

UDK 582.547:628.357.4  
Originalni naučni rad

JELENA BLAŽENČIĆ, BRANKA STEVANOVIĆ

**ULOGA SOČIVICA (*LEMNACEAE*) U PREČIŠĆAVANJA OTPADNE  
VODE – EKSPERIMENTALNA STUDIJA NA LABORATORIJSKOJ  
AKVAPLANTAŽI**

Institut za botaniku i botanička bašta „Jevremovac”, Biološki fakultet, Univerzitet u  
Beogradu

Blaženčić, J., Stevanović, B. (1994): *The role of duckweed (Lemnaceae) in the waste water treatment – the experimental study on the pilot-aquaplantation.* – Glasnik Instituta za botaniku i botaničke bašte Univerziteta u Beogradu, Tom XXVIII, 193 - 205.

The experimental study of the stock farm wastewater treatment was carried out in the stationary pilot-system aquaplantation (in green-house of Belgrade Botanical Garden) with duckweed (*Lemnaceae*) – *Wolffia arrhiza*, *Lemna minor* and *Spirodela polyrrhiza*, very small, but vigorous floating higher plants. The controlled mixed populations of three *Lemnaceae* species contribute to water quality improvement by the direct uptake of mineral elements from degraded organic matter and by suppression of algal growth („the bloom”). Therefore, the water can be efficiently depolluted and recycled for stock farm requirements along with the useful biomass production of free-floating macrophytes.

Key words: *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm., *Lemna minor* L., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., aquaplantation, biomass yield, waste water.

Ključne reči: *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm., *Lemna minor* L., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid., akvaplantaža, prinos biomase, otpadne vode.

## UVOD

Otpadne vode različitog porekla predstavljaju globalni ekološki problem zaštite prirode. Prečišćavanje i revitalizacija otpadnih voda je neodložna obaveza ljudi, naročito u visoko razvijenim poljoprivredno-industrijsko-urbanim oblastima. Primenom bioloških sistema kao alternativnih tehnoloških rešenja za prečišćavanje voda zagađenih organskim otpadom omogućava se obnavljanje poremećene ekološke ravnoteže i obezbeđuje se dobro korišćenje raspoloživih resursa. Princip rada bioloških sistema zasniva se na osnovnim ekološkim zakonitostima, ali se koriste prednosti savremenog tehnološkog koncepta izvođenja procesa, tako da se efikasan rezultat postiže uz ekonomičan utrošak organizama i resursa. Na taj način se, bar donekle, zaustavljaju dalji poremećaji u spoljašnjoj sredini, dobija se iskoristljiva biomasa i alternativni energetski izvor.

Akvaplantaže predstavljaju specifičan biotehnološki sistem, odnosno postrojenje u kojem se postepeno odvija proces prečišćavanja vode kroz trofičke nivoe mešoviti populacija vodenih mikro- i makroorganizama slične organizacijske hijerarhije kao u prirodnim biocenozama. Najčešće, akvaplantaže se primenjuju za prečišćavanje netoksičnih voda iz poljoprivredne proizvodnje i komunalnih delatnosti. Proces razgradnje na akvaplantažama, regulišu, pre svega, bakterije, dok producenti, vodene biljke (mikro- i makrofite) deluju kao prirodni filtri koristeći razgrađene supstance i u daljim procesima oslobađaju otpadne vode od velike količine ili ukupnog prisustva pojedinih elementa (reciklaža otpadnih supstanci). Proizvedena biomasa algi i vodenih makrofita, tokom procesa fitosanacije, može se koristiti kao hrana, đubrivo (biofertilizator), industrijska sirovina ili alternativni energetski izvor (biogas, alkohol, vodonik). Ovakav način prečišćavanja otpadnih voda ekonomski je opravdan jer omogućava zaštitu sredine, povećanje proizvodnje hranljivih supstanci (proteina), kao i energetsku konverziju produkovane biomase (alternativni izvori energije). Konstrukcija, efikasnost i ekonomičnost akvaplantaže usklađena je sa klimatskim, orografskim i edafskim uslovima određene vegetacijske zone (zonobioma) i tehnološkim potencijalom određene oblasti.

U ovom radu ispitivane su mogućnosti primene akvaplantaža u prečišćavanju stajске otpadne vode iz poljoprivrednog kombinata „Beograd” uz korišćenje autohtone vodene vegetacije karakteristične za donji, usporeni tok ravničarskih reka i močvarna staništa Panonske nizije. Istraživanja su obavljena na probnom (pilot) sistemu, u stacionarnim uslovima, u Botaničkoj bašti „Jevremovac” u Beogradu.

Cilj eksperimentalne analize bio je praćenje funkcionalnosti sistema baziranog na sunčevoj energiji i metaboličkim odnosima prirodnih cenobionata – bakterija, algi i sitnih vodenih makrofita – *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid. i *Lemna minor* L. Pored toga, ovim eksperimentima trebalo je konstatovati operativno najefikasniji postupak da se tehnički čista i upotrebljiva voda dobije u što kraćem periodu, na što manjem prostoru, uz minimalan utrošak finansijskih sredstava.

## MATERIJAL I METODE

Eksperimenti su obavljani tokom dve godine (1987-1989), od aprila do decembra, shodno vegetacijskim mogućnostima klimatske oblasti kojoj pripada okolina Beograda. Akvaplantaža u stacionarnim uslovima oformljena je u staklenim bazenima malih dimenzija, površine 0,25 m<sup>2</sup>. Baseni su bili postavljeni u staklari Botaničke bašte „Jevremovac” u Beogradu, bez dodatnog grejanja i veštačkog osvetljavanja.

Otpadna voda je uzimana iz stajnjaka sa farme svinja poljoprivrednog kombinata „Beograd”. Ova voda je, prema predloženom tehnološkom konceptu (Jovanović et al., 1985) prethodno izložena taloženju (odvajaju se čvrste supstance) i aeraciji (popravlja se bilans ugljenika i azota). Otpadna voda je nalivana u ogledne bazene (zapremine 0,25 m<sup>3</sup>) u različitim razblaženjima zavisno od procedure i ciljeva eksperimenta. Koncentrat vode iz stajnjaka razblaživan je običnom vodom u odnosu 1:1, 1:2, 1:4 i 1:8, radi efikasnosti i optimizacije procesa prečišćavanja u eksperimentalnim bazenima.

Efikasnost pilot akvaplantaže testirana je na osnovu četiri eksperimenta koja su se razlikovala po upotrebljenim razblaženjima, dužini trajanja (30 do 50 dana), i početnoj količini biomase unetih vodenih makrofita (50 gr, 70 gr i 100 gr). Svi eksperimenti izvođeni su u dve serije: testiranim i kontrolnim bazenima.

**Eksperiment 1** – postavljen je krajem aprila i trajao je do sredine juna (45 dana). Upotrebljena su razblaženja 1:1 i 1:4. U eksperimentalne bazene uneto je po 100 gr početne količine biomase vodenih makrofita. Temperatura vode u bazenima kretala se između 18.0-18.6°C, a temperatura vazduha od 19.0-26.2°C.

**Eksperiment 2** – postavljen je početkom juna i trajao je do kraja juna (30 dana). Upotrebljena su razblaženja 1:2, 1:4 i 1:8. U eksperimentalne bazene uneto je po 50 gr početne količine biomase vodenih makrofita. Temperatura vode u bazenima bila je između 20.2-21.0°C, a temperatura vazduha od 22.6-28.8°C.

**Eksperiment 3** – postavljen je početkom jula i trajao je do kraja jula (24 dana). Upotrebljena su razblaženja 1:2 i 1:4. Eksperiment je tekao u dve serije i kontrole sa bazenima različitog razblaženja i početnim količinama biomase od 70 gr i od 100 gr uz primenu metode žetve, odnosno jednonedeljnog odnošenja produkovanog „viška” biomase. Temperatura vode u bazenu bila je između 24.4-26.6°C, a temperatura vazduha između 26.2-29.4°C.

**Eksperiment 4** – postavljen je polovinom oktobra i trajao je do početka decembra (45 dana). Upotrebljena su razblaženja 1:2 i 1:4. Početna količina unete biomase vodenih makrofita bila je 100 gr, a eksperiment je tekao u dve serije i kontrole u bazenima providnih zidova („belim”) i bazenima zatamnjenih zidova („crnim”). Temperatura vode u bazenima bila je između 15.0-15.4°C, a temperatura vazduha između 12.4-16.2°C.

Početni procesi prečišćavanja, uz prvobitno razlaganje organskog otpada, odvijali su se heterogenom metaboličkom aktivnošću kompleksne autohtone, odnosno zatečene zajednice mešoviti populacija bakterija i algi u stajskoj vodi. Odmah po napajanju eksperimentalnih basena, praćena je dinamika hemijsko-fizičkih parametara (biohemijske potrošnje kiseonika – BPK, hemijske potrošnje kiseonika – HPK, količina NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, ukupnog azota, fosfor, pH, i temperatura), kao i količina algi (u određenim eksperimentima i bakterija). Posle sedam dana, pošto je postignuta stabilizacija procesa i populacijskih odnosa mikroorganizama pri različitim razblaženjima, u sistem su uvedene vodene makrofite. U eksperimentalne basene je prenošena

je različita masa mešovite populacije vodenih makrofita karakterističnih za okolna prirodna vodena staništa – autohtone, dobro prilagođene vrste *Wolffia arrhiza*, *Spirodela polyrrhiza* i *Lemna minor*. Ove vodene biljke su, inače, široko rasprostranjene, malih dimenzija, brzog reproduktivnog ciklusa i dugotrajne vegetacijske sezone.

Od početka do kraja eksperimenta vršena su svakodnevna merenja fizičko-hemijskih parametara (temperatura vode i vazduha, pH) sistema, kao i opšta osmatranja biološkog stanja biljaka. Jedanput nedeljno uzimani su uzorci za hemijsku analizu vode i merena je biomasa, odnosno prirast biomase makrofita i fiksiranje biljnog materijala za morfološku obradu. Hemijska analiza voda obavljena je u laboratoriji Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, dok su ispitivanja bioloških komponenti sistema izvedena u laboratorijama Instituta za botaniku Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

## REZULTATI

Više vodene biljke koje su uvedene u eksperimente obrazuju stabilne interspejske odnose u vodenim ekosistemima močvarnih oblasti okoline Beograda i u Panonskoj niziji uopšte. Obilno su prisutne u barama i močvarama u neposrednoj blizini Beograda, nadomak obradivih površina i farmi poljoprivrednog gazdinstva „Beograd”. Sve tri ispitivane vodene makrofite, *Wolffia arrhiza*, *Spirodela polyrrhiza* i *Lemna minor* pripadaju familiji *Lemnaceae* i životnoj formi sitnih flotantnih biljaka. Ekstremna redukcija i specijalizacija vegetativnog tela ovih biljaka povezana je sa snažnom mogućnošću obnavljanja i velikom vitalnošću. Mada predstavljaju istu životnu formu, ispitivane vodene biljke uspostavljaju ekološku ravnotežu kada rastu zajedno, slede međusobnu sezonsku smenu (aspektivnost) i dominantnost vrsta, tako da između njih nema oštih (isključivih) kompetitivnih odnosa. Tokom sezone dolazi do smene njihovih populacija, tako da je u rano proleće najmasovnije prisutna *Wolffia arrhiza*, zatim se pojavljuju jedinke vrste *Lemna minor* i *Spirodella polyrrhiza*. Sve tri vrste uspostavljaju međusobno uravnoteženu prisutnost tokom leta, a prema jeseni postepeno se prva povlači *S. polyrrhiza*, kada je izrazi to prisutna vrsta *Lemna minor*, dok u kasno jesenjem periodu ponovo (kao i u rano prolećnom) prevladavaju populacije *Wolffia arrhiza*. U vodenim ekosistemima nadomak Beograda, barama i rukavcima reke Save i Dunava, ove biljke čine najbrojnije i uvek prisutne članove različitih zajednica vodenih biljaka.

U sva četiri eksperimenta praćena je dinamika rasta populacija pomenutih vodenih makrofita, odnosno povećanje njihove ukupne biomase. Opšti tok promena bio je takav da su biljke najčešće kratko stagnirale po unošenju u eksperimentalne bazene (retko je njihova masa drastično opadala, i to samo u slučaju uvođenja u koncentrovanu otpadnu vodu). Posle 7-14 dana adaptacije, biljke su se manje ili više dobro razvijale i umnožavale, sa različitim prinosom biomase, zavisno od fizičko-hemijskih i biotičkih uslova u bazenima.

Analiza vode neposredno po uzimanju iz stajnjaka pokazala je visoke vrednosti BPK (veće od 200 mg/l), HPK (veće od 500 mg/l), amonijaka, nitrata i fosfata, što su nepovoljni uslovi za rast i razviće vodenih makrofita. U ovakvim okolnostima izuzetnu biološku aktivnost pokazivale su bakterije i alge. Prema tome, u prvih desetak dana, s obzirom na hemijsko-biološke parametre, pre svega vrednosti BPK i HPK, i izuzetnu aktivnost bakterija i algi, voda u eksperimentalnim bazenima nije pogodna za gajenje vodenih makrofita. Najznačajniju ulogu u prečišćavanju vode tada imaju bakterije i alge. Heterogena metabolička aktivnost ovih mikroorganizama omogućava razgradnju organskih molekula i recikliranje biogenih elemenata. Sa snižavanjem vrednosti BPK,

HPK, amonijaka i nitrita, a povećanjem koncentracije nitrata, opada broj bakterija, dok se kvantitativni sastav algi održava na relativno visokom nivou i raste, jer u uslovima mineralizacije organskih materija prevladavaju procesi fotosinteze i obogaćuju vodu kiseonikom. Dakle, posle sedam do četrnaest dana u zatvoreni sistem bazena pilot-akvaplantaže unose se određene količine vodenih makrofita koje sada mogu da opstanu u promenjenim (poboljšanim) uslovima stajske vode.

### **Eksperiment 1**

Voda iz stajnjaka, posle odvajanja u taložniku, izlivena je u eksperimentalne bazene u razblaženju 1:1 i 1:4. Tokom dve nedelje, pri ovakvim razblaženjima, odvijali su se procesi spontanog prečišćavanja autohtonim populacijama bakterija i algi. Nakon toga, u oba bazena uneto je po 100 gr biomase mešoviti populacija viših vodenih biljaka (*S. polyrrhiza*, *Lemna minor* i *Wolffia arrhiza*). Ove biljke su donete sa terena neposredno pre upotrebe u pilot-akvaplantažnim basenima. U tom trenutku hemijski sastav vode pokazivao je smanjenje vrednosti BPK i HPK (preko 50%); pored toga došlo je do smanjenja koncentracije amonijaka i povećanja količine upotrebljivih nitrata. U opštim uslovima smanjene količine bakterija (čel/ml), upadljivo je bilo prisustvo algi (zapaženi su fenomeni „cvetanja” algi, naročito u bazenima sa manjim razblaženjem).

Eksperiment je trajao šest nedelja, a merenja su vršena u pravilnim vremenskim razmacima, jednom nedeljno, kada je sva biomasa sakupljena, izmerena i vraćena nazad u bazene.

Nedelju dana po unošenju viših vodenih biljaka u eksperiment došlo je do opadanja biomase u bazenu sa koncentrovanijim vodenim rastvorom stajske vode (1:1) sa početnih 100 gr na 75 gr, dok se u bazenu sa razblaženjem 1:4, biljna masa zadržala na prvobitnoj vrednosti od 100 gr. Tokom naredne nedelje došlo je do normalizacije populacijskih odnosa između vrsta, pozitivne adaptacije na uslove koncentrovanog sastava otpadne vode. Prirast biomase je najpre bio blag, a zatim nagao i značajno veći.

U bazenu sa razblaženjem 1:1, porast biomase od 100 g tokom šest nedelja eksperimenta dostigao je količinu od 625 g; u bazenu sa razblaženjem 1:4, u kojem su se brže uspostavili normalni odnosi funkcionalnog prirasta, u šestoj nedelji eksperimenta konstatovana je količina od 765 g, što predstavlja sedam puta uvećanu početnu biomasu biljaka (Fig. 1). U ovom bazenu je zapažena i velika vegetativna reprodukcija biljaka, odnosno neprestano formiranje novih frondova.

### **Eksperiment 2**

Oslanjajući se na rezultate prethodnog eksperimenta, cilj dalje analize bio je određivanje najefikasnijeg razblaženja pri kojem se dobija najpovoljniji prinos i postiže veća brzina prečišćavanja do „tehnički” čiste vode. Eksperiment je tekao uporedo u tri serije bazena sa otaloženom stajskom vodom razblaženom u odnosu 1:2, 1:4 i 1:8. Posle perioda od dve nedelje tokom kojih je prečišćavanje prepušteno populacijama bakterija i algi, uneta je mešavina viših vodenih biljaka u istom sastavu mešoviti populacija kao i u prethodnom eksperimentu (*W. arrhiza*, *L. minor* i *S. polyrrhiza*). Početna količina vodenih makrofita bila je upola manja (50 g) u odnosu na prethodni eksperiment (100 gr). Na taj način, ostavljena je veća slobodna (nepokrivena biljkama) površina vode u bazenima (oko 50%), smanjena je prostorna kompeticija sa ciljem da se omogući bolji porast novoobrazovanih jedinki, odnosno prirast biomase. Opšte fizičko-hemijske (vrednosti BPK, HPK, količine azotnih jedinjenja, pH, temperatura vode) i biološke

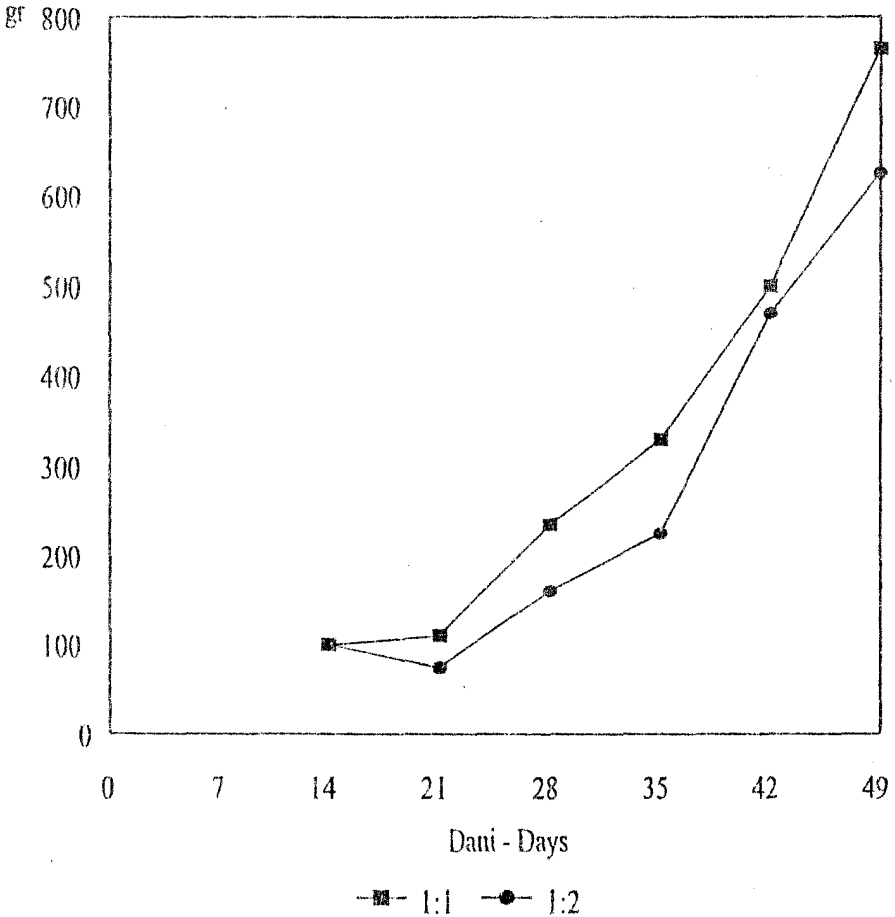


Fig. 1. – Relativni prinos biomase vodenih makrofitu pri različitom razblaženju stajske vode (1:1 i 1:4).

Relative biomass yield of aquatic macrophytes in different waste water dilution (1:1 and 1:4).

odlike (količina jedinki mikroorganizama u ml vode) bile su slične kao i u prvom eksperimentu. Posle dve nedelje biološke aktivnosti bakterija i algi, mineralizacije i grubih ukljanjanja štetnih količina pojedinih sastojaka otpadne vode (amonijak), vodene makrofite su se relativno brzo i dobro adaptirale i nastavile proces prečišćavanja stajske vode.

Ovaj eksperiment je trajao četiri nedelje, a u sva tri razblaženja nije uočeno čak ni početno stanje stagnacije, već je posle nedelju dana i tokom sledećeg perioda konstantno registrovano povećanje prinosa biomase. Ukupna biomasa se na kraju eksperimenta desetostruko uvećala u odnosu na početnu količinu: u bazenu sa razblaženjem 1:4 od početnih 50 gr povećala se na 500 gr, odnosno u bazenu sa

razblaženjem 1:8, od 50 gr porasla je na 490 gr, dok je bazen sa razblaženjem 1:2 isključen iz tehničkih razloga.

### Eksperiment 3

U dotadašnjim eksperimentima najpovoljniji rezultati dobijeni su sa razblaženjem stajske vode u odnosu 1:4. Stoga su, u novom eksperimentu, upotrebljena razblaženja 1:4 i 1:2 (nedovoljno testiran do tada) i različita početna količina vodenih makrofita. Prečišćavanje je analizirano kroz serije bazena sa dva različita razblaženja (1:2 i 1:4), i masom biljaka od 70 g koja je pokrivala oko 50% površine bazena (I serija) i 100 g koja je pokrivala 100% površine bazena (II serija).

U ovom eksperimentu praćeno je prečišćavanje vode korišćenjem monodominantne biljne populacije *Spirodella polyrrhiza*, koja se pokazala kao izuzetno adaptabilna i otporna vodena makrofita na zagađenu stajsku vodu. Pored toga, u ovom eksperimentu je prirast biomase određivan metodom žetve. Svakog sedmog dana izdvajan je prinos biomase (žetva) za prethodni vremenski period i populacija *S. polyrrhiza* svodena je na početnu masu od 70 g, odnosno 100 g. Efikasan prinos kod analizirane vodene makrofite konstatovan je pri razblaženju 1:4 i količini od 70 g početne biomase (i pokrovnosti 50% vodene površine bazena). Pri ovim uslovima neto prinos biomase na kraju treće nedelje eksperimenta bio je 90 g, dok je u drugoj analiziranoj seriji bazena sa početnom količinom biomase od 100 gr i pri razblaženju 1:2, na kraju eksperimenta konstatovan prinos od svega 45 g.

### Eksperiment 4

Eksperiment je postavljen u jesenjem periodu, u oktobru i trajao je do decembra, u nepovoljnim opštim vremenskim uslovima, naročito u pogledu temperaturnog režima. Dinamika prečišćavanja praćena je u dve serije bazena sa razblaženjima stajske vode 1:2 i 1:4. Prvoj seriji takozvanih „tamnih” bazena boćni zidovi su bili prekriveni alu-folijom, dok su u drugoj seriji bili stakleni bazeni providnih zidova oznaćeni kao „svetli”. Cilj ovako postavljenog ogleada bio je da se ustanovi odrećena analogija „tamnih” bazena sa prirodnim uslovima, u akvaplantažnim lagunama predvićenim da se izgrade na prostoru blizu stajnjaka (Fig. 4) u okviru poljoprivrednog kombinata „Beograd”.

Početna masa standardne mešovite populacije biljaka (*L. minor*, *S. polyrrhiza* i *W. arrhiza*) iznosila je 100 g. Međutim, tokom ovih ogleada nije zabeležen prirast biomase. Kolićina biljaka se konstantno smanjivala, sporijim procesima razgradnje u razblaženijoj vodi i bržim pri većoj koncentraciji (manjem razblaženju) zagađene vode. Ovakve promene uslovljene su opšte klimatskim promenama spoljašnje sredine, niskim temperaturama, manje intenzivnom svetlošću u kasnojesenjem periodu kada su se, inaće, biljke nalazile u završnoj fazi svog godišnjeg ciklusa razvića.

## DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Sve tri ispitivane vodene makrofite odlikuju se ogromnom reproduktivnom sposobnošću i proizvodnjom biomase koja je zasnovana i na povoljnom mineralnom balansu nastalom degradacijom organskih sastojaka otpadnih voda. Već ranije su neke od ovih vrsta, pre svega *Lemna minor*, konstatovane u vodama sa puno organskih nećistoća, gde nijedna druga viša biljka nije mogla da opstane (S c u l t h o r p e, 1971). Analize su pokazale da zagađene vode kratko vreme posle unošenja vrsta roda *Lemna* postaju dostupne za sitne, planktonske organizme i druge potrošaće u lancu ishrane vodenih ekosistema (C h a s s a n y - d e C a s a b i a n c a, 1982; K o h l e r & L a b u s,

1983). Uopšte uzev, biljke iz familije *Lemnaceae* su izuzetak među vodenim makrofitima, jer ne samo da tolerišu organske nečistoće, već im ponekad i pogoduje voda u kojoj postoji rastvorljivi organski otpad. Neke od ovih biljaka su sposobne da koriste različite izvore azota (iz  $\text{NH}_4^-$  i  $\text{NO}_2^-$ ) i odnose (prečišćavaju) ortofosfate iz statičnih, zagađenih voda (Harvey & Fox, 1973; Sutton & Ornes, 1975). Razvoj i broj korenova kod većine *Lemnaceae* u korelaciji je sa količinom ugljenih hidrata, odnosno intenzivnijim sunčevim zračenjem koje utiče na povećanu proizvodnju ugljenih hidrata, a oni na bolji rast korenova. Duži korenovi bolje i više apsorbuju nitrata i druge substance prisutne u zagađenoj vodi.

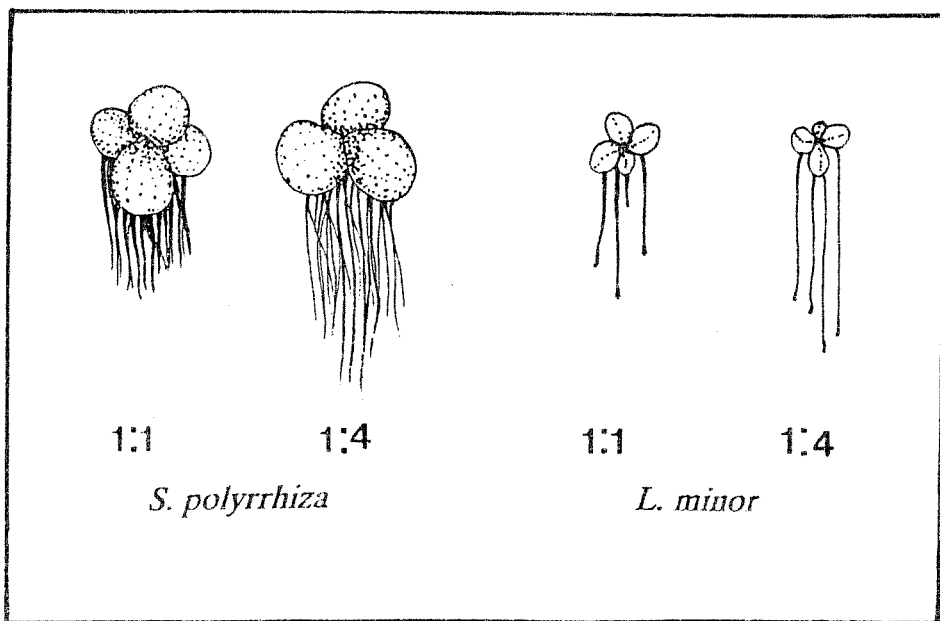


Fig. 2. – Korenov sistem flotantnih frondova *Spirodela polyrrhiza* i *Lemna minor*.  
Root system of various free-floating fronds of *Spirodela polyrrhiza* and *Lemna minor*.

U svim eksperimentima konstatovane su opšte morfološke promene makrofita. U bazenima sa većom količinom organskih i drugih otpadnih substanci (manje razblažena voda, 1:1 ili 1:2) vodene makrofite su uvek imale kraće i deblje korenove, malo korenskih dlaka, i često se oko korenova obrazovao tanji ili deblji žućkasto-zeleni sloj od bakterija i algi. Dužina korenova *L. minor* pri razblaženju 1:1 i 1:2 iznosila je od 3-18 mm, a pri razblaženju 1:4 i 1:8 između 5-23 mm. Kod vrste *S. polyrrhiza* u koncentrovanoj stajskoj vodi (1:1 i 1:2), broj korenova bio je od 4-16, a njihova dužina od 4-12 mm, dok se u razblaženijoj zagađenoj vodi (1:4 i 1:8) broj korenova povećao na 6-16, a njihova dužina na 6-18 mm (Fig. 2).



Na osnovu rezultata svih izvedenih eksperimenata moglo se zaključiti da je najefikasnije i najekonomičnije razblaženje vode iz taložnika (odnosno stajnjaka) bilo 1:4. U ovakvim uslovima, pošto se postigne maksimum efikasnog dejstva bakterija i algi u periodu od oko 10 dana, u pilot-akvaplantažne bazene za prečišćavanje unosi se dovoljna početna količina vodenih makrofita (50-70 gr) da se ostavi izvestan slobodan prostor u površinskom sloju za brz razvoj novih jedinki (frondova). Vodne makrofite i novonastale jedinke intenzivno koriste mineralne resurse (mineralizovane organske supstance otpadne vode) za svoj prirast, odnosno povećanje biomase. Na taj način se uravnotežava populacija algi, koja je kulminirala („cvetanje” algi) u kratkom periodu posle maksimalne aktivnosti bakterija, kada je, pored heterotrofnog, bio omogućen i autotrofni način ishrane (fotosinteza). Na osnovu obavljenih eksperimenata može se zaključiti da optimalan period prethodnog prečišćavanja uz pomoć bakterija

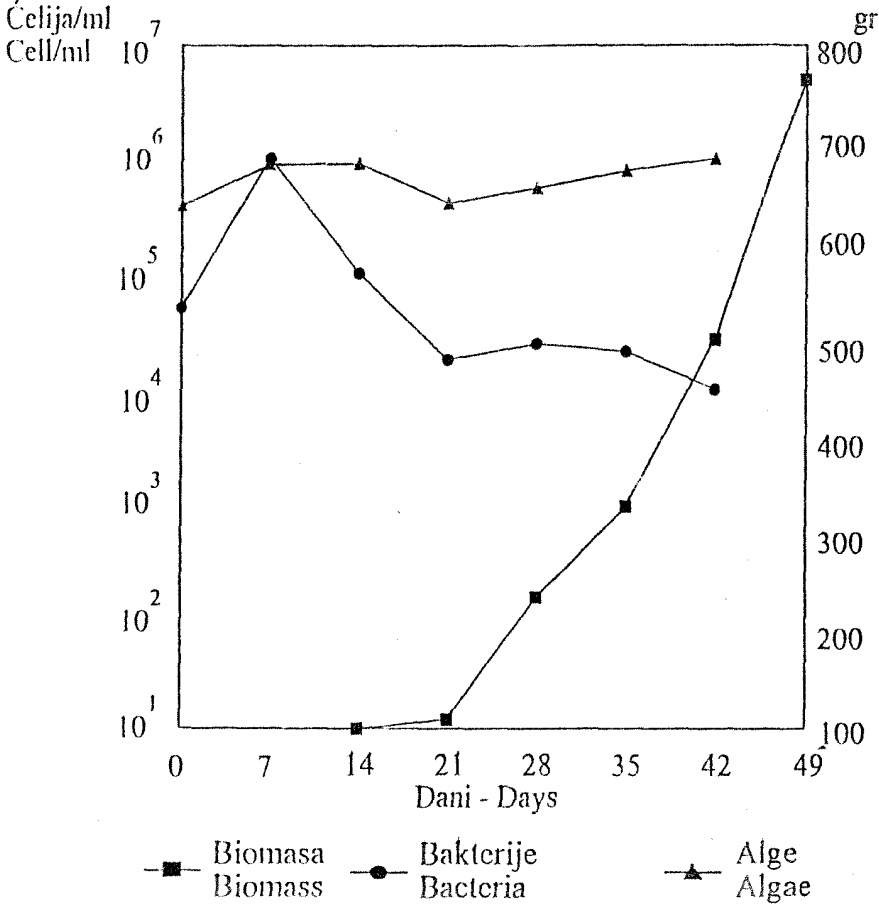


Fig. 3. – Relativan prinos biomase makrofita i relativan broj bakterija (prema Knežević & Simić 1992, neobjavljeni podaci) i algi tokom procesa prečišćavanja vode na akvaplantaži

Relative biomass yield of macrophytes and relative number of bacteria (after Knežević & Simić, 1992, unpublished data) and algae during waste water treatment in aquaplantation

(Knežević & Simić, 1992, neobjavljeni podaci) i algi iznosi 7 do 14 dana (Fig. 3). Na taj način se obezbeđuju uslovi za brzu aklimatizaciju vodenih makrofita (3-7 dana) i efikasno povećanje njihove biomase takoreći već od samog momenta unošenja testirane mešovite populacije *Wolffia arrhiza*, *Spirodela polyrrhiza* i *Lemna minor*.

Ova istraživanja na pilot akvaplantažama u laboratorijskim uslovima, odnosno u bazenima malih dimenzija, kasnije su nastavljena u bazenima većih dimenzija (2 m<sup>2</sup>). Zbirni rezultati svih ovih istraživanja (neobjavljeni podaci), ukazali su na potrebu da buduće akvaplantažne lagune u integrisanom sistemu, na polju u okolini stajnjaka budu dovoljno plitke i protočne, da bi bile dovoljno efikasne i ekonomične. Relativno malom dubinom (do 30 cm) moguće je postići dobre temperaturne i svetlosne uslove pri kojima se odvijaju procesi fotosinteze i ukupnog metabolizma bakterija, algi i viših biljaka, a protočnost obezbeđuje dobar dotok gasova i materijalnih resursa, organskih i neorganskih supstanci neophodnih različitim učesnicima u ovom ekosistemu (razlagačima i producentima). Proizvedena biomasa sočivica najekonomičnije se uklanja žetvom (Gely, 1980). Na taj način se kontroliše eutrofikacija iskoristljivog vodenog basena (Yount & Crossman, 1970), a proizvedeni (višak) biomase može se upotrebiti kao hrana za stoku ili živinu, s obzirom da je izuzetan izvor proteina i ugljenih hidrata (Culley & Epps, 1973). Suva materija vrsta roda *Lemna* sadrži oko 45% proteina, 45% ugljenih hidrata, 5% masti i 5% celuloze (Leonova, 1982; Oron et al., 1984). Požnjevena fitomasa je, takođe, iskoristljiv i vredan biofertilizator na poljima sa gajenim biljkama (povrtarskim biljkama) jer se u frondovima (listićima) upotrebljenih sočivica nalaze značajne količine fosfora, azota i kalijuma. Ovakvim biotehnološkim ciklusom objedinjuju se procesi proizvodnje i korišćenja biomase sa procesima efikasnog prečišćavanja otpadne vode. Proizvedena biomasa je visoke hranljive vrednosti i istovremeno je pogodna, jednostavna i laka za neposrednu upotrebu i transport (jer su to sične vodene makrofite). U prečišćavanju zagađene vode opterećene organskim otpadom koriste se principi metabolizma ekosistema što doprinosi ekološkom rešavanju problema zaštite sredine. Tokom procesa prečišćavanja stajске vode (Tab. 1) dolazi do eksponencijalnog opadanja koncentracije ukupnog azota i fosfora (smanjenje čak do 93%), sniženja vrednosti BPK i HPK, smanjenja koncentracije amonijaka i porasta količine nitrata i nitrita (Jovanović et al., 1988; Laušević & Jovanović, 1993), naravno u skladu sa intenzitetom produkcije biomase. Analiza stajске vode na kraju eksperimenata pokazala je da je postignuto prečišćavanje do nivoa vode druge kategorije, koja se može koristiti kao tehnička voda na farmi ili kao voda za razblaživanje otpadne vode iz primarnog taložnika (Fig. 4).

Tab. 1. – Promena vrednosti HPK, BPK, fosfora i azota (u procentima) tokom procesa prečišćavanja stajске vode (prema Jovanović et al., 1987)

Changes of COD and BOD, P and N values (in %) during the waste water treatment (after Jovanović et al., 1987)

Meseci	HPK*	BPK**	P	N
Months	COD	BOD		
	%	%	%	%
IV - VI	85-93	95-98	55-75	93-96
X - XII	45-80	65-85	60-75	89-96

\*HPK – hemijska potrošnja kiseonika

COD – Chemical oxygen demand

\*\*BPK – biološka potrošnja kiseonika

BOD – biological oxygen demand

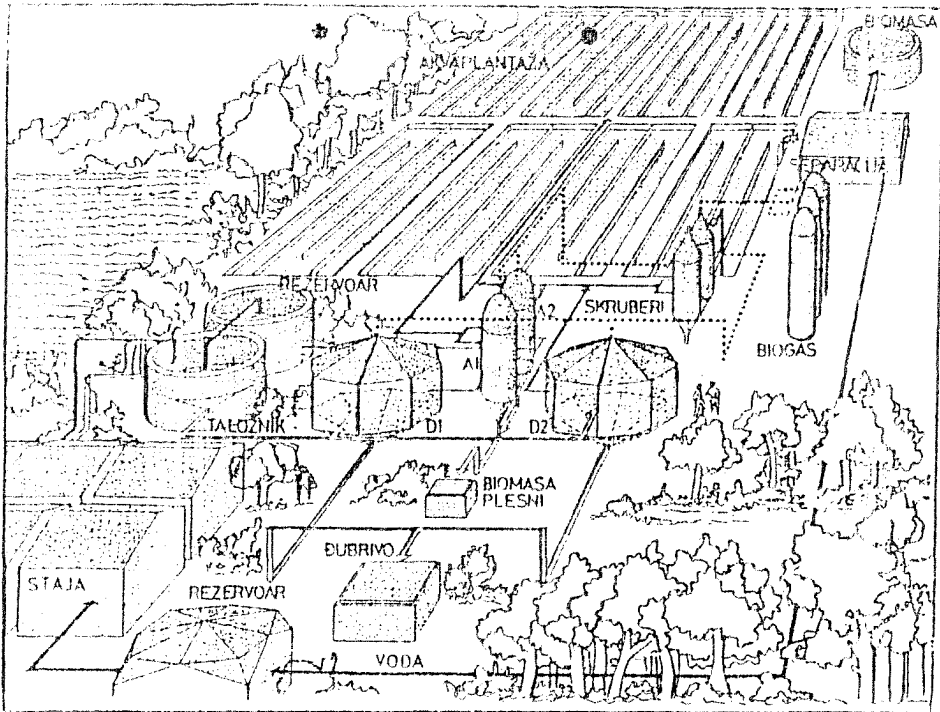


Fig. 4. – Prostorna šema proizvodno-istraživačke akvaplantaže (prema Jovanović et al., 1985)

Conceptual design for a productive and experimental field aquacultivation (after Jovanović et al., 1985)

Poslednja karika u ovom efikasnom i ekonomski opravdanom sistemu (Fig. 4) predstavlja proces energetske konverzije proizvedene biomase u cilju uspostavljanja dodatnog izvora energije, biogasa (Jovanović et al., 1985). Ispunjenje svih ovih potreba, međutim, zavisi i od opštih ekoloških, klimatskih, edafskih i vegetacijskih uslova svakog podneblja. Upotreba akvaplantaža u uslovima umereno kontinentalne klime šumo-stepskog područja apsolutno je opravdana, s obzirom na dovoljno dugačak vegetacijski period, dovoljno topla, čak žarka leta i prostorne mogućnosti Panonske nizije. Funkcionisanje cenobionata jednog ovakvog sistema, bakterija, algi i autohtonih, sitnih vodenih makrofita u pomenutim klimatskim uslovima obezbeđuje efikasno prečišćavanje vode, zaštitu sredine i dovoljnu biomasu koja ima svoju dalju upotrebnu vrednost.

#### LITERATURA

- Blaženčić, J., Janković, M.M., Jovanović, G., Vunjak-Novaković, G. (1988): Primena akvaplantaža u prečišćavanju otpadnih voda. – IV Kongres ekologija Jugoslavije, Knjiga abstrakta, s. 452, Ohrid.
- Chassany-de Casabianca, M-L. (1982): Systemes de production a macrophytes saumates ou subsaumates sur eaux residuaires urbaines. – La Technique de l'Eau, 422, 17-39.

- Cvijan, M., Blaženčić, J., Laušević, M. (1988): Značaj i uloga algi u procesu prečišćavanja otpadnih voda – eksperimentalni rezultati. – IV Kongres ekologija Jugoslavije, Knjiga abstrakata, s. 451, Ohrid.
- Culleey, D., Epps, E. A. (1973): Use of duckweed for waste treatment and animal feed. – Journ. WPCF, 45(2), 337-347.
- Gely, A. (1980): Recolte mecanique de la vegetation aquatique. – La Technique de l'Eau, 393(2/80), 39-40.
- Harvey, R.M., Fox, J.L. (1973): Nutrient removal using *Lemna minor*. – Journ. WPCF, 45(9), 1928-1938.
- Jovanović, G., Vunjak-Novaković, G., Blaženčić, J., Janković, M. (1985): Proizvodnja biomase u vodenj sredini i prečišćavanje otpadnih voda u integrisanim biotehnoškim ciklusima. – Hemijska industrija, 30(9), 219-223.
- Jovanović, G., Laušević, M., Novaković, G., Cvijan, M., Blaženčić, J., Stevanović, B. (1987): Wastewater treatment in aquaplantation. – CHISA '87, 97th International Congress of Chemical Engineering, Praha.
- Jovanović, G., Laušević, M., Novaković, G., Cvijan, M., Blaženčić, J. (1988): Experimental study of the wastewater treatment in aquaplantation with floating plants. – Symposium AICHEMA 88, Frankfurt.
- Kalinić, Z., Laušević, M., Jovanović, G., Cvijan, M., Blaženčić, J. (1988): Analiza kvaliteta vode u procesu prečišćavanja na laboratorijskim akvaplantažama. – XIX Savetovanje hemičara SR Srbije, Beograd.
- Knežević, J., Simić, D. (1992): Kvantitativno određivanje bakterija i njihova pretpostavljena uloga u prečišćavanju voda. – Naučni skup „Akvaplantaža i bioreaktori za kontinualnu kultivaciju biomase”. SANU, Beograd.
- Laušević, M., Jovanović, G. (1993): Prečišćavanje stajске otpadne vode na akvaplantaži. – II Simpozijum „Hemija i zaštita životne sredine”, Knjiga apstrakata, V-9, Vrnjačka Banja.
- Leonova, T. G. (1982): Semeištvu rjaskovije (*Lemnaceae*). In: Cvetković rastenija, Tom VI, Tahtadžjan, A.L. (ed.), Prosvešćenije, Moskva.
- Oron, G., Wildshut, L. R., Porath, D. (1984): Waste water recycling by duckweed for protein production and effluent renovation. – Wat. Sci. Tech., 17, 803-817.
- Sculthorpe, C. D. (1971): The biology of aquatic vascular plants. – Edward Arnold, London.
- Stanojević, B., Cvijan, M., Jovanović, G., Laušević, M., Stevanović, B. (1987): Projektovanje bioreaktora za denitrifikaciju otpadnih voda sa akvatičnim flotantnim biljkama. – XIX Savetovanje hemičara Srbije, ZS-2, Beograd.
- Stevanović, B., Janković, M.M., Blaženčić, J., Laušević, M. (1988): Značaj i uloga makrofita u procesu prečišćavanja otpadnih voda – eksperimentalni podaci. – IV Kongres ekologija Jugoslavije, Knjiga abstrakata, s. 450, Ohrid.
- Sutton, D. L., Ornes, W. H. (1975): Phosphorus removal from static sewage effluent using duckweed. – J. Environ. Qual., 4(3), 367-370.
- Yount, J. L., Crossman, R. A. (1970): Eutrophication control by plant harvesting. – Journ. WPCF, 173-183.

### Summary

JELENA BLAŽENČIĆ, BRANKA STEVANOVIĆ

#### THE ROLE OF DUCKWEED (*LEMNACEAE*) IN THE WASTE WATER TREATMENT – THE EXPERIMENTAL STUDY ON THE PILOT-AQUAPLANTATION

Institute of Botany and Botanical Garden „Jevremovac”, Faculty of Biology,  
University of Belgrade

The efficiency of the depollution treatment of waste water from livestock barns (pig-sty) of agricultural complex (PKB „Beograd”) was studied in the pilot-system aquaplantation (small experimental pools) under green-house conditions of Belgrade Botanical Garden. Mixed populations of aquatic macrophytes from the family *Lem-*

naceae, the species *Wolffia arrhiza*, *Lemna minor* and *Spirodela polyrrhiza*, were used for the experiments. These autochthonous floating hydrophytes are abundantly present in swamp ecosystems in the neighborhood of Belgrade, therefore growing in the close vicinity of this agricultural complex, too. The pig-sty waste water was first precipitated and aerated and then diluted (dilution being 1:1, 1:2, 1:4 and 1:8) and poured into pools. Rates of BOD (biological oxygen demand) and COD (chemical oxygen demand) removal level and ammonium, nitrite, nitrate and phosphate concentration decrease as well as the biomass growth of the aquatic macrophytes were monitored over 30-50 days. The optimal effect of the waste water treatment and biomass growth were observed at the dilution of 1:4 and postponed inclusion (7-14 days after the beginning of the experiment) of the aquatic macrophytes in the depollution process which is after the period of maximal biodegradable activity of bacteria and intense production of algal biomass.

The initial degradation processes, in the pilot-aquaplantation, were regulated by bacteria, whereas the producers, aquatic plants (micro- and macrophytes), acted as natural filters, given that they, by using the degraded substances, freed waste waters from the presence of harmful compounds. The biomass of algae and aquatic macrophytes, produced during the processes of phytosanitation, represents the usable food (for domestic animals), fertilizer (biofertilizer), industrial raw material or alternative energy source (biogas). This way of waste water treatment is ecologically and economically justifiable given that it provides nature protection converting unsanitary organic waste water into sanitary water and harvesting material (micro- and macrophyte biomass) for different useful purposes to handle food chains and other basic environmental principles.