



BIOMIVA[®]

MOGUĆNOST KORIŠTENJA BIOMASE VODENE LEĆE (*Lemna minor*) U PROIZVODNJI BIOPLINA

THE POTENTIAL USAGE OF DUCKWEED BIOMASS (*Lemna minor*) FOR BIOGAS PRODUCTION

Đurđica Kovačić, D. Kralik, D. Matošević, Daria Jovičić

Izvorni znanstveni članak - Original scientific paper
Primljeno - Received: 19. Lipanj - June 2014.

SAŽETAK

Vodena leća je sitna slobodno plivajuća vodena biljka koja nastanjuje mirne ribnjake bogate nutrijentima. Nagli reproduktivni kapacitet vodene leće može potpuno prekriti ribnjak u samo nekoliko tjedana a ta pojava ne predstavlja samo estetski problem već ljeti može izazvati i pomor riba u ribnjaku pa je stoga nužno redovito je uklanjati. U ovom radu cilj je bio utvrditi potencijal vodene leće za proizvodnju bioplina u usporedbi s kukuruznom silažom čija je uporaba u te svrhe vrlo često osporavana budući da kukuruz predstavlja jednu od glavnih žitarica u ljudskoj i prehrani životinja. Vodena leća se svrstava u drugu generaciju biogoriva te se stoga može smatrati vrlo poželjnom sirovinom za proizvodnju bioplina. Prinos bioplina kukuruzne silaže iznosi 180 m³/t dok su prinosi vodene leće neznatno manji, 176 m³/t. Sukladno prinosu bioplina vodene leće napravljeni su proračuni o isplativosti njezina uzgoja na ribnjacima u HR, troškovima izgradnje i proizvodnji energije u tri bioplinska postrojenja snage 1 MW pri čemu su uzeti u obzir troškovi prikupljanja, transporta i manipulacije tom sirovinom.

Ključne riječi : bioplin, bioplinsko postrojenje, kukuruzna silaža, ribnjak, vodna leća.

UVOD

Vodena leća je sitna slobodno plivajuća vodena biljka koja nastanjuje mirne ribnjake bogate nutrijentima. Nagli reproduktivni kapacitet vodene leće može potpuno prekriti ribnjak u samo nekoliko tjedana (Lynch Jr., 2008.). Ta pojava nije samo estetski problem već ljeti može izazvati i pomor riba u ribnjaku. Prema Landoltu (1986.) najveća postignuta brzina rasta vodene leće je 64 g/g tjedno, što je 28 puta više u usporedbi s brzinom rasta kukuruza (2,3 g/g tjedno) (Xiao, Y. i sur., 2013.). Potpuno prekrivanje ribnjaka može ozbiljno ograničiti fotosintezu uskraćujući ribnjaku glavni izvor kisika. Vodeno bilje i životinje i dalje koriste kisik za respiraciju, a pro-

cesi raspadanja se nastavljaju nesmanjenim intenzitetom te je krajnji rezultat smrtonosno niska razina kisika u ribnjaku. Preporučuje se ručno uklanjanje vodene leće pomoću ribarskih mreža za vjetrovitog dana, kada vjetar nanese leću na jednu stranu ribnjaka (Lynch Jr., 2008.). Razvojem i primjenom čiste tehnologije sve se više pažnje usmjerava ka novim alternativnim izvorima energije, osobito onima koji ne predstavljaju izvor hrane za čovjeka i životinje i koji su ekonomski isplativi (Dębowski i sur., 2013.). Tako se korištenje biomase vodenih ekosustava može pokazati kao jedno od rješenja. *Lemna minor* jedna je od najbržerastućih vodenih biljaka čija je žetva (u odnosu na mikroalge) vrlo jednostavna.

Đurđica Kovačić, dipl.ing. (djkovacic@pfos.hr); prof.dr.sc. Davor Kralik; Daria Jovičić, dipl.ing. - Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, Kralja Petra Svačića 1d, 31000 Osijek, Hrvatska, Damir Matošević, dipl.ing. - Vibrobeton d.o.o., M. Gupca 44, Ivankovo, Hrvatska



Koristi se za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda jer ima sposobnost vezanja nutrijenata (ugljik, dušik i fosfor) koje koristi za sintezu proteina, ima sposobnost vezanja jednostavnijih organskih spojeva koje može direktno asimilirati u obliku ugljikohidrata i različitih aminokiselina, te sposobnost vezanja i uklanjanja teških metala i toksičnih tvari iz voda (olovo, kadmij, živa, skandij, kositar, arsen, brom). U novije doba koristi se i kao stočna hrana zbog povoljnog udjela proteina i nutrijenata (Muradov i sur., 2012.; Abdel-Raouf i sur., 2012.). Prosječni godišnji prinos vodene leće procjenjuje se na 10 do 30 t suhe tvari/ha a prinos bioplina od anaerobne fermentacije iznosi 176 m³/t suhe tvari (van Schaik, 2009.; Duan i sur., 2013.; Leng i sur., 1995.). Korištenje vodene leće s ciljem proizvodnje energije i biogoriva u novije vrijeme sve je učestalija pojava iako je još uvijek u fazi istraživanja. Ona ima brojne prednosti u odnosu na neke druge sirovine koje se primarno koriste u proizvodnji biogoriva i energije. Npr. ne koristi se u ishrani ljudi i životinja, sadrži dosta škroba a ne sadrži celulozne tvari i lignin pa se lako razgrađuje a lako se i brzo umnožava te stvara veliku količinu biomase (Chen, Q. i sur., 2012.). Vodena leća pronašla je primjenu u proizvodnji etanola zbog visokog udjela škroba do 75% (Cheng i Stomp, 2012.). Chen, Q. i sur. (2012.) istraživali su optimizaciju procesa proizvodnje etanola iz vodene leće i došli do zaključka da i uz optimalne uvjete predtretmana proces još uvijek nije dovoljno isplativ u odnosu na industrijsku proizvodnju etanola, te je potrebno provesti daljnja istraživanja u tom smjeru. S druge strane, Cheng i Stomp (2012.) ističu kako se primjenom vodene leće za proizvodnju etanola može preskočiti mljevenje, bitan i jedan od najskupljih koraka u proizvodnji etanola iz kukuruza čime se ujedno postiže i značajna ušteda energije. Do sada je vodena leća pronašla primjenu i u proizvodnji bioplina i to kao dodatak bogat pojedinim elementima. Ovisno o načinu i mjestu uzgoja vodena leća apsorbira elemente koji mogu poboljšati ili inhibirati proces anaerobne fermentacije, na što može utjecati i koncentracija samog elementa. Također zabilježeni su i slučajevi gdje nije bilo utjecaja na proces. Primjerice Jain i sur. (1992.) proveli su istraživanje o utjecaju apsorbiranog željeza, bakra, kadmija, nikla, olova cinka, mangana i kobalta na proizvodnju bioplina. Željezo i mangan nisu bili toksični za fermentaciju dok su bakar, kobalt, olovo i cink djelovali toksično na proces. Pri niskim koncen-

tracijama kadmij i nikal pokazali su poželjan efekt na brzinu proizvodnje bioplina i udio metana, dok se pri višim koncentracijama brzina proizvodnje bioplina usporavala a udio metana bio manji. Međutim, svakako treba naglasiti da je udio metana u proizvedenom bioplinu još uvijek bio viši nego u uzorku dobivenom iz nekontaminirane biomase.

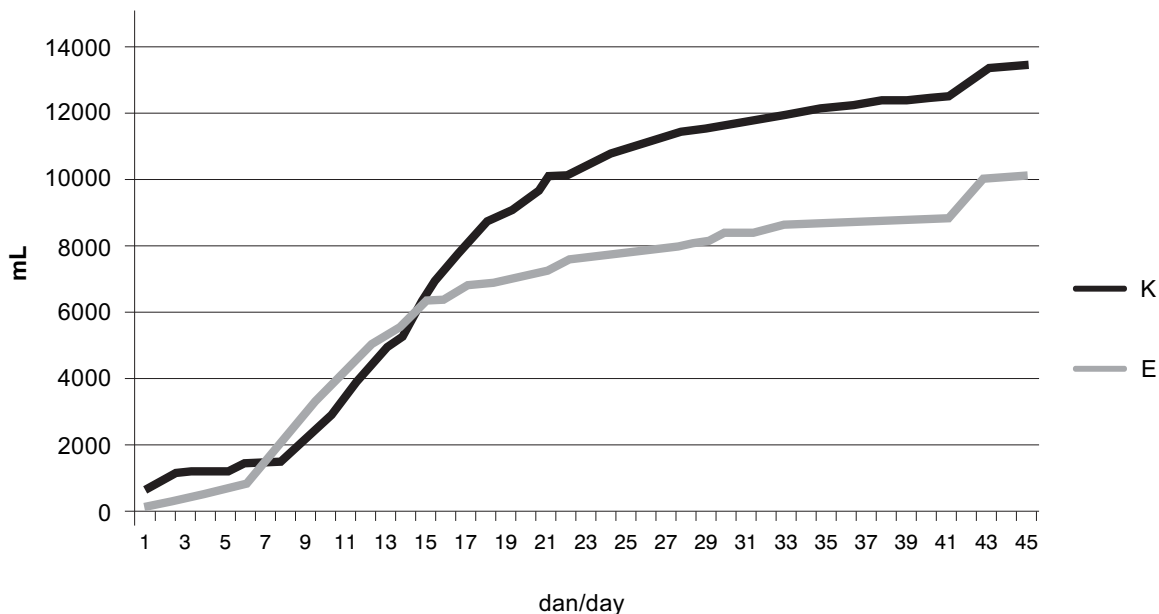
Cilj rada bio je utvrditi potencijal vodene leće za proizvodnju bioplina u usporedbi s kukuruznom silažom čija je uporaba u te svrhe vrlo često osporavana budući da kukuruz predstavlja jednu od glavnih žitarica u ljudskoj i prehrani životinja.

MATERIJAL I METODE

Eksperimentalni dio istraživanja (anaerobna fermentacija) proveden je u laboratoriju koristeći svježu govedu gnojovku i kukuruznu silažu, dok su podaci o vodenoj leći prikupljeni iz dostupne literature. Anaerobna fermentacija provedena je u diskontinuiranim reaktorima zapremine 1 l pri termofilnim uvjetima i vremenu hidrauličke retencije od 45 dana. Ispitivane su dvije grupe uzoraka; svježa goveda gnojovka koja je korištena kao kontrolni uzorak (označena s K) i smjesa svježe govede gnojovke (95% udjela) i kukuruzne silaže (5% udjela) (označena s E). Obje grupe postavljene su u tri ponavljanja. Fermentacija je svakodnevno praćena a proizvedeni bioplin sakupljan u građuirane staklene posude (720 mL) spojene s reaktorima preko gumene cijevi i potopljene u zasićenu otopinu NaCl. Sastav bioplina (udio CH₄, CO₂ i N₂) analiziran je na plinskom kromatografu Varian 3900 (Varian, UK) prema modificiranoj metodi (HRN ISO 6974-4:2000).

REZULTATI I RASPRAVA

Kumulativni zbroj dnevne proizvodnje bioplina prikazan je Grafikonom 1. Jasno je uočljivo kako se učinkovitiji proces anaerobne fermentacije (u smislu više proizvodnje bioplina) odvijao u eksperimentalnoj skupini uzoraka (E). Prosječna količina proizvedenog bioplina u kontrolnoj skupini uzoraka je 9950 ml a u eksperimentalnoj 13455 ml odnosno 35,2% više. Na Tablici 1. prikazan je prosječni sastav kontrolne i eksperimentalne skupine uzoraka koji se nisu značajno razlikovali. Gotovo jednaki udio metana detektiran je u obje skupine uzoraka (57,63% i 57,61%), dok je mala razlika detektira-



Grafikon 1. Kumulativni prikaz dnevne proizvodnje bioplina (ml bioplina/dan)

Figure 1. Cumulative biogas production curves (ml of biogas/day)

Tablica 1. Prosječni sastav bioplina (N, CH₄ i CO₂) u eksperimentalnoj i kontrolnoj skupini

Table 1. Average biogas composition (N, CH₄ and CO₂ contents) in experimental and control group

Uzorak-Sample	Sastav bioplina - Biogas composition		
	N (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
Eksperimentalna grupa - Experimental group	11,14	57,61	26,67
Kontrolna grupa-Control group	15,42	57,63	22,74

na u udjelu dušika (15,42% u kontrolnoj i 11,14% u eksperimentalnoj grupi) te u udjelu ugljikovog dioksida (22,74% u kontrolnoj i 26,67% u eksperimentalnoj grupi). Ostvarena je količina bioplina 19,9 m³/t u kontrolnoj grupi uzoraka te 26,90 m³/t u eksperimentalnoj grupi uzoraka. Kako je u eksperimentalnoj grupi supstrat sadržavao 5% kukuruzne silaže izračunom i usporedbom s kontrolnom grupom izveden je prinos bioplina za kukuruznu silažu od 180 m³/t. Drugi dio istraživanja nije proveden u

laboratoriju. Za podatke o vodenoj leći korištena je dostupna literatura te je cilj bio utvrditi potencijal vodene leće za proizvodnju bioplina što bi moglo biti zanimljivo zbog velike količine biomase koja nastaje njezinim rastom. Ako govorimo o uzgoju vodene leće na ribnjacima, neophodno je naglasiti da ju je potrebno često sakupljati kako ne bi prekrila veću površinu jer to može imati vrlo negativne posljedice za bioraznolikost vodenog ekosustava (Van der Heide i sur., 2006.)

Tablica 2. Potencijal proizvodnje bioplina iz vodene leće na površinama šaranskih ribnjaka u RH

Table 2. Biogas production potential out of duckweed on the carp pond surfaces in the RH

Prinos vodene leće (t S.T./ha godišnje) - Duckweed yield (t dry wt./ha per year)	Prinos bioplina (m ³ /t S.T.) - Biogas yield (m ³ /t dry wt.)	Površina ribnjaka (ha) - Pond surface (ha)	Potencijal proizvodnje bioplina (m ³ /godišnje) - Biogas production potential (m ³ /year)
20	176	9.721	34.217.920

Tablica 3. Potencijal proizvodnje električne energije

Table 3. Potential production of electricity

Potencijal proizvodnje bioplina (m ³) - Potential of biogas production (m ³)	Potencijal proizvodnje energije (kWh) - električne Potential production of electricity (kWh)		Vrijednost proizvedene električne energije (kn)/godišnje - Value of produced electricity (kn)/per year
	godišnje per year	na sat per hour	
34.217.920	68.435.840	7.812	82.123.008

Efekti proizvodnje bioplina iz vodene leće

Vodene površine šaranskih ribnjaka u Republici Hrvatskoj iznose 9721 ha (Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2012.). Ugovaranjem koncesije u trajanju od 50 godina na ribnjacima Grudnjak, Donji Miholjac, Podunavlje Bilje i Lipovljani M-san grupa preko PP Orahovica raspolaže s 3400 ha što čini oko 35% ukupnih površina šaranskih ribnjaka u RH. Nakon provođenja planiranih investicija očekuje se proizvodnja do 7000 t ribe. U nastavku su prikazani izračun i financijski efekti izgradnje bioplinskog postrojena te korištenje vodene leće kao sirovine (Tablice 2., 3., 4.). Za prinos vodene leće uzeta je srednja vrijednost od 20 t suhe tvari/ha godišnje. Uobičajeno se u izračunima koristi omjer 1:2 (2 kWh električne energije po 1m³ bioplina). U praksi taj omjer može u manjoj mjeri odstupati ovisno o sadržaju CH₄, te o vrsti plinskog agregata koji se koristi (Krička i sur., 2007.). Prema podacima iz HROTE-a cijena električne energije dobivene iz

bioplinskog postrojena (300 kW do 2 MW) iznosi 1,2 kn/kWh.

Da bi se ostvarila navedena proizvodnja električne energije (Tablica 3.) nužna su znatna ulaganja u izgradnju tri postrojena snage 1 MW raspoređena na tri lokacije radi smanjenja transportnih troškova te radi ostvarivanja povoljnije otkupne cijene električne energije. Visina ulaganja je oko 100 milijuna kuna. U nastavku je prikazana vrijednost investicije i troškova rada elektrane od 1 MW. Troškovi sirovine uključuju troškove prikupljanja, transporta i manipulacije vodenom lećom. Iako su troškovi sirovine manji od onih prikazanih na Tablici 4. (5.000.000,00 kn), ne treba ih zanemariti jer vodena leća ima relativno visok sadržaj vode (90-95%) te se radi o manipulaciji velikom količinom materijala. Uz prihod od prodaje električne energije treba uzeti u obzir toplinsku energiju koja bi se mogla koristiti za potrebe buduće tvornice za preradu ribe, za sušenje ratarskih kultura i grijanje prostora. Količina proizvedene toplin-

Tablica 4. Orijetacijski prikaz godišnjih troškova i realizacije postrojenja od 1MW

Table 4. Approximate representation of annual costs and the realization of the 1 MW plant

	Nabavna vrijednost postrojenja uvećana za vrijednost kapitala (kn)- Cost of the plant plus the value of capital (kn)	Planirana realizacija s iskorištenosti kapaciteta 95% (kn) - Planned implementation with capa 95% (kn) city utilization of
	35.000.000,00	10.000.000,00
Godišnja amortizacija 10% - Annual depreciation 10%	3.500.000,00	
Upravljanje i održavanje 15% - Management and maintenance 15%		1.500.000,00
Godišnji troškovi (bez troškova sirovine) - Annual costs (excluding the feedstock cost)	5.000.000,00	

ske energije je oko 1,5 puta veća od proizvedene električne energije. Također treba uzeti u obzir i postfermentirani ostatak koji se uz manje dorade može koristiti kao kompost ili zamjena za umjetna gnojiva. Iz do sada proizašlih rezultata istraživanja, dostupnih podataka o vodenoj leći i kalkulaciji vidi se da je uzgoj vodene leće na ribnjacima u RH poželjan i opravdan jer svakih 300 ha površine prekrivene tom biljkom supstituira 100 ha silažnog kukuruza. To bi značilo da je površina od 9721 ha šaranskih ribnjaka ekvivalentna površini od 3240 ha silažnog kukuruza. U ribnjacima su prisutne različite vrste vodene leće i zbog brzog rasta svake godine predstavljaju smetnju i uzrokuju štetu pri uzgoju ribe a organiziranim pristupom i kontrolom te po mnogočemu specifične biljke može se postići višestruka korist.

ZAKLJUČAK

Anaerobna fermentacija svježe govede gnojovke i kukuruzne silaže provedena je kako bi se utvrdio potencijal kukuruzne silaže za proizvodnju bioplina i kako bi taj podatak poslužio za usporedbu s potencijalom vodene leće za proizvodnju bioplina. Cilj je bio utvrditi potencijal vodene leće za proizvodnju bioplina u usporedbi sa kukuruznom silažom čija je uporaba u te svrhe vrlo često osporavana budući da kukuruz predstavlja jednu od glavnih žitarica u ljudskoj i prehrani životinja. Anaerobna fermentacija vodene leće nije provedena iz razloga što su u ovom slučaju rađena tek preliminarna istraživanja

i izračuni o potencijalu uzgoja vodene leće na ribnjacima s ciljem njezinog prikupljanja i korištenja za proizvodnju bioplina. Daljnja istraživanja su u tijeku. Dugogodišnje koncesije nad površinama pod ribnjacima privukle su investitore koji su prepoznali potencijale akvakulture te pokrenuli investicijske cikluse s ciljem unaprjeđivanja uzgoja slatkovodne ribe. Pri planiranju razvoja svakako treba razmotriti prednosti koje donosi uzgoj vodene leće. Ipak zbog vrlo velikog ulaganja i brojnih otvorenih pitanja vezanih uz uzgoj, mehanizirano prikupljanje, transport, skladištenje i preradu neophodno bi bilo izvršiti detaljna istraživanja na konkretnim lokacijama (npr. ribnjacima PP Orahovica).

LITERATURA

1. Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem, I.B.M. (2012.): Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences 19: 257-275.
2. Chen, Q., Jin, Y., Zhang, G., Fang, Y., Xiao, Y., Zhao, H. (2012.): Improving production of bioethanol from duckweed (*Landoltia punctata*) by pectinase pretreatment. Energies 5: 3019-3032.
3. Cheng, J.J., Stomp, A.-M. (2012.): Growing duckweed to recover nutrients from wastewater and for production of fuel ethanol and animal feed. Clean 37(1): 17-26.

4. Dębowski, M., Zieliński, M., Grala, A., Dudek, M. (2013.): Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies – Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27: 596-604.
5. Duan, P., Chang, Z., Xu, Y., Bai, X., Wang, F., Zhang, L. (2013.): Hydrothermal processing of duckweed: Effect of reaction conditions on product distribution and composition. *Bioresource Technology* 135: 710-719.
6. HRN ISO 6974-4:2001 en (Prirodni plin - Određivanje sastava s određenom nesigurnošću plinskom kromatografijom - 4.dio: Određivanje dušika, ugljikovog dioksida i C1 do C5 i C6+ ugljikovodika u laboratorijskom sastavu i on line mjernom sustavu uporabom dviju kolona (ISO 6974-4:2000)).
7. Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) (dostupno na: www.hrote.hr).
8. Jain, S.K., Gujral, G.S., Jha, N.K., Vasudevan, P. (1992.): Production of biogas from *Azolla pinnata* R.Br and *Lemna minor* L.: Effect of heavy metal contamination. *Bioresource Technology* 41(3): 273-277.
9. Krička, T., Tomić, F., Voća, N., Janušić, V. (2007.): Proizvodnja bioplina iz ostataka poljoprivredne proizvodnje. 4. Međunarodni znanstveno-stručni skup o naftnom gospodarstvu, Zadar, Hrvatska.
10. Landolt, E. (1986.): Biosystematic investigation on the family of duckweeds: The family of Lemnaceae - a monograph study. Geobotanischen Institute ETH, Stiftung Rubel, Zurichbergstrasse 38.
11. Leng, R.A., Stambolie, J.H., Bell, R. (1995.): Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development* 7(1): 1-11.
12. Lynch Jr., W.E. (2008.): Duckweed and watermeal: prevention and control. Extension fact sheet, School of natural resources, Ohio State University.
13. Muradov, N., Fidalgo, B., Gujar, A.C., Garceau, N., T-Raissi, A. (2012.): Production and characterization of *Lemna minor* bio-char and its catalytic application for biogas reforming. *Biomass and Bioenergy* 42: 123-131.
14. Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2012. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Zagreb, Hrvatska.
15. Van der Heide, T., Roijackers, R.M.M., Peeters, E.T.H.M., Van Nes, E. (2006.): Experiments with duckweed – moth systems suggest that global warming may reduce rather than promote herbivory. *Freshwater Biology* 51: 110-116.
16. Van Schaik, C.M. (2009.): Naar nieuwe ketens voor het benutten van eendenkroos. Utrecht, Nederland.
17. Xiao, Y., Fang, Y., Zhang, G., Zhao, H. (2013): Culturing duckweed in the field for starch accumulation. *Industrial crops and products* 48: 183-190.

SUMMARY

Duckweed is a tiny free-floating aquatic plant which is typically found in quiet, nutrient rich ponds. The plants explosive reproductive capacity can make a pond completely covered in just a few weeks and this not only causes aesthetic problems, but summer fish kills are common too, so it is necessary to regularly remove it. The aim of this study was to determine the duckweed potential for biogas production compared to corn silage whose use for this purposes is often disputed because corn is one of the major cereals in human and animal nutrition. Duckweed is classified as a second generation of biofuels so it could be considered highly desirable feedstock for biogas production. The biogas yield of corn silage amounts to 180 m³/t while the yield of duckweed is slightly smaller, 176 m³/t. According to biogas yield of duckweed calculations of profitability of its cultivation on the fishponds in Croatia, construction costs and energy production in three biogas plants of 1 MW power were performed, also considering costs for collecting, transportation and manipulation of this feedstock.

Key words: biogas, biogas plant, corn silage, fishpond, duckweed