



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Integruotos atliekų vadybos principų taikymas, tvarkant popieriaus gamyklos nuotekų dumblą

Baigiamasis magistro projektas

Ieva Martinaitytė

Projekto autorė

Doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Integruotos atliekų vadybos principų taikymas, tvarkant popieriaus gamyklos nuotekų dumblą

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Ieva Martinaitytė

Projekto autorė

Doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

Jaunesnysis mokslo darbuotojas

Aidas Gudaitis

Recenzentas

Ieva Martinaitytė. Integruotos atliekų vadybos principų taikymas, tvarkant popieriaus gamyklos nuotekų dumblą. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas; Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: gamybinių nuotekų dumblas, būvio ciklo įvertinimas, švaresnė gamyba, integruota atliekų vadyba, žiedinė ekonomika.

Kaunas, 2023. 64 p.

Santrauka

Aplinkos būklės prastėjimas bei klimato kaita kelia grėsmę ne tik Europai, bet ir visam pasauliui. Žalioji transformacija iškelė aukštus tikslus Europos žemynui – iki 2050 m. tapti klimatui neutraliu žemynu ir ekonomikos augimą atsieti nuo išteklių naudojimo. Popieriaus gamybos įmonių veikloje susidaro daug nuotekų dumblo, kuris turi didelį potencialą ir gali būti panaudotas kaip antrinė žaliava, taip prisidedant prie ekonomikos augimo atsiejant naujų išteklių naudojimą.

Magistro baigiamajame darbe analizuojamas popieriaus gamybos įmonės gamybinių nuotekų dumblo susidarymo procesas ir analizuojami galimi dumblo panaudojimo būdai, bei apžvelgiama mokslinė literatūra ir teisinė bazė. Baigiamajam projektui pasirinkta popieriaus gamybos įmonė AB „Grigeo“. Įvertinti įmonės problematiką ir jos priežastis buvo atlikta analizė, nustatyti proceso medžiagų ir energijos srautai bei parengtas balansas. Identifikuota, kad įmonės veikloje per metus susidaro virš 17 tūkst. t nusausinto nuotekų dumblo, planuojama jog šis kiekis didės ir per artimiausius keletą metų gali pasiekti 22 tūkst. t/m. Taip pat atlikta laboratorinė nusausinto dumblo analizė, kurios metu nustatyti pagrindiniai parametrai. Identifikuota: nusausintas dumblas pasižymi dideliu anglies bei mažu azoto kiekiu, taip kaip ir būdinga popieriaus gamyklų dumblui, aptiktos mažos sunkiųjų metalų koncentracijos bei gana didelis kalcio karbonatų kiekis.

Šiuo metu iš nusausinto dumblo yra gaminamas techninio kompostas, kuris vėliau naudojamas pažeistų teritorijų atstatymui. Nustatyta, kad įmonės AB „Grigeo“ dumblo apdorojimas nors ir vadinamas kompostavimu, tačiau nėra kompostavimas dėl netinkamų technologinių parametru išlaikymo. Tokiu būdu kompostas (dirvožemį gerinanti medžiaga) negaminamas.

Atlikus analizę ir identifikavus problematiką buvo pasiūlytos dvi dumblo panaudojimo alternatyvos:

1) Biokuro darinio gamyba – nusausintą dumblą maišyti su įmonėje naudojamu medienos biokuru (dumblo dalis – iki ≤ 15 % pagal masę).

2) Keraminių plytų gamyba, panaudojant nusausintą dumblą kaip antrinę žaliavą (dumblo dalis iki 10 % pagal masę).

Įgyvendinus pirmąją alternatyvą, įmonės vieno proceso metu susidarančios atliekos, būtų panaudojamos naujo pridėtinės vertės produkto kūrimui įmonės viduje. Gaminant biokuro darinį (proporcija: 15 % nusausinto dumblo ir 85 % medienos biokuro), būtų panaudota iki 16,3 tūkst. t/m susidarančio nusausinto dumblo, aplinkosauginis veiksmingumas (AAV) padidėtų iki 0,363 t/t įmonėje gaminamos produkcijos, įmonės medienos biokuro sąnaudos sumažėtų iki 7,4 tūkst. t/m. ir

padidėtų AAV – 0,165 t/t PP. Tai leistų įmonei sutaupyti apie 0,8 mln. Eur/m. Bei padidėtų tiesioginių ir netiesioginių ŠESD aplinkosauginis veiksmingumas iki 0,107 t CO_{2e}/t.

Antrosios siūlomos alternatyvos atveju – nusausintas dumblas būtų perduodamas keramines plytas gaminančiai įmonei ir gaminamas naujas produktas. Dumblas būtų panaudojamas kaip antrinė žaliava plytų gamyboje (proporcija: 10 % nusausinto dumblo ir 90 % molio). Gaminant keramines plytas būtų galima panaudoti iki 13,5 tūkst. t/m. nusausinto dumblo, bei įmonė sutaupytų iki 294,9 tūkst. Eur/m. Tačiau atlikus būvio ciklo analizę nustatyta, kad aplinkosauginiu požiūriu dumblo panaudojimo nauda labai priklauso nuo esančio atstumo tarp įmonių. Nagrinėjamu atveju, kuomet plytas gaminanti įmonė yra nutolusi 287 km nuo dumblo susidarymo vietos, beveik visose vertinamose kategorijose plyta su dumblu daro didesnę aplinkosauginį poveikį nei plyta be dumblo bei dumblo transportavimas sukuria didžiausią aplinkosauginį poveikį vertinamoje sistemoje.

Atlikus abiejų alternatyvų analizę, buvo pateiktos rekomendacijos dėl alternatyvaus nusausinto dumblo panaudojimo popieriaus gaminimo įmonei.

Ieva Martinaitytė. Application of Integrated Waste Management Principles to the Treatment of Paper Mill Effluent Sludge. Master's Final Degree Project / supervisor associate professor dr. Irina Kliopova; Institute of Environmental Engineering; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: industrial sewage sludge, life cycle assessment, cleaner production, integrated waste management, circular economy.

Kaunas, 2023. 64 pages.

Summary

Environmental degradation and climate change threaten not only Europe, but also the whole world. The Green Deal has set ambitious targets for the European continent to become a climate neutral continent by 2050 and to decouple economic growth from resource use. The operations of paper mills generate a large amount of sewage sludge, which has a high potential to be used as a secondary raw material, thus contributing to economic growth by decoupling the use of new resources.

The Master's thesis analyses the process of wastewater sludge generation in a papermaking company and analyses the possible uses of the sludge, as well as reviews the scientific literature and the legal framework. The paper manufacturing company selected for the final project is AB Grigeo. To assess the company's problems and their causes, an analysis was carried out, the material and energy flows of the process were determined and a balance sheet was prepared. It was identified that the company's activities generate over 17 000 t/y of dewatered sewage sludge, and that this amount is expected to increase and may reach 22 000 t/y in the next few years. A laboratory analysis of the dewatered sludge has also been carried out to determine the main parameters. The following were identified: the dewatered sludge is characterised by high carbon and low nitrogen content, as is typical of paper mill sludge, low concentrations of heavy metals and a relatively high content of calcium carbonate.

The dewatered sludge is currently being used to produce technical compost, which is then used for the restoration of damaged areas. It has been found that the treatment of the sludge by Grigeo AB, although called composting, is not composting due to the inadequate maintenance of the technological parameters. Compost (soil conditioner) is not produced in this way.

Following the analysis and identification of the problems, two alternatives for the use of the sludge were proposed: 1) Production of a biofuel derivative - mixing the drained sludge with wood biofuel used in the plant (sludge fraction up to ≤ 15 % by weight).

2) Production of ceramic bricks using the dewatered sludge as a secondary raw material (sludge fraction up to 10 % by weight).

The first option would use the waste generated in one process of the company to create a new value-added product within the company. The production of a biofuel derivative (ratio: 15 % dewatered sludge and 85 % wood biofuel) would use up to 16.300 t/y of the dewatered sludge produced, increase the environmental performance to 0.363 t/t of the company's production, reduce the

company's wood biofuel consumption to 7.400 t/y, and increase the environmental performance to 0.165 t/t PP.

This would save the company around EUR 0.8 million/y. It would also increase the environmental efficiency of direct and indirect GHG emissions to 0.107 t CO₂e/t.

In the second proposed alternative, the dewatered sludge would be transferred to a ceramic brick manufacturing company and a new product would be produced. The sludge would be used as a secondary raw material in the production of bricks (ratio: 10 % dewatered sludge and 90 % clay). The production of ceramic bricks could use up to 13.500 t/y of dewatered sludge and save the company up to EUR 294.900 per year. However, the life cycle analysis shows that the environmental benefits of sludge recovery depend strongly on the distance between the plants. In this case, where the brick manufacturing plant is 287 km away from the sludge production site, in almost all categories assessed, the brick with sludge has a higher environmental impact than the brick without sludge and the transport of sludge generates the highest environmental impact in the system assessed.

The analysis of the two alternatives has led to recommendations for the alternative use of the dewatered sludge for the paper mill.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, teisės aktų ir statistinių duomenų analizė atliekų tvarkymo srityje, ypatingą dėmesį skiriant nuotekų dumbliui	15
1.1. Integruotos atliekų vadybos principai	15
1.2. Žiedinės ekonomikos principai tvariam atliekų tvarkymui	15
1.3. Lietuvos atliekų tvarkymo statistinė analizė	16
1.4. Nuotekų dumblo tvarkymo teisinis reguliavimas.....	19
1.5. Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblas.....	20
1.5.1 Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimo galimybės.....	20
2. Tyrimo metodika	24
2.1. Tyrimo algoritmas	24
2.2. Tiriamajame darbe naudoti metodai	25
3. AB „Grigeo“ nusausinto dumblo tvarkymas, taikant integruotos atliekų vadybos principus.....	31
3.1. AB „Grigeo“ nusausinto dumblo tvarkymo procesų analizė ir problemų identifikavimas.....	31
3.2. Biokuro darinio gamybos įvykdomumo analizės rezultatai	34
3.3. Keraminių plytų gamybos, panaudojant nusausintą dumblą, įvykdomumo analizė	43
4. Rekomendacijos popieriaus gamykloms alternatyviam dumblo panaudojimui	51
4.1. Rekomendacijos įmonės AB „Grigeo“ alternatyviam dumblo panaudojimui	51
4.2. Rekomendacijos popieriaus gamykloms alternatyviam dumblo panaudojimui	53
Išvados	54
Literatūros sąrašas	56
Priedai.....	59
1 priedas. Popieriaus gamyklos dumblo tyrimo protokolas	59
2 priedas. Biokuro darinio tyrimų protokolai	61
3 priedas. Keraminės plytos gamybos BCĮ srautų diagrama.....	63
4 priedas. Keraminės plytos su dumbliu gamybos BCĮ srautų diagrama.....	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją pagal LAND 20-2005 [13]	19
2 lentelė. Atliekų tvarkymo politikos principai [7].....	25
3 lentelė. ŠESD emisijų faktoriai [31]	29
4 lentelė. AB „Grigeo“ nusausinto dumblo ir biokuro darinio kokybės ir užterštumo rodyklių laboratorinio tyrimo rezultatai	37
5 lentelė. Biokuro darinio gamybos ir deginimo įmonės KDI alternatyvos aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas	41
6 lentelė. BCĮ naudojami duomenys, 1 t plytų pagaminti [38, 39].....	45
7 lentelė. Antrosios alternatyvos aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatai	49
8 lentelė. Planuojamas aplinkosauginio veiksmingumo lyginamoji analizė.....	52

Paveikslų sąrašas

1 pav. Atliekų tvarkymo hierarchija	15
2 pav. Sutvarkytų atliekų kiekis pagal tvarkymo būdus 2019–2021 m., tūkst. tonų [11].....	17
3 pav. Pramoninių ir nepramoninių nuotekų dumblo valymo atliekų kiekiai pagal tvarkymo būdus 2019–2021 m. [11]	18
4 pav. Popieriaus gamyklų dumblo panaudojimo alternatyvos [19].....	21
5 pav. Magistro baigiamojo projekto tyrimo etapai	24
6 pav. ŠG koncepcijos diegimo įmonėse metodikos pagrindiniai etapai [28]	26
7 pav. Būvio ciklo įvertinimo schema [29].....	28
8 pav. AB „Grigeo“ nuotekų ir dumblo tvarkymo schema	32
9 pav. Nusausinto dumblo tyrimui suformuotas mėginys.....	32
10 pav. AB „Grigeo“ nuotekų tvarkymo schema gaminant biokuro darinį.....	35
11 pav. Pavyzdinio biokuro darinio sudarymas (iki 15 % pagal masę)	35
12 pav. Biokuro darinio gamybos pagrindinių srautų diagrama	38
13 pav. Šiluminės energijos gamyba biokuro katiluose, pagrindinių srautų diagrama.....	39
14 pav. Plytų gamybos iš 100 % molio sistemos ribos	43
15 pav. Plytų gamybos su 10 % dumblo sistemos ribos	44
16 pav. Standartinės plytų gamybos scenarijaus ir plytos su 10 % molio BCĮ srautų diagrama	46
17 pav. Būvio ciklo palyginimas, vertinant poveikį skirtingose kategorijose (atstumas tarp plytų gamyklos ir dumblo susidarymo vietos 287 km).....	47
18 pav. Būvio ciklo palyginimas, vertinant poveikį skirtingose kategorijose (atstumas tarp plytų gamyklos ir dumblo susidarymo vietos 100 km).....	48

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

- AAI – aplinkos apsaugos indikatorius;
AAI_s – santykinis aplinkos apsaugos indikatorius;
AAV – aplinkosauginis veiksmingumas;
BCĮ – būvio ciklo įvertinimas;
BSA – biologiškai skaidžios atliekos;
CaCO₃ – kalcio karbonatas;
CO₂ – anglies (IV) oksidas;
CO_{2e} – anglies dioksido ekvivalentas;
GK – garo katilas;
EF – emisijų faktorius;
ES – Europos sąjunga;
KD – kietosios dalelės;
KDĮ – kurą deginantis įrenginys;
NDM – natūralaus drėgnio medžiagoje;
n.k. – naudingumo koeficientas;
PAV – poveikio aplinkai vertinimas;
PP – įmonėje gaminama produkcija;
RV – ribinė vertė;
SM – sausoje medžiagoje;
ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
ŠG – švaresnė gamyba;
TIPK – taršos integruotos prevencijos ir kontrolės.

Terminai:

Nuotekų dumblas – septiniuose ir kitokiuose buitinių ir kitų panašios sudėties nuotekų valymo įrenginiuose susidarantis dumblas. Prie nuotekų dumblo nepriskiriamos medžiagos ir elementai, sulaikomi grotomis, sietais, riebalų gaudyklėmis, naftos gaudyklėmis, smėliagaudėmis, flotatoriais ir pan. (pvz., šiukšlės, smėlis, riebalai, naftos produktai).

Apdorotas nuotekų dumblas – ne trumpiau kaip vienus metus laikytas arba biologiniu, cheminiu ar terminiu būdu paveiktas nuotekų dumblas, arba kitaip paveiktas nuotekų dumblas, kurio savybė fermentuotis ir keliamas sveikatai ir aplinkai pavojus jį naudojant yra sumažintas.

Ivadas

Aktyvus žiedinės ekonomikos skatinimas yra viena iš pagrindinių pasaulinio tvaraus vystymosi priemonių. Siekiant žiedinės ekonomikos tikslų labai svarbus antrinis atliekų panaudojimas, kuris gali padėti ne tik sumažinti susidarančių atliekų kiekį, bet sumažinti sąvartynų eksploatavimo išlaidas, efektyviai naudoti išteklius ir gauti papildomų pajamų. Šiuo metu didžioji dalis Lietuvoje susidariusių atliekų yra šalinamos sąvartynuose ar sudeginamos energijai gauti. Nemaža dalis šių šalinamų ar deginamų atliekų turi antrinių medžiagų savybių, kurios gali būti dar kartą panaudotos to paties produkto įmonėje gamyboje arba kaip antrinė žaliava naujų produktų gamyboje įmonės lygyje arba kitoje įmonėje.

Pramonės įmonėse susidaro didžiuliai kiekiai atliekų, ne išimtis ir popieriaus gamyklos. Didžiausia dalis šios pramonės šakos atliekų tenka nuotekų dumbliui, kurio susidarymas auga kartu su didėjančia popieriaus paklausa, kurią didina vis augantis gyventojų skaičius, o tai kelia rimtų atliekų šalinimo ir aplinkosaugos problemų [1]. Apskaičiuota, kad kiekvienais metais visame pasaulyje susidaro apie 400 mln. tonų popieriaus gamyklų dumblo ir yra prognozuojama, kad iki 2050 m. jų kiekis pasieks 550 mln. tonų [2]. Aplinkosaugos ir socialiniu bei ekonominiu požiūriu labai svarbu, kad popieriaus gamyklose būtų naudojamos tinkamos technologijos, kurios leistų susidariusį dumblą paversti vertingais produktais ir kartu sumažinant riziką aplinkai [3]. Šiuo metu Lietuvoje šis dumbblas traktuojamas kaip atlieka ir nėra panaudojamas kaip antrinė žaliava naujų produktų gamyboje.

Tyrimo objektas – popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonės AB „Grigeo“ nuotekų dumblas.

Detalesnei analizei ir eksperimentui parinkta popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonė – AB „Grigeo“, kurios veikloje susidaro virš 17 tūkst. t/m. iki ≈ 40 proc. nusausinto dumblo (kodas pagal atliekų tvarkymo taisykles – 03 03 11). Šis dumblas susidaro po gamybinių nuotekų valymo (nuo SM dalelių) flotacinėse celėse, kuriose makulatūros ir celiuliozės plaušas jau šiuo metu yra surenkamas ir grąžinamas atgal į gamybą, kaip ir išvalytas vanduo. Analizuojamas tik tas dumblas, kuris lieka po pirminio išvalymo, t.y. nusėdęs flotacinės celės apatinėje dalyje šlammas, kuris negali būti panaudojamas pagrindinio produkto gamybai.

Darbo tikslas – išanalizuoti popieriaus gamybos nuotekų dumblo panaudojimo galimybes, taikant integruotos atliekų vadybos principus.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti popieriaus gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimo situaciją kitose šalyse, taikomus pagrindinius aplinkosaugos teisės aktus ir taikomas praktikas bei atlikti mokslinės ir praktinės literatūros analizę.
2. Analizei parinktai popieriaus gamybos ir perdirbimo įmonei pasiūlyti alternatyvaus dumblo panaudojimo būdus, kurie leistų išnaudoti jo žaliavines ir / arba energetines savybes.
3. Remiantis atliktos analizės rezultatais, pateikti išvadas ir rekomendacijas įmonei AB „Grigeo“ ir kitoms popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonėms.

Darbo mokslinis naujumas

- Atliktų dumblo medžiaginių savybių laboratorinės analizės rezultatai parodė, kad jo sudėtyje yra virš 40 % – sausos medžiagos (SM), virš 36 % SM sudaro organinės medžiagos, labai nedidelis kiekis azoto (0,22 % SM) ir pakankamai daug anglies (25,92 % SM). Nors visų sunkiųjų metalų (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, Hg, As) koncentracijų suma yra nedidelė (siekia tik 96,39 mg/kg SM – virš 1,7 kartus mažiau, palyginti su medienos biomase), bet toks dumblas negali būti kompostuojamas dėl netinkamo C:N santykio, t.y. kompostavimo procesas neprasideda be papildomų kitų biologiškai skaidžių atliekų (BSA), kurių sudėtyje yra didesnis azoto kiekis.
- Atliktų dumblo energetinių savybių laboratorinės analizės rezultatai parodė, kad dumblo apatinio šilumingumo vertė siekia 6,11 MJ/kg natūralaus drėgnio medžiagoje (NDM) bei dumblas pasižymi labai dideliu peleningumu (virš 60 % SM).
- Eksperimento metu nustatyta, kad dumblas gali būti naudojamas biokuro darinio gamybai ($\leq 15\%$ pagal masę), kuris atitinka kietojo biokuro charakteristikas. Planuojama tokio darinio šilumingumo vertė apie 8,2 MJ/kg. Biokuro darinys techniškai gali būti deginamas AB „Grigeo“ pramoniniuose garo katiluose (18 ir 10 MW), kuriuose palaikoma degimo temperatūra – 850 °C, nebloginant deginimo proceso savybių (pelenų lydymosi temperatūra yra $> 1070^{\circ}\text{C}$) ir neviršijant oro teršalų ribinių verčių (RV).
- Darbe nustatyta, kad dumblas gali būti naudojamas keraminių plytų gamyboje. Remiantis mokslinės literatūros analizės rezultatais, nustatyta, kad panaudojus dumblą (iki 10 % žaliavų masės) plytos kokybės charakteristikos nepablogės, be to sumažėja energijos sąnaudos šio produkto gamybai. Naudojant SimaPro programinę įrangą, darbe atliktas dviejų skirtingų plytų būvio ciklo įvertinimas (BCI) (sistemos ribos – žaliavos išgavimas, transportavimas, gamyba): keraminė plyta, pagaminta iš 100 % molio ir gamyba plytos, kurios sudėtyje yra 10 % dumblo. Įvertinimas atliktas būtent AB „Grigeo“ situacijai, kai nusaustas dumblas būtų transportuojamas net 287 km atstumu iki artimiausios pramoniniu būdu plytas gaminančios įmonės, kuri veikia Latvijoje – Lode SIA. Nustatyta, kad:
 - poveikis klimato kaitai dėl ŠESD standartinės plytos gamyboje (nagrinėjamos sistemos ribose) sudaro 37,6 kg CO_{2e}, plytos su 10 % dumblo – 38,1 kg CO_{2e};
 - mažiausias alternatyvaus produkto gamybos aplinkosauginis poveikis matomas kuomet atstumas tarp plytų gamybos įmonės ir dumblo susidarymo vietos yra < 100 km.

Darbo praktinė nauda AB „Grigeo“

Išanalizavus mokslinę ir praktinę literatūrą, atlikus dumblo tyrimus ir nustatčius jo medžiagines bei energetines savybes, įmonei pasiūlyti 2 alternatyvūs dumblo panaudojimo būdai, kurie šiuo metu nėra taikomi Baltijos šalyse:

- biokuro darinio gamyba ir naudojimas garo gamybai įmonės poreikiams. Tai leistų sutvarkyti virš 16 tūkst. t/m. dumblo, išnaudojant jo energetines savybes; šiuo atveju pirminio kuro – medienos biokuro sąnaudos sumažtų beveik 64 tūkst. GJ/m. (arba 7,4 tūkst. t/m.); šio projekto realizavimo ekonominė nauda siektų $\approx 0,802$ mln. Eur/m. Likęs dumblo kiekis (nuo 2025 m. – iki 6 tūkst. t/m.) gali būti transportuojamas iki artimiausios keraminių plytų gamybos įmonės (aplinkosauginiu požiūriu optimalu kuomet atstumas neviršija 100 km);

- tuo atveju, jeigu visas dumblas būtų transportuojamas iki Lode SIA plytų gamybos, projekto ekonominė nauda siektų 0,295 mln. Eur/m.

Tyrimo rezultatų publikavimas.

Dalis baigiamojo magistro projekto buvo pristatyta 2022 gruodžio 6 d. tarptautinėje mokslinėje konferencijoje „Žaliojo kurso įgyvendinimo strategijos dėl vandens, žaliavų ir energijos“ (nuotoliniu būdu).

Martinaitytė I., Kliopova I. Application of the principles of Integrated Waste Management to paper mill sludge: case study in Lithuania / 3rd International Conference „Strategies toward Green Deal Implementation Water, Raw Materials & Energy“.

1. Mokslinės ir praktinės literatūros šaltinių, teisės aktų ir statistinių duomenų analizė atliekų tvarkymo srityje, ypatingą dėmesį skiriant nuotekų dumbliui

1.1. Integruotos atliekų vadybos principai

Šiuo metu visame pasaulyje vis dar egzistuoja opi atliekų tvarkymo problema. Gamybos ir vartotojų atliekos yra reikšmingas aplinkos taršos šaltinis, nors atliekų tvarkymo politika yra viena Europos Sąjungos prioritetinių aplinkos apsaugos politikos sričių. Šia tvarkymo politika buvo stengiamasi užkirsti kelią neigiamam poveikiui aplinkai ir visuomenės sveikatai, todėl pagrindinis dėmesys buvo skiriamas pavojingų atliekų tvarkymo reglamentavimui, po to sekė ir nepavojingų atliekų reglamentavimas. Dar 1986 metais buvo patvirtinta viena pirmųjų atliekų naudojimą skatinančių direktyvų, kuri reglamentavo nutekamųjų vandenų dumblo naudojimą žemės ūkyje [4]. Nors visi supranta, kad atliekos pažymi medžiaginėmis (antrinių žaliavų) ir / arba energetinėmis savybėmis, tačiau iki šiol daugelis atliekų nėra panaudojamos pramoninėje gamyboje. Nemaža dalis atliekų yra perduodama šalinti į sąvartynus, o tai lemia žemės plotų nusavinimą ir kelia pavojų, kad teršalai pateks į aplinką [5].

Europos Komisija išvystė tvaraus atliekų tvarkymo koncepciją, kuri remiasi tam tikra tvarkymo hierarchija [6]. Pirmenybė teikiama atliekų susidarymo prevencijai, jei negalima išvengti atliekų susidarymo – atliekų tvarkymas, jas pakartotinai panaudojant. Po antrinio panaudojimo ir perdirbimo pageidaujamas atliekų tvarkymo būdas – energijos atgavimas. Mažiausias prioritetas skiriamas šalinti atliekas sąvartynuose (1 pav.).



1 pav. Atliekų tvarkymo hierarchija

Taip pat labai svarbus ir atliekų apibrėžimas, kuris sąlygoja jų vadybą. Dėl to kyla intensyvios diskusijos ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje, nes medžiagoms, kurios dažnu atveju traktuojamos kaip atliekos, taikomi įvairūs apribojimai, susiję su transportavimu, pakartotiniu naudojimu ar pardavimu [7].

1.2. Žiedinės ekonomikos principai tvariam atliekų tvarkymui

Šiuolaikinė dilema – rasti sprendimą, kaip užbaigti linijinę ekonomiką ir sklandžiai pereiti prie žiedinės ekonomikos. Linijinėje ekonomikoje vyravo filosofija „pagaminti – naudoti – išmesti“, ji

gyvuoja jau ne vieną dešimtmetį ir ją lemia tik ekonominė nauda. Nebuvo atsižvelgiama į aplinką, visuomenę bei jų poveikį.

Žiedinei ekonomikai skatinti reikia novatoriškų verslo modelių, kurie leistų uždaryti grandinę per visą produktų, medžiagų ir išteklių gyvavimo ciklą, kad būtų užtikrintas įmonių tvarumas ir pelningumas, o klientams ir tiekėjams produktai būtų patrauklūs. Todėl stiprinant žaliąją ekonomiką galima pasiekti abipusę naudą trimis aspektais, t. y. didinti įmonės pelną, mažinti klientų išlaidas ir užtikrinti aplinkos tvarumą [8].

Žiedinėje ekonomikoje tvarumas didinamas sutelkiant dėmesį į sistemos ekologinį efektyvumą. Tai reiškia, kad neigiamas sistemos poveikis mažinamas sutelkiant dėmesį į teigiamą inovacijų poveikį, naujos sistemos kūrimą. Linijinėje ekonomikoje sąnaudos yra labai mažos gaminant produktą ar medžiagą, o produkcija yra labai didelė, tačiau gaminio gamybos atliekos nėra perdirbamos arba pakartotinai panaudojamos, arba jų kiekis sumažinamas.

Nauji projektai skirti nuotekų bei kitų atliekų susidarančių įvairiose pramonės šakose pakartotiniam naudojimui, mažinimui ir perdirbimui yra grindžiami žiedinės ekonomikos principais. Pagrindinis žiedinės ekonomikos tikslas – kuo efektyviau mažinti atliekų susidarymą ir sugrąžinti eksploatuoti netinkamus produktus į ekonominį ciklą [9].

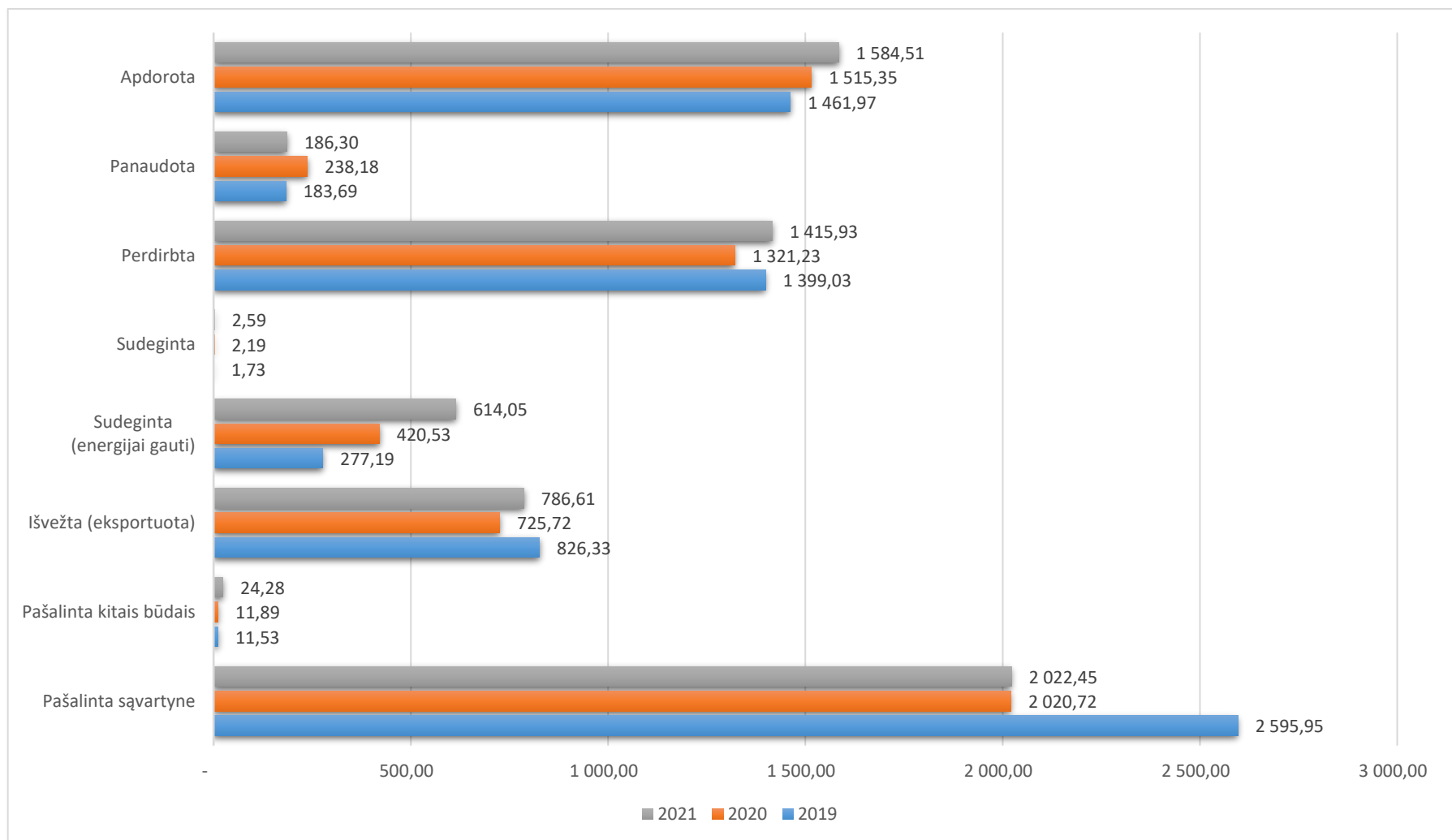
Lietuvos Respublikos valstybiniame atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plane iškeltas tikslas – šalies pramonę perorientuoti link klimatui neutralios ekonomikos. Vienas iš rodiklių padėsiantis tai pasiekti – iki 2025 m. padidinti antrinių žaliavų panaudojimo lygį. Šis rodiklis turėtų būti ne mažesnis nei tuo metu esantis ES vidurkis.

Dokumente taip pat minima viena iš pagrindinių gamybos ir kitos ūkinės veiklos atliekų tvarkymo problemų: iki šiol nėra nustatyti pagrindiniai gamybos ir kitų ūkinių veiklų atliekų srautai bei nėra išsamiai išanalizuota antrinių žaliavų paklausa ir jų panaudojimo galimybės [10].

1.3. Lietuvos atliekų tvarkymo statistinė analizė

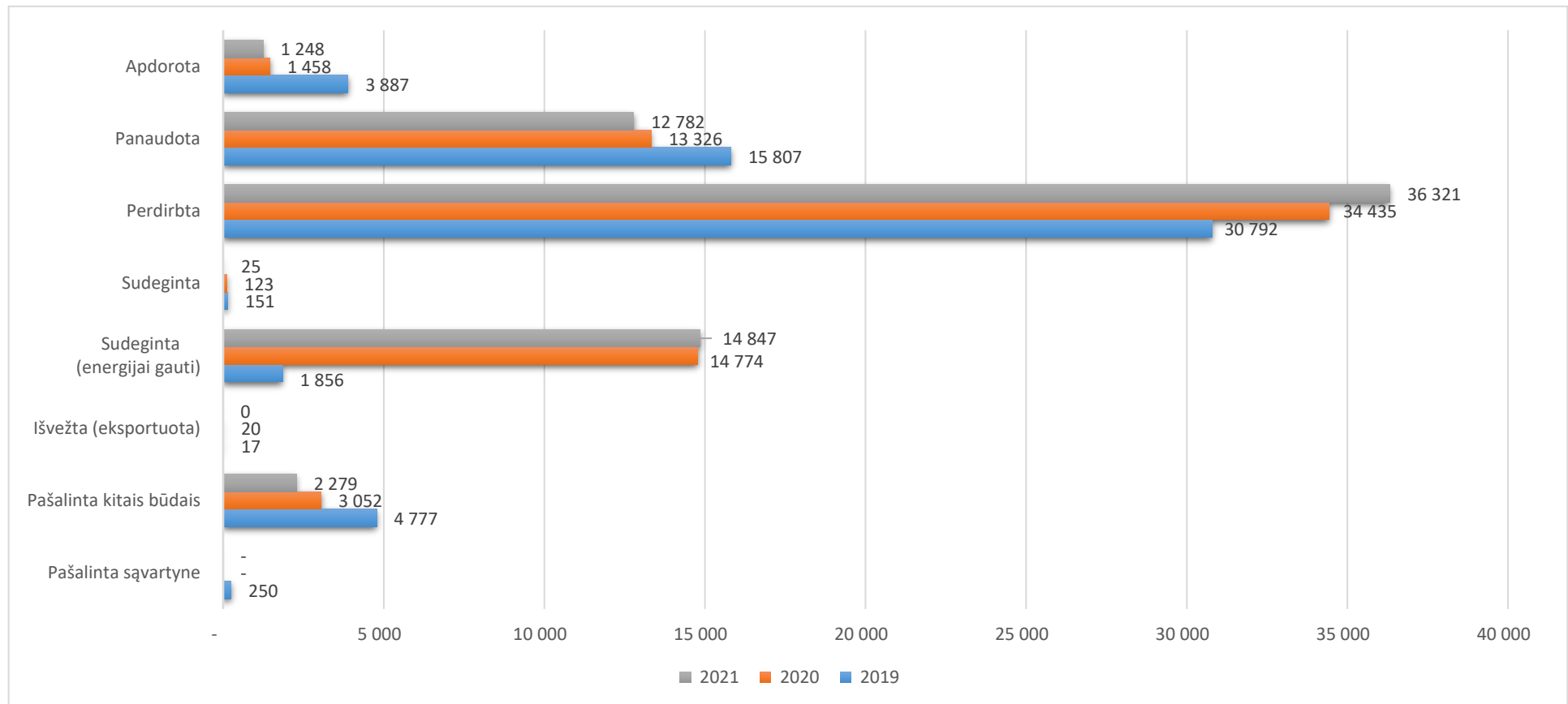
Vis dar didelė dalis Lietuvoje susidariusių atliekų yra šalinamos sąvartynuose, taikant D1, D5 atliekų tvarkymo būdus (2 pav.). Pavyzdžiui, 2021 m. tokiu būdu pašalinta 2,022 mln. t atliekų, įskaitant 1,73 mln. t (iki 85,6 %) fosforo trąšų gamybos metu susidariusių atliekų ir 186,5 tūkst. t (9,2 %) atliekų, kurios susidaro po centralizuoto mechaninio atliekų apdorojimo. Šalinamų atliekų kiekis nežymiai mažėja bėgant metams, tačiau išlieka pirmoje vietoje pagal sutvarkytų atliekų kiekį. Stebimas atliekų šalinamų sąvartyne kiekio mažėjimas, lyginant 2019 metus su 2021 metais, tačiau pastebimas atliekų deginimo augimas šiuo laikotarpiu. Atliekų deginimo energijai gauti augimas yra vienas sparčiausiai augančių iš 8 statistikoje pateiktų atliekų tvarkymo būdų. Šiam augimui įtakos turėjo naujų kogeneracinių elektrinių paleidimas, kartu išaugo ir atliekų deginimo pajėgumai.

Antroje ir trečioje vietoje yra atliekų apdorojimas ir perdirbimas taip pat nemaža dalis atliekų yra eksportuojama bei sudeginama energijai gauti.



2 pav. Sutvarkytų atliekų kiekis pagal tvarkymo būdus 2019–2021 m., tūkst. tonų [11]

Pramoninių ir nepramoninių nuotekų valymo dumblas sudaro 1,01 % surinktų ir atliekų apdorojimo metu susidariusių atliekų Lietuvoje. 3 pav. pateikiamas šių nuotekų dumбло kiekių pasiskirstymas pagal tvarkymo būdus. Lietuvos statistikos duomenimis 2021 metais: 54 % pramoninių ir nepramoninių nuotekų dumбло atliekų buvo perdirbta (panaudota tręšti ar sukompostuota), 22 % sudeginta energijai gauti, 19 % panaudota (biodujų gamybai), 3 % pašalinta kitais būdais ir 2 % apdorota.



3 pav. Pramoninių ir nepramoninių nuotekų dumбло valymo atliekų kiekiai pagal tvarkymo būdus 2019–2021 m. [11]

1.4. Nuotekų dumblo tvarkymo teisinis reguliavimas

Pramoninių ir nepramoninių nuotekų tvarkymo metu susidaro dumblas, kurio tvarkymas yra reglamentuotas. Lietuvos nuotekų tvarkymo reglamente [12] pateikiami kontroliuojami parametrai įvairių pramonės šakų išleidžiamoms nuotekoms. Celiuliozės pramonės įmonių kontroliuojami parametrai: ChDS, AOH (kontroliuojamas tose celiuliozės įmonėse, kuriose technologiniame procese naudojamas chloras), bendras azotas, bendras fosforas.

Pagal LAND 20-2005 reikalavimus [13] apdorotame dumble pirmiausia stebimos sunkiųjų metalų koncentracijos bei mikrobiologinis, parazitologinis užterštumas. LAND 20-2005 dokumente apdorotas dumblas skirstytas į tris kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją (1 lentelė).

1 lentelė. Apdoroto dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją pagal LAND 20-2005 [13]

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
I	<140	<1,5	<140	<300	<50	<800	<1,0
II	140–150	1,5–5	140–170	300–1000	50–70	800–2500	1–1,5
III	>150	>5	>170	>1000	>70	>2500	>1,5

Apdorotas dumblas gali būti naudojamas tręšimui, pažeistų teritorijų atstatymui arba energijai gauti pagal LAND 20-2005 nustatytą tvarką. III kategorijos apdorotas dumblas gali būti naudojamas tik nepavojingų atliekų sąvartynų rekultivacijai arba energijai gauti, laikantis atliekų tvarkymą reglamentuojančiuose teisės aktuose nustatytų reikalavimų.

Specialiuosiuose apdoroto dumblo naudojimo pažeistoms teritorijoms reikalavimuose pateikiama, kad pažeistų teritorijų, miesto žaliųjų erdvių ir pakelių rekultivavimui naudojamo apdoroto dumblo kiekis turi neviršyti 30 t/ha sausųjų medžiagų. O naudojamame maksimaliame apdoroto dumblo kiekyje į dirvožemį neturi patekti: azoto – daugiau kaip 170 kg/ha per metus, fosforo – 40 kg/ha arba fosforo (V) oksido – 90 kg/ha per metus. Taip pat reikalavimuose pateikiamas draudimas naudoti apdorotą dumblą išekspluatuotuose žvyro ir / ar smėlio karjeruose bei durpynuose [13].

Apdorotas dumblas dažnai yra naudojamas kaip komposto sudedamoji dalis ir jam taikomi papildomi reikalavimai, kurie yra pateikiami LAND 20-2005 dokumente. Naujame projektiniame dokumente, kuris turėtų įsigalioti nuo 2025 m., stebimi griežtėjantys reikalavimai kompostavimui. Kompostavimo procesas turės būti vykdomas uždaroje patalpoje ir užtikrinama kvapų sklaidimo prevencija bei dujų išvalymas prieš išleidžiant į aplinką.

Ateityje tikimasi, kad apdoroto nuotekų dumblo panaudojimo galimybės bus įvairesnės. Strateginiame Valstybinio atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021–2027 metų plano projekte pateikiami atliekų prevencijos ir tvarkymo prioritetai, tikslai, uždaviniai bei priemonės visoms atliekoms, tarp jų ir nuotekų dumblui. Keliamas tikslas ieškoti galimybių apdorotą dumblą panaudoti miškininkystėje. Taip pat planuojama įvertinti ir poreikį keisti galiojančius teisės aktus, kad būtų užtikrinta daugiau dumblo panaudojimo galimybių. Parenkant nuotekų dumblo apdorojimo būdą ir procesus, pirmenybę teikti tiems, kurie leidžia dumblą naudoti biodujų gamybai ir / arba kompostuoti, jei tai neblogins gyventojų gerbūvio dėl kvapų [10].

1.5. Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblas

Celiuliozės ir popieriaus fabrikai yra viena didžiausių, ir svarbiausių pramonės šakų pasaulyje. Jų veikloje susidaro didelis kiekis atliekų. Tai neišvengiama, nes kiekvieno žmogaus gyvenime popierius yra naudojamas kasdien ir įvairiomis formomis, nuo įvairių dokumentų iki pakuočių, tokių kaip maišeliai. Popieriaus gamybos atliekos susidaro po skirtingų gamybos etapų. Pagal Europos atliekų sąrašą jos klasifikuojamos kaip nepavojingos atliekos.

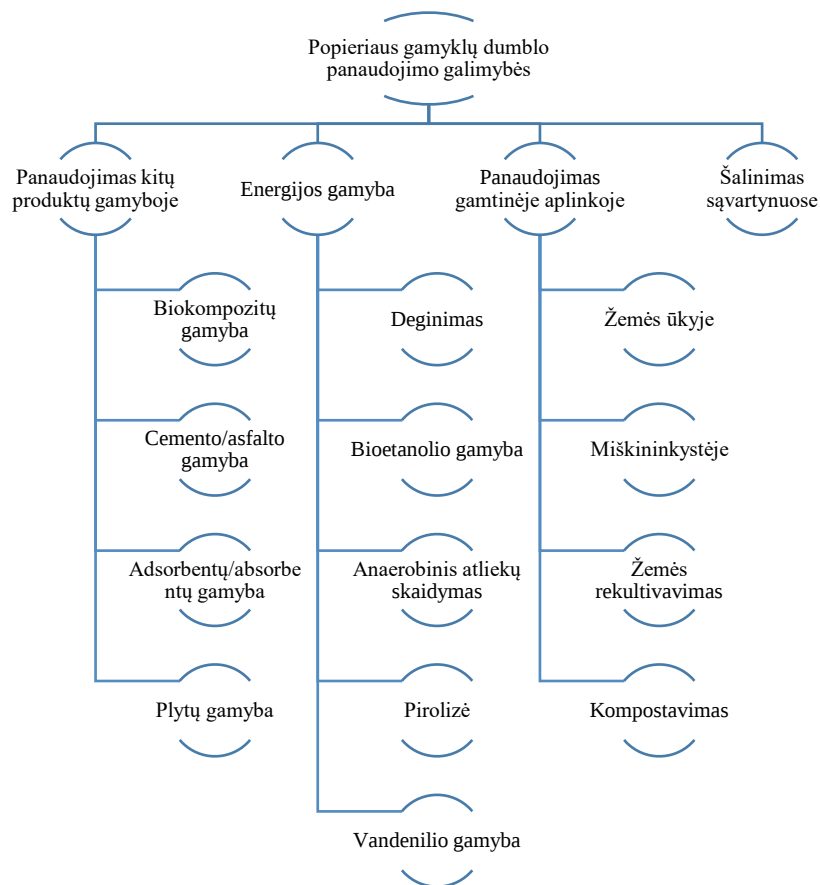
Šiame sektoriuje gamybos metu sunaudojama daug vandens, nuo 15 iki 100 m³/Mg sausos celiuliozės masės. Vanduo naudojamas kaip reakcijos terpė ir kaip plovimo vanduo, todėl susidaro daug nuotekų, kurias prieš išleidžiant į aplinką ar tinklus, reikia išvalyti. Šios nuotekos, kurioms būdingas didelis kiekis organinių medžiagų bei drumstumas, yra valomos gamyklos nuotekų valymo įrenginiuose. Vienas iš šalutinių nuotekų valymo produktų yra dumblas [14].

Iš esmės dumblą sudaro neorganinės bei organinės medžiagos, kurių kiekis skiriasi priklausomai nuo celiuliozės pluošto (žaliavos) kilmės, gamybos metodų popieriaus gamykloje ir galutinių produktų. Pagrindinės dumblo sudedamosios dalys yra celiuliozė, hemiceliuliozė, ligninas, priedai ir rišamosios medžiagos, pavyzdžiui, kaolinitas, medienos derva ir kalcio karbonatas, pelenai, taip pat aptinkamos ir mažos sunkiųjų metalų koncentracijos. Popieriaus gamyklų dumblas turi daug drėgmės, jo drėgnumas gali svyruoti nuo 40 iki 60 %, priklausomai nuo oro sąlygų, nes dažniausiai yra sandėliuojamas atvirose teritorijose bei nuo sausavimo būdo, kadangi dažniausiai prieš sandėliavimą dumblas sausinamas [15, 16].

Nors dumblo teršalų poveikis aplinkai buvo ne kartą vertintas, jo kiekio mažinimas tebėra didelis iššūkis. Šiuo metu pasaulyje didžioji dalis celiuliozės ir popieriaus gamyklų dumblo šalinama sąvartynuose arba iš pradžių sudeginama, o pelenai šalinami sąvartynuose. Taip pat bandoma jį naudoti anaerobiniame apdorojime kartu su biologiškai skaidžiomis atliekomis su tikslu padidinti biodujų išeigą [3].

1.5.1 Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimo galimybės

Įvairūs moksliniai tyrimai pateikia skirtingas popieriaus gamyklų dumblo panaudojimo galimybes: šalinimas sąvartynuose, komposto gamyba, polimerinių kompozitų gamyba, žaliava statybos pramonėje, antros kartos bioetanolio gamyba, konversija į aktyvintą anglį. Tačiau kai kurios iš šių taikymo sričių turi tam tikrų apribojimų, dėl su jų panaudojimu susijusių pavojų aplinkai [17, 18].



4 pav. Popieriaus gamyklų dumblo panaudojimo alternatyvos [19]

Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimas kitų produktų gamyboje

Naujoms statybinėms medžiagoms gaminti galima naudoti įvairias nepavojingas atliekas. Jos gali būti naudojamos, kaip dalinė žaliava arba pilnai pakeisti pirminę žaliavą. Popieriaus gamyklų dumblas taip pat gali būti panaudotas naujų produktų gamyboje kaip viena iš sudėtinių dalių, kas leidžia panaudoti jį kaip antrinę žaliavą ir neprarasti vertingos žaliavos.

Literatūroje nurodoma, kad dalinis cemento pakeitimas dumbliu, gali padidinti bandinio stiprumą tam tikru procentu. Taip pat atliekant bandymus buvo naudojami ir popieriaus gamyklų atliekų pelenai, siekiant nustatyti jų poveikį cemento, cementinio skiedinio ir betono savybėms. Nurodoma, kad labai svarbus yra pasirinktas sudegintos medžiagos aušinimo būdas. Mokslininkai nurodo, kad popieriaus gamyklų dumblas yra tinkama žaliava betono mišinių gamybai kaip cemento pakaitalas, tačiau tinka tik mažais kiekiais, o ne masinei gamybai [15, 20].

Kitas daug žadantis panaudojimo būdas ir nagrinėjamas ne viename moksliniame straipsnyje – džiovinto dumblo naudojimas degtų plytų gamyboje. Popieriaus gamyklų dumblo naudojimas plytų gamyboje turi du pagrindinius tikslus: išvengti mechaninių įtempimų ir įtrūkimų džiovinimo metu, ir sukurti akytumą plytos degimo metu. Įvairių tyrimų duomenimis apie 10 % (nagrinėjamoje mokslinėje literatūroje dumblo dalis varijuoja nuo 5 % iki 15 %) dumblo galėtų pakeisti pirminę žaliavą keraminių plytų gamyboje. Taip pat buvo pastebėta, kad reikalinga plytų degimo temperatūra sumažėja dėl dumblo esančio didelio kiekio anglies, kas padėtų sumažinti ir energijos sąnaudas. Tyrimų rezultatai gali būti naudingi ir panaudoti plytų pramonėje gaminant komercines plytas su dumblo priedais [3, 16].

Tačiau atliekant tyrimus pastebima kad ne visais atvejais pagamintas produktas atitinka reikalavimus ar turi reikiamas savybes. Vienas iš pavyzdžių, gaminant medžio-popieriaus dumblo plokštes ir pakeičiant tam tikrą kiekį medienos drožlių, dumbļu, pastebėta, kad plokštė tampa silpnesnė, nes sumažėja jos stiprumas.

Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimas energijos gamybai

Vienas iš energijos gamybos būdų yra deginimas, kuris paprastai nėra energetiškai naudingas dėl didelio vandens kiekio popieriaus dumble, mažo šilumingumo koeficiento ir didelio pelenų kiekio, todėl patiriamos didelės po deginimo susidariusių atliekų šalinimo išlaidos. Ieškant sprendimų, kaip sumažinti paminėtus trūkumus, mokslininkai nagrinėjo įvairius dumblo apdorojimo metodus ir panaudojimo būdus, tokie kaip šiaudų granulių maišymas su popieriaus gamyklų dumbļu, kuris skirtas kurui. Gautas mišinys pasižymi geromis kuro savybėmis, sumažėjusiu vandens kiekiu bei sumažėjusiu neigiamu poveikiu, pavyzdžiui, kaip sukepinimas.

Kitas apdorojimo būdas, kurį taikant išgaunama energija, yra dumblo anaerobinis skaidymas. Ši technologija – ekonomiškai ir ekologiškai, ir tinkama apdoroti didžiulius kiekius dumblo. Apdorojimo metu sumažinamas dumblo tūris suardant sudėtingas organines medžiagas į atsinaujinančią kurą, vadinamą biodujomis (50–70 % metano dujų). Iš dumblo, anaerobinio skaidymo būdu, gaunamos biodujos galėtų pakeisti iškastinį kurą elektros, šilumos ir transporto degalų gamyboje. Tačiau, nors šis galimas apdorojimas buvo nagrinėjamas keliuose moksliniuose tyrimuose, tačiau dumblo apdorojimas šiuo būdu, celiuliozės ir popieriaus pramonėje, yra vis dar besivystanti technologija, dėl mažo metano gamybos potencialo iš celiuliozinių medžiagų ir digestato šalinimo problemų [18, 21]. Taip pat mokslininkai nagrinėjo ir būdus, kaip tvarkyti dumblą, kad būtų išgauta energija bei maistinės medžiagos. Naudojant pirolizės metodus ir hidrotermiškai karbonizuojant dumblą galima gauti bioanglies, kaip naudingo maistinių medžiagų turtingo šalutinio produkto, skirto naudoti dirvožemio gerinimui, ir kartu tiekti atsinaujinančią šilumos energiją, sulaikant susidariusias dujas. Šis dumblo tvarkymo metodų integravimas padeda įvairinti šalutinių produktų asortimentą ir gali pagerinti energijos išgavimą iš dumblo [22].

Popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonių nuotekų dumblo panaudojimas gamtinėje aplinkoje

Dumblo komposto panaudojimas gamtinėje aplinkoje yra vienas iš šiuo metu praktiškai taikomų metodų. Tačiau šio dumblo komposto naudojimas žemės ūkyje yra problemiškas, palyginus su kitais didelės vertės kompostais. Šį kompostą naudojant žemės ūkio paskirties laukų tręšimui į dirvožemį gali patekti daugybė teršalų. Moksliniai tyrimai rodo, kad naudojant dumblą kompostavimui, dumblo sudėtyje esantys metalai gali bioakumuliuotis augalų audiniuose, todėl nerekomenduojama naudoti žemės ūkyje. Taip pat kai kurių ES valstybių aplinkos apsaugos agentūros neleidžia naudoti popieriaus gamyklų dumblo komposto žemės ūkyje, nes nėra pakankamai ištirtas tokio apdoroto dumblo ekologinės rizikos potencialas.

Popieriaus gamyklų dumblo kompostas dažniausiai naudojamas, kaip sąvartynų dirvožemio dangos pakaitalas bei kasyklų teritorijoms atstatyti [23].

Popieriaus gamyklų nuotekų dumblo šalinimas sąvartynuose

Šiuo metu, pasaulyje, didžioji dalis dumblo yra šalinama sąvartynuose arba iš pradžių sudeginama, o vėliau, susidarę pelenai, šalinami sąvartynuose. Dėl galimo šiltnamio efektą sukeliančių dujų

išmetimo ir ribojančių teisės aktų bei galimybės užteršti dirvožemį, ir požeminį vandenį, sąvartynai tampa mažiau patrauklia alternatyva. Nepaisant to, tinkamas šalinimas sąvartynuose gali turėti privalumų aplinkosauginiu ir technologiniu požiūriu, biologiškai stabilizuotoms medžiagoms. Tačiau dauguma procesų, kuriuose popieriaus dumblas tiesiogiai naudojamas kaip medžiaga, ateityje nebus tinkami dėl pavojaus aplinkai, susijusio su dumblo sudėtyje esančiais teršalais ir galimu jų išsiskyrimu [3, 24].

Geriausi prieinami gamybos būdai, taikomi popieriaus gamyklų nuotekų dumblo tvarkymui

Geriausių prieinamų gamybos būdų (GPGB) rekomendaciniame informaciniame dokumente (ID) celiuliozės, popieriaus ir kartono gamybos įmonėms, atliekų susidarymo prevencijos ir atliekų tvarkymo metodų aprašymo skyriuje, pateikiami medžiagų panaudojimo už įmonės ribų pavyzdžiai, nes šios atliekos gali būti panaudotos kituose pramonės sektoriuose, taikant pramoninės simbiozės principus [25].

- deginimas krosnyse arba maišymas su žaliavomis cemento, keramikos ar plytų gamyboje (taip pat apima energijos atgavimą);
- popieriaus dumblo kompostavimas arba tinkamų atliekų frakcijų paskleidimas žemės ūkyje;
- neorganinių atliekų frakcijų (smėlio, akmenų, žvyro, pelenų, kalkių) kaip sudėtinės medžiagos naudojimas statybose, pavyzdžiui, grindinio, kelių, dangos sluoksnių ir pan.

Minėtame GPGB ID dokumente taip pat pabrėžiama, kad poveikis aplinkai mažėja jeigu dumblas tvarkomas kuo arčiau susidarymo šaltinio. Pavyzdžiui, jis gali būti deginimas kartu su kitu pirminiu kuru, sudarant kuro darinį, pagaminta energija naudojama čia pat, t.y. popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonėse [25].

Skyrių apibendrinančios išvados

Atlikus popieriaus gamyklų nusausinto dumblo mokslinės ir praktinės literatūros analizę nustatyta, kad Lietuvoje 1,01 % visų susidariusių ir surinktų atliekų susidaro pramoninių ir nepramoninių nuotekų valymo dumblas arba 1,35 %, nevertinant fosforo trąšų gamybos atliekas. Didžioji dalis nuotekų, virš 50 %, yra perdirbamos: panaudojamos tręšti arba sukompostuojamos.

Dabartinis teisinis reguliavimas nurodo, kad tinkamai apdorotas dumblas gali būti naudojamas tręsimui, pažeistų teritorijų atstatymui arba energijai gauti. Mokslinėje literatūroje nurodomos platesnės, būtent popieriaus gamyklų nuotekų dumblo panaudojimo galimybės, tokios kaip panaudojimas statybų sektoriuje, komposto ir energijos gamybai.

Vertinant alternatyvias popieriaus gamyklų nuotekų dumblo panaudojimo galimybes, matomas didelis potencialas, tačiau kiekvienu atveju reikalinga detali jų įvykdomumo analizė, kuri kiekvienu atveju apimtų dumblo fizikinių ir cheminių savybių laboratorinius tyrimus, siūlomos alternatyvos techninį, aplinkosauginį, o analizuojant įmonės lygmeniu, ir ekonominį įvertinimą.

2. Tyrimo metodika

2.1. Tyrimo algoritmas

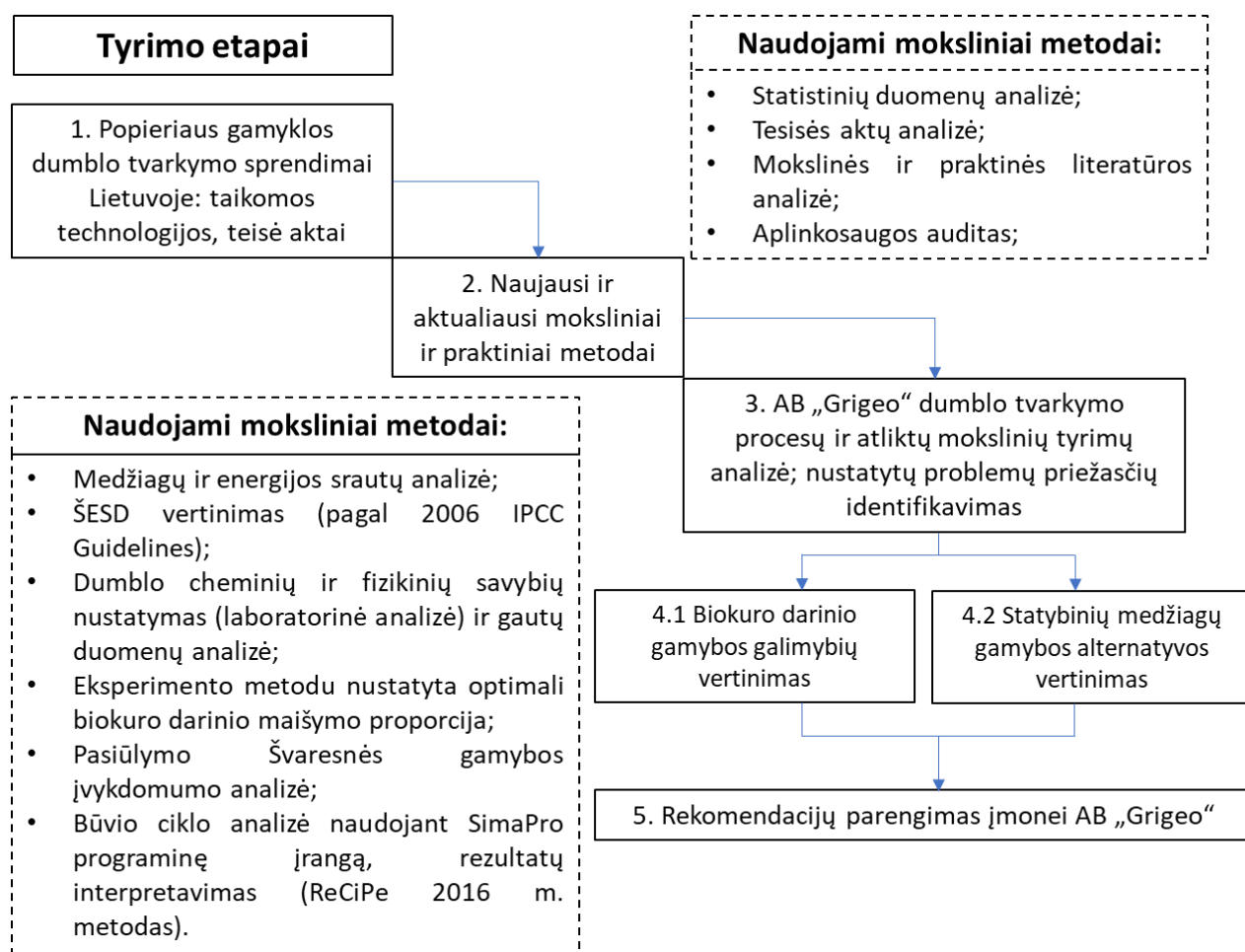
Tyrimo objektas: popieriaus perdirbimo ir gamybos įmonės technologinių procesų nuotekų dumbblas.

Eksperimentui parinka įmonė – AB „Grigeo“, esanti adresu Vilniaus g. 10, Grigiškės ir priklausanti AB GRIGEO grupei.

AB GRIGEO grupė yra vienintelė popieriaus ir medienos pramonės įmonių grupių Lietuvoje bei viena didžiausių Baltijos šalyse. Grupės įmonių procesai apima beveik visą medienos ir popieriaus komponentų apdirbimo ciklą – nuo medžio iki galutinio produkto, tiksliau, nuo medžio iki žmogaus, gaminant aukštos pridėtinės vertės medieną ir popieriaus gaminius gamybos procese.

Jau daugelį metų AB „Grigeo“ Lietuvoje įgyvendina žiedinės ekonomikos principus: daugiau kaip 40 proc. produktų gaminama iš perdirbto popieriaus ir kartono atliekų. Per pastarąjį dešimtmetį bendrovė įgyvendino ne vieną švaresnės gamybos projektą, tai leido optimizuoti medžiagų ir energijos suvartojimą, sumažinti gamtinių dujų sąnaudas.

Rašto darbas suskirstytas į 5 pagrindinius etapus. Tyrimo etapų schema bei naudoti moksliniai metodai pateikiami 5 pav.



5 pav. Magistro baigiamojo projekto tyrimo etapai

Pirmasis ir antrasis etapai: popieriaus gamyklų dumblo tvarkymo situacijos Lietuvoje vertinimas, aktualių teisės aktų analizė bei naujausių ir aktualiausių taikomų mokslo metodų analizė.

Trečiasis etapas: eksperimentui pasirinkto objekto – AB „Grigeo“ technologinių procesų dumblo ir laboratorinių tyrimų analizė. Pagrindinių problemų bei jų priežasčių nustatymas.

Ketvirtasis etapas: atrinktų dviejų alternatyvų analizė, aplinkosaugos veiksmingumo, ekonominio atsipirkimo skaičiavimai, panaudojimo galimybių vertinimas.

Paskutiniame etape vadovaujantis atlikta analize ir vertinimu pateikiamos rekomendacijos eksperimentui parinktai įmonei.

2.2. Tiriamajame darbe naudoti metodai

Viso tyrimo metu naudojami integruotos atliekų vadybos principai, nuo atliekų prevencijos ir mažinimo įmonės lygiu iki tinkamo tvarkymo, optimaliai naudojant atliekų medžiagines ir / arba energetines savybes kaip įmonės, taip ir regiono lygiu, parenkant alternatyvas su mažesniu poveikiu aplinkai, dažnai kurių įdiegimas leidžia papildomai sumažinti atliekų tvarkymo kaštus. Taip siekiama, kad būtų daromas kuo mažesnis poveikis aplinkai ir žmonių sveikatai ir minimizuojant deponuojamų atliekų srautą [7].

2 lentelė. Atliekų tvarkymo politikos principai [7]

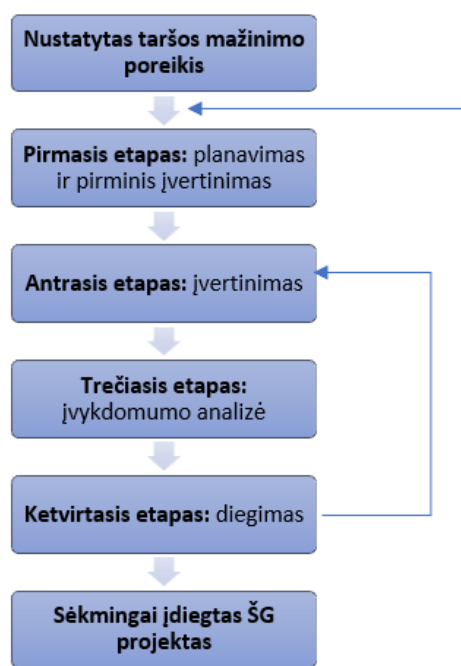
ES atliekų tvarkymo politikos principai	Būdingi bruožai
Atliekų tvarkymo hierarchija	Atliekų tvarkymo strategija: • susidarymo ir pavojingumo prevencija; • susidarymo ir pavojingumo mažinimas; • perdirbimas, atliekas naudojant kaip žaliavą ir/arba gaminti energiją; • šalinamos tik tos atliekos, kurių negalima pakartotinai perdirbti.
Tinkama įranga	ES narės turi sukurti integruotą atliekų šalinimo įrenginių tinklą, tenkinantį šalies ir Bendrijos poreikius.
Atsargumo principas	Taikomi GPGB – geriausiai prieinami gamybos būdai. Atliekų tvarkymo įrengimų eksploatacija neturi kelti pavojaus aplinkai, ji turi būti efektyvi ir ekonomiška.
Artumo principas	Atliekos turi būti apdorojamos ar šalinamos kuo arčiau jų sudarymo vietos.
„Teršėjas moka“ principas	Ūkio subjektai, gaminantys produkciją, kuri sudaro atliekas, turi būti atsakingi už visą gaminių gyvavimo ciklą ir šių gaminių atliekų tvarkymą.

Problemų nustatymui, jų priežasčių identifikavimui, pasiūlymų įvykdomumo analizei parinkta švaresnė gamybos (ŠG) koncepcijos diegimo pramonės įmonėse metodika, prie kurios metodikos kūrimo ir diegimo prisidėjo ir Aplinkos inžinerijos instituto APINI darbuotojai [26].

Švaresnė gamyba – sisteminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kai aplinkos apsaugos problemos sprendžiamos pačiame gamybos procese, įmonėse (ne už įmonės ribų). Kitaip tariant, tai yra sisteminis, visuminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kurio pagrindinis tikslas yra atliekų ar / ir teršalų prevencija bei neefektyvaus energijos resursų ir išteklių sąnaudų mažinimas ekonomiškai pagrįstais prevenciniais metodais.

Švaresnės gamybos tikslas – prevencija, siekiant išvengti nereikalingų išlaidų ir mažinanti gamtos išteklių naudojimą bei atliekų susidarymą, pereinant prie labiau tvarios ir saugios visuomenės [27].

Švaresnės gamybos koncepcija įmonėse yra diegiama pagal metodiką pateiktą 6 pav.



6 pav. ŠG koncepcijos diegimo įmonėse metodikos pagrindiniai etapai [28]

Pirmas vertinimo etapas skirtas identifikuoti pagrindines aplinkosaugos problemas ir procesus, kuriuose ar dėl kurių susidaro šios problemos. Pirmiausia, atliekamas pradinis aplinkosauginis įvertinimas ir identifikuotos problemos.

Problemos identifikavimui gali būti naudojami keli metodai: medžiagų ir energijos balanso sudarymas, lyginamoji analizė, laboratoriniai tyrimai, kt.

Šiame etape buvo imami nusausinto dumblo ėminiai ir formuojami mėginiai **laboratoriniams tyrimams**, kurio metu buvo nustatytos dumblo energetinės ir medžiaginės savybės.

Energetinių savybių (šilumingumo) tyrimai buvo atlikti ENERSTENA mokslinių tyrimų ir vystymosi centro laboratorijoje.

Cheminių savybių (sunkiųjų metalų, pelenų kiekio, azoto ir kt.) tyrimai buvo atlikti LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijoje.

Antrame vertinimo etape atliekama atrinktų procesų detali analizė: sudaroma šių procesų srautų diagrama, medžiagų ir energijos balansas, identifikuojamos pagrindinių aplinkos apsaugos problemų atsiradimo priežastys.

Identifikavus pagrindinę aplinkosauginę problemą, jos sprendimui visų pirmą pasitelkiamas labiausiai tinkamas vienas iš taršos prevencijos ir / ar atliekų mažinimo metodų: geras ūkininkavimas, žaliavų pakeitimas, patobulinta vadyba, įrangos pakeitimas, technologijos pakeitimai, gaminio modifikavimas, proceso optimizavimas, atliekų antrinis panaudojimas įmonėje [26]. Šiame tyrime

vienoje iš analizuojamų dumblo tvarkymo alternatyvų buvo taikomi būtent atliekų antrinio panaudojimo ir tuo pačiu žaliavų pakeitimo prevenciniai metodai.

Antroje darbe analizuojamoje alternatyvoje taikomas pramoninės simbiozės metodas, kaip vienas iš pramoninės ekologijos diegimo pramonėje praktinių elementų.

Pramoninė ekologijos koncepcijoje į pramonės sistemą žiūrima ne kaip į atskirą jos vienetą, bet kaip į aplinkos visumos dalį, todėl jos veikla turėtų būti analizuojama natūralių ekosistemų teorijos principais, kurie apibrėžia materialių srautų tarpusavio sąveiką gamybos sistemoje, ji grindžiama ekonomine, socialine ir ekologine harmonija. Praktiškai diegiant pramoninės ekologijos koncepciją, naudojami šie pagrindiniai elementai [26]: materialijų srautų dematerializavimas, taikant aukščiau minėtus taršos prevencijos ir atliekų mažinimo būdus; pramoninis metabolizmas, taikant procesų integravimą (įmonės lygiu) ir pramoninę simbiozę (regiono lygiu); sąveikos su biosfera harmonizavimas, siekiant, kad veikla kuo saugiau veiktų natūralių sistemų aplinkoje ir būtų kuo labiau integruota į ją; energijos sistemų restruktūrizavimas (atnaujinimas, perėjimas prie atsinaujinančių, antrinių išteklių naudojimo); politikos formavimas. Visų šių elementų diegimo tikslas – pramoninės ekosistemos sukūrimas, siekiant pramonės vienetų bendradarbiavimo, kad vienu gamintojų atliekos virstų kitų įmonių antrine žaliava, vienos įmonės perteklinė energija būtų panaudojama kitoje įmonėje kaip energijos šaltinis.

Trečias vertinimo etapas yra skirtas atrinktų problemų ir galimų jų sprendimų būdų techninio, aplinkos apsaugos ir ekonominio įvykdomumo analizei.

Alternatyvos techninio vertinimo metu numatoma, kaip greitai galima įdiegti pasiūlytą alternatyvą, ar nekyla teisinių kliūčių, kokios įtakos gali turėti įmonės darbo parametrams ir pan..

Būtent šiame etape dažniausiai naudojami kiti moksliniai metodai. Pavyzdžiui, darbe analizuojant atliekų antrinio panaudojimo galimybes, buvo atliekamas **eksperimentas** maišant nusaustiną dumblą kartu su įmonėje deginamu biokuru, taip gaminant biokuro darinį, ir nustatant tinkamiausią proporciją.

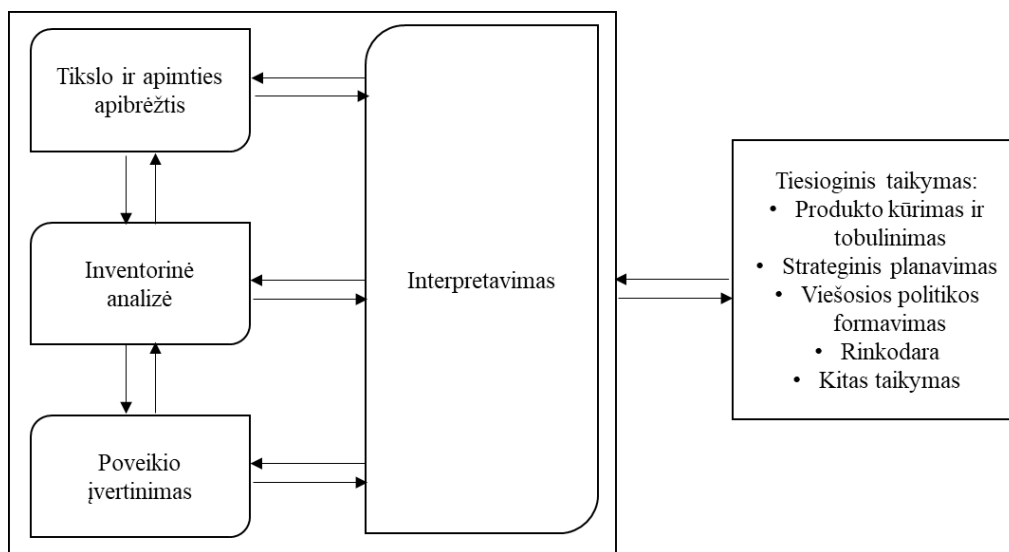
Taip pat šiame etape buvo imami eksperimento metu pagaminto biokuro darinio ėminiai ir formuojami mėginiai **laboratoriniams tyrimams** kad būtų nustatytos dumblo energetinės ir cheminės savybės.

Alternatyvų aplinkos apsaugos vertinime nustatomos įgyvendinimui reikalingos procedūros, dokumentų korekcijos, aplinkosauginio efektyvumo parametrų pasikeitimai po siūlomos alternatyvos įdiegimo ir kt.

Pastaruoju metu būtent šiame etape, analizuojant atliekų antrinio panaudojimo galimybes (toje pačioje įmonėje, naudojant ŠG prevencinius metodus ar kitose įmonėse, taikant pramoninės simbiozės principus) atliekamas planuojamo iš atliekos gaminti produkto poveikio aplinkai vertinimas visame būvio cikle.

Būvio ciklo įvertinimas (BCĮ) nagrinėja aplinkos aspektus bei galimą poveikį aplinkai, per visą produkto gyvavimo ciklą. BCĮ principas aprašytas tarptautiniame ISO 14040 standarte. BCĮ yra sudarytas iš keturių pagrindinių etapų (7 pav.):

- Tikslo ir apimties apibrėžtis – šiame etape apibrėžiamos sistemos ribos, tyrimo išsamumas. Šie aspektai priklauso nuo konkretaus tyrimo objekto ir norimo pasiekti tikslo.
- Inventorinė analizė – šiame etape renkami tiriamos sistemos duomenys (įvediniai ir išvediniai).
- Poveikio įvertinimas – šioje stadijoje įvertinamas būvio ciklo poveikis, kuris padeda pateikti papildomos informacijos ir įvertinti gautus rezultatus bei jų svarbą aplinkai.
- Interpretavimas – tai paskutinis etapas, kurio metu susumuojami ir aptariami ankstesnių etapų rezultatai, pagal kuriuos pateikiamos išvados ir rekomendacijos sprendimams priimti.



7 pav. Būvio ciklo įvertinimo schema [29]

Taikant BCĮ galima nagrinėti produktą nuo pirminės stadijos – žaliavų išgavimo iki galutinės stadijos, šalinimo. BCĮ gali padėti nustatyti galimybes pagerinti aplinkosaugos veiksmingumą skirtinguose produkto būvio ciklo etapuose [29].

Šiame darbe vienos alternatyvos vertinimui buvo pasitelkta BCĮ metodika. BCĮ buvo naudota programinė įranga – SimaPro. Ši programinė įranga skirta rinkti, analizuoti ir stebėti tvarumo duomenis produktų ar paslaugų lygmenyje. BCĮ duomenys į programinę įrangą įvedami rankiniu būdu arba galima pasirinkti iš jau esamų duomenų bazėse. Atlikus analizę rezultatai pateikiami skaitinėmis išraiškomis arba įvairaus pobūdžio diagramose.

Trečiame vertinimo etape naudotos formulės:

Medienos biokuro kiekis pagaminti maksimalų kiekį šiluminės energijos buvo vertinamas pagal 1 formulę [28]:

$$B = Q \times 3,6 / Q_z \times \eta; \quad (1)$$

čia

Q – šiluminės energijos kiekis, MWh/m.;

Q_z – kuro žemutinė šiluminė vertė, MJ/kg (nustatyta laboratoriniu būdu);

η – katilo naudingumo koeficientas (n.k.) (iki 100 proc., esant ekonomaizeriui).

ŠESD išmetimų skaičiavimams naudota 2006 IPCC inventORIZACIJOS vadove pateikta metodika [30], CO_{2e} emisijų faktorius (EF) – pagal Aplinkos apsaugos agentūros puslapyje pateiktą 2022 metų informaciją.

Biokuro ir biokuro darinio žemutinis šilumingumas buvo įvertintas laboratorinių tyrimų metu ir skaičiavimams naudojama gauta vertė. Metinių oro teršalų kiekio vertinimui naudojama EMEP/EEA/CORINAIR, 2019 metodika ir joje patekti emisijų faktoriai.

Oro teršalų ir ŠESD kiekis vertinamas pagal 2 formulę:

$$E_p = FC \times Q \times EF; \quad (2)$$

čia

FC – kuro sąnaudos, t/m.;

Q – kuro žemutinė šilumingumo vertė, GJ/t arba TJ/t;

EF – ŠESD emisijų faktorius t/TJ, oro teršalų – g/GJ.

Pvz.,

3 lentelė. ŠESD emisijų faktoriai [31]

Šaltinis, deginamas kuras	Grynoji šiluminė vertė, TJ/t	EF _{CO_{2e}} , t/TJ
Dyzelinis kuras	0,04291	72,80
Biokuras	Pagal laboratorinės analizės rezultatus	101,34

Biokurą deginančiuose garo katiluose susidarantis biogeninės kilmės CO₂, taip pat CH₄ ir N₂O vertinami naudojant 2 formulę ir 2006 IPCC inventORIZACIJOS vadove pateiktus emisijų faktorius.

Pagal ŠESD išmetimų aprašo 13.1 punktą [32], vertinant netiesioginį CO_{2e} emisijų kiekį dėl elektros energijos sąnaudų iš tinklų, Lietuvoje vykdomiems projektams taršos faktoriaus yra lygus 0,42 t CO_{2e}/MWh ir apskaičiuojamas pagal 3 formulę.

$$E_{CO_2} = 0,42 \, t \frac{CO_{2e}}{MWh} \times X \frac{MWh}{m}; \quad (3)$$

čia

0,42 t CO_{2e}/MWh – elektros energijos taršos faktorius Lietuvoje [32];

X – elektros energijos sąnaudos, MWh/m.

Nusausinto dumblo sudėtyje yra kalcio karbonato (CaCO₃), kuris esant aukštesnei nei 840 °C temperatūrai skyla į CaO ir CO₂, t.y. susidaro ŠESD. Šių procesų CO₂ vertinimui naudojama IPCC 2006 Nacionalinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventORIZACIJOS gairių, 3 skyriaus „Pramoniniai procesai ir produktų naudojimo“, 2 poskyryje „Mineralinės pramonės išmetamieji teršalai“ pateikta metodikos 2.16 formulė:

$$CO_2 emissions = M_i \times EF_i \times F_i; \quad (4)$$

čia

M_i - karbonatų masė, t/m. (analizuojamu atveju – 16 328,3 t/m. x 9,2 % = 1 502,20 t/m.);

EF_i – ŠESD emisijų faktoriai iš metodologijos 2.1 lentelės (analizuojamu atveju – 0,439 t CO₂/t CaCO₃);

F_i – karbonatų frakcija (šiuo atveju = 1).

Alternatyvos ekonominis vertinimas – įvertinami visi planuojami kaštai bei ekonominė nauda po alternatyvos įdiegimo:

$$S = AAI (iki) - AAI (po); \quad (5)$$

čia

S – sumažėja tiesioginių procesų kaštų dėl projekto įdiegimo, Eur/m.;

$AAI (iki)$ ir $AAI (po)$ – procesų įvedinių ir išvedinių kaštai iki ir po projekto įdiegimo, Eur/m..

Aplinkosauginis veiksmingumo vertinimas atliekamas nustatius AAI_s , skaičiavimams naudojama formulė:

$$AAV = AAI_s (iki) - AAI_s (po); \quad (6)$$

čia

$AAI_s (iki)$ – santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai iki po ŠG projekto;

$AAI_s (po)$ – santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai po ŠG projekto.

Aplinkosauginio veiksmingumo teigiama arba neigiama reikšmė parodo ŠG projekto teigiamą arba neigiamą aplinkosauginės situacijos pasikeitimą konkrečioje analizuojamo objekto aplinkosaugos srityje.

3. AB „Grigeo“ nusausinto dumblo tvarkymas, taikant integruotos atliekų vadybos principus

3.1. AB „Grigeo“ nusausinto dumblo tvarkymo procesų analizė ir problemų identifikavimas

Įmonėje AB „Grigeo“ gamybinės nuotekos yra surenkamos trijuose baseinuose, perduodamos į flotacijines celes (SM dalelių apvalymui), kuriose naudojant flokulantą, makulatūros ir celiuliozės plaušas yra iškeliamas į paviršių ir po to surenkams kartu su išvalytu vandeniu ir grąžinamas atgal į gamybą. Likęs šlamas, kuris nudėda flotacinių celių apatinėje dalyje yra nukreipiamas į 28 m³ tūrio gamybinių nuotekų siurblinę, iš kurios vėliau perpumpuojamos į radialiuosius nusodintuvus. Šis šlamas yra nusausinamas iki 40 % ir taip susidaro nusausintas dumblas.

Buitinės nuotekos, patenkančios į nuotekų siurblinę, sudaro nedidelę dalį nuotekų kiekio – iki 1–1,5 % bendro nuotekų kiekio, todėl toliau nagrinėjamos nuotekos yra vadinamos gamybinėmis.

Remiantis informacija, pateikta AB „Grigeo“ taršos integruotos prevencijos ir kontrolės (TIPK) leidime, pagrindinė dumblo sudedamoji dalis yra augalinės kilmės plaušinės, nes popieriaus gamybos procese naudojama tik viena žaliava – medienos plaušiena, kuri pagal produkcijos rūšį gali būti dviejų tipų:

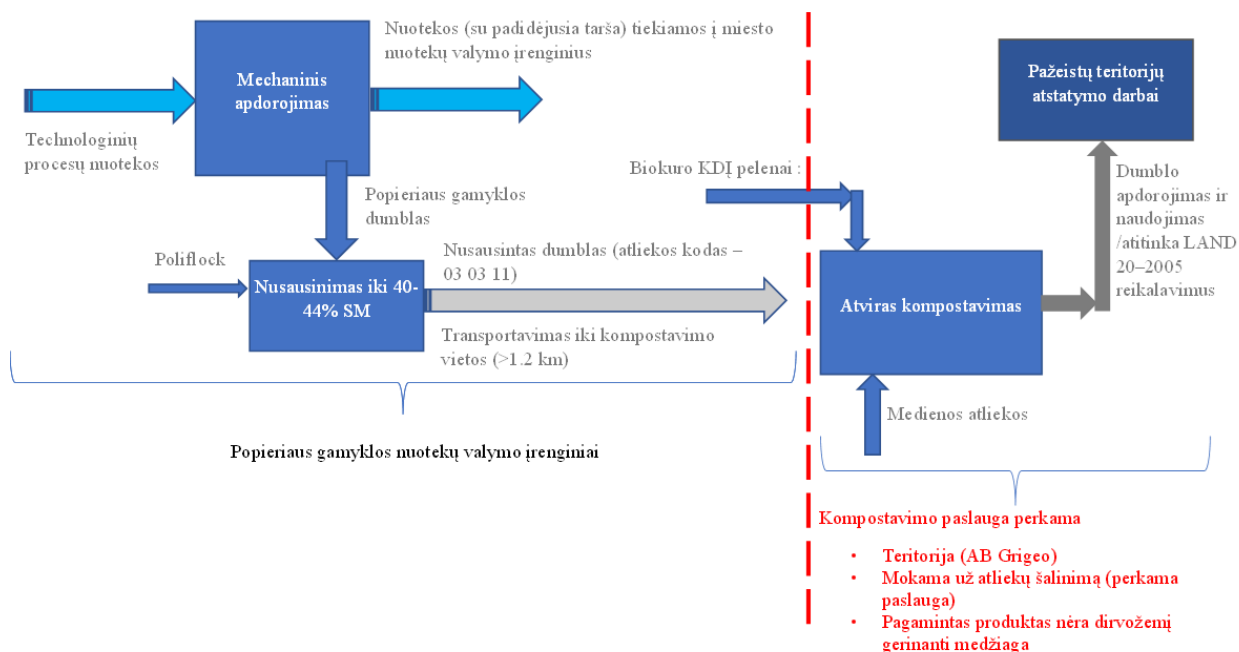
- celiuliozė, šiuo atveju – balinta ir išgauta iš spygliuočių ir lapuočių medienos;
- makulatūra, kurios pagrindą sudaro cheminė (celiuliozės) arba mechaninė (medžio masės) medienos plaušiena ir kurios sudėtyje yra mineralinės kilmės medžiagos, tokios kaip kreida ir kaolinas, įprastai naudojami spaudos popieriuose spaudos kokybei gerinti.

Dalis šių suspenduotų medžiagų technologinių plovimų metu patenka į gamybinės nuotekas, todėl galutiniame nuotekų valymo procese virsta nuotekų valymo koncentratu – dumblu. Šis nuotekų dumblas yra nusausinamas naudojant flokulantą (Poliflock), iki vidutiniškai 44 %, pasveriamas svarstyklėmis ir transportuojamas į aikštelę kurioje yra sandėliuojamas ir vėliau tvarkomas (pagal leidimo dokumentus vertinama, kad tvarkomas jį kompostuojant).

Įmonės AB „Grigeo“ nuotekų tvarkymo ir dumblo panaudojimo schema pateikiama 8 pav. AB „Grigeo“ dumblo tvarkymo paslaugas, pagal sudarytą sutartį, atlieka dar viena AB Grigeo grupės įmonė – UAB „Grigeo Baltwood“. Jei UAB „Grigeo Baltwood“ negalėtų atlikti susidariusio dumblo sandėliavimo paslaugų, įmonė AB „Grigeo“ pagal TIPK leidimą turi teisę vykdyti R13 atliekų tvarkymo veiklą (R1 – R12 veiklomis naudoti skirtų atliekų laikymas) ir laikyti nusausintą dumblą (iki 10 000 t vienu metu) iki perdavimo kompostavimui.

Šiuo metu nusausintas dumblas (atliekų kodas – 03 03 11) yra apdorojamas R3 atliekų tvarkymo būdu, maišant susidariusį nuotekų dumblą su įmonės biokuro katilinių pelenais bei medienos atliekomis. Tai atliekama atviroje aikštelėse, kuri padengta nelaidžia danga ir nuo kurios nuotekos surenkamos ir nukreipiamos į gamybinių nuotekų surinkimo ir tvarkymo sistemą.

2020 metais susidarė virš 17 tūkst. t nuotekų dumblo, apdorojant minėtas atliekas buvo pagaminta iki 18,4 tūkst. t medžiagos, kuri oficialiai yra vadinama kompostu ir pagal sutartį perduodama naudojimui – pažeistoms karjerų teritorijoms atstatyti.



8 pav. AB „Grigeo“ nuotekų ir dumblo tvarkymo schema

Popieriaus gamyklos dumblo parametrų nustatymui buvo paimti 3 ėminiai iš 20 skirtingų kaupų ir suformuotas mėginys tyrimui. Tyrimas buvo atliktas Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro laboratorijoje.



9 pav. Nusausinto dumblo tyrimui suformuotas mėginys

Atlikus nusausinto dumblo laboratorinę analizę nustatyta, kad chemine sudėtimi jis yra panašus į tokio pobūdžio įmonių dumblą (žr. 3 lentelės 4 stulpelį). Dumblas turi didelį kiekį organinių medžiagų (iki 36 % sausojoje medžiagoje), mažą kiekį sunkiųjų metalų ir mažą kiekį (0,22 % sausojoje medžiagoje) bendrojo azoto (N) bei nemažą kiekį mineralų tokių kaip karbonatai (CO_3) (iki 23 % sausojoje medžiagoje). Išanalizavus laboratorinius tyrimus – dumblas nepasižymi kompostavimo savybėmis dėl didelio kiekio anglies (C), palyginti su azotu (N). Optimalus C:N kompostavimo santykis yra 15-30:1, šiuo atveju anglies kiekis viršija normą daugiau nei 10 kartų (C:N – 117-216:1). Todėl šiuo metu vykdomą (Taršos leidime aprašytą ir Aplinkos apsaugos agentūros patvirtintą) procesą nenorėtume laikyti kompostavimu.

Dumblas pasižymi dideliu kiekiu organinių medžiagų, kurios nors ir nėra tinkamos kompostavimui, bet galima būtų išnaudoti jų energetinį potencialą. Dumblas taip pat turi nemažą kiekį karbonatų, kuris turi potencialo antriniam panaudojimui. Kalcio karbonatas yra plačiai naudojamas įvairiose

pramonės srityse ir yra vienas iš pagrindinių mineralų, naudojamų statybose. Jis yra naudojamas kaip pagrindinis komponentas statybinėms medžiagoms, tokiose kaip cementas, betonas, gipso plokštės ir pan.

Prognozuojama, kad įmonės AB „Grigeo“ veikloje, dėl produkcijos gamybos apimčių didėjimo tendencijos, nusausinto dumblo kiekis taip pat didės ir pasieks 22 tūkst. t/m. Taip pat nuo 2025 metų griežtėjant LAND 20-2005 reikalavimams, norint toliau vykdyti kompostavimą, įmonė turėtų įsidiesti uždaras sistemas (intensyvų kompostavimą), kuriose be pagrindinių technologinių parametru būtų kontroliuojami išmetimai į aplinkos orą ir kvapai. Tai pareikalautų didelių finansinių investicijų bei dabartinio proceso adaptavimo.

Atsižvelgiant į dumblo laboratorinių tyrimų rezultatus, taip pat remiantis mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatais toliau darbe analizuojamos 2 dumblo tvarkymo (alternatyvaus panaudojimo) alternatyvos:

1. Biokuro darinio gamyba, nustatyta optimalia proporcija maišant nusausintą dumblą su medienos kietuoju biokuru; pagaminto biokuro darinio deginimas garo katiluose (garą naudojant įmonės technologinėms reikmėms). Šioje alternatyvoje taikomi 2 ŠG prevenciniai metodai: atliekų antrinis panaudojimas įmonėje ir žaliavų pakeitimas.
2. Nusausinto dumblo panaudojimas kaip antrinės žaliavos statybinių medžiagų – plytų gamyboje. Šioje alternatyvoje būtų taikomas pramoninės ekologijos metodas – pramoninė simbiozė.

3.2. Biokuro darinio gamybos įvykdomumo analizės rezultatai

Alternatyvos tikslas – panaudoti nusausinto dumblo energetines savybes ir sumažinti medienos biokuro sąnaudas šiluminės energijos gamyboje.

Laboratorinės analizės rezultatai parodė, kad analizuojamas nuotekų dumblas pasižymi energetinėmis savybėmis ir gali būti naudojamas biokuro darinio – produkto gamybai (žr. 2 priedą ir 3 lentelę). Siūloma nusausintą dumblą maišyti su įmonėje naudojamu medienos biokuru. Eksperimento metu nustatyta optimali maišymo proporcija: 85 % medienos biokuro + 15 % nusausinto dumblo. Sumaišius pagaminamas kietasis biokuras (šiam darbe vadinamas biokuro darinys) – produktas, tačiau nusausinto dumblo kiekis neturi viršyti 15 % bendros masės, kad atitiktų kietojo biokuro kokybės reikalavimus, pateiktus Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2017-12-06 įsakyme Nr. 1-310 „Dėl kietojo biokuro kokybės reikalavimų patvirtinimo“ [33]. Šis biokuro darinys būtų deginamas AB „Grigeo“ kurą deginančiuose įrenginiuose (KDĮ). KDĮ pagaminama energija – garas, būtų naudojamas AB „Grigeo“ technologinėms reikmėms.

Taip pat dabartinis atliekų tvarkymo procesas būtų pakeičiamas į antrinių žaliavų panaudojimą kito produkto gamybai procesą, nes atitiktų Atliekų tvarkymo įstatymo 2¹ skirsnio 3² straipsnio reikalavimus [34]. Įdiegus projektą, dumblas nebūtų laikomas atlieka, bet būtų vertinamas kaip šalutinis produktas, nes būtų įvykdytos šios minėtame straipsnyje nurodytos sąlygos:

1) medžiaga bus skirta naudoti konkrečiam tikslui: biokuro arba biokuro darinio gamybai; biokuro darinys bus deginamas esamuose AB „Grigeo“ KDĮ, gaminant garą įmonės reikmėms;

2) medžiagai egzistuoja rinka ar paklausa: dumblas taptų antrine žaliava biokuro darinio gamybai; pagamintas biokuro darinys bus deginamas tik AB „Grigeo“ esančiuose biokurą deginančiuose įrenginiuose; dėl šios antrinės žaliavos naudojimo medienos biokuro sąnaudos sumažėtų iki 7 435 t/m. (toliau analizuojama kaip gamtinių išteklių taupymo alternatyva);

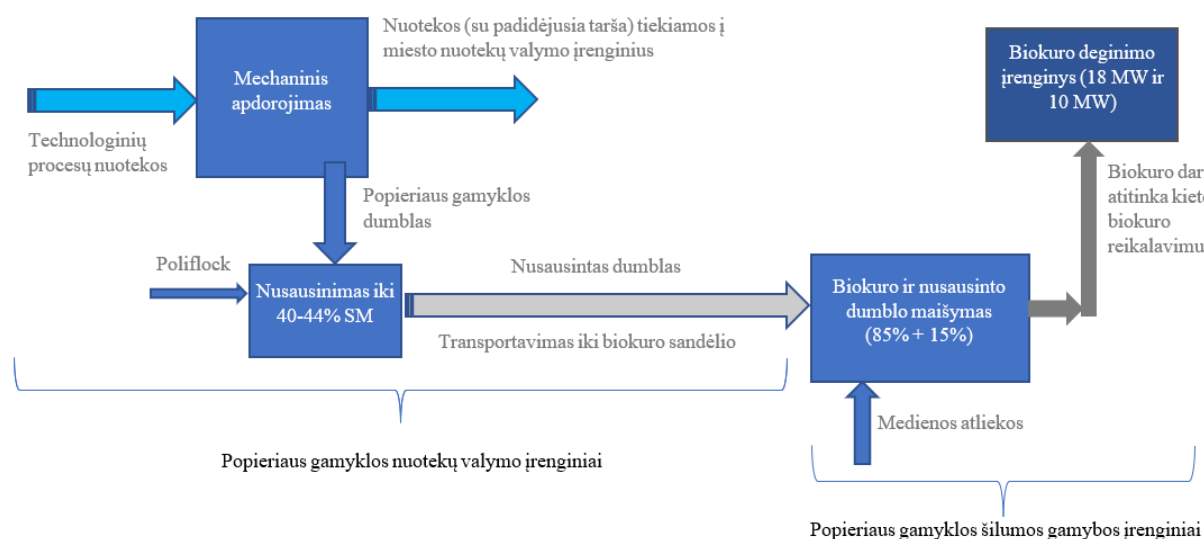
3) medžiaga atitinka techninius reikalavimus produktams taikytinus galiojančius teisės aktus:

- pagamintas biokuro darinys atitiks kietojo biokuro kokybės reikalavimus, pateiktus Lietuvos Respublikos energetikos ministro įsakyme [33];
- taip pat atitinka reikalavimus, pateiktus Kietojo biokuro standarte LST EN ISO 17225-1, gaminant „maišinius ir mišinius“ (pagal kietojo biokuro kilmę), kurių sudėtyje ≥ 85 % medienos biokuro iš medienos biomasės (1.1 miško, želdinių ir kitos neapdorotos medienos) ir ≤ 15 % medienos šalutinių produktų (1.2.2.4 Plaušiena ir medienos sudedamosios dalys) [38];

4) naudojant medžiagą nebus padarytas neigiamas poveikis aplinkai ir (ar) visuomenės sveikatai: vykdant analizę įvertinta, kad gaminant biokuro darinį, kuris būtų panaudojamas šiluminės energijos gamybai, nebūtų neigiamo poveikio aplinkai ir visuomenės sveikatai, nes visų oro teršalų koncentracijų, taip pat kvapų teršalų vertės neviršytų ribinių verčių, nustatytų teisės aktuose; įgyvendinus šią alternatyvą triukšmo lygis tik sumažėtų bei nepadidėtų nuotekų ir nuotekų taršos [35]

Planuojamos alternatyvos proceso schema pateikiama 10 paveiksle. Popieriaus gamyklos valymo įrenginių proceso dalis išliktų nepakitusi, kaip ir vykdoma dabar. Pasikeitimai būtų vykdomi antrajame etape, kuomet nusausintas dumblas, kaip šalutinis produktas, būtų transportuojamas iki

biokuro sandėliavimo uždaroje patalpoje vietos, kurioje maišomas su biokuru; šis mišinys būtų deginamas įmonės biokurą deginančiuose įrenginiuose, gaminant garą ir jį naudojant įmonės popieriaus gamybos ir perdirbimo procesuose.



10 pav. AB „Grigeo“ nuotekų tvarkymo schema gaminant biokuro darinį

Biokuro darinio gamybai visų pirmą buvo atliktas eksperimentas: pradžioje laboratoriniu būdu (žr. 11 pav.), vėliau – pramoniniu, naudojant maišyklę.



11 pav. Pavyzdinio biokuro darinio sudarymas (iki 15 % pagal masę)

Pagamintas biokuro darinys buvo pilnai išanalizuotas, nustatant jo užterštumą sunkiaisiais metalais, pleningumą, bendrą anglies (C), chloro (Cl), azoto (N), fosforo (P) ir sieros (S) kiekį (AMMC Agrocheminių tyrimų laboratorijoje), apatinį šilumingumą (ENERSTENA laboratorijoje). Gauti tyrimų rezultatai susisteminti 3 lentelėje 5-me stulpelyje ir palyginti su biokurui nustatytais ribinėmis vertėmis [33]:

- Sunkiųjų metalų koncentracijos biokuro darinio sausojoje medžiagoje yra 2,6 kartus mažesnės nei nustatytos ribinės vertės (RV).
- Biokuro darinyje Cu koncentracija yra beveik 3 kartus mažesnė nei RV.
- Azoto (N), Sieros (S) ir Chloro (Cl) koncentracijos biokuro darinyje yra kelis kartus mažesnės nei nustatytos RV.

Nusausintas dumblas pasižymi dideliu pelenų kiekiu (net iki 63,74% SM), todėl ir pagamintas biokuro darinys pasižymi gana dideliu peleningumu (8,22 % SM). Taip pat šis biokuro darinys nepasižymi aukšta šilumingumo verte – tik 7,11 MJ/kg. Pagrindinės to priežastys: didelis dumble esančių pelenų kiekis bei didelis drėgmės kiekis, nes biokuro darinio ėminiui suformuoti medienos dalis buvo paimta iš lauke sandėliuojamo biokuro, lyjant lietui. Šio trikdžio planuojama išvengti maišant biokuro darinį uždaroje biokuro sandėlio patalpose. Tokiu atveju planuojama minimali šilumingumo vertė – 8,2 MJ/kg.

4 lentelė. AB „Grigeo“ nusauso dūmlo ir biokuro darinio kokybės ir užterštumo rodiklių laboratorinio tyrimo rezultatai

Nr.	Tirti parametrai	Dimensija	Dumblas 100%	Mišinys (darinys) – kietasis biokuras: dumblas – 15 %; medienos biokuras – 85 %	Kokybės reikalavimai kietajam biokurui		
					Medienos biomasei		Darinys
					Skiedra, traiškyta mediena	Kitų tipų	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Priedai (dumblas)	% NDM	100	15	-	-	-
		% SM	100	12,41	<20	<20	<20
2	Sausa medžiaga (SM)	%	40,14	44,81	Privaloma nurodyti drėgmės kiekį	Privaloma nurodyti drėgmės kiekį	Privaloma nurodyti drėgmės kiekį
3	Organinė medžiaga (OM)	% SM	36,26	-	-	-	-
4	Kadmis (Cd)	mg/kg SM	0,092	0,062	<2	<2	<2
5	Chromas (Cr)	mg/kg SM	5,53	1,87	<15	<15	<15
6	Nikelis (Ni)	mg/kg SM	1,73	<1,3	<10	<10	<10
7	Švinas (Pb)	mg/kg SM	3,3	<2,5	<20	<20	<20
8	Varis (Cu)	mg/kg SM	22	6,73	<20	<20	<20
9	Cinkas (Zn)	mg/kg SM	63	23	<200	<200	<200
10	Gyvsidabris (Hg)	mg/kg SM	<0,02	<0,02	<0,1	<0,1	<0,1
11	Arsenas (As)	mg/kg SM	0,72	0,3	<2	<2	<2
	Suma:		96,392	35,782	<169,1	<169,1	<169,1
12	Bendra anglis (C)	% SM	25,92	53,3	-	-	-
13	Bendras chloras (Cl)	% SM	0,22	0,08	<0,3	<0,3	<0,3
14	Bendras azotas (N)	% SM	0,22	0,12	<2	<2	<2
15	Bendras fosforas (P)	% SM	0,014	-	-	-	-
16	Pelenai	% SM	63,74	8,22	Privaloma nurodyti	Privaloma nurodyti	Privaloma nurodyti
17	Piltinis tankis	kg/m ³ NDM	768,5	333	Rekomenduojama nurodyti	Rekomenduojama nurodyti	Rekomenduojama nurodyti
18	Bendra siera (S)	% SM	0,076	0,031	<0,3	<0,3	<0,3
19	Apatinis šilumingumas	MJ/kg NDM	6,11	7,11	Rekomenduojama nurodyti	Rekomenduojama nurodyti	Rekomenduojama nurodyti
20	Vandenilis (H)	% SM	-	6,1	-	-	-
21	Degūonis (O)	% SM	-	41	-	-	-

Biokuro darinio gamybos pagrindiniai įvediniai ir išvediniai

Nuotekų dumblo tvarkymo optimizavimo, gaminant biokuro darinį, analizės metu surinkti duomenys panaudoti įvertinti pagrindinių įmonės įvedinių ir išvedinių kiekybines vertes (žr. 12 pav.). Planuojama, kad biokuro darinys bus deginamas dviejuose KDĮ (18 MW ir 10 MW), kuriuose „užtikrinama ne mažesnė kaip 850 °C degimo temperatūra, ir kuriuose įrengtos šios temperatūros kontrolės priemonės“ pagal reikalavimus, pateiktus Kietojo biokuro kokybės reikalavimų 4 priede [33].

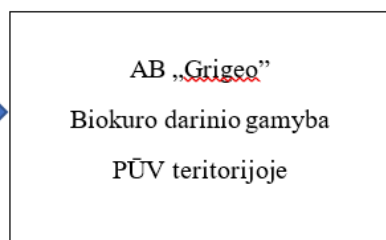
Įvediniai: medienos biokuras ir nusausintas dumblas (sąnaudos preliminariai įvertintos pagal įmonės šiluminės energijos poreikį ir gali varijuoti priklausomai nuo biokuro šilumingumo vertės ir šiluminės energijos gamybos apimčių).

Priimame pesimistinę prielaidą, kad dyzelinio kuro sąnaudos nesumažės, nors atstumas nuo dumblo susidarymo iki kompostavimo aikštelės preliminariai 2 kartus mažesnis, palyginti su atstumu iki biokuro sandėlio. Bet dyzelinis kuras taip pat bus naudojamas biokuro darinio gamybai (maišymui), nors ir šiuo metu įmonė medienos biokurą perkrauna krautuvu iš atviros teritorijos į uždaro sandėlio aruodus.

Išvediniai: gautas produktas – biokuro darinys, 15 % nusausinto dumblo ir 85 % medienos biokuro, tarša iš mobilaus taršos šaltinio – krautuvo, kuri išliks tokia pati kaip ir dabartiniame procese.

Įvediniai, vnt./m.

Medienos biokuras: 92 527 t
Nusausintas dumblas: 16 328 t



Išvediniai, vnt./m.

Biokuro darinys (produktas):
108 855 t
Tarša iš mobilaus taršos šaltinio
(krautuvo)
Rizika: kvapas šalia PŪV
teritorijos Nr.1

12 pav. Biokuro darinio gamybos pagrindinių srautų diagrama

Pagal TIPK leidimą GK Nr. 1 (18 MW) kasmet gali būti pagaminta iki 154 800 MWh šiluminės energijos (garo), GK Nr. 3 (10 MW) gali būti pagaminta iki 84 000 MWh šiluminės energijos (garo).

Medienos biokuro kiekis pagaminti šį maksimalų kiekį energijos vertinamas pagal metodikoje pateiktą 1 formulę:

$B = 238\,800 \times 3,6 / (8,6 \times 1) = 99\,962,8 \text{ t}$ – medienos biokuro sąnaudos pagaminti maksimalų kiekį šiluminės energijos GK Nr. 1 ir GK Nr. 3.

čia

8,6 MJ/kg – deginamo biokuro žemutinė šiluminė vertė (Q_z) (esama situacija);

1 arba 100 % – KDĮ naudingumo koeficientas (n.k.), esant kondensaciniam ekonomizeriui.

Po alternatyvos įdiegimo medienos biokuro darinio sudėtyje bus ne tik medienos biokuro masė (Q_z – iki 8,6 MJ/kg), bet ir nusausintas nuotekų dumblas (iki 15 proc. pagal masę) (Q_z – iki 6,11 MJ/kg),

t.y. teorinė deginamo biokuro žemutinė šiluminė vertė: $(8,6 \text{ MJ/kg} \times 85 \% + 6,11 \text{ MJ/kg} \times 15 \%) / 100 = 8,227 \text{ MJ/kg}$.

Biokuro darinio kiekis pagaminti maksimalų kiekį šiluminės energijos GK Nr. 1 ir GK Nr. 3 (238 800 MWh/m.) vertinamas pagal metodikoje pateiktą formulę 1 ir priimant, kad KDĮ n.k. gali sumažėti iki 96 %:

$$B = 238\,800 \times 3,6 / (8,227 \times 0,96) = 108\,855,5 \text{ t, įsk.}$$

15 proc. nusausinto dumblo – 16 328,3 t;

85 proc. biokuro – 92 527,2 t;

Šiluminės energijos nuostoliai gamybos metu (iki 4 proc.): 9 950 MWh/m.

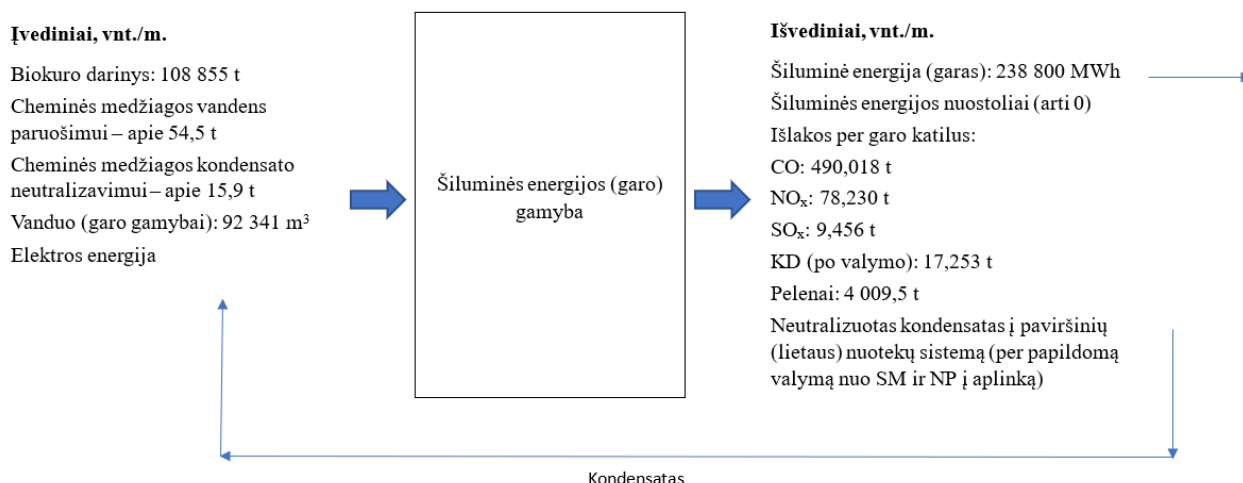
Pagrindiniai šiluminės energijos gamybos biokuro katiluose įvediniai ir išvediniai

Šilumos energijos gamybos, deginant biokuro darinį, srautų diagrama pateikta 13 paveiksle.

Įvediniai: biokuro darinys; vanduo; cheminės medžiagos vandens paruošimui ir kondensato neutralizavimui, elektros energija.

Planuojama, kad naudojamos cheminės medžiagos, skirtos vandens paruošimui garo gamybai, išliks tokios pačios kaip ir šiuo metu. Deginant biokuro darinį, kietųjų dalelių kiekis padidės (apytiksliai 4 kartus), todėl padidės cheminių medžiagų sąnaudos kondensato neutralizavimui (prieš išleidimą į lietaus nuotekų tinklą). Šiluminės energijos gamybai vandens sąnaudos nepasikeis.

Išvediniai: šiluminė energija (garas), šiluminės energijos nuostoliai; degimo produktai – oro tarša CO, NO_x, SO_x, KD bei deginimo metu susidarantys pelenai.



13 pav. Šiluminės energijos gamyba biokuro katiluose, pagrindinių srautų diagrama

Įgyvendinus šią alternatyvą, didžioji dalis nusausinto dumblo (įvertintas maksimalus galimas panaudoti kiekis – iki 16 328,3 t/m. arba iki 74,3 proc. prognozuojamo kiekio) būtų panaudota AB „Grigeo“ biokuro darinio gamybai, likusi nepanaudota dumblo dalis (pagal prognozuojamą kiekį – iki 5 671,7 t/m.) – būtų toliau apdorojama R3 tvarkymo būdu įmonėje UAB „Grigeo Baltwood“.

Šiluminės energijos gamybos metu deginant biokuro darinį, susidarytų nemažas pelenų kiekis. Pagal pirminius skaičiavimus – iki 4 tūkst. t/m. (atliekų kodas – 10 01 01 ir / arba 10 01 03)).

Peleningumas sausoje medžiagoje – iki 8,22 %, SM kiekis – iki 44,81% (žr. 3 lentelę): $108\,855,5 \text{ t/m.} \times 0,4481 \times 0,0822 = 4\,009,5 \text{ t/m.}$

Planuojama kad pelenai, kaip ir šiuo metu, būtų surenkami specialiuose konteneriuose (iki 10 t), kurie stovi šalia garo katilų ir perduoti atliekų tvarkytojams.

Taip pat šis projektas prisidėtų prie ŠESD išmetimų mažinimo. Sumažėjus biokuro kiekiui (7 435,6 t/m.), sumažėtų ir transportavimo iki įmonės KDI metu susidarantys išmetimai. Vertinama, kad vienu reisų į teritoriją atgabenama iki 23 t biokuro, vienas reisas į abi puses – apie 100 km, dyzelinio kuro sąnaudos sunkiasvoriame transporte – iki 30 l/100 km. Reisų skaičius sumažėtų 324 vnt./m., dėl to nebūtų sudeginama dyzelinio kuro:

$324 \text{ reisų/m.} \times \text{vid. } 100 \text{ km/reisą} \times 30 \text{ l/100 km} \times 0,84 \text{ kg/l} \times 10^{-3} = 8,16 \text{ t/m.}$

$\text{CO}_{2e} (\text{sumažėja}) = 8,16 \text{ t/m.} \times 0,04291 \text{ TJ/t} \times 72,80 \text{ t CO}_{2e} / \text{TJ} = 25,49 \text{ t/m.}$

5 lentelė. Biokuro darinio gamybos ir deginimo įmonės KDI alternatyvos aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas

Analizuoti aspektai	vnt. / m.	Dabartinė situacija	Planuojama situacija	Sutaupoma / sumažėja (+) Padidėja (-)		
		vnt. / m.	vnt. / m.	vnt. / m.	EUR / vnt.	EUR / vnt.
Nusausintas dumblas (atlieka ir jos perdavimas tvarkymui R3 būdu)	t	22 000	5 672	16 328	32	52 250
Šilumos energijos gamyba biokuro deginimo įrenginiuose						
Šilumos energija	MWh	238 800	238 800	0		
Biokuras (8,6 GJ/t)	t	99 963	92 527	7 436	70	520 492
	GJ	859 68	795 734	63 946		
Nusausintas dumblas (6,11 GJ/t)	t	0	16 328	-16 328		
	GJ	0	99 766	-99 766		
¹ Elektros energija	MWh	52 536	52 417	-119	270	-32 238
Pelenai	t	842	4009	-3 166	75	-237 562
Oro tarša	t	482	594	-112	259	29 263
Šiltnamio efektą sukeliančios dujos						
CO _{2e} nebiogeninės kilmės dėl elektros energijos (netiesioginis poveikis)	t CO _{2e}	22 065	23 068	- 1 003	0	0
² CO ₂ biogeninės kilmės dėl biokuro deginimo	t CO _{2e}	87 120	80 640	6 480	0	0
CO _{2e} susijęs su biokuro darinio deginimu (dėl jame esančio CaCO ₃)	t CO _{2e}	0	659	-659	0	0
CO _{2e} sumažėjimas dėl biokuro sutaupymo (jį netransportuojant) (netiesioginis poveikis)	t CO _{2e}			25		
Suma:						≈0,802 mln. Eur /m.

Pastabos:

¹planuojama, kad dėl biokuro deginimo nežymiai padidės elektros energijos sąnaudos garo gamyboje – prognozuojama iki 0,5 kWh_{el}/MWh_s.

²Biogeninės kilmės CO_{2e} dėl biokuro deginimo: CO_{2e} (iki) = 99 962,8 t/m. x 0,0086 TJ/t x 101,34 t CO_{2e} /TJ = 87 119,98 t/m.; CO_{2e} (po) = 92 527,2 t/m. x 0,0086 TJ/t x 101,34 t CO_{2e} /TJ = 80 639,68 t/m.

Igyvendinus šį projektą veiklos procesuose susidaręs nusausias dumbblas (iki 16 328 t/m.) būtų:

- naudojamas naujo produkto gamybai kuo arčiau jo susidarymo šaltinio ir maksimaliai išnaudojamos šios atliekos energetinės savybės (iki 99 766 JG/m.);
- sumažinamos medienos biokuro sąnaudos iki 7 436 t/m., kas leistų įmonei sutaupyti apie 520 492 Eur/m. (dabartinėmis kainomis).

Išanalizavus ir įvertinus šios alternatyvos duomenis, matomi pagrindiniai jos privalumai: 1) papildomai nereikia naudoti cheminių medžiagų 2) nereikia papildomų operacijų, 3) galima integruoti į jau egzistuojančią pramonės infrastruktūrą, 4) nereikalingos papildomos investicijos.

3.3. Keraminių plytų gamybos, panaudojant nusausintą dumblą, įvykdomumo analizė

Įvairių mokslininkų tyrimai rodo, kad popieriaus gamyklų dumblas gali būti panaudotas kaip antrinė žaliava statybinių medžiagų gamyboje tokių kaip, keraminės plytos. Taip pat mokslininkai pastebi, kad plytose, kuriose 10 % molio buvo pakeista dumbliu, plytų savybėms tai neturėjo neigiamos įtakos [36, 37].

Siūloma antroji alternatyva – keraminių plytų gamyba, panaudojant nusausintą dumblą, kaip sudedamąją medžiagą. Tikslas – panaudoti dumblą kaip antrinę žaliavą naujo produkto gamyboje. Atlikus mokslinės literatūros analizę buvo identifikuota, kad mokslininkai nustatė optimalus nusausinto dumblo kiekį – 10 % plytos masės.

Ši alternatyva buvo pasirinkta būvio ciklo įvertinimui, kuomet lyginama standartinės plytos gamyba su plyta kurios gamybai naudojamas nusausintas dumblas (10 % plytos masės). Taip pat šią alternatyvą buvo atliktas ekonominis ir aplinkosauginis vertinimas.

Šiuo atveju būtų įgyvendinama pramoninė simbiozė su kita įmone, kuri gamina plytas iš molio. Atlikus analizę, nebuvo identifikuota Lietuvos įmonių kurios pramoniniu būdu gamintų keramines plytas, todėl analizei parinkta Latvijoje esanti įmonė Lode SIA. Plytų gamybos įmonė nuo AB „Grigeo“ yra nutolusi 287 km. Skaičiavimams ir vertinimams buvo naudota įmonės Lode SIA Taršos leidimo informacija.

Pirmas BCĮ etapas – tikslo ir apimties apibrėžtis

Tikslas – įvertinti naujo produkto, kurio gamybai panaudojama atlieka, kaip antrinė žaliava, poveikį aplinkai.

Funkcinis vienetas – 1 tona pagamintų keraminių plytų.

Keraminė plyta su 10 % nusausinto dumblo lyginama su standartinė keramine plyta pagaminta vien tik iš pirminių žaliavų (molio).

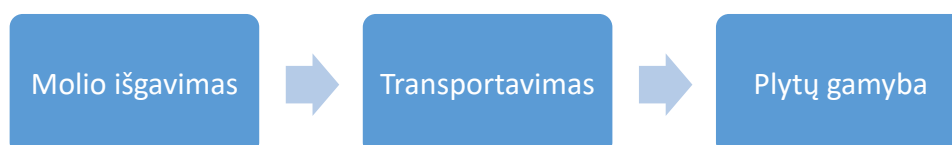
BCĮ sistemos ribos

Standartinis plytų scenarijus apibūdina įprastą keraminės plytos gamybą iš 100 % masės molio. Sistemos ribos buvo nustatytos nuo žaliavų išgavimo iki produkto – plytos, pagaminimo.

Geografinės ribos – daroma prielaida, kad analizuojamo objekto nusausintas dumblas, kuris susidaro Lietuvoje, yra perduodamas kitai įmonei esančiai Latvijoje.

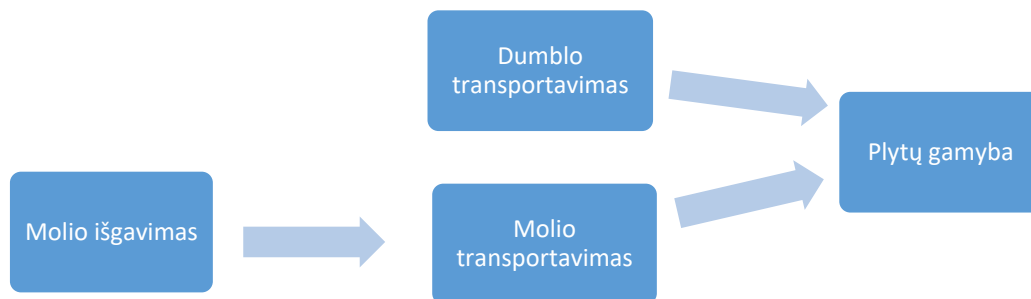
BCĮ vertinimui pasirinkti du scenarijai:

1 scenarijus – keraminė plyta gaminama iš 100 % molio. Pirmasis etapas – molio išgavimas, antrajame etape vykdomas molio transportavimas iš karjero iki plytų gamyklos ir paskutiniame etape gaminamos keraminės plytos (15 pav.).



14 pav. Plytų gamybos iš 100 % molio sistemos ribos

2 scenarijus – keraminė plyta gaminama iš 90 % molio ir 10 % nusausinto popieriaus gamyklos dumblo. Pirminis molio išgavimo etapas išlieka toks pats kaip ir pirmajame scenarijuje. Antrajame etape vykdomas molio transportavimas iš karjero iki plytų gamyklos bei nusausinto dumblo transportavimas iš popieriaus gamyklos iki plytų gaminimo įmonės. Paskutinis vertinamas etapas – plytų gamyba iš molio ir nusausinto dumblo mišinio.



15 pav. Plytų gamybos su 10 % dumblo sistemos ribos

Daromos prielaidos ir galimi apribojimai:

Būvio ciklo vertinimui į tyrimą buvo įtraukti papildomi duomenys bei daromos prielaidos:

- Nusausintas dumblas transportuojamas į Latvijos keraminių plytų gamyklą Lode SIA., kuri yra nutolusi 287 km nuo AB „Grigeo“. Duomenys reikalingi skaičiavimas buvo paimti iš įmonės Lode SIA taršos leidimo [38]. Molio išgavimo vieta yra nutolusi nuo gamybos aikštelės 1,5 km. Maksimalūs plytų gamyklos pajėgumai – 135 000 t/m., vertinant kad plytų gamyboje galima panaudoti 10 %, galimas panaudoti dumblo kiekis – 13 500 t/m., viso 79 % metinio dumblo kiekio.
- Dumblo susidarymo ir apdorojimo proceso duomenys nebuvo įtraukti į BCĮ, nes šis procesas išlieka nepakitęs ir tuo atveju kai dumblas nėra naudojamas plytų gamyboje.
- Nustatant plytų gamybos srauto duomenis, buvo įtrauktas tik į plytos išdegimo etapas, atsižvelgiant į tai, kad kiti etapai (homogenizavimas, laminavimas ir džiovinimas) yra panašūs abiejose analizuojamose atvejuose.
- Viena sunkiasvorė transporto priemonė naudojama transportavimui naudoja 30 l dyzelinio kuro 100 km.

Antrasis BCĮ etapas – inventorinė analizė

Pirmasis etapas – molio išgavimas. Standartiniu plytų gamybos atveju 1 tonai plytų pagaminti yra reikalingas 1,105 t molio kiekis. Molis yra iškasamas ekskavatoriumi ir po to transportuojamas iš karjero į teritoriją, kurioje gaminamos plytos, šioms transporto priemonėms naudojamas dyzelinis kuras. Kitas vertintas etapas – plytų išdeginimas. Išdeginimas vykdomas krosnyse, naudojamas kuras – gamtinės dujos.

Kuomet plytų gamyboje naudojamas dumblas, 10 % molio masės yra pakeičiama nusausintu dumbliu, dumblas yra transportuojamas iš popieriaus gamyklos į įmonę kurioje gaminamos plytos. Transportavimui naudojamos dyzeliniu kuru varomos transporto priemonės. Molio išgavimo ir transportavimui naudojamo dyzelinio kuro kiekis sumažėja dėl sumažėjusio molio kiekio pakeičiamo

dumblu. Plytos degimo etape, dėl sudegančios biomasės esančios dumble, plytos masė sumažėja net 17 % pirminių žaliavų kiekio, todėl faktinis molio sutaupymas yra tik apie 3 %. Taip pat šiame etape dėl šilumos išsiskyrimo degant organinėms medžiagoms esančioms dumble, sumažinamos energijos sąnaudos. Literatūroje nurodoma, kad energijos sąnaudas galima sumažinti iki 15 %, šis sumažėjimo procentas buvo naudotas BCĮ.

Duomenys naudoti BCĮ pateikti 5 lentelėje.

6 lentelė. BCĮ naudojami duomenys, 1 t plytų pagaminti [38, 39]

Medžiagos	Standartinė plyta	Plyta su 10 % dumblo
Molis (t)	1,105	1,082
Dumblas (t)	0	0,120
Dyzelinis kuras molio išgavimui ir transportavimui (l)	0,835	0,817
Gamtinės dujos (m ³)	92,25	78,41
Dyzelinis kuras dumblo transportavimui (l)	0	0,594

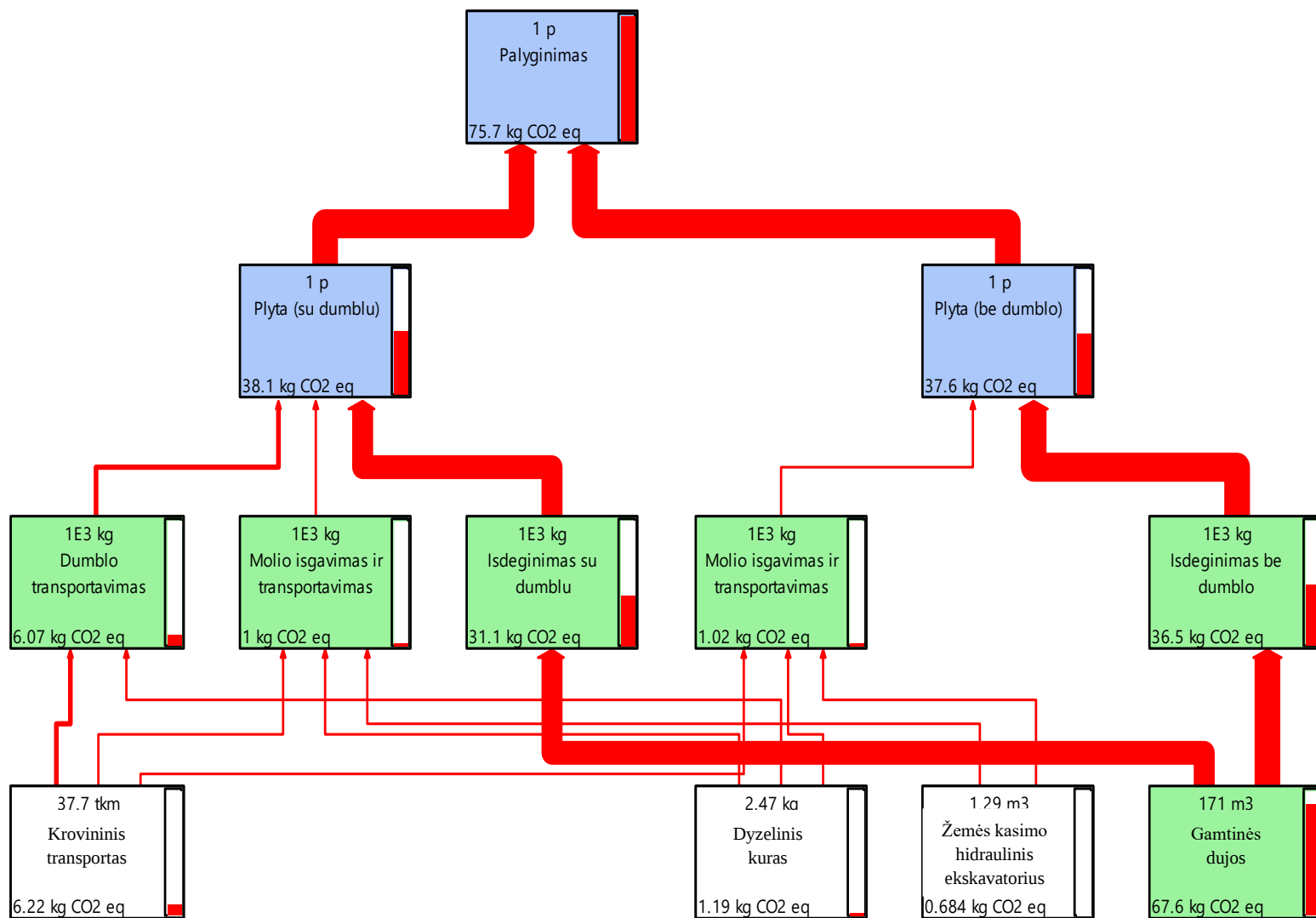
Trečias BCĮ etapas – poveikio įvertinimas

Poveikio vertinimas atliktas su SimaPro programine įranga. Rezultatų vertinimui buvo naudotas ReCiPe 2016 m. metodas kaip ir Cangussu ir kt. mokslininkų atliktame darbe [39].

Ketvirtas BCĮ etapas – rezultatų interpretavimas

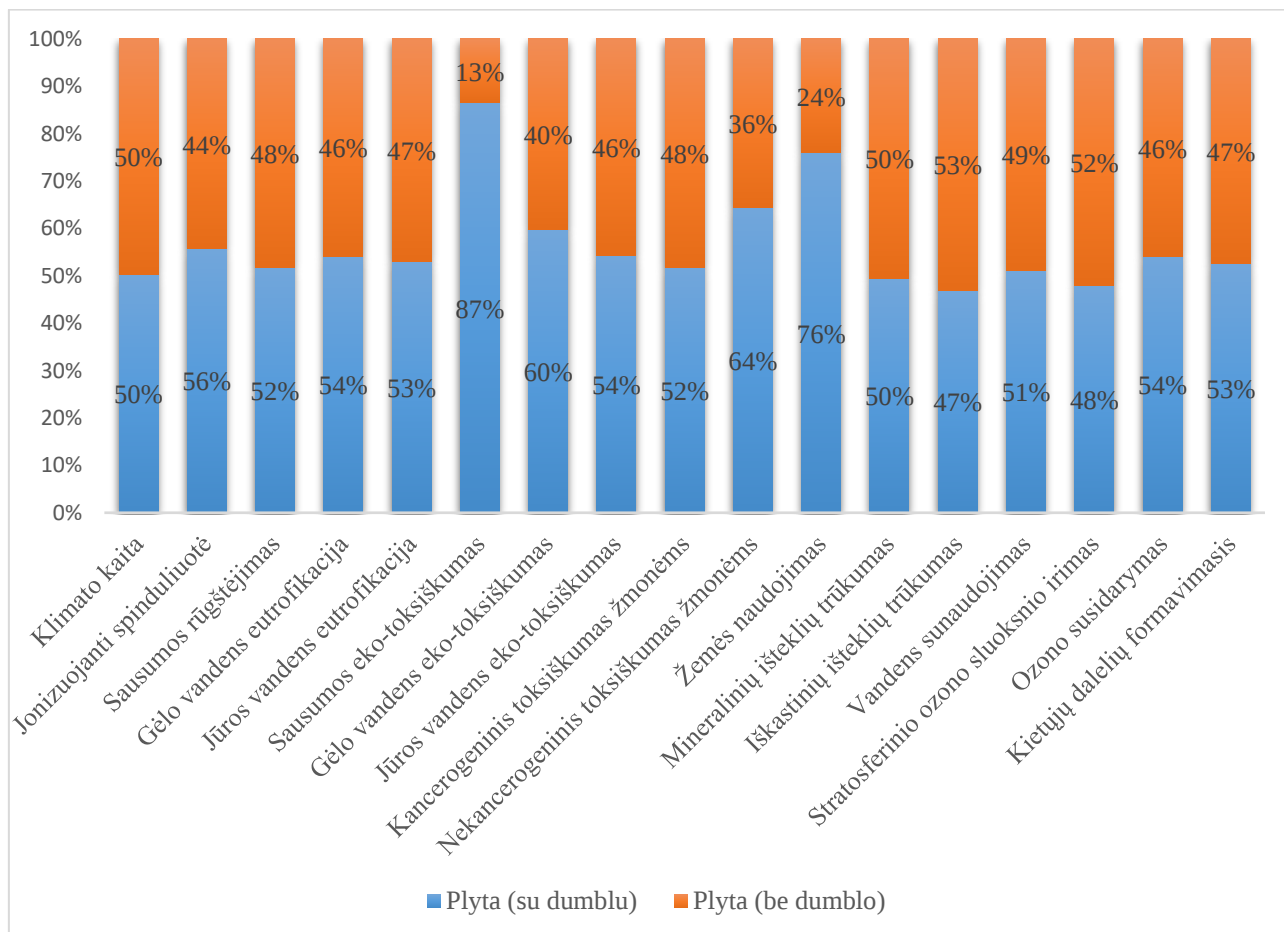
Funkcinio vieneto srautų diagramos rezultatai pateikiami 17 paveiksle.

Vertinant gautus BCĮ rezultatus matoma, kad pasirinkto funkcinio vieneto būvio cikle – nuo medžiagų išgavimo iki plytos pagaminimo, plyta su dumbliu turi didesnę aplinkosauginę poveikį nei įprasta keraminė plyta. Matomi didžiausi CO₂ išmetimai plytų išdeginimo procese deginant gamtines dujas. Plytų su dumbliu atveju poveikis dėl gamtinių dujų deginimo sumažėja 15 %, nes pagaminti 1 t standartinių plytų yra sunaudojama 92,25 m³, o 1 t plytų su 10 % dumblo sunaudojama 78,41 m³. Nors aplinkosauginis poveikis dėl deginamų gamtinių dujų yra mažesnis naudojant dumblą plytų gamyboje, tačiau prisidedantis dumblo transportavimo etapas padidina aplinkosauginį poveikį daugiau nei planuojami gamtinių dujų sutaupymai. Šiuo nagrinėjamu atveju, naudojant dumblą plytų gamyboje, poveikis padidėtų dėl transportavimo proceso nors ir sumažėtų plytų išdeginimo procesui reikalingas gamtinių dujų kiekis bei išgauti reikalingas molio kiekis.



16 pav. Standartinės plytų gamybos scenarijaus ir plytos su 10 % molio BCĮ srautų diagrama

Atlikto būvio ciklo ReCiPe 2016 m. metodu vertinimo rezultatai pateikiami 18 pav. Šie duomenys parodo plytos su dumblu ir plytos vien tik iš molio poveikį skirtingose vertinamose kategorijose. Viso vertinamos 17 kategorijų: klimato kaita, jonizuojanti spinduliuotė, sausumos rūgštėjimas, gėlo vandens eutrofikacija, jūros vandens eutrofikacija, sausumos eko-toksiškumas, gėlo vandens eko-toksiškumas, jūros vandens eko-toksiškumas, kancerogeninis toksiškumas žmonėms, nekancerogeninis toksiškumas žmonėms, žemės naudojimas, mineralinių išteklių trūkumas, iškastinių išteklių trūkumas, vandens sunaudojimas, stratosferinio ozono sluoksnio irimas, ozono susidarymas, kietųjų dalelių formavimasis.



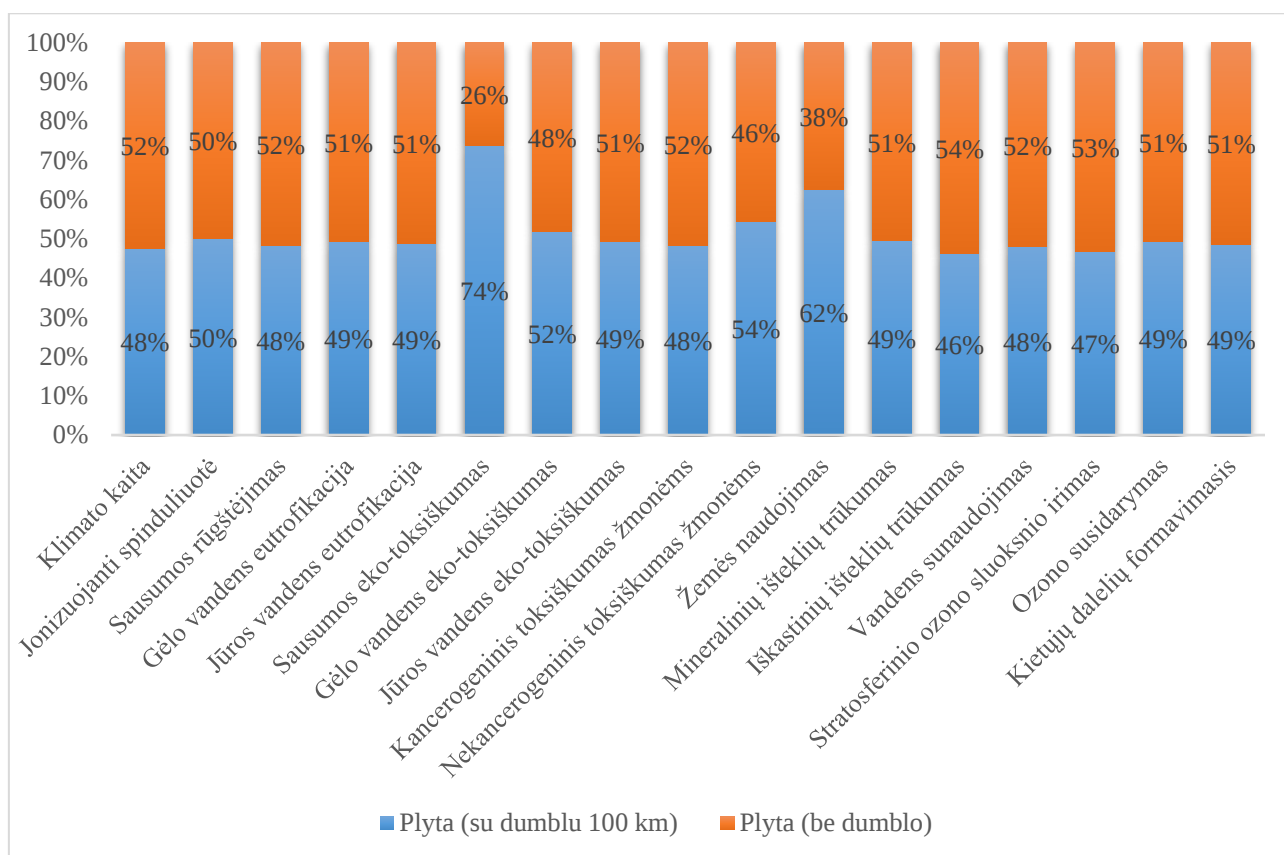
17 pav. Būvio ciklo palyginimas, vertinant poveikį skirtingose kategorijose (atstumas tarp plytų gamyklos ir dumblo susidarymo vietos 287 km)

Kaip galima matyti beveik visose vertinamose kategorijose plyta su dumblu daro didesnę įtaką nei plyta be dumblo. Tačiau didžiausias plytos su dumblu poveikis matomas sausumos eko-toksiškumo (poveikis yra didesnis net 74 %), žemės naudojimo (didesnis 52 %) bei nekancerogeninis toksiškumas žmonėms kategorijose (didesnis 28 %) lyginant su standartine plyta.

Analizuojant srautų diagramą bei gautus BCĮ vertinimo rezultatus matoma, kad aplinkosauginis poveikis labai priklauso nuo atstumo tarp plytų gamyklos iki vietos kurioje susidaro dumblas, nes transportavimui naudojamos sunkiasvorės mašinos bei dyzelinis kuras. Didesnį poveikį daugiausia lemia didelis atstumas tarp plytų gamyklos ir dumblo susidarymo vietos, kuris nagrinėjamu atveju yra 287 km.. Sunkiasvorių mašinų ir dyzelinio kuro būvio cikle susidaro įvairūs išmetimai į aplinką, kurie gali sukelti toksinį poveikį vandens ir sausumos ekosistemoms ir pakenkti ekosistemų kokybei, bei sukelti toksinį poveikį žmonėms, įvairius poveikius kenkiančius žmonių sveikatai (sausumos eko-

toksiškumo, nekancerogeninis toksiškumas žmonėms kategorijos). Taip pat infrastruktūra reikalinga transportavimui, dyzelinio kuro bei transporto priemonių pagaminimui, turi didelės įtakos žemės naudojimo kategorijai. Daugumoje kitų vertintų kategorijų plytos su dumbly poveikis nors ir yra didesnis, bet labai panašus į standartinės plytos gamybos.

Įvertinti ar poveikis mažėja, mažėjant transportavimo atstumui buvo atliktas papildomas BCĮ vertinimas tuo pačiu metodu ir darant prielaidą kad atstumas sumažėtų iki 100 km. Gauti rezultatai pateikiami 18 paveiksle. Matomas teigiamas pokytis visose kategorijose. Ir nors plytos su dumbly sausumos eko-toksiškumo, žemės naudojimo bei nekancerogeninis toksiškumas žmonėms kategorijose poveikis išlieka didesnis palyginus su standartinė plyta, tačiau sumažėja lyginat su 287 km. atstumu atitinkamai 13 %, 12 % ir 10 %. Kitose kategorijose matoma kad standartinė plyta turi didesnę poveikį nei plyta su dumbly.



18 pav. Būvio ciklo palyginimas, vertinant poveikį skirtingose kategorijose (atstumas tarp plytų gamyklos ir dumblo susidarymo vietos 100 km)

Ši analizė kaip ir kitų mokslininkų darbai [39] parodo, kad dumblo transportavimas sukuria didžiausią aplinkosauginį poveikį vertinamoje sistemoje ir poveikis labai priklauso nuo atstumo tarp plytų gamyklos bei vietos kurioje susidaro dumblas.

Svarbu paminėti kad ne tik dumblo transportavimas daro didelį aplinkosauginį poveikį. Nagrinėjamu atveju molio karjeras yra nutolęs tik 1,5 km nuo plytų gamyklos, todėl jo poveikis šioje sistemoje labai nedidelis, tačiau jei šis atstumas būtų didesnis, tuomet kaip ir dumblo transportavimo atveju aplinkosauginis poveikis labai priklausytų nuo šio atstumo. Taip pat, jei molio transportavimo atstumas išaugtų, plytos su dumbly aplinkosauginis poveikis mažėtų lyginant su standartinė plyta, dėl mažėjančio molio kaip pirminės žaliavos poreikio, nes dalinai jis būtų pakeičiamas dumbly.

Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas

Atlikus antros alternatyvos BCI, vadovaujantis švaresnės gamybos metodika, buvo atliktas aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas AB Grigeo atžvilgiu. Skaiciavimo rezultatai pateikiami 6 lentelėje.

7 lentelė. Antrosios alternatyvos aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatai

Analizuoti aspektai	vnt. / m.	Dabartinė situacija	Planuojama situacija	Sutaupoma / sumažėja (+) Padidėja (-)		
		vnt. / m.	vnt. / m.	vnt. / m.	EUR / vnt.	EUR / vnt.
Alternatyvus dumblo panaudojimas (Plytų gamybai)						
Atliekų tvarkymas						
Popieriaus gamyklos dumblas (atlieka)	t	22 000	8 500	13 500	32	432 000
Dyzelinio kuro sąnaudos nusausinto dumblo tvarkymui ir transportavimui (netiesioginis poveikis)	t	¹ 7,548	2,916 + ² 48,82	-44,188		
³ Dumblo transportavimo kaštai	Eur		187 525			-187 252
⁴ CO _{2e} dėl dyzelinio kuro sąnaudų (netiesioginis poveikis)	t CO _{2e}	23	161	-138	0	0
Suma:						294 894 Eur/m.

Pastabos:

¹Dyzelinio kuro sąnaudos dumblo tvarkymui pagal AB „Grigeo Baltwood“: 7,548 t arba 0,343 kg/t dumblo.

²Dyzelinio kuro sąnaudos nusausinto dumblo transportavimui iki Plytų gamybos įmonės

13 500 t/m. / 20 t/reisą = 675 reisų/m. (193 725 km)

675 reisų/m. x 287 km/reisą x 30 l/100 km x 0,84 kg/l x 10⁻³ = 48,82 t/m. (jeigu vertinti į abu puses, bus 97,64 t/m.)

³Reiso kaina: 0,968 Eur, įsk. PVM už km.

⁴ŠESD dėl dyzelinio kuro sąnaudų, naudojant Lietuvoje taikomus CO_{2e} emisijų faktorių ir dyzelinio kuro šilumingumo vertę – vidurkis už 2022 m.

CO_{2e} (iki) = 7,548 t/m. x 0,04291 TJ/t x 72,80 t CO_{2e} /TJ = 23,58 t/m.

CO_{2e} (po) = 51,736 t/m. x 0,04291 TJ/t x 72,80 t CO_{2e} /TJ = 161,62 t/m.

⁵Šios alternatyvos atveju daroma prielaida kad apdorotas dumblas būtų atiduodamas plytas gaminančiai įmonei už 0 EUR/t.

Per metus planuojamas panaudoti dumblo kiekis – 13 500 t/m., tai yra 61 % viso susidarancio dumblo per metus. Dyzelinio kuro sąnaudos susijusios su biokuro transportavimu sumažėtų daugiau nei 2,5 karto, tačiau dumblo pervežimui iš popieriaus gamyklos į plytų gamyklą būtų naudojami dyzeliniai sunkvežimiai (samdoma paslauga), todėl išaugtų transportavimui sunaudojamo dyzelinio kuro kiekiai apie 6 kartus. Taip pat išaugtų netiesioginis poveikis dėl padidėjusių CO_{2e} išmetimų susijusių su dyzelinio kuro deginimu.

Ekonominiu požiūriu ši alternatyva leistų sumažinti įmonės išlaidas dumblo tvarkymui 294,9 tūkst. Eur/m.. Vertinant kad įmonės išlaidos būtų susijusios tik su dumblo transportavimu ir nereikėtų mokėti už dumblo atliekų tvarkymą, o plytas gaminanti įmonė dumblą priimtų nemokamai.

Įgyvendinus šią pramoninės simbiozės alternatyvą, nauda būtų gauta ne tik įmonėje, kurioje susidaro dumbblas, bet taip pat ir plytas gaminančioje įmonėje. Remiantis atliktos analizės rezultatais, daroma išvada, kad dėl antrinės žaliavos (nusausinto dumblo) naudojimo plytas gaminančioje įmonėje:

- 1) pirminės žaliavos – molio kiekis plytų gamyboje sumažėtų apie 3 %, atitinkamai sumažėtų išlaidos susijusios su molio išgavimu bei įsigijimu;
- 2) būtų galima sumažinti plytų degimo proceso temperatūrą, taip bus sunaudoti mažiau gamtinių dujų plytų degimo procese (dėl dumblo esančio didelio kiekio anglies), tai leistų įmonei sumažinti išlaidas gamtinių dujų įsigijimui ir prisidėtų prie nebiogeninės kilmės CO₂ mažinimo;
- 3) įmonė prisidėtų prie medžiagų srautų dematerializavimo bei darnaus vystymosi tikslų realizavimo.

Projekto atsiperkamumas ir aplinkosauginis veiksmingumas labai priklauso nuo įmonės, kurioje gaminamos plytos, vietovės, nes kuro naudojamam transportavimui suvartojimas turi didelę įtaką plytų gamybos būvio ciklui.

4. Rekomendacijos popieriaus gamykloms alternatyviam dumblo panaudojimui

4.1. Rekomendacijos įmonės AB „Grigeo“ alternatyviam dumblo panaudojimui

Nors įmonė savo veikloje ir gamina kompostą, tačiau jis nepasižymi dirvožemį gerinančiomis savybėmis ir panaudojimas yra gana ribotas bei patiriamos papildomos išlaidos. Todėl siekiant sumažinti dumblo tvarkymo išlaidas, išnaudoti dumblo antrinio panaudojimo potencialą bei sumažinti ŠESD, rekomenduojama:

- Siūloma apdorotą dumblą naudoti biokuro darinio gamybai – iki 16 328 t/m., didžiausią galimą kiekį. Alternatyvos įdiegimas padidintų AAV dumblo tvarkymo srityje – 0,363 t/t įmonėje gaminamos produkcijos (PP) (arba 74,2 proc.), tai pat sumažėtų medienos biokuro sąnaudos 0,165 t/t PP, poveikis klimato kaitai dėl tiesioginių ir netiesioginių ŠESD – 0,107 t CO_{2e}/t PP. Ši alternatyva leistų išnaudoti energetinį dumblo potencialą, nereikėtų papildomai investuoti į kompostavimui reikalingus įrenginius bei padėtų sumažinti įmonės išlaidas biokurui – 0,802 mln. Eur/m..
- Siūloma nepanaudotą biokuro darinio gamyboje dumblą – iki 5 671 t/m., panaudoti keraminių plytų gamyboje. Šios antrosios alternatyvos realizavimas leistų padidinti AAV dumblo tvarkymo srityje 0,126 t/t PP (arba 25,8 proc.) bei leistų sutaupyti iki 124 tūkst. Eur/m. Nors BCĮ įvertinimas parodė, kad šiuo atveju (kuomet plytų gamybos įmonė yra nutolusi 287 km) dumblo panaudojimas plytų gamyboje nesumažintų aplinkosauginio poveikio, daugelyje vertintų kategorijų, dėl dumblo transportavimo dideliu atstumu. Tačiau šiuo atveju aplinkosauginė nauda pasireikštų naujo produkto su pridėtine verte kūrimu.
- Toliau analizuoti dumblo kaip šalutinio gamybos produkto panaudojimo galimybes ir alternatyvius jo, kaip antrinės žaliavos, panaudojimo būdus, kurie leistų pilnai išnaudoti dumblo medžiagines savybes.
- Įgyvendinus pirmąją alternatyvą siūloma ieškoti potencialių pelenų panaudojimo galimybių, tokių kaip cemento gamyboje ar naujose pramoninėse technologijose iš pelenų išgaunančiose pramoninė druską ir pan.

Taikant švaresnės gamybos principus, būtų galima sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir išnaudoti dumblo energetines savybes. Taip pat įvertinus dabartinę teisinę bazę matomas didžiulis poreikis teisės aktų peržiūros ir atnaujinimo, kuris leistų šalutinį gamybos procesų produktą nelaikyti atlieka, o leistų panaudoti jį kuriant naujus pridėtinės vertės produktus.

8 lentelė. Planuojamas aplinkosauginio veiksmingumo lyginamoji analizė

Analizuojami srautai	Vnt.	Esama situacija		Siūloma alternatyva Nr.1			Siūloma alternatyva Nr.2		
		Vnt./m.	Vnt./t PP	Vnt./m.	Vnt./t PP	AAV, vnt./t PP	Vnt./m.	Vnt./t PP	AAV, Vnt./t PP
1	2	3	4	5	6	7=4-6	8	9	10=4-9
Dumblas - atlieka	t	22 000	0,489	5 671	0,126	0,363	8 500	0,189	0,300
Dumblas - biokuras	t	0	0	16 328	0,363	-	-	-	-
Biokuro sąnaudos, pagaminti 238 800 MWh/m.	t	99 962	2,221	92 527	2,056	0,165	-	-	-
Pelenai	t	842	0,019	4 010	0,089	-0,070	-	-	-
Oro tarša iš stacionarių taršos šaltinių (bendrai)	t	482	0,011	595	0,013	-0,003	-	-	-
ŠESD (<i>tiesioginis, netiesioginis</i>)	tCO _{2e}	109 185	2,426	104 367	2,319	0,107	-	-	-
Dumblas – antrinė žaliava	t	0	0	-	-	-	5 671	0,126	-
Kuras dumblo transportavimui	t	8	0,0002	-	-	-	22	0,0005	-0,001
ŠESD (<i>tiesioginis, netiesioginis</i>)	tCO _{2e}	23	0,001	-	-	-	68	0,002	-0,003

Pastaba:

PP – bendros gamybos apimtys – iki 45 000 t/m.

4.2. Rekomendacijos popieriaus gamykloms alternatyviam dumblo panaudojimui

Popieriaus gamybos įmonėms vadovautis integruotos atliekų vadybos principais ir pirminiame etape vadovautis prevenciniu požiūriu, o po dumblo susidarymo išnaudoti energetines ir medžiagines savybes bei prisidėti prie antrinio žaliavų panaudojimo, rekomenduojama:

- Kuo efektyviau išnaudoti pirminį apdorojimo etapą ir sumažinti susidarančio dumblo kiekį, įrengiant flotacines celes, kuriose makulatūros ir celiuliozės plaušas yra surenkamas ir grąžinamas atgal į gamybą, taip pat kaip ir išvalytas vanduo.
- Efektyviam dumblo nusausinimui naudoti flokuliantą, kurio pagalba galima nusausinti dumblą iki 40 % SM. Šis nusausinimas leidžia sumažinti transportavimo kaštus ar didėjančią poveikį aplinkai dėl kuro deginimo, kuomet deginamas nenusausintas dumblas.
- Naudoti dumblą plytų gamyboje kuomet dumblo susidarymo vieta yra mažesniu nei 100 km atstumu nuo plytų gamybos įmonės, kad dumblo transportavimo aplinkosauginis poveikis būtų kuo mažesnis. Taip pat tai būtų naudinga ekonominiu požiūriu.
- Siekiant kuo tiksliau įvertinti plytų su dumbliu aplinkosauginę naudą atlikti detalesnę BCI analizę ir įtraukti visus etapus nuo molio išgavimo, dumblo susidarymo iki plytų utilizavimo, kuomet ji tampa atlieka. Bei įvertinti kaip kinta poveikis kylantis dėl molio išgavimo bei transportavimo.
- Kuomet plytų gamybos įmonės yra nutolusios dideliais atstumais ir nėra galimybės išnaudoti dumblo medžiagines savybes, siūloma gaminti biokuro darinį, kuris būtų panaudojamas įmonės reikmėms bei gaminamas pridėtinės vertės produktas įmonės viduje. Dėl biokuro darinio deginimo padidėjusį pelenų kiekį alternatyviai panaudoti cemento gamyboje ar kitose srityse taip pat išnaudojant jo potencialą.

Išvados

1. 2021 m. Lietuvoje susidarė apie 67,5 tūkst. t gamybinių ir komunalinių nuotekų valymo įrenginių dumblo. Didžioji dalis dumblo buvo perdirbta (panaudota tręšti ar sukompostuota) (54 %), sudeginta energijai gauti (22 %) ar panaudota (biodujų gamybai) (19 %) ir nedidelė dalis buvo pašalinta kitais būdais (3 %) ar apdorota (2 %).
2. Mokslinėje literatūroje nurodomas ne vienas galimas apdoroto dumblo panaudojimo būdas: nuo galimybės dumblą panaudoti kitų produktų gamyboje iki energijos išgavimo. Šiuo metu ES šalių praktikoje dažniausiai taikomi metodai yra kompostavimas arba deginimas energijai gauti.
3. Atlikus analizę, nustatyta, kad eksperimentui parinktame objekte AB „Grigeo“ per metus, susidaro apie 17 tūkst. t iki 40 % nusausinto dumblo, planuojama kad šis kiekis augs ir per artimiausius metus gali pasiekti 22 tūkst. t/m. Šiuo metu nusausintas dumbblas yra atiduodamas techninio komposto gamybai ir vėliau naudojamas pažeistų teritorijų atstatymo darbams. Įvertinus dumblo mėginių laboratorinės analizės rezultatus, buvo identifikuotos pagrindinės problemos: (1) dėl netinkamo C:N santykio dumble ir kitose kartu kompostuojamose atliekose kompostavimo (aerobinio apdorojimo) procesas net neprasideda, t.y. taikomo dumblo apdorojimo proceso metu negaminamas kompostas; (2) dumbblas yra traktuojamas kaip atlieka, nors turi medžiaginių savybių tinkamų antrinėms žaliavoms; (3) nuo 2025 metų, griežtėjant dumblo tvarkymo reikalavimams, įmonė turėtų investuoti į „kompostavimo proceso“ infrastruktūros sukūrimą ir įrangos modernizavimą, nors pridėtinės vertės komposto gamyba nėra vykdoma.
4. Magistro baigiamajame projekte buvo pasiūlytos ir detalios nagrinėjamos dvi dumblo kaip antrinės žaliavos panaudojimo alternatyvos:
 - Biokuro darinio gamyba, panaudojant dumblą kaip sudėtinę dalį. Siūloma nusausintą dumblą maišyti su medienos biokuru (dumblo dalis – iki $\leq 15\%$ pagal masę) ir gaminti biokuro darinį, kuris būtų deginamas įmonės garo katiluose, gaminant šiluminę energiją gamybos reikmėms. Įgyvendinus šį projektą, būtų sutvarkyta iki 74 % dumblo, medienos biokuro sąnaudos sumažėtų 7,4 tūkst. t/m. arba 64 tūkst. GJ/m., tiesioginiai šiluminės energijos gamybos ir dumblo tvarkymui procesų kaštai sumažėtų 0,8 mln. Eur/m..
 - Dumblo transportavimas į Latvijos keraminių plytų gamybos įmonę, kurioje jis būtų panaudojamas kaip antrinė žaliava, maišant su moliu iki 10 % sausos žaliavos masės. Šios alternatyvos realizavimas leistų sutvarkyti iki 61 % dumblo, taip pat sumažėtų įmonės tiesioginiai procesų kaštai dumblo tvarkymui – iki 0,295 mln. Eur/m.
5. Siekiant palyginti standartinės plytos gamybą su plytos gamyba inkorporuojant dumblą, atliktas būvio ciklo įvertinimas, naudojant SimaPro programą. Nustatyta, kad dumblo transportavimas iki plytų gamyklos vertintame būvio cikle daro didžiausią poveikį aplinkai trijose kategorijose: sausumos eko-toksiškumo, žemės naudojimo bei nekancerogeninis toksiškumas žmonėms. Poveikis klimato kaitai padidėja nuo 37,6 iki 38,1 kg CO_{2e} kiekvienai plytos tonai pagaminti. Analizės rezultatai parodė, kad atstumui iki plytų gamybos įmonės sumažėjus iki 100 km, plytos, kurios sudėtyje yra antrinė žaliava – dumbblas, poveikis aplinkai

ir žmonių sveikatai būtų mažesnis beveik visuose analizuojamuose aplinkosaugos kategorijose.

6. Baigiamajame magistro darbe pateiktos rekomendacijos popieriaus gamybos ir perdirbimo įmonėms susidarančio gamybinių nuotekų dumblo alternatyviam naudojimui, taikant integruotos atliekų vadybos principus: nuo atliekų prevencijos iki dumblo optimalių energetinių ir žaliavinių savybių panaudojimo, taip prisidedant prie žiedinės ekonomikos įgyvendinimo.

Literatūros sąrašas

1. KARMEGAM, N., VIJAYAN, P., PRAKASH, M. and JOHN PAUL, J.A. Vermicomposting of paper industry sludge with cow dung and green manure plants using *eisenia fetida*: a viable option for cleaner and enriched vermicompost production. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2019, vol. **228**, 718–728 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.jclepro.2019.04.313.
2. YADAV, S. and MOHANTY, P. Utilization of paper mill sludge as a sustainable source of hydrogen production. *Biofuels* [interaktyvus]. London, 2022, vol. **13**, 1113–1118 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1080/17597269.2022.2107658.
3. GIEVERS, F., et al. Anaerobic co-digestion of paper sludge: feasibility of additional methane generation in mechanical–biological treatment plants. *Waste Management* [interaktyvus]. Elmsford, 2022, vol. **144**, 502–512 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.wasman.2022.04.016.
4. STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras, ir kt. *Darni atliekų vadyba: mokslo monografija*. Kaunas: Technologija, 2017. ISBN 9786090214145.
5. ZALYHINA, V., CHEPRASOVA, V. And ROMANOVSKI, V. Paper industry slag for the production of building ceramics. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [interaktyvus]. 2022, vol. **97**, no. 11, 3091–3099 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1002/jctb.7174.
6. Europos Parlamento Ir Tarybos Direktyva 2008/98/EB 2008 m. lapkričio 19 d. Dėl Atliekų Ir Panaikinančių Kai Kurias Direktyvas.
7. STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras. *Integruota atliekų vadyba: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2004. ISBN 9955097515.
8. CHEN, C. And PAO, H. the causal link between circular economy and economic growth in EU-25. *Environmental Science and Pollution Research International* [interaktyvus]. 2022, vol. **29**, no. 50, 76352–76364 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1007/s11356-022-21010-6.
9. SAKTHIVELMURUGAN, E., SENTHILKUMAR, G. And KARTHICK, K. N. Analysis of the impact of circular economy over linear economy in the paper processing industry. *Materials Today: Proceedings* [interaktyvus]. 2022, vol. **66**, 1446–1452 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.matpr.2022.05.449.
10. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2022-06-01 Nutarimas Nr. 573 „Dėl Valstybinio Atliekų Prevencijos Ir Tvarkymo 2021–2027 Metų Plano Patvirtinimo“ (TAR 2022-06-01).
11. Aplinkos apsaugos agentūros duomenys apie sutvarkytų atliekų kiekius pagal tvarkymo būdus 2019–2021 M. [Interaktyvus] [Žiūrėta: 2023 M. Balandžio 6 D.]. Prieiga Per Internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=8a9b8489-4265-41c0-A5ac-9ae578527828#/>.
12. Lietuvos Respublikos Aplinkos Ministro 2006-05-17 Įsakymas Nr. D1-236 „Dėl Nuotekų Tvarkymo Reglamento Patvirtinimo“ (Žin., 2006, Nr.59-2103; TAR, 2015, Nr.00074; 2018 Nr. 15266).
13. Lietuvos Respublikos Aplinkos Ministro 2001-06-29 Įsakymas Nr. 349 „Dėl Normatyvinio Dokumento LAND 20-2005 „Nuotekų Dumblo Naudojimo Tręšimui Bei Reikultivavimui Reikalavimai“ Patvirtinimo“ (Žin., 2001 Nr. 61-2196; TAR 2016 Nr. 21147, 2018 Nr. 10712, 2020 Nr. 14959).

14. ODA, T.Y.R., et al. Pulp mill sludge-derived carbon activated with an alternative source of chemicals and its application in wastewater treatment – an approach for byproducts valorization. *Journal of Environmental Management* [interaktyvus]. 2021, vol. **298**, 113477 [žiūrėta 2023-03-18]. doi DOI 10.1016/j.jenvman.2021.113477.
15. MALAIŠKIENĖ, J., BANEVIČIENĖ, V., BORIS, R. and ANTONOVIČ, V. The effect of dried paper-mill sludge on cement hydration. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [interaktyvus]. 2019, vol. **138**, no. 6, 4107–4118 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1007/s10973-019-08587-w.
16. COURTOIS, N., et al. Influence of the characteristics of paper mill sludges on their anaerobic digestion. *Waste Management & Research* [interaktyvus]. 2022, vol. **40**, no. 8., 1256–1266 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1177/0734242X211065698.
17. BEGUM, M.H.A., RAHMAN, A.S.M.A., MOLLA, M.R. and RAHMAN, M.A. preparation and characterization of activated carbon from paper mill sludge by chemical activation: a waste management approach. *International Journal of Environmental Science and Technology* [interaktyvus]. Tehran, 2023, vol. **20**, no. 3, 2757–2770 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1007/s13762-022-04169-w.
18. JELE, T.B., SITHOLE, B., LEKHA, P. and ANDREW, J. Characterisation of pulp and paper mill sludge for beneficiation. *Cellulose* [interaktyvus]. London, 2022, vol. **29**, no. 8, 4629–4643 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1007/s10570-022-04578-7.
19. FAUBERT, P., et al. Pulp and paper mill sludge management practices: what are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions? *Resources, Conservation and Recycling* [interaktyvus]. 2016, vol. **108**, 107–133 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.resconrec.2016.01.007.
20. NAZAR, A.M.M., ABAS, N.F. and OTHUMAN MYDIN, M.A. Study on the utilization of paper mill sludge as partial cement replacement in concrete. *MATEC Web of Conferences* [interaktyvus]. 2014, vol. **10**, 2001 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1051/mateconf/20141002001.
21. SETHUPATHY, A. and SIVASHANMUGAM, P. Enhancing biomethane potential of pulp and paper sludge through disperser mediated polyhydroxyalkanoates. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. 2018, vol. **173**, 179–186 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.enconman.2018.07.076.
22. MOHAMMADI, A., et al. Life cycle assessment of combination of anaerobic digestion and pyrolysis: focusing on different options for biogas use. *Advances in Geosciences* [interaktyvus]. 2019, vol. **49**, 57–66 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.5194/adgeo-49-57-2019.
23. GOEL, G., et al. Potential pathway for recycling of the paper mill sludge compost for brick making. *Construction & Building Materials* [interaktyvus]. 2021, vol. **278**, 122384 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.conbuildmat.2021.122384.
24. HAILE, A., et al. Pulp and paper mill wastes: utilizations and prospects for high value-added biomaterials. *Bioresources and Bioprocessing* [interaktyvus]. 2021, vol. **8**, no. 1, 1–22 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1186/s40643-021-00385-3.
25. SUHR M., et al. Best available techniques (BAT) reference document for the production of pulp, paper and board, industrial emissions directive 2010/75/EU (Integrated pollution prevention and control).

26. STANIŠKIS, Jurgis Kazimieras ir KRIAUCIONIENĖ. *Monika Darni Plėtra: Mokomoji Knyga*. Kaunas: Technologija. 2012. ISBN 9786090204795.
27. SATYRO, W.C., et al. Industry 4.0 implementation projects: the cleaner production strategy – a literature review. *Sustainability* [interaktyvus]. Basel, Switzerland, 2023, vol. **15**, no. 3, 2161 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.3390/su15032161.
28. KLIPOVA, I., STANIŠKIS, J. K., STASIŠKIENĖ, Ž. Ir VARŽINSKAS, V. *Darniosios Inovacijos Lietuvos Pramonėje: Kūrimas Ir Diegimas: Mokslo Monografija*. Kaunas: Technologija. 2010 ISBN 9789955258155.
29. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. [LST EN ISO 14040:2002]. Aplinkos Vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:1997). Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2002.
30. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2 Energy // 2006. IPCC [Interaktyvus] [Žiūrėta: 2023 m. gegužės 1 d.]. Prieiga Per Internetą: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>.
31. ŠESD Emisijų Faktoriai [Interaktyvus] [Žiūrėta: 2023 m. gegužės 1 d.] <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/siltnamio-efekta-sukeliancios-dujos-1/es-atl-prekybos-sistema/informacijos-mainu-centras>.
32. Lietuvos Respublikos Aplinkos Ministro 2009-09-16 Įsakymas Nr. D1-546 „Dėl Ūkio Subjektų Aplinkos Monitoringo Nuostatų Patvirtinimo“ (Tin., 2009, Nr. 113-4831; TAR, 2016, Nr. 28343; 2018 Nr. 03345).
33. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministro 2017-12-06 Įsakymas Nr. 1-310 „Dėl Kietojo Biokuro Kokybės Reikalavimų Patvirtinimo“ (TAR, 2017 Nr. 19830).
34. Lietuvos Respublikos Atliekų Tvarkymo Įstatymas (Žin., 1998 Nr. 61-1726; 2002 Nr. 72-3016; TAR 2014 Nr. 00711; 2020 Nr. 03538; 2022 Nr. 11332).
35. AB „GRIGEO“ Nuotekų dumblo tvarkymo optimizavimas, dumblą naudojant biokuro darinio gamybai ir jį deginant esamuose biokuro katiluose atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo (PAV), 2022.
36. GOEL, G. and KALAMDHAD, A.S. An investigation on use of paper mill sludge in brick manufacturing. *Construction & Building Materials* [interaktyvus]. 2017, vol. **148**, 334–343 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.087.
37. YARAS, A. Combined effects of paper mill sludge and carbonation sludge on characteristics of fired clay bricks. *Construction & Building Materials* [interaktyvus]. 2020, vol. **249**, 118722 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1016/j.conbuildmat.2020.118722.
38. Lode SIA Taršos Leidimas [Interaktyvus] [Žiūrėta: 2023 m. kovo 22 d.] Prieiga Per Internetą: <https://registri.vvd.gov.lv/filedownload?tabula=Document&id=32535&filename=a-Lode-Anesrazh.Pdf> .
39. CANGUSSU, N., VASCONCELOS, L. and MAIA, L. Environmental benefits of using sewage sludge in the production of ceramic bricks. *Environmental Science and Pollution Research International* [interaktyvus]. 2023, vol. **30**, no. 10, 25344–25355 [žiūrėta 2023-03-18]. doi 10.1007/s11356-022-18670-9.

Priedai

1 priedas. Popieriaus gamyklos dumblo tyrimo protokolas



LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRO
ŽEMDIRBYSTĖS INSTITUTO
AGROCHEMINIŲ TYRIMŲ LABORATORIJA
ANALITINIS SKYRIUS

I(1) puslapis

TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. K 186

Užsakovas: AB „Grigeo“, Vilniaus g. 10, Grigiškės, Vilniaus m.

Tiriamąjio ėminio identifikavimas: kodas, pavadinimas, kiekis-K 186-1 Dumbblas

Užsakovo pateikta informacija: ėminio atrinkimo vieta ir data, atrinkimo akto nr. arba kitas lydinčias dokumentas*-

Ėminių pristatė: KTU Aplinkos inžinerijos instituto docentė dr. Irina Kliopova

Ėminių priėmė: produkto vadybininkė Sandra Padvolksienė

Tyrimo metodai ir rezultatai:

Tyrimų parametras	Tyrimo rezultatai	Tyrimo metodai (žymuo)
Sausos medžiagos %	40,14	LST EN 12880:2002
Sausoje medžiagoje:		
Organinė medžiaga %	36,26	LST EN 15169:2007
Pelenai %	63,74	LST EN 15169:2007
Bendras azotas (N) %	0,22	LST EN ISO 13342-2000
Bendras fosforas (P) %	0,014	LAND 78:2006
Bendra sierra (S) %	0,076	LST EN 16174-2012, LST EN ISO 11885:2009
Bendras chloras (Cl) %	0,22	LST EN ISO 16994:2016
Kadmio (Cd) mg/kg	0,092	LST EN 16174-2012, LST EN ISO 15586:2004
Arsenas (As) mg/kg	0,72	LST EN 16174-2012, LST EN 16170:2016
Chromas (Cr) mg/kg	5,53	
Nikelis (Ni) mg/kg	1,73	
Švinas (Pb) mg/kg	3,30	
Varis (Cu) mg/kg	22	LST EN 16174:2012, LST CEN/TS 16188:2012
Cinkas (Zn) mg/kg	63	LST EN 16174-2012, LST EN ISO 16175-1:2016
Gyvsidabris (Hg) mg/kg	<0,02**	
Bendra anglis C) %	25,92	ISO 10694:1995

* Analitinis skyrius už ėminių atrinkimą ir užsakovo pateiktą informaciją neatsako.

**<0,02-nustatymo riba.

Kokybės kontrolės chemikė

Alma Ratkelienė

Vyriausioji chemikė

Ramutė Mickutė

Tyrimo rezultatai galioja tik pateiktam tiriamajam ėminiui.

Be raštiško skyriaus sutikimo tyrimų protokolo dalys negali būti dauginamos.

Savonorių pr. 287 Telefonas (8*37) 311520, 311513
LT 50127 Kaunas
E-mail analize@lammc.lt <http://www.lammc.lt>

Įmonės kodas 302471203
PVM kodas LT 100005122310

Atsisk.s-ta LT857044060007391326
AB SEB bankas
Kodas 70440



TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. TP21-03-003

Užsakovas:

AB Grigeo, KTU APINI

Irina Kliopova

irina.kliopova@ktu.lt

Ėminys gautas:

Tyrimai baigti:

Rezultatai:

Ėminio identifikacinis numeris	Ėminio aprašymas, pateiktas užsakovo, ėminio masė	Parametrai, matavimo vienetai, tyrimo metodai	Rezultatai
210303-03	Popieriaus plaušas, Grigeo Ėminio masė: 802,1 g	Sauso kuro viršutinis izochorinis šilumingumas*, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	18350
		Sauso kuro apatinis izobarinis šilumingumas*, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	17150
		Drėgno kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	6110

*Skaičiavimuose naudojami elementų kiekiai imami iš LST EN ISO 18125:2017 standarto G priedo: vandenilis – 6,1 %, deguonis – 41,0 %, azotas – 0,5 %, sieros – 0,04 %.

Tyrimus atliko:

Laborantas
Simonas Blauzdys

Tvirtinu:

Laboratorijos vedėja
Jolita Mockuvienė

Kuro laboratorija už ėminių ėmimą ir užsakovo pateiktą informaciją neatsako. Ėminį paėmė užsakovas.
Be raštiško laboratorijos sutikimo atskiros tyrimo protokolo dalys neturi būti kopijuojamos ir dauginamos.
Tyrimo rezultatai susiję tik su šiais tiriamais objektais.
Tyrimų rezultatai konfidencialūs.

2 priedas. Biokuro darinio tyrimų protokolai



LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRO
ŽEMDIRBYSTĖS INSTITUTO
AGROCHEMINIŲ TYRIMŲ LABORATORIJA
ANALITINIS SKYRIUS

1(1) puslapis

TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. K 187

Užsakovas: AB „Grigeo“, Vilniaus g. 10, Grigiškės, Vilniaus m.

Tiriamąjį ėminio identifikavimas: kodas, pavadinimas, kiekis-K 187-1 Darinys 1

Užsakovo pateikta informacija: ėminio atrinkimo vieta ir data, atrinkimo akto nr. arba kitas lydinčias dokumentas*-

Ėminių pristatė: KTU Aplinkos inžinerijos instituto docentė dr. Irina Kliopova

Ėminių priėmė: produkto vadybininkė Sandra Padvolskienė

Tyrimo metodai ir rezultatai:

Tyrimų parametras	Tyrimo rezultatai	Tyrimo metodai (žymuo)
Natūralioje medžiagoje:		
Piltnis tankis kg/m ³	333	LST EN ISO 18847:2017
Sausoje medžiagoje:		
Sausos medžiagos %	44,81	LST EN ISO 18134-1:2016
Bendra sieros (S) %	0,031	LST EN ISO 16994:2016
Bendras chloras (Cl) %	0,08	LST EN ISO 16994:2016
Bendras azotas (N) %	0,12	LST EN ISO 16948:2015
Pelenai %	8,22	LST EN ISO 18122:2016
Kadmis (Cd) mg/kg	0,062	LST EN ISO 16968:2015, LST EN ISO 15586:2004
Arsenas (As) mg/kg	0,30	
Chromas (Cr) mg/kg	1,87	LST EN ISO 16968:2015, LST EN ISO 11885:2009
Nikelis (Ni) mg/kg	<1,3**	
Švinas (Pb) mg/kg	<2,5	
Varis (Cu) mg/kg	6,73	LST EN ISO 16968:2015, LST ISO 8288:2002
Cinkas (Zn) mg/kg	23	
Gyvsidabris (Hg) mg/kg	<0,02	LST EN ISO 16968:2015, LST EN ISO 12846:2012
Bendra anglis (C) %	53,30	
		ISO 10694:1995

* Analitinis skyrius už ėminių atrinkimą ir užsakovo pateiktą informaciją neatsako.

**<1,3-nustatymo riba

Kokybės kontrolės chemikė

Alma Ratkelienė

Vyriausioji chemikė

Ramutė Mickutė

Tyrimo rezultatai galioja tik pateiktam tiriamajam ėminiui.

Be raštiško skyriaus sutikimo tyrimų protokolo dalys negali būti dauginamos.



TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. TP21-03-004

Užsakovas:

AB Grigeo, KTU APINI

Irina Kliopova

irina.kliopova@ktu.lt

Ėminys gautas:

Tyrimai baigti:

Rezultatai:

Ėminio identifikacinis numeris	Ėminio aprašymas, pateiktas užsakovo, ėminio masė	Parametrai, matavimo vienetai, tyrimo metodai	Rezultatai
210303-04	Medienos skiedra ir dumblas. Ėminio masė: 657,5 g	Sauso kuro viršutinis izochorinis šilumingumas*, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	20310
		Sauso kuro apatinis izobarinis šilumingumas*, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	18970
		Drėgno kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg pagal LST EN ISO 18125:2017	7110

*Skaiciavimuose naudojami elementų kiekiai imami iš LST EN ISO 18125:2017 standarto G priedo: vandenilis - 6,1 %, deguonis - 41,0 %, azotas - 0,5 %, sieras - 0,04 %.

Tyrimus atliko:

Laborantas

Simonas Blauzdys

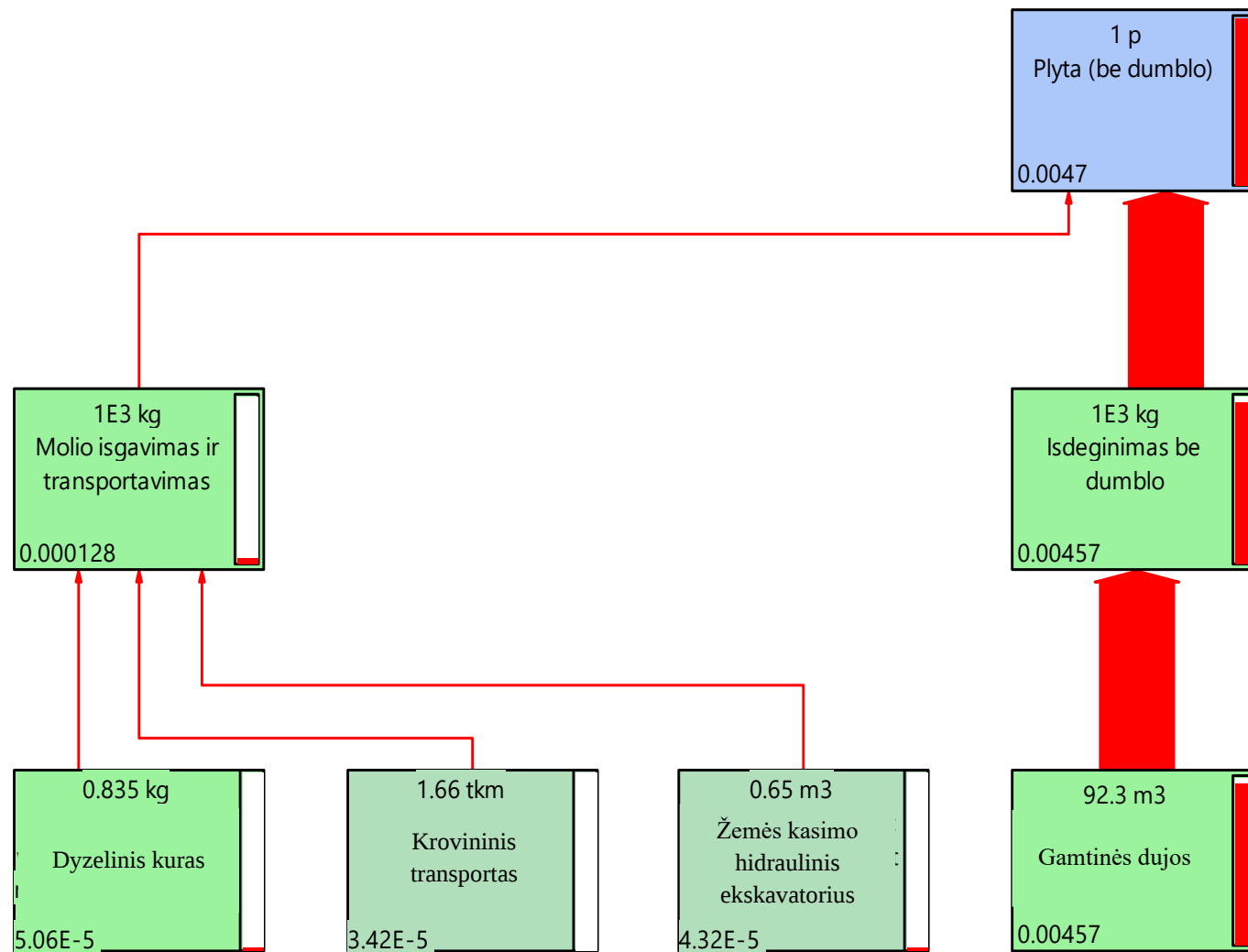
Tvirtinu:

Laboratorijos vedėja

Jolita Mockuvienė

Kuro laboratorija už ėminių ėmimą ir užsakovo pateiktą informaciją neatsako. Ėminį paėmė užsakovas.
Be raštiško laboratorijos sutikimo atskiros tyrimo protokolo dalys neturi būti kopijuojamos ir dauginamos.
Tyrimo rezultatai susiję tik su šiais tiriamais objektais.
Tyrimų rezultatai konfidencialūs.

3 priedas. Keraminės plytos gamybos BCĮ srautų diagrama



4 priedas. Keraminės plytos su dumbly gamybos BCĮ srautų diagrama

