

## POTENCIJAL RASPROSTRANJENIH PLUTAJUĆIH VODENIH BILJAKA RIJEKE BOSUT U PROIZVODNJI BIOPLINA

## POTENTIAL OF WIDESPREAD FLOATING AQUATIC PLANTS OF BOSUT RIVER IN BIOGAS PRODUCTION

**D. Matošević, D. Kralik, Irena Rapčan, Daria Jovičić**

Izvorni znanstveni članak – Original scientific paper  
Primljeno - Received: 26. veljača - February 2020

### SAŽETAK

Cilj istraživanja je utvrditi prinos bioplina i metana iz gnojovke s dodatkom tri vrste vodenih biljaka (*Spirodela polyrhiza*, *Azolla caroliniana* i *Lemna minor*). Uzgoj tradicionalno korištenih biljaka (npr. kukuruz, uljana repica) za dobivanje biogoriva zahtijeva obradive površine, dok se vodene biljke, kao alternativa, mogu prikupiti iz prirode, a zbog jednostavne građe, brzine rasta i povoljnog kemijskog sastava mogu se bez pred-tretmana koristiti kao osnovna ili dopunska sirovina u bioplin-skim postrojenjima. Četiri uzorka (kontrola i tri vrste vodenih biljaka) u tri ponavljanja povrgnuta su anaerobnoj digestiji. Različite vrste proizvode različite količine bioplina u odnosu na kontrolu (od 504,83 do 881,62 mL g<sup>-1</sup> S.T.). Udio dobivenog metana iznosi od 57,96% do 60,63% u zavisnosti od biljne vrste. Ovo ukazuje na izuzetan potencijal korištenja ovih vrsta za dobivanje bioplina i metana.

Ključne riječi: vodene biljke, biomasa, bioplin, metan

### UVOD

Proizvodnja obnovljive i ekološki prihvatljive energije svake godine je sve veća, pa tako i potreba za uzgojem energetskih biljaka. Kako uzgoj tradicionalno korištenih biljaka za proizvodnju biogoriva (kukuruz, uljana repica) zauzima obradive površine, nužno ih je zamijeniti alternativnim biljnim vrstama. Važno mjesto u budućnosti mogle bi zauzeti plutajuće vodene biljke, koje se prikupljaju u prirodi. Ove biljke se mogu koristiti za proizvodnju bioplina, što je obećavajući alternativni izvor energije za smanjenje zavisnosti od ograničenih sirovih ulja i prirodnog plina (Cui i Cheng, 2015.; Ziegler i sur., 2015.; Cindrić i Popović, 2016.; Yadav i sur., 2017.). Ove biljne vrste raširene su na vodama kontinentalne Hrvatske pogotovo na sporim vodotocima koji se pružaju kroz područje intenzivnog ratarstva, kao što je rijeka Bosut i njezini pritoci. Vodene leće i vodene

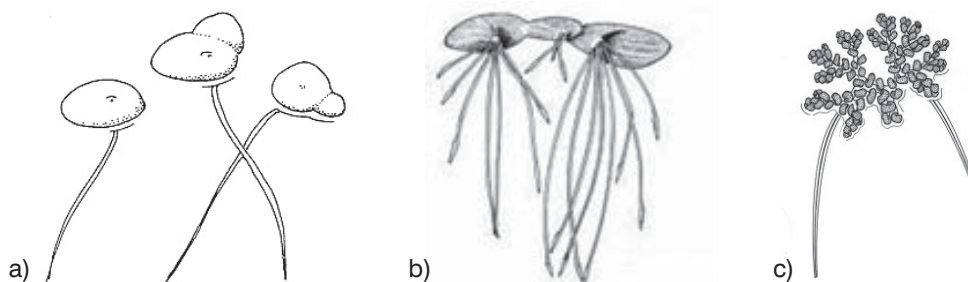
paprati su sitne plutajuće biljke koje često formiraju mješovite kolonije i u povoljnim uvjetima mogu u kratkom roku u potpunosti prekriti vodenu površinu. Količina biomase može se udvostručavati svakih 16 do 48 sati, dok Oron (1994.) navodi da godišnji prinos suhe tvari ovih vrsta iznosi oko 55 t ha<sup>-1</sup>, uz 2-3 žetve tjedno. Prinos suhe tvari vodene leće od 39,1-105,9 t ha<sup>-1</sup> godišnje navode Xu i sur. (2012.). Rijeka Bosut u čitavom svom toku je spor vodotok relativno plitkog i širokog korita. Snabdijeva se vodom iz velikog slivnog područja s kojega se u kišnom razdoblju slijeva velika količina vode opterećena hranjivim tvarima s obradivih poljoprivrednih površina stvarajući povoljne uvjete za brzi rast biljaka iz porodica vodenih leća i vodenih paprati (Krajncić i Devidé, 1982.; Petrinec i sur., 2010.). Gaur i Suthar (2017.) nakon istraživanja zaključuju da se ove biljke mogu koristiti za pročišćavanje otpadnih voda i kao obnovljiv izvor za proizvodnju

Damir Matošević, dipl. ing. – Vibrobeton d.o.o., M. Gupca 44, Ivankovo, Vinkovci, Hrvatska; prof. dr. sc. Davor Kralik (dkralik@fazos.hr), izv. prof. dr. sc. Irena Rapčan, Daria Jovičić, dipl. ing. – Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, Osijek, Hrvatska.

energije u čistom razvojnom pristupu. Vodena leća je atraktivna biljka koja se ne koristi za hranu, ali se može učinkovito koristiti za proizvodnju biogoriva (Verma i Suthar, 2015.). Ciljevi ovoga istraživanja su utvrditi potencijal proizvodnje bioplina iz vodenih biljaka. Iako je u biljnoj zajednici prisutno više vrsta vodenih leća najzastupljenije su *Lemna minor* i *Spirodela polyrrhiza* (porodica Araceae), dok se iz porodica vodenih paprati na slivu Bosuta pojavljuje samo *Azolla caroliniana* (porodica Salviniaceae). Iako se tijekom cijele vegetacije na pojedinim lokacijama javljaju mješovite kolonije ovih plutajućih biljaka, najveći dio površina, ovisno o dobu godine, prekriven je uglavnom jednom od navedenih vrsta. Početkom vegetacije najbrže se širi *Lemna minor*, već krajem proljeća ili početkom ljeta dominaciju preuzima *Spirodela polyrrhiza*, dok se *Azolla caroliniana* kao dominantna vrsta pojavljuje nekih godina, u pravilu u jesen. *Lemna minor* je vrsta rasprostranjena od slatkovodnih ribnjaka i sporo-pokretnih vodotoka do močvara i bara po svim kontinentima osim na Arktiku. To je plutajuća slatkovodna vodena biljka s 1-3 listića, svaki s jednim korijenom koji slobodno visi u vodi. Kako listići rastu, biljka se dijeli i tako nastaju posebne jedinice. Korijen je dug 1-2 cm. Listovi su ovalni, 1-8 mm dugi i 0,6-5 mm široki, svijetlozelene boje. Unutar listića nalaze se mali zračni prostori koji biljci omogućavaju plutanje. Razmnožava se uglavnom vegetativno dijeljenjem, a cvijet formira vrlo rijetko. Zbog povoljnog kemijskog sastava te apsorpcije mikro-elemenata često se koriste kao krmivo u zemljama južne i jugoistočne Azije (Mwale i Rochin, 2013.). *Spirodela polyrrhiza* ili velika vodena leća formira najveći list među vodenim lećama. To je višegodišnja vodena biljka koja obično raste u gustim kolonijama formirajući debelu

strukturu na površini vode. Svaka biljka je glatkog, okruglog lista nalik ravnom disku promjera 0,5-1 cm.

S donje strane biljke vidljivo je više korjenčića. List je s gornje strane svjetlozelen, a s donje strane crvenkastosmeđ. Ima sposobnost brze apsorpcije nutrijenata iz vode te se često koristi kao bio-filter otpadnih voda (Van der Steen i sur., 1999.). *Azolla caroliniana*, vodena paprat ili „alga-paprat“, je mala, nježna, jednogodišnja, plutajuća vodena biljka, veličine 1-2 cm. Porijeklom je iz tropske i suptropske Amerike. Formira guste kolonije često pomiješane s različitim vrstama vodenih leća. Specifičnost ove paprati je simbioza s modro-zelenim algom (*Anabaena azollae*) koja ovisno o intenzitetu svjetlosti mijenja svoju boju od zelene do tamnocrvene. Pojavljuje se povremeno i tada naglo buja i prekriva kompletnu vodenu površinu. Širi se kao i vodena leća ornitohorijom odnosno na nogama barskih ptica (Panjković, 2005.). Na Slici 1. prikazani su crteži sve tri vrste plutajućih biljaka. Bioplin je okolišno prihvatljivo, čisto, jeftino i svestrano plinovito gorivo (Balat, 2008.). Na području Vukovarsko-srijemske županije ukupno je u pogonu pet bioplinskih postrojenja ukupno instalirane snage 7 MW (HROTE, 2014.). Sve elektrane kao sirovinu koriste u manjoj mjeri gnojovku, a osnovna sirovina je silažni kukuruz (oko 75%) ili u nekim slučajevima sirak. Potrebna obradiva površina za uzgoj silažnog kukuruza da bi se zadovoljile potrebe za navedene elektrane iznosi minimalno 2500 ha. Cijena silažnog kukuruza u vrijeme gradnje elektrana (i izrade kalkulacija) kretala se oko 25 € t<sup>-1</sup>, a posljednjih godina iznosi i do 38-40 € t<sup>-1</sup> (Consultare, 2017.). U godinama nižih prinosa silažnog kukuruza javlja se manjak sirovine za bioplinska postrojenja, što otvara mogućnost za alternativnu sirovinu poput vodenih biljaka.



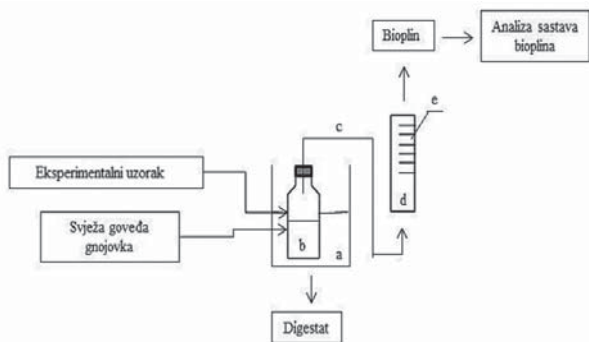
Izvor: <http://idtools.org/id/appw/gallery.php>

Slika 1. a) *Lemna minor*, b) *Spirodela polyrrhiza*, c) *Azolla caroliniana*

Figure 1 a) *Lemna minor*, b) *Spirodela polyrrhiza*, c) *Azolla caroliniana*

## MATERIJAL I METODE

*Lemna minor* prikupljena je na lokaciji „Sopot“, 4 km uzvodno od Vinkovaca, krajem travnja 2017. godine. U blizini ušća potoka Nevkoš u Bosut u lipnju 2017. godine prikupljena je *Spirodela polyrhiza*, a na istoj lokaciji krajem listopada iste godine *Azolla caroliniana*. Svi uzorci su duboko smrznuti te godine 2018. povrgnuti anaerobnoj digestiji u Laboratoriju za biomasu i obnovljive izvore energije na Fakultetu za agrobiotehnoške znanosti Osijek. Ovaj proces čini se razumnijim pristupom proizvodnje metana iz vodenih biljaka od fermentacije u etanol (Calicioglu i Brennan, 2018.). Proces anaerobne digestije proveden je u diskontinuiranim reaktorima volumena 1 L pri termofilnim uvjetima (55 °C) i vremenu hidrauličke retencije od 30 dana. Ispitivana su četiri uzorka u tri ponavljanja: svježa goveđa gnojovka, koja je korištena kao kontrolni uzorak i tri uzorka sastavljena od smjese goveđe gnojovke (95% udjela) i vodenih biljaka (5% udjela). Na Slici 2. prikazan je shematski prikaz šaržnog procesa anaerobne digestije. Digestija je svakodnevno praćena, a proizvedeni bioplin sakupljan u graduirane staklene posude (720 mL) spojene s reaktorima preko gumene cijevi i potopljene u zasićenu otopinu NaCl. Sastav bioplina (udio CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>) analiziran je na plinskom kromatografu Varian 3900 (Varian, UK) prema modificiranoj metodi (HRN ISO 6974-4:2000).

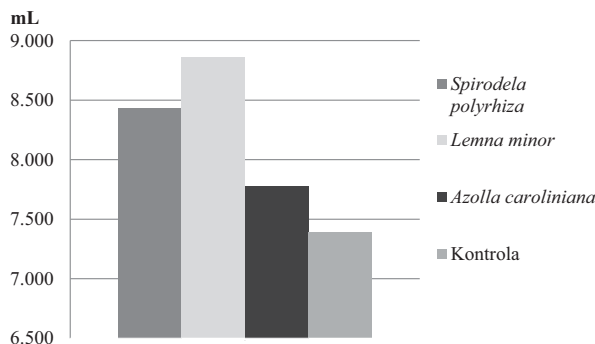


Slika 2. Shematski prikaz šaržnog procesa anaerobne digestije: a) termostatirana vodena kupelj, b) reaktorska boca, c) gumena cijev, d) prezasićena otopina NaCl, e) menzura za prikupljanje bioplina

Figure 2 Schematic representation of the batch process of anaerobic digestion: a) thermostated water bath, b) reactor bottle, c) rubber tube, d) supersaturated NaCl solution, e) ganged glass for biogas collecting

## REZULTATI I RASPRAVA

Različita istraživanja ispituju dobivanje bioplina i metana iz stajskog gnoja (krutog i tekućeg). Tako Bergland i sur. (2014.) iz stajskog gnoja s farme krava dobivaju prosječno 0,157 m<sup>3</sup> bioplina dnevno anaerobnom digestijom na 37 °C, dok Recebli i sur. (2015.) pri 24,85-39,85 °C dobivaju 6,33 m<sup>3</sup> bioplina dnevno. U laboratorijskim uvjetima Jafari-Sejahrood i sur. (2019.) bilježe nešto više od 0,05 m<sup>3</sup> bioplina iz goveđeg gnoja nakon 36 dana anaerobne digestije. U ovom istraživanju je, očekivano, najbolji rezultat ostvaren u kontrolnom uzorku (čistoj gnojovki) od 7 387,50 mL bioplina. U uzorku s 5% dodatka vrste *A. caroliniana* ostvareno je 7 686,67 mL bioplina ili 4% više u odnosu na kontrolu. Uzorak s dodatkom vrste *S. polyrhiza* pokazuje bolji rezultat u odnosu na kontrolnu skupinu za gotovo 12% (8 251,67 mL), dok je najveći prinos bioplina ostvaren u uzorku s dodatkom vrste *L. minor* od 8 856,67 mL bioplina odnosno za oko 20% više u odnosu na kontrolni uzorak. Ukupna proizvodnja bioplina iz uzoraka s dodatkom različitih vrsta vodenih biljaka prikazana je u Grafikonu 1.



Grafikon 1. Ukupna proizvodnja bioplina po uzorku (mL)

Graph 1 Total biogas production per sample (mL)

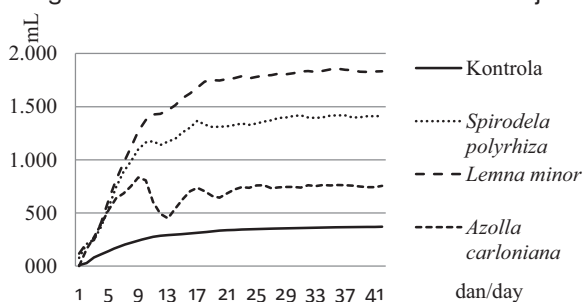
Kako je cilj istraživanja utvrditi proizvodnju bioplina i metana iz suhe tvari različitih vodenih biljaka, proveden je izračun suhe tvari korištenih vrsta vodenih biljaka iz naših uzoraka (Tablica 1.) te iz rezultata izuzeti bioplin i metan proizvedeni na temelju gnojovke te ostatak proizvedenog bioplina i metana iskazani u mL g<sup>-1</sup> suhe tvari korištenih vodenih biljaka. Vrijednosti su uprosječene iz tri ponavljanja.

**Tablica 1. Sadržaj suhe tvari istraživanih vodenih biljaka**

**Table 1 Dry matter content of investigated aquatic plants**

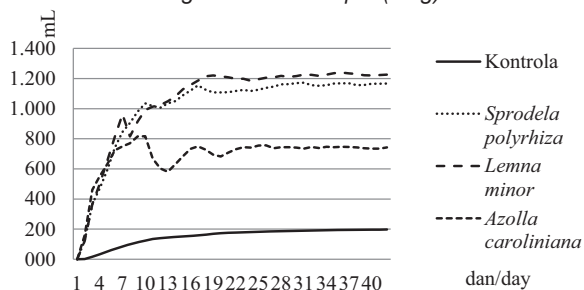
Vrsta vodene biljke Aquatic plant species	Suha tvar (%) Dry matter (%)
<i>Spirodela polyrhiza</i>	11,19
<i>Lemna minor</i>	8,32
<i>Azolla caroliniana</i>	5,77

U Grafikonima 2. i 3. prikazana je proizvodnja bioplina odnosno metana po danima iz količine od 25 g uzorka zelene mase istraživanih vodenih biljaka.



**Grafikon 2. Proizvodnja bioplina (mL) po danima za uzorak zelene mase (25 g)**

**Graph 2 Biogas production (mL) per days for green mass sample (25 g)**



**Grafikon 3. Proizvodnja metana (CH<sub>4</sub>) po danima za uzorak zelene mase (25 g)**

**Graph 3 Methane (CH<sub>4</sub>) production per days for green mass sample (25 g)**

U Tablici 2. naveden je prinos plina po jedinici zelene mase i prinos plina u istim uzorcima po jedinici mase suhe tvari uzorka kao prosjek tri ponavljanja.

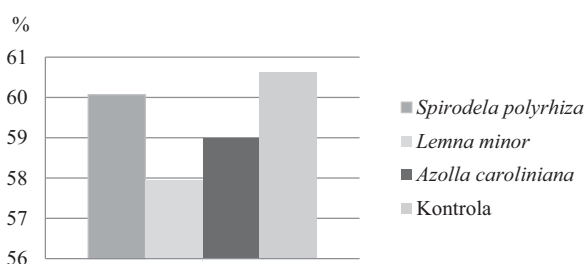
Vidljiva je razlika u proizvedenom bioplina i po jedinici zelene mase i po jedinici suhe tvari za različite vrste vodenih biljaka. Najveću količinu bioplina proizvela je vrsta *L. minor* (73,35 mL g<sup>-1</sup> zelene mase, 881,62 mL g<sup>-1</sup> suhe tvari). Vrsta *S. polyrhiza* proizvodi za 22,99% manje bioplina po jedinici zelene mase, ali 42,74% manje po jedinici suhe tvari u odnosu na vrstu *L. minor*. Količina proizvedenog plina od vrste *A. caroliniana* iznosi 30,19 mL g<sup>-1</sup> zelene mase, što je za čak 58,84% manje u odnosu na vrstu *L. minor*. Međutim, po jedinici suhe tvari to iznosi 59,35% od količine koju proizvodi *L. minor*. Clark (1996.) navodi da se dobiva 150 mL bioplina po gramu suhe tvari postupkom anaerobne digestije vodene leće. Značajno bolje rezultate prezentira Strom (2010.) opisujući uzgoj različitih vodenih biljaka (među njima i *L. minor*) na otpadnim vodama odlagališta komunalnog otpada te navodi rezultat proizvodnje bioplina od vrste *L. minor* u iznosu od 768 mL g<sup>-1</sup> S.T., što je usporedivo s vrijednostima u ovom istraživanju. Mathew i sur. (2015.) utvrđuju potencijal proizvodnje bioplina od različitih plutajućih vodenih biljaka na slivovima rijeka u zapadnom Bengal i postižu rezultate od 552 do 671 mL g<sup>-1</sup> S.T., što je također usporedivo s ovim rezultatima. Bioplin dobiven anaerobnom digestijom uglavnom se sastoji od metana (CH<sub>4</sub>), vrlo važnog goriva, i ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>). Vindis i sur. (2014.) navode da sadržaj metana u bioplina iz kukuruzne silaže iznosi 52,5%, Hutňan i sur. (2010.) 54,5%, a Tóthné Zsubori i sur. (2013.) navode raspon vrijednosti od 56,00 do 63,35%. Raspon sadržaja metana od 49,51 do 50,26% za zelenu masu kukuruza bilježe Mazurkiewicz i sur. (2019.). Međutim, Kovačić i sur. (2014.), istražujući u istom laboratoriju na istim uređajima i istom metodom utvrđuju sadržaj meta-

**Tablica 2. Prinosi proizvedenog bioplina u uzorcima s različitim vrstama vodenih biljaka po jedinici zelene mase i u istim uzorcima po jedinici mase suhe tvari**

**Table 2 Produced biogas yield in samples with different aquatic plants per green mass unit and in the same samples per dry matter unit**

Vrsta vodene biljke Aquatic plant species	Bioplin (mL g <sup>-1</sup> zelene mase) Biogas (mL g <sup>-1</sup> of green mass)	Bioplin (mL g <sup>-1</sup> suhe tvari) Biogas (mL g <sup>-1</sup> of dry matter)
<i>Spirodela polyrhiza</i>	56,49	504,83
<i>Lemna minor</i>	73,35	881,62
<i>Azolla caroliniana</i>	30,19	523,22

na u eksperimentalnom uzorku (95% svježe goveđe gnojovke i 5% kukuruzne silaže) od 57,61%. Sadržaj metana od  $64,9 \pm 1,8\%$  iz uzorka vrste *S. polyrhiza* navode Toyama i sur. (2018.). Sadržaji metana u ovom istraživanju usporedivi su s literaturnim navodima. Najniži sadržaj metana u bioplinu utvrđen je kod uzorka s dodatkom vrste *L. minor* (57,96%), a najveći u kontrolnom uzorku (60,63%). Sadržaj metana u uzorku s dodatkom vrste *S. polyrhiza* iznosi 60,07%, a u uzorku s dodatkom vrste *A. caroliniana* 59%, kako je prikazano u Grafikonu 4.



Grafikon 4. Sadržaj metana (CH<sub>4</sub>) u uzorcima s različitim vodenim biljkama (%)  
Graph 4 Methane (CH<sub>4</sub>) content in samples with different aquatic plants (%)

## ZAKLJUČAK

Provedenim istraživanjima potvrđeno je da se sve tri vrste vodenih biljaka (*Spirodela polyrhiza*, *Lemna minor* i *Azolla caroliniana*), koje se pojavljuju na slivu rijeke Bosut, prihvatljive sirovine za proizvodnju bioplina. Prinosom bioplina po toni zelene mase nešto zaostaju za prinosom od kukuruzne silaže, ali kada se prinos bioplina preračuna po toni suhe tvari, tada istraživane vodene biljke pokazuju bolje rezultate u odnosu na kukuruznu silažu, a posebice *Lemna minor* sa 71% više bioplina. Ove brzo-rastuće vodene biljke predstavljaju atraktivne biljke koje se ne koriste za hranu, a mogu se biti učinkovito iskoristiti za proizvodnju bioplina. Budući da u okruženju rijeke Bosut egzistira veći broj bioplinskih postrojenja, koja mogu prihvatiti vodenu leću kao sirovinu u proizvodnji bioplina s malim ili nikakvim dodatnim ulaganjem u prilagodbu tehnologije, te trendom povećanja cijena kukuruzne silaže, za očekivati je da će vodene biljke predstavljene u ovome radu prije ili kasnije naći primjenu u proizvodnji bioplina. Uz pozitivne efekte u proizvodnji bioplina treba naglasiti i da je skupljanje ovih vodenih biljaka doprinos

revitalizaciji vodenih tokova u slivu Bosuta koji zbog povremenog prekomjernog rasta navedenih biljaka trpe štetu kako u bioraznolikosti tako i u prekomjernom zamuljivanju dna. Potrebna su daljnja istraživanja, jer ove biljke mogu poslužiti za pročišćavanje vodotokova od otpadnih i ocjednih voda s polja bogatih hranjivim tvarima.

## LITERATURA

1. Balat, M. (2008.): Energy education science and technology. Progress in Biogas Production Processes, 22, 1, 15-36.
2. Bergland, W., Dinamarca, C., Bakke, R. (2014.): Efficient biogas production from the liquid fraction of dairy manure. Renewable Energies and Power Quality Journal, 1, 12, 880-885.
3. Calicioglu, O., Brennan, R.A. (2018.): Sequential ethanol fermentation and anaerobic digestion increases bioenergy yields from duckweed. Bioresources Technology, 257, 344-348.
4. Cindrić, I., Popović, N. (2016.): Potencijal vodene leće (*Lemnaceae*) za fitoremedijaciju sastavnica okoliša. Book of Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Professional and Scientific Conference „Occupational safety and health“, 505-510.
5. Clark, P.B., Hillman P.F., Eng, C. (1996.): Enhancement of anaerobic digestion using duckweed (*Lemna minor*) enriched with iron. Water and Environmental Journal 10, 2, 92-95.
6. Cui, W.; Cheng, J.J. (2015.): Growing duckweed for biofuel production: a review. Plant Biology, 17, s1, 16-23.
7. Gaur, R.Z., Suthar, S. (2017.): Nutrient scaling of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) biomass in urban wastewater and its utility in anaerobic co-digestion. Process safety and environmental protection, 107, 138-146.
8. Hrvatski zavod za norme (2008.): 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). Preuzeto s <http://31.45.242.218/HZN/Todb.nsf/wFrameset2>
9. Hutňan, M., Špalková, V., Bodik, I., Kolesárová, N., Lazor, M. (2010.): Biogas production from maize grains and maize silage. Polish Journal of Environmental Studies, 19, 2, 323-329.

10. Jafari-Sejathood, A., Najafi, B., Ardabili, S.F., Shamshirband, S., Mosavi, A., Chau, K.-W. (2019.): Limiting factors for biogas production from cow manure: ergo-environmental approach. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 13, 1, 954-966.
11. Kovačić Đ., Kralik D., Matošević D., Jovičić D.: Mogućnost korištenja biomase vodene leće (*Lemna minor*) u proizvodnji bioplina. *Krmiva*, 56, 2, 57-62.
12. Krajncić, B., Devidé, Z. (1982.): Rasprostranjenost vodenih leća (*Lemnaceae*) u sjevernoj Hrvatskoj. *Acta Botanica Croatica*, 41, 1, 175-180.
13. Mathew, K., Bhui, I., Banerjee, S. N., Goswami, R., Chakraborty, A. K., Shome, A., Balachandran, S., Chaudhury S. (2015.): Biogas production from locally available aquatic weeds of Santiniketan through anaerobic digestion. *Clean Technology Environmental Policy*, 17, 1681-1688.
14. Mazurkiewicz, J., Marezuk, A., Pochwatka, P., Kujawa, S. (2019.): Maize straw as a valuable energetic material for biogas plant feeding. *Materials*, 12, 3848.
15. Mwale M., Rochín F. (2013.): Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production, *Scientific research and essays* 8, 689-697.
16. Oron, G. (1994.): Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production. *Agricultural Water Management*, 26, 2-3, 27-40.
17. Panjković, B. (2005.): Akvatična i semiakvatična vegetacija Apatinskog i Monoštorskog rita, Doktorska disertacija, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu.
18. Petrinc Z., Mrakovčić M., Kerovec M., Srebočan E. (1999.): Ekološka studija rijeke Bosut na području grada Vinkovaca, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
19. Recebli, Z., Selimli, S., Ozkaymak, M., Gonc, O. (2015.): Biogas production from animal manure. *Journal of Engineering Science and Technology*, 10, 6, 722-729.
20. Strom E. (2010.): Leachate treatment and anaerobic digestion using aquatic plants and algae, Master's Thesis, Linköping University, Stockholm.
21. Tóthné Zsubori, Z., Pintér, J., Spitzkó, T., Hegyi, Z., Marton, C.L. (2013.): Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L.) hybrids and their interest for biogas production. *Maydica*, 58, 1, 34-41.
22. Toyama, T., Hanaoka, T., Tanaka, Y., Morikawa, M., Mori, K. (2018.): Comprehensive evaluation of nitrogen removal rate and biomass, ethanol, and methane production yields by combination of four major duckweeds and three types of wastewater effluent. *Bioresource Technology*, 250, 464- 473.
23. Van der Steen P., Brenner A., Oron G. (1999.): Post-treatment of UASB reactor effluent in an integrated duckweed and stabilization pond system, *Water Research* 33, 3, 615-620.
24. Verma, R., Suthar, S. (2015.): Utility of duckweed as source of biomass energy: a review. *Bioenergy Research*, 8, 1589-1597.
25. Vindis, P., Stajanko, D., Lakota, M. (2014.): Options for reduction of maize silage in biogas plant Drazenci, Chapter 9 in DAAAM International Scientific Book 2014, 121-130, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, Vienna, Austria.
26. Xu, J., Zhao, H., Stomp, A.-M., Cheng, J.J. (2012.): The production of duckweed as a source of biofuels. *Biofuels*, 3, 5, 589-601.
27. Yadav, D., Barbora, L., Bora, D., Mitra, S., Rangan, L., Mahanta, P. (2017.): An assessment of duckweed as a potential lignocellulosic feedstock for biogas production. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, SI, 253-259.
28. Zielgler, P., Adelman, K., Zimmer, S., Schmidt, C., Appenroth, K.J. (2015.): Relative in vitro growth rates of duckweeds (*Lemnaceae*) – the most rapidly growing higher plants. *Plant Biology*, 17, s1, 33-41.
29. <https://www.consultare.hr/hr/strucni-clanci-i-literatura/sto-mozemo-ocekivati-od-ovogodisnjeg-prinosasilaze> (Datum pristupa: 19.01.2020.)
30. <http://www.fao.org/ag/AGAinfo/resources/documents/DW/Dw2.htm>. (Datum pristupa: 6.10.2019.)
31. <http://www.hrote.hr/> (Datum pristupa: 18.09.2019.)

## SUMMARY

The aim of the study is to determine the yield of biogas and methane from slurry with the addition of three species of aquatic plants (*Spirodela polyrhiza*, *Azolla caroliniana* and *Lemna minor*). Cultivation of traditionally used plants (eg. corn, oilseed rape) to produce biofuels requires arable land, while aquatic plants, as an alternative, can be collected from nature, and due to simple structure, growth rate and favorable chemical composition, they can be used as a primary or supplementary raw material in biogas plants without any pre-treatment. Four samples (control and three aquatic plant species) in three replicates were subjected to anaerobic digestion. Different species produce different amounts of biogas compared to the control (from 504.83 to 881.62 mL g<sup>-1</sup> DM). The methane content is from 57.96% to 60.63% depending on the plant species. This indicates the tremendous potential of using these species of aquatic plants to produce biogas and methane.

Key words: aquatic plants, biomass, biogas, methane