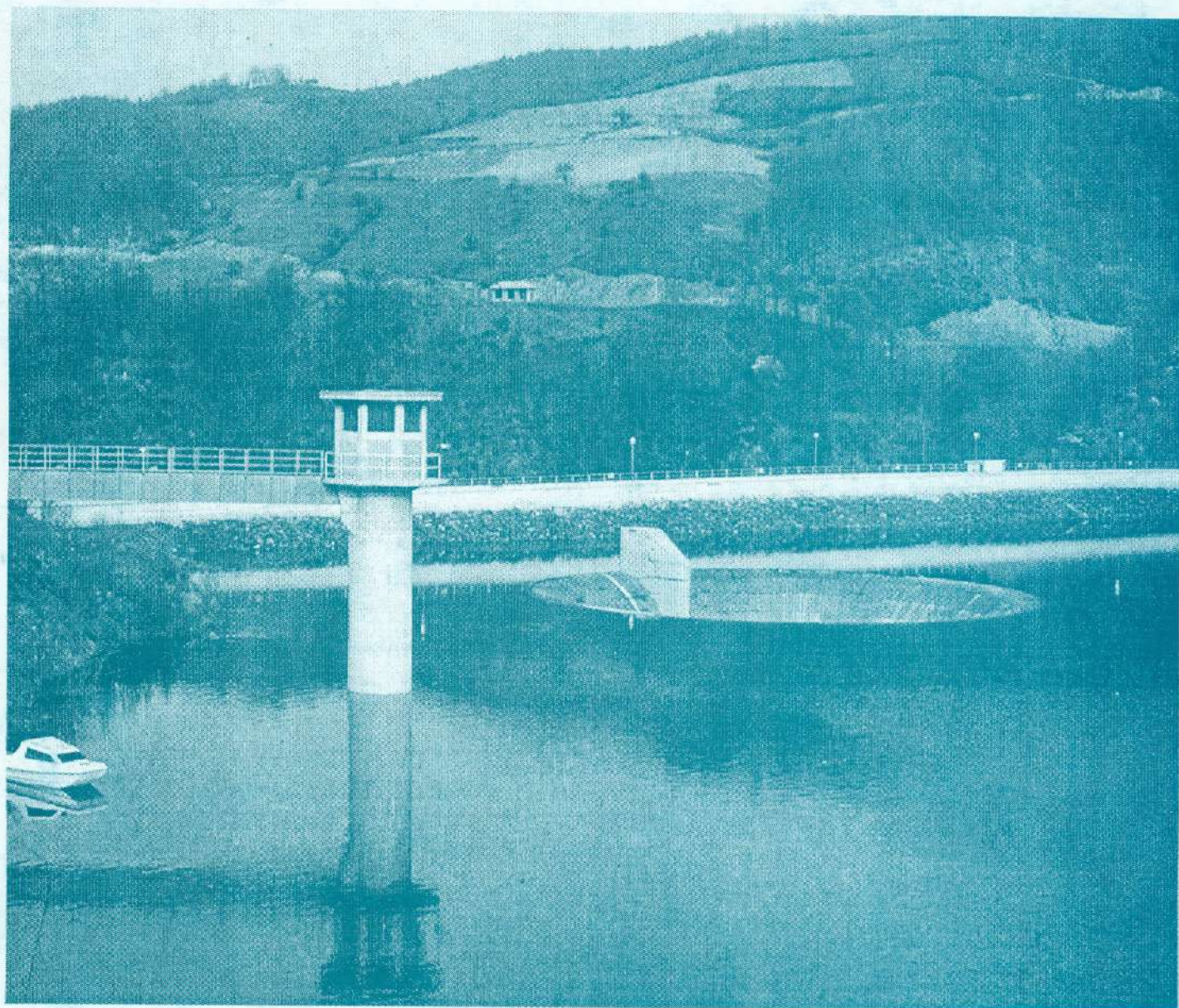


YU ISSN 0350-0519

UDK 626

BROJ 183-185
GODINA 32
JANUAR-JUN
2000/1-3

vodoprivreda



0350-0519, 32, (2000) 183 - 185, p. 1-290

SADRŽAJ

Branislav ĐORĐEVIĆ: Realno vrednovanje akumulacionih jezera - bitan preduslov za opstanak i razvoj	3
Stevan PROHASKA, Vladislava BARTOŠ DIVAC: Analiza režima rada HE "Derdap I" u periodu eksploatacije.....	17
Tioslav PETKOVIĆ, Mihajlo GAVRIĆ, Gordana ŠPEGAR: Kratkoročna prognoza voda na jugoslovenskom delu Dunava.....	21
Branislav ĐORĐEVIĆ, Tina MILANOVIĆ: Određivanje garantovanog ekološkog protoka.....	26
Atila SALVAI: Istraživanje periodičnosti srednjih godišnjih proticaja.....	34
Dimitrije AVAKUMOVIĆ, Olivera POTIĆ, Slaviša TRAJKOVIĆ: Analiza mogućnosti navodnjavanja Leskovačkog polja iz akumulacije Barje.....	39
Mile BOŽIĆ, Goran NIKOLIĆ, Dejan RUJEVIĆ: Obezbeđenje vode za navodnjavanje priobalja Dunava - Omoljički rit, korišćenjem natege.....	48
Vaso POPOVIĆ, Dušan STOJADINOVIĆ, Duško ISAKOVIĆ, Predrag BRKOVIĆ: Hidromeliorativna problematika Alibunarskog rita i njegova zaštita od poplava.....	52
Dejan DIVAC, Miodrag MILOVANOVIĆ, Predrag BABIĆ: Akumulacije na Velikom Rzavu: strategijski vodni resurs za budućnost Srbije.....	56
Dejan DIVAC, Dragana MILOVANOVIĆ: Akumulacija Ključ, uslov za opstanak stanovništva i razvoj privrede u jablaničkom području.....	62
Stevan MILOVANOVIĆ: Uloga akumulacija u korišćenju voda za vodosnabdevanje stanovništva.....	68
Dragica STOJILJKOVIĆ, Petar PAVLOVIĆ: Izrada podzemnih mikro-akumulacija u plitkim aluvionima	71
Milan RADOVANOVIĆ, Božidar LJUMOVIĆ, Vesna STOŠIĆ, Ratimir BLAGOJEVIĆ: Problemi u radu objekata u sklopu sistema zaštite od negativnog uticaja uspora HE Đerdap I.....	76
Mićo ŠKORIĆ, Miloje MADŽAREVIĆ: Režim prve izdani u priobalju Dunava i Tise.....	82
Radoslav KRUNIĆ, Mile BOŽIĆ, Goran NIKOLIĆ: Zaštita naselja Kovačica od povišenih nivoa podzemnih voda u uslovima uspora vodotoka Nadel.....	89
Svetlana VARGA, Marina BABIĆ MLADENOVIĆ, Slobodan PETKOVIĆ: Istraživanje procesa taloženja nanosa u akumulaciji HE "Derdap I".....	94
Zoran GAVRILOVIĆ, Milutin STEFANOVIĆ, Duško ISAKOVIĆ: Erozioni procesi u slivu i zasipanje akumulacije nanosom.....	101
Miodrag BOŽINOVIĆ: O nepovoljnim uticajima plovećih - površinskih nanosa na režim i kvalitet vode u vodotocima i akumulacijama.....	105
Slobodan PETKOVIĆ, Svetlana VARGA, Milan MALEŠEV: Režim leda na Dunavu, u zoni uspora HE "Derdap I".....	108
Slobodan PETKOVIĆ, Marina BABIĆ MLADENOVIĆ, Zoran KOVAČ: Konceptija odbrane od leda na Dunavu, u zoni uspora HE "Derdap I".....	116
Nikola MILJKOVIĆ, Mićo ŠKORIĆ: Promena vodnog režima u zemljištu pod uticajem uspora HEPS "Derdap I" - na sektoru Kovin - Dubovac.....	123

VODOPRIVREDA

GOD. 32

Godina 2000.

BR. 183 - 185

(2000/1-3)

UDK 626

YU ISSN 0350 - 0519

IZDAVAČ:
JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA
ODVODNJAVANJE I NAVODNJAVANJE
Beograd, Kneza Miloša 9

Ovaj broj je finansijski podržan od strane Republičkog ministarstva za poljoprivredu, šumarstvo i vodoprivredu, Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije i Saveznog ministarstva za razvoj, nauku i životnu sredinu

REDAKCIJSKI KOLEGIJUM
(sa oblastima koje se pokrivaju):

Đorđević dr Branislav - Vodoprivredni sistemi i Hidroenergetika; predsednik Redakcionog kolegijuma
Avakumović dr Dimitrije - Hidromelioracioni sistemi
Batinić dr Božidar - Hidraulika
Bogdanović dr Slavko - Vodno pravo
Bruk dr Stevan - Opšta hidrotehnika
Ignjatović dr Lazar - Komunalna hidrotehnika
Jovanović dr Miodrag - Regulacija reka
Josipović dr Jovan - Hidrogeologija
Likić Budislav - Hidrotehnički objekti
Muškatirović dr Dragutin - Plovidbena infrastruktura
Petrović dr Petar - Brane i građevine
Petković dr Slobodan - Erozijska
Plamenac dr Nikola - Odvodnjavanje
Popović dr Mirko - Kvalitet vode
Potkonjak dr Svetlana - Ekonomika vodoprivrede
Radić dr Zoran - Hidrologija
Radinović dr Đura - Meteorologija
Rudić dr Dragan - Održavanje melioracionih sistema
Stojić dr Milan - Navodnjavanje
Tutundžić dr Vera - Ribarstvo
Živaljević dr Ratimir - Hidrometeorološki informacioni sistemi

IZDAVAČKI SAVET

Bajić mr Vladimir
Bogdanović Bogoljub
Bošnjak dr Đuro
Božinović dr Miodrag
Dragović Dušan
Dutina Nikola
Đukić Miljan
Ilić Živka
Milenković dr Slobodan
Milojević dr Miloje
Pantelić Petar
Tanacković mr Vladimir
Tucović Ignjat
Varga Arpad

Slika na naslovnoj strani korica:
Akumulacija Barje

ODREĐIVANJE GARANTOVANIH EKOLOŠKIH PROTOKA

Dr Branislav ĐORĐEVIĆ, Mr Tina MILANOVIĆ
Građevinski fakultet u Beogradu, E-mail: branko@grf.bg.ac.yu

Natura non facit saltus - Priroda ne čini skokove

REZIME

Jedna od ključnih projektnih odluka pri planiranju akumulacija je: koliki garantovani ekološki protok odabrati, kao obavezno ispuštanje iz akumulacije. Na bazi analize metoda koje se koriste u svetu za određivanje tog protoka, kao i na bazi hidroloških analiza malih voda i morfološko - ekoloških analiza koje su urađene na našim vodotocima, definisana je metoda koja se smatra najprikladnijom za izbor garantovanih ekoloških protoka pri planiranju akumulacija u našoj zemlji. Prednosti metode su: (a) jednostavnost primene, jer se zasniva na analizi 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. Predlažu se i mere za dispoziciono poboljšanje ispusta (selektivni vodozahvati), kako bi se ostvarili najpovoljniji ekološki uslovi na deonicama reka nizvodno od akumulacija.

Ključne reči: akumulacije, ispuštanja, nizvodna deonica, garantovani protok, biocenoza

1. UVOD

Formiranje akumulacija korenito menja vodne režime na deonicama reka nizvodno od brana. Pod vodnim režimom se podrazumeva čitava dinamika promena kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika protoka na nekom delu vodotoka, kao i dinamika odnosa vode sa okolinom. Formiranje akumulacije ima za posledicu da se ranije neupravljani režimi pretvaraju u upravljane. Upravljanje vodnim režimima, ukoliko se mudro planira i sa stanovišta ekoloških kriterijuma, omogućava da se izvrši preraspodela protoka po vremenu na način kojim se popravljaju obe komponente vodnih režima, posebno 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, koja zajedno sa tehnološkim ili organizaciono-ekonomskim merama predstavlja snažno oružje u naporima da se popravi stanja kvaliteta voda na rekama, posebno u malovodnim periodima. Akumulacijama se, ujedno, može veoma efikasno delovati pri saniranju stanja nakon havarijskih zagađenja vodotoka. Sažeto rečeno, akumulacije - mudro planirane - mogu da donesu ekološki boljitak deonicama reka na kojima se upravlja vodnim režimima.

Sa ekološkog i vodoprivrednog stanovišta posebno su važna dva upravljana vodna režima: (1) garantovani ekološki protok; (2) vodoprivredni minimum. **Garantovani ekološki protok** je protok koji se mora uvek obezbediti u nizvodnom koritu 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. **Vodoprivredni minimum** je vodoprivredna kategorija: to je protok koji se mora obezbediti nizvodno od akumulacije, kao i nizvodno od svakog vodozahvata na reci radi podmirivanja potrebe svih korisnika voda koji se nalaze nizvodno. Dok se ekološki garantovani protok tokom planiranja vodoprivrednih sistema određuje na bazi ekoloških studija, te kasnije u upravljačke zadatke ulazi kao neprikosnoveno ograničenje, vodoprivredni minimum je upravljačka veličina, do koje se dolazi optimizacijom i iterativnim usaglašavanjem ciljeva i interesa svih korisnika vode na slivu.

Garantovani 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. Na primer, 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. Na sličan način bi upravljački delotvorno trebalo delovati povećanim ispuštanjem protoka nešto toplije vode, iz gornjih slojeva akumulacije, u periodu mresta riba ili u nekim drugim intervalima posebnog senzibiliteta biocenoza na nizvodnim deonicama na količinske i kvalitativne parametre vodnih režima.

Garantovan protok na nekoj deonici reke nizvodno od brana / veštačkih jezera određuje se preko pomenute dve kategorije protoka. Pritom se polazi od sledećih uslova: (a) Na svakoj deonici se mora obezbediti ekološki garantovan protok planiran za taj deo godine. (b) Uzvodni potrošači smeju da zahvataju samo njima dodeljene količine vode, ne ugrožavajući propisane vodoprivredne minimume, određene za korisnike vode na nizvodnim deonicama reke. (c) Garantovani protok na nekoj deonici reke ($Q_{\text{deon.gar}}$) uvek mora da bude veća vrednost od te dve veličine - garantovanog ekološkog protoka ($Q_{\text{gar.ekol}}$) i vodoprivrednog minimuma ($Q_{\text{vod.min}}$), tj.

$$Q_{\text{deon.gar}} = \max \{ Q_{\text{gar.ekol}}; Q_{\text{vod.min}} \}$$

(d) Garantovani protok se mora obezbediti na svim deonicama hidrografske mreže u okviru vodoprivrednog sistema. Pritom, obezbeđenost garantovanog ekološkog protoka mora da bude sasvim bliska 100%, dok se obezbeđenost vodoprivrednog minimuma usaglašava se obezbeđenostima nizvodnih korisnika, kojima se taj protok i upućuje. Imajući to u vidu garantovani protok neke deonice reke mora da bude funkcija vremena t (dela godine u kome se razmatra), položaja deonice u hidrogrfskoj mreži (L) i zahtevane obezbeđenosti podmirivanja potrošnje (P):

$$Q_{\text{deon.gar}} = f(t, L, P)$$

Dinamizam garantovanog protoka treba shvatati šire: ne samo kao promenljivost te veličine tokom godine, već i kao promenljivost tokom razvoja sistema, zavisno od promena ciljnih struktura i kriterijuma za vrednovanje upravljanja sistemom.

2. PROBLEMI ODREĐIVANJA GARANTOVANIH EKOLOŠKIH PROTOKA

Veličina garantovanih ekoloških protoka predmet je brojnih istraživanja u svetu, posebno u novije vreme, sa jačanjem svesti o nužnosti valjane ekološke zaštite vodotoka. Taj 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 koje su osmotrene 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 (posebno podpovršinska). Ovi faktori su međusobno zavisni i utiču na dinamizam ekosistema, na akcije, reakcije i koakcije u vodenim ekosistemima, kao i na procese sukcesija.

Postoji mnogo metoda za određivanje preporučenih protočnih režima nizvodno od brana. EPRI (*Electric Power Research Institut, 1986*) identifikovao je čak 70 metoda i modela korišćenih za određivanje garantovanih ispuštanja iz akumulacija za potrebe ekoloških sistema. Međutim, pažljivom analizom sve te metode mogle bi se podeliti u dve grupe: (1) metode vezivanja za neki karakteristični proticaj, (2) metode očuvanja kvaliteta staništa (*habitat quality methods*).

(1) Metode vezivanja za neki karakteristični proticaj. Te metode, koje bi se mogle nazvati i tradicionalnim metodama, veličinu garantovanog ispuštanja nizvodno od brane povezuju sa nekom fiksnom veličinom protoka, bilo po verovatnoći ili trajanju, što predstavlja dosta pojednostavljen pristup. Tako "Nova engleska metoda" (*The New England Flow Recommendation Policy, Larson, 1980, u EPRI, 1986*) taj proticaj povezuje sa površinom i karakteristikama sliva. Formiraju se linearne zavisnosti površine sliva i protoka koga treba ostaviti u reci nizvodno od brane ili zahvata, pri čemu se te veze mogu posebno definisati za pojedine delove godine (proleće, leto, zima). Druga podgrupa metoda ove grupe koristi krivu trajanja protoka, ili dijagram verovatnoće malih voda, te preporučen protok vezuju za male vode određenog trajanja ili verovatnoće. Tako metoda "7Q20" taj protok zasniva na sedmodnevnom prosečnom malom protoku, sa povratnim periodom 20 godina. Taj kriterijum je ranije dosta često 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. Tako određen protok je nešto veći od tridesetodnevne male vode iste verovatnoće. U novije vreme, sa sve odlučnijim isticanjem zahteva da se očuvaju ekološki sistemi, 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. U nekim slučajevima, posebno kada se sistem planira u vodoprivredno veoma napregnutim uslovima, sa ovim veličinama se donekle "manevriše", te se veličina ekološkog protoka garantuje tek nizvodno od neke veće nizvodne pritoke, kako bi se veće količine vode obezbedile za potrošače. (Obrazloženje je da se ne mora baš i to parče između pritoke i brane da obezbedi u potpunosti). Treću podgrupu ove grupe metoda čine metode kod kojih se garantovani protok vezuje za srednji višegodišnji proticaj. Najpoznatija metoda iz te podgrupe je metoda Tenant (*Tenant, 1976*), koja se dosta često koristila u SAD i Kanadi. Na osnovu 1600 merenja na rekama u SAD Tenant je zaključio da se oko 60% rečnog korita nalazi pod vodom pri protoku od 10% od srednjeg godišnjeg protoka - Q_{sr} (*Average Annual Flow - AAF*), uz još uvek prihvatljive uslove u ribljim staništima. Zato je garantovane protoke vezao za ovu veličinu, dajući im ocene kao u tab.1.

Tabela 1: Preporučeni ekološki garantovani protoci (Tennant,1976)

Opis protoka	Preporučeni protočni režim (SGP)	
	Okt. - Mart	April - Sept.
Ispiranje akumul. ili maksimum	200%	-
Optimalni opseg garan. protoka	60 - 100%	-
Izuzetan	40%	60%
Odličan	30%	50%
Dobar	20%	40%
Relativno dobar ili narušavajući	10%	30%
Slab ili minimalan	10%	10%
Značajno narušen	< 10%	< 10%

Od gore navedenih preporučenih garantovanih protoka najčešće su bile korišćene dve veličine: (1) ispuštanje 10% od srednjeg godišnjeg protoka Q_{sr} , koji, očigledno, spada u rešenja koja značajno narušavaju vodne režime malih voda; (2) ispuštanje 20 do 40% od prosečnog godišnjeg protoka, koji spada u kategoriju 'dobro' ocenjenih režima ispuštanja. Kod nas su

projektanti često koristili prvi kriterijum ($0,1Q_{sr}$), sa eventualnom korekcijom na $0,15Q_{sr}$. Razlog tako česte primene je dosta jasan: veoma laka primena, dosta malo 'gubljenje vode' (upravo tako reče jedan projektant), što je omogućavalo da za korisnike vode ostanu najveće moguće količine vode.

Da bi se otklonile slabosti ove metode u slučaju reka sa jako neravnomernim vodnim režimima (u tom slučaju su se dobijali izuzetno mala ispuštanja u malovodnom delu godine), urađene su njene popravke (*Tessman, 1980*), uvođenjem u razmatranje i srednje mesečnih protoka (*Mean Monthly Flow - MMF*), tako da se kriterijum izbora garantovanog protoka jednostavno određuje iz tabele 2.

Tabela 2: Modifikovana Tennant metoda (*Tassman, 1980*)

SITUACIJA	MIN. PROTOK
SMP < 40% SGP	SMP
SMP > 40% SGP i 40% SMP < 40% SGP	40% SGP
40% SMP > 40% SGP	40% SMP

Mada ova metoda ima više slabosti (ne uzima u obzir karakteristike pojedinih ribljih vrsta, posebne zahteve riblje mlađi, itd), zbog izuzetne preglednosti dosta često se koristi, naročito u preliminarnim fazama planiranja vodoprivrednih sistema. Analiza korišćenih metoda (*Reiser, Wesche, Estes, 1989*) pokazuje da je najčešće korišćena metoda u SAD i Kanadi u ranijem periodu bila upravo modifikovana Tennant-ova metoda.

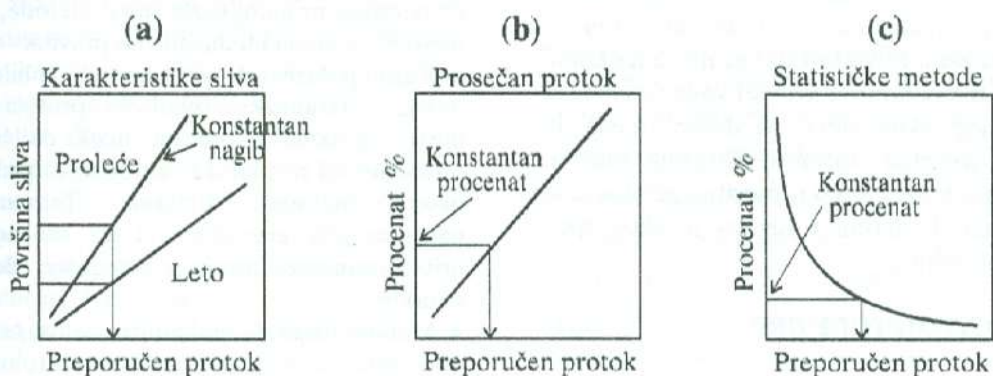
Ključni nedostaci grupe metoda koje se vezuju za karakteristične protoke su: ne uzimaju u obzir sezonske varijacije protoka, ne vode računa o realnim potrebama nizvodnih biocenoza, konstantan protok ispuštanja iz akumulacije ne odgovara dinamizmu potreba ribljih vrsta.

(2) Metode očuvanja kvaliteta staništa (habitat quality methods). Metode iz te grupe određuju ekološki garantovan protok na bazi analize kvaliteta ribljeg staništa. Jednostavnija među njima, metoda okvašenog perimetra, pretpostavlja da postoji direktna zavisnost između okvašenog perimetra (obima) korita i kvaliteta ribljeg staništa. Suština metode najsazetije je prikazana na sl.1d. Rade se zavisnosti promene okvašenog obima u zavisnosti od protoka. Preporučeni garantovani protok se bira na nekoj tački preloma / infleksije na toj zavisnosti, pošto na njoj dolazi do

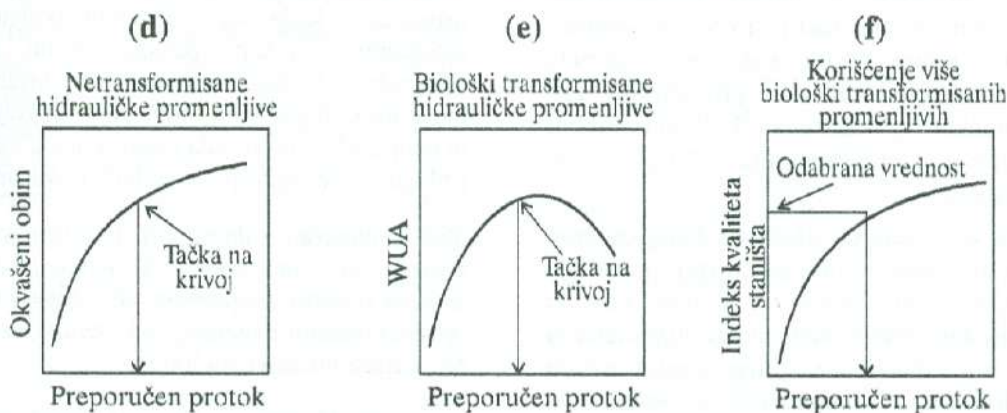
naglog pada veličine okvašenog obima, a time i do pada kvaliteta staništa (Anner i Conder, 1984). Za analizu se izdvajaju karakteristične plitke deonice, jer su važne sa gledišta mrešćenja i razvoja riblje mladi. Mana metode je što unosi dosta subjektivizma u analizu, naročito u slučaju kada ima više tačaka preloma. No, zbog svoje jednostavnosti može se

koristiti kao provera neke od metoda prethodne grupe (npr. zajedno sa metodom Tennant). 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.

TRADICIONALNE METODE



METODE KVALITETA STANIŠTA



Slika 1: Pregled metoda za proračun potrebnih ispuštanja vode iz akumulacije

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 istražne radove "in situ". Njima se uspostavlja 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 (sl. 1e). Indeks WUA može se odrediti primenom odgovarajućih analitičkih relacija (detaljnije 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 što fleksibilnije prati ekološke zahteve riba tokom vremena (*Fish Rule Curve*). Sa stanovišta planera vodoprivrednih sistema to znači zahtev da se urade što potpunije analize potrebnih zapremina akumulacija, vodeći računa i o tom dinamizmu ispuštanja garantovanih protoka. Takođe, treba se odlučiti za najoperativniju opremu zatvarača ispusta. Jedna od mogućnosti obezbeđivanja što povoljnijih uslova u staništima je i ugrađivanje zahvata na više nivoa, kako bi se voda zahvatala (na isti način kao kod zahvata za vodovode) sa nivoa na kome su najpovoljnije temperature i kvalitet vode sa gledišta zahteva nizvodnog ekosistema. Međutim, njena je najveća slabost izuzetna složenost istražnih radova, zbog čega se malo koristi čak i u bogatim zemljama u kojima je nastala. U našim uslovima je zbog toga praktično neupotrebljiva.

3. PREDLOG NOVE METODE GEP

Nova metoda je nazvana Metoda GEP (Garantovani Ekološki Protok). Njena pravila izbora su definisana vrlo jednostavno, ali da bi se ta jednostavnost postigla urađene su vrlo detaljne hidrološke analize malih voda na vodotocima Srbije, kao i morfološke analize okvašenih obima minor korita, kako bi se izvukle zakonitosti morfoloških odnosa i protočnosti, kao osnovnih abiotičkih pokazatelja kvaliteta ribljih staništa. Polazište za definisanje predložene metode bili su sledeći zahtevi.

♦ Metoda treba da u sebi objedini sve dobre osobine četiri grupe metoda koje se najoperativnije koriste u svetu, eliminišući njihove slabosti. Metode čija su iskustva na određen način 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) Statističke metode, a iz grupe 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), od kojih je kapitalno iskustvo da se te metode 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 mora da bude veoma operativna i da se može upotrebiti imajući u vidu baze hidroloških podataka koji su standardne i uobičajene pri projektovanju brana, akumulacija i vodozahvata na rekama.

♦ Metoda treba da bude vrlo jednostavna za praktičnu primenu. To je postignuto na taj način što je vrlo obimne regionalne hidrološke analize malih voda i morfološke analize uradio Obradivač, kako bi sagledao čitav opseg primenljivosti nove metode, svodeći samu metodu na veoma jednostavno pravilo.

♦ Važno polazište za izbor metode je bilo da rezultati - 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 u Srbiji.

Moraju se razdvojiti 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 je neophodno da se tada i garantovani ekološki protoci prilagode tom razvoju, te su tada povećani.

Već je naglašeno da su pri definisanju metode GEP iskorišćena veoma 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 dobijaju dobri ekološki efekti, 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 manjkavost 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 grupe 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 raspolaze sa podacima o dnevnim protocima, analiza verovatnoće 30-dnevnih malih voda). Time je metoda, probabilističkom 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 vodotocima čije su morfološke i hidrološke karakteristike onakve kakve su u Srbiji, 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 ta saglasnost uopšte nije neočekivana, zato što protoci koji se nalaze u tom opsegu najčešće 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.

Da bi metoda bila operativna i jednostavna za primenu mora da se zasniva na manjem broju parametara, i to onih parametara koji se mogu dobiti odgovarajućom analizom raspoloživih hidroloških serija.

Primena GEP metode zasniva se na primeni tri parametra: (1) prosečni višegodišnji protok na profilu brane, odnosno mesta 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 raspolaze 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 $Q_{80\%}^{\min.(30)}$)¹. Kada se raspolaze tim podacima, onda se svi navedeni principi izbora sažimaju u veoma jasnom pravilu, koji definiše GEP metodu:

Garantovani ekološki prosek ($Q_{ekol.gar.}$) usvaja se u sledećim iznosima:

(1) U hladnom delu godine, koji obuhvata period [oktobar - mart] garantovani ekološki protok $Q_{ekol.gar.}$ 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 $Q_{ekol.gar.}$ bira se na osnovu relacije:

¹ Alternative su date prevashodno iz operativnih razloga. Nesumnjivo je bolja solucija ako se raspolaze sa podacima o tridesetodnevnom malim vodama odgovarajućih verovatnoća javljanja, jer je to primerenije fizici tog 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 akumulacija ne raspolaze sa višegodišnjim serijama dnevnih protoka. Zbog toga je upotreba vrednosti malih mesečnih voda odgovarajućih verovatnoća dopuštena, kako bi se omogućilo da se metoda može primeniti u svim projektima, jer se uvek, u slučaju projektovanja akumulacija ili rečnih vodozahvata, raspolaze 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).

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

(2) U toplom delu godine, koji obuhvata period [april - septembar] $Q_{\text{ekol.gar.}}$ treba odabrati tako da odgovara veličini mesečne male vode verovatnoće 80% ($Q_{80\%}^{\text{min.mes}}$), odnosno male 30-dnevne vode iste

verovatnoće ($Q_{80\%}^{\text{min.(30)}}$), 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 $Q_{\text{ekol.gar.}}$ bira se na osnovu relacije:

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

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

(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) Vrednosti koje se dobijaju kao garantovano ispuštanje 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 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.

4. OSTALE MERE ZA ZAŠTITU BIOCENOZA NIZVODNO OD AKUMULACIJA

Radi obezbeđivanja što povoljnijih ekoloških uslova nizvodno od brana, u svim akumulacijama u kojima dolazi do termičke separacije obavezno je korišćenje **selektivnih vodozahvata** za ispuštanje ekološki garantovanih protoka. Treba predvideti takve dispozicije, sa dovoljnim brojem zahvata na raznim dubinama, da se mogu ispuštati garantovani protoci iz onih zona / dubina akumulacije u kojima su trenutni pokazatelji kvaliteta (temperatura, hemizam) najpovoljniji za nizvodne biocenoze.

Zatvarači treba da budu regulacioni, dimenzionisani na najveće protoke koji se mogu zahtevati tokom dinamičkog (vremenski promenljivog) ispuštanja garantovanih protoka i protoka potrebnih za nizvodne korisnike. Ukoliko se voda ispušta i za potrebe nizvodnih korisnika, koji će tu količinu zahvatiti na svojim nizvodnim rečnim zahvatima, i ta količina se mora ispuštati na selektivnim vodozahvatima, u cilju obezbeđenja najpovoljnijih temperatura sa gledišta potreba biocenoza na nizvodnim deonicama reke.

Adekvatnim izborom zatvarača za ispuštanje garantovanih protoka i protoka za nizvodne korisnike (regulacioni konični zatvarači sa najefikasnijim ovazdušenjem mlaza) omogućiti da se može **upravljati kiscioničnim režimima** na nizvodnim deonicama vodotoka.

Dugoročni programi praćenja promena u ribljoj populaciji jednog vodotoka morali bi biti deo integralne strategije korišćenja određenog poteza reke. Izbor garantovanog ekološkog protoka je samo jedna od početnih, izuzetno važnih aktivnosti u tom procesu upravljanja vodenim ekosistemima. Ovakav program bi obezbedio verifikaciju sračunatih vrednosti ili omogućio izmenu istih kako bi se prilagodili realnim uslovima u vodotoku.

Da bi se raspolagalo validnim podacima o sloju iz koga treba ispuštati garantovane protoke, kao i da bi se stalno pratio dinamički razvoj akumulacije kao ekosistema, obavezno je za sve akumulacije napraviti matematički model ponašanja akumulacije tokom vremena (model promene biotičkih i abiotičkih parametara jezerskog ekosistema). Investitor / korisnik akumulacije je u obavezi da obezbedi odgovarajući monitoring sistem, koji će omogućiti tariranje i stalno poboljšanje modela, kao i da bi se merili oni parametri - abiotički i biotički faktori vodenog ekosistema, koji su neophodni za ažurno praćenje ponašanja jezera u realnom vremenu.

5. ZAKLJUČAK

U radu se daje nova metodologija za određivanje garantovanih ekoloških protoka nizvodno od brana - akumulacija u Srbiji. Metoda GEP (Garantovani Ekološki Protok) sadrži u sebi dobre osobine više metoda koje se koriste u svetu. Bitno je da veličinu protoka prilagođava potrebama vodenih ekosistema nizvodno, tako da su protoci različiti u toplom i hladnom delu godine. Jednostavna je za upotrebu, jer se zasniva na analizi verovatnoće malih mesečnih voda. U radu se sistematizuju i druge mere (npr. selektivni ispusti za garantovane protoke), kako bi se ostvarili najpovoljniji ekološki uslovi na nizvodnim deonicama reke.

LITERATURA

- [1] Anner, T.C. and A.L. Conder. 1984. Relative Bias of Several Fisheries Instream Flow Methods. *North American Journal of Fisheries Management*, 4:531-539.
- [2] Dajoz, R. 1972. *Precis d'ecologie*. Dunod, Paris.
- [3] Đorđević, B. 1991. Primena ekoloških modela u planiranju vodoprivrednih sistema, *Vodoprivreda*, 131-132.
- [4] Djordjević, B.: *Cybernetics in Water Resources Management*; WRP, Co., USA
- [5] EPRI (Electric Power Research Institute). 1986. *Instream Flow Methodologies*. Report EPRI: EA-4819. See Savić, 1992.
- [6] FAO. 1968. *Evaluation of the Methodology for Recommending Flows for Fishes*. FAO Publication. See Dajoz, 1972.
- [7] Fenchel, T. and F.B. Christiansen. 1976. *Theories of Biological Communities*. Springer-Varlag, New York.
- [8] Gore, J.A. and J.M. Nestler. 1988. *Instream Flow Studies in Perspective. Regulated River. Research and Management*, 2:93-101
- [9] 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*, 21 : 35-40.
- [10] Janković, M.M. 1987. *Fitoekologija*, Naučna knjiga, Beograd
- [11] Keenleyside, M.H. 1979. *Diversity and Adaptation in Fish Behaviour*, Springer-Varlag, Berlin, New York
- [12] 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, pp.16,50.
- [13] Locke, A.G. 1989. *Instream Flow Requirements for Fish in the Highwood River*. Land and Wildlife, Alberta. See Savić, 1992.
- [14] May, R.M. 1975 (b). *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton University Press, Princeton
- [15] 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.*, 42: 825-830.
- [16] Odum, E.P. 1969. *The Strategy of Ecosystem Development*. Science, 164.
- [17] Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. 3rd edn. Saunders, Philad.
- [18] Savić, D.A. 1992. Metode proračuna protoka potrebnih za održanje riblje populacije, *Vodoprivreda*, Beograd, 137-140: 147-156.
- [19] Tennant, D.L. 1976. *Instream Flow Regiments for Fish, Wildlife. Recreation and Related Environmental Resources*. *Fisheries*, 1(4)
- [20] 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