

Zlatko Pavletić, Ivo Matoničkin¹ i Kosta Žunjić²

PROGNOZA I ZAŠTITA EKOSISTEMA AKUMULACIJSKIH VODA RIJEKE PIVE NA OSNOVU NJIHOVOG PRAEKUMULACIJSKOG ASPEKTA

THE PROGNOSIS AND PROTECTION OF THE ECOSYSTEM OF ACCUMULATIONWATERS OF THE RIVER PIVA ON BASIS OF THEIR PRAEACCUMULATIVE ASPECT

Izvod

Na osnovu preakumulacijskog aspekta životnih zajednica i ekoloških prilika u vodama rijeke Pive, nastoji se posebnom metodom prognozirati stanje u ekosistemu novonastalog akumulacijskog jezera nastalog podizanjem brane kod Mratinja. Na taj način se utvrdilo da po svojem biocenološkom sastavu u prvim svojim počecima akumulacijske vode treba da su mezosaprobnog karaktera, a da njihovu osnovu treba da sačinjavaju alge i neke skupine životinja koje su se zadržavale u lenitičkom području preakumulacijskih tekućih voda.

Synopsis

On the basis of the praeaccumulative aspect of biocenoses and ecological conditions in waters of the river Piva, there was — by help of a special method — tried to forecast the situation in the ecosystem of the newly created reservoir, produced by raising the dam at Mratinje. In that way, there was established that the accumulation-waters at the very beginning should be mesosaprobic according to their biocenological composition, and that their basis should be composed of algae and some groups of animals that resided in the lenitic region of the praeaccumulative running waters.

¹ Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta — Zagreb

² Republički zavod za zaštitu prirode — Titograd

UVOD

Stvaranje ekosistema akumulacijskih jezera složen je hidrobiološki proces koji je usko povezan s osobinama ranijeg protočnog sistema. Ova povezanost, međutim, nije do sada dovoljno ispitana, a pogotovu nisu poznati ovi odnosi u sve većem broju akumulacionih jezera u našem krškom području. Postoje samo neki podaci naših vlastitih istraživanja u području hrvatskog krša (Matoničkin-Pavletić 1975, Pavletić-Matoničkin 1975), dok za područje Crne Gore postoje samo hidrološki podaci za Pivu i Komarnicu koje su kasnije pretvorene u akumulacione sisteme (Petković S. i S. 1971, Žunjić K. 1971). To je bio razlog što smo nastojali na osnovu naših istraživanja 1973. i 1974. na rijeci Pivi dati prognozu razvoja ekosistema koji se već počinje razvijati u novoj akumulaciji stvorenoj konačnom izgradnjom brane kod Mratinja. Pri tome smo htjeli primjenom statističko-ekoloških metoda prikazati budući razvoj biocenoza. Na osnovu saprobiološke analize preakumulacionog stanja u ekosistemu fluvijalnog tipa nastojali smo prikazati stanje u akumulacionom biotopu lakustričkog tipa i dati biološku valorizaciju akumulacijskih voda.

Protočne vode fluvijalnog tipa pretvaraju se u stajaće vode lakustričkog tipa, pa se prema tome mijenjaju i ekološki uvjeti, posebno fizički faktori, kao što su strujanje i temperatura vode. Pored toga se mijenjaju i drugi ekološki faktori, što ima za posljedicu velike promjene u strukturi i sastavu biocenoza. Morao je nastati tip biocenoza i ekosistema povezan s ekosistemom fluvijalnoga tipa, što se odražava u hidrokemijskom sastavu voda i nekih vrsta koje se pojavljuju u oba tipa ekosistema.

Općenito se može reći da su primarne biocenoze morale dati osnovu i za pojavu lakustričkih biocenoza. To se naročito odnosi na primarne producente, a posebno mikrofitske alge koje imaju sposobnost prilagodavanja na planktonski način života. Tako nastaju primarni producenti organske tvari koje pružaju mogućnost ishrane i nekim sekundarnim producentima koji se mogu pojaviti u slobodnoj vodi lakustričkog biotopa. Proizvedena biomasa može tada izazvati postepenu eutrofizaciju procesima mineralizacije koji povećavaju količinu hranjivih soli u minimumu, što daje poticaja za razvoj fitoplanktona lakustričkog tipa.

S time u vezi treba prikazati sastav i strukturu preakumulacijskog aspekta biocenoza i ukazati na mogućnost razvoja pojedinih članova u uslovima stajaće vode. Upotrebom statističkih metoda biće data prognoza o razvoju biocenoza u novonastalom lakustričkom biotopu.

Posebna će se pažnja posvetiti mogućnosti zaštite novonastalih biocenoza na osnovu saprobiološke analize preakumulacijskih životnih zajednica i biološke valorizacije ovih voda direktnim statističkim ekološkim metodama.

METODIKA RADA

Za biocenološke prognoze potrebno je imati na raspolaganju podatke o promjenama fizičkih i kemijskih faktora bez kojih se ne bi mogle odražavati ni promjene u strukturi i sastavu životnih zajednica. Stoga će se i ova naša

biocenološka analiza zasnovana prvenstveno na analizi biocenoza u tekućem biotopu Pive, izdvojivši one članove koji bi se mogli održati u budućem lakustričkom biotopu. Zatim će se ukazati i na prognoziranje promjene abiotičkih faktora. Najprije se utvrdilo sadašnje stanje u strukturi i saprobiološkom karakteru biocenoza na 5 lokaliteta u rijekama Pivi i Komarnici. Zatim je utvrđen odnos pojedinih indikatora i stupnja saprobnosti, a posebno je određen kvantitativni i kvalitativni indeks trofičnosti.

Indeks trofičnosti je odnos između autotrofnih i heterotrofnih članova životne zajednice na ispitivanim lokalitetima. Kvalitativni indeks trofičnosti je odnos između broja autotrofnih i heterotrofnih vrsta, a određuje se prema formuli:

$$I_{sp} = \frac{\sum a}{\sum h}$$

gdje I_{sp} označuje kvantitativni indeks, $\sum a$ je zbroj autotrofnih (fotosintetskih i kemosintetskih zajedno) vrsta i $\sum h$ je zbroj heterotrofnih vrsta. Na taj način se dobivaju numeričke vrijednosti koje mogu ukazati na kvalitet biocenoza u odnosu na opterećenost ekosistema otpadnim organskim tvarima. Slično se može izračunati i kvantitativni indeks trofičnosti, ako se uzmu u obzir i kvantitativni odnosi, bilo u apsolutnim ili relativnim vrijednostima. Taj indeks se izračunava po slijedećoj formuli:

$$I_{kv} = \frac{\sum a \cdot u}{\sum h \cdot u}$$

gdje I_{kv} označuje kvantitativni indeks, „a“ su autotrofne vrste, „h“ su heterotrofne vrste, a „u“ je učestalost u relativnim ili apsolutnim vrijednostima.

U našim proračunima uzeli smo u obzir relativne vrijednosti učestalosti s relativnim vrijednostima od 1 do 5, gdje „1“ označuje najnižu vrijednost učestalosti, a „5“ najveću. Produkti između broja vrsta i učestalosti izraženi su sa „a · u“ i „h · u“.

Na osnovu ovih vrijednosti mogu se izračunati i pokazatelji za potencijalne promjene u biocenozama, uzevši u obzir tzv. potencijalne vrijednosti pogoršanja kvalitete voda. Te se vrijednosti dobivaju na osnovu stope pogoršanja ekosistema koji se izračunava matematičkim modelima. Pri tome se uzimaju u obzir fizičko-kemijski parametri koji najbolje pokazuju pogoršanje stanja, kao što je deficit kisika. Stoga se u tom slučaju može upotrijebiti i formula:

$$P = \frac{(p-p) \cdot 100}{a}$$

gdje „P“ označuje potencijalnu stopu pogoršanja u postocima, „a“ je sadašnja vrijednost deficita kisika, dok je „p“ prognozirana vrijednost deficita kisika za određeno područje ili vrijeme. Razumije se da se može upotrijebiti i neki drugi parametar koji pokazuje pogoršanje stanja u vodama, kao što je BPK

ili slično. Stopa pogoršanja se onda upotrijebi za proučavanje prognoziranih vrijednosti na osnovu kvalitativne i kvantitativne trofičnosti, a može se pri tom uzeti u obzir i indeks saprobnosti ili bilo koje druge numeričke vrijednosti koje indiciraju na stanje egzaktnih mjerenja i sadašnje stanje u vodama, odnosno u pojedinim profilima.

Za promjene koje se mogu očekivati u strukturi i sastavu biocenoza u rijeci Pivi uzeti su u obzir prvenstveno numerički podaci saprobnog indeksa, kvalitativnog indeksa trofičnosti i kvantitativnog indeksa trofičnosti. Na osnovu ovih pokazatelja produktivnih odnosa u životnim zajednicama možemo prognozirati i njihovo buduće stanje, ako imamo na raspolaganju slične numeričke podatke o promjenama ekoloških faktora u budućem periodu, koji pokazuju, u odnosu na sadašnje stanje, stanovitu promjenu, poboljšanje ili pogoršanje uvjeta za održanje i razvoj biocenoza.

Za ovu prognozu uzeli smo u obzir podatke o očekivanim promjenama osnovnih hidrokemijskih parametara, a naročito deficit kisika. Proračuni su se odnosili na izvor Pive (P_1), nizvodno od izvora Pive oko 200 m ispred ušća Komarnice (P_2), Komarnicu prije utoka u Pivu (K_1), ispod ušća potoka Vrbnice (P_3) i kod Mratinja ispod željeznog mosta (P_4).

Prognozirani podaci odnose se na stanje koje se očekuje u Jezeru u početnom periodu nakon njegovog formiranja.

REZULTATI I DISKUSIJA

Uzevši u obzir stanje u rijeci Pivi u preakumulacionom periodu (Matoničkin et al. 1975) mogu se izdvojiti biološki indikatori koji se mogu održati i u novonastalom lakustričkom periodu (tab. 1).

Kao što se iz tabele vidi, od nađenih bentoskih organizama u preakumulacionom periodu postoji samo stanoviti broj alga, i to uglavnom mikrofiti koji se mogu održati kao planktonski organizmi, iako su to pretežno bentoski oblici. Na osnovu toga možemo odrediti stupanj onečišćenja u akumulacijskim vodama na osnovu ovih bioloških indikatora. To bi bile minimalne vrijednosti prognoze, ukoliko u novim lakustričkim biotopima ne bi došlo do jačeg onečišćenja voda. Treba, naime, pretpostaviti da će se kvaliteta vode zadržati na istom nivou kao što je bila u tekućem stanju. Štaviše, kvaliteta vode može se poboljšati u biotopu stajajuće vode zbog mogućnosti taloženja onečišćene tvari.

Upotrijebimo li statističko-ekološke metode po Pantle-u i Buck-u u preakumulacionom periodu i u prognoziranom stanju u nastaloj akumulaciji, dobiju se vrijednosti prikazane na tab. 2.

Prema tim podacima, trebalo bi da kvaliteta vode u prognoziranom stanju zadrži barem svoj mezosaprobnostni karakter. U novonastalim biocenzama indikatori mezosaprobnog stupnja imali bi najpovoljnije uvjete za razvoj bez obzira da li pripadaju planktonskim ili bentoskim životnim zajednicama.

Što se tiče prognoze promjena osnovnih ekoloških faktora, treba pretpostaviti da će se u novonastalim akumulacijama pojaviti deficit kisika koji je u preakumulacionom periodu bio izmjeren za lenitička područja preaku-

Tab. 1. Biološki indikatori iz rijeke Pive koji se mogu održati i u akumulacijskim vodama
 Tab. 1. Biological indicator from the River Piva which possible live in the accumulation lake

Vrste — Species	Postaje — Locality				K ₁	S	Indikatori — Indicators					
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄			X	o	b	a	p	I
<i>Microcystis flos-aquae</i> Kirchn.	3	—	1	—	1	b	—	2	7	1	—	3
<i>Phormidium autumnale</i> Gom.	1	—	1	—	—	a	3	—	4	3	—	2
<i>Ph. uncinatum</i> Gom.	—	1	1	—	—	a	—	—	—	10	—	5
<i>Navicula gracilis</i> Ehrbg.	—	1	1	—	1	b	1	3	4	1	—	2
<i>Cymbella ventricosa</i> Kütz.	3	1	1	1	1	b	2	4	3	1	—	1
<i>Gomphonema parvulum</i> Grum.	1	—	—	—	—	b	1	4	—	3	—	1
<i>G. olivaceum</i> Kütz.	—	1	—	1	—	b	1	3	3	3	—	1
<i>G. capitatum</i> Cl.	—	—	1	—	1	b	—	—	10	—	—	5
<i>Amphora ovalis</i> Kütz.	—	—	—	—	1	b	1	3	4	2	—	1
<i>Cymatopleura colea</i> X. Sm.	—	—	—	1	—	b	—	1	5	4	—	2
<i>Surirella ovata</i> Kütz.	1	—	—	—	—	b	—	3	5	2	—	2
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	5	3	3	3	3	b	—	3	5	2	—	2
<i>Meridion circulare</i> Ag.	—	—	—	3	—	o-x	4	5	1	2	—	—
<i>Synedra ulna</i> Ehrbg.	3	1	1	3	1	b	1	2	3	4	1	1

Tab. 2. Saprobní indeks u preakumulacionom i prognoziranom postakumulacionom periodu**Tab. 2. Saprogenic index in preaccumulation and prognosis in postaccumulation period**

Postaje Locality	Preakumulacioni indeks saprobnosti Preaccumulation saprogenic index	Prognozirani indeks saprobnosti Prognostic saprogenic index
P ₁	1,8	2,1
P ₂	2,1	2,4
P ₃	2,1	2,4
P ₄	2	2
K ₁	2	2

mulacionog perioda. To su bile vode u izvorišnome dijelu koje je bilo limno-krenog karaktera i gdje je bio izmjeren deficit kisika od 6,82 mg/l. To znači da će na svim drugim područjima nekadašnje tekućice deficit kisika biti približno isti, pa se na osnovu toga može izračunati potencijalna stopa pogoršanja kvalitete voda (tab. 3).

Prognozirani podaci pokazuju da će se kvaliteta voda u gotovo svim postajama pogoršati u odnosu na preakumulaciono stanje tekućih voda. Potencijalna stopa pogoršanja kreće se od 16—96%, ako se izuzme izvorišno područje, za čije se stanje smatra da se neće promijeniti. Najviše stope pogoršanja pokazuju vode koje su u preakumulacionom periodu bile najčistije i s najmanjim deficitom kisika. Može se ipak uočiti da će samo na dvije postaje biti nešto viša stopa pogoršanja (P₃ i K₁), dok će na ostalima doći do neznačajnih promjena u odnosu na preakumulacioni period.

Tab. 3. Deficit kisika i potencijalna stopa pogoršanja kvalitete voda u području Pive**Tab 3. Deficity in oxygen and potential mood deteration quality of water in territory of the River Piva**

Postaje Locality	Temperatura Temperature	Deficit kisika Deficity in oxygen		Stopa pogoršanja u postocima Potential mood deteration in %
		akumulacioni period Accumulation period		
		pre — Prae	post — Post	
P ₁	9	6,82	6,82	0
P ₂	9,3	3,54	6,82	49
P ₃	14	0,39	6,82	94
P ₄	11,8	5,81	6,82	15
K ₁	13,9	0,21	6,82	96

Tab. 4. Kvalitativni (I_{sp}) i kvantitativni indeks (I_{kv}) trofičnosti i saprobnosti i saprobnosti i saprobnosti (s) u preakumulacionom periodu u rijeci Pivi s prognoziranom vrijednostima u početnom periodu akumulacije

Tab. 4. Quality (I_{sp}) and quantity index (I_{kv}) trofical and saprogenic index (s) in praecumulation period in the River Piva with prognostic value in the beginning period

Postaje Locality	I_{sp}		I_{kv}		s	
	preakumulacioni period praecumulation period	postakumulacioni period postaccumulation period	preakumulacioni period praecumulation period	postakumulacioni period postaccumulation period	preakumulacioni period praecumulation period	postakumulacioni period postaccumulation period
P ₁	1,85	1,85	1,24	1,24	1,8	1,8
P ₂	0,42	0,22	0,49	0,25	2,1	1,2
P ₃	0,75	0,05	0,64	0,04	2,1	4,1
P ₄	1,21	1,03	3,9	3,22	2	2,3
K ₁	0,61	0,03	0,6	0,1	2	3,9
Srednje vrijednosti Average value	0,9	0,54	1,10	1,68	2,1	3,5

Izračunate stope pogoršanja mogu se primjeniti i na prognozu biocenoza, uzevši u obzir podatke o biocenozama, kao što su indeks saprobnosti, te kvalitativni i kvantitativni indeks trofičnosti. Ove numeričke vrijednosti prikazane su na tabeli 4.

Na osnovu izvršene analize promjena kvantitativnog i kvalitativnog indeksa trofičnosti, može se uočiti da će se prognozirano stanje u prvim počecima akumulacije prema sastavu biocenoza u stanovitoj mjeri pogoršati na svim područjima akumulacije rijeke Pive. Teoretski je to različito na pojedinim postajama gdje su u preakumulacionom periodu mjereni ekološki faktori i promatran sastav biocenoza. Najveće pogoršanje bilo bi na području postaja P₃ i K₁, gdje je voda u preakumulacionom periodu pokazivala najnižu saprobnost. Ipak sve dobivene vrijednosti pokazuju da će biocenoze imati utjecaja na procese samoočišćenja jer prognozirano stanje pokazuje da će vode na svim područjima biti mezosaprobnog karaktera. Najpovoljnije će stanje prema teoretskoj prognozi biti u području postaje P₄ gdje će se, i pored pogoršanja stanja, zadržati relativno visoka trofičnost, što se može zaključiti na osnovu indeksa trofičnosti, za koji se prognozira da će biti uvijek iznad 1. Na svim ostalim područjima prognoze pokazuju da će prevladavati heterotrofni tipovi organizama.

Kako će se akumuliranjem prilike u vodi izjednačavati, prognozirano stanje moći će se bolje prikazati ako se uzmu u obzir srednje vrijednosti svih numerički prikazanih promjena u biocenozama. Na taj način može se uočiti da će odnos između autotrofnih i heterotrofnih članova biocenoze biti uglavnom isti. Doduše, kvalitativni indeksi trofičnosti pokazuju više saprobnog karakter, ali se zato iz kvantitativnih indeksa trofičnosti može pretpostaviti da će trofičnost biti veća. Isto tako, srednje vrijednosti indeksa saprobnosti po Pantle-u i Buck-u pokazuju stanovito pogoršanje, ali su vode uvijek u zoni beta do alfa mezosaprobnog stupnja. To znači da se i na osnovu ovih pokazatelja može prognozirati da će se već u prvim počecima akumulacije odvijati u vodama procesi autopurifikacije.

Zaključno možemo reći da se u prvoj fazi postakumulacionog stanja mogu očekivati u vodama biocenoze u kojima će već u početku doći do znatnog izražaja primarna produkcija koja će omogućiti održanje i prvih ovdašnjih biocenoza. To znači da će u vodama u znatnim količinama biti zastupljene alge, u prvome redu dijatomeje i modrozeleno alge, koje će omogućiti razvoj sekundarnih producenata. Od životinja iz preakumulacionog perioda mogu se očekivati *Rotatoria*, *Copepoda*, *Cladocera* i dr. organizmi nađeni u lenitičkom području rijeke Pive (v. Matonićkin et al. 1975, p. 67—72). Daljim razvojem ovih biocenoza sigurno će se prilike promijeniti, pa bi nove opservacije pokazale u kojem bi se smjeru mijenjale biocenoze i ostali faktori u novonastalom ekosistemu.

ZAKLJUČAK

Na osnovu analize ekosistema u preakumulacionom periodu rijeke Pive od izvora pa do novoizgrađene brane kod Mratinja, dobili su se podaci na osnovu kojih se mogao prognozirati sastav biocenoza u prvim počecima

novonastalog akumulacionog ekosistema. Određivanjem stope pogoršanja prognozirani su kvalitativni i kvantitativni indeks trofičnosti i saprobni indeks po Pantle-u i Buck-u. Na osnovu toga su dobiveni podaci koji prognoziraju da će u prvim počecima akumulacije odnos autotrofnih i heterotrofnih organizama biti uglavnom isti s mjestimičnom tendencijom pojačavanja trofičnosti.

Također su se uspjeli dobiti podaci na osnovu kojih se može prognozirati da će akumulacijske vode biti u prvim svojim počecima mezosaprobno karakterna i da će se u njima moći odvijati procesi samoočišćenja. Prvobitni plankton će sačinjavati alge i neke skupine životinja koje su se zadržavale u lenitičkim područjima preakumulacijskih tekućih voda.

LITERATURA

- Matoničkin, I. i Pavletić, Z. (1975): Influence des ruisseaux d'alimentation sur la composition et la structure du bentos dans les lacs accumulateurs du karst yougoslave. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19, 1907—1920.
- Matoničkin, I., Pavletić, Z., Žunjić, K. i Habdija, I. (1975): Ekosistem rijeke Pive i biološka valorizacija njenih voda. Glas. Republ. zavoda zašt. prirode — Prirodnjačkog muzeja 8, 61—79.
- Pavletić, Z. i Matoničkin, I. (1975): La valorisation biologique des eaux dans les lacs accumulateurs de la region occidentale karstique yougoslave. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19, 1990—1996.
- Petković, S. i S. (1971): Neka hidrološka istraživanja Pive i Komarnice. Poljoprivreda i šumarstvo 17 (3), 61—71.
- Žunjić, K. (1971): Fizičko-kemijske i biološke karakteristike nekih akumulacijskih jezera. Poljoprivreda i šumarstvo 17 (1), 65—93.

Zlatko PAVLETIĆ, Ivo MATONIČKIN and Kosta ŽUNJIĆ

THE PROGNOSIS AND PROTECTION OF THE ECOSYSTEM OF ACCUMULATIONWATERS OF THE RIVER PIVA ON BASIS OF THEIR PRAEACCUMULATIVE ASPECT

S u m m a r y

By analysing the ecosystem of the river Piva in its praeaccumulative period, from its source to the newly created dam at Mratinje, there were obtained results that could serve as a basis for forecasting the composition of biocenosis at the very beginning of the new reservoir-ecosystem. By determining the rate of aggravation there was forecasted the quantitative and qualitative index of trophic conditions, as well as the saprobic index after Pantle and Buck. On that basis there were obtained the data which prognosticated that

the relation between autotrophic and heterotrophic organisms at the very beginning of the accumulation would be mainly the same, with a tendence towards strengthened trophic conditions, occuring here and there.

There were also obtained the data, on the basis of wich there could be forecasted that the accumulation-waters at the very beginning would be mesosaprobic, and that the processes of selfpurification could develop in them. The primary plankton will be composed of algae and some groups of animals that resided in the lenitic regions of the praeaccumulative running waters.