

ЈУГОСЛОВЕНСКО ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ВОДА

27. конференција о актуелним проблемима заштите вода

ЗАШТИТА ВОДА '98

THE 27TH ANNUAL CONFERENCE OF YUGOSLAV WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY
"WATER POLLUTION CONTROL '98"
Conference Proceedings



Котор, 9 - 12. јун, 1998.

ORGANIZATORI:

JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA
DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA CRNE GORE

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI:

- Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu
- J.P. "Vodovod i kanalizacija" Podgorica
- P.P. "Olkor" Kotor
- Skupština opštine Kotor
- Institut za biologiju mora - Kotor

ORGANIZACIONI ODBOR:

Veselin PEROVIĆ, dipl.inž., Podgorica - PREDSEDNIK
Prof. dr Aleksandar ĆOROVIĆ, dipl.inž., Podgorica
Dr Sreten MANDIĆ, dipl.inž., Kotor
Snežana DAKOVIĆ, dipl.inž., Beograd
Dr Dubravka REGNER, dipl.inž., Kotor
Slobodanka PEROVIĆ, dipl.inž., Podgorica
Branislav MANOJLOVIĆ, dipl.inž., Budva
Dušan JOVANOVIĆ, dipl.inž., Novi Sad
Dragan PETROVIĆ, direktor HP "Fjord", Kotor
Mr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.inž., Beograd
Milena MILORADOV, Beograd - tehnički sekretar

REDAKCIONI ODBOR:

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, dipl.inž., Beograd - PREDSEDNIK
Prof. dr Aleksandar ĆOROVIĆ, dipl.inž., Podgorica
Prof. dr Mirko POPOVIĆ, dipl.inž., Beograd
Prof. dr Božo DALMACIJA, dipl.inž., Novi Sad
Prof. dr Stanka FILIPOVIĆ, dipl.hem., Podgorica
Prof. dr Vera MITROVIĆ-TUTUNDŽIĆ, dipl.biolog, Beograd
Prof. dr Petar MILANOVIĆ, dipl.inž., Beograd
Dr Gordana NIKEZIĆ, dipl.biolog, Vinča

UREDNIK:

prof. dr Miloje MILOJEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd

Slika na koricama: Zgrada Instituta za biologiju mora u Kotoru

ŠTAMPA: ŠIP "Nikola Nikolić", Kragujevac

TIRAŽ: 400

Po mišljenju Ministarstva kulture Republike Srbije oslobođeno plaćanja poreza na promet

MODELIRANJE KVALITETA VODE I USMERAVANE SUKCESIJE IHTIOFAUNE

Prof. dr Branislav Đorđević, dipl.inž. i Tina Milanović, dipl.inž.

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

*Natura non facit saltus - Priroda ne čini skokove
(Latinska sentenca)*

REZIME

Matematički modeli (MM) omogućavaju da se uz odgovarajuće istražne radove vrlo uspešno modelira dinamizam razvoja kvaliteta vode u akumulacijama. Modeli su obuhvatili sve bitne abiotičke komponente (sadržaj kiseonika, temperaturne režime i termičku separaciju, raspored koncentracija neorganskih i organskih komponenti fizičko - hemiskog stanja vode), dok su se u sferi biotičkih komponenti uglavnom zaustavljali samo na fito- i zooplanktonu. Ukoliko se pođe sa stanovišta da se u slučaju ihtiofaune po pravilu radi o usmeravanim, antropogeno vođenim sukcesijama, koje započinju planskim poribljavanjem novih akvatorija, daje se analitički prilaz, uz primenu modifikvanih Lotka - Volterr-ovih jednačina, koji omogućava da se modeliranjem obuhvate i ključne komponente ihtiofaune, čime bi se analiza dinamizma i prognoza ponašanja vodenih ekosistema zaokružili na sve relevantne abiotičke i biotičke komponente.

KLJUČNE REČI: matematičko modeliranje, ihtiofauna, kvalitet vode, akumulacije

WATER QUALITY MODELING AND CONTROLLED SUCCESSIONS OF IHTIOFAUNA

ABSTRACT

Mathematical models (MM) and adequate investigation works enables successful water quality modeling. These models includes all relevant abiotic components (concentration of dissolved oxygen, temperature regimes and temperature stratification, concentration of organic and inorganic components of physical-chemical water conditions), while the biotic components are present only with fito- and zooplankton. In new reservoir, intiofauna mostly undergo man-controlled successions, starting with planned stocking a reservoir with fish. The paper presents analytical approach for mathematical modeling of ihtiofauna and application of Lotka - Volterr's equations.

KEY WORDS: mathematical modeling, ihtiofauna, water quality, water storage reservoirs

UVOD

U okviru ekološke kibernetike brzo se razvija čitava lepeza matematičkih modela (MM) kojima se opisuje dinamizam promena u vodenim ekosistemima. Osnovni cilj tih MM je predviđanje razvoja procesa u ekosistemima tokom vremena, posebno u slučaju promena nekih biotičkih ili abiotičkih faktora. Čovek je napokon shvatio da u vodenim ekosistima nije dozvoljeno upravljanje "eksperimentom na realnom sistemu", već da se svi planirani zahvati u prirodi moraju najpre proveriti matematičkom simulacijom. U skladu sa filozofijom matematičkog modeliranja (Đorđević, 1990), nigde tako decidno kao u ekološkoj kibernetici nije prisutan princip homomorfnih preslikavanja definisan opštom relacijom $C_r h C_m$, u kojoj su C_r i C_m realni sistem i model sistema, dok je h operator homomorfno preslikavanja, kojim se preslikava samo jedan od segmenata sistema - onaj koji je relevantan za tu fazu planiranja. Zbog toga se pojave u jednom složenom sistemu opisuju lancem međusobno povezanih ekoloških modela, od kojih svaki simulira određen segment sistema.

Ekološki modeli vodenih ekosistema mogu biti: (1) MM abiotičkih procesa, (2) MM biotičkih procesa, (3) spregnuti modeli, kojima se, posebno u novije vreme, simultano modeliraju relevantni abiotički i biotički procesi u sistemu. Na najvišem nivou opštosti abiotički procesi u vodenim ekosistemima modeliraju se opštim zakonom održanja kvaliteta, koji sveden na jediničnu zapreminu vode ima sledeći oblik

$$\partial K / \partial t + \partial (K \cdot u_j) / \partial x_j = R$$

gde prvi član označava lokalnu vremensku, a drugi konveksijsku promenu nekog kvalitativnog pokazatelja (K), dok je R uzročnik tih promena, u koji su uključeni i svi izvori i ponori, x_j - prostorne koordinate ($j=1, 2, 3$), u_j - komponente brzine u tački. Iz ove opšte relacije izvode se sistemi jednačina kojima se opisuje dinamizam promene pojedinih komponenti kvaliteta, pre svega polja koncentracija pojedinih agenasa u vodi.

Dosadašnji spregnuti MM simulirali su dinamizam najrelevantnijih abiotičkih faktora (rastvoren kiseonik, nitrati, amonijak, ortofosfati, ukupan fosfor, itd), dok su u oblasti biocenoze modelima bili obuhvaćeni samo razvoj fitoplanktona, a u novije vreme i zooplanktona. Po pravilu izostajalo je modeliranje razvoja najinteresantnije komponente biocenoza - ihtiofaune.

Razlozi za ovakvo stanje u oblasti modeliranja vodenih ekosistema mogu se naći u činjenici da se u slučaju veštačkih vodenih sistema (akumulacija, retenzija, itd) najčešće ne radi o prirodnim sukcesijama, koje se odvijaju isključivo po zakonitostima koje proističu iz abiotičkih i biotičkih faktora vodene sredine, već da se radi o veštački usmeravanim, ili, antropogeno kontrolisanim sukcesijama. Na toj činjenici se može graditi pristup modeliranju razvoja ihtiofaune u veštačkim akvatorijama, pre svega u akumulacijama namenjenim višenamenskom korišćenju voda.

MOGUĆ PRISTUP CELOVITOM MODELIRANJU VODENIH EKOSISTEMA

Pristup sa pozicija tzv. usmeravanih sukcesija ihtiofaune, koji se postiže planskim porobljavanjem tek formiranih veštačkih akvatorija, omogućava celovito modeliranje - od abiotičkih faktora, preko fito- i zooplanktona, do ključnih komponenti ihtiofaune. Taj pristup sastojao bi se od sledećih koraka.

Matematičkim modelima simulira se razvoj ključnih komponenti abiotičkih faktora, onih koji su bitni za razvoj vodenih ekosistema: temperaturni režimi jezera i procesi termičke separacije, sadržaj kiseonika u vodi, fizičko - hemijske komponente koje su bitne sa gledišta sagledavanja procesa trofije - vrednosti pH, koncentracije pojedinih neorganskih i organskih materija, providnost vode, itd.

Sledeći blok u tom jedinstvenom spregnutom MM čine modeli procesa razvoja i fluktuacije zooplanktona i fitoplanktona. Analize pokazuju da se te prve karike u trofičkom lancu jednog vodenog ekosistema mogu vrlo uspešno modelirati (Milanović, 1998). Rezultati pomenuta dva bloka MM omogućavaju da se dosta dobro oceni buduće stanje kvaliteta vode u akvatoriji, sa jasnim definisanjem funkcija promena i opsega koncentracija relevantnih abiotičkih faktora, kao i fito- i zooplanktona, u oblasti biotičkih komponenti. Modeli kvantificiraju stepen trofije u kome će se naći razmatrana akvatorija nakon perioda stabilizacije ekosistema, kao i vrednosti relevantnih faktora vodene sredine. Time su tim blokovima modela određena ključna polazišta za pristupanje modeliranju ihtiofaune.

Izbor ribljih vrsta za početno poribljavanje jezera zavisi od navedenih rezultata modeliranja kvaliteta. Eksperti za ribarstvo na osnovu vrednosti abiotičkih faktora i dinamizma razvoja fito- i zooplanktona mogu da procene sa kojim bi kombinacijama ribljih vrsta bilo najcelishodnije započeti proces sukcesija. Jasno je da su stepen trofije, kiseonični i temperaturni režim najdominantniji za taj izbor početnih struktura ribljih vrsta koje se unose u jezero.

Razne vrste riba prema svojim specifičnim fiziološkim svojstvima za održavanje zahtevaju razne tipove ishrane i mogu se uspešno koristiti kao biološki regulatori uspostavljanja i održavanja najpovoljnijih biocenoza, a time i potrebnog kvaliteta vode. Vrste i količina riba kojima se poribljava jezero zavise od tipa akumulacije, odnosno od mogućnosti i intenziteta razvoja životnih zajednica ili pojedinih njenih članova. Zbog toga se prilikom izrade projekata poribljavanja mora voditi računa o vrstama riba, odnosno svi delovi ekološke zajednice nastoje se pokriti određenim vrstama prema načinu ishrane: makrofitofage, fitoplanktonofage, zooplanktonofage, zoobentofage, nektofage itd.

Osnovno načelo kod akumulacija koje služe za snabdevanje vodom najvišeg kvaliteta je da treba tražiti takvu strukturu ribljih zajednica koja će biti najpovoljnija sa gledišta održavanja kvaliteta vode u jezeru. Sličan je zahtev i za akumulacije koje iz ekoloških razloga želimo da održimo u stanju oligotrofije, ili na gornjoj granici mezotrofije. Akumulacije Slano i Krupac primer su dobrog gazdovanja i uspešnog poribljavanja jezera upravo sa tog stanovišta. Iako su formirane na koti od oko 600 mnm, koja spada u zonu lipljana i mreke, permanentnim i strogo kontrolisanim poribljavanjem ostvareno je da su u sastavu ribljeg naselja ovih akumulacija zastupljene su uglavnom salmonidne vrste riba. U akumulaciji Krupac prisutne su samo dve riblje vrste: kalifornijska pastrmka (*Parasalmo gairdneri*) i potočna pastrmka (*Salmo trutta m. fario*), a u akumulaciji Slano četiri: kalifornijska pastrmka (*Parasalmo gairdneri*), potočna pastrmka (*Salmo trutta m. fario*), jezerska zlatovčica (*Salvelinus alpinus*) i gaovica (*Phoxinus phoxinus*). U ovim akumulacijama dominantnu ulogu, brojno i težinski, ima kalifornijska pastrmka, koja je u obe akumulacije zastupljena sa preko 80%.

Međutim, ima i nespretnih antropogenih uticaja, koji sukcesije u jezeru usmere u neželjenom smeru. Akumulaciono jezero Vlasina primer je degradacije kvaliteta vode i poremećaja formiranog stabilnog sistema, koje je izazvano kasnijim nekontrolisanim poribljavanjem. U ovom jezeru godinama se stabilno stanje održavalo sa tri riblje vrste: potočna pastrmka (*Salmo trutta m. fario*), ohridska pastrmka (*Salmo letnica*) i gaovica (*Phoxinus phoxinus*). Ubacivanjem grgeča (*Perca fluviatilis fluviatilis*) ravnoteža je poremećena, na štetu salmonidnih vrsta, i jezero je degradirano kako u ribarskom smislu, tako i u pogledu kvaliteta vode. Još jedan negativan primer je akumulacija Bovan. Nakon izgradnje brane u ovoj akumulaciji nastanile su se nekvalitetne riblje vrste: klen (*Leuciscus cephalus*), ukljeva (*Alburnus alburnus*), crna (potočna) mrena (*Barbus meridionalis petenyi*) i klenić (*Leuciscus leuciscus*). Pošto je akumulacija namenjena za vodosnabdevanje, a u njoj su bili prisutni mnogobrojni oblici fitoplanktona, zooplanktona i sitnijih vrsta ribe, radi stvaranja poželjnog stabilnog stanja kvaliteta bilo je predviđeno poribljavanje sledećim ribljim vrstama: šaran, beli i sivi tolstolobik, beli amur i smud. Međutim, do predviđenog poribljavanja nije došlo jer je korisnik vode neplanski poribio akumulaciju svim mogućim ribljim vrstama: patuljasti somić (cvergl), grgeč (*Perca fluviatilis fluviatilis*), som (*Silurus glanis*), srebrni karaš (babuška) (*Carassius auratus gibelio*), i dr. Ovim nestručnim poribljavanjem, u uslovima kada ne postoje mogućnosti potpunog pražnjenja akumulacije i izlova svog ribljeg naselja prisutnog u njoj, ne postoji mogućnost nekog kontrolisanog gazdovanja ovim jezerskim ekosistemom.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je modeliranje riba izuzetno složen proces, koji zavisi od velikog broja različitih uticaja. U modelima kvaliteta vode, u koje se uključuju ribe kao najviša karika u lancu ishrane, koriste se jednostavniji tipovi biotičkih modela, npr. modeli koji se zasnivaju na odnosima između jedinki unutar iste vrste i odnosima jedinki različitih vrsta - homeotipskim i heterotipskim koakcijama. Ovi odnosi opisuju se jednačinama, koje u opštem obliku imaju sledeći oblik:

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - \sum_{i=1}^m \alpha_{ji} N_i}{K_1} \right) = r_1 N_1 \left(\frac{K_1 - \alpha_{11} N_1 - \sum_{i=2}^m \alpha_{1i} N_i}{K_1} \right)$$

.....

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j N_j \left(\frac{K_j - \sum_{i=1}^m \alpha_{ji} N_i}{K_j} \right) = r_j N_j \left(\frac{K_j - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_{ji} N_i - \alpha_{jj} N_j - \sum_{i=j+1}^m \alpha_{ji} N_i}{K_j} \right)$$

.....

$$\frac{dN_j}{dt} = r_j N_j \left(\frac{K_j - \sum_{i=1}^m \alpha_{ji} N_i}{K_j} \right) = r_j N_j \left(\frac{K_j - \sum_{i=1}^{j-1} \alpha_{ji} N_i - \alpha_{jj} N_j - \sum_{i=j+1}^m \alpha_{ji} N_i}{K_j} \right)$$

gde je:

N - veličina (brojnost) određene populacije

r - specifična brzina rasta

K - granica rasta populacije

α_{ij} - koeficijent konkurencije između vrsta, koji mogu biti pozitivni i negativni. U slučaju kompetitivnog odnosa, koeficijent α_{ij} je pozitivan, tako da u jednačini učestvuje sa negativnim predznakom, a označava usporavajući uticaj druge vrste (i) u odnosu na prvu vrstu (j). U slučaju kooperativnog odnosa, koeficijent α_{ij} je negativan, pa u jednačini učestvuje sa pozitivnim predznakom, što označava doprinos vrste j u porastu populacije (brojnosti) vrste i

m - broj vrsta koje se razmatraju modelom.

Opisane jednačine promene brojnosti populacije, poznate pod nazivom Lotka - Volterr-ove jednačine, sastoje se od tri grupe članova. Prva grupa ($r_j N_j$) definiše slobodan rast (povećanje brojnosti) populacij. Drugom grupom ($r_j N_j - \alpha_{ji} N_i / K_j$, koja uvek ima negativan predznak, modeliraju se homeotipske koakcije, odnosno smanjenje brzine rasta populacije usled efekta samoograničavanja rasta. Trećom grupom ($r_j N_j - \sum_i \alpha_{ji} N_i / K_j$) opisuju se heterotipske koakcije, odnosno uticaji između jedinki različitih vrsta, koji mogu i pozitivno i negativno uticati na rast određene populacije.

Efekte homeotipskih i heterotipskih koakcija obično se predstavljaju matricom koeficijenata uticaja A , a elementi ove matrice određuju se na osnovu rezultata empirijskih istraživanja.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \cdots & \alpha_{1j} & \cdots & \alpha_{1m} \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} & \cdots & \alpha_{2m} & \cdots & \alpha_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{ji} & \alpha_{j2} & \alpha_{j3} & \cdots & 1 & \cdots & \alpha_{jm} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \alpha_{m3} & \cdots & \alpha_{mj} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

I pored postojanja određenih matematičkih modela, riblja populacija se u najvećem broju modela kvaliteta vode smatra konstantnom ili promenljivom vrednošću dobijenom na osnovu statistike ulova.

Neosporno je da je sistem jednačina Lotka - Volterr-a bazna platforma za modeliranje razvoja ihtiofaune u vodenim ekosistemima, posebno u akumulacijama. Kada se radi o veštačkim akumulacijama, bitna je činjenica da se najčešće radi o kontrolisanim, ili tačnije, usmeravanim sukcesijama. Naime, retko se veštačke akumulacije prepuštaju spontanom, nekontrolisanom razvoju ihtiofaune, samo na bazi tu zatečenih pionira. Naprotiv, matematičko modeliranje razvoja procesa u jezeru omogućava da se utvrde uslovi za razvoj pojedinih stabilnih struktura ihtiofaune, te da se na bazi toga planskim porobljavanjem započne kontrolisani razvoj sukcesija,

sve do određenih, unapred definisanih - željenih klimaksnih stanja. Jasno je da se radi o adaptivnom procesu, koji se uz odgovarajuća istraživanja "in situ" tokom procesa sukcesija, može usmeravati ka željenom stabilnom vodenom ekosistemu, koji odgovara ekološkim zahtevima, pre svega sa gledišta biološke raznovrsnosti i stabilnosti, ali i zahtevima višenamenskog korišćenja takvih akvatorija. Jednačine Lotka - Volterra, uz odgovarajuća istraživanja, kojima bi se definisala matrica koeficijenata A , kojom se egzaktno opisuju interakcije između pojedinih vrsta ihtiofaune, pružaju mogućnost da se apriornim modeliranjem iznadu poželjna stanja na kojima se može stabilizovati jezerski ekosistem nakon određenih sukcesija. Takođe, time se omogućava planiranje inicijalnih poribljavanja i korekcija istih tokom vremena, kao i plansko usmeravanje sukcesija u skladu sa postavljenim zahtevima da se u veštačkim akumulacijama ostvare dovoljno stabilni ekosistemi, sa zahtevanim pokazateljima raznovrsnosti.

ZAKLJUČCI

Dosadašnja iskustva sa matematičkim modelima za praćenje razvoja kvaliteta vode u veštačkim akvatorijama pokazuju da se uz odgovarajuće istražne radove, koji treba da obezbede merenja parametara kvaliteta za početne i granične uslove, može obezbediti uspešna prognoza razvoja abiotičkih faktora u akumulacijama, kao i dinamizam razvoja fito- i zooplanktona. Tim modelima nije bio razmatran razvoj ihtiofaune. Međutim, modeli omogućavaju da se na bazi prognoze razvoja abiotičkih i biotičkih komponenti oceni koje bi se stabilne strukture ribljih vrsta mogle formirati u jezeru, uz odgovarajuća poribljavanja.

Uz realnu pretpostavku da se planskim veštačkim poribljavanjima sukcesije ihtiofaune u veštačkim jezerima usmeravaju u željenom pravcu, u radu se pokazuje da se primenom Lotka - Volterovih jednačina mogu obuhvatiti i komponente ihtiofaune, čime bi se modeli dinamizma promene kvaliteta jezera zaokružili u jedinstvenu sistemsku celinu.

LITERATURA

- [1] Đorđević, B.: Vodoprivredni sistemi, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [2] Djordjević, B. et al.: Ecological models in planning of water resources systems, Simposium on environmentally problems of water resources utilization, Bangkok, 1993.
- [3] Carlson, E.R.: A Trophic State Index for Lakes, Limnology and oceanography, 3, 1977.
- [4] Djordjević, B.: Cybernetics in Water Resources Management, WRP, Fort Collins, 1993.
- [5] Martinović - Vitanović, V. i Kalifatović, V.: Osnovne hidrobiološke karakteristike kopnenih voda Jugoslavije. U: Biodiverzitet Jugoslavije sa pregledom vrsta od međunarodnog značaja. Urednici: Stevanović, V. i V. Vasić, Savezni zavod za zaštitu i unapređenje zdravlja, publ. 21, Beograd, 1996.
- [6] Milanović, T.: Informatička i modelska podrška upravljanju sistemom brana - akumulacija, magistarska teza, Građevinski fakultet u Beogradu, 1998.