upoređivanje indeksa saprobnosti² I_s :

- Kada: $O_2 \rightarrow O_{2(max)} \rightarrow \approx 15$; $I_s \rightarrow 1,0$ – što je pokazatelj najboljeg stanja životne zajednice invertebrata, jer se u toj vodenoj sredini nalaze i *stenoek vrste*, koje imaju dosta uzane (stroge) granice *ekološke valence*³.
- Kada: $O_2 \rightarrow 0$; $I_s \rightarrow 4,0$ – što je pokazatelj najlošijeg stanja životne zajednice invertebrata, jer u takvim životnim uslovima mogu da opstanu samo posebno otporne *euriek vrste*⁴.
- Vrijednosti u opsegu $0 < O_2 < O_{2(max)}$ moraju da se najbolje prilagode osmotrenim tačkama.

Dijagram na slici 1 ima i izvesnu opštiju vrednost, tako da se preko njega mogu obavljati uopštavanja ocena stanja i za neke druge vodotoke na području Balkana, ukoliko se i za njih raspolaze sa serijama osmatranja I_s i O_2 , na bazi monitoringa abiotičkih i biotičkih pokazatelja.

Iz prikaza korelacione veze (slika 1) vidi se da tačka koja se odnosi na reku Trebišnjicu u Trebinju (T1) ima koordinate $O_2=10,6$ mg/L i njoj odgovarajuću vrednost $I_s=2,1$ koja dobro prati teoretsku liniju analitičke veze, a koja ukazuje da se radi o visokoj vrednosti sadržaja O_2 karakterističnoj za nezagađene vodotoke. Njoj koreponentna vrednost I_s svojom malom vrednošću ukazuje na dobro 'stanje zdravlja' organizama invertebrata, jer u njihovom staništu žive i vrlo osetljive populacije koje ne bi mogle da opstanu u čak i malo

zagađenijoj vodi. Odstupanja tačaka od analitički dobijene linije su posledica toga što se radi o modelu koji u sebe uključuje samo O_2 .

Na slici 3 prikazan je odnos između računskih vrednosti (I_s)= $f(O_2, T_v$ i PO_4) i izmerenih vrednosti I_s na vodotocima u BiH (prihvatljivo za ovo klimatsko i orografsko područje Balkana). Do odstupanja dolazi samo u zoni povećanih vrijednosti I_s (lošija stanja saprobnosti i stanja životne zajednice invertebrata), i to u pravcu izvesnog povećavanja računskih vrednosti I_s . Uticaj prosečne vrednosti dominantne biogene soli PO_4 nije tako značajan. Međutim, uticaj te soli na pogoršanje vrednosti I_s registruje se u pojedinim vremenskim periodima, posebno u toplom delu godine. Taj uticaj je svakako indikativan i vezan je za biljnu produkciju (fotosintezu) i unos u vodotok nutrijenata kao produkata erozije zemljišta i ispiranje tla. U skladu sa strategijom borbe protiv eutrofikacije reka i jezera, u kojoj je ključni segment upravo kontrola unosa fosfora i njegovo ograničavanje na nekom minimalnom pragu, merenje i kontrola tog abiotičkog parametra treba da bude jedan od važnih parametara svih merenja abiotičkih i biotičkih parametara kvalitete vode⁵.

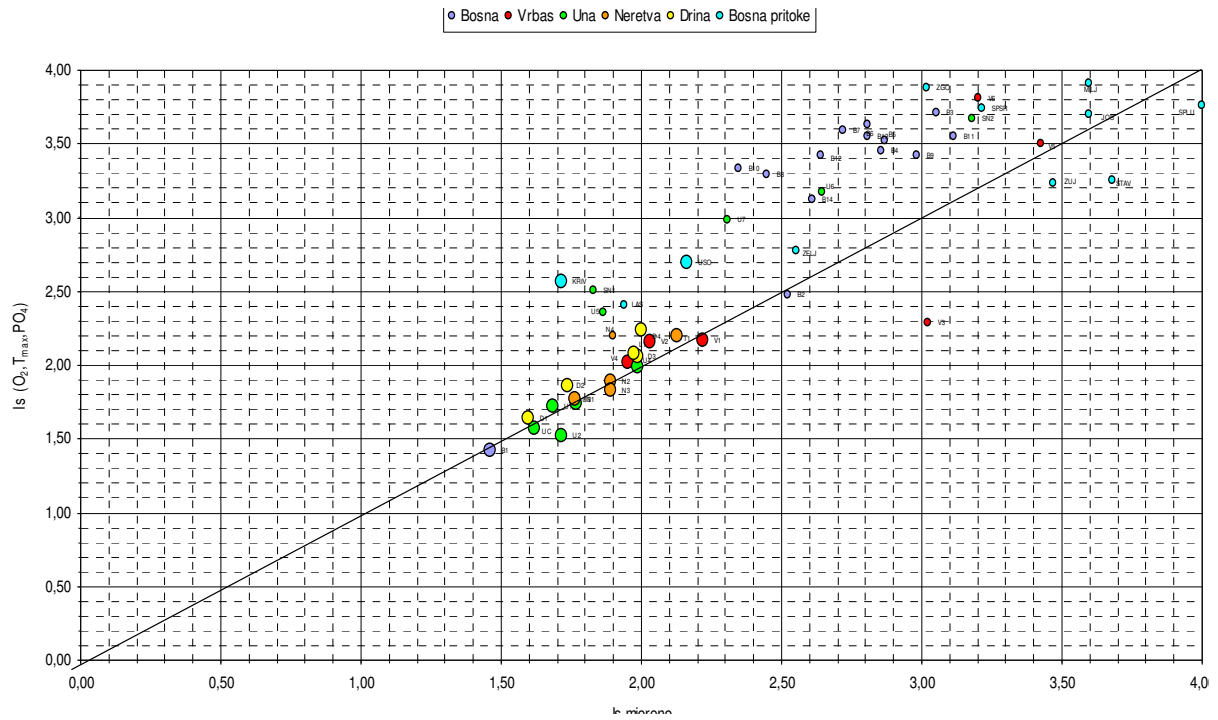
Na taj način se analizom zavisnosti indeksa saprobnosti u funkciji abiotičkih parametara dobiju početne okvirne zavisnosti koje su definisane parom prosečnih vrijednosti dva međusobno najdominantnija zavisna ključna reprezentata: abiotičkih (O_2) i biotičkih (I_s) parametara. Time se dobija okvirna vrijednost ta dve parametra koje je potrebno zadovoljiti ukoliko se želi sačuvati uprosečeno dobro postojeće stanje kvaliteta vodene srednje definisano sa ova dva parametra. Ta se analiza može proširivati i poboljšavati u skladu sa jed. (6) uvođenjem T_{max} , PO_4 , O_2/O_{2max} .

² Naziv 'saprobnost' ima koren u grčkoj reči 'σαπρωός' – 'truležan, truo, pokvaren', tako da i engleska reč 'sapro' označava prefiks za građenje složenica koje označavaju stanje sredine u pogledu kvarenja, truleži. Iz samog korena te reči je jasno da su indeksi koji se izvode iz te reči povoljniji kada su manji, jer tada iskazuju očuvaniju, zdraviju životnu sredinu.

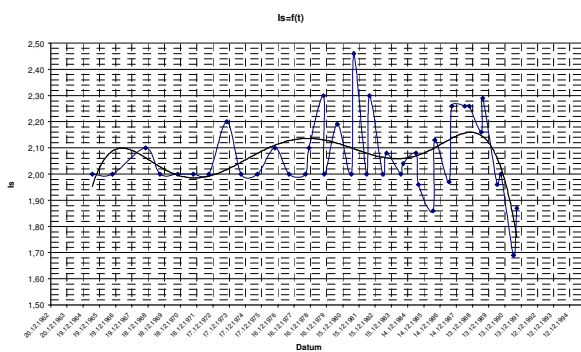
³ Ekološka valenca definiše sposobnost vrste da naseljava sredine koje karakterišu manja ili veća promenljivosti ekoloških faktora. *Stenoek vrste* (prefiks 'steno' – uzan) su one koje su najzahtevnije, koje imaju dosta uzane granice tolerantnosti varijacija ekoloških faktora, te su kao takve najbolji indikator ekološkog stanja neke životne sredine.

⁴ *Euriek vrste* (prefiks 'euri' - širok) označava one biocenozne čiji je opseg ekološke valence i tolerancije dosta širok pri promeni ekoloških faktora, i koje zadnje nestaju pri destruktiji nekog ekosistema.

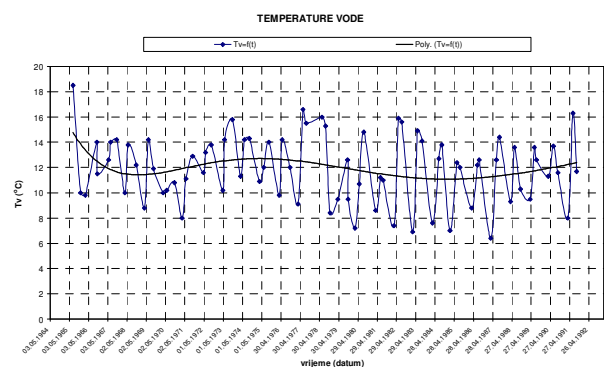
⁵ U skladu sa poznatim Liebegovim Zakonom minimuma (Đorđević, 1990) kontrola procesa eutrofikacije vodenih sredina se može efikasno ostvariti kontrolom i ograničavanjem samo jednog makro elementa, nutrijenta. Najefikasnije se može kontrolisati i ograničiti unos fosfora. Ukoliko se ograniči koncentracija fosfora na manje od 10 mg/L vodena sredina se može uspešno održavati u stanju oligotrofije, poželjnom ekološkom stanju vodenih sredina najvišeg kvaliteta. Ukoliko se dopusti veći unos fosfora, u opsegu 35÷100 mg/L, ta akvatorija će postepeno i sve ubrzanije prelaziti u eutrofnu stanje. Opseg od oko [10÷35] mg/L je opseg u kome se sistem stabilizuje u stanju mezotrofije. Povoljna je okolnost da se i naknadnim smanjivanjem i ograničavanjem unosa fosfora u neku akvatoriju može poboljšati njen ekološki status, pa se eutrofna jezera mogu čak i vratiti u oligotrofnu stanje. Međutim, tu mogućnost ne treba (zlo)upotrebljavati, već merama zaštite treba od samog početka ograničavati unos nutrijenata, posebno fosfora.



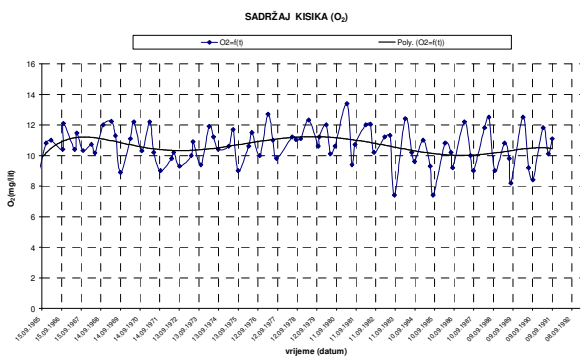
Slika 3. Odnos između računskih vrednosti $(I_s)=f(O_2, T_v \text{ i } PO_4)$ (ordinata) i izmerenih vrednosti I_s na vodotocima u BiH (apcisa)



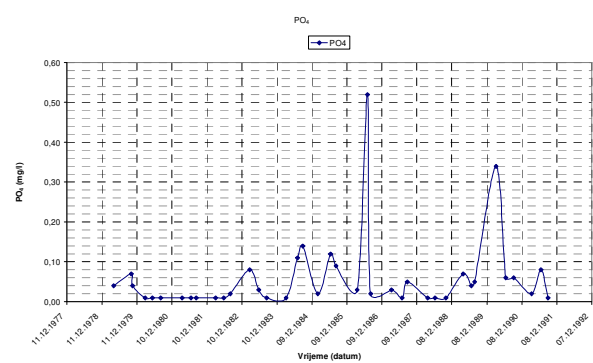
Slika 4. Serija izmerenih vrednosti indeksa saprobnosti I_s



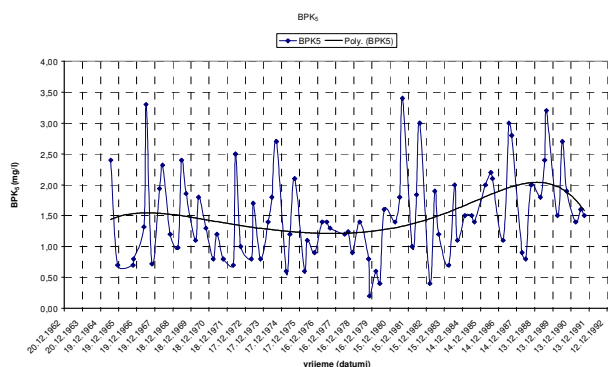
Slika 6. Serija izmerenih vrednosti i temperature vode T_v



Slika 5. Serija izmerenih vrednosti i sadržaja kiseonika O_2



Slika 7. Serija izmerenih vrednosti PO_4

Slika 8. Serija izmrenih vrednosti BPK_5

Pristup analizi ekološkog protoka. Pri svakoj modifikaciji vodnih režima u nekom vodotoku (vodnom telu), a posebno pri realizaciji brana i akumulacija kao i vodozahvata, potrebno je odrediti veličinu ekološkog protoka koji se mora obezbediti u vodotoku kako bi sačuvao rečni ekosistem u prihvatljivom neporemećenom stanju. Suština analize zavisi i od stanja izučenosti vodotoka, pri čemu su najčešća sledeća dva slučaja.

1. Slučaj bolje izučenih vodotoka. Bolja izučenost podrazumeva da se raspoloživo sa dve vrste podataka: (a) postoje serije mesečnih protoka na razmatranoj deonici reke, na osnovu kojih se mogu uraditi probablističke analize koje obuhvataju i analize raspodela verovatnoća mesečnih malih voda; (b) postoje i dovoljno dugačke serije simultanih merenja biotičkih i abiotičkih parametara kvaliteta u neporemećenom režimu na razmatranoj deonici reke, na osnovu kojih se može uraditi analiza zavisnosti $I_s = f(x_0, x_1, \dots, x_n)$, gde se (x_0, x_1, \dots, x_n) ključni abiotički parametri kvaliteta. U tom slučaju razmatranje ekološkog protoka se radi primenom dve vrste paralelnih analiza:

- Primenom metode GEP (Đorđević i Dašić, 2011b) određuje se **kvantitativna komponenta** ekološkog protoka, koji se definiše kao 'garantovani ekološki protok' (Q_{GEP}). Kao što je naglašeno, to je protok koji treba da bude kontinuirano obezbeđen na razmatranoj deonici reke sa modifikovanim vodnim režimom (nivodno od brane, vodozahvata), da bi se očuvale u prihvatljivom stanju hidrauličko-morfološke karakteristike reke kao *biotopa*. Protok Q_{GEP} je 'protok koji reku čini rekom'. Taj protok je različit i hladnom i toplom delu godine. U toplom delu godine je nešto veći, zbog povećanih potreba u reproduktivnom periodu svih biocenoza.

- Primenom metode MABIS (Knežević, 2010, koja se prikazuje sistematizovano u ovom radu) određuju se kvalitativna komponenta ekološkog protoka, odnosno, onaj modifikovani protok Q_{EPP} (m^3/s) koji obezbeđuje da se očuvaju biocenoze, posebno one koje se smatraju pokazateljima ('graditeljima') očuvane biološke raznovrsnosti reke kao ekosistema.

Kada se dobiju vrednosti ekološkog protoka po metodama GEP (Q_{GEP}) i MABIS (Q_{EPP_MABIS}) upoređuju se njihove veličine, i u skladu sa baznim principom ekologije, da se moraju očuvati i fizičke (biotopske) i biocenozne karakteristike reke i nakon modifikacije vodnog režima, usvaja se protok koji je veći od te dve veličine. Izbor se tada svodi na:

$$Q_{EPP} = \max [Q_{GEP}, Q_{EPP_MABIS}] \quad (11)$$

U ekološkom smislu, polazeći od osnovne definicije ekosistema, takav izbor je jasan: bira se onaj protok koji će očuvati i reku kao biotop, a koji će omogućiti da se očuvaju i biodiverziteti na modifikovanom vodnom telu.

(2) Slučaj: postoje hidrološke serije, nema merenja biotičkih i abiotičkih pokazatelja. U slučaju da se ne raspoloživo sa apriornim merenjima biotičkih i abiotičkih parametara kvaliteta, niti postoji mogućnost da se do takvih podataka dođe realizacijom kraće serije merenja tokom tog istraživanja, tada se ekološki protok određuje primenom metode GEP, jer se njime obezbeđuju hidrauličko-morfološke karakteristike reke kao biotopa. Međutim, ukoliko postoji mogućnost da se u jednom kondenzovanom istraživanju od bar godinu dana (da bude obuhvaćen topli i hladni deo godine) izvrše merenja biotičkih i abiotičkih pokazatelja, makar i sa suženim brojem parametara (obavezno određivati: I_s , O_2 , PO_4 , T_v , T_z , $O_2/O_{2\max}$, BPK_5 , pH), tada je korišćenjem analogija i uopštavanja poželjno da se izvrši provera i po metodi MABIS i da se donese zaključak u skladu sa relacijom (11).

Operativna primena metode MABIS. Mogućnosti operativne primene metode MABIS za određivanje ekološki prihvatljivog protoka, prikazaće se na primeru istraživanja na reci Trebišnjici, nizvodno od brane Gorica i na potezu kroz šire područje Trebinja.

Za analizu su korišćeni podaci merenja u periodu (1965÷1991) najčešće po tri puta godišnje, kojima su obuhvaćeni biotički pokazatelji (I_s) i ključni abiotički pokazatelji.

Uspostavljanju modela ekološki prihvatljivog protoka prethodi osnovna analiza vremenske serije svakog od simultano izmjenjenog, a dostupnog i u modelu korištenog parametra ($I_s, O_2, T_v, T_z, Q, PO_4$). Na slikama 4÷8 su prikazane isti segmentni vremenskih serija na toku Trebišnjice nizvodno od brane Gorica, ali samo onih biotičkih i abiotičkih parametara čiji su opsezi izmerenih vrednosti jedan od neophodnih indikatora koji ulazi u dalje analize.

- I_s : opseg [1,68÷2,46] (sl.4),
- O_2 : opseg [7,3÷13,3] mg/L (sl.5),
- T_v : opseg [6,2÷18,2]⁰C (sl.6),
- PO_4 : opseg [≈0,1÷0,52] mg/L,
- BPK_5 : opseg [0,2÷3,4] mg/L

Vremenske serije svih relevantnih abiotičkih i biotičkih parametara kvaliteta, razmatrani simultano pružaju informaciju ne samo o uticaju pojedinih parametara na indeks saprobnosti, već sadrže i informacije i o međusobnoj povezanosti i vremenskoj "inerciji" procesa. U slučaju merenih serija za Trebišnjicu uočava se:

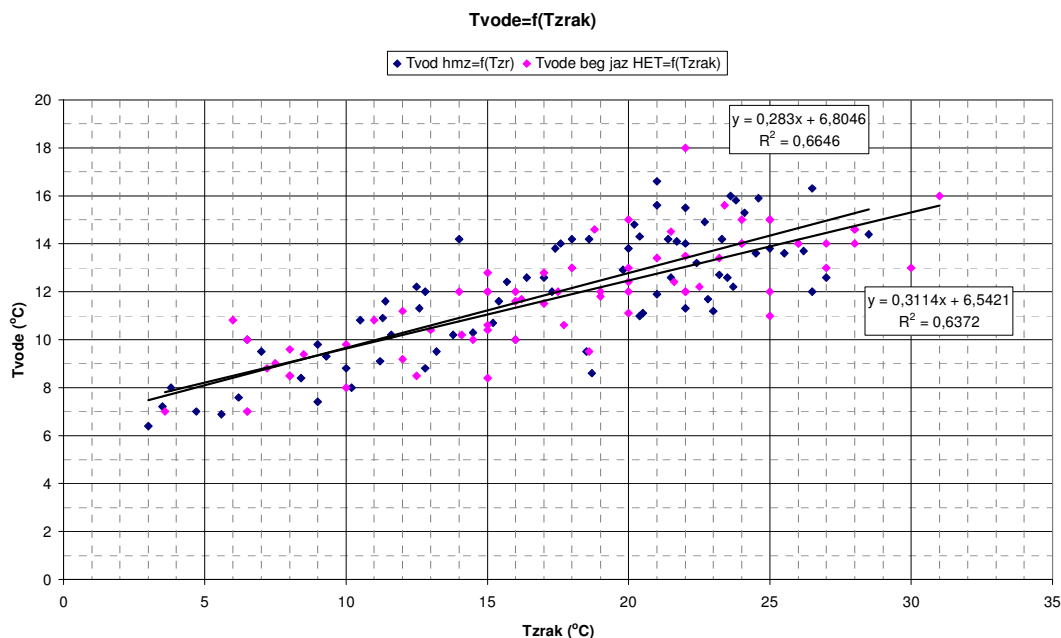
- varijacija promene izmerenih osnovnih parametara I_s i O_2 oko njihove prosečne vrednosti tokom razmatranog perioda bila je relativno mala, izuzev I_s u pojedinim periodima;
- registrovana su nešta povećanije varijacije kod izmerenih vrijednosti Q i T_v , a kao što se i moglo

očekivati najveće varijacije su bile kod merenih temperatura zraka T_z ;

- dosta su visoke (povoljne) vrednosti O_2 i T_v međusobno uslovljene i kao takve sigurna posledica pozitivnog uticaja ispuštanja rashlađene vode iz akumulacije Bileća (nažalost, ne raspolaže se sa podacima o T_v pre izgradnje akumulacije Bileća).

Nešta veće vrednosti I_s nizvodno od Trebinja, i pored povoljnih temperaturnih uslova i kiseoničnih režima mogu se tumačiti usporenim tokom na potezu kroz grad, zbog praga u koritu nizvodno, ali i zbog antropogenih uticaja, sa unošenjem povećanih sadržaja PO_4 sa područja grada (unošenje efluenta ispiranjem saobraćajnica, izlivi delova kanalizacija, itd.). To sugerise da u daljnjem toku razrade modela treba eksplicitnije obuhvatiti i abiotičke parametre koji doprinose iz urbanih sistema, a posebno jedinjenja sa fosforom, ali i organskih zagađenja na koja ukazuje pokazatelj BPK_5 .

Pošto se sa ekološkim protokom može da upravlja tokom vremena, zavisno od promena abiotičkih parametara, potrebno je da se pokazatelji sa kojima se upravlja povežu sa onim parametrima koji se najlakše mere, a koji karakterišu stanje u širem okruženju. Za takve namene su najpogodnije temperature vode T_v i zraka T_z . Pošto su te dve veličine korelaciono dosta spregnute (slika 9), najoperativnije je da se upravljačke



Slika 9. Odnos izmerenih vrijednosti T_v i T_z

odluke na planu finijeg upravljanja ispuštanjem ekološkog protoka (Q_{EPP}) povežu sa temperaturom vazduha T_v . Temperatura vazduha je veličina koja se ne samo lako meri, već se može dosta dobro prognozirati za naredne dane, što može da ima značaj za donošenje upravljačke odluke o ispuštanju (Q_{EPP}).

Na bazi ovih analiza može se pristupiti analitičkom definisanju segmenata modela za određivanje (Q_{EPP}) preko indeksa I_s , što se može obaviti u tri koraka. Odabran je upravljački jedino realan pristup: da se veličina (Q_{EPP}) veže za onaj parametar koji se najoperativnije može meriti u procesu odlučivanja o ispuštanju (Q_{EPP}). To je temperatura vazduha. Zbog toga se postupak sveo na tri koraka. To će se prikazati na primeru Trebišnjice u zoni Trebinja, nizvodno od Bilećkog i Trebinjskog jezera.

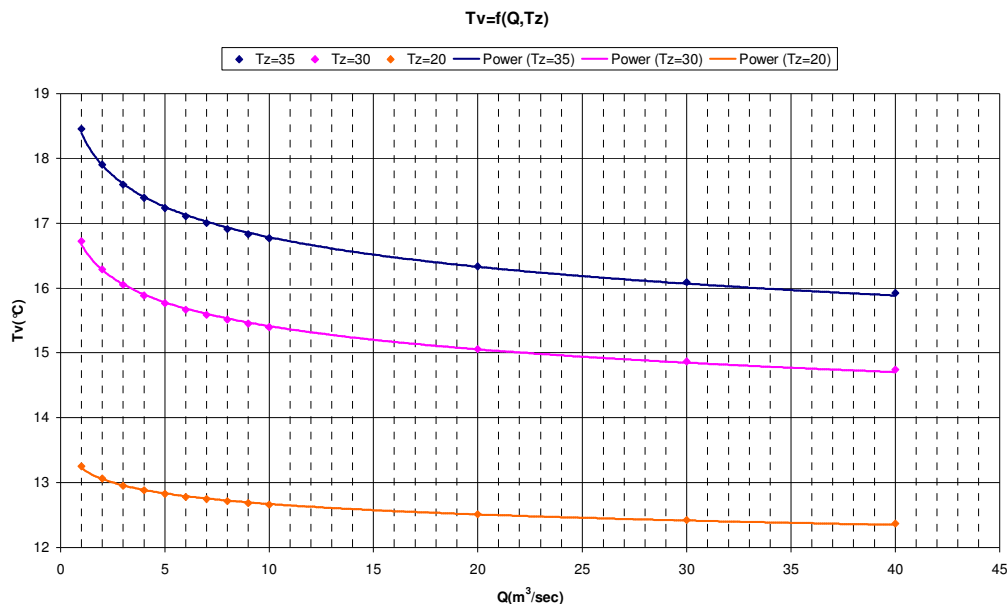
Prvi korak. Uspostavljanje odnosa između uticajnih abiotičkih parametara T_v , T_z i Q sa ciljem da se ispita njihovo zajedničko delovanje na I_s . Polazi se od pretpostavke da temperatura voda T_v na nizvodnoj deonici (u ovom slučaju u Trebinju) zavisi od T_v ispuštene iz akumulacije, količine ispuštene vode Q (m^3/s) od koje zavisi efekat delovanja (zagrevanja / hlađenja) i temperature zraka (T_z). Potvrda

opravdanosti ovakve pretpostavke nađena je u uspostavljenom odnosu:

$$T_v - T_{v\ sr} = 0,3467(T_z - T_{v\ sr}) * Q^{-0,103} - 1,48$$

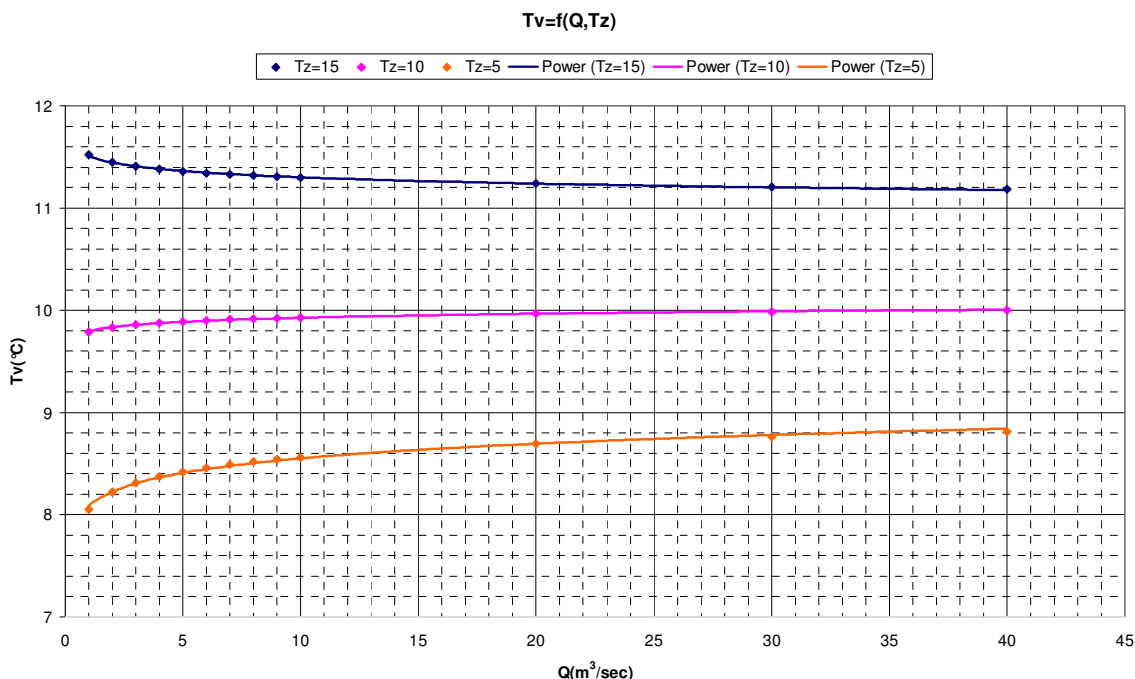
pri čemu je $T_{v\ sr} = 11,94$; $Q \geq 1,0$

Dobijen je relativno visok koeficijent korelacije $r=0,79$ uz prihvatljiv izbor oblika te veze jer, kako je to prikazano na slici 10 on sledi porast $T_v = f(Q)$ za T_z veće od $T_{v\ sr}$ i obrnuto. Isto tako iz prikaza te veze proizilazi zaključak da pri $10 \leq T_z \leq 20$ promena veličine proticajanja ne utiče značajnije na promenu T_v . Ovo je posledica kratkog rastojanja (L) grada Trebinja od uzvodnih akumulacija, koje ne ostavlja vodi dovoljno vremena da pod uticajem različite T_z značajnije promjeni svoju relativno nisku, ekološki povoljniju temperaturu T_v . Ovo je, ujedno, dobra potvrda činjenice da akumulacije imaju pozitivne ekološke funkcije od kojih su neke od najvažnijih povećavanje malih voda u kriznim ekološkim stanjima, kao i ispuštanje vode niže temperature zbog delovanja termičke separacije u toplom delu godine i zahvatanje vode iz hladnijeg temperaturnog sloja akumulacije⁶. Naravno da se ovi pozitivni efekti umanjuju u obimu koji zavisi od povećanja rastojanja L , promjene pada na toj dužini i sl., što utiče na potrebu povećanja ekološki prihvatljivog Q_{EPP} protoka na tim mestima, o čemu se mora voditi računa kod razmatranja sliva kao celine.



Slika 10. Odnos T_v rač= $f(Q, T_z)$ na reci Trebišnjici u Trebinju ($T_z \geq T_{v\ sr}$)

⁶ Negativan uticaj na uslove za kupanje i rekreaciju na vodi u zoni Trebinja zbog ispuštanja hladnije vode iz uzvodnih akumulacija rešen je na način kako se to čini i u svetu: izgradnjom posebnih, namenskih centara za kupanje i rekreaciju na vodi u zoni grada. Time je neutralisan efekat hlađenja vodotoka na uslove za kupanje i rekreaciju na reci Trebišnjici zbog zahvatanja vode iz donjeg hladnog sloja Bilećke akumulacije, a zatim i iz Trebinjske akumulacije.

Slika 11. Odnos T_v rač= $f(Q, T_z)$ na reci Trebišnjici u Trebinju ($T_z \leq T_v$ sr)

Generalno bi se moglo zaključiti da rezultati proizišli iz ovog segmenta modela modeliraju sinergetsko delovanje tri vrlo uticajna abiotička parametra (T_v, T_z i Q) na životne zajednice. Ujedno, model definiše i promene u vodnim ekosistemima koje nastaju kao posledica njihovih izmena. Uvodeći u vezu veličinu ključnog parametra (protoka Q) model obezbeđuju prvi korak u proceni veličine ekološki prihvatljivog protoka. Kriterijumi za to su mesta gde pri određenoj T_v i T_z počinje značajnije opadanje uticaja veličine proticaja na porast ili opadanje T_v . Nakon tog prvog koraka može se u prvoj aproksimaciji odrediti: koliko treba ispuštati EPP Q_{EPP} (m^3/sec) u različitim opsezima dnevnih temperatura. Jasno je da potrebna količina Q_{EPP} raste u uslovima većih temperatura vazduha. Problem se može i učiniti i operativnijim ako se godina podeli samo na dva dela – na hladan i topli deo, pa da se Q_{EPP} odredi za jedan i drugi period, kao što je učinjeno u metodi GEP.

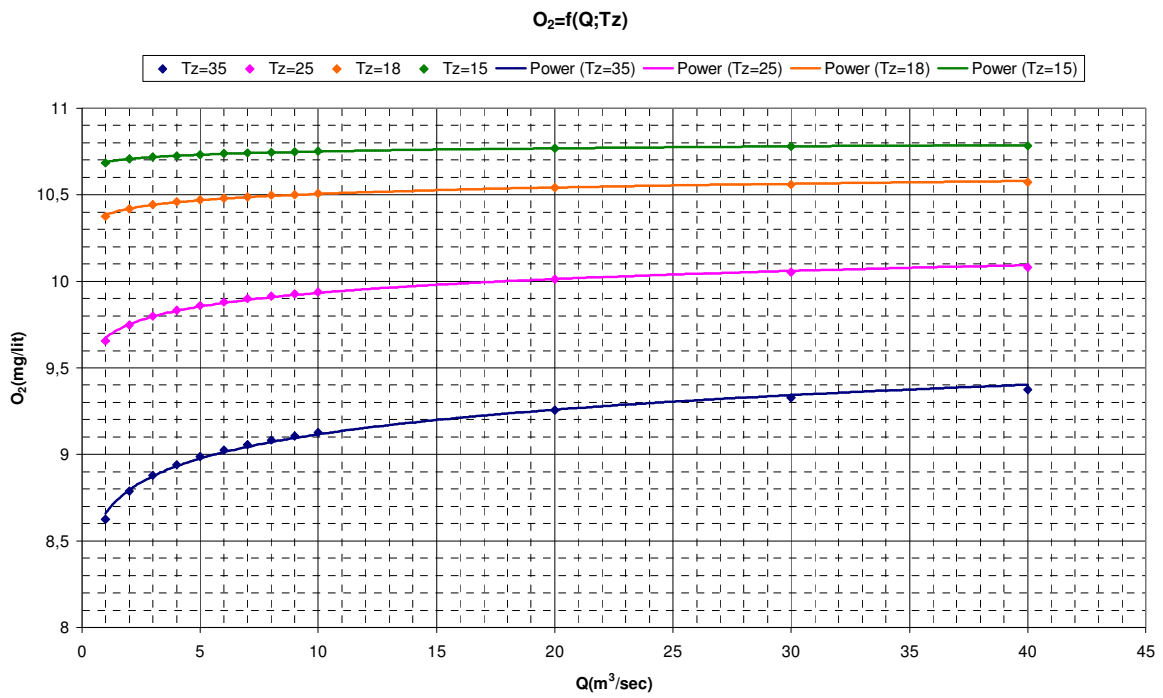
U tačnijoj aproksimaciji u razmatranje treba uvesti i najvažniji abiotički parametar: sadržaj kiseonika O_2 . Zbog toga se pristupa realizaciji drugog koraka.

Drugi korak. U drugom koraku se u vezu $T_v=f(Q, T_z)$ uvodi i najvažniji abiotički parametar O_2 koji je postavljen kao konturni uslov koji treba da zadovolji

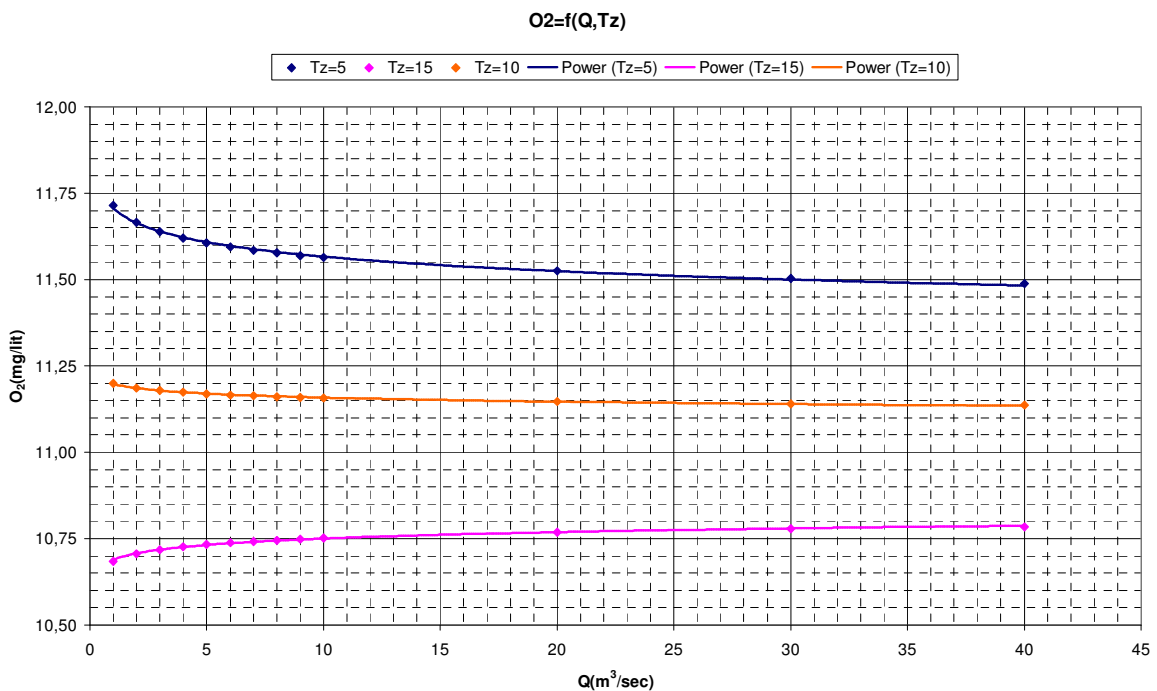
veličina ekološki prihvatljivog proticaja. Koristeći vezu između izmerenih vrednosti O_2 i T_v (Slike 12 i 13) i činjenicu da su izmerene vrednosti O_2 , po pravilu, veće u hladnom (oktobar-april) periodu godine (slika 15) i već uspostavljeni odnos $T_v=f(Q, T_z)$, uspostavlja se odnos $O_2=f(Q, T_z)$ u koji je, indirektno, uključena i T_v . U slučaju Trebišnjice ta relacija je:

$$O_2 = -0,103(T_z - T_v \text{ sr}) * Q^{-0,103} + 11,0$$

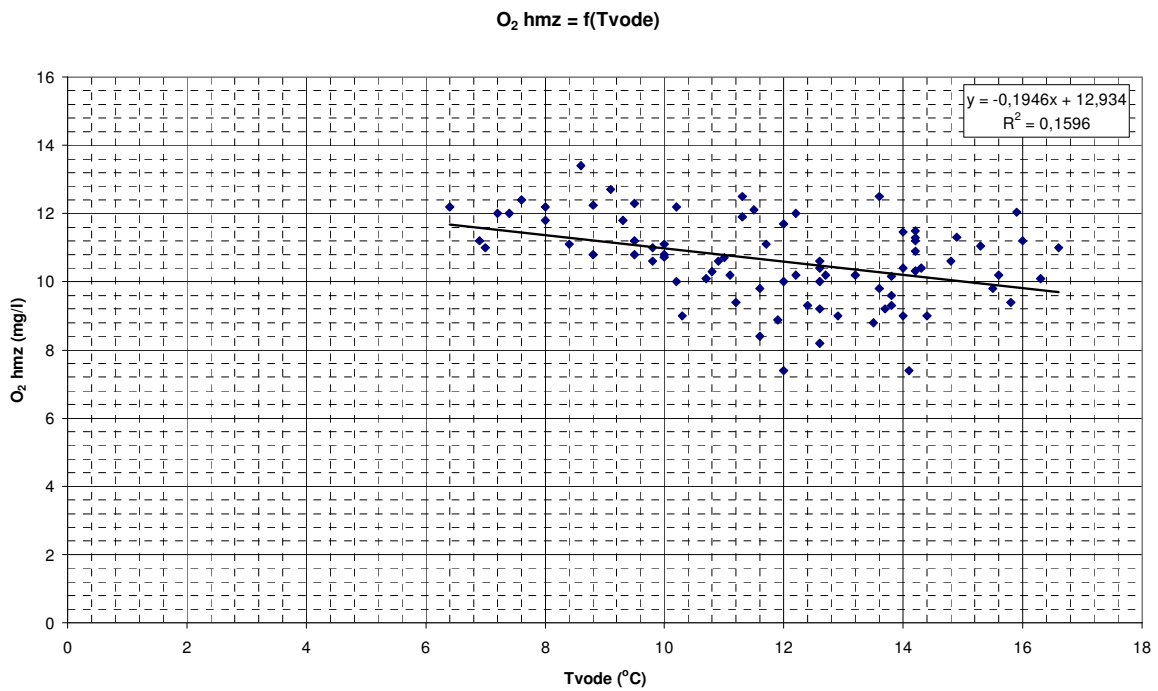
Vrednost koeficijenta korelacije $r = 0,51$ ne indicira čvrstu vezu što se i očekivalo obzirom da ni izmerene vrednosti nemaju čvrstu vezu, pogotovo u toplijem periodu godine (maj-septembar) kada je izraženo sadejstvo: fotosinteza - rast biljaka - proizvodnja i korištenje anorganskih soli - proizvodnja i potrošnja kiseonika. Ipak, zbog vrlo malih varijacija kiseonika i dosta visokih vrednosti I_s ova veza, prikazana na slici 16, korišćena je za procenu ekološki prihvatljivog proticaja u drugom koraku. Koristi se već navedeni kriterijum da su to mesta gde na liniji koja predstavlja vezu između O_2 i Q za konstantnu vrednost T_z počinje značajnije opadanje uticaja veličine proticaja na porast ili opadanje O_2 . Taj korak je znatno određeniji jer pokazuje koje treba protoke EPP (Q_{EPP}) ispuštati pri kojim intervalima temperatura, i koji će se sadržaj kiseonika tada nalaziti u vodi.



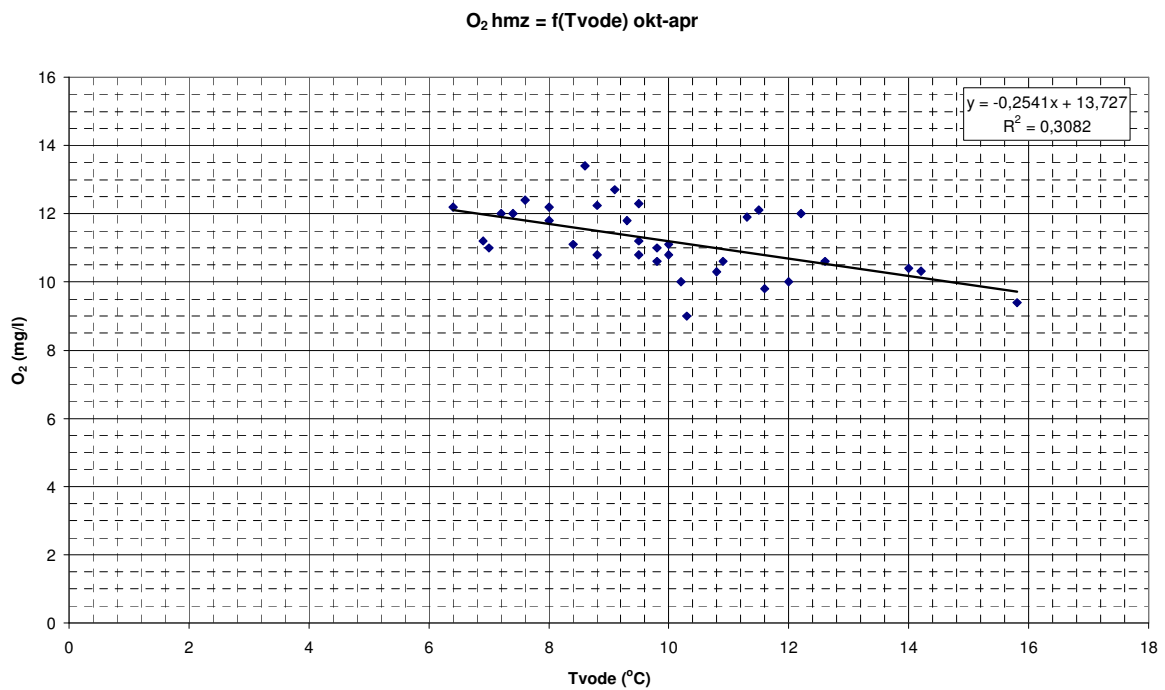
Slika 12. Odnos O_2 rač= $f(Q,Tz)$ na reci Trebišnjici u Trebinju ($Tz \geq Tv$ sr)



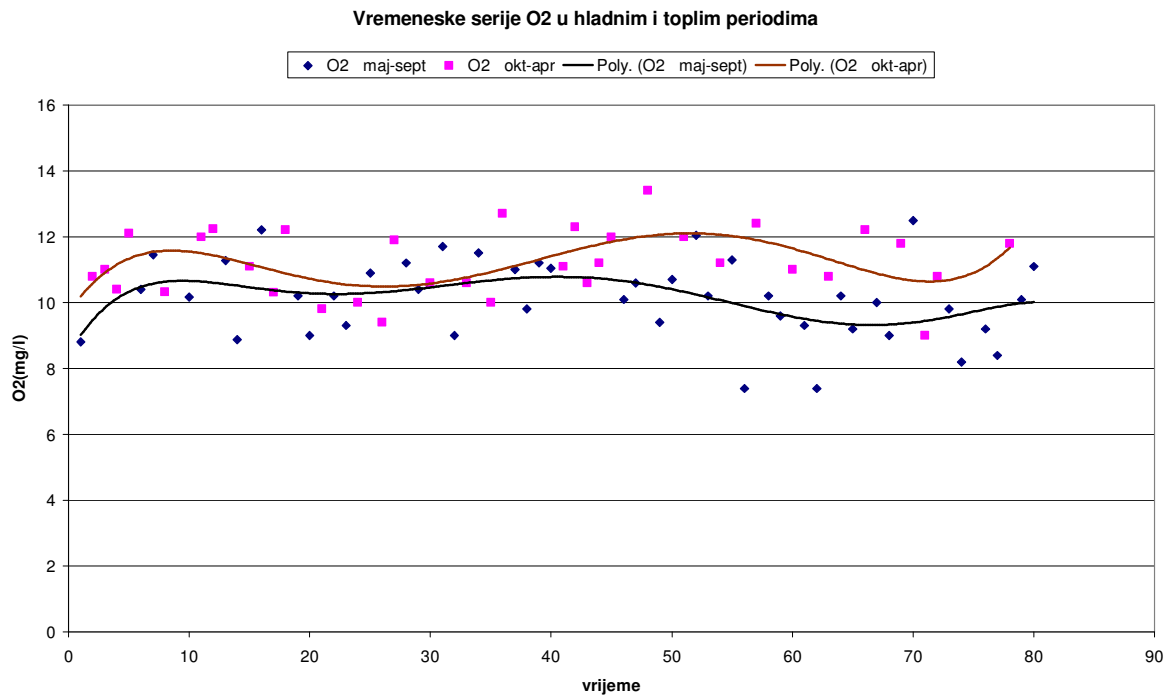
Slika 13. Odnos O_2 rač= $f(Q,Tz)$ na reci Trebišnjici u Trebinju ($Tz \leq Tv$ sr)



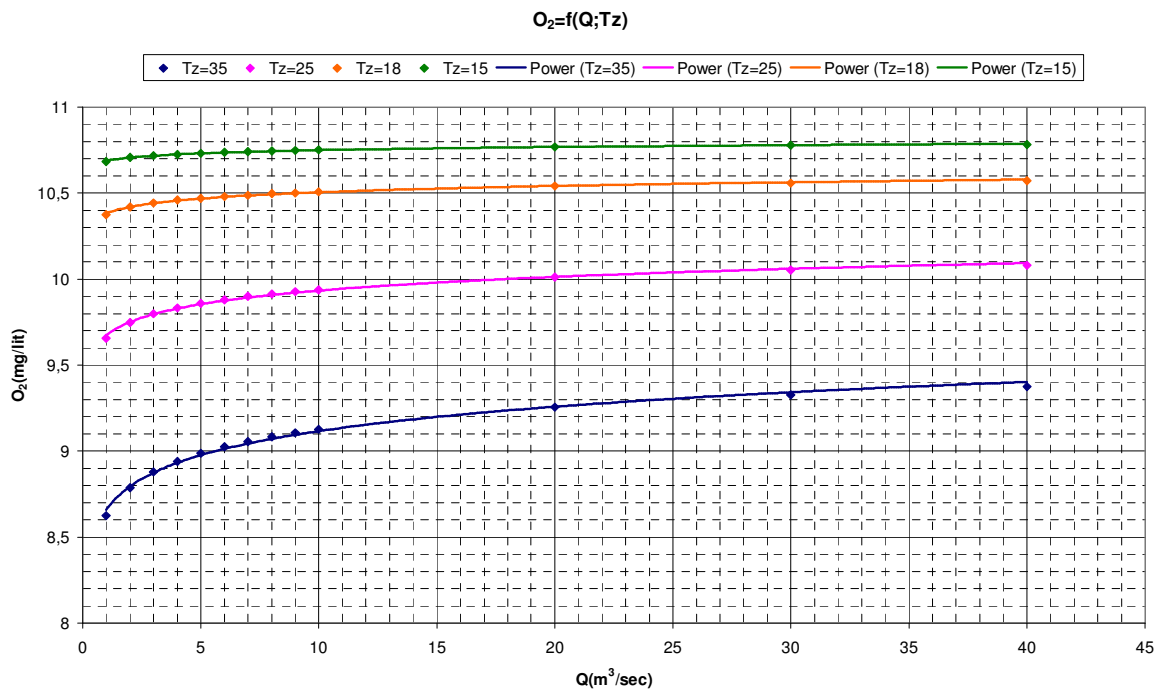
Slika 14. Odnos izmerenih vrednosti O₂ i Tv (čitav vremenski period)



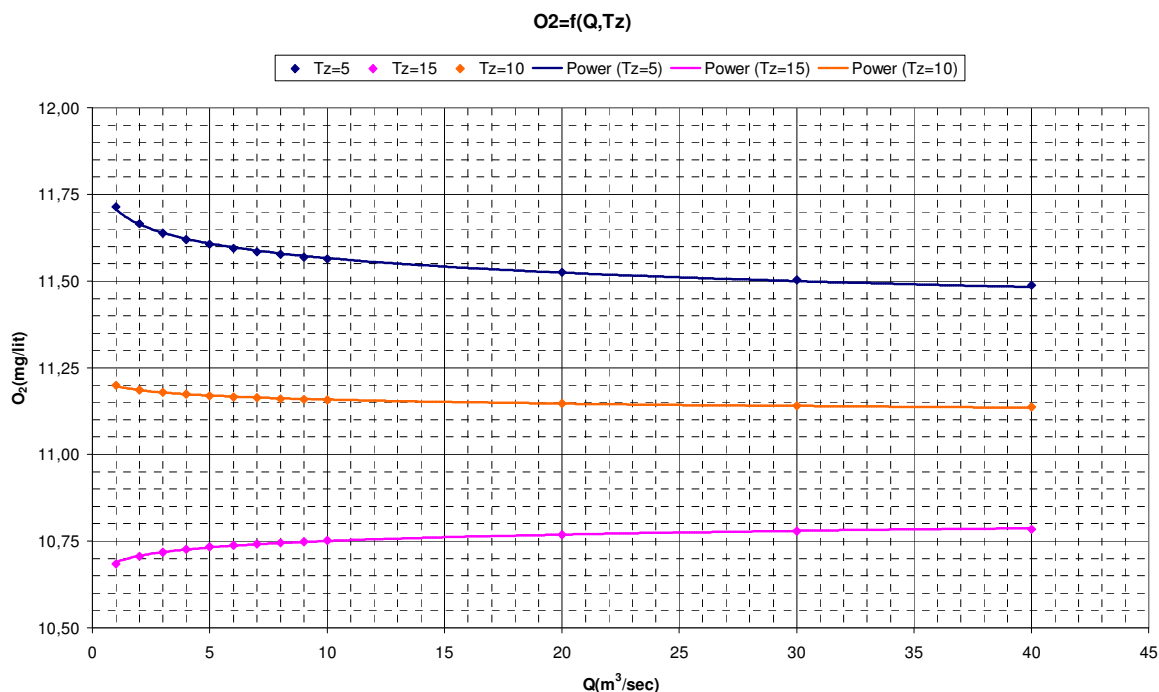
Slika 15. Odnos izmjenjenih vrednosti O₂ i Tv (hladni vremenski period)



Slika 16. Vremenska serija O₂ u toplom i hladnom vremenskom periodu



Slika 17. Odnos O₂ rač=f(Q,Tz) na rijeci Trebišnjici u Trebinju (Tz ≤ Tv sr)

Slika 18: Odnos O_2 rač= $f(Q,T_z)$ na rijeci Trebišnjici u Trebinju ($T_z \leq T_v$ sr)

Treći korak se svodi na određivanje Q_{EPP} po pojedinim temperaturnim intervalima i proveru sadržaja O_2 u smislu kriterijuma ekološke valjanosti odabranog Q_{EPP} . Takođe, ukoliko se metoda primenjuje simultano sa metodom GEP, koja definiše kvantitativnu komponentu reke kao biotopa, u toj fazi se upoređuju dobijene vrednosti po jednoj i drugoj metodi i usvaja se veća vrednost ekološkog protoka (po jedn. 11), jer samo taj protok Q_{EPP} može da obezbedi i količinske i kvalitativne zahteve reke kao ekosistema - biotopa i staništa biocenoza.

Na bazi najpotpunijeg iskorišćenja svih podataka simultanih merenja kvaliteta vode Trebišnjice određene su vrednosti ekološki prihvatljivog protoka (Q_{EPP}) nizvodno od brane Gorice, koji važe na celom potezu Trebišnjice sve do ulaska u Popovo polje. Ekološki protoci su određeni po opsezima temperatura vazduha (tri opsega temperatura T_z), jer je T_z parametar koji se najlakše meri, a ujedno je i najpogodniji za donošenje upravljačkih odluka o operativnom upravljanju u realnom vremenu. Protoci Q_{EPP} se realizuju na brani Gorica odgovarajućim otvaranjem regulacionog Džonsonovog zatvarača donjeg ispusta. Međutim, dovoljno je tačan pristup i da se veličina (Q_{EPP}) definiše samo za dve sezone: za topao i hladan deo godine.

ZAKLJUČAK

Određivanje Ekološki prihvatljivog protoka - EPP (naziv u zakonodavstvima FBiH i Republike Srpske) mora se temeljiti na simultanom razmatranju kvantitativne i kvalitativne komponente protoka nizvodno od brane ili vodozahvata. Kvantitativna komponenta definiše protok kojeg je neophodno obezbediti na nizvodnoj deonici reke kako bi se očuvale hidrauličko-morfološke karakteristike reke kao neporemećenog biotopa (*'protok koji reku čini - rekom'*). Ta komponenta protoka Q_{GEP} se uspešno određuje metodom Garanovanog Ekolološkog Protoka - GEP (Đorđević i Dašić, 2011). Kvalitativna komponenta EPP se najbolje može analizirati ukoliko postoje dovoljno duge serije simultanih merenja abiotičkih i biotičkih parametara razmatrane deonice reke. U ovom radu se prikazuje Metoda Abiotičkih i Biotičkih parametara i Indeksa Saprobnosti (skraćeno MABIS). Metoda omogućava da se odredi veličina EPP preko Indeksa saprobnosti, koja pokazuje veličinu protoka koja omogućava da se očuva reka kao ekosistem i stanište biocenoza.

Obe metode, GEP i MABIS, koriste se spregnuto. To podrazumeva da se primenom te dve metode odrede

ekološki protoci Q_{GEP} i Q_{EPP_MABIS} , pa se usvoji ona vrednost koja je veća ($Q_{EPP} = \max[Q_{GEP}, Q_{EPP_MABIS}]$) jer je to ekološki protok koji omogućava da se očuvaju i kvantitativne i kvalitativne komponente deonice reke nizvodno od brane.

Razvoj metode MABIS ukazao je i na jednu vrlo bitnu metodološku činjenicu: definisani su neophodni parametri koje je važno simultano meriti da bi se mogle definisati ne samo veličine ekološki prihvatljivog protoka, već i da bi se moglo kontinuirano da prati stanje reke kao ekosistema. Za pouzdano praćenje dinamizma tog stanja trebalo bi simultano meriti, obrađivati i sistematizovati u bazama podataka: protok, temperature vode i vazduha, sadržaj kiseonika u vodi (mg/L), procenat zasićenja kiseonikom (%), BPK_5 , PO_4 , karbonate i silikate kao ključne parametre koji su neophodni za određivanja indeksa saprobnosti I_s . Poželjno je poveremeno uzorkovanjem na karakterističnim dionicama toka prikupljati i biotičke podatke koji su potrebni za određivanje indeksa različitosti H (vidjeti jedn. 2) na tim karakterističnim dionicama reke. Taj pokazatelj je bitan da bi se pratilo očuvanje biodiverziteta u reci kao ekosistemu.

U dosad najdetaljnijoj studiji te vrste u RS - određivanju ekološki prihvatljivog protoka Trebišnjice nizvodno od Bilećkog i Trebinjskog jezera, pokazalo se da se dve metode (GEP i MABIS) odlično dopunjavaju, tako da se obe zajedno preporučuju za pouzdano određivanje ekološki prihvatljivih protoka. Metoda GEP se može primeniti u svim slučajevima uobičajene hidrološke izučenosti reka, dok je metoda MABIS zahtevnija u pogledu neophodnih podloga, jer je potrebno raspolagati sa serijama simultano merenih abiotičkih i biotičkih parametara kvaliteta vode na razmatranoj deonici.

ZAHVALNOST

Autori sa zadovoljstvom ističu da je rad nastao kao rezultat njihovog rada na 'Studiji istraživanja, praćenja i obrada podataka radi utvrđivanja ekološki prihvatljivog protoka nivodno od brane HET 2' (Investitor – HET, Trebinje). Ta do sada najpodrobnija studija te vrste urađena je u Zavodu za vodoprivredu u Bijeljini, uz koordinaciju mr Snežane Vinterfeld, dipl.inž. i učešće stručnog tima Zavoda na čelu sa Nedeljkom Sudarom, dipl.inž. Naručilac studije - ZP 'Hidroelektrane na Trebišnjici' iz Trebinja vrlo kooperativno je stavio na raspoloženje sve podatke svojih dugogodišnjih uspešnih istraživanja kvaliteta vode na toku Trebišnjice.

LITERATURA

- [1] Bratić, B., Đorđević, B. et all. (2006): Okvirni plan razvoja vodoprivrede Republike Srpske, Vodoprivreda, N^o 219-221, Beograd
- [2] Đorđević, B. (1990): Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, Beograd, ISBN 86-23-41056-4
- [3] Djordjević, B. (1993): Cybernetics in Water Resources Management, WRP, USA
- [4] Đorđević B. i T. Dašić (2011a): *Water storage reservoirs and their role in the development, utilization and protection of catchment*, SPATIUM International Review, March 2011, doi: 10.2298/SPAT1124009D
- [5] Đorđević B. i T. Dašić (2011b): *Određivanje potrebnih protoka nizvodno od brana i rečnih vodozahvata*, Vodoprivreda, 252-254, (4-6/2011), Beograd, 2011.
- [6] Knežević, B. et all. (2010a): *Uspostava modela odnosa bioloških (I_s ,...) i na njih uticajnih fizičko-hemijskih (T , O_2 , PO_4 ,...) pokazatelja kvaliteta voda površinskih vodotoka*, Studija, Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2010.
- [7] Knežević, B. (2010b): Hidrološke analize, U: Upravljanje akumulacijama i hidroelektranama sistema 'Trebišnjica', Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, 2010.
- [8] Knežević, B. (2011): Metoda Abiotičkih i Biotičkih parametara i Indeksa Saprobnosti, U objavljenoj monografskoj studiji: 'Istraživanje, praćenje i obrada podataka radi utvrđivanja ekološki prihvatljivog protoka nivodno od brane HET 2', Zavod za vodoprivredu, Bijeljina, HET Trebinje, 2011.
- [9] Odum, E.P. (1975): Ecology, Holth Renhart and Winston, New York
- [10] Papović, R. I J.Šapkarov (1985): Animalna ekologija, Naučna knjiga, 1985.
- [11] Reinfelds, I. et all. (2004): Refinement of the wetted perimeter breakpoint method for setting cease-to-pump limits or minimum environmental flows. *River Research and Applications*, 20(6):671-685.
- [12] 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*, 19:397-441 (2003)
- [13] Vandermeer, J. (1981): Elementary Mathematical Ecology, John Waley
- [14] Yevjevich, V. (1972): Stochastic processes in hydrology, WPR, USA

METHOD 'MABIS' AS DECISION MAKING TOOL FOR
ENVIRONMENTAL FLOW DETERMINATION

by

Božo KNEŽEVIĆ¹ and Branislav ĐORĐEVIĆ²¹Institute for Water Resources Management, Sarajevo,²Faculty of Civil Engineering, Belgrade

Summary

The paper considers Method of Abiotic and Biotic parameters and Index of Saprobity (MABIS) as decision making tool for determination of 'Environmental Flow' on river sections with modified water regimes downstream of dams or river water intake points. Method MABIS (*Knežević, 2010a*) can be successfully applied in case of water courses studied in details, for which key abiotic and biotic parameters of rivers as ecosystem were determined by systematic simultaneous measuring of flow and quality parameters in different hydrologic conditions. This paper presents the approach to analysis which is based on establishing multidimensional correlation connections between those parameters and saprobity index as key indicator for estimation of river quality as eco system. MABIS method was applied with great success to determination

of quality elements of environmental flow on Trebisnjica river downstream of dams 'Grncarevo' and 'Gorica' in the Trebinje town area. MABIS method is applied simultaneously and complementary to the GEP method that is defining quantitative parameters of environmental flow downstream of dams (*Đorđević and Dašić, 2011b*). GEP method defines quantitative component of river as biotope, while MABIS determines required conditions for survival and sustainability of biocenosis on river with modified water regime. Those two methods observed simultaneously have proven to be reliable approach for determination of environmental flow on Trebisnjica river.

Key words: Environmental flow, abiotic and biotic river parameters, Saprobity index

Redigovano 20.07.2012.