Pozitivne i negativne strane restauracije slatkovodnih ekosustava

Ivanković, Lara

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:738393

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Pozitivne i negativne strane restauracije slatkovodnih ekosustava

Positive and negative aspects of freshwater restauration

Lara Ivanković
Preddiplomski studij biologije
(Undergraduate Study of Biology)
Završni seminar
Mentor: Izv. prof. dr. sc. Maria Špoljar

Zagreb, 2015.

Sadržaj

1. Uvod
2. Metode restauracije
   2.1. Kemijske metode
   2.2. Fizičke metode
   2.3. Biološke metode
      2.3.1. Biomanipulacija ribama
      2.3.2. Restauracija submerznim makrofitima
      2.3.3. Uspostavljanje povoljnih vrsta
3. Literatura
4. Sažetak
5. Summary

1. Uvod

Ljudi su oduvijek bili vezani uz jezera i rijeke. Tu su gradili naselja, koristili vodu za piće i nalazili hranu. Svojim aktivnostima oduvijek su utjecali na okoliš. Negativni utjecaji ljudskih aktivnosti očituju se kroz npr: nesređene kanalizacijske ispuste manjih ili većih domaćinstava, ispiranje s poljoprivrednih površina i/ili industrijske otpadne vode. Posljedice zagađenja mogu izazvati nepovratno loše uvjete koji se ne mogu ispraviti samo uklanjanjem uzroka zagađenja, već se moraju poduzeti složene, skupe i opetovane mjere koje nisu uvijek uspješne.

Jedan od najvećih problema izazvanih čovjekovim (antropogenim) utjecajem je eutrofikacija. Riječ je o nizu negativnih pojava, poput zamućenja vode, cvjetanja algi i gubitka bioraznolikosti, a posljedica su visokih koncentracija hranjivih tvari ili nutrijenata (fosforovi i dušikovi spojevi, Slika 1). Eutrofikacija je ozbiljna prijetnja mnogim jezerima , a proteklih 20 - 30 godina primijenjene su brojne metode za poboljšanje kvalitete vode (Perrow i sur. 2008).

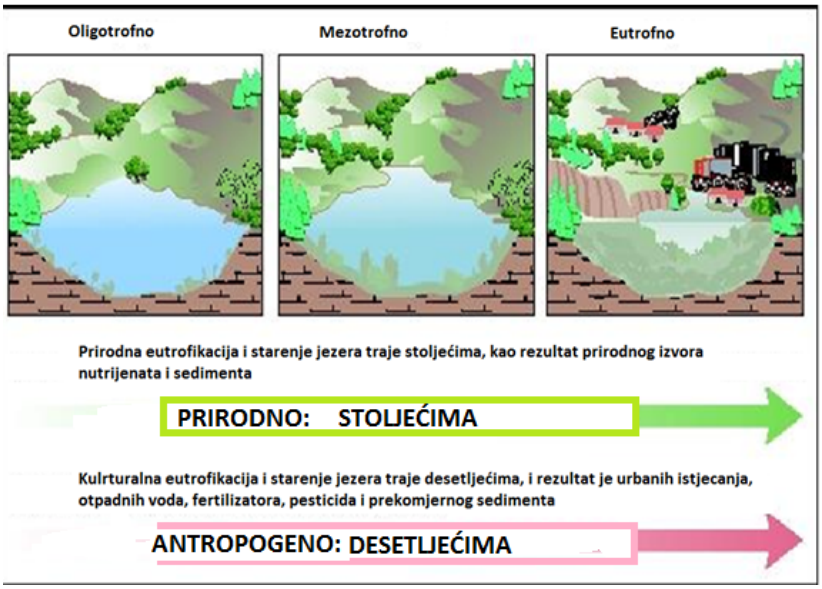


Slika 1 Usporedba oligotrofnog jezera Hungabee u Kanadi (lijevo) i eutrofnog jezera Taihu u Kini (desno) (preuzeto sa www.naturespic.co.nz)

U oligotrofnim i mezotrofnim jezerima, niska koncentracija hranjivih tvari usporava razvoj fitoplanktona, a dobra osvjetljenost omogućava razvoj i dominaciju

submerznih makrofita. Veće koncentracije hranjivih tvari potiču razvoj fitoplanktona, smanjuju prozirnost što onemogućava razvoj submerznim makrofitima. Daljni unos nutrijenata ima brojne efekte na ekologiju jezera, kao na primjer smanjenje bioraznolikosti vrsta, povečanje biomase fitoplanktona i nestanak vegetacije u jezeru. Intenzivna primarna i sekundarna produkcija utječu na povećanje koncentracije organskih tvari, koje trule na dnu, smanjujući koncentraciju kisika, i oslobađaju nove koncentracije nutrijenata u vodu. Time se uz vanjski (alohtoni, eksterni), javlja se i unutarnji (autohtoni, interni) dotok nutrijenata. Interni unos fosfora iz sedimenta u stupac vode onemogućava oporavak jezera, čak i kad je eksterni unos zaustavljen (Scheffer i sur. 2006).

Zagađenje i eutrofikacija utječu i na brzinu rasta sedimenta. Prema istraživanjima koja su proveli Digerfeldt i Hakansson (1993), normalan porast sedimenta u skandinavskim jezerima iznosi 0.2 mm godišnje, ali zbog dotoka vode bogate nutrijentima, taj broj može iznositi i 10 mm godišnje. Time jezera brže stare i dolazi do njihove sukcesije i terestrifikacije (Perrow i sur. 2008, Slika 2).



Slika 2 Prirodna i antropogeno uvjetovana sukcesija jezera (preuzeto s www.untamedscience.com)

Prilikom restauracije plitkih eutrofnih jezera cilj je da podvodni makrofiti nanovo prevladaju nad fitoplanktonom, što se pokušava postići kemijskim, fizičkim i biološkim metodama restauracije. Ovaj rad će analizirati postojeće metode poboljšanja kvalitete vode prvenstveno u plitkim jezerima, uz naglasak na:

1) pozitivne i negativne utjecaje primjene određene metode
2) promjene biocenoze i limnoloških čimbenika primjenom bioloških metoda

2. Metode restauracije

2.1. Kemijske metode

Prvi korak u restauraciji jezera je kontrola nutrijenata (fosfora i dušika) primjenom septičkih sustava, kontroliranjem urbanih i agrikulturnih istjecanja te sustavom bazena koji zadržavaju zagađivače. Koncentracija fosfora lakše se kontrolira, jer je netopiv i lako se precipitira, dok su nitrati i amonijak iznimno topivi i lako se ispiru iz tla (Moss i sur. 1996).

Prva metoda smanjenja koncentracije fosfora u stupcu vode je dodavanje vode bez ili s niskom koncentracijom fosfora u sustav pri čemu se alge isperu. Ograničenje ove metode je što se može provesti samo u malim sustavima, kao što sun a primjer mala jezerca u gradskim parkovima (Björk i sur. 1994).

Druga metoda je aeracija i cirkulacija. Aeracija uključuje dodavanje zraka ili kisika u epilimnij, hipolimnij ili ispod leda, precipitaciju fosfora iz anoksične vode hipolimnija i redukciju njegovog otpuštanja iz sedimenta, uklanjanje amonijaka i sumporovodika. Aeracija hipolimnija kao cilj ima poboljšanje kvalitete staništa i vode za piće (pogotovo u rezervoarima) te inhibicije otpuštanja fosfora iz sedimenta.

Ispuštanje hipolimnija je metoda restauracije kojom se uklanja voda bogata nutrijentima. Uspostave se povoljnije koncentracije kisika i fosfora, kontrolira se rast algi, smanji se ukupna količina amonijaka i toksičnih metala. Voda se uklanja pomoću pumpi i brana (selektivno otpuštanje vode). Ova metoda ima potencijal za dugotrajan

učinak. Negativne strane su visoka cijena postupka te opasnost da se nanese dodatna šteta jezeru ako se ukloni previše vode.

Oksidacija sedimenta je metoda u kojoj se crpi organska tvar iz sedimenta s ciljem redukcije unutarnjeg (internog) otpuštanja fosfora. Oksidira se 10-20 cm sedimenta. Potom se doda kalcijev nitrat ($Ca(NO_3)_2$) u sediment radi stimulacije denitrifikacije. Može se dodati i $FeCl_3$ za precipitaciju H_2S. Ova metoda može reducirati unutarnji dotok fosfora za 50-80 %. Negativne strane su mala efektivnost u slučaju vanjskog unosa nutrijenata. Nadalje, malo je istraživanja provedeno vezano uz ovu metodu.

Metode cirkulacije uključuju horizontalno miješanje vode (uklanjanje nakupina algi), vertikalno miješanje (aeracija) i dodavanje vode zasićene s CO_2 u epilimnij, radi usporavanja rasta štetnih algi i cijanobakterija.

2.2. Fizičke metode

Drenaža je postupak uklanjanja sedimenta. Primjenjuje se u slučajevima kad kemijski tretman nije moguć ili nije isplativ. Ciljevi drenaže su:

1) kontrola rasta makrofita;
2) uklanjanje nutrijenata u sedimentu i zagađivača;
3) povećanje volumena jezera uklanjanje rasplodnih tjelešaca nepoželjnih algi;

Suha drenaža - isuši se većina jezera da bi se mogla koristiti teška konvencionalna tehnika (npr. bageri, Slika 3).



Slika 3 Suha drenaža na jezeru Needwood (USA)
(Preuzeto sa www.untamedscience.com)

Mokra drenaža - voda se ukloni u maloj količini, a iskopavanje se vrši dizalicama s obale.
Hidraulička drenaža - obično uključuje usisavanje pomoću bušilica koje su pričvršćene za brod.
Pneumatička drenaža - koristi zračni pritisak za izbacivanje sedimenta iz jezera.

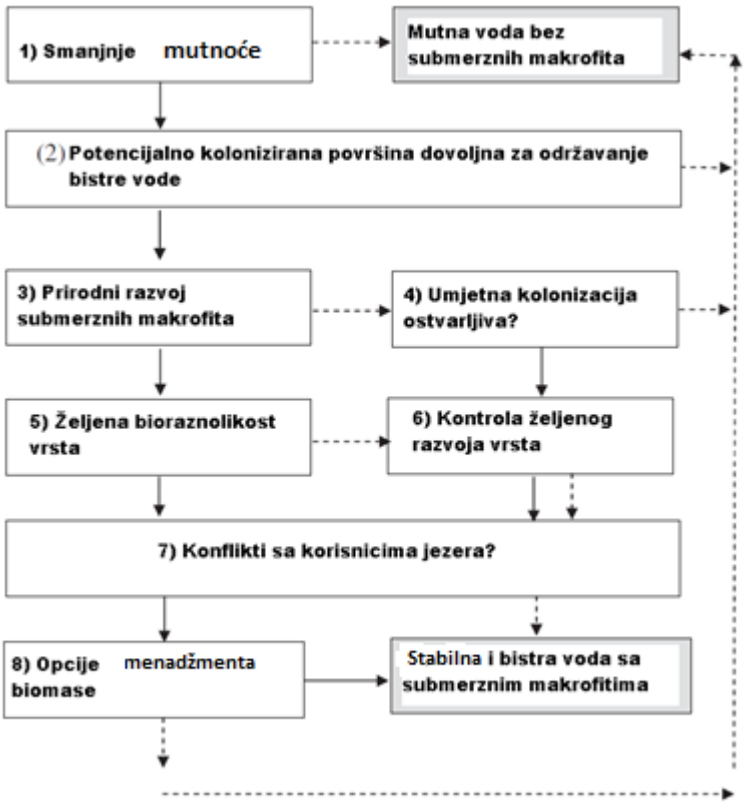
Drenaža postiže bolji uspjeh kod plićih jezera s nižom stopom sedimentacije, organski bogatim sedimentom i dugim vremenom prebivanja (Bronmark i sur. 1996).
Fizičke metode mogu izazvati kratkotrajno cvjetanje algi i smanjenje prozirnosti. Mogu re suspendirati i mobilizirati nutrijente i toksične supstance iz sedimenta. Treba uzeti u obzir i problem odstranjenog sedimenta kojeg treba pravilno zbrinuti dalje od jezera.

2.3. Biološke metode

Biomanipulacija je niz metoda kojima se prilagođava biocenoza jezera zbog poboljšanja kvalitete vode. Ciljevi bio manipulacije su:
1) kontrola abundancije algi kad regulacija nutrijenata nije moguća;
2) povećanje mase herbivora da bi se smanjila biomasa algi;

3) manipulacija hranidbene mreže radi redukcije planktivornih riba i povećanja biomase velikog zooplanktona (npr. *Daphnia* sp.);

4) limitacija abundancije bentičkih riba koje ruju po sedimentu i time unose fosfor u stupac vode.



Slika 4 Prikaz restauracijskog procesa. Puna linija strelice označava pozitivan utjecaj, a iscrtkane linija negativan utjecaj (Jeppesen i sur. 2007)

2.3.1. Biomanipulacija ribama

U mutnoj vodi, s velikom mutnoćom zbog biomase fitoplanktona, dominiraju populacije zooplanktivornih i/ili bentivornih riba. U Europi, to su najčešće vrste iz porodice šarana (lat. *Cyprinidae*), poput bodorke (*Rutilus rutilus)* i deverike (*Abramis brama)*. U bistrim vodama, gdje prevladavaju submerzni makrofiti, dominiraju piscivorne i herbivorne ribe, kao što su grgeč (*Perca fluviatilis)* i štuka (*Esox lucius)*.

Uklanjanje zooplanktivornih riba (Slika 5) najčešći je oblik biomanipulacije (Jeppesen i sur. 2012.). Njihovim uklanjanjem dolazi do trofičke kaskade u hranidbenom lancu - raste abundancija zooplanktona (*Daphnia sp*., rotifera), a kao posljedica toga smanjuje se abundancija fitoplanktona (Huser i sur. 2015).

Druga metoda je uklanjanje bentoskih detritovora i omnivora. Te ribe prilikom hranjenja, rujući po sedimentu, podižu ga u stupac vode (bioturbacija), raste i koncentracije hranjivih tvari u vodi, što pogoduje razvoju fitoplanktona. Ribe se mogu uklanjati izlovom ili otrovima, ali korištenje otrova nije preporučljivo jer osim ciljanih vrsta riba uništava i druge organizme (Bronmark i sur. 1998).

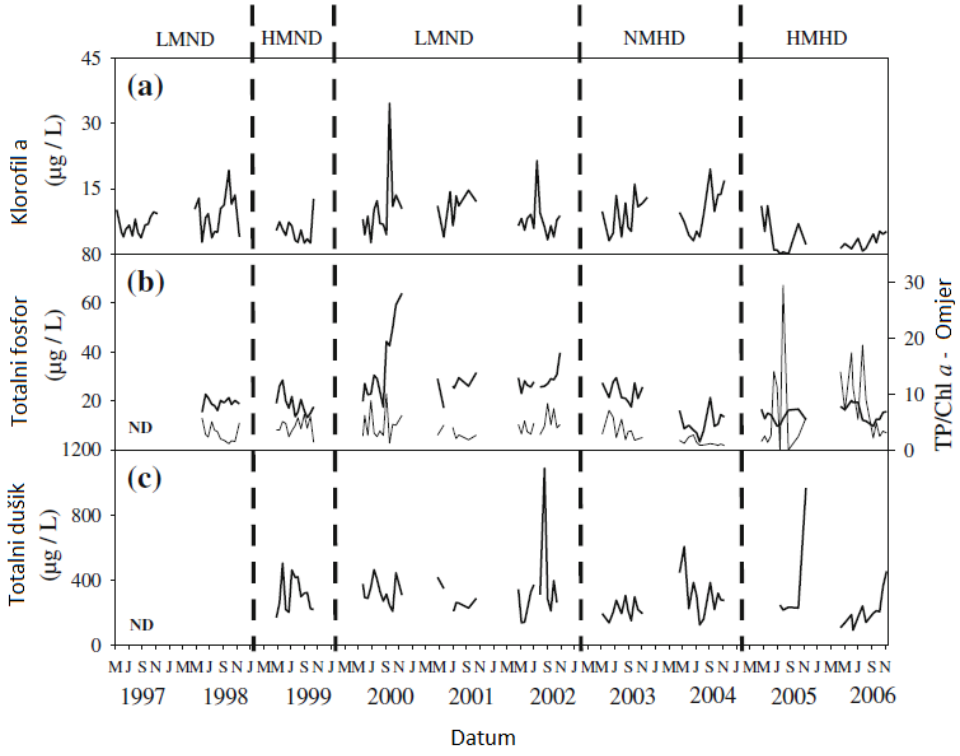


Slika 5 Zooplanktivor bodorka (*Rutilus rutilus)* lijevo i bentivor deverika (*Abramis abrama)* desno (www.naturespic.co.nz)

Treća metoda u biomanipulaciji ribama je unos piscivornih vrsta kao što su grgeč (*Perca fluviatilis),* štuka *(Esox lucius), p*otočna pastrva *(Salmo trutta), s*muđ *(Sander lucioperca)* kako bi se kontrolirao fitoplankton. Ove vrste predacijom smanjuju brojnost zooplanktivornih riba. Rezultat toga je porast brojnosti zooplanktona i smanjenje biomase fitoplanktona (Hilt i sur. 2006).

Nadalje, unose se pelagički herbivori poput sivog šarana (*Hypophthalmichthys nobilis),* srebrnog šarana *(Hypophthalmichthys molitrix*) koji se hrane fitoplanktonom, posebno cijanobakterijama. Ova metoda se obično primjenjuje u toplijim područjima, npr. Mediteran, gdje su ribe često omnivorne. Jednom kad se uspostavi dominacija submerznih makrofita unose se herbivorne vrste koje sprečavaju preintenzivan razvoj makrofita (Björk i sur. 1994)

Primjer uspješne biomanipulacije ribama je restauracija zastićenog jezera Shirakaba u Japanu (Ha i sur. 2003). Unesena je piscivorna vrsta kalifornijska pastrva (*Oncorhynchus mykiss*) zajedno s vrstama roda *Daphnia*, koje se hrane fitoplanktonom, a pastrva zooplanktivnornim ribama. Prije biomanipulacije prozirnost vode bila je 2 m, nakon biomanipulacije porasla je na 4 m. Smanjenje biomase fitoplanktona dovelo je do ekspanzije submerznih makrofita. Smanjena je i koncentracija ukupnog fosfora (eng. *Total Phosphorous*, TP, Slika 6).



Slika 6 Omjeri ukupnog fosfora i klorofila *a* tijekom pokusa. Kratice: LMND (eng. *low macrophyte density and few or no D. galeata*), HMND (eng. *high macrophyte density and no D. galeata*), i NMHD (eng. n*omacrophyte density and high D. galeata density*) obilježavaju različite brojnosti vrste roda *Daphnia*

Još jedan primjer biomanipulacije je dansko jezero Engelsholm, iz kojeg je uklonjeno 19 t ciprinida u razdoblju 1992.-1993. (Hilt i sur. 2006). Ubrzo nakon

biomanipulacije došlo je do redukcije klorofila a, ukupnog fosfora i dušika (eng. *Total Nitrogen,* TN), a prozirnost se povećala. Biomasa fitoplanktona se značajno smanjila dok su abundancija i bioraznolikost zooplanktona porasli (Tablica 1).

Tablica 1 Utjecaj biomanipulacije na biomasu i bioraznolikost fitoplanktona i zooplanktona u jezeru Engelsholm.

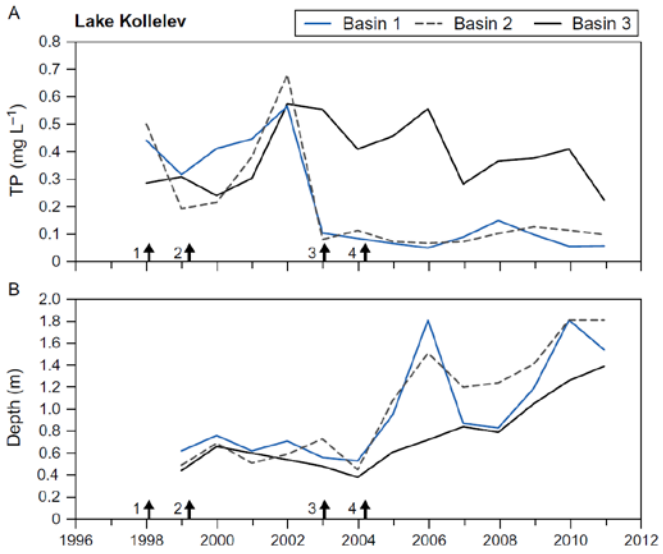
	Fitoplankton prije	Fitoplankton poslje	Zooplankton prije	poslje
Biomasa	6.27–31.89–116.15	0.65–3.40–21.45	393.99–942.08–2590.40	237.27–624.93–1481.48
CV	0.65	1.08	0.7	0.62
Bogatstvo	3.31–5.02–7.30	3.58–6.57–11.68	7.38–10.29–12.58	7.79–10.36–12.89
CV	0.25	0.3	0.16	0.18
Podjednakost	0.12–0.61–1.17	0.46–1.10–1.67	0.97–1.22–1.53	0.79–1.15–1.62

CV – koeficijent varijacije (eng. *Coeficient of variation*)

Negativna strana biomanipulacije su kratkotrajni efekti. U mnogim slučajevima, nakon 10-15 godina dođe do povratka zamućenja vode i dominacije neželjenih vrsta (Moss i sur. 1996). Manipulacija ribama također ostavlja više fosfora u sedimentu, što kasnije može biti izvor internog unosa fosfora. Izlov bentoskih vrsta pokazao je najbolje dugoročne rezultate. Dugoročni efekti biomanipulacije su slabo istraživani.

Biomanipulacija se može kombinirati i s kemijskim tretmanom. Plitko jezero Kollelev u Danskoj je primjer kombinacije biološkog i kemijskog tretmana (Jeppesen i sur. 2007). Prije restauracije jezero je podjeljeno na tri bazena. Biomanipulacija je uključivala uklanjanje ciprinida i grgeča. Tretman aluminijem (toksičan za fitoplankton) se pokazao uspješnim. Koncentracija ukupnog fosfora (TP) je značajno smanjena u

bazenima 1 i 2, gdje je kombinirana s kemijskim tretmanom dok u bazenu 3, u kojem se nije primjenio aluminij, njegove su koncentracije ostale visoke (Slika 7).



Slika 7 Ukupni fosfor (TP) (A) i prosječna ljetna Secchi dubina u tri bazena jezera Kollelev u Danskoj. Maksimalna dubina je 180 cm. Strelica 1: dodatak željeza koje veže P u bazenima 2 i 3. Strelica 2: prva Biomanipulacija u svim bazenima. Strelica 3: tretman aluminijem u bazenima 1 i 2. Strelica 4: druga biomanipulacija.

2. 3. 2. Restauracija submerznim makrofitima

Submerzni makrofiti imaju važnu ulogu u strukturi plitkih jezera. Održavaju vodu bistrom, kontroliraju koncentraciju nutrijenata, proizvode kisik i povećavaju bioraznolikost pružajući zaklon i hranu brojnim organizmima (Špoljar i sur. 2012, Štulec 2005).

Ukoliko u jezeru nije bilo makrofita dulje od dvadeset godina, potrebno je testirati vijabilnost i prisutnost propagula u sedimentu i procijeniti mogu li se makrofiti rekolonizirati prirodnim putem. Makrofiti mogu jako brzo rekolonizirati jezersko dno (Moss i sur. 1997). Primjer su nizozemska jezera Duinigermeer i Ijzeren Man. Dva mjeseca nakon uklanjanja riba, površina jezera obrasla makrofitima iznosila je 50%, a prije restauracije makrofiti nisu bili prisutni (Salvador i sur. 2011).

Propagule, spore i druga rasplodna tijela mogu dugo opstati u sedimentu ili biti unesene u jezero na druge načine. U plitkom jezeru Steinhuder Meer makrofiti su se nanovo javili nakon 40 godina izostanka (Bakker i sur. 2013). U vegetaciji je dominirala vrsta *Elodea muttallii* koja prije nije zabilježena u jezeru i koja se primarno širi vegetativnim fragmentima. Prirodni povratak submerznih makrofita nije uvijek uspješan. Višegodišnji nepovoljni uvjeti mogu rezultirati izostankom ili nevijabilnošću propagula. Uklanjaju se i tijekom drenaže sedimenta. Visoke koncentracije amonijaka i sulfida otežavaju razvoj sjemenja i spora.

Rekolonizaciju submerznih makrofita otežavaju i biljojedi. Makroinvertebrati, kao što su ličinke vodenih kukaca, često se hrane biljkama (Moss i sur. 1996). U njemačkim plitkim jezerima najveći *grazing* (konzumiranje biljne hrane) nad makrofitima izazivaju vertebrati, od ptica labud (*Cygnus olor*) i crna liska (*Fulica atra*), a od riba crvenperka (*Scardinius erythrophthalamus*), žutoperka (*Rutilus rutilus*) i jez (*Leuciscus idus*), te šaran (*Cyprinus carpio*) i devorika (*Abramis brama*), koji čupaju korijenje makrofita dok ruju sediment (Moss i sur. 1996).

Mladi makrofiti se mogu zaštititi posebnim mrežama i kavezima, ali ova metoda restauracije nije u širokoj uporabi, zbog visoke cijene i teškoća u održavanju i postavljanju.

Sadnja makrofita se koristi ako:

1) propagule potpuno izostaju iz jezera;
2) ako prethodne restauracijske metode nisu dostatne za dugoročno održavanje bistre vode, već su za to potrebni submerzni makrofiti;
3) restauracijske metode uključuju unos štuke (*Esox lucius*) koja treba submerzne makrofite za uspješan razvoj;
4) razvoj vrsta kratke stabljike bude nužan u pojedinim djelovima jezera radi rekreacijske uporabe;

Koje će se vrste rekolonizirati ovisi o tipu jezera (alkalno/acidofilno, meka/tvrda voda itd.), prijašnjoj vegetaciji, vrstama tipičnim za to područje, potencijalnoj uporabi

jezera i prikladnosti vrsta za prijenos i sadnju, koju bi se trebalo provesti na početku sezone, u zaštićenom dijelu jezera, do dubine od 1 m. Tri su faze sadnje makrofita.

Prvo se kontrolna vrsta sadi u manjoj količini na zaštićenom području, tijekom prve sezone. U drugoj fazi, vrste uspjele u prvoj fazi se dalje sade, a testiraju se nove vrste. Treća faza uključuje prirodno razmnožavanje odabranih vrsta.

Najbolje je koristiti lako održive vrste vrste, npr. *Chara contraria*, *C. vulgaris, C. fragilis* i *Nitella mucronata*. Rott (2005) je zasadio makrofite na površini od 200 m^2 vrstama *Myriophylum spp*. i *Chara contraria*, u jezeru na jugu Njemačke, 2002. godine. Godinu kasnije biljke su su kolonizirale 53 000 m^2, uključujući vrste koje nisu bile sađene. Makrofiti su potisnuli cijanobakterije koje su prekrivale dno jezera.

Jedan od načina sadnje je unos sedimenta bogatog propagulama i oosporama iz ribogojilišta krajem zime. Pri tome postoji rizik unosa nametnika i drugih nepoželjnih vrsta (Huser i sur. 2015).

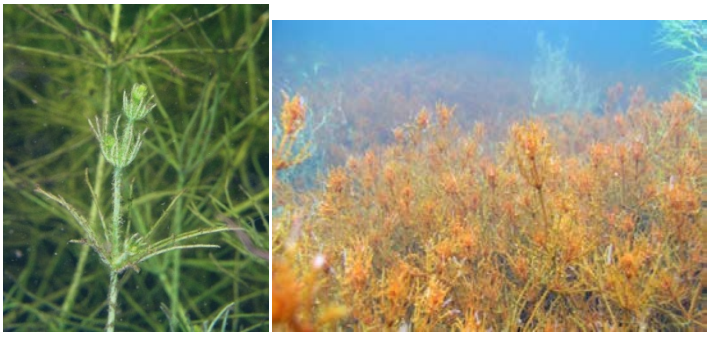
2. 3. 3. Uspostavljanje povoljnih vrsta makrofita

Kad se osiguraju dobri uvjeti za rast makrofita, pitanje je koje će se vrste razviti i prevladavati. Monokulture su česte u eutrofnim jezerima i mogu dovesti do kolapsa biljne zajednice.

Najpoželjnija je dominacija parožina (*Charophyta*). One povećavaju prozirnost vode, reduciraju fitoplankton izlučivanjem alelopatskih tvari (tvari koje mogu pozitivno ili negativno utjecati na druge organizme i resuspenziju sedimenta te imobiliziraju višak nutrijenata iz vode. Fosfor i kalcijev karbonat ($CaCO_3$) precipitiraju u kristalne i mineralne strukture (Scheffer i sur. 1993). Nemaju dugačku stabljiku pa ne ometaju rekreativne aktivnosti (plivanje, veslanje). Kako su kalcificirane, njihovi habitusi tonu na dno i ne smetaju plivačima.

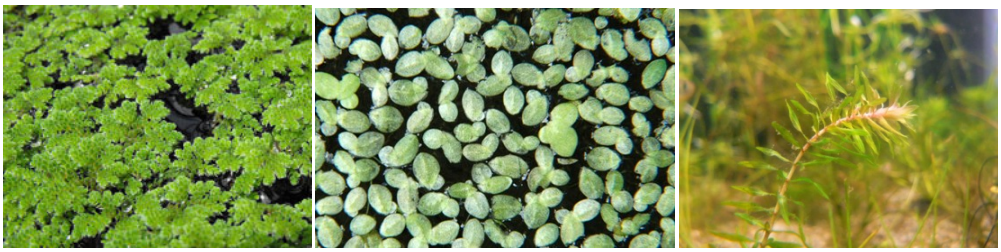
Jedan od uspješnih primjera rekolonizacije parožina je jezero Krankesjon u Švedskoj (Björk i sur. 1994). Nakon uspostave bistre vode jezerom su dominirale vrste *Chara hispida, C. rudis* i *C. tomentosa* (Slika 8).

Drugi primjer je umjetno plitko jezero u nacionalnom parku Albufera de Valencia (AVNP) stvoreno u sklopu programa obnove takvih jezera koja su uništena zagađenjem, s konačnim ciljem obnove lokalne bioraznolikosti submerznih makrofita, posebno Charophyta. Ubrzo nakon navodnjavanja, pet vrsta je spontano izraslo iz oospora u sedimentu. Populacija vrste *Chara hispida* je dominirala u zajednici gustim livadama koje su prekrile cijeli bazen. Parožine su smanjile gustoću fitoplanktona i povećale prozirnost vode. *C. hispida* je precipitirala $CaCO_3$ te je održavala niske razine fosfora u vodi. Reduciran dotok vode, salinitet, koncentracija nutrijenata i herbivori su negativno utjecali na populaciju parožina, ali unatoč tome one i dalje predstavljaju najgušću submerznu vegetaciju u AVNP.



Slika 8 *Chara hispida* (lijevo) *i Chara tomentosa* (desno) (http://alienplantsbelgium.be/)

Egzotične vrste makrofita se također koriste u rekolonizaciji jezera. One povećavaju bioraznolikost, a ne štete autohtonim vrstama. Najčešće egzotične vrste su *Azolla filiculoides, Lemna minuta, Myriophyllum aquaticum, Egeria densa* i *Egeria nuttallii* (Jeppesen i sur. 2009, Slika 9). Invazivna vrsta *E. nuttallii* bi mogla predstavljati značajan rizik europskim slatkovodnim ekosustavima s obzirom na svoju trenutnu distribuciju, brzinu širenja i potencijalno visoku biomasu. Uočena negativna korelacija između *E. nuttallii* i parožina je zabrinjavajuća zbog ugroženog statusa mnogih parožina diljem Europe (Huser i sur. 2015).



Slika 9 S lijeva na desno: *Azolla filiculoides*, *Lemna minuta*, *Egeria nuttallii* (http://alienplantsbelgium.be/)

Razvoj željenih vrsta makrofita može se kontrolirati ovisno o namjeni. U bavarskim jezerima polietilenskim pokrivačima pokušao se suzbiti rast visokih trava (Huser i sur. 2015). Sade se vrste roda *Chara* kratkog habitusa, jer vrste s visokim habitusom ometaju rekreacijske aktivnosti u jezeru. Problem ovog postupka je opasnost od kolapsa jezerske vegetacije, što se lako događa u nestabilnim ekosustavima kad biomasa makrofita padne ispod određene granice.

5. Literatura

Bakker, E. S. Sarneel, J. M. Gulati, J. D. Liu, Z. 2013. Restoring macrophyte diversity in shallow temperate lakes: biotic versus abiotic constraints, Hydrobiologia 710: 23-37.

Björk, S. Eiseltova, M. Hauser, V. Hrbaček, J. 1994. Restoration of lake ecosystem, a holistic approach, IWRB Publication 32, Slimbridge, UK.

Bronmark, C., Hansson, L.A. 1998. The biology of lakes and ponds, Oxford university press, Oxford.

Ha, J. Y. Saneyoshi, M. Park, H. D. Toda, H. Kitano, S. Homma, T., 2013. Lake restoration by biomanipulation using piscivore and *Daphnia* stocking; results of the biomanipulation in Japan, Limnology 14: 56-60.

Hilt S., Gross E. M., Hupfmer M., Melzer A. 2006. Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes – A guideline and state of the art in Germany, Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters 36: 43-51.

Huser, B. J. Bajer, P. G. Chizinski, C. J. Sorensen, P. W. 2015. Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on sediment mixing depth and mobile phosphorus mass in the active sediment layer of a shallow lake, Hydrobiologia 450: 25-47.

Jeppesen E., Jensen J. P., Søndergaard M. i Lauridsen T. L., 1999. Trophic dynamics in turbid and clerwater lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity, Hydrobiologia 408/409: 217–231.

Jeppesen E. Søndergaard M. Lauridsen T. L. Davidson T. A. 2007. Biomanipulation as a Restoration Tool to Combat Eutrophication: Recent Advances and Future, Advances in Ecological Research, Hydrobiologia 584: 239-252.

Moss, B. Madgwick, J. Phillips, G. 1997. A guide to the restauration of nutrient-enriched shallow lakes, W. W. Hawes, UK.

Perrow, M. R. Skeate, E. R. Leeming, D. England, J. Tomlinson, M. L. 2008. Uncertainty Surrounding Ecological Targets and Response of River and Stream restoration, River Restoration: Managing the Uncertainty in Restoring Physical Habitat, pp. 139-147.

Salvador, S. C. Ramesh, R. Kanika, S. Cobelas, M. A. Andrés, R. S. 2011. Biogeochemical Indicators of Nutrient Enrichments in Wetlands: The Microbial Response as a Sensitive Indicator of Wetland Eutrophication, Institute of Natural Resources, Spanish Council for Scientific Research (CSIC), E-28006 Madrid, Spain.

Scheffer, M. Hosper, S.H. Meijer, M.L Moss, B. Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology & Evolution 8: 275 - 279.

Špoljar, M. 2013. Microaquatic communities as indicators of enviromental changes in lake ecosystem, Journal of Engg. Research volume 1, pp. 29.-42.

Špoljar, M. Šneller, D. Miliša, M. Lajtner, J. Sertić, Perić, M. Radanović, I. 2012. Entomofauna of submerged macrophyte stands in reservoirs (Papuk Nature Park), Entomologia Croatica; 16: 7-20.

Štulec, H. 2015. Struktura zooplanktona u međusobno povezanim plitkim jezerima. Diplomski rad, Prirodoslovno – matematički fakultet, Zagreb.

www.untamedscience.com

alienplantsbelgium.be

www.naturespic.co.nz

6. Sažetak

Svojim djelovanjem, čovjek često narušava ravnotežu slatkovodnih ekosustava, što rezultira eutrofikacijom i ubrzanim propadanjem vodenih staništa. U ovom radu razmatrane su tri osnovne metode restauracije slatkovodnih ekosustava - fizičke, kemijske i biološke, te na njihove prednosti i nedostaci. Fizičkim metodama se uklanja sediment/voda iz jezera, kemijskim se pokušava smanjiti koncentracija nutijenata u stupcu vode primjenom kemijskih sredstava, a biološkima se manipulira sastavom biocenoze. Najčešće se primjenjuje manipulacija ribama i ponovna uspostava makrofita. Cilj restauracije je uspostaviti prevlast submerznih makrofita nad fitoplanktonom, čime se postiže povratak bistre vode i stabilnog ekosustava.

Ključne riječi: eutrofikacija / antropogeni utjecaj / plitka jezera / biomanipulacija/ fitoplankton / makrofiti

7. Summary

Human population oftenly distorts the balance of freshwater ecosystems, which results in eutrophication and accelerated degradation of aquatic habitats. This paper considers three basic methods of restauration – physical, chemical and biological, and their advantages and disadvantages. Physical methods are used to remove the sediment/water from the lake, chemical methods are used to reduce a concentration of the nutrients in the water column by applying chemicals, and biological methods are used to manipulate the composition of biocenosis. Usually a fish manipulation and reestablishment of macrophites are applyed The goal of restauration is to achieve a predominance of submerged macrophytes over phytoplankton, which results in the return of water transparency and balanced ecosystem.

Key words: eutrophication / anthropogenic influence / shallow lakes / biomanipulation/ phytoplankton / macrophytes