

REAGENTŲ POVEIKIO DUMBLO PŪDYMO PROCESUI TYRIMAS

Debora Čepronaitė¹, Regimantas Dauknys²

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*

El. p. ¹debora.cepronaite@stud.vilniustech.lt; ²regimantas.dauknys@vilniustech.lt

Anotacija. Reagentų taikymas spartina nuotekų dumblo pūdyimo procesą, kuriuo mažinamas dumblo kiekis, efektyviau stabilizuojamas dumblas ir kaip šalutinis produktas biodujos gali išsiskirti efektyviau. Biodujų gavyba – atsinaujinantis energijos šaltinis – yra puikiai pritaikoma, o tai leidžia įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus. Reagentų įterpimas į dumblo pūdyimo grandį gali padidinti dumblo pūdyimo efektyvumą, skatina biodujų išsiskyrimą. Naujų reagentų poveikis nėra ištirtas, todėl svarbu tirti poveikį dumblo pūdyimo procesui. Tyrimas sudarytas iš 4 etapų, pūdant dumblą taikytos skirtingos reagentų koncentracijos bei geležies chloridas. Nustatyta, kad geležies junginių naudojimas turi teigiamos įtakos biodujų gavybai. Geležies miltelių įterpimas padidina metano dujų išsiskyrimą bei sumažina sieros vandenilio koncentraciją. Darbe analizuojamas reagentų poveikis Šilutės miesto nuotekų valykloje susidariusio dumblo pūdyimo procesui. Taikomi reagentai „Lima“ ir „Sierra“. Tyrimo tikslas įvertinti reagentų poveikį dumblo pūdyimo ir biodujų susidarymo procesams Šilutės miesto nuotekų valykloje bei nustatyti optimalią reagentų dozę. Reagentų taikymas dumblo pūdyimo procese 20 parų mezofilinėmis sąlygomis pagerino BSM suskaidymą, sumažino fosfatų fosforo koncentraciją dumblo vandenyje, padidino išsiskyrusių biodujų kiekį, be to, pagerėjo biodujų kokybė: padidėjo CH₄.

Reikšminiai žodžiai: dumblas, anaerobinis stabilizavimas, biodujos, reagentas, geležies oksidas, metanas.

Įvadas

Nuotekų dumblas – tai šalutinis produktas, paprastai susidarantis pirminio ir antrinio nuotekų valymo procesuose. Didėjant nuotekų dumblo kiekiui jo stabilizavimas tapo viena aktualiausių problemų pasaulyje. Dėl šios priežasties ieškamos ir taikomos dumblo apdorojimo technologijos, kurios leistų sumažinti dumblo kiekius bei sudarytų galimybę jį panaudoti kitose pramonės bei ūkio šakose (Fytili, 2008).

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje, vienas iš dažniausiai taikomų dumblo apdorojimo būdų yra anaerobinis dumblo stabilizavimas, leidžiantis ne tik iki 40 % sumažinti dumblo kiekį sausų medžiagų atžvilgiu, bet ir išgauti biodujas, sumažinti patogeninių organizmų kiekį, suskaidyti lengvai skaidomas organines medžiagas tokiu būdu panaikinant nemalonius kvapus (Vesilind, 2003; Perrez-Elvira, 2006).

Siekiant užtikrinti kuo efektyvesnį dumblo kiekio sumažinimą bei biodujų išgavimą, svarbu išanalizuoti pūdyimo procesą taikant reagentus. Literatūros analizė rodo, kad reagentų taikymas dumblo pūdyimo proceso

metu greičiau stabilizuoja dumblą. Rinkoje atsirandantys vis nauji reagentai yra mažai ištirti, o tai svarbus faktorius norint taikyti reagentus praktikoje. Praktikoje naudojami skirtingi reagentai skirtingai veikia dumblo pūdyimo procesą, todėl rinkoje ieškoma vis tobulesnio reagento.

Pasaulyje sparčiai augant gyventojui skaičiui, augant pramonei bei plečiantis centralizuotam nuotekų tinklui, nuotekų valyklose susidaro vis didesni kiekiai perteklinio dumblo. Remiantis žiedinės ekonomikos principu, kad atliekos, tokios kaip perteklinis dumblas, turi tapti alternatyviu resursu ir būti panaudojamos, ieškamos vis naujesnės dumblo apdorojimo technologijos, kurios sumažintų dumblo susidarymo kiekius bei užtikrintų jo tolesnį panaudojimą kitose pramonės bei ūkio šakose (Fytili & Zabaniotou, 2008).

Efektyviam susidariusio dumblo perdirbimui ir jo pašalinimui būtina žinoti jo savybes. Dumblas, susidaręs nuotekų valymo proceso metu, yra skirstomas į pagrindines dvi grupes: pirminį (fiziškai ir / arba chemiškai apdorotas) ir antrinį (biologiškai apdorotas). Kartais

išskiriamas ir tretinis dumblo tipas, kuris gaunamas po papildomo organinių medžiagų pašalinimo (Fytli & Zabaniotou, 2008).

Pirminis dumblas – tai suspensijos, kurias sudaro nusėdusios skendinčios dalelės, susidarantys pirminių nusodintuvų dugne. Pirminis dumblas yra pilkos arba rudos spalvos, susidedantis iš skirtingo dydžio dalelių ir turintis nemalonų kvapą. Dumble yra azoto (apie 2,5 %), kalio (nuo 0 iki 1 %) ir fosforo (apie 2 % nuo sausų medžiagų kiekio), o pagrindinė dalis yra sudaryta iš organinių medžiagų 60–75 %. Bendra medžiagų koncentracija gali svyruoti nuo 2–7 % (kietosios dalelės svyruoja paprastai nuo 0,1–0,3 kg/m³). Susidarantio pirminio dumblo kiekio bendrasis įvertinimas yra atliekamas apskaičiavus skendinčių medžiagų kiekį, patenkančių į nuotekų valymo įrenginius, ir įvertinant pašalinimo normą. Pirminio dumblo pašalinimo lygis yra diapazone nuo 50–65 %. Pirminio dumblo pH yra apie 6. Nuo 5–20 % pirminį dumblą sudaro dalelės, kurių dydis yra 7 mm, 9–33 % – dalelės, kurių dydis yra nuo 1–7 mm, 50–88 % – mažesnės nei 1 mm, iš kurių apie 45 % yra mažesnės nei 0,2 mm. Drėgnumas yra 93–97 % (Turovskiy & Mathai, 2006).

Pirminiame dumble esančios organinės medžiagos yra laisvos formos, todėl jis labiau tinkamas pūdymui nei veiklusis dumblas (Andreoli, Sperling, Fernandes & Ronteltap, 2007; Tchobanoglous, Stensel, Tsuchihashi & Burton, 2014). Svarbi pirminio dumblo savybė, kad lyginant jį su veikliuoju dumbu, jo tankinimas nėra būtinas, nes dumbliui tankinti naudojami polimerai, kurie sukeldami flokuliacijos ir koaguliacijos procesus, neigiamai veikia pūdymą. Pasak J. Filer'io, H. H. Ding'o ir S. Chang'o (2019), pirminiame dumble esančios organinės medžiagos yra laisvos formos, jos yra lengviau skaidomos pūdymo procese dalyvaujančių mikroorganizmų, todėl pirminio dumblo pūdymas yra efektyvesnis ir jį pūdant susidaro iki 3 kartų didesnis metano kiekis nei pūdant veiklųjį dumblą.

Valomose nuotekose dalis esančių metalų pirminio nusodinimo metu susidarant pirminiam dumbliui pasilieka jame. Didelės sunkiųjų metalų koncentracijos nuotekų dumble gali sukelti žalą aplinkai bei sveikatai, dėl šios priežasties pirminio dumblo naudojimas žemės ūkiu ar statybos pramonėje yra ribotas, pasak K. K. Shamuyarir'o ir J. R. Gumbo (2014).

Antrinis dumblas dažnai literatūroje dar vadinamas veikliuoju dumbliu. Antrinio dumblo sudėtyje sausų medžiagų kiekis yra nuo 0,4 % iki 1,5 %, o pH reikšmės dažniausiai svyruoja nuo 6,5 iki 8,0. Lyginant su pirminiu dumbliu, šiame dumble yra mažesni riebalų ir celiuliozės kiekiai, tačiau randama daug didesnės azoto ir baltymų koncentracijos (Turovskiy, 2006). Veiklusis dumblas, kontaktuodamas su nuotekų teršalais, absorbuoja juos, o

mikroorganizmai teršalus naudoja savo gyvybinei veiklai vykdyti ir oksiduoja juos iki anglies dvideginio, vandens, nitratų, fosfatų ir kt. (Beržinskienė, 1999). Esant veiklijo dumblo pertekliui bioreaktoriuje, mikroorganizmuose sukaupti organiniai teršalai pašalinami kartu su pertekliu dumbliu. Toks dumblas yra takus ir sunkiai atiduoda drėgmę toliau jį apdorojant dumblo įrenginiuose (Vesilind, 2003).

Antrinio dumblo pūdymas yra mažiau efektyvus nei pirminio dumblo pūdymas, kadangi antriniame dumble esančios organinės medžiagos yra mikroorganizmų ląstelėse ir yra sunkiau prieinamos pūdymo procesą vykdančioms mikroorganizmams, o organinėms medžiagoms išlaisvinti iš ląstelių vidaus turėtų būti taikomas dumblo skaidymas (Eskicioglu, Prorot, Marin, Droste & Kennedy, 2008).

Literatūroje teigiama, kad metalų druskų perdozavimas paspartina rūgštis gaminančių bakterijų dauginimąsi, todėl nukrenta pūdymo dumblo pH, dėl to sumažėja pūdymo procese dalyvaujančių mikroorganizmų aktyvumas. Taip pat surišus per didelius biologiškai skaidomo fosforo ir geležies kiekius, atsiranda šių medžiagų trūkumas mikroorganizmų gyvybinei veiklai palaikyti, todėl sulėtėja mikroorganizmų aktyvumas (Smith & Carliell-Marquet, 2009).

Pirminis nuotekų valymas pašalina tik 5–15 % fosforo, esančio kietos organinės formos. Įprastas biologinis valymas didelių fosforo kiekių taip pat nepašalina (maždaug 10–25 %). Papildomas fosforo pašalinimas gali būti pasiektas dozuojuojant geležies ir aliuminio druskas arba kalkes į dumblą. Kalkės yra retai naudojamos, nes jos didina dumblo kiekį ir nėra patogu naudoti (Bitton, 2005). Geležies druskų dozavimas į dumblą gali padidinti netirpių sulfidų kiekį ir sumažinti H₂S kiekį biodujose iki mažesnės reikšmės nei 150 ppm (priklausomai nuo dozuojuojamos druskos kiekio). Geležies druskų perteklius taip pat gali slopinti ir biodujų formavimąsi (Appels, 2008).

Pasak S. Ofverstrom (2014), geležies chloridas yra plačiai naudojama druska, kuri sumažina vandenilio sulfido koncentraciją biodujose ir struvito susidarymą, bet sumažina fosfatų šalinimą pūdant dumblą anaerobiniu būdu. Taip pat S. Ofverstrom, R. Dauknio ir I. Sapkaitės (2011) teigimu, įterpus geležies chloridą į dumblo pūdymo procesą biodujų išėiga sumažėja vidutiniškai 30 %.

Tyrėjos Smith ir Carliell-Marquet nustatė, kad Fe dozavimas pūdant perteklinį veiklųjį dumblą sumažino biodujų susidarymą 12–20 %. Johnson et al. nustatė, kad Fe dozavimas sumažina biodujų gamybą iki 32 %, o tyrėjai Lee ir Shoda teigia, kad Fe dozavimas padidina biodujų susidarymą (Smith & Carliell-Marquet, 2008; Lee & Shoda, 2008).

Vienas iš anaerobinio dumblo pūdymo privalumų, dėl kurio stabilizuotas dumblas patenka į žiedinės

ekonomikos veikimo produktų sąrašą, yra biodujos. Proceso metu susidaro biodujos – atsinaujinančios energijos šaltinis, kuris gali būti panaudotas pūdytuvų ir kitų nuotekų valyklos įrenginių eksploatacijai ar elektros gamybai, kuria galima aprūpinti kitus energijos reikalaujančius objektus. Lietuvoje biodujų gavyba iš nuotekų dumblo vykdoma Utenos, Kauno, Panevėžio, Vilniaus ir Klaipėdos nuotekų valyklose.

Pagrindiniai biodujų komponentai yra metanas (CH_4) ir anglies dvideginis (CO_2). Biodujose, priklausomai nuo žaliavos sudėties, būna labai maži vandenilio (H_2), sieros vandenilio (H_2S), azoto (N) ir kitų medžiagų kiekiai. Dažniausiai biodujose metano būna nuo 55 iki 70 %, anglies dvideginio – nuo 30 iki 45 %, vandenilio – iki 1 % ir sieros vandenilio iki 3 % (Holm-Nielsen, 2009).

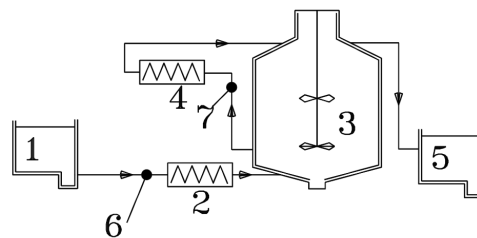
Metanas yra pagrindinis ir vertingiausias biodujų komponentas. Anglies dvideginis nedegus ir yra kaip balastas, o vandenilio ir sieros vandenilio kiekiai biodujose labai maži. Svarbiausias biodujų savybes – šiluminę vertę, užsiliepsnojimo temperatūrą ir užsiliepsnojimo ore ribines koncentracijas lemia metano kiekis biodujose.

Biodujų energinė vertė tiesiogiai susijusi su metano koncentracija. Esant metano daugiau negu 55 %, biodujos laikomos vertingu kuru. Kai biodujos naudojamos kaip automobilių kuras, jos išvalomos iki 97 % metano lygio. Vienas kubinis metras išvalytų biodujų apytikriai prilygsta vienam litrui benzino. Biodujos yra gamtos ciklo dalis, todėl grynojo anglies dioksido išmetimas į atmosferą bus nulinis. Tai idealus kuras, nes gali būti gaminamas toje pačioje teritorijoje, kurioje yra sunaudojamas.

Šiame darbe analizuojamas geležies junginių bei reagentų „Sierra“ ir „Lima“ poveikis dumblo pūdymo procesui, pūdymo metu išsiskiriančių biodujų kiekio ir kokybės skirtumai taikant skirtingas reagentų dozes.

Tyrimo metodika

Siekiant įvertinti reagentų poveikį dumblo kiekio mažinimui, biodujų kokybės gerinimui ir išsiskyrusių biodujų kiekio didinimui dumblo pūdymo metu, naudotas Šilutės miesto nuotekų valyklos pirminio ir perteklinio dumblo mišinys bei dumblo pūdytuve pūdytas dumblas kaip pasėlis. Šilutės miesto nuotekų valykloje yra veikianti dumblo apdorojimo sistema, kuri priima ir anaerobiškai stabilizuoja pirminiuose nusodintuvuose susidariusį pirminį, biologinio valymo metu susidariusį perteklinį ir atvežtinį skystąjį dumblą. Šilutės miesto nuotekų valyklos dumblo apdorojimo sistema pateikta 1 pav. Tyrimui naudotas pirminio ir perteklinio dumblo mišinys yra paimtas iš linijos tarp dumblo mišinio rezervuaro ir šilumokaičio prieš pūdymo procesą, o pasėlis imtas iš recirkuliacinės dumblo pūdymo linijos. Dumblo mėginiai imami vadovaujantis Lietuvos standartu (LST EN ISO 5667–13 2006).



1 paveikslas. Supaprastinta Šilutės miesto dumblo apdorojimo technologinė schema (1 – dumblo mišinio rezervuaras, 2 – šilumokaitis, 3 – pūdytuvas, 4 – šilumokaitis, 5 – pūdyto dumblo rezervuaras, 6 – dumblo mišinio paėmimo vieta, 7 – dumblo pasėlio paėmimo vieta)

Laboratoriniai tyrimai atlikti VILNIUS TECH Vandentvarkos laboratorijoje. Tyrimai vyko 2021 m. rugsėjo – 2021 m. gruodžio mėnesiais. Tyrimui atlikti naudotas anaerobinio pūdymo modelis „W8 Armfield Ltd“ (Didžioji Britanija). Šis modelis yra sukomplektuotas iš dviejų lygiagrečiai pastatytų anaerobinių reaktorių, kurių darbinis tūris yra 4,6 l. Reaktoriuose pastovi temperatūra palaikoma dviem elektriniais kilimėliais. Dumblas palaikomas skandinčioje būsenoje dvejomis mechaninėmis maišyklėmis, kurios veikė 80 sukčių per minutę. Pūdymo metu susidariusios dujos buvo kaupiamos atskiruose, prie kiekvieno iš reaktorių prijungtuose 2000 ml kalibruotuose induose, prie kurių kiekvieną dieną buvo prijungiamas „GasData“ serijos „GFM 410“ dujų sudėties analizatorius, kuriuo nustatoma išsiskyrusių biodujų sudėtis ir kokybė. Biodujų sudėtis šiuo prietaisu yra registruojama kas 100 ml.

Tyrimui naudojami du skirtingi reagentai, pagaminti skirtingose pasaulio vietose. Reagentai „Lima“ – švedų ir „Sierra“ – Pietų Afrikos kilmės. Šie reagentai yra juodos spalvos, vandenyje netirpūs, bekvapiai milteliai. Deja, tiksliai šių reagentų sudėtis nėra atskleista.

Anaerobiniuose reaktoriuose hidraulinė išbuvimo trukmė nuotekų valymo procese yra nuo 15 iki 30 dienų. O tam, kad anaerobinis skaidymas vyktų efektyviai, turi būti palaikomos mezofilinės temperatūros sąlygos (Alepu et al., 2016). Dėl šios priežasties dumblas pūdytas 20 parų palaikant 37 °C temperatūrą.

Tirtas dumblas maišytas su pūdytu dumbliu kaip pasėliu, santykiu 5:1 pagal bepelenes sausas medžiagas tam, kad pūdymo procesas prasidėtų nedelsiant. Pasėlio kiekis apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$V_p = \frac{BSM_T \times 4,6}{5 \times BSM_p + BSM_T}, l, \quad (1)$$

čia BSM_T – dumblo prieš pūdytą bepelenių sausų medžiagų koncentracija, gBSM/l; BSM_p – pūdyto dumblo bepelenių sausų medžiagų koncentracija, gBSM/l; 4,6 – reaktoriaus tūris, l; 5 – santykis tarp dumblo BSM prieš pūdytą ir po jo.

Prieš užpildant anaerobinius reaktorius nustatomos gauto dumblo ir pasėlio mišinio sausosios medžiagos (SM), bepelinės sausosios medžiagos (BSM), dumblo mišinio vandens cheminis deguonies suvartojimas (ChDS), fosfatų fosforas ($\text{PO}_4^- - \text{P}$) dumblo vandenyje.

Reagento poreikis apskaičiuotas pagal Šilutės miesto faktinius dumblo pūdymo duomenis: H_2S koncentraciją dujose, ppm (milijoninės dalys) ir fosfatų fosforo koncentraciją dumblo vandenyje. Pagal gautus duomenis proporcingai įvertinta preliminari reagento dozė, kuri yra 0,35 g reagento/1 g sausos medžiagos.

20 parų trunkančio anaerobinio stabilizavimo metu buvo stebimas ir lyginamas abiejuose reaktoriuose susidariusių biodujų kiekis bei nustatomi šie biodujų sudėties parametrai: metanas (CH_4) ir sieros vandenilis (H_2S).

Po pūdymo proceso nustatomos kiekvieno reaktoriaus pūdomo dumblo sausosios medžiagos (SM), bepelinės sausosios medžiagos (BSM), pūdyto dumblo vandens cheminis deguonies suvartojimas (ChDS), fosfatų fosforas ($\text{PO}_4^- - \text{P}$) ir amonio azotas ($\text{NO}_3^- - \text{N}$).

Tyrimo metu rodiklių reikšmės nustatomos pagal 1 lentelėje pateiktas metodikas.

1 lentelė. Rodiklių nustatymo metodikos

Rodiklis	Nustatymo metodika
SM, BSM	LST EN 15934:2012. Dumblo apibūdinimas. Sausos masės nuostolių išskaitinimas
Fosfatų fosforas	Kalibruotas spektrofotometras. MERCK fosfatų ($\text{PO}_4^- - \text{P}$) testo rinkinys (paklaida 0,02 mg/l)
Biodujų kiekis	Kalibruotas 2,0 l indas
Biodujų sudėtis	Kalibruotas GAS DATA GFM410 dujų analizatorius (paklaida 0,05 %)

Norint įvertinti dumblo pūdymo efektyvumą, naudojant reagentus, apskaičiuojamas sausų medžiagų, sausų bepelinių medžiagų sumažėjimas, biodujų susidarymo kiekio padidėjimas bei cheminio deguonies suvartojimo ir fosfatų fosforo koncentracijos pokytis po pūdymo dviejuose anaerobiniuose reaktoriuose, į vieną iš jų, t. y. pūdytuvą, įterpus reagentą.

Tiriamąjį parametru pokytis apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$X = \frac{X_{\text{prieš}} - X_{\text{po}}}{X_{\text{prieš}}} \times 100 \%, \quad (2)$$

čia $X_{\text{prieš}}$ – tiriamojo parametro koncentracija prieš pūdytuvą; X_{po} – tiriamojo parametro koncentracija po 20 parų pūdymo.

Biodujų kiekio padidėjimas įterpus reagentą apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$Q_{\text{dujų}} = \frac{Q_{\text{prieš}} - Q_{\text{po}}}{Q_{\text{prieš}}} \times 100 \%, \quad (3)$$

čia $Q_{\text{prieš}}$ – pūdomo dumblo be reagento išsiskyrusių biodujų kiekis per 20 parų, l; Q_{po} – pūdomo dumblo su reagentu išsiskyrusių biodujų kiekis per 20 parų, l.

Susidariusių biodujų rodiklių reikšmės apskaičiuojamos pagal (4) formulę:

$$R_{\text{dujų}} = \frac{Q_{\text{dujų}/d} \times R_{\text{dujų}/d}}{\sum Q_{\text{dujų}}}, \quad (4)$$

čia $Q_{\text{dujų}/d}$ – per parą susidariusių dujų kiekis, ml; $R_{\text{dujų}/d}$ – tiriamojo rodiklio dalis biodujose, %; $\sum Q_{\text{dujų}}$ – susidariusių biodujų kiekis per 20 parų, l.

Specifinis biodujų susidarymas apskaičiuojamas pagal (5) formulę.

$$D = \frac{\sum Q_{\text{dujų}}}{(BSM_{\text{prieš}} - BSM_{\text{po}})} \cdot \frac{l}{g}, \quad (5)$$

čia $\sum Q_{\text{dujų}}$ – pūdymo metu susidaręs biodujų kiekis, l; $\sum Q_{\text{dujų}}$ – perteklinio dumblo mišinio bepelinių sausų medžiagų koncentracija prieš pūdytuvą, g BSM/l; BSM_{po} – pūdyto dumblo bepelinių sausų medžiagų koncentracija, g BSM/l.

Laboratorinių tyrimų rezultatai

Keturių etapų po 20 parų dumblo pūdymo parametru palyginimo rezultatai, pūdamą dumblą dviejuose anaerobiniuose reaktoriuose 37 °C temperatūroje ir į vieną iš reaktorių įterpus reagentą, pateikti 2 lentelėje.

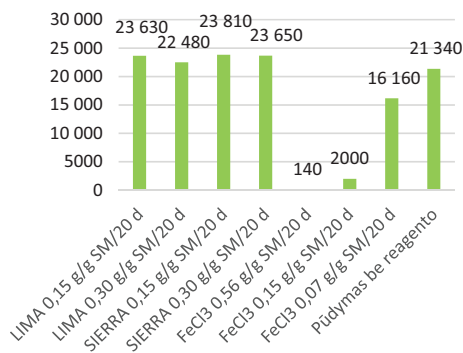
2 lentelė. Parinktos reagento dozės skirtingais pūdymo proceso tyrimo etapais

Parametras	I etapas	II etapas	III etapas	IV etapas
Taikyta vienkartinė reagento dozė pūdymo procesui, kurio trukmė – 20 parų, g reagento/g SM dumblo mišinio	0,15 ir 0,30 reagentas „Lima“	0,15 ir 0,30 reagentas „Sierra“	0,56 geležies chlorido ir mėginys be reagento	0,15 ir 0,07 geležies chloridas

Biodujų susidarymo analizė

Analizuojant bendrą viso tyrimo metu išsiskyrusių biodujų kiekį matyti, kad didžiausias biodujų kiekis išsiskyrė taikant reagentus „Sierra“ ir „Lima“.

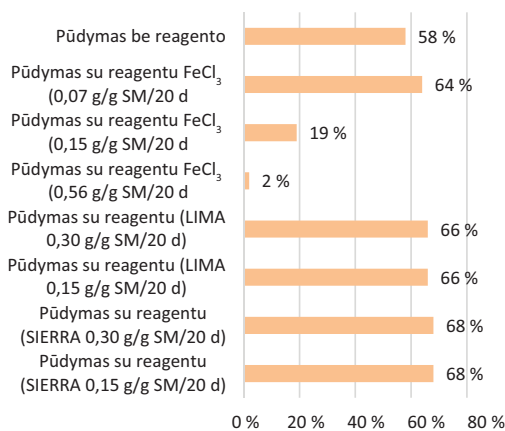
Tyrimo rezultatai rodo, kad didžiausias biodujų kiekis pasiektas į pūdomą dumblą įterpus „Sierra“ reagento 0,15 g reagento/g SM dumblo mišinio per 20 dienų 23 810 ml. Informacija pateikta 2 paveiksle.



2 paveikslas. Susidariusių biodujų kiekis, ml/20 d.

Biodujų kokybės analizė

Pagrindiniai biodujų kokybės rodikliai yra metano koncentracija (CH₄, %) ir sieros vandenilis (H₂S, ppm). Per 20 parų susidariusi metano koncentracija išsiskyrusiose biodujose taikant reagentus skirtingomis dozėmis ir taikant geležies chloridą yra skirtinga. Atliekant tyrimą biodujų kokybė buvo nustatoma kas 24 valandas. Vidutinis metano kiekis biodujose procentais pareiktas 3 paveiksle.



3 paveikslas. Vidutinis metano kiekis biodujose, %

Pūdymo procese naudojant reagentą „Sierra“ biodujose išsiskyrė didžiausias kiekis metano, viso etapo metu vidutinė metano procentinė reikšmė siekė 68 % taikant reagentą „Sierra“ 0,15 g reagento/g SM ir 0,30 g reagento/g SM. Naudojant reagentą „Sierra“ metano kiekis biodujose išgaunamas 2 procentiniais punktais didesnis nei naudojant reagentą „Lima“, nepaisant naudojamų reagentų koncentracijos. Metano kiekis biodujose siekė 66 % naudojant reagentą „Lima“ 0,15 g reagento/g SM ir 0,30 g reagento/g SM. Akivaizdu, kad taikant skirtingas dozes reagentų metano kiekis biodujose nekinta, tiek taikant 0,15 g reagento/g SM, tiek dvigubai didesnę dozę pasiekti rezultatai vienodi.

Rezultatai, gauti naudojant geležies chloridą, kaip ir tikėtasi, mažesni nei taikant „Sierra“ ir „Lima“ reagentus, tačiau, esant mažiausiai geležies chlorido koncentracijai,

vidutinis metano kiekis biodujose užfiksuotas 64 %, kitais atvejais vos 19 %, taikant 0,15 g/g SM ir tik 2 %, taikant 0,56 g reagento/g SM geležies chlorido dozė. Įdomu tai, kad dvigubai mažesnė geležies chlorido koncentracija 45 procentiniais punktais pagerino biodujų kokybę metano kiekio išsiskyrimo atžvilgiu, nuo 19 %, taikant 0,15 g reagento/g SM, iki 66 % su 0,07 g reagento/g SM doze. Taip pat naudojant 0,07 g/g SM geležies chlorido dozė biodujose išgautas metano kiekis 6 procentiniais punktais didesnis nei nenaudojant reagento.

Išvados

1. Reagentų „Sierra“ ir „Lima“ taikymas pūdamą dumblą aktyvina pūdymo procesą. Į pūdomą dumblą įterpus reagento „Sierra“, per pirmąsias dienas išsiskyrė 79,1 % viso per pūdymo laikotarpį išgauto biodujų kiekio, o su reagentu „Lima“ 72,5 %, netaikant jokio reagento, tik 32,7 %.
2. Reagentų taikymas dumblo pūdymo procese gerina biodujų kokybę metano kiekio atžvilgiu. Naudojant reagentus, geros kokybės biodujos (>55 % metano) išsiskyrė 18–19 dienų iš 20, o netaikant reagento – 11 dienų iš 20.
3. Reagentų taikymas spartina biodujų išsiskyrimą. Taikant reagentus didžiausias biodujų kiekis pūdymo metu pasiektas neįpusėjęs pūdymo laikui 8–10 dieną, t. y. 8 dienomis greičiau nei netaikant reagentų ir 4–5 dienomis greičiau, lyginant su geležies chlorido taikymu dumblo pūdymo procese.
4. Geležies chloridas mažina biodujų išsiskyrimą iš pūdomo dumblo, jeigu naudojamos per didelės jo dozės. Į pūdomą dumblą įterpus geležies chlorido, kurio koncentracija 0,15 g reagento/g SM, iš viso per 20 dienų pūdymo laikotarpį išsiskyrė tik 2 litrai biodujų, t. y. 20 litrų mažiau, palyginti su taikytais reagentais, ir 19,3 litrų mažiau, jei netaikomas joks reagentas. Tačiau tyrimo metu nustatyta, kad taikant dvigubai mažesnę 0,07 g/g SM dozę biodujų kiekis 16 litrų per 20 dienų.

Literatūra

- Agani, I. C., Suanon, F., Dimon, B., Ifon, E. B., Yovo, F., Wotto, V. D., Abass, O. K., & Kumwimba, M. N. (2016). Enhancement of fecal sludge conversion into biogas using iron powder during anaerobic digestion process. *American Journal of Environmental Protection*, 5(6): 179–186. <https://doi.org/10.11648/j.ajep.20160506.15>
- Al Mamun, M. R., & Torii, S. (2015). Removal of hydrogen sulfide (H₂S) from biogas using zero-valent iron. *Journal of Clean Energy Technologies*, 3(6): 428–432. <https://doi.org/10.7763/JOCET.2015.V3.236>
- Alepu, O. E., Zifu, L., Harrison, O. I., Kalakodio, L., Wang, K., & Segun, G. A. (2016). Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Xiao Jiahe Municipal Sludge Int

- J Waste Resource. *International Journal of Waste Resources*, 6, 3. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000231>
- Andreoli, C. V., Sperling, M. V., Fernandes, F., & Ronteltap, M. (2007). Sludge treatment and disposal. *Biological Wastewater Treatment Series*, Vol. 6. IWA Publishing.
- Appels L., Baeyens J., Degreve J., & Dewil R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6): 755–781. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2008.06.002>
- Beržinskienė, J. (1999). *Vandens mikrobiologija: mokomoji knyga*. Technika.
- Bitton, G. 2005. *Wastewater microbiology*. Third edition. Department of Environmental Engineering Sciences. <https://doi.org/10.1002/0471717967>
- Cheng, J., Zhu, C., Zhu, J., Jing, X., Kong, F., & Zhang, C. (2020). Effects of waste rusted iron shavings on enhancing anaerobic digestion of food wastes and municipal sludge. *Journal of Cleaner Production*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118195>
- Eskicioglu, C., Prorot, A., Marin, J., Droste, R. L., & Kennedy, K. J. (2008). Synergetic pretreatment of sewage sludge by microwave irradiation in presence of H₂O₂ for enhanced anaerobic digestion. *Water Research*, 42(18), 4674–4682. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.08.010>
- Farghali, M., Andriamanohiarisoamanana, F., J., Ahmed, M. M., Kotb, S., Yamamoto, Y., Iwasaki, M., Yamashiro, T., & Umetsu, K. (2020). Prospects for biogas production and H₂S control from the anaerobic digestion of cattle manure: The influence of microscale waste iron powder and iron oxide nanoparticles. *Waste Management*, 101, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.003>
- Filer, J., Ding, H. H., & Chang, S. (2019). Biochemical Methane Potential (BMP) Assay Method for Anaerobic Digestion Research. *Water*, 11(5), 921. <https://doi.org/10.3390/w11050921>
- Fytli, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(1), 116–140. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.05.014>
- Holm-Nielsen J. B., Seadi, T. Al., Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, 100, 5478–5484. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>
- Ignace, A. C., Fidèle, S., Dimon, B., Franck, Y., Lyde, T. A. S., Daouda, M., & Eni, A. C. (2016). Biogas recovery from sewage sludge during anaerobic digestion process: effect of iron powder on methane yield. *International Research Journal of Environment Sciences*, 5(1): 1–7.
- Kang, S. K., Choo, K. H., & Lim K. H. (2003). Use of iron oxide particles as adsorbents to enhance phosphorus removal from secondary wastewater effluent. *Separation Science and Technology*, 38(15): 3853–3874. <https://doi.org/10.1081/SS-120024236>
- Lee, H., & Shoda, M. (2008). Stimulation of anaerobic digestion of thickened sewage sludge by iron-rich sludge produced by the fenton method. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 106, 107–110. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.107>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2012). *Dumblas, apdorotos bioatliekos, dirvožemis ir atliekos. Sausųjų medžiagų kiekio skaičiavimas pagal nustatytą sausojo likučio arba vandens kiekį* (LST EN 15934:2012).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2003). *Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas* (LST ISO 6060:2003).
- Ofverstrom, S. (2014). *Nuotekų dumblo anaerobinio pūdymo proceso gerinimo galimybės*. Technika.
- Ofverstrom, S., Daukyns, R., & Sapkaitė, I. (2011). The effect of iron salt on anaerobic digestion and phosphate release to sludge liquor. *Science – Future of Lithuania*, 3(5), 123–126.
- Shamuyarira, K. K., & Gumbo, J. R. (2014). Assessment of heavy metals in municipal sewage sludge: a case study of Limpopo province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(3), 2569–2579. <https://doi.org/10.3390/ijerph110302569>
- Smith J. A., & Carliell-Marquet, C. M. (2009). A novel laboratory method to determine the biogas potential of iron-dosed activated sludge. *Bioresource Technology*, 100, 1767–1774.

INVESTIGATION OF EFFECT OF REAGENTS ON THE SLUDGE DIGESTION PROCESS

D. Čepronaitė, R. Daukyns

Summary

The use of reagents accelerates the process of digestion of sewage sludge, which reduces the amount of sludge, stabilizes the sludge more efficiently and as a by-product biogas can be released more efficiently. Biogas production, a renewable energy source, is perfectly adaptable, which makes it possible to implement the principles of the circular economy. The incorporation of reagents into the sludge digestion chain can increase the efficiency of sludge digestion and promote the release of biogas. The effects of the new reagents have not been studied, so it is important to investigate the effects on the sludge digestion process. The study consisted of 4 stages, using different concentrations of reagents and ferric chloride in the digestion of sludge. The use of iron compounds has been found to have a positive effect on biogas production. The incorporation of iron powder increases the evolution of methane gas and reduces the concentration of hydrogen sulfide. The effect of reagents on the digestion process of sludge formed in Šilutė city wastewater treatment plant is analyzed in the work. Reagents “Lima” and “Sierra” are used. The aim of the study was to evaluate the effect of reagents on sludge digestion and biogas formation in Šilutė city wastewater treatment plant and to determine the optimal dose of reagents. The use of reagents in the sludge digestion process for 20 days under mesophilic conditions, improved the decomposition of BSM, reduced the concentration of phosphate phosphorus in the sludge water, increased the amount of released biogas, and improved the quality of biogas: increased CH₄.

Keywords: sludge, anaerobic stabilization, biogas, reagent, iron oxide, methane.