



GELEŽIES OKSIDŲ PAGRINDŲ SUDARYTO PRIEDO POVEIKIO DUMBLO PŪDYMO PROCESUI TYRIMAS

Nikita Grišajevs¹, Regimantas Dauknys²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva
E. p. ¹nikita.grisajevs@stud.vgtu.lt; ²regimantas.dauknys@vgtu.lt

Anotacija. Nuotekų valymas yra ilgas ir sudėtingas procesas, kurio metu susidaro atlieka laikomas dumblas, o jo utilizacijos kaštai nuolat didėja. Dėl šios priežasties nuotekų dumblas privalo būti tvarkomas efektyviai ir ekonomiškai. Vienas iš sprendimo būdų gali būti reagentų taikymas dumblo pūdyimo procese, kurio metu taip pat susidaro biodujų, o jos yra atsinaujinančios energetikos šaltinis. Siekiant sumažinti dumblo pūdyimo metu susidarantį dumblo kiekį, padidinti susidaranciu biodujų kiekį bei pagerinti jų kokybę, šiame tyrime buvo naudotas geležies oksido pagrindu sudarytas reagentas. Šio reagento taikymas dumblo pūdyimo procese, 20 parų mezofilinėmis sąlygomis, pagerino BSM suskaidymą 36 %, sumažino fosfatų fosforo koncentraciją 18,5 % dumblo vandenyje, padidino išsiskyrusių biodujų kiekį 126 %, be to, pagerėjo biodujų kokybę: padidėjo CH₄ – 8,4 % ir sumažėjo H₂S koncentracija 55 %. Iš gautų rezultatų galima teigti, kad geležies pagrindu sudarytas reagentas turi teigiamą įtaką dumblo pūdyimo procesui.

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

Įvadas

Dėl augančio gyventojų skaičiaus urbanizuotuose teritorijose ir nuolat didėjančių nuotekų kiekis, didėja nuotekų valyklų apkrovos ir susidaro daugiau dumblo. Vis dėlto ne visada yra galimybė išplėsti nuotekų valymo bei dumblo apdorojimo įrenginius arba rasti investicijų jų plėtrai ar statybai. Vienas iš šios problemos sprendimo būdų yra intensyvinti nuotekų valymo ir dumblo apdorojimo procesus, kurie leistų sumažinti susidarancius dumblo kiekius ir dumblą panaudoti kitose pramonės ar žemės ūkio šakose (Fytli ir Zabaniotou, 2008).

Šiuo tyrimu siekiama išspręsti pūdyimo proceso intensyvinimo problemą, sumažinant dumblo kiekį, padidinant biodujų išėigą ir pagerinant jų kokybę.

Nors per pastarąjį dešimtmetį pūdyimo technologijos pradėtos taikyti plačiai, pūdyimo procesas vis dar yra ilgai trunkantis procesas, kurio metu tik dalis dumblo esančių organinių medžiagų yra suskaidomos į biodujas. Reagento, turinčio geležies oksido, įterpimas į dumblo pūdyimo grandį gali padidinti dumblo suskaidymo efektyvumą, biodujų susidarymą bei pagerinti biodujų kokybę, tačiau jo poveikis nėra ištirtas, todėl svarbu nustatyti reagento poveikį dumblo pūdyimo procesui. Tyrimo tikslas yra įvertinti reagento, turinčio geležies oksido, poveikį dumb-

lo pūdyimo ir biodujų susidarymo procesams bei nustatyti optimalią reagento dozę.

Anaerobinis dumblo stabilizavimas yra dažniausiai pasaulyje taikoma dumblo tvarkymo technologija, tačiau žemas biologinis dumblo skaidymo efektyvumas (40–60 %) ir ilga dumblo pūdyimo trukmė (15–30 dienų) (Tyagi ir Lo, 2011) yra pagrindiniai šio proceso trūkumai, kurie galėtų būti patobulinti naudojant įvairius, dumblo pūdyimo procesą intensyvinančius veiksnius ar priedus, pavyzdžiui, reagentus. Geležies junginių naudojimas gali sutrumpinti pūdyimo trukmę (Cheng ir kt., 2020). Taikant reagentus, turinčius geležies junginių (oksidų, hidrok-sidų), pagerinamas sausų bepelenių medžiagų skaidymo procesas nuo 23 iki 54 % (Yang ir kt., 2018), tokiu būdu mažinant susidarancius dumblo kiekius. Dumblo pūdyimo metu susidaręs vanduo yra biogeninės taršos šaltinis, nes jame yra didelė fosforo junginių koncentracija, skatinanti paviršinių vandens telkinių eutrofikaciją. Mokslininkai (Kang ir kt., 2003) yra nustatę, kad įterpant geležies oksido daleles, fosforo pašalinimas pagerėja nuo 15 iki daugiau nei 60 %.

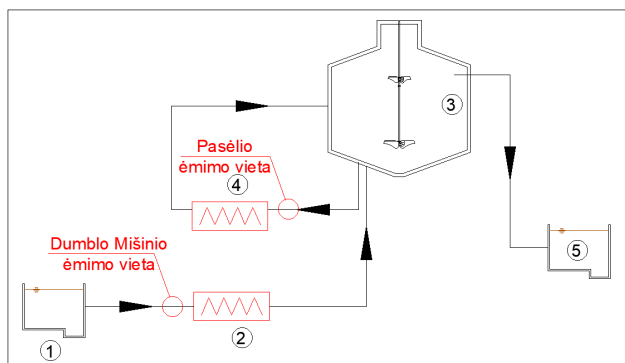
Dumblo pūdyimo metu susidarancios dujos yra vienas iš alternatyviosios energijos šaltinių, o efektyvesnė

biodujų gavyba ir jų kokybės gerinimas leidžia įgyvendinti šiuolaikinės žiedinės ekonomikos principus. Tačiau ne visos pūdymo metu susidariusios dujos yra tinkamos kaip energijos šaltinis, jeigu neužtikrinamas papildomas biodujų filtravimas ar biodujų kokybės gerinimas. Pagrindiniai biodujų kokybės rodikliai yra metano (CH_4) ir nemalonaus kvapo, nuodingo bei pūdymo procesą lėtinančio sieros vandenilio (H_2S) koncentracijos. Tyrimais nustatyta (Ignace ir kt., 2016), kad įterpus geležies miltelių metano dujų išsiskiria daugiau (iki 43,5 %), be to, gerokai sumažinama (iki 3 kartų) sieros vandenilio koncentracija (Cheng ir kt., 2020).

Šiame darbe yra analizuojamas geležies oksido turinčio reagento poveikis Šilutės miesto nuotekų valykloje susidariusio dumblo pūdymo procesui.

Tyrimo metodika

Siekiant įvertinti geležies oksido 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 kaip pasėlis pūdytas dumblas. 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 paveiksle. 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

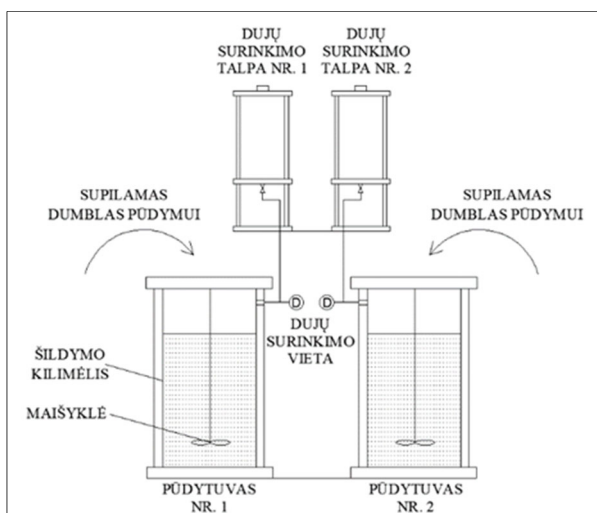
Laboratoriniai tyrimai atlikti VGTU Vandentvarkos laboratorijoje. Tyrimai vyko 2020 m. sausio–vasario mėnesiais. Tyrimui atlikti naudotas anaerobinio pūdymo modelis „W8 Armfield Ltd“ (Didžioji Britanija). Šis modelis yra sukomplektuotas iš dviejų lygiagrečiai pastatytų anaerobinių reaktorių, kurių darbinis tūris yra 4,6 l. Reaktoriuose pastovi temperatūra palaikoma dviem elektriniai kilimėliais. Dumblas palaikomas skendinčios būklės dviem mechaninėmis maišyklėmis, kurios veikė 80 apsisukimų 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 naudoti abu reaktoriai, kurie dirbo kaip vienalaipsniai anaerobiniai reaktoriai, į antrąjį reaktorių įterpus gamintojo „SWISSBIOGAS“ geležies oksido pagrindu sudarytą reagentą „SBG“ („SwissBiogas.com EGx“) (2 paveikslas). Šis reagentas yra juodos spalvos, vandenyje netirpūs, bekvapiai milteliai, kurių tankis – $5,24 \text{ g/cm}^3$. Reagento sudėtis: (>35 %) FeO , (>35 %) Fe_2O_3 , ir kitų metalų oksidų, kurie sudaro ne daugiau nei 1 %.



2 paveikslas. Tyrimui naudotas reagentas „SBG“

Anaerobinių reaktorių 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 ir kt., 2016). Dėl šios priežasties dumblas pūdytas 20 parų palaikant 37°C temperatūrą. Bandymo stendo principinė schema pateikta 3 paveiksle.



3 paveikslas. Bandymo stendo principinė schema

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

$$V_P = \frac{BSM_T \cdot 4,6}{5 \cdot BSM_P + BSM_T}, l, \quad (1)$$

čia BSM_T – dumblo prieš pūdytą bepeleenių sausų medžiagų koncentracija, gBSM/l; BSM_P – pūdyto dumblo bepeleenių 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), bepeleenes sausosios medžiagos (BSM), dumblo mišinio vandens cheminis deguonies suvartojimas ($ChDS$), fosfatų fosforas ($PO_4^- - P$) 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), bepeleenes sausosios medžiagos (BSM), pūdyto dumblo vandens cheminis deguonies suvartojimas ($ChDS$), fosfatų fosforas $PO_4^- - P$ ir amonio azotas ($NO_3^- - N$).

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“
$ChDS$	LST ISO 6060:2003
Fosfatų fosforas	Kalibruotas spektrofotometras. „MERCCK“ Fosfatų ($PO_4 - P$) 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 geležies pagrindu sudarytą reagentą, apskaičiuojamas sausų medžiagų, sausų bepeleenių 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 Nr. 2, įterpus reagentą.

Tiriamąjį parametru pokytis apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

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

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

Biodujų padidėjimas įterpus reagentą apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

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

čia $Q_{prieš}$ – 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:

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

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

Specifinis biodujų susidarymas apskaičiuojamas pagal (5) formulę.

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

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

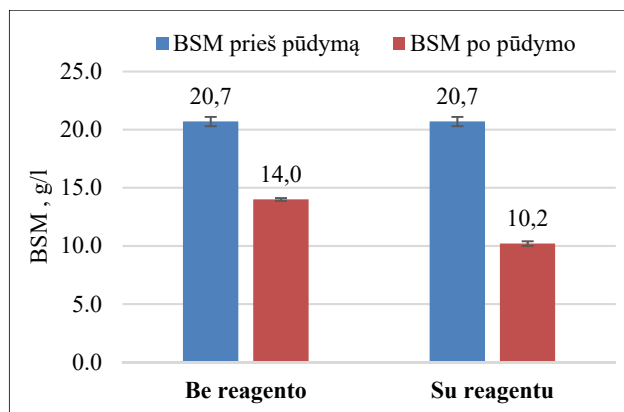
Laboratorinių tyrimų rezultatai

Toliau pateikiami 20 parų dumblo pūdymo parametrų palyginimo rezultatai, pūdant dumblą dviejuose anaerobiniuose reaktoriuose, 37 °C temperatūros sąlygomis ir į vieną iš reaktorių įterpus reagentą.

Bepelenių sausų medžiagų suskaidymo efektyvumo analizė

BSM koncentracija po pūdymo proceso įterpus reagentą sumažėjo nuo 20,7 iki 10,2 g/l, o pūdant dumblą be reagento – nuo 20,7 g BSM/l iki 14,0 g/l. Taigi įterpus reagentą BSM koncentracija sumažėjo 36,1 % daugiau nei pūdant dumblą be reagento. BSM suskaidymo efektyvumas įterpus reagentą buvo 50,7 %, o pūdant dumblą be reagento – 32,4 %. BSM suskaidymo efektyvumo rodikliai pūdant dumblą su reagentu ir be jo pateikti 4 paveiksle.

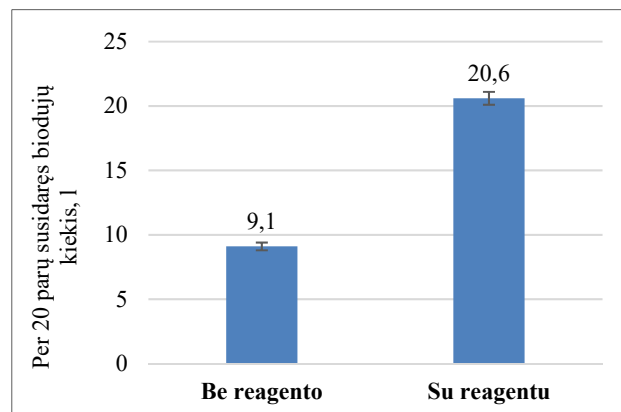
Tyrimais (Cheng ir kt., 2020) nustatyta, kad į pūdymo procesą įterpus geležies junginius BSM suskaidymo efektyvumas pagerėja 36,2 %. Iš 4 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad BSM suskaidymas įterpus reagentą pagerėjo 18,3 %. Galima teigti, kad dėl efektyvesnio BSM suskaidymo, į pūdymo procesą įterpus reagentą, turintį geležies junginių, sumažinamas susidarantis dumblo kiekis.



4 paveikslas. BSM suskaidymo efektyvumo rodikliai pūdant dumblą su reagentu ir be jo

Biodujų susidarymo analizė

Mokslininkai (Agani ir kt., 2016) teigia, kad pūdymo proceso metu įterpus geležies oksido miltelių pagerinami biodujų susidarymo rezultatai iki 62 %. Pažymėtina, kad tyrimo metu per 20 parų susidariusių biodujų kiekis įterpus reagentą buvo 20,6 l, t. y. 126,4 % didesnis nei pūdant dumblą be reagento, kuomet susidarė 9,1 l. Ši pokytį galima susieti su tuo, kad BSM suskaidymas įterpus reagentą buvo 50,7 % efektyvesnis. Tyrimo metu per 20 parų susidariusių biodujų kiekis pateiktas 5 paveiksle.



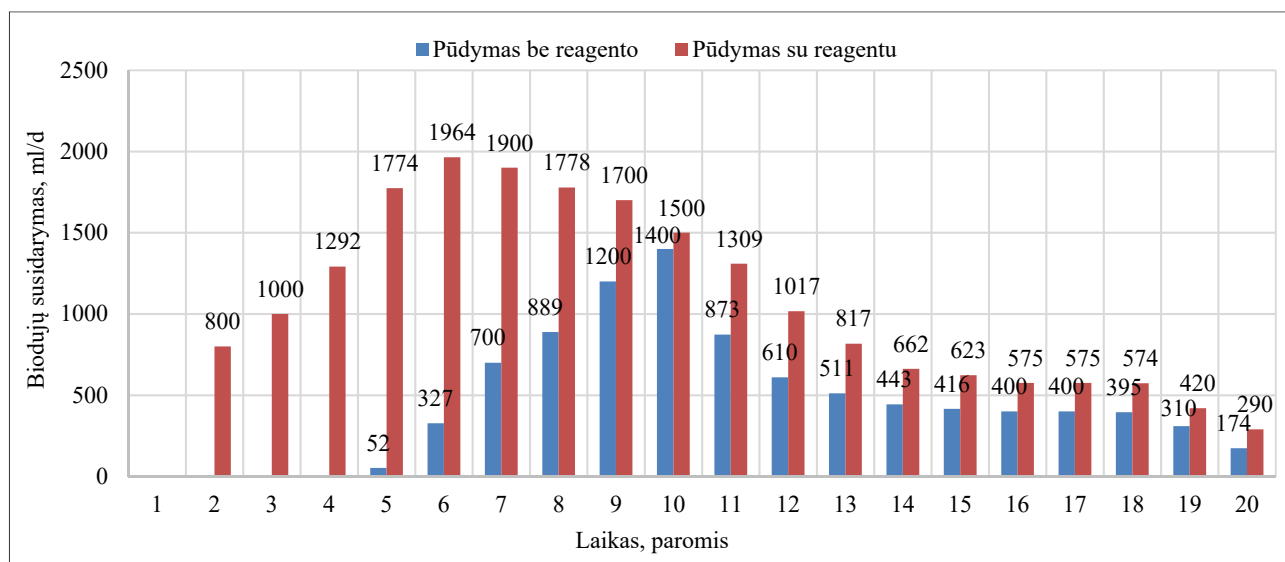
5 paveikslas. Susidariusių biodujų kiekis

Specifinis biodujų susidarymas įterpus reagentą pagerėjo 48 %, t. y. nuo 1,02 l/g suskaidyto BSM (be reagento) iki 1,98 l/g suskaidyto BSM (su reagentu).

Biodujų susidarymas buvo registruojamas kiekvieną parą, tą pačią valandą, biodujų susidarymo kaita pateikta 6 paveiksle. Iš pateiktų duomenų galima pastebėti, kad pūdymo procesas naudojant reagentą prasidėjo 2 pūdymo parą, per kurią susidarė 800 ml dujų, o pūdymo pikas buvo pasiektas 6 parą, kurios metu susidarė 1964 ml dujų. Pūdant dumblą be reagento, pūdymo procesas prasidėjo 5 parą, kurios metu susidarė 52 ml, o dujų išsiskyrimo pikas buvo pasiektas 10 parą – susidarė 1400 ml dujų. Remiantis gautų rezultatų analize darytina išvada, kad reagento naudojimas gali būti veiksminga priemonė anaerobinio dumblo stabilizavimo procesui sutrumpinti, o tai pagerintų veikiančių dumblo pūdymo sistemų biodujų išėigą.

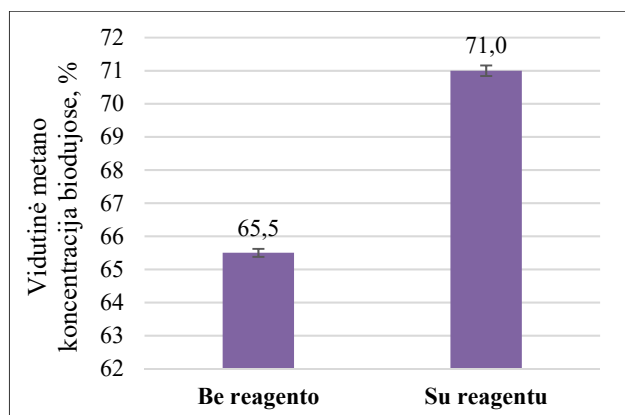
Biodujų kokybės analizė

Pagrindiniai biodujų kokybės rodikliai yra metano koncentracija (CH_4 , %) ir sieros vandenilis (H_2S , ppm). Per 20 parų susidariusios metano ir sieros vandenilio koncentracijos rodikliai pateikti 7 ir 8 paveiksluose.



6 paveikslas. Biodujų susidarymo kaita

Tyrimo metu vidutinė metano koncentracija biodujose, pūdant dumblą 20 parų, įterpus reagentą, buvo 71,0 %, t. y. 8,4 % didesnė nei pūdant dumblą be reagento, kuomet susidarė 65,5 %. Mokslininkų (Al Mamun ir Torii, 2015) nuomone, pūdymo proceso metu įterpus geležies gali būti padidinta metano koncentracija iki 80,0 %.

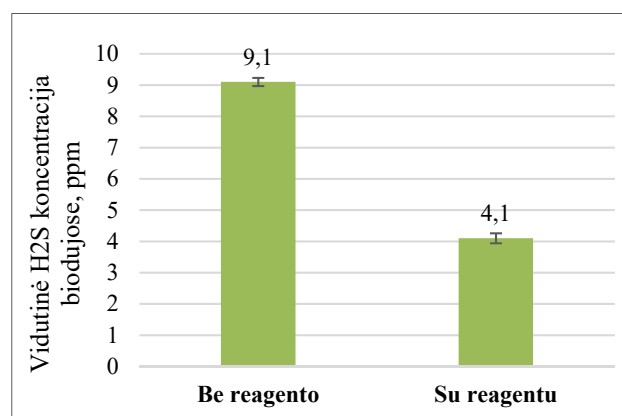


7 paveikslas. Vidutinė metano koncentracija biodujose

Pagal vidutinę metano koncentraciją ir susidariusį biodujų kiekį apskaičiuojamas susidariusio metano kiekis, kuris yra – 14,6 l įterpus reagentą, o be reagento – 6,0 l. Taigi, naudojant reagentą metano išeigos padidėjimas yra 59,2 %. Tyrimais (Farghali ir kt., 2020) nustatyta, kad pūdymo proceso metu įterpus geležies metano išeiga padidinama iki 57,0 %.

Tyrimo metu vidutinė sieros vandenilio koncentracija biodujose įterpus reagentą buvo 4,1 ppm, o be reagento – 9,1 ppm. Taigi pūdant dumblą be reagento H₂S

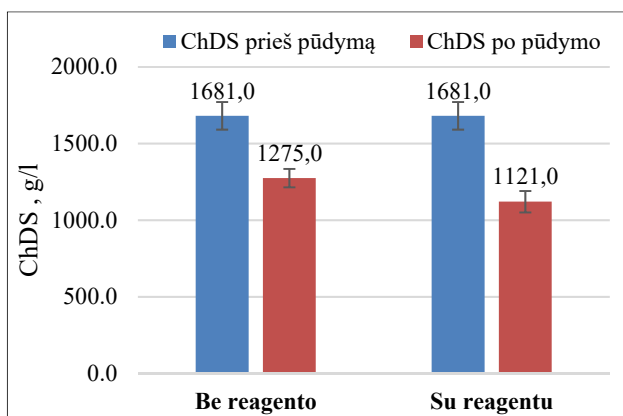
koncentracija sumažėjo 55,0 %, o kitų tyrimų (Farghali ir kt., 2020) metu nustatyta, kad ji sumažėjo dar daugiau (77,2 %).



8 paveikslas. Vidutinė sieros vandenilio koncentracija biodujose

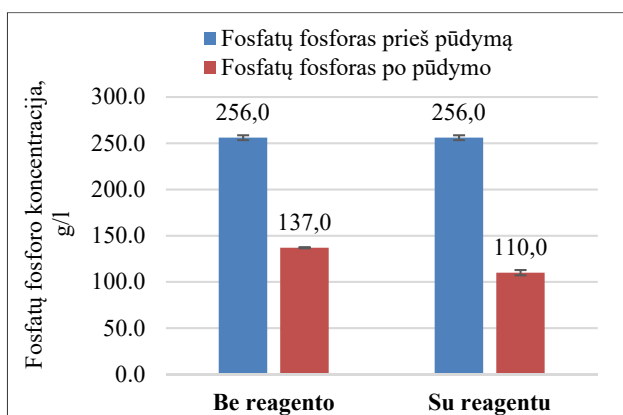
Cheminio deguonies suvartojimo ir fosfatų fosforo koncentracijos dumblo vandenyje analizė

Analizuojant 9 paveikslo duomenis galima pastebėti, kad cheminis deguonies suvartojimas yra mažesnis pūdant dumblą be reagento (1275,0 g/l) nei pūdant dumblą su reagentu (1121,0 g/l), nors kiti tyrėjai (Agani ir kt., 2016) nustatė, kad įterpus geležies oksido miltelių į pūdymo procesą, cheminis deguonies suvartojimas po pūdymo yra 22,0 % mažesnis nei pūdant dumblą be geležies reagentų. Tokį ChDS pokytį galima paaiškinti tuo, kad dumblo puvimo procesas 20 tyrimo parų vis dar vyko ir buvo efektyvesnis reaktoriuje, kuriame buvo įterptas reagentas.



9 paveikslas. ChDS koncentracija dumblo vandenyje

Iš 10 paveiksle pateiktų duomenų galima matyti fosfatų fosforo pokytį po pūdymo proceso. Pastebima, kad fosfatų fosforo pašalinimas iš dumblo vandens yra 18,0 % efektyvesnis naudojant reagentą geležies oksido pagrindu. Vadinasi, geležies oksido įterpimas į pūdymo procesą gali būti viena iš biogeninės medžiagos (P) šalinimo priemonių.



10 paveikslas. Fosfatų fosforo koncentracija dumblo vandenyje

Išvados

1. BSM sumažėjimas pūdamą dumblą įterpus reagentą yra 36 %, todėl galima teigti, kad geležies oksido įterpimas į pūdymo procesą sumažina susidarantį dumblo kiekį.
2. Tyrimo rezultatai rodo, kad įterpus reagentą pūdymo procesas prasidėjo 4 paromis anksčiau, o proceso metu išsiskyrė 126 % daugiau dujų nei pūdamą dumblą be reagento.
3. Tyrimo metu buvo pastebėtas biodujų kokybės pagerėjimas: padidėjo metano ir sumažėjo vandenilio sulfido koncentracijos, atitinkamai 8,4 ir 55 %.

Todėl galima teigti, kad geležies oksidas sumažina pūdymo metu susidarancius nemalonius kvapus ir gali sumažinti biodujų valymo kaštus.

4. Geležies oksidas gali būti naudojamas kaip biogeninės taršos mažinimo priemonė, nes jo įterpus 18,5 % sumažinta fosfatų fosforo koncentracija dumblo vandenyje.

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. *International Journal of Waste Resources*, 6(3), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000231>
- 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, 118195. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118195>
- 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>
- 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>
- 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>
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2003). *Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas* (LST ISO 6060:2003).
- Lietuvos standartizacijos departamentas. (2016). *Dumblas, apdorotos bioatliekos, dirvožemis ir atliekos. Sausųjų medžiagų kiekio skaičiavimas pagal nustatytą sausojo likučio arba vandens kiekį* (LST EN 15934:2012).
- Tyagi, V. K., & Lo, S. L. (2011). Application of physico-chemical pretreatment methods to enhance the sludge

disintegration and subsequent anaerobic digestion: an update review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10, 215–242.

<https://doi.org/10.1007/s11157-011-9244-9>

Yang, Y., Zhang, Y., Li, Y., Zhao, H., & Peng, H. (2018). Nitrogen removal during anaerobic digestion of wasted activated sludge under supplementing Fe(III) compounds. *Chemical Engineering Journal*, 332, 711–716.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.133>

RESEARCH OF THE EFFECT OF IRON OXIDES-BASED ADDITIVE ON THE SLUDGE DIGESTION PROCESS

N. Grisajėvas, R. Dauknys

Summary

Wastewater sludge is produced during complex wastewater treatment processes and is considered as a waste. For this reason, sludge has to be treated in the most cost-efficient way. One of the possible solutions might be application of external reagents to the sludge digestion process. During sludge digestion process biogas, which is a viable alternative energy source, is produced. In order to decrease amount of generated sludge and increase biogas production along with its quality, reagent, based on iron oxide Fe_3O_4 , was added. Application of iron oxide to the sludge digestion process in mesophilic conditions for 20 days has increased reduction of VSS by 18.5%, reduced concentration of phosphate phosphorus in sludge water by 36% and increased biogas production by 126%. Biogas quality improvement was also noticed: CH_4 concentration has increased by 8.4% and H_2S concentration has decreased by 55%. In conclusion, iron-based reagent has a positive effect on the sludge digestion process.

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