

## Sunkieji metalai biodujų anaerobiniame digestate

Evelina Arčemaitė, Valdas Paulauskas, Mindaugas Kondratavičius

*Aleksandro Stulginskio universitetas*

Pasaulyje sparčiai didėjant žmonių skaičiui, daugėja ir atliekų, kurios neigiamai veikia aplinką, žmogaus sveikatą bei prisideda prie klimato kaitos procesų. Siekiant racionalaus atliekų tvarkymo bei antrinio panaudojimo, ieškoma efektyvių būdų kaip tvarkyti atliekas nepatiriant ekonominių nuostolių. Tyrimais įrodyta, kad anaerobinis organinių atliekų perdirbimas išgaunant energiją yra viena iš efektyviausių ir aplinkai draugiškiausių bioatliekų tvarkymo alternatyvų. Biodujų gamybos metu po anaerobinio bioatliekų skaidymo lieka digestatas. Digestato panaudojimas žemės ūkyje yra skatinamas, nes tokiu būdu uždaromas energijos ir medžiagų ciklas: maistinės medžiagos yra sugražinamos atgal į dirvožemį, taip pat sumažinami organinių medžiagų nuostoliai, kuriuos dirvožemis patiria dėl intensyvios žemdirbystės. Tačiau anaerobinio digestato panaudojimą gali apriboti sunkieji metalai, kurių kiekį pagrįdė įtakoja biodujų gamybai naudojamos žaliavos. Šiame darbe buvo iširta trijų Lietuvoje veikiančių biodujų jėgainių anaerobinio digestato kokybė bei aptartos jo panaudojimo galimybės.

*Anaerobinis digestatas, organinės atliekos, biodujos, sunkieji metalai, makroelementai*

### Įvadas

Šių laikų visuomenėje ypatingai daug dėmesio skiriama vartojimui ir net nesusimąstoma kiek mūsų poreikių tenkinimas įtakoja mus supančią aplinką. Taigi, antrinis atliekų panaudojimas ir jų perdirbimas yra puiki išeitis, norit prisidėti prie aplinkos kokybės gerinimo bei, žinoma, siekiant ekonominės naudos (Ohimain, 2017).

Naujojoje 2008 metų EK Atliekų Direktyvoje įteisintas toksai atliekų tvarkymo prioritetų eiliškumas: prevencija, pakartotinis naudojimas, perdirbimas, tiesioginis deginimas, šalinimas sąvartynuose. Todėl ES valstybės narės turi skatinti perdirbimui tinkamų atliekų (pvz.: popieriaus, stiklo, plastiko, bioskaidžių atliekų ir pan.) naudojimą, vadovaujantis aukščiau išvardinta atliekų hierarchija, ir neturėtų skatinti atliekų, kurias galima perdirbti, šalinimo sąvartyne ar tiesioginio jų deginimo. Pagrindinis atliekų prevencijos ir tvarkymo srities teisės aktuose suformuluotas siekis – kurti ES erdvėje „atliekas perdirbančią visuomenę“.

Viena iš tokių kompleksinio organinių atliekų perdirbimo-panaudojimo galimybių – biodujų gamyba bei susidariusio anaerobinio digestato (AD) panaudojimas žemės ūkio reikmėms. Perdirbant organines atliekas, anaerobinio skaidymo metu mikroorganizmai geba organines medžiagas konvertuoti į metaną, anglies dioksidą bei stabilesnius organinius junginius (Yasar ir kt., 2017; Kadam ir kt., 2017). Vykdamas bioatliekų skaidymą be deguonies, greta biodujų gaunamas ir šalutinis produktas – anaerobinis digestatas (anaerobinio perdirbimo skysta ar sutirštinta atlieka). Įprastai AD galima aptikti pakankamai fosforo ir azoto (amoniakinė forma), mažiau kalio, taip pat įvairių mikroelementų. Tuo pačiu digestatas gali prisidėti ir prie organinės anglies kiekio didinimo dirvožemyje, taip pagerindamas dirvožemio fizikines savybes (Kupper ir kt., 2014). AD esančios organinės medžiagos pagerina dirvožemio anglies balansą, nuo kurio priklauso mikroorganizmų veikla bei fermentų aktyvumas, o tai dar labiau padidina dirvožemio kokybę. Galiausiai visa tai sąlygoja geresnį augalų daigumą bei šaknų augimą (Tampio, 2016). Taigi, būtent dėl maistinių ir organinių medžiagų, kurių gausu digestate, jo naudojimas žemės ūkyje gali tapti plačiai paplitusia praktika (Lavrič ir kt., 2017).

Be to anaerobinis organinių medžiagų perdirbimas prisideda prie sėkmingo atliekų tvarkymo. Netinkamas organinių atliekų kaupimas neigiamai įtakoja sausumos bei

vandens ekosistemas, prisideda prie oro taršos, taip pat gali turėti neigiamos įtakos žmonių sveikatai. Sąvartynuose organinės atliekos pūva išsiskiriant metanui, kurio nekontroliuojamos emisijos sukelia globalinį šiltnamio efektą (Zeshan, 2014). Metano, kaip šiltnamio efektą sukeliančių dujų, poveikis yra 21 kartą stipresnis nei anglies dioksido.

Vykdamas antrinių organinių atliekų panaudojimą Europoje lyderiauja Vokietija, Danija, Austrija ir Švedija (EUBIA). Vien 2010-aisiais metais iš viso ES išgauto AD, žemės ūkyje buvo panaudota 80–97 procentai (Tampio, 2016). Apie 60 % Švedijoje surenkamų organinių atliekų yra perdirbamos anaerobinio skaidymo būdu. Stengiamasi ne tik išgauti biodujas ir panaudoti jų energiją, bet ir bioatliekas perdirbti taip, kad jos būtų tinkamos įterpimui į dirbamus žemės plotus. Todėl 99% biodujų jėgainėse gauto AD yra naudojama kaip organinė trąša žemės ūkio reikmėms (pagrindinė žaliava – maisto atliekos). Tyrimais nustatyta, jog per metus yra išgaunama 43 tūkst. tonų AD, 85 % pradinių žaliavų sudaro maistinės atliekos, o 15 % gyvulių mėšlas (Kovacs, 2016). Atsinaujinančias organines atliekas naudojant energijos išgavimui ne tik sumažinamas jų patekimas į sąvartynus, bet tuo pačiu taupomos neatsinaujinančios žaliavos bei sumažinamas iškastinio kuro deginimo metu išmetamų teršalų kiekis bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų patekimas į atmosferą, taip sušvelninant nepageidaujamą klimato kaitą (Blumenthal, 2011). Plėsti bioenergijos gamybą įpareigoja bei skatina ir ES galiojantys teisės aktai – taip ES skatina mažinti priklausomybę nuo įvežtinių energijos šaltinių, tokių kaip nafta ir dujos (neatsinaujinančių išteklių), tuo pačiu mažinant aplinkos taršą. O biodujų gamybos metu susidarančio AD nauda aplinkai yra akivaizdi – jis yra puikus maistinių medžiagų šaltinis augalams, todėl jo pagalba galima sumažinti sintetinių cheminių trąšų naudojimą žemės ūkyje.

AD cheminė sudėtis priklauso nuo biomasės, iš kurios jis buvo gautas, sudėties. Todėl aukštos kokybės biožaliavų naudojimas yra svarbiausias veiksnys, išgaunant saugų bei tinkamą naudoti digestatą, kuris savo ruožtu galės būti naudojamas žemės ūkyje kaip organinė trąša ar dirvožemio fiziko-chemines savybes gerinantis priedas (Al Seadi ir kt., 2013). Gyvūnų (galvijų, paukščių) mėšlas, sodo-daržo atliekos, šiaudai, pasėlių atliekos, energetiniai augalai, virtuvinės buitinės atliekos, maitinimo įstaigų bei maisto perdirbimo pramonės atliekos – visa tai vertingos žaliavos siekiant išgauti biodujas bei aukštos kokybės AD.

Tačiau digestate gali būti aptinkami ir didesni kiekiai teršalų, ypač tokių kaip sunkieji metalai (SM). SM koncentracija AD gali skirtis, priklausomai nuo žaliavų, iš kurių jis buvo išgaunamas, kokybės (Zhu ir kt., 2014). Pavyzdžiui, naminių paukščių srutos yra viena iš žaliavų, plačiai naudojamų biodujų reaktoriuose, tačiau siekiant stimuliuoti naminių paukščių augimą, naudojami paukščių maisto priedai, kurių sudėtyje dažnai aptinkama ir sunkiųjų metalų junginių (Zhu ir kt., 2014). Taip pat tyrimais patvirtinta, jog anaerobiniam perdirbimui naudojant kiaulių mėšlą, digestate bus aptinkamos padidintos vario ir cinko koncentracijos. Priežastis panaši – šie SM į gyvūnų organizmą, vėliau į jų mėšlą, patenka taip pat naudojant mikroelementais praturtintus pašaro papildus (Ricci ir kt., 2017). Užterštas AD gali turėti neigiamą poveikį tiek aplinkai, tiek ir žmogui. Kartu su digestatu į dirvą patekę SM gali akumuliuotis augaluose, pašaruose, gyvūnų organizmuose, pasiekti paviršinių ir gruntinių vandenį, ir taip per mitybos grandinę neigiamai įtakoti žmogaus sveikatą (Tampio, 2016). Pavojų kelia tai, kad SM nėra biologiškai suardomi, jų junginiai pasižymi dideliu patvarumu dirvožemyje, todėl per ilgesnį laiką gali pasireikšti jų toksinis poveikis mikroorganizmams, augalams, gyvūnams ir žmonėms (Bolan ir kt., 2014). Kai kurie SM junginiai pasižymi net ir kancerogeninėmis, mutageninėmis ar kitomis pavojingomis savybėmis. SM dirvoje nėra judrūs – jų mobilumas dirvožemyje priklauso nuo daugelio fiziko-cheminių veiksnių, įskaitant dirvožemio pH, organinės medžiagos kiekį, granulimetrinę sudėtį, molio mineralų, karbonatų bei fosfatų kiekį, katijonų mainų gebą, oksidacijos-redukcijos reakcijas (Li ir kt., 2015; Nannoni, 2016). Taip pat SM mobilumas didele dalimi priklauso ir nuo jų pačių cheminių formų dirvožemyje bei įvairių geocheminių reakcijų (Pejman ir kt., 2016). Digestate esančių SM judrumą gali įtakoti organinių rūgščių formavimasis, pH kitimas, chelatinančių organinių junginių kiekis ir sudėtis.

Šio darbo tikslas - ištirti Lietuvos biodujų jėgainėse susidarancio AD makro- ir mikroelementinę sudėtį bei įvertinti jo panaudojimo galimybes ir grėsmes.

## Tyrimų metodika

**Biodujų jėgainės.** Buvo tirta trijų vidurio Lietuvoje esančių bioatliekų fermentatorių AD kokybinė sudėtis: žemės ūkio bei mišrios žaliavos naudojančių biodujų jėgainių UAB Lekėčių „Lenergija“ ir ŽŪB „Vyčia“ (šiuo metu nebedirba) bei palyginimui UAB „Kauno vandenys“ vandenvalos nuotekų dumblą perdirbančios jėgainės (1 pav.).

Pirmųjų dviejų biodujų jėgainių pagrindinė žaliava skystas kiaulių mėšlas (srutos), kuris naudojamas kaip bazinis substratas. Jo kiekis perdirbamoje biomasėje siekia 70-90 %. Likę 10-30 % sudaro įvairios kitos augalinės ir gyvūninės kilmės atliekos – mėšlas maišomas su susmulkintomis ir autoklavuotomis (>130°C, 30min.) skerdyklos atliekomis, kitais higienizuotais šalutiniais gyvūniniais produktais, pieno, alaus, cukraus pramonės ir kitomis organinėmis atliekomis. Homogenizuotas ir pašildytas substratas paduodamas į fermentatorius. Pagamintos biodujos tiekiamos į kogeneratorius, kuriuose gaminama elektros ir šiluminė energija.

UAB „Lenergija“ naudoja dviejų stadijų fermentaciją: 2 lygiagrečius vertikalaus tipo pirminius reaktorius ir vieną

didesnį antrinį fermentatorių; darbinė temperatūra - 42°C. Bazinis substratas – skystas kiaulių mėšlas maišomas su cukrinių runkelių išspaudomis ir įvairiomis kitomis bioskaidžiomis atliekomis.



1 pav. Biodujų jėgainių geografinė padėtis  
Fig. 1. Location of biogas units

ŽŪB „Vyčia“ jėgainėje organinių atliekų substratas patenka į sumaišymo homogenizavimo talpas (3x30 m<sup>3</sup>), po to paduodamas į tris lygiagrečius horizontalaus tipo nepertraukiamo veikimo fermentatorius (3x300 m<sup>3</sup>). Biodujų jėgainė maitinama maišytu substratu, kurio pagrindas taip pat kiaulių mėšlas (60 m<sup>3</sup>/para).

AB „Kauno vandenys“ Kauno nuotekų valykloje biodujos gaminamos iš pirminio ir antrinio perteklinio veikliojo dumblo. Per buferinį rezervuarą sutankintas substratas paduodamas į dumblo anaerobinius pūdytuvus – 2 metantankus po 9000 m<sup>3</sup>. Optimali temperatūra mezofiliniam pūdymui – 34-35°C. Digestatas po nusausinimo centrifugose patenka į nusausinto dumblo bunkerius.

*Anaerobinio digestato ėminiai* buvo paimti iš biodujų jėgainės UAB „Lenergija“ – anaerobinis digestatas AD-1, biodujų jėgainės ŽŪB „Vyčia“ – AD-2 ir UAB „Kauno vandenys“ Kauno vandenvalos – AD-3. Biodujų jėgainių AD paimtas po anaerobinio perdirbimo iš tirštosios frakcijos kaupimo rezervuarų, o anaerobinio nuotekų dumblo ėminiai iš vandenvalos paimti po centrifugavimo. Taip pat paimti biodujų reaktorių pagrindinių žaliavų ėminiai: kiaulių mėšlo tirštoji frakcija (KM-1 ir KM-2), runkelių perdirbimo atliekos (RA) bei vandenvalos nuotekų dumbblas prieš anaerobinį pūdyimą (ND). Jungtinis kiekvieno digestato ar žaliavos ėminys (≈ 3 L) sudarytas iš ne mažiau kaip 6 atskirų ėminukų.

*Fiziko-cheminių rodiklių tyrimai.* Laboratorijoje nustatytas mėginių drėgnumas/sausos medžiagos kiekis (drėgnomatis KERN DBS 60-3), pradinio substrato arba digestato pH išmatuotas potenciometru ORION (Thermo Scientific). Mėginiai po centrifugavimo išdžiovinti 40°C temperatūroje iki orasausės masės. Po to rutuliniu malūnu (Retsch, Bonn) arba smulkintuvu (IKA Tube-mill) substrato arba AD mėginys susmulkintas, homogenizuotas ir saugotas tamsioje uždaroje stiklinėje taroje kambario temperatūroje. Bendras azotas nustatytas mg/kg sausos medžiagos (s.m.) Kjeldalio metodu EN ISO 13342:2000, bendras fosforas pagal LAND 78:2006 ir bendras kalis liepsnos fotometriniu metodu.

*Sunkiųjų metalų analizė.* 0,200±0,001 g tiriamos medžiagos (analizinėmis svarstyklėmis KERN ABJ-NM/ABS-N) užpildyta 5 mL konc. HNO<sub>3</sub>. Ekstrahuota 6 valandas 170°C temperatūroje uždaruose tefloniniuose induose. Mišinys ataušintas iki kambario temperatūros, nufiltruotas ir dejonizuotu vandeniu praskiestas iki 50 mL. SM nustatyti atominės absorbcijos spektrometrijos metodu Varian (liepsnos – SpectrAA 300 bei grafitinės krosnelės – SpectrAA 640) spektrofotometrus arba indukuotos plazmos optinės emisijos spektroskopijos metodu (ICP-OES) naudojant Perkin-Elmer Optima 8000 ICP-OES spektrometrą. Standartiniai tirpalai paruošti tokioje pačioje matricijoje, kaip ir mėginiai. Stikliniai indai ir kitos priemonės, naudotos analizės metu, buvo tinkamai plaunamos ir džiovinamos. Viso eksperimento metu buvo naudoti tik grynai, cheminei analizei skirti reagentai. Rezultatų patikimumui užtikrinti buvo atliekama žinomos koncentracijos mėginių analizė.

*Duomenų apdorojimas.* Maisto elementų (N, P ir K) kiekis substrate ir AD perskaičiuotas iš mg/kg ir pateiktas procentais s.m.: azoto, kaip elementinio N; fosforo, kaip fosforo pentoksido P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; kalio, kaip kalio oksido K<sub>2</sub>O. SM koncentracija, išmatuota mineralizatuose, buvo perskaičiuota į SM koncentraciją sausojoje masėje (mg/kg s.m). Visi bandymai atlikti trimis pakartojimais, SM analizės rezultatai pateikiami kaip šių pakartojimų vidutinė reikšmė ± standartinė paklaida. Microsoft Office Excel programa apskaičiuotas ir įvertintas statistinis rezultatų patikimumas; vertės p<0,05 laikytos statistiškai reikšmingomis.

## Rezultatai ir aptarimas

Drėgnumo, pH ir augalų maisto elementų N, P ir K tyrimo rezultatai pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Makroelementų kiekis substrate, jo komponentuose ir digestate  
*Table 1. Macroelement content in substrate, components and digestate*

Mėginys Sample	Sausos medžiagos Total solids % d.m.	pH	Bendras azotas Total nitrogen % d.m.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % d.m.	K <sub>2</sub> O % d.m.
<i>Substrato žaliavos / Feedstock</i>					
M-1	5.7	8.1	0.62	0.15	0.43
M-2	9.3	7.7	0.83	0.22	0.51
RA	20.4	-	0.37	0.18	0.54
ND	8.4	7.4	4.40	2.14	1.34
<i>Anaerobinis digestatas / Anaerobic digestate</i>					
AD-1	3.8	8.6	0.45	0.16	0.47
AD-2	7.8	7.9	0.69	0.24	0.55
AD-3	27.2	7.6	3.80	2.32	1.49

Visų mėginių pH buvo silpnai šarminis arba artimas neutraliam. Anaerobinio perdirbimo eigoje substrato šarminumas šiek tiek padidėja. Ypač maža sausų medžiagų koncentracija pasižymėjo digestatas AD-1 – jame sausų medžiagų buvo du kartus mažiau nei AD-2. Anaerobiškai pūdytame ir centrifuguotame nuotekų dumble AD-3 sausų medžiagų kiekis siekė net 27 %. Tokios konsistencijos digestatas laukuose jau gali būti paskleidžiamas išbarstant.

Abiejų biodujų jėginių digestatai nepasižymėjo aukšta NPK koncentracija – atskirų makroelementų kiekis nesiekė ir 1 procento: AD-1 N:P:K – 0,45:0,16:0,47, o AD-2 –

0,69:0,24:0,55. Gerokai didesnis šių augalų maisto elementų kiekis buvo rastas vandenvaio anaerobiniame dumble AD-3: bendrojo azoto – 3,8%, bendro P – 2,3% ir bendro K – 1,5%.

Vidutinės SM (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ir Zn) koncentracijos tirtuose mėginiuose, pateiktos 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Sunkiųjų metalų koncentracija digestato sausoje masėje  
*Table 2. Concentration of heavy metals in digestate dry matter*

Metalas Metal	AD-1		AD-2		AD-3	
	Mean mg/kg	RSTDEV %	Mean mg/kg	RSTDEV %	Mean mg/kg	RSTDEV %
Cd	0.66	3.17	0.78	3.24	4.40	2.27
Cr	3.56	4.80	7.87	1.94	85.33	2.95
Cu	316.67	3.69	427.00	2.23	236.00	1.69
Ni	6.97	4.61	11.37	0.51	36.23	2.11
Pb	3.60	2.78	2.90	3.45	54.83	2.35
Zn	1423.33	2.84	2183.33	4.61	1320.00	2.27

Visuose mėginiuose nustatytos aukštos Zn ir Cu koncentracijos. Šiuo metu Lietuvoje (taip pat ir ES) nėra tiesioginio teisės akto, reglamentuojančio iš bioatliekų pagamintų organinių trąšų ar dirvos gerintojų (komposto, digestato) kokybę. Vertinant AD kokybę bei jo panaudojimo galimybes, tenka remtis kriterijais, kurie suformuluoti nuotekų dumbliui skirtame normatyviniame dokumente LAND 20-2005 (2 lentelė). Produktas, kuriame SM kiekis neviršija I-klasei nurodytų ribinių koncentracijų, gali būti naudojamas žemės ūkyje, laikantis dokumente nustatytų reikalavimų; II-klasės dumblo naudojimas labai apribotas, o III-klasės - draudžiamas. Palyginimui 2 lentelėje taip pat pateiktos ribinės vertės pagal naujai rengiamus EK kriterijus bioproduktams. Tiek Cu, tiek Zn jos siūlomos didesnės, negu šiuo metu galiojančios Lietuvoje – 200 ir 400 mg/kg atitinkamai. Tyrimo rezultatai parodė, kad nuotekų dumblo AD-3 utilizavimą žemės ūkyje apriboja aukštos Cd, Zn ir Cu koncentracijos. Cd kiekis (4,4 mg/kg) viršija šiuo metu LT galiojančią ribinę vertę (1,5 mg/kg) 3 kartus, Cu taip pat 3 kartus, o Zn – virš 4 kartų. Abiejų biodujų jėginių AD naudojamą ribojantys metalai – Zn ir Cu. Jų koncentracijos viršija didžiausias leidžiamas nuo 4 iki 7 kartų. Šios taršos priežastis – pašaruose naudojami priedai. Tą patvirtina ir pradinio kiaulių mėšlo substrato tyrimas – jame šių dviejų SM koncentracijos nustatytos netgi aukštesnės nei digestate.

**3 lentelė.** Sunkiųjų metalų ribinės vertės dumble arba digestate, mg/kg s.m.  
*Table 3. Limit values of heavy metals in the sludge or digestate, mg/kg d.m.*

Metalas Metal	LAND 20-2005		Siūlomos vertės pagal EK rengiamus kriterijus digestatui-produktui Limit values by EC draft criteria on digestate (End-of-Waste) quality
	I-klasės dumbblas I-class sludge	II-klasės dumbblas II-class sludge	
Cd	1.5	20	1.5
Cr	140	400	100
Cu	75	1000	200
Ni	50	300	50
Pb	140	750	100
Zn	300	2500	400

Visi tirti AD mėginiai pagal SM kiekį tenkina II-kategorijos dumbliui keliamus reikalavimus, tačiau tokio

produkto panaudojimo galimybės labai ribotos. Siekiant aukštesnės anaerobinio digestato kokybės, reiktų mažinti kiaulių mėšlo, kaip bazinio substrato, kiekį į fermentatorius paduodamame mišinyje ir, tuo pat metu, didinti „švarių“ žaliavų kiekį mišinyje, tokių kaip, žemės ūkio gamybos augalinės ar maisto perdirbimo pramonės atliekos, energetinių augalų biomasė, ir pan. Galima taikyti ir kitas priemones, siekiant išplėsti AD panaudojimą: gauto digestato perdirbimas (pvz. kompostavimas, granuliuotų organinių trąšų gamyba), SM stabilizavimas arba pašalinimas chelatinančių junginių pagalba.

## Išvados

1. Biodujų jėginių digestatas pasižymėjo nedideliu makroelementų N, P ir K kiekiu, kuris nesiekė 1 %. Gerokai didesnis augalų maisto elementų kiekis buvo rastas vandenvals anaerobiniame dumble: N:P:K – 3,8:2,3:1,5.

2. Anaerobinio nuotekų dumblo utilizavimą žemės ūkyje apriboja aukštos Cd, Zn ir Cu koncentracijos. Cd ir Cu kiekis viršijo DLK I-klasės produktui pagal LAND 20-2005 3 kartus, o Zn kiekis – daugiau kaip 4 kartus. Kiaulių mėšlo pagrindu veikiančių biodujų jėginių digestato naudojimą ribojantys metalai – Zn ir Cu. Jų koncentracijos ribines vertes viršijo nuo 4 iki 7 kartų.

## Literatūra

- AL SEADI T., DROSG B., FUCHS W., RUTZ D., JANSSEN R., 2013. Biogas digestate quality and utilization.
- BLUMENTHAL K., 2011. Generation and treatment of municipal waste. Environment and energy.
- DIRECTIVE 2008/98/EC ON WASTE (Waste Framework Directive) of the EP and of the Council of 19 November 2008.
- YASAR A., NAZIR S., RASHEED R., TABINDA A.B., NAZAR M., 2017. Economic review of different designs of biogas plants at household level in Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews 74, p. 221-229.
- KADAM R., PANWAR N. L., 2017. Recent advancement in biogas enrichment and its applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 73, p. 892-903.
- KOVACS E., 2016. Success Stories: anaerobic digestion of biodegradable municipal solid waste in European cities. European Biogas Association.
- KUPPER T., BURGE D., BACHMANN H. J., GUSEWELL S., MAYER J., 2014. Heavy metals in source-separated compost and digestates. Waste Management 34, p. 867-874.
- LAVRIČ L., CERAR A., FANEDL L., LAZAR B., LOGAR R. M., 2017. Thermal pretreatment and bioaugmentation improve methane yield of microalgal mix produced in thermophilic anaerobic digestate. Anaerobe (2017), p. 1-8.
- LI Y., ZHANG H., TU C., SONG F., LUO Y., 2015. Occurrence of red clay horizon in soil profiles of the Yellow River Delta: Implications for accumulation of heavy metals. Journal of Geochemical Exploration, p. 120-127.
- NANNONI F., PROTANO G., 2016. Chemical and biological methods to evaluate the availability of heavy metals in soils of the Siena urban area (Italy). Science of the Total Environment, p. 1-10.
- OHIMAIN E. I., IZAH S. C., 2017. A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. Renewable and Sustainable Energy Reviews 70, p. 242-253.
- PEJMAN A., BIDHENDI G. N., ARDESTANI M., SAEEDI M., BAGHVAND A., 2016. Fractionation of heavy metals in sediments and assessment of their availability risk: A case study in the northwestern of Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin 114, p. 881-887.
- RICCI A., MASSACCESI L., PEZZOLLA D., CORTIC G., AGNELLI A., GIGLIOTTIA G., 2017. Multi-approach characterization of organic sediment produced by anaerobic digestion plant fed with pig slurry and stored for a longterm in a lagoon. Journal of Hazardous Materials 330, p. 29-35.
- TAMPIO E., SALO T., RINTALA J., 2016. Agronomic characteristics of five different urban waste digestates. Journal of Environmental Management 169, p. 293-302.
- ZESHAN, VISVANATHAN C., 2014. Evaluation of anaerobic digestate for greenhouse gas emissions at various stages of its management. International Biodeterioration & Biodegradation 95, p. 167-175.
- ZHU N., LI Q., GUO X., ZHANG H., DENG Y., 2014. Sequential extraction of anaerobic digestate sludge for the determination of partitioning of heavy metals. Ecotoxicology and Environmental Safety 102, p. 18-24.

Evelina Arčemaitė, Valdas Paulauskas, Mindaugas Kondratavičius

## Heavy Metals in Biogas Anaerobic Digestate

### Summary

The world's population is rapidly increasing together with waste generated adversely affecting the environment, human health and contributing to global climate change. Waste management should be sustainable, effective and economically feasible. Studies have shown that anaerobic digestion of organic waste with biogas energy recovery is one of the most effective and environmentally friendly biowaste management options. During anaerobic biogas production digestate is generated. Recycling of anaerobic digestate in agriculture is being encouraged: such way of organic waste utilisation helps to return back plant nutrients to the soil, also reduces losses of organic matter caused by intensive farming. However, such on-land recycling can be limited due to high concentration of heavy metals in anaerobic digestate, mainly determined by the feedstock quality. In this work characterisation of the anaerobic digestate from three different biogas units operating in Lithuania has been carried out and possibilities of its on-land application discussed.

*Anaerobic digestate, organic waste, biogas, heavy metals, macroelements*

*Gauta 2017 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2017 m. balandžio mėn.*

---

**Evelina ARČEMAITĖ.** Aleksandro Stulginskio universiteto Miškų ir ekologijos fakulteto Taikomosios ekologijos magistrantūros II kurso studentė. Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel. (8 6) 8951601, el. paštas: [arceimate@yahoo.co.uk](mailto:arceimate@yahoo.co.uk).  
**Valdas PAULAUSKAS.** Aleksandro Stulginskio universiteto Miškų ir ekologijos fakulteto Aplinkos ir ekologijos instituto gamtos (chemijos) mokslų daktaras, profesorius. Adresas: Universiteto g. 10, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel (+370) 37 752 215, el. paštas: [valdas.paulauskas@asu.lt](mailto:valdas.paulauskas@asu.lt).  
**Mindaugas KONDRATAVIČIUS.** Aleksandro Stulginskio universiteto Miškų ir ekologijos fakulteto doktorantas (aplinkos inžinerija). Adresas: Studentų g. 11, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel. (8 6) 8652920, el. paštas: [mindaugas@biogeba.lt](mailto:mindaugas@biogeba.lt).  
**Evelina ARČEMAITĖ.** Aleksandras Stulginskis University Faculty of Forestry and Ecology Institute of Environment and Ecology, MSc student of Applied Ecology. Address: Studentu 11, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370) 68951601, E-mail: [arceimate@yahoo.co.uk](mailto:arceimate@yahoo.co.uk).  
**Valdas PAULAUSKAS.** Aleksandras Stulginskis University Institute of Environment and Ecology, Doctor of Natural (Chemistry) Sciences, Professor. Address: Universiteto str. 10, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370) 37 752 215, E-mail: [valdas.paulauskas@asu.lt](mailto:valdas.paulauskas@asu.lt).  
**Mindaugas KONDRATAVIČIUS.** Aleksandras Stulginskis University Institute of Environment and Ecology, PhD student (environmental engineering). Address: Universiteto str. 10, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Tel (+370) 68652920, E-mail: [mindaugas@biogeba.lt](mailto:mindaugas@biogeba.lt).