

## NUOTEKŲ DUMBLO TVARKYMO GEROSIOS PRAKTIKOS

Pastaruoju metu didelį susirūpinimą kelia atliekos, susijusios su nuotekų dumblo tvarkymu, kadangi jų šalinimas sąvartynuose yra nepageidautina ir draudžiama šios atliekos tvarkymo praktika. Lietuvoje jau pradėtos taikyti gerosios praktikos, skirtos nuotekų dumblo gražinimui į žiedinę ekonomiką. Šalyje nuosekliai buvo kuriama į susidarančius dumblo kiekius orientuota šios atliekos tvarkymo infrastruktūra, kurią, remiantis 2019 m. Aplinkos apsaugos agentūros ataskaitos duomenimis, sudarė 12 pūdymo-džiovinimo įrenginių, 9 kompostavimo aikštelės ir 2 nuotekų dumblo džiovinimo įrenginiai (Aplinkos..., 2019). 2017 m. didžiausia tvarkomo dumblo dalis – 48,3 proc. – buvo panaudota tręšimui ir rekultivavimui, 38,7 proc. – kompostuojama, 7,4 proc. – pašalinta sąvartynuose, 5,2 proc. – pašalinta kitais būdais ir tik 0,3 proc. dumblo sudeginta (Aplinkos..., 2019). Toliau išsamiai aptariamos svarbiausios maisto perdirbimo pramonės nuotekų dumblo tvarkymo gerosios praktikos.

### Atliekų prevencija ir kokybė

Nuotekų dumblas yra perspektyvi žaliava, susidaranti daugelyje maisto perdirbimo pramonės sričių (pavyzdžiui, mėsos ir žuvies perdirbimo, vaisių, daržovių, grūdų, maistinio aliejaus, kakavos, kavos, arbatos ir tabako paruošimo ir perdirbimo, konservų gamybos, mielių ir mielių ekstrakto gamybos, melasos gamybos ir fermentavimo, pieno, cukraus), kuri gali būti panaudojama žiedinėje ekonomikoje daugeliui tikslų. Nuotekų tvarkymo reglamentas numato, kad nuotekų valymo metu gautas dumblas, gaudyklėse sukaupti riebalai ir kitos nuotekų valymo atliekos turi būti perduotos atliekas tvarkančioms įmonėms ir tvarkomos laikantis nustatytų prioritetų. Išimties taikomos, kai atliekos gali būti apdorojamos susidarymo vietose kartu su nuotekų valymo metu susidariusiais riebalais ar nuotekų dumblo apdorojimo procesui reikalinga struktūrine medžiaga, gauta iš kitų ūkio subjektų, arba kai nuotekų valymo įrenginius eksploatuoja ir atliekas tvarko geriamojo vandens tiekėjas ir nuotekų tvarkytojas (Lietuvos Respublikos aplinkos..., 2006).

Maisto perdirbimo pramonėje dumblo kiekis ir kokybiniai parametrai iš dalies priklauso nuo gaminamos produkcijos, gamybos apimčių ir naudojamų technologijų. Pavyzdžiui, mėsos ir žuvies perdirbimo pramonėje dideliais kiekiais naudojamas vanduo, kadangi jis yra svarbus užtikrinant higienos reikalavimus. Flotatoriuose susikaupiantis dumblas turi daug riebalų, todėl tokių atliekų charakteristikos ir keliamos rizikos skirsis nuo vaisių ir daržovių perdirbimo įmonių atliekų, o tai gali daryti įtaką atliekų tvarkymo gerųjų praktikų parinkimui.

Nuotekų dumblas yra nestabilus, o jame esančios organinės ir neorganinės medžiagos bei gyvi organizmai didina tokios žaliavos pažeidžiamumą ir pavojaus riziką. Šiai problemai spręsti taikomi biologiniai, fiziniai ir cheminiai organinės medžiagos stabilizavimo metodai

(Oladejo ir kt., 2019), kurie mažina neigiamą dumblo poveikį aplinkai ir su šia atlieka susijusias rizikas. Dumblo pakartotino panaudojimo galimybės žiedinėje ekonomikoje priklauso nuo šios medžiagos kokybės.

Viena vertus, dumblas yra turtingas maistinių medžiagų, ypač fosforo ir azoto. Dumblas lėtai atiduoda azotą, todėl po stabilizavimo gali būti gražinamas į dirvožemį kaip trąša ir dirvos struktūrą gerinanti medžiaga. Kita vertus, ši medžiaga gali didinti šilumos efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį. Maisto perdirbimo pramonės nuotekų dumble gali būti sunkiųjų metalų (nikelio, vario, cinko, švino ir kt.), patogenų, medikamentų ir kitų nepageidautinų medžiagų likučių, o tai daro tokios medžiagos panaudojimą trąšų gamyboje pavojingą aplinkai, gyvūnų ir žmonių sveikatai. Neigiamą poveikį vandens telkiniams ir dirvožemiui gali daryti net ir perteklinių maistinių medžiagų patekimas į aplinką, ir tai verčia ieškoti alternatyvių saugių dumblo panaudojimo būdų. Todėl į žiedinę ekonomiką gražinamos medžiagos kokybės kontrolė ir prevenciniai veiksmai, skirti mažinti šios medžiagos užterštumą, bei užteršimo mažinimas perdirbimo metu yra kritiniai aspektai, kurie leis veiksmingai išnaudoti dumblo privalumus.

### **Nuotekų dumblo panaudojimas atsinaujinančioje energetikoje, trąšų gamyboje ir statybose**

Nuotekų dumblas gali būti panaudotas, diversifikuojant šalies atsinaujinančios energetikos šaltinius ir mažinant priklausomybę nuo iškastinio kuro. Svarbu pabrėžti, kad toks panaudojimas dažnai leidžia vėliau išgauti ir vertingas tręšimui maistines medžiagas, tačiau praktikoje taip įvyksta ne visada.

### **Deginimas ir pelenų panaudojimas**

Išdžiovintas dumblas gali būti deginamas kaip kuras. Lietuvoje jau veikia nuotekų dumblo granules gaminantys įrenginiai, kurie gali perdirbti dumblą į granules, naudojamas kaip biokuras. Toks apdorojimas sumažina atliekų kiekį, atpigina jų transportavimą ir sandėliavimą bei sprendžia nepageidautino kvapo problemą. Išdžiovintos saugios dumblo granulės kartais panaudojamos kaip trąša, tačiau dažniau kaip biokuras.

Nuotekų dumblo deginimo specifinė šiluma panaši į medienos ( $\approx 20\text{--}22$  MJ/kg SM), tačiau energijos balansas dažnai yra nulinis, nes kuro paruošimas ir deginimas reikalauja maždaug tiek pat energijos, kiek gaunama dumblo deginimo metu (Sweco BKG, 2006). Tačiau pats deginimo proceso organizavimas irgi yra svarbus, nes dumblo granulių sandėliavimo sąlygos ir trukmė gali padidinti jų drėgmės lygį ir atitinkamai pareikalauti daugiau energijos sąnaudų, deginant tą patį kuro kiekį. Naudojamos technologijos, logistika ir perteklinės šilumos panaudojimas irgi daro įtaką šio proceso atsiperkamumui.

Pastaruoju metu akademinės visuomenės dėmesį pritraukė „*sludge-to-energy*“ sistemos, kurios siekia teigiamo energijos balanso ir bando suderinti trys raktinius aspektus: dumblo apdorojimo, energijos gavimo ir išteklių atgavimo. Oladejo ir kt. (2019) pateikta principinė tokios deginimo sistemos schema iliustruoja, kad gali būti panaudojamos ne tik proceso metu išskiriamos dujos, bet ir pelenai bei šlakas (pavyzdžiui, cemento, betono arba trąšų gamybai).

Jeigu dumblo deginimas vykdomas monodeginimo įrenginiuose, kai deginamas tik dumblas, gauti pelenai gali turėti apie 2–6 proc. fosforo ir gali būti panaudoti fosforo gavimui (Buckwell ir Nadeu, 2016). Pavyzdžiui, dumblo pelenams gali būti taikomas *EcoPhos*® (P-recovery, 2020) arba *RecoPhos* (RecoPhos..., 2020) procesas, galintis išgryninti fosforo komponentus, naudojamus trąšų gamyboje. Tačiau vis dėlto pelenų maistinė vertė, palyginti su dumblu, yra mažesnė.

Deginant dumblą kaip kurą, gauti pelenai gali būti vėl grąžinti į žiedinę ekonomiką, todėl kuro sudėtis yra svarbi. Pastaruoju metu ES labiau paplito praktika, kai dumblas deginamas su kitomis medžiagomis, pavyzdžiui, maisto perdirbimo pramonės produktais, komunalinėmis atliekomis ir pan. Tokie pelenai dažnai turi mažiau fosforo, be to, galutiniame produkte yra kitų medžiagų, apsunkinančių fosforo gavimą. Tačiau gali būti ir pageidautinų išimčių, pavyzdžiui, nuotekų dumblo ir mėsos bei kaulų miltų derinys.

Atsižvelgiant į nuotekų dumblo pelenų saugumą, juos galima grąžinti į žemę, panaudoti fosforo elemento gavybai ar fosfatinių trąšų gamybai arba panaudoti ne žemės ūkio tikslams. Daugelio ES-15 šalių patirtis rodo, kad nuotekų dumblas deginamas, o pelenai negrįžta į žemės ūkį. Tačiau prie pažangesnių praktikų vis dėlto reikia priskirti technologijas, kurios ne šalina dumblo pelenus sąvartynuose, o bando jas panaudoti kitų produktų kūrimui. Pavyzdžiui, Lietuvoje AB „Akmenės cementas“ nuo 2020 m. pradėjo naudoti dumblo granules kaip biokurą, o gauti pelenai panaudojami klinkerio gamybai. Nors AB „Akmenės cementas“ netaiko technologijų, kurios leidžia grąžinti fosforą į dirvožemį, jų parinktas verslo modelis vis dėlto padeda spręsti labai aktualią Lietuvai dumblo granulių panaudojimo problemą.

ES paplitęs dumblo deginimas yra mažiau veiksmingas energijos gavimo būdas (pavyzdžiui, palyginti su anaerobiniu skaidymu), kurio metu prarandamos augalininkystei svarbios maistinės medžiagos. Tačiau tokį pasirinkimą dažnai nulemdavo šalyse galiojęs teisinis reglamentavimas, kuris draudė arba ribojo dumblo naudojimą žemės ūkyje, o deginimas leisdavo reikšmingai sumažinti atliekų apimtį ir gauti saugesnį produktą, kurį galima panaudoti kaip žaliavą kitų produktų gamybai.

## **Anaerobinis skaidymas ir substrato panaudojimas**

Kita nuotekų dumblo stabilizavimo alternatyva yra anaerobinis skaidymas, kuris leidžia gauti šiluminę ir elektros energiją bei biodujas, kurios gali būti naudojamos kaip dujų pakaitalas buityje arba transporto kuras. Stabilizuota medžiaga grįžta į žiedinę ekonomiką ir gali būti naudojama kitiems tikslams.

Biodujų išėiga priklauso nuo dumblo kokybės, skaidomo substrato sudėties bei taikomos technologijos ypatumų. Priklausomai nuo dumblo, 1 kg sausųjų medžiagų galima gauti apie 0,23–0,37 m<sup>3</sup> dujų, kur metanas sudaro 60–75 proc. bendro dujų kiekio (Sweco BKG, 2006). Dumblo ir medžio energetinė vertė yra panaši, vidutiniškai sudaro apie 16 GJ/t (Sweco BKG, 2006).

Anaerobinio skaidymo būdu apdorotas dumblo substratas po skystosios ir kietosios frakcijų atskyrimo gali būti: kompostuojamas ir panaudojamas kaip trąša, džiovinamas ir deginamas kaip kuras, panaudojant pelenus, arba panaudotas trąšų gamybai reikalingoms medžiagoms gauti.

ES parinkta žiedinės ekonomikos kryptis paskatino daug tyrimų, nukreiptų į anaerobiniu būdu apdoroto substrato panaudojimą trąšų gamybai reikalingoms medžiagoms gauti. Remiantis Buckwell ir Nadeu (2016), anaerobiniu būdu apdorotam skystajam dumblo substratui gali būti taikomos fosforo nusodinimo ir amoniako atskyrimo technikos. Pirma technika leidžia nusodinti struvitus ir gauti biologinį fosforą, antra – amonio sulfatą arba amonio nitratą. Pirmos technikos pavyzdžiai galėtų būti *Suez Phosphogreen* (Recycle..., 2020) trąšų gamyba iš nuotekų dumblo arba *CNP-Technology Water and Biosolids Corp.* taikomas *AirPrex*® dumblo optimizavimo procesas, formuojant struvitus (CNP-Technology..., 2019). Antros technikos pavyzdžiu galėtų būti VEAS ir Yara bendradarbiavimas, panaudojant amonio nitratą trąšų gamyboje (Yara's..., 2017).

Atsižvelgiant į ES siekius didinti atsinaujinančios energijos dalį šalies energetikos sektoriuje, anaerobinis skaidymas biodujų reaktoriuje tampa labiau pageidautina praktika, kuri leidžia veiksmingiausiai panaudoti nuotekų dumblo potencialą. Lietuvoje maisto perdirbimo pramonės atstovai jau pradėjo taikyti anaerobinį skaidymą. Pavyzdžiui, UAB „Cestos maistas“ ir UAB „Agraras“ numato papildyti substratą savo skerdyklų nuotekų dumbliu ir apdoroti jį biodujų reaktoriuje, o substratą grąžinti į laukus kaip trąšą. Lietuvoje taikoma geroji praktika rodo, kad nuotekų dumblas substrate apdorojamas su kitomis medžiagomis, siekiant didesnio energijos gavimo veiksmingumo, ir po apdorojimo grąžinamas į laukus kaip trąša. Sprendimai, susiję su inovatyvių technologijų taikymu, išgaunant trąšų gamybai svarbias medžiagas, nėra taikomi.

## **Biodegalų gamyba**

Biodegalų gamybai gali būti panaudotos ne tik dujos, gautos anaerobinio skaidymo metu. Dumblas priskiriamas medžiagoms, iš kurių gali būti gaminami antrosios kartos biodegalai,

kurie mažina konkuravimą dėl žemės išteklių, naudojamų maistui gaminti, nes biodegalų gamybai dažnai naudoja augalus.

Dumblas gali būti naudojamas biodyzelino gamybai. Tyrimai taip pat patvirtina, kad biodyzelinas iš dumblo yra panašus į mums įprastą biodyzelino kokybę (Bozaghian, 2014). Dėl šios priežasties nagrinėjamas įvairių maisto perdirbimo pramonės sričių dumblo panaudojimo potencialas. Pavyzdžiui, Su ir Chou (2019) tyrimas rodo, kad skerdyklų nuotekų dumblas gali būti gera medžiaga biodyzelino gamybai, Bozaghian (2014) ir Balasubramanian (2018) tyrimai patvirtina, kad pieno pramonės dumblas yra perspektyvi biodyzelino gamybos medžiaga. Biodyzelino gamybai iš dumblo dažnai naudoja hidrolizę, tačiau galimos ir kitos technologijos.

### **Nuotekų dumblo kompostavimas ir komposto panaudojimas**

Lietuvoje nuotekų dumblo panaudojimą tręšimui reglamentuoja normatyvinis dokumentas LAND 20-2005 „Nuotekų dumblo naudojimo tręšimui bei rekultivavimui reikalavimai“, kuris klasifikuoja dumblą, atsižvelgiant į mikrobiologinius-parazitologinius parametrus bei pagal sunkiųjų metalų koncentraciją. Leistini tręšimai taip pat siejami su fonine sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje, ir nustatyta didžiausia leistina sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje. Dokumentas sieja dumblo kokybę bei jo panaudojimo galimybes žemės ūkyje, miškininkystėje, energetinių augalų auginimui, pažeistų teritorijų rekultivavimui bei nustato nuotekų dumblo stabilizavimo būdus.

Nuotekų dumblo stabilizavimas gali būti atliktas kompostuojant šią medžiagą. Toks apdorojimas leidžia sumažinti patogenų kiekį medžiagoje ir atliekų apimtį, pagerina dumblo struktūrą, padeda iš dalies spręsti nemalonus kvapo problemą. Didinant oro paskirstymą dumble, jį galima kompostuoti su struktūrine medžiaga (pavyzdžiui, šiaudais, medžio skiedromis ar daržo atliekomis), kuri gali būti maišoma su dumblu arba dedama sluoksniais (Sweco BKG, 2006).

Kompostas gali būti grąžintas į laukus kaip trąša, jos komponentas arba dirvos struktūrą gerinanti medžiaga, jeigu kompostuojama medžiaga yra saugi. Jis taip pat gali būti panaudotas atkurti pažeistas teritorijas, tvarkyti pakeles ir miškininkystėje. Lietuvoje nuotekų dumblo kompostavimas yra plačiai taikomas, o dumblo kompostavimo aikštelės jau veikia Druskininkuose, Kelmėje, Kaišiadoryse, Ukmergėje, Akmenėje, Jonavoje, Raseiniuose, Biržuose ir Švenčionėliuose, Vilniuje.

### **Kitas panaudojimas**

Kadangi dumblo užterštumas dažnai kelia rimtą susirūpinimą, aktyviai ieškoma saugiausių dumblo panaudojimo būdų. Prie tokių galimybių galima priskirti siūlymus, atsižvelgiant į

sunkiųjų metalų kiekį, naudoti stabilizuotą dumblą *energetinių augalų tręšimui* arba *ne žemės ūkio paskirties plotų rekultyvavimui* (Staugaitis ir kt., 2011). Paskleidus nuotekų dumblą ant dirvos, sunkieji metalai greitai patenka į gilesnius sluoksnius (didžiausia metalų koncentracija kaupiasi 40–50 cm gylyje (Čepanko, 2010), į augalus, o vėliau – į gyvūnų ir žmonių organizmus. Todėl augalų, skirtų maisto grandinei, nerekomenduojama tręšti neapdorotu nuotekų dumbliu (Budrys, Liužinas, 2005; Colleran, 2000).

Dirvožemių taršos sunkiaisiais metalais problemą leidžia spręsti žinios, kad augalai geba savyje kaupti sunkiuosius metalus. Pavienės medžių rūšys iš dirvožemio gali pasisavinti ir pernešti į kamienus iki 60 proc. sunkiųjų metalų (Biernacka, Obarska-Pempkowiak, 2001). Todėl nuotekų dumblo paskleidimas miškų kirtavietėse arba energetinių medžių sodinimas dumbliu patręštuose dirvožemiuose yra viena iš nuotekų dumblo tvarkymo galimybių. Remiantis Suomijos pavyzdžiu, nuotekų dumblas gali būti panaudotas ir *pakelių apželdinimui, miesto želdiniams, gėlynams* (Čepanko, 2010).

Tačiau tais atvejais, kai dumblo gražinimas į dirvožemį neįmanomas dėl jo keliamos rizikos, ieškoma sprendimų, kurie leistų apsaugoti aplinką nuo nepageidautinų medžiagų gražinimo į dirvožemį. Alternatyvūs panaudojimo būdai dažniausiai bando „įkalinti“ riziką keliančias medžiagas, kad jos negalėtų teršti dirvožemio ir vandens. Dažnai ši problema išsprendžiama naudojant dumblą *kelių tiesimui* (Čepanko, 2010) arba statybose, pavyzdžiui, gaminant *cementą, betoną arba klinkerį*.

Australijos RMIT universiteto mokslininkai siūlo utilizuoti nuotekų dumblą *ugniai atsparaus molio plytų* gamyboje (Recycling biosolids..., 2019). Mokslininkų bandomieji tyrimai parodė, kad dumblas gali sudaryti iki 25 proc. tokių plytų, didinant jų poringumą, gerinant izoliacines savybes ir mažinant šiluminį laidumą. Pažymima, kad tokių plytų gamyba sunaudoja perpus mažiau energijos, o statybinė medžiaga mažina namo energijos sąnaudas. Sunkieji metalai lieka plytose ir nepatenka į dirvožemį ar vandenį, tačiau prieš pradėdant masinę gamybą būtini papildomi tyrimai, susiję su tokių plytų saugumu žmogaus sveikatai.

Nuotekų vanduo ir dumblas gali būti naudojami biologiškai skaidomo *plastiko gamybai* (Khardenavis ir kt., 2005). Pavyzdžiui, Ben ir kt. (2016) atliko bioplastikų gamybos tyrimą, naudodami alaus daryklos nuotekas, kuriose yra didelė koncentracija biologiškai skaidžių organinių medžiagų. Jie padarė išvadą, kad alaus daryklos nuotekos yra gera žaliava gaminti bioplastikus, naudojant mišrias kultūras. Suresh Kumar ir kt. (2004) tyrimas rodo, kad maisto perdirbimo pramonės nuotekų vanduo ir dumblas gali būti panaudoti bioplastiko gamybai, tačiau konstatuojama, kad praktinį šios praktikos pritaikymą stabdys aukšta tokio plastiko gamybos kaina.

## Literatūros sąrašas

1. Aplinkos apsaugos agentūra. 2019. Visuomenės informavimas apie nuotekų ir dumblo tvarkymą pagal 1991 m. gegužės 21 d. Tarybos direktyvos Nr. 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo 16 straipsnį: ataskaita [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-25]. Prieiga per internetą: [http://vanduo.gamta.lt/files/Visuomen%C4%97s%20informavimo%20ataskaita\\_2019.pdf](http://vanduo.gamta.lt/files/Visuomen%C4%97s%20informavimo%20ataskaita_2019.pdf).
2. Balasubramanian R. et al., 2018. Production of biodiesel from dairy wastewater sludge: A laboratory and pilot scale study. *Egyptian Journal of Petroleum* 27(4): 939–943.
3. Ben M. et al., 2016. Optimization of polyhydroxyalkanoate storage using mixed cultures and brewery wastewater. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91(11): 2817–2826.
4. Biernacka E., Obarska-Pempkowiak H., 2001. Hydrofitowe oczyszczalnie ścieków. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 477: 287–297.
5. Bozaghian M., 2014. Characterization and synthesis of biodiesel from sludge available in the Umeå region. Sweden: Umeå Universitet. 34 p.
6. Buckwell A., Nadeu E., 2016. Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture. A review of the issues, opportunities, and actions. Brussels: RISE Foundation. 92 p.
7. Budrys R., Liužinas R., 2005. Skystos atliekos ir nuotekos žemės ūkyje. Tvarkymo techniniai sprendimai. Vilnius: VĮ „Grunto valymo technologijos“. 99 p.
8. CNP-Technology Water and Biosolids Corp. 2019. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-25]. Prieiga per internetą: <<https://www.waterrf.org/news/cnp-technology-water-and-biosolids-corp>>.
9. Colleran E., 2000. Hygiene and Sanitation Requirements in Biogas Plants Treating Animal Manures or Mixtures of Manures and Other Organic Wastes. *Anaerobic Digestion: Making Energy and Solving Modern Waste Problems*. New York. P. 77–86.
10. Čepanko V., 2010. Fermentuotų atliekų tyrimai ir panaudojimo technologijos: daktaro disertacija. Vilnius: „Technika“. 162 p.
11. Yara's recovery and reuse of nitrogen from municipal waste water. 2017. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.circulary.eu/project/yara-recovery/>>.
12. Khardenavis A., et al., 2005. Activated Sludge Is a Potential Source for Production of Biodegradable Plastics From Wastewater. *Environmental Technology* 26(5): 545–552.
13. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“. 2006. Galiojanti suvestinė redakcija [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-06-25]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr>>.
14. Oladejo J. ir kt., 2019. A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods. *Energies* 12(60): 1–38.
15. P-recovery [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <<https://www.ecophos.com/ecophos-group/p-recovery/>>.
16. Recycle phosphorus from effluent to produce a valuable fertilizer – Phosphogreen [interaktyvus]. 2020. [Žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <<https://www.suezwaterhandbook.com/degremont-R-technologies/sludge-treatment>>.
17. Recycling biosolids to make sustainable bricks. 2019. [Interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <<https://www.rmit.edu.au/news/all-news/2019/jan/recycling-biosolids-sustainable-bricks>>.
18. RecoPhos – Recovery of Phosphorus [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-05-12]. Prieiga per internetą: <<http://www.recophos.org/>>.
19. Staugaitis G. ir kt., 2011. Komposto, naudojamo žemės ūkyje, kokybės reikalavimų analizė ir įvertinimas: taikomojo mokslinio tyrimo ataskaita. Kaunas: Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro agrocheminių tyrimų laboratorija. 83 p.
20. Suresh Kumar et al., 2004. Production of Biodegradable Plastics From Activated Sludge Generated From a Food Processing Industrial Wastewater Treatment Plant. *Bioresource Technology* 95(3): 327–330.

21. Su J.-J., Chou Y.-C., 2019. Biodiesel Production by Acid Methanolysis of Slaughterhouse Sludge Cake. *Animals (Basel)* 9(12). 1029.
22. Sweco BKG. 2006. Investicinė programa dumblo tvarkymui Lietuvoje: galimybių studija. II tomas [interaktyvus]. [Žiūrėta 2020-04-10]. Prieiga per internetą: <<https://www.yumpu.com/lt/document/read/15735930/investicin-programa-dumblo-tvarkymui-lietuvoje>>.