

ODREĐIVANJE POTREBNIH PROTOKA NIZVODNO OD BRANA I REČNIH VODOZAHVATA

Branislav ĐORĐEVIĆ i Tina DAŠIĆ
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

*Živimo u svetu tananom kao paučina i sve što
uradimo toj paučini - uradili smo sebi samima.
(Jim Russel, Indijanac iz plemena Yanima)*

REZIME

Pri planiranju vodoprivrednih sistema sa akumulacijama i vodozahvatima jedna od ključnih projektnih odluka jeste: koliki protok odabrati kao obavezno ispuštanje iz akumulacije, odnosno nizvodno od vodozahvata. U radu je izvršeno jasno metodološko razgraničenje pojmova: garantovani ekološki protok, protok za vodoprivredne potrebe, potrebno ispuštanje nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata. Analizom metoda koje se koriste u svetu, kao i na bazi hidroloških studija malih voda i morfološko-ekoloških analiza koje su urađene na našim vodotocima, autori su definisali novu metodu za izbor garantovanih ekoloških protoka pri planiranju na ovom prostoru Evrope. Prednosti metode su: (a) jednostavnost primene, jer se zasniva na analizi verovatnoća mesečnih malih voda, (b) prilagođenost životnim aktivnostima biocenoza u rečnom biotopu (protoci su različiti u toplom i hladnom delu godine), (c) u malovodnim periodima ti protoci su veći od protoka koji bi bili u prirodnom stanju, tako da predstavljaju najdelotvorniju zaštitu vodenih ekosistema.

Ključne reči: vodoprivredni sistemi, akumulacije, vodozahvati, nizvodna deonica, garantovani protok, biocenoze, selektivni vodozahvat

1. UVOD

Intenzivna gradnja brana i akumulacija, kao i neposrednih vodozahvata na rekama, otvorila je u svetu još pre više decenija važan metodološki problem: koliko iznosi prihvatljiv protok koji se mora kontinuirano ispuštati nizvodno od brane i/ili vodozahvata, pa da se i nakon izgradnje objekta očuvaju ekološke funkcije vodotoka i da se ne ugroze vodene i priobalne biocenoze. U svetu su obavljana brojna istraživanja i

razvijeno je preko 200 metoda u raznim zemljama (Đorđević, Dašić, 2000a). U nizu zemalja, onih koje su intenzivno radile na izgradnji hidotehničkih objekata, razvijeno je više metoda, često namenskih, samo za neki konkretan sistem, sliv ili posebnu namenu – npr. na rekama sa bogatom ihtiofaunom (Savić, 1992).

Tokom vremena sve više se potencira važnost pravilnog određivanja ekoloških protoka, zbog delovanja 'makaza' dva suprotna procesa: (a) zbog smanjenja raspoloživih vodnih resursa raste pritisak da se protoci regulišu akumulacijama, zahvataju i koriste za razne namene, (b) sve strožiji su kriterijuma zaštite životne sredine, posebno vodenih ekosistema. U takvim okolnostima raste potreba da se iznađu analitičke metode o pravičnoj podeli vodnog potencijala na deo koji služi za potrebe ljudi i deo koji je neprikosnoven za zaštitu i očuvanje vodenih ekosistema. Analiza ekološkog protoka sve više postaje jedan od načina da se pomire ti suprotno usmereni procesi i zahtevi (Đorđević, 1998). Međutim, blagovremeno definisanje ekološkog protoka je važno i zbog energetske-ekonomskih razloga. U svetu (posebno u SAD) brane i HE se često grade putem koncesija. Pri sklapanju koncesionih ugovora vrlo precizno treba definisati obavezu koncesionara u pogledu poštovanja ekoloških protoka, jer od njih bitno zavisi energetska i ekonomska efektivnost hidroelektrana, pa time i profit koji će se ostvarivati od koncesije.

Kod nas se pitanju određivanja ekoloških protoka u ranijim decenijama pristupalo dosta uprošćeno, pa se odomaćila neozvaničena praksa da se taj protok bez ikakvih analiza usvaja kao 10% od srednjeg godišnjeg protoka, ili kao mala mesečna voda obezbeđenosti 95%. Odomaćio se i po struku veoma štetan i loš termin da se taj protok naziva 'biološkim minimumom'. To je izazivalo ozbiljne nesporazume, jer je sve ostale struke

koje se bave zaštitom životne sredine asociralo na neki simboličan protok, tek koliko da se umiri savest projekatana i investitora. Inače, u svetu se taj protok najčešće naziva 'ekološkim (prihvatljivim) protokom', ili, 'protokom životne sredine' (*Environmental Flow*), što je i suštinski i semantički mnogo logičnije, jer ukazuje na suštinu – to je protok koji je namenjen očuvanju ekosistema. Ujedno, taj termin ne stvara nepotrebne terminološke nesporazume i sukobe sa drugim strukama, koje ne znaju da je protok koji se ispušta iz akumulacija veći od prirodnih protoka koji se javljaju na tim profilima u periodima malovođa.

Problem određivanja ekološkog protoka postao je posebno aktuelan u zadnjih godina, kada su brojni potencijalni investitori zatražili saglasnosti za građenje hidroelektrana na većim rekama – Velikoj Moravi, Ibru, Srednjoj i Donjoj Drini, ali isto tako i malih hidroelektrana (MHE). Protok koji se zahteva kao obavezno ispuštanje nizvodno od zahvatne građevine (ili brane) uglavnom se definiše kao konstantna verednost koja odgovara maloj mesečnoj devedesetpetprocentnoj vodi ($Q_{95\%}^{\min.mes}$). Ovakav način definisanja protoka može biti veoma opasan, posebno kada se radi o malim planinskim rekama, koje predstavljaju najosetljivije kapilare celovitih ekosistema. Naime, prema Katastru malih hidroelektrana (1987), najveći broj objekata planiran je upravo na malim planinskim vodotocima. MHE rade kao protočna derivaciona postrojenja, što znači da rade sa trenutno raspoloživim protokom u reci, a snagu ostvaruju na račun koncentracije pada dugačkim derivacijama. Na taj način, vodotok se preusmerava u derivaciju (najčešće se radi o cevovodima dužine dva do tri kilometra, pa i dužim) dok kroz korito reke tokom najvećeg dela godine protiče samo količina vode definisana kao obavezno ispuštanje nizvodno od zahvata. Mnogi vodotoci su hidroenergetski u potpunosti iskorišćeni na ovaj način, odnosno protočne derivacione MHE planirane su kontinuirano čitavom dužinom vodotoka. To znači da se neposredno nizvodno od mašinske zgrade jedne MHE nalazi zahvat sledeće MHE, voda se ponovo uvodi u derivaciju (cevovod) i odvodi do sledeće mašinske zgrade. Na taj način, najveći deo godine, prirodnim vodotocima protiče samo protok definisan kao obavezno ispuštanje nizvodno od zahvata.

Napred navedeni razlozi podstakli su autore da sistematizuju svoja istraživanja na tu temu (*Đorđević i Dašić, 2007*), i da prezentiraju metodu koja je razvijena za vodotoke na ovom području Balkanskog poluostrva. Metoda je višestruko proveravana, pa će se u ovom radu

prikazati i rezultati za neke reke koje su ekološki vrlo značajne, ili se na njima planira neki objekat.

2. PROTOK KOJI SE ISPUŠTA NIZVODNO OD PREGRADE - BITAN ELEMENT UPRAVLJIVOSTI SISTEMA

U Teoriji vodoprivrednih sistema posebno su važna dva upravljana vodna režima koja treba ostvariti nizvodno od brana ili nekih vodozahvata u rekama (*Djordjević, 1993*):

- (1) Garantovani Ekološki Protok – GEP,
- (2) Protok za vodoprivredne potrebe.

Na osnovu njih se određuje treća upravljana veličina

- (3) Potrebno ispuštanje nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata.

Te veoma bitne vodne kategorije nedovoljno su terminološki i metodološki razjašnjene i kod nas i u svetu, pa je zato neophodno je da se najprije izvrše jasna terminološka razgraničenja.

2.1. Garantovani ekološki protok ($Q_{GEP}(t)$) je onaj protok koji se mora uvek obezbediti u rečnom koritu nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata, kako bi se stvorili uslovi za normalan opstanak i razvoj biocenoza u reci kao biotopu. Znači, taj protok, kojim se upravlja namenskim ispuštanjem odgovarajuće količine vode iz akumulacije, predstavlja *ekološku kategoriju* (*Đorđević, 2000b*). Još šira definicija bi bila da je GEP dinamikom količine, kvaliteta i raspodele vode u reci tokom vremena koji je neophodan da bi se obezbedio opstanak i razvoj akvatičnih sistema, ali i neometan život ljudi u naseljima reke nizvodno od objekta. Komitet za vode EEK UN u Ženevi razmatrao je mogućnosti izvesne unifikacije i sistematizacije metoda za određivanje tog protoka. Zaključeno je da unifikacija nije moguća, jer se metode moraju da vezuju za konkretne geofizičke fenomene (hidrološke, hidrauličke, morfološke, geološke, itd.), ali i za konkretne uslove razvoja biocenoza u rekama kao ekosistemima.

Uređenjem režima malih voda nizvodno od akumulacija obavlja se *upravljачka stabilizacija protoka* na nekom kvantitativnom i kvalitativnom pouzdanijem nivou koji obezbeđuje nesmetano očuvanje, rast i razvoj akvatičnih ekosistema. Stabilizacija protoka podrazumeva i sprečavanje ekstremno malih protoka, posebno u toplom delu godine, kada bi zbog sinergetskog delovanja više faktora rečni ekosistemi bili dovedeni u izuzetno teška krizna stanja. Sinergizam ovde podrazumeva simultano delovanje više nepovoljnih ekoloških faktora: smanjenje

protoka ispod kritičnih granica za održanje bioloških vrsta, radikalno povišenje temperature, jer do smanjenja protoka dolazi u najtoplijem delu godine, radikalno smanjenje sadržaja kiseonika u vodi, jer je taj sadržaj obrnuto proporcionalan temperaturi vode. Adekvatnim upravljanjem ispuštanja vode iz akumulacija može se dirigovati vodnim režimima nizvodno od akumulacija, koji se mogu učiniti znatno povoljnijim, upravo sa ekološkog stanovišta, nego što bi bili u prirodnim režimima u kritičnim malovodnim periodima.

Upravo iz tih razloga je umesto pogrešnog termina 'biološki minimum' predložen termin '**garantovan ekološki protok**' (Đorđević i Dašić, 2000a), koji je znatno bliži suštini te upravljačke akcije, kojim se namjenskim ispuštanjem voda iz akumulacije ostvaruju potrebni abiotički i biotički uslovi za razvoj biocenoza nizvodno od akumulacija. Taj protok se ne vrednuje samo količinskom komponentom (m^3/s), već i kvalitativnom komponentom, koja podrazumeva mogućnost poboljšanja temperaturnog i kiseoničnog režima, kao i dinamizma tog ispuštanja, u skladu sa stvarnim zahtevima nizvodnih biocenoza (povećano ispuštanje vode poželjne temperature u periodu mresta riba, popravljjanje toplotnog i kiseoničnog režima u toplom delu godine, itd). U tom terminu izraz 'ekološki protok' jasan je sam po sebi, dok se sa dodatnim atributom 'garantovani' želelo da svim krugovima van hidrotehlike uputi jasna poruka da je korisnik objekta brane ili vodozahvata obavezan da ispušta taj protok po propisanoj dinamici i sa zadatim količinama¹. Uočeno je da je uvođenjem tog izraza nastala znatno kooperativnija komunikacija na relaciji: javnost – planeri hidrotehničkih sistema.

U svetu naziv tog protoka konvergira ka izrazu koji obavezno sadrži reči 'ekološki protok'. U svetu je sve zastupljeniji izraz 'Environmental Flow', koji je mnogo bliži suštini tog upravljačko-ekološkog fenomena. U novom Zakonu o vodama Srbije usvojen je izraz 'minimalni održivi protok'. To nije pogodan izraz sa gledišta komuniciranja sa javnošću i drugim strukama jer se reč 'minimalan' može tumačiti na način koji izaziva odbojni stav, a reč 'održiv' se već deformisala kao jezička poštapalica. U zakonima o vodama u

Republici Srpskoj i FBiH usvojen je znatno bolji termin 'ekološki prihvatljiv protok'.

Ekološki protok zavisi od niza ekoloških faktora. Shirvell (1989) je najpre izdvojio 40 biotičkih i abiotičkih varijabli za razmatranje, ali je utvrdio da samo 15 od njih imaju statistički značajnu korelaciju sa promenama ribljih populacija u rekama nizvodno od brana. Analizirajući faktore kritične za održanje i reprodukciju ribljih vrsta može se posebno izdvojiti sledećih sedam (Đorđević, 1993): (1) fizička struktura ribljeg staništa; (2) izvori energije (hrana, biljke); (3) kvalitet vode (sadržaj kiseonika, amonijaka, hlora, itd); (4) temperatura vode; (5) količinska komponenta vodnog režima (protok, brzina); (6) biotičke koakcija (kooperacija, kompeticija, predatorstvo, itd); (7) svetlost. Ovi faktori su međusobno zavisni i utiču na dinamizam ekosistema, na akcije, reakcije i koakcije u vodenim ekosistemima, kao i na procese sukcesija.

2.2. Protok za vodoprivredne (vodne) potrebe. Dok je garantovani ekološki protok ekološka kategorija – protok za vodoprivredne potrebe ($Q_{\text{vodop.}(t)}$) je **vodoprivredna kategorija**. To je protok koji se mora obezbediti nizvodno od brane, kao i nizvodno od svakog vodozahvata na reci, radi podmirivanja potrebe svih korisnika voda koji se nalaze nizvodno. Područje koje se analizira je nizvodni deo toka do uliva neke pritoke sa protokom koji je relevantan za vodne bilanse nizvodno. To podrazumeva da ta pritoka ima protoke, u određenim intervalima vremena, dovoljne da ih treba uključiti u bilansiranje potrošnje za narednu nizvodnu deonicu reke (slika 1).

Dok se ekološki garantovan protok tokom planiranja vodoprivrednih sistema određuje na bazi ekoloških studija, te kasnije u upravljačke zadatke ulazi kao neprikosnoveno ograničenje definisano protokom koji se mora ispuštati iz akumulacije, ili ostaviti u toku reke nizvodno od rečnih vodozahvata – protok za vodoprivredne potrebe je upravljačka i ekonomska kategorija i kao takva se optimizira vodeći računa o svim ciljevima u složenoj ciljnoj strukturi. Taj protok je i probabilistička kategorija, jer zavisi i od odabrane bezbednosti isporuke vode pojedinim korisnicima i

¹ Iz Teorije verovatnoće je jasno da pouzdanost od 100% teorijski ne može da postoji, jer su krive raspodele verovatnoće otvorene i prema malim i prema velikim vrednostima. Međutim, u praksi upravljanja vodama ispuštanje protoka za ekološke protoke ima **prvi prioritet**, tako da se mogu ostvariti vrlo visoke pouzdanosti ekološkog protoka, sa verovatnoćama koje su vrlo velike, veće od 99%. Zbog toga izraz 'garantovani ekološki protoci' (GEP, a oznaka je i $Q_{\text{GEP}} - m^3/s$) ima smisla i u semantičkom pogledu, a veoma je pogodan kada se u javnosti obrazlažu planerske namere da se očuvaju ekološke vrednosti vodotoka u sistemima sa akumulacijama. Tu činjenicu prenebregavaju neki kritičari atribubuta 'garantovani' u terminu, koji ne uviđaju sociološku važnost takve obavezujuće formulacije i ne shvataju da se pouzdanost veća od 99% u Teoriji pouzdanosti tretira kao vrlo visoka pouzdanost (garancija).

potrošačima vode. Potrošači imaju različite obezbeđenosti: navodnjavanje oko 80%, dok se za snabdevanje vodom baznih industrija ili velikih termoelektrana penje čak na 99%, zbog veoma teških posledica koje bi nastale ukoliko se mora da zaustavi rad zbog nedostatka neophodne vode za proces proizvodnje.

Protok za vodoprivredne potrebe se može razložiti na dve komponente:

(1) *protok koji se mora održavati u koritu reke* ($Q_{\text{vod.korita}}(t)$), koji se ne zahvata i koji je uslovljen nekim urbanim razlozima, najčešće zbog održavanja nekih zahtevanih stanja u zoni grada, ili zbog zahteva održavanja kvaliteta vode na nekoj deonici reke;

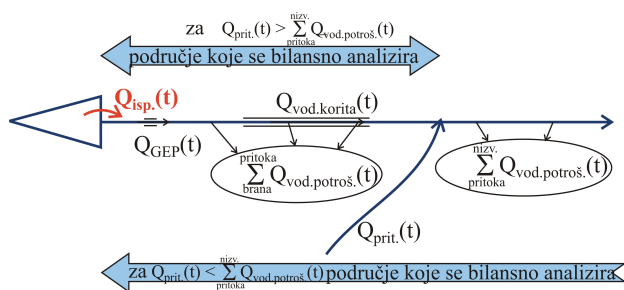
(2) *protok koji se nepovratno zahvata za neke potrošače* ($Q_{\text{vod.potros.}}(t)$) – navodnjavanje, isporuka vode industrijama koja nepovratno zahvataju vodu (npr. termoelektrane sa recirkularnim sistemom za hlađenje, koje vodu troše nepovratno u rashladnim kulama i pri korišćenju vode za hidraulički transport). Ukoliko ima (n) potrošača koji nepovratno zahvataju vodu za svoje potrebe na više mesta nizvodno od brane, tada je količina sa kojom treba računati pri određivanju protoka za vodoprivredne potrebe neposredno nizvodno od brane:

$$Q_{\text{vod.potros.}}(t) = \sum_{i=1}^n Q_{i,\text{vod.potros.}}(t) \quad (1)$$

Obe navedene komponente protoka za vodoprivredne potrebe su dinamičke veličine, veličine koja se menjaju kroz vreme.

U tom slučaju ukupni protok za vodoprivredne potrebe koji treba ispuštati nizvodno od brane iznosi:

$$Q_{\text{vodop.}}(t) = Q_{\text{vod.korita}}(t) + Q_{\text{vod.potros.}}(t) \quad (2)$$



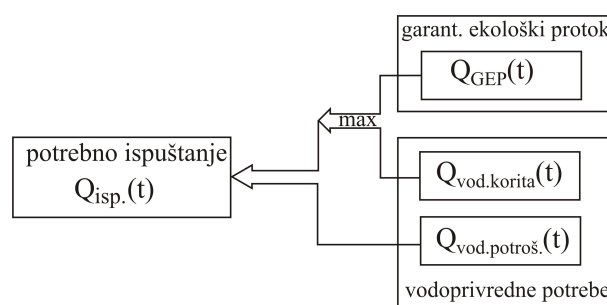
Slika 1. Šematski prikaz područja koje se analizira

2.3. Potrebno ispuštanje nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata ($Q_{\text{isp.}}(t)$) definiše količinu vode koja se mora ispuštati nizvodno od brane za potrebe ekosistema i nizvodnih vodoprivrednih korisnika.

Potreban protok predstavlja dinamičku veličinu koja se menja tokom godine, a zavisi od dve upravljačke veličine: garantovanog ekološkog protoka ($Q_{\text{GEP}}(t)$) i protoka za vodoprivredne potrebe ($Q_{\text{vodop.}}(t)$) (slika 2).

Polazi se od sledećih uslova i postulata:

- Protok za vodoprivredne potrebe ($Q_{\text{vodop.}}(t)$) se tretira na način kako je to pokazano u jedn. 1. i 2. Znači, moraju se sabirati sva nepovratna zahvatanja vode nizvodno od brane, a zatim sabirati sa količinom vode koja se mora održavati u reci iz nekih urbanih ili vodoprivrednih razloga.



Slika 2: Struktura potrebnog protoka na deonice reke nizvodno od brane ili zahvata

- Na svakoj deonici reke nizvodno od brane, odnosno vodozahvata, mora da bude ostvaren garantovan ekološki protok ($Q_{\text{GEP}}(t)$), predviđen za taj period godine.

- Potrebno ispuštanje vode nizvodno od brane ili neke druge rečne pregrade određuje se preko pomenute dve kategorije protoka. Polazi se od sledećih uslova: (a) na svakoj deonici se mora obezbediti garantovan ekološki protok planiran za taj deo godine; (b) potrošači koji zahvataju vodu iz reke nizvodno od brane smeju da zahvataju samo njima dodeljene količine vode, ne ugrožavajući propisane protoke namenjene za korisnike na nizvodnim deonicama reke; (c) protok u rečnom koritu na svakoj razmatranoj deonici vodotoka u svakom vremenskom intervalu mora da bude veća vrednost od dve veličine - garantovanog ekološkog protoka ($Q_{\text{GEP}}(t)$) i protoka koji se mora održavati u koritu reke iz vodoprivrednih razloga ($Q_{\text{vod.korita}}(t)$); (d) ukoliko postoje nepovratna zahvatanja vode različitih potrošača ($Q_{\text{vod.potros.}}(t)$), protok u rečnom koritu mora se uvećati za tu vrednost. Znači, prilikom ispuštanju vode iz akumulacije ili nizvodno od neke rečne pregrade (vodozahvata) mora se poštovati relacija

$$Q_{\text{isp.}}(t) = Q_{\text{vod.potros.}}(t) + \max \{Q_{\text{GEP}}(t); Q_{\text{vod.korita}}(t)\} \quad (3)$$

- Potreban protok u koritu reke mora se obezbediti na svim deonicama hidrografske mreže u okviru vodnog sistema. Obezbeđenost ekološki garantovanog protoka mora da bude veoma visoka, što je moguće bliža vrednosti 100% (videti fusnotu 1), dok se obezbeđenost protoka za vodoprivredne potrebe usaglašava sa obezbeđenostima nizvodnih korisnika, kojima se taj protok i upućuje. Imajući to u vidu ispuštanju vode nizvodno od brane ili rečnog vodozahvata ($Q_{isp.}(t)$) mora da bude funkcija vremena T (dela godine u kome se razmatra), položaja te deonice u hidrografskoj mreži definisane rastojanjem (L) od brane i zahtevane obezbeđenosti podmirivanja potrošnje (P):

$$Q_{isp.} = f(T, L, P) \quad (4)$$

Dinamizam potrebnog protoka deonice reke je dvojak: (a) zbog promene svih veličina koje ulaze u relaciju (3) tokom godine, (b) zbog promenljivosti protoka za vodoprivredne potrebe tokom dinamičkog razvoja vodoprivrednog sistema. Ekološki protok može se menjati tokom vremena ukoliko se promene ciljne strukture, kriterijumi vrednovanja upravljanja, a posebno, ukoliko se iz nekih razloga definišu drukčiji ekološki i drugi ciljevi u okviru ciljne strukture. U više metoda koje se u svetu koriste, vrlo često se ekološki protok definiše posebno za hladan i topli deo godine. U hladnom delu godine taj protok je manji, jer su tada i sve funkcije biocenoza smanjene, dok se u toplom delu godine taj protok povećava, jer su tada i sve ekološke funkcije vodotoka uvećane zbog visokih temperatura i obavljanja svih reproduktivnih funkcija vodenih ekosistema. Taj pristup je korišćen u metodi GEP.

- Ekološki protok tretira se kao dinamička veličina, koja se menja tokom godine, pre svega zavisno od potreba dominantnih / graditeljskih biocenoza - edifikatora. Drugim rečima, ekološkim protokom se upravlja, polazeći od kriterijuma da je jedan od ciljeva vodoprivrednog sistema da maksimalno poboljša ekološke uslove u reci kao ekosistemu za razvoj biocenoza i održavanje biološke raznovrsnosti. U malovodnom i toplom delu godine, kada dolazi do sinergetskog efekta malih protoka i opadanja sadržaja kiseonika u vodi, prelazi se na upravljanje na taj način što se istovremeno povećavaju protoci u odnosu na one koji bi bili u prirodnim režimima, uz istovremeno obogaćivanje vode kiseonikom, korišćenjem ispusta sa koničnim zatvaračima koji rasprskavaju mlaz i intenzivno aerišu tok. U periodu mresta riba ili u nekim drugim intervalima posebnog senzibiliteta biocenoza mogu se koristiti selektivni vodozahvati za ispuštanje nešto toplije vode iz gornjih slojeva akumulacije.

- Dinamizam ekološkog protoka treba shvatati šire: ne samo kao promenljivost te veličine tokom godine, već i kao promenljivost tokom razvoja hidrotehničkog sistema, zavisno od promena ciljnih struktura i kriterijuma za vrednovanje upravljanja sistemom. Izgradnja brane omogućava upravljanje vodnim režimima, odnosno, omogućava da se izvrši preraspodela protoka po vremenu na način kojim se popravljaju sve komponente vodnih režima. Ovo je posebno važno u periodima malih voda. Na taj način se namenskim ispuštanjem vode najboljeg kvaliteta mogu značajno popraviti i kvantitativne i kvalitativne komponente vodnih režima nizvodno od brana, što se u hidrotehnici naziva '*oplemenjavanjem malih voda*'. To je ključna vodoprivredna mera zaštite kvaliteta voda, ali i zaštite voda kao ekosistema. Takvo upravljanje, zajedno sa tehnološkim i organizaciono-ekonomskim merama predstavlja snažno oružje u naporima da se popravi stanje kvaliteta voda na rekama, posebno u malovodnim periodima. Akumulacijama se, ujedno, može veoma efikasno delovati pri saniranju stanja nakon havarijskih zagađenja vodotoka. Akumulacije – dobro planirane, kojima se optimalno upravlja - mogu da donesu ekološki boljitak deonicama reka na kojima se upravlja vodnim režimima.

Neki od zahteva upravljačkog održavanja vrednosti ekološkog protoka su da se mora osigurati količina i kvalitet vode u vodotoku:

- da ne dođe do prevelikog razvoja algi na dnu, ali i da im biomasa ne padne ispod nivoa uobičajenog za tu vrstu vodotoka, u skladu sa poželjnim vodnim staništima i lancima ishrane;
- da ne dođe do prevlasti jedne ili samo nekoliko vrsta perifitonskih algi,
- da ne dođe do promene sastava populacija uobičajenih za deonicu reke na kojoj se realizuje GEP,
- da ne dođe do smanjenja kvaliteta vode ispod parametara koji su zahtevani,
- da se sačuva raznolikost staništa u odnosu na visinu i brzinu vode, zasenjenost vodnog lica te strukturu i granulometrijski sastav nanosa,
- da po mogućnosti ne dođe do smanjenja brzine vode ispod 30 cm/s, osim u zonama koje su namerno usporene nekim pregradnim pragovima,
- da se ostvari što ujednačeniji režim ispuštanja vode iz uzvodno postavljenih pregrada i akumulacija,
- ne dođe do radikalnih promjena fizičkih i hemijskih osobina vode.

Problem sukoba interesa najčešće se javlja kada se nizvodno od brane hidroelektrane treba ispuštati u prirodno korito određena količina vode, koja se stoga ne može koristiti za proizvodnju električne energije. Taj sukob se razrešava realizacijom posebnog agregata za MHE koji koristi Q_{GEP} . U tom slučaju obavezan je i poseban bajpas, za ispušanje Q_{GEP} i u slučaju kada je agregat MHE neraspoloživ.

3. METODE ZA ODREĐIVANJE EKOLOŠKIH PROTOKA

Više od 200 metoda razvijenih u svetu za određivanje ekoloških protoka može se razvrstati, prema pristupu analizi i korišćenim podlogama, u četiri kategorije:

- (1) Hidrološke metode
- (2) Hidrauličke metode
- (3) Metode očuvanja kvaliteta staništa
- (4) Holističke metode.

(1) Hidrološke metode su najzastupljenije i ima ih oko 29% od svih razvijenih metoda. Zasnivaju se na usvajanju raznih karakterističnih hidroloških parametara koji su uobičajeni pri projektovanju hidrotehničkih sistema. Te metode su vrlo pogodna na nivou početnih etapa planiranja sistema. Dešava se da ih kritikuju zbog navodne preterane jednostavnosti, a kasnije ti isti kritičari primenom dugotrajnih i vrlo skupih istraživanja dobiju – sasvim bliske i ne mnogo pouzdanije ekološke protoke. Mnoštvo metoda iz te grupe karakteristišu sledeće podgrupe.

Prvu podgrupu čine metode koje ekološki protok povezuju sa srednjim godišnjim protokom (\bar{Q}). Po tim metodama, od kojih brojne potiču iz alpskih zemalja (Austrija, Francuska, Nemačka, Švajcarska) koje su gradile dosta brana na planinskim rekama, ekološki protoci variraju u dosta širokom opsegu. Ekstremno 'škrte' su metode: •NNQ (Austrija), koja ekološki protok vezuje za najmanje zabilježeni protok iz prošlost; •CEMAGREF (Francuska) – koja dozvoljava da se ekološki protok bira u opsegu $2,5 \div 10\% \bar{Q}$. Tu je i •Metoda '10% od \bar{Q} ' (Austrija) koja je preuzeta i često korišćena na prostoru bivše SFRJ, delom zbog jednostavnosti, ali delom i zbog interesa investitora, kojima su male vrednosti ekološkog protoka (10% od srednjeg godišnjeg protoka) odgovarale.

Nešto izdašnija je •Metoda Jäger (Austrija) koja ekološki protok određuje kao 15% od \bar{Q} . U tu grupu spada i •Metoda Tennant (1976), koja preporučene

ekološke protoke vezuje za ekološko željeno stanje u reci i razgraničava taj protok na hladni i topli deo godine. Ta metoda (Tennant, 1976), koja se često koristila i koristi u SAD i Kanadi detaljnije se prikazuje. Na osnovu 1600 merenja na rekama u SAD Tennant je zaključio da se oko 60% rečnog korita nalazi pod vodom pri protoku od 10% od srednjeg godišnjeg protoka, uz još uvijek prihvatljive uslove u ribljim staništima. Tennant je ovu metodu prvobitno bio nazvao 'Montana metoda', jer je urađena korištenjem podataka iz države Montana (Stenovite planine), a zasniva se na terenskim ispitivanjima. Tennant je prikupio podatke o poprečnim preseccima koji su karakterisali različite aspekte staništa riba. Oni su uključivali širinu, dubinu, brzinu, temperaturu, supstrat, pokrivač, migraciju, beskičmenjake, ribarstvo, plivanje, ambijentalne aspekte. Ova metrika povezana je sa kvalitetom ribljih staništa. To je omogućilo određivanje protoka u ribljim staništima putem korelacije fizičkih, geometrijskih i bioloških parametara sa protokom. Tennant je zatim uporedio procenite prosečnih protoka sa kvalitetom ribljih staništa i napravio standard koji je jednostavan za primenu i koji se može definisati samo sa prosečnim godišnjim protokom (detaljnije u Đorđević, Dašić, 2007).

Od preporučenih ekoloških protoka najčešće su bile korišćene dve veličine:

- $10\% \bar{Q}$, definisan kao 'slab ili minimalan protok', koji je na donjoj granici prihvatljivosti kvaliteta staništa;
- $[20 \div 40]\% \bar{Q}$, koja predstavlja 'dobar status' vodnog režima.

U cilju otklanjanja slabosti ove metode u slučaju reka sa jako neravnomernim (bujičnim) vodnim režimima (u tom slučaju su se dobijala nedopustivo mala ispuštanja u malovodnom delu godine), urađena je njena popravka (Tessman, 1980), uvođenjem u razmatranje i srednje mesečnih protoka (\bar{Q}_{mes}), tako da se kriterijum izbora garantovanog protoka (Q_{gp}) jednostavno određuje na osnovu tri pravila:

$$Q_{gp} = \begin{cases} \bar{Q}_{mes} & \text{za } \bar{Q}_{mes} < 0,4 \bar{Q} \\ 0,4 \bar{Q} & \text{za } 0,4 \bar{Q} < \bar{Q}_{mes} < \bar{Q} \\ 0,4 \bar{Q}_{mes} & \text{za } \bar{Q}_{mes} > \bar{Q} \end{cases}$$

Ta metoda ima više slabosti: ne uzima u obzir karakteristike pojedinih ribljih vrsta, posebne zahteve riblje mladi, itd. Međutim, zbog preglednosti i

dostupnosti svih potrebnih informacija, često se koristi, naročito u preliminarnim fazama planiranja sistema. Analiza korišćenih metoda (Reiser, Wesche, Estes, 1989) pokazuje da je najčešće korišćena metoda u SAD i Kanadi u ranijem periodu bila upravo modifikovana Tennent-ova metoda. Ona se i sada koristi znatno češće od drugih metoda, jer se postepeno hladi početni entuzijazam u primeni mnogo složenijih i skupljih metoda. Naime, sada se jasno uočava da se čak i pri primeni najskupljih metoda koje zahtevaju jako obimne i skupe istražne radove (u trajanju ne manjem od dve do tri godine) ne dobijaju ekološki protoci za koje bi se moglo reći da su znatno pouzdaniji.

Najveći nedostatak podgrupe metoda koje se zasnivaju na srednjem godišnjem protoku je što ne uzimaju u obzir sezonske varijacije protoka, što je vrlo bitno u slučaju reka sa izrazito bujičnim režimima. Dobijaju se nedovoljni EP u malovodnim periodima.

Drugu brojnu podgrupu čine metode koje ekološki protok određuju preko krivih trajanja protoka ili dijagrama verovatnoće malih voda. Tako metoda "7Q20" taj protok zasniva na sedmodnevnom prosečnom protoku malih voda, sa povratnim periodom 20 godina. Taj kriterijum je ranije korišćen za male projekte u SAD i Kanadi. U Evropi se kao garantovani protok često usvaja mala voda trajanja 30 dana, verovatnoće 95%. Taj kriterijum je i sada često u upotrebi kod nas, ali i u nizu drugih zemalja, što je potvrdila jedna analiza Komiteta za vode OUN. Kod nas se najčešće koristi u varijanti da se taj protok vezuje za malu mesečnu vodu verovatnoće 95%, pošto se ta veličina dobija znatno lakše od tridesetodnevne vode, za koju su potrebni podaci o dnevnim protocima. U novije vreme taj se protok uvećava za 20 do 50%, kako bi se stvorili još povoljniji uslovi za razvoj vodenih ekosistema nizvodno od brane. U novije vreme se kod nas postavlja sve češći zahtev da se mala mesečna voda verovatnoće 95% uveća za 50%, te da se tako definiše garantovan ekološki protok neposredno nizvodno od brane.

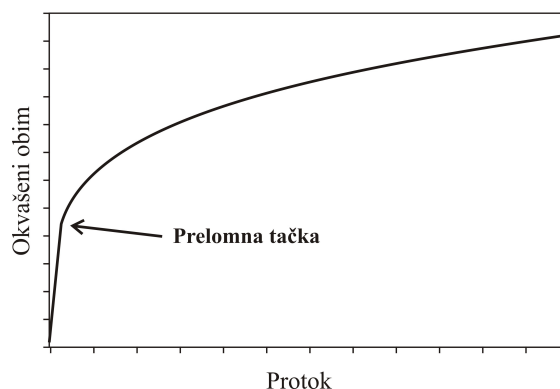
Više metoda vezuju ekološki protok za neku vrednost na dijagramu trajanja protoka. Npr.: • Metod granične vrednosti za alarm (Švajcarska): 20% od Q_{300} (Q_{300} – protok trajanja 300 dana). • Za trajanje od 300 dana vezuju se i metode •Mattey (Švajcarska) i •Linearised (Švajcarska) uz izvesne empirijske relacije. Zanimljivo je pomenuti •Metodu Büttinger (Švajcarska), koja definiše da je za život riba iz familije *Salmonidae* potreban minimalni proticaj ne manji od Q_{347} sa krive

trajanja (!?). Pada u oči 'preciznost' da je to baš 347 dana sa krive trajanja čija je apcisa vremena od 365 dana! Čak ga i precizni Švajcarci preteraše!

Nedostatak grupe metoda koje se vezuju za karakteristične protoke je taj da ne uzimaju u obzir sezonske varijacije protoka, ne vode računa o realnim potrebama nizvodnih biocenoza, a konstantan protok ispuštanja iz akumulacije tokom godine ne odgovara dinamizmu potreba ribljih vrsta, koje imaju znatno veće potrebe u periodu reprodukcije.

(2) Hidrauličke metode kao zamenu za faktore staništa koriste lako merljive hidrauličke parametre, kao što je okvašeni obim, maksimalna dubina u karakterističnim poprečnim presecima korita.

Vrlo često korišćena je metoda 'Metoda okvašenog obima korita', koja spada u jednostavne, ali i dosta logične metode sa gledišta ekoloških faktora. Ta metoda polazi od činjenice da postoji direktna zavisnost između okvašenog obima korita i kvaliteta ribljeg staništa. Suština metode prikazana je na slici 3. Osnovna pretpostavka je da integritet reke može biti indirektno povezan sa veličinom okvašenog obima. Okvašeni obim definiše dužinu supstrata na dnu vodotoka koji je pod vodom u karakterističnom poprečnim preseku. Rade se zavisnosti promene okvašenog obima u zavisnosti od protoka. Ekološki protoci računaju se tako što se varijabla okvašenog obima nacрта u funkciji protoka. Dobije se kriva kao na slici 3 koja uvek ima neku prelomnu tačku.



Slika 3. Suština na analize u metodi okvašenog obima

Preporučeni garantovani protok se bira na nekoj tački preloma / infleksije na toj zavisnosti, pošto ispod tog protoka dolazi do naglog pada veličine okvašenog obima, a time i do pada kvaliteta staništa. Prema (Anner

i Conder, 1984, Reinfelds et al. 2004) to je protok koji obezbeđuje zadovoljavajuće ekološke uslove u reci. Prelomna tačka se smatra granicom protoka ispod kojeg kvalitet staništa postaje značajno degradiran. Za analizu se izdvajaju karakteristične plitke dionice, jer su važne sa gledišta mresta i razvoja riblje mladi. Mana metode je što unosi dosta subjektivizma u analizu, naročito u slučaju kada ima više tačaka preloma. No, zbog svoje jednostavnosti može se koristiti kao provera neke od metoda prethodne grupe (npr. zajedno sa metodom Tennanta). Treba istaći da pri analizi okvašenog obima treba posebno izdvojiti ekološki karakteristične deonice reke nizvodno od brane, posebno one zone u kojima se ribe mreste ili koje su važne za njihova migraciona kretanja. Naša istraživanja na nizu reka ovog područja pokazuju da ta metoda ima opravdanje, ali samo u kombinaciji sa nekom drugom metodom, što je i učinjeno u metodi GEP (Đorđević, Dašić, 2007).

Veći broj metoda ekološki protok vezuje za poželjne brzine i dubine u koritu. Da bi se sagledao spektar tih hidrauličkih metoda navode se samo neke karakteristične metode, koje se vezuju za dubine i specifične protoke po jedinici širine korita. Tako metoda 'Steiermark' (Austrija) traži da ekološki protok obezbedi minimalnu dubinu od 10 cm, i brzinu ne manju od 0,3 m/s. Očito je namenjena planinskim rekama. 'Metoda Oregon' (USA) je zahtevnija i ta dva parametra povećava na dubinu od min 12÷24 cm i brzinu od min 1,2 m/s. Očito je: Oregon je planinska država i metoda je prilagođena tom ambijantu. Slična je i metoda 'Tirol', kod koje je dubina u karakterističnim presecima min 15÷20 cm. Neke metode ekološki protok povezuju sa specifičnim protokom po jedinici širine korita (po metodi 'Miksch': min 30÷40 L/s·m).

Metode iz grupe hidrauličkih metoda imaju određene prednosti i mane. U prednosti tih metoda i tako utvrđenog ekološkog protoka mogu se ubrojati: (a) glavne hidrauličke karakteristike proticaja na nizvodnoj deonici su zadržane; (b) oblik profila, koji je važan kao rečno stanište - uključen je u analizu; (c) nisu potrebni hidrološki podaci; (d) preko brzina, dubina i proticajno angažovanog dela osnovnog korita reke ostvaruje se indirektna opšta povezanost sa ekološkim parametrima. Mane tih metoda su: (a) bez mera rekonstrukcije korita kod reka sa širokim razvučenim koritima ove metode daju visoke vrednosti garantovanog protoka; (b) nije moguće uopštavanje te metodike na šire tipologije rečnih korita; (c) u slučaju vodotoka sa veoma neravnomernim vodnim režimima (bujični vodotoci)

mogu da daju nerealno velike vrednosti - koje akumulacija teško može da realizuje. Sa gledišta primene raznih metoda za određivanje ekoloških protoka - bitno je zapaziti da se u većini hidrauličkih metoda smatra dobro odmerenim ekološkim protokom ukoliko se ostvare dubine u osnovnom koritu u opsegu 10÷15÷25 cm, ukoliko se pokrije minor korito i ako se ostvari prosečna brzina od najmanje 0,2÷0,5 m/s.

(3) Metoda očuvanja kvaliteta staništa (*Habitat quality methods*) određuju garantovan ekološki protok na bazi detaljne analize kvaliteta ribljeg staništa, za dominantne / ciljane populacije u uslovima različitih režima toka.

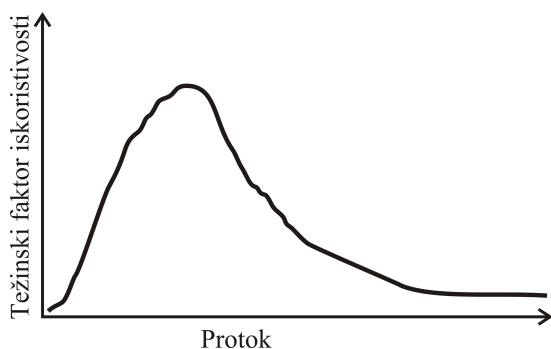
Jedna od najkompletnijih metoda iz ove grupe je Metoda priraštaja protoka (*Instream Flow Incremental Methodology - IFIM*), koja je razvijena u U.S. Fish and Wildlife Service. Na osnovu niza fizičkih i bioloških parametara (*Gore and Nestler, 1988*) ova metoda definiše indeks WUA (*Weighted Usable Area*) za različite protoke, za svaku riblju vrstu i svaku fazu njihovog razvoja. Metoda zahteva obimne terenske istražne radove. Njima se uspostavljaju zavisnosti protoka, brzina i dubina u toku na reprezentativnim deonicama. Na osnovu osmatranja ribljih populacija definišu se potrebe za staništem različitih ribljih vrsta (*Habitat Suitability Index Curves - HSIC*), koje se u odsustvu takvih merenja mogu dobiti i na bazi podataka koje objavljuje U.S. Fish and Wildlife Servis (1986). Na osnovu tih podataka određuje se WUA u zavisnosti od protoka. Indeks WUA može se odrediti primenom odgovarajućih analitičkih relacija (*Savić, 1992, Djordjević, 1993*).

IFIM je trenutno jedna od najkompletnijih metoda za određivanje preporučenog ekološki garantovanog protoka nizvodno od brane. Njene novije interpretacije (*Locke, 1989*) idu ka uvođenju dinamizma koji prati ekološke zahteve riba tokom vremena (*Fish Rule Curve*). Sa stanovišta planera sistema to znači zahtev da se urade što potpunije analize potrebnih zapremina akumulacija, vodeći računa i o dinamizmu ispuštanja garantovanih protoka. Takođe, treba se odlučiti za najoperativniju opremu zatvarača ispusta, kako bi se moglo da upravlja tim protocima. Jedna od mogućnosti obezbeđivanja što povoljnijih uslova u staništima je i ugrađivanje zahvata na više nivoa (tzv. selektivni vodozahvati), kako bi se voda zahvatata (na isti način kao kod zahvata za vodovode) sa nivoa na kome su najpovoljnije temperature i kvalitet vode sa gledišta zahteva nizvodnog ekosistema. To omogućava da se u

skladu sa temperaturnom konstantom² na nizvodnoj deonici reke ostvari najpoželjnija temperatura za najbrži razvoj riblje mladi.

Međutim, najveća slabost IFIM je izuzetna složenost istražnih radova, zbog čega se malo koristi čak i u bogatim zemljama u kojima je nastala. Samo kao primer: istražni radovi na nekim rekama za potrebe određivanja ekološkog protoka traju i po 2-3 godine! U našim uslovima je zbog toga praktično neupotrebljiva.

Druga metoda iz te grupe je PHABSIM (Physical Habitat Simulation System – Sistem fizičke simulacije staništa), koja je još uvek na nivou pilot projekata. PHABSIM koristi četiri hidraulička parametara - dubinu vode, brzinu, supstrat i pokrivač (*Gillilan and Brown 1997*) – na bazi kojih se prave krive težinskog faktora iskoristivosti koje prikazuju odnos protoka i indeksa kvaliteta ribljih staništa za različite faze života ribljih vrsta i grupe staništa (*Waddle, 2001*). Na slici 4 je uočava zona optimuma. I ta metoda je jako zahtevna u pogledu obima i trajanja istraživanja, kako i brojnosti raznih specijalista koji treba da rade na tome. A kao rezultat se dobija ekološki protok o čijoj ispravnosti i te kako može polemisati.



Slika 4. Primer PHABSIM krive težinskog faktora iskoristivosti

(4) **Holističke metode.** Holističke³, ili spregnute metode spajaju u jednu metodologiju više drugih metoda: hidroloških, hidrauličkih, simulacije staništa. Te metode su dosta složene, često vrlo zahtevne sa gledišta potrebnih ulaznih podataka, pa se ovde neće razmatrati. Postoje ideje autora ovog članka da se u jedinstvenu metodologiju spregnu metoda GEP i Metoda Abiotičkih i Biotičkih parametara i Indeksa Saprobnosti (MABIS). Metoda MABIS, koju je veoma uspešno razvio i koristio Božo Knežević iz Sarajeva za analizu ekološkog protoka u Sistemu Trebišnjice biće razmatrana (po molbi Uredništva) u narednom broju našeg časopisa.

3. METODA GEP

Metoda GEP (Garantovani Ekoški Protok) spada u grupu hidroloških metoda, ali ima elemente i spregnute (holističke) metode. Autori metode (*Đorđević i Dašić, 2000*) su želeli da nakon mnogih analiza na rekama ovog dela Balkanskog poluostrva dobiju dovoljno opštu metodu, što jednostavniju za primenu. Da bi se ta jednostavnost postigla urađene su detaljne hidrološke analize malih voda na nizu vodotoka i morfološke analize okvašenih obima i minimalnih dubina u minor koritima (spoj hidroloških i hidrauličkih metoda). Na taj način su uočene zakonitosti morfoloških odnosa i protočnosti, kao osnovnih abiotičkih pokazatelja kvaliteta ribljih staništa. Iako je metoda već ranije objavljivana, zbog kompletnosti razmatrane problematike, u nastavku se navode osnovna polazišta za definisanje metodologije kao i pravila za određivanje garantovanog ekološkog protoka.

Polazište za definisanje predložene metode bili su sledeći zahtevi:

- Objediniti sve dobre osobine četiri grupe metoda koje se najoperativnije koriste u svetu, eliminišući njihove slabosti. Metode čija su iskustva na određeni način

² Važan fenomen za opstanak i razvoj ihtiofaune je **termička konstanta**. Ustanovljeno je da se za svaku riblju vrstu može definisati 'termička konstanta' po kojoj je proizvod temperature (t) i vremena (v) razvoja ikre do izlaska iz jajne opne konstantan: $v \times t = \text{const}$. U slučaju pastrmke termička konstantna je: $v \times t = \text{const} = 410$. Termičke konstante su različite za određene riblje vrste i one izražavaju ukupnu sumu toplotne energije neophodne za ostvarivanje određenog razvojnog stupnja ili ukupnog razvoja jedne vrste. Termička konstanta ima veliki praktičan značaj za planiranje razvoja vodenih ekosistema, jer omogućava da se odrede vrednosti upravljanih termičkih režima, neophodnih za opstanak i razvoj pojedinih vrsta vodene faune. Taj fenomen upućuje da se na ihtiološki značajnim rekama garantovani ekološki protoci ispuštaju preko selektivnih vodozahvata, kako bi se stvorili optimalni i termični uslovi za razvoj riblje mladi.

³ U skladu sa izrazom 'Holism' – učenjem da je priroda jedinstvena celina, i kao takva predstavlja nov kvalitet – znatno viši nego što je skup elemenata koji je čine. Sprezanjem u jednu celinu metoda za određivanje ekološkog protoka iz dve ili više grupa dobija se nov kvalitet, veći nego u slučaju parcijalnog razmatranja pojedinih metoda.

neposredno ugrađena u novu metodu su sledeće: iz grupe tradicionalnih metoda: (a) Montana - Tennant metoda, nesumnjivo najčešće korišćena metoda u svetu, (b) modifikovana Tennant metoda, (c) hidrološke metode sa krivama raspodela, kao pokazateljem vodnih režima, a iz grupe hidrauličkih metoda sa analizom kvaliteta staništa: (d) metoda okvašenog obima. Pored tih metoda, čija su iskustva neposredno ugrađena u novu metodu GEP, uzeta su u obzir i iskustva ostalih metoda (IFIM, regresione metode), za koje je zaključeno da se nikako ne mogu primeniti kod nas, zbog veoma složenih, dugotrajnih i skupih istražnih radova, koji zahtevaju posebne specijaliste koji se samo time bave. Sažeto rečeno: nova metoda treba da zadrži sve dobre osobine postojećih metoda, a da otkloni njihove slabosti, koje su uočene tokom primene u raznim zemljama.

- Metoda treba da bude vrlo jednostavna za praktičnu primenu i da koristi pokazatelje koji su dostupni u svim projektima, jer samo tako može da uđe u masovnjiju upotrebu. To je postignuto na taj način što su urađene vrlo obimne regionalne hidrološke analize malih voda, kao i morfološke analize, kako bi se sagledao čitav opseg primenljivosti nove metode, što je omogućilo da se sama metoda svode na veoma jednostavna pravila.

- Metoda mora da bude veoma operativna i da se može upotrebiti imajući u vidu baze hidroloških podataka koji su standardne i uobičajene pri projektovanju brana, hidroelektrana, akumulacija i vodozahvata na rekama.

- Dobijeni garantovani ekološki protoci određeni po novoj metodici - moraju uvek da budu ekološki povoljniji od rezultata iz kategorije "prilično dobar" u okviru metode Montana -Tennant, ali bez narušavajućih elemenata, i da se najvećim delom približavaju rezultatima iz kategorije "dobar" iz te iste metode.

- Metoda mora da bude univerzalna, tako da se može primeniti na vodotocima svih hidroloških režima i karakteristika na području ovog dela Balkana.

Razdvojena su dva perioda u toku godine: (1) hladni period godine, kada su aktivnosti biocenoza vrlo usporene i kada nema kritičnih aktivnosti u razvoju ihtiofaune, (2) topli period godine, kada se vrlo dinamično i živo odvijaju sve vitalne aktivnosti biocenoza, uključiv i njihovu reprodukciju. Očito je da se tada i garantovani ekološki protoci moraju prilagoditi tom razvoju, te su tada povećani.

Pri definisanju metode GEP iskorišćena su bogata i dragocena iskustva koja su stečena u svetu pri primeni

svih drugih metoda. Ovde se sistematizuju najvažnija iskustva koja su iskorišćena pri definisanju nove metode.

Iz metode Montana - Tennant pored velikog iskustva koje je stečeno njenom primenom u svetu usvojeni su sledeći principi: dinamizam garantovanih protoka, koji se ogleda u usvajanju dva perioda u toku godine (hladni i topli deo godine) za koje se daju različite veličine protoka; iskustvo o opsezima protoka u odnosu na prosečne godišnje protoke za koje se ostvaruju dobri ekološki statusi reke, iskustvo o kategorijama ekološke valjanosti garantovanih protoka.

Iz modifikovane Tennant metode usvojen je princip da je nužno izvršiti korekciju garantovanih protoka, kako bi se uzela u obzir neravnomernost raspodele protoka tokom godine. Na taj način se izbegava mana nekih tradicionalnih metoda da se na rekama sa velikom neravnomernošću, kod kojih se najveći deo godišnjeg protoka realizuje tokom povodnja, odrede neprikladni, previše veliki garantovani protoci, niti da se malim odabranim garantovanim protocima degradiraju reke sa relativno ujednačenim režimima.

Iz statističkih metoda je usvojen vrlo bitan princip da se odluka o garantovanim protocima mora da zasniva na stohastičkoj analizi malovodnih perioda. Učinjeno je značajno poboljšanje u odnosu na pomenute statističke metode 7Q20 i Metodu transformacije krivih raspodele godišnjih protoka, time što su u novoj metodi GEP korišćeni rezultati stohastičke analize dugih perioda trajanja malovođa (analiza malih mesečnih voda, ili, ako se raspolaže sa podacima o dnevnim protocima, analiza verovatnoće 30-dnevnih malih voda). Time je metoda, probablističkom analizom malovođa, znatno bolje približena realnosti hidroloških režima koje treba poboljšavati ispuštanjem garantovanih ekoloških protoka.

Iz metode okvašenog obima usvojen je važan logičan princip da kvalitet ribljeg staništa, a i kvalitet vodotoka kao biotopa zavisi od veličine okvašenog obima, posebno u periodu malovođa, kada opstanak biocenoza zavisi od kontinuiteta toka i okvašenog perimetra korita koji se stalno nalazi pod vodom. Morfološke analize koje su urađene u okviru ove studije pokazuju da na našim vodotocima tačka infleksije postoji i da se često nalazi u opsegu protoka $(0,15 \div 0,25) \bar{Q}$. To je na prvi pogled neočekivano slaganje sa kategorijom ispuštanja koja se ocenjuje ocenom "dobar" pri primeni metode Tennant. Međutim, brižljivije analize pokazuju da to

slaganje nije neočekivano, zato što protoci koji se nalaze u tom opsegu obezbeđuju praktično puni kontinuitet vodnog ogledala reke. Kao takvi oni i u malovodnom periodu obezbeđuju dovoljno dobre uslove za opstanak i sve razvojne aktivnosti ribljih vrsta, uključiv i migracije u periodu mresta.

Operativnost i jednostavnost za primenu zasniva se na primeni manjeg broja parametara, koji se mogu dobiti analizom raspoloživih hidroloških serija.

Primena GEP metode zasniva se na primeni tri parametra: (1) prosečni višegodišnji protok na profilu brane, odnosno mestu zahvata vode (\bar{Q}), (2) mala mesečna voda obezbeđenosti 95% ($Q_{95\%}^{\min.mes}$), (3) mala mesečna voda obezbeđenosti 80% ($Q_{80\%}^{\min.mes}$). Ukoliko se raspolaže višegodišnjim serijama dnevnih protoka, umesto minimalnih mesečnih protoka ($Q_{95\%}^{\min.mes}$) i ($Q_{80\%}^{\min.mes}$) mogu se koristiti odgovarajuće vrednosti 30-dnevnih protoka malih voda istih verovatnoća ($Q_{95\%}^{\min.(30)}$) i ($Q_{80\%}^{\min.(30)}$)⁴. Kada se raspolaže tim podacima, onda se svi navedeni principi izbora sažimaju u veoma jasnom pravilu, koji definiše GEP metodu.

Polazeći od tih ulaznih parametara garantovani ekološki protok (Q_{GEP}) usvaja se u sledećim iznosima:

(1) U hladnom delu godine, koji obuhvata period [oktobar - mart] garantovani ekološki protok Q_{GEP} treba odabrati tako da odgovara veličini mesečne male vode verovatnoće 95% ($Q_{95\%}^{\min.mes}$), odnosno male 30-dnevne vode iste verovatnoće ($Q_{95\%}^{\min.(30)}$), ali ta vrednost ne može da bude manja od $0,1 \times \bar{Q}$, niti veća od $0,15 \times \bar{Q}$. Znači, u hladnom periodu godine Q_{GEP} bira se iz one od tri relacija koja je zadovoljena, zavisno od vodnog režima:

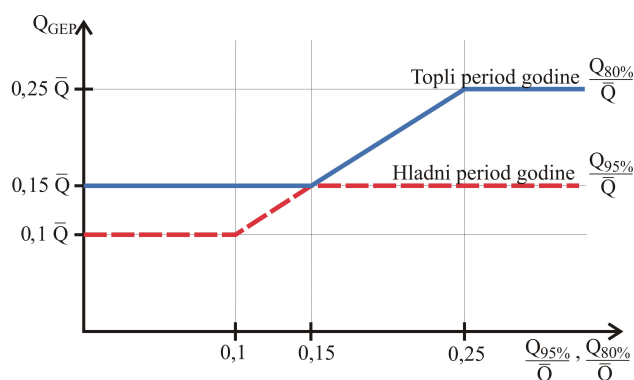
$$Q_{GEP} = \begin{cases} 0,1 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \leq 0,1 \times \bar{Q} \\ Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} & \text{za } 0,1 \times \bar{Q} < Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} < 0,15 \times \bar{Q} \\ 0,15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{95\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{95\%}^{\min.(30)} \geq 0,15 \times \bar{Q} \end{cases}$$

(2) U toplom delu godine, koji obuhvata period [april - septembar] Q_{GEP} treba odabrati tako da odgovara veličini mesečne male vode verovatnoće 80% ($Q_{80\%}^{\min.mes}$), odnosno male 30-dnevne vode iste verovatnoće ($Q_{80\%}^{\min.(30)}$), ali ta vrednost ne može da bude manja od $0,15 \times \bar{Q}$, odnosno ne treba da bude veća od $0,25 \times \bar{Q}$. Znači, u toplom delu godine Q_{GEP} bira se na osnovu relacija:

$$Q_{GEP} = \begin{cases} 0,15 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} \leq 0,15 \times \bar{Q} \\ Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} & \text{za } 0,15 \times \bar{Q} < Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} < 0,25 \times \bar{Q} \\ 0,25 \times \bar{Q} & \text{za } Q_{80\%}^{\min.mes} \text{ ili } Q_{80\%}^{\min.(30)} \geq 0,25 \times \bar{Q} \end{cases}$$

U slučaju da vrednosti garantovanih ekoloških protoka dobijene preko definisanih verovatnoća malih voda izlaze izvan opsega koji su utvrđeni gornjim pravilima i nejednačinama, usvajaju se granične vrednosti.

Na slici 5 dat je grafički prikaz određivanja garantovanog ekološkog protoka preko prethodno definisanih relacija. Na dijagramu se jasno uočavaju opsezi protoka u toplom i hladnom delu godine, u standardnim netipičnim uslovima.



Slika 5. Grafički prikaz određivanja garantovanog ekološkog protoka

⁴ Alternative su date iz operativnih razloga. Nesumnjivo je bolje ako se raspolaže sa podacima o tridesetodnevni malim vodama odgovarajućih verovatnoća javljanja, jer je to primerenije fizici fenomena malih voda, jer ekstremno malovode, definisano najmanjim godišnjim protocima u kontinuiranom trajanju od 30 dana može da zahvati delove dva meseca. Međutim, insistiranje isključivo na protocima ($Q_{95\%}^{\min.(30)}$) i ($Q_{80\%}^{\min.(30)}$) ne bi imalo smisla, jer se u mnogim projektima ne raspolaže sa višegodišnjim serijama dnevnih protoka. Zbog toga je upotreba vrednosti malih mesečnih voda odgovarajućih verovatnoća dopuštena. To omogućava da se metoda može primeniti u svim projektima, jer se uvek, u slučaju projektovanja brana i akumulacija, raspolaže sa dovoljno dugim serijama mesečnih protoka. Upotreba malih mesečnih voda umesto 30-dnevnih minimalnih protoka daje, po pravilu, garantovane ekološke protoke na strani sigurnosti (nešto malo veće vrednosti).

(3) U slučaju vodotoka kod kojih postoje posebni ekološki ili sportsko - turistički i rekreacioni zahtevi i ciljevi, vrednosti koje se dobijaju po gore navedenim pravilima mogu se uvećati: u hladnom delu godine do 15%, u toplom delu godine do 30%. To se može činiti samo uz posebnu analizu svrsishodnosti takvog povećanja, jer se time umanjuju proizvodne performanse akumulacije.

(4) Vrednosti garantovanog protoka dobijene za hladan deo godine mogu se tretirati kao konstantne, mada je moguće, po potrebi, i njihovo izvesno variranje (izvesno povećanje protoka u martu, kada se mreste neke riblje vrste koje to čine u tom hladnom periodu (štuka).

(5) Dobijene veličine garantovanog ispuštanja u toplom delu godine su prosečne. One se mogu finije prilagođavati potrebama razvoja biocenoza, posebno ihtiofaune, na taj način što se u kritičnim razdobljima (period mresta, itd.) povećava ispuštanje, u skladu sa eventualnim zahtevima službi nadležnih za ekološku zaštitu i ribarstvo. Smanjenja su moguća u povoljnim hidrološkim situacijama, kada su protoci na nizvodnim pritokama povoljni, ali se ne sme dozvoliti da na deonici

nizvodno od brane protoci budu manji od onih koji se ispuštaju u hladnom delu godine.

(6) Protok koji se ispušta za ove potrebe nije energetski izgubljen. Na tom ispustu se mogu realizovati mali agregati MHE, koji energetski koriste taj protok, uz veliku prednost pri izboru parametara agregata, jer je protok uvek u zadatom opsegu. Jedina obaveza je da takva MHE ima i odvajak koji će obezbediti ispuštanje GEP-a i u slučaju ako je agregat van pogona zbog kvara ili održavanja.

(7) U slučaju većeg broja derivacionih MHE koje su locirane u kontinuitetu na istom vodotoku, garantovani ekološki protok treba povećati za 15%, jer se u najvećem broju slučajeva radi o malim vodotocima, bez značajnijih pritoka, tako da garantovani ekološki protok predstavlja protok koji protiče velikom dužinom vodotoka tokom većeg dela godine.

Radi otklanjanja svih nesporazuma oko primene navode se karakteristični primeri za neke vodotoke Srbije na kojima se razmatraju neki objekti.

Tabela 1. Primeri određivanja GEP-a za neke vodotoke u Srbiji

| Profili | \bar{Q} (m ³ /s) | $Q_{95\%}^{\min(30)}$ (m ³ /s) | $Q_{80\%}^{\min(30)}$ (m ³ /s) | $0,1 \times \bar{Q}$ (m ³ /s) | $0,15 \times \bar{Q}$ (m ³ /s) | $0,25 \times \bar{Q}$ (m ³ /s) | Q_{GEP} (m ³ /s) | |
|----------------------------------|----------------------------------|--|--|---|--|--|-------------------------------|----------------|
| | | | | | | | [okt - mart] | [april - sept] |
| Z. Morava - Kratovska stena | 35,9 | 3,96 | 4,97 | 3,59 | 5,38 | 8,98 | 3,96 ≈ 4,0 | 5,38 ≈ 5,4 |
| Vlasina - Svođe | 3,76 | 0,76 | 0,95 | 0,38 | 0,56 | 0,84 | 0,76 | 0,84 |
| Drina - Zvornik (mes. vrednosti) | 380 | 52 | 70 | 38 | 57 | 95 | 52 | 70 |
| Crni Timok - Bogovina | 5,98 | 0,27 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,5 | 0,6 | 0,9 |
| Rzav - Arilje | 7,88 | 0,88 | 1,3 | 0,79 | 1,18 | 1,97 | 0,88 ≈ 0,9 | 1,3 |
| Ibar - Lakat | 57,3 | 10,38 | 12,77 | 5,73 | 8,6 | 14,32 | 8,6 | 12,77 |
| Skrpež - Požega | 4,84 | 0,34 | 0,5 | 0,48 | 0,73 | 1,21 | 0,48 | 0,73 |
| Moravica - Ivanjica | 6,96 | 0,68 | 0,96 | 0,7 | 1,04 | 1,74 | 0,68 ≈ 0,7 | 1,04 ≈ 1,0 |
| Velika Morava - Čuprija | 217 | 32,7 | 40,4 | 21,7 | 32,6 | 54,3 | 32,6 | 40,4 |
| Jošanica - Biljanovac | 3,39 | 0,93 | 1,07 | 0,34 | 0,51 | 0,85 | 0,51 | 0,85 |
| Kolubara - Slovac | 9,44 | 0,92 | 1,26 | 0,94 | 1,42 | 2,36 | 0,94 | 1,42 |

ZAKLJUČAK

Metoda Garantovanog Ekoškog Protoka (GEP) razvijena je za vodotoke ovog dela Balkanskog poluostrva, tako da je prilagođena vodnim režimima reka ovog područja. Zasnovana je na veoma brojnim hidrološkim analizama i analizama morfologije korita, ali je analitički svedena na ulazne podatke i relacije koje

omogućavaju jednostavnu primenu, što i jeste cilj analiza ekoloških protoka. Metoda GEP otklanja neke slabosti često korišćenih navedenih inostranih metoda, jer uzima u obzir konkretne vode režime malih voda preko raspodela verovatnoće pojave malih 30-to dnevnih ili mesečnih malih voda. Praktično primenjena na više vodotoka sa prostora Srbije, BiH i Crne Gore dala je rezultate koji su vrlo logični i primenljivi.

LITERATURA

- [1] Anner, T.C. and A.L. Conder (1984): Relative Bias of Several Fisheries Instream Flow Methods. North American Journal of Fisheries Management
- [2] Dajoz, R. (1972): *Precis d'ecologie*. Dunod, Paris
- [3] Dašić (Milanović), T. i B.Đorđević (1999): Dinamički procesi u akumulacijama i njihovo modeliranje za potrebe planiranja i eksploatacije vodoprivrednih sistema, *Vodoprivreda*, 177-182, Beograd
- [4] Đorđević, B. (1990): *Cybernetics in Water Resources Management*; WRP, Co., USA
- [5] Đorđević, B. (1991): Primena ekoloških modela u planiranju vodoprivrednih sistema, *Vodoprivreda*, Beograd
- [6] Đorđević, B. (1998): Ključne ekološke zakonitosti - bitne za planiranje vodoprivrednih sistema, *Vodoprivreda*, Beograd, 175-176, Beograd
- [7] Đorđević, B. i T. Dašić (2000a): Određivanje garantovanih ekoloških protoka, *Vodoprivreda*, 183-185, Beograd
- [8] Đorđević, B. (2000b): Realno vrednovanje akumulacionih jezera - bitan preduslov za opstanak i razvoj, *Vodoprivreda*, 183-185, Beograd
- [9] Đorđević, B. (2002.): O strateškim rešenjima definisanim Vodoprivrednom osnovom Republike Srbije, *Vodoprivreda*, 195-200, Beograd
- [10] Đorđević B. i T. Dašić (2007): Garantovani protoci nizvodno od hidroelektrana, časopis "Elektroprivreda", 1/2007, Beograd
- [11] EPRI (Electric Power Research Institute) (1986): *Instream Flow Methodologies*. Raport EPRI: EA-4819
- [12] FAO (1972): *Evaluation of the Methodology for Recommending Flows for Fishes*, FAO Publication. 1968. See Dajoz
- [13] Fenchel T. and F.B. Christiansen (1976): *Theories of Biological Communities*. Springer-Verlag, New York
- [14] Gore J.A. and J.M. Nestler (1988): *Instream Flow Studies in Perspective*. Regulated River Research and Management, 2:93-101
- [15] Irvin J.R., Jowett I.G. and D. Scott (1987): A Test of the Instream Flow Incremental Methodology for Underyearling Rainbow Trout, *Salmo Gairdneri*, in *Experimental New Zealand Streams*. New Zealand Jour. of Marine and Freshwater Research
- [16] Janković M.M. (1987): *Fitoekologija*, Naučna knjiga, Beograd
- [17] Keenleyside M.H. (1979): *Diversity and Adaptation in Fish Behaviour*, Springer-Verlag, Berlin, New York
- [18] Levins R. (1975): *Evolution of Communities near Equilibrium*. In: *Ecology and Evolution of Communities* by Cody M.L. and J.M. Diamond (eds). Belknap Press of Harvard University Press
- [19] Locke A.G. (1989): *Instream Flow Requirements for Fish in the Highwood River*. Land and Wildlife, Alberta
- [20] May R.M. (1975): *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press, Princeton
- [21] Mathur D., W.H. Bason, E.J. Purdy, C.A. Silver (1984): A Critique of the Instream Flow Incremental Methodology. *Canad. Journal of Fish. Aquat. Sci.*
- [22] Odum E.P. (1969): *The Strategy of Ecosystem Development*, Science, 164
- [23] Odum E.P. (1971): *Fundamentals of Ecology*, 3rd edn. Saunders, Philadelphia
- [24] Savić, D.A. (1992): Metode proračuna protoka potrebnih za održanje riblje populacije, *Vodoprivreda*, 1-6, Beograd
- [25] Shirvell, C.S. (1989): *Habitat Models and their Predictive Capability*, *Fish. Aquat. Sci.* 105
- [26] Tennant D.L. (1976): *Instream Flow Regiments for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources*. Fisheries, 1(4)
- [27] Tessman S.A. (1980): *Environmental Assessment, Technical Appendix E*. In *Reconnaissance Elements of the Western Dakota's Region of South Dakota*, South Dakota State University

METHOD FOR DETERMINING THE ENVIRONMENTAL FLOW DOWNSTREAM OF THE DAMS AND WATER INTAKES

by

Branislav ĐORĐEVIĆ, Tina DAŠIĆ
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Summary

One of the key design decisions when planning water resources systems with water storage reservoirs and water intakes is to define environmental flow that should be discharged downstream. Terms: environmental flow, water resources minimal flow, the necessary flow on the section of river, are described and distinction. On the base on hydrological studies of low flows and morphological-ecological analyses of waterways in our country, as well as the existing methods the authors define a new method appropriate for environmental flow in this region of Europe.

Advantages of the model are: (a) ease for application, because it is based on the analysis of monthly low flow, (b) adjusted to life activities of biocenosis in the river biotope (flows are different in the warm and cold part of the year), (c) in the low flow periods those flows are higher than natural flows in the river, so they act as protection of aquatic ecosystems.

Key words: water resources systems, water storage reservoirs, water intakes, downstream part of river, environmental flow, biocenosis, separate intakes

Redigovano 26.10.2011.