

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

Silvija Guzovijūtė

**POPIERIAUS GAMYBOS PROCESO DUMBLO IR POPIERIAUS
ALTIEKŲ ANAEROBINIS SKAIDYMAS BIODUJŲ GAMYBAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas Prof. Gintaras Denafas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

**POPIERIAUS GAMYBOS PROCESO DUMBLO IR POPIERIAUS
ALTIEKŲ ANAEROBINIS SKAIDYMAS BIODUJŲ GAMYBAI**

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

Vadovas

(parašas) Prof. Gintaras Denafas
(data)

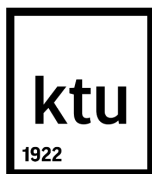
Recenzentas

(parašas) Prof. Linas Kliučininkas
(data)

Projektą atliko

(parašas) Silvija Guzovijūtė
(data)

Kaunas, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

.....
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

.....
Silvija Guzovijūtė

(Studento vardas, pavardė)

.....
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Popieriaus gamybos proceso dumblo ir popieriaus atliekų anaerobinis skaidymas biodujų gamybai“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

201 __ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Silvijos Guzovijūtės, baigiamasis projektas tema „Popieriaus gamybos proceso dumblo ir popieriaus atliekų anaerobinis skaidymas biodujų gamybai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Guzovijūtė, Silvija. Popieriaus gamybos proceso dumblo ir popieriaus atliekų anaerobinis skaidymas biodujų gamybai. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. Gintaras Denafas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės Technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: bendroji inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: popierius, minkštymas, valymas, anaerobinis skaidymas, metanas.

Kaunas, 2017. 49 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe nagrinėjamos neperdirbamų popieriaus atliekų frakcijų ir dumblo, susidarančio perdirbant popieriaus atliekas, anaerobinio pūdymo išgaunant biodujas galimybės. Pagrindiniai popieriaus komponentai – ligninas, hemiceliuliozė ir celiuliozė yra sudėtinė įvairių popieriaus atliekų frakcijų dalis. Popieriaus gamybos dumblo ir neperdirbamų popieriaus atliekų anaerobinis skaidymas yra sąlyginai naujas šių atliekų utilizavimo būdas. Darbe teoriškai vertinamas metano susidarymas iš minėtose atliekose esančio lignino ($C_{11}H_{14}O_4$)_n, celiuliozės – ($C_6H_{10}O_5$)_n ir hemiceliuliozės – ($C_5H_8O_4$)_n. Bendra metinė Lietuvoje gaunama biodujų išeiga anaerobiškai skaidant popieriaus gamybos procese susidarantį dumblą, priklausomai nuo gamybos būdo, svyruoja nuo 138 tūkst. iki 149 tūkst. m³ kas met. Panaudojus kaip kurą iš šio kiekio būtų pagaminama 5 mln. MWh elektros energijos per metus. Bendras teorinis netinkamų perdirbti popieriaus atliekų skaidymo metu išskiriama metano kiekis Lietuvoje yra 35,3 mln. m³/metus, o energijos potencialas – 1,7 mln. GWh/metus. Šie rodikliai apskaičiuoti neįtraukiant biologinių veiksnių ir esant 100 procentų efektyvumui, todėl taikant praktikoje gali ženkliai skirtis – net iki 50%.

Guzovijute, Silvija. Anaerobic Co-digestion of Paper Mill Sludge and Waste Paper for Biogas Production: *Master's* thesis in Environmental Science / supervisor prof. Gintaras Denafas. The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: general engineering, technological sciences.

Key words: paper, pulp, treatment, anaerobic digestion, methane.

Kaunas, 2017. 49 p.

SUMMARY

In this project study, anaerobic digestion to produce biogas from non-recyclable paper waste fractions and paper mill sludge was analyzed. The main components of paper – lignin, hemicellulose and cellulose are also the components of waste paper fractions. Anaerobic digestion of paper mill sludge and non-recyclable paper waste is relevantly new way to utilize these kinds of waste. In this study a theoretical methane yield from lignin ($C_{11}H_{14}O_4$)_n, cellulose – ($C_6H_{10}O_5$)_n and hemicellulose – ($C_5H_8O_4$)_n was analyzed. Total annual biogas yield from paper mill sludge in Lithuania vary from 138 thousand to 149 thousand m³ depending on manufacturing process. If used as fuel – 5 million MWh of electricity could be produced annually. Total theoretical methane yield from digestion of non-recyclable paper waste in Lithuania is 35,3 million m³/a. Energy potential from this amount of biogas is 1,7 million GWh/a. These indicators were calculated with the efficiency of 100% and excluded biological factors that can strongly determine the digestion process efficiency. Biogas yield can be as low as 50% theoretical, if applied in practice.

TURINYS

ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
1.1 ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOS ATSIKADIMO ISTORIJA IR SVARBA	11
1.1.1 Atliekų statistikos reglamentas	12
1.2 POPIERIAUS ATLIEKŲ SUSIDARYMAS BENDRAME ATLIEKŲ KONTEKSTE ..	13
1.3 BIODUJŲ GAMYBA	15
1.4 POPIERIAUS GAMYBA IR GAMYBOS ATLIEKŲ TVARKYMO TECHNOLOGIJOS	16
1.4.1 Cheminis ir mechaninis popieriaus gamybos būdai.....	17
1.4.2 Anaerobinis popieriaus gamybos dumblo skaidymas.....	19
2. METODIKA	24
2.1 DUOMENŲ RINKIMAS.....	24
2.2 POPIERIAUS ATLIEKŲ MORFOLOGINĖS SUDĖTIES TYRIMAI.....	24
2.3 ATVEJO ANALIZĖ ĮMONĖSE	26
2.4 BIODUJŲ SUSIDARYMO IR JŲ ENERGETINIO POTENCIALO SKAIČIAVIMAI..	26
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS	28
3.1 POPIERIAUS ATLIEKŲ KIEKIAI IR SUDĖTIS	28
3.2 BIODUJŲ IŠGAVIMO IŠ NEPERDIRBAMŲ POPIERIAUS ATLIEKŲ GALIMYBĖS..	30
3.3 BIODUJŲ IŠGAVIMO IŠ POPIERIAUS PRAMONĖS DUMBLO GALIMYBĖS.....	32
4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	41
LITERATŪRA.....	42
PRIEDAI.....	45

SANTRUMPOS

AAA – Aplinkos apsaugos agentūra

AATR – Alytaus regioninis atliekų tvarkymo centras

BOD – Biocheminis deguonies suvartojimas

COD – Cheminis deguonies suvartojimas

CTMP – Chemikotemromechaninis popieriaus gamybos metodas

EPS – Ląsteliniai polimeriniai junginiai, angl.

KTNE – Tūkstantis tonų naftos ekvivalento

LHV – Žemiausia šiluminė vertė, angl. *lower heating value*

PET – Polietilietetraftalatas, angl. *polyethylene terephthalate*

TMP – termocheminis popieriaus gamybos metodas

TS – Bendros kietų medžiagos, angl. *total solids*

VS – Lakios kietos medžiagos, angl. *volatile solids*

PRIEDAI

1PRIEDAS. PROJEKTE „PAKUOČIŲ ATLIEKŲ MORFOLOGINĖS SUDĖTIES SEZONIŠUKMAS IR JO ĮTAKA SURINKIMO IR PERDIRBIMO GALIMYBĖMS“ IŠSKIRSTYTO ATLIEKŲ FRAKCIJOS IR SUBFRAKCIJOS.45

2PRIEDAS. 2016 METŲ VASARIO, BALANDŽIO IR GEGUŽĖS MĖN. ALYTAUS ATR IŠ GYVENTOJŲ SURINKTŲ PAKUOČIŲ IR ANTRINIŲ ŽALIAVŲ (BE STIKLO IŠ STIKLO SURINKIMO KONTEINERIŲ) MORFOLOGINĖ SUDĖTIS, PROC.47

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Vilniaus miesto savivaldybės teritorijoje 2013 m. susidariusių atliekų sudėtis. (AAA, 2014 m.)	13
1.2 pav. Kietų komunalinių atliekų mėnesinis pasiskirstymas Kauno (Lietuva) mieste 2009 metais. (Denafas, 2014)	14
1.3 pav. Kietųjų komunalinių atliekų mėnesinis pasiskirstymas Kauno (Lietuva) mieste 2010 metais, kur nuo 1 iki 12 skaičiais atitinkamai pažymėti metų mėnesiai nuo sausio iki gruodžio. (Denafas, 2014)	14
1.4 pav. Anaerobinio skaidymo rezervuaras. (www.researchgate.net, žiūrėta 2017.04.02)	16
1.5 pav. Supaprastinta cheminiu metodu gaminamo popieriaus schema (Jesus Martinez Patino ir Martin Picon Nunez, 2011)	17
1.6 pav. Popieriaus ir minkštimo gamybos srautų detali diagrama. (Staudt, 2010)	19
1.7 pav. Pagrindinės popieriaus gamyklos nuotekų vandens valymo technologijos ir jų taikymo priklausomybė nuo COD ir BOD rodiklių. (http://ied.ineris.fr/sites/default/interactive/brefpap/bref_pap/english/bref_illus_gb.htm , N.A) ..	20
1.8 pav. Membranos bioreaktorius naudojantis aktyviajame dumblyje panaudotas membranas. (http://ied.ineris.fr/sites/default/interactive/brefpap/bref_pap/english/bref_illus_gb.htm , NA) ..	21
3.1 pav. Iš gyventojų surenkamų pakuočių ir antrinių žaliavų morfologinė sudėtis.	29
3.2 pav. Iš Alytaus miesto gyventojų surenkamų popieriaus ir kartono frakcijos vidutinė atliekų ir pakuočių atliekų sudėtis.	29
3.3 pav. Iš Alytaus ATC gautų netinkamų perdirbti popieriaus atliekų TS išsiskiriantis teorinis metinis biodujų kiekis.	32
3.4 pav. Pagal Grigeo susidarančio dumblo kiekį apskaičiuota vidutinis dumblyje esančio lignino ir celiuliozės kiekis esant skirtingiems gamybos scenarijams, kur 1 – popieriaus gamyba tik termocheminiu metodu; 2 – popieriaus gamyba chemikotermomechaniniu metodu; 3 – popieriaus gamyba <i>kraft</i> metodu.	35
3.5 pav. Iš trijų (lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės) pagrindinių popieriaus pramonės junginių susidarantys teoriniai biodujų (metano ir anglies dioksido) kiekiai [m ³ dujų/kg].	35
3.6 pav. UAB „Grigeo“ ir UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ atliekų biodujų išsiskyrimo teoriniai kiekiai naudojant skirtingus gamybos metodus. Čia TMP – termocheminis metodas, CTMP – chemikotermomechaninis metodas, ir <i>kraft</i> metodas.	36
3.7 pav. Dumblyje esančių sausų kietų medžiagų priklausomybė nuo procentinio dumblo drėgnumo rodiklio TME, CTMP ir Kraft gamybos procesuose.	37

3.8 pav. Bendras vidutinis sausų kietų medžiagų kiekis dumble esant skirtingiems popieriaus gamybos būdams apskaičiuotas formule $TS_i = (1 - x_{H_2O, i}) \times mm, i$	37
3.9 pav. Lakiųjų kietų junginių dalis iš bendros sausos kietų medžiagų dumble masės, apskaičiuota formule $VS_i = x_{VS, i} \times TS_i$ esant pagrindiniais trimis popieriaus gamybos scenarijais – TMP, CTMP ir Kraft.	38
3.10 pav. Iš popieriaus gamybos dumblo susidarantis metano kiekis.	39
3.11 pav. Energetinio potencialo iš popieriaus gamybos nuotekų ir popieriaus atliekų Lietuvoje palyginimas.	39

LENTELIŲ SARAŠAS

Lentelė 1.1 Pirminio (neapdoroto) popieriaus gamybos dumblo apskaičiuota sudėtis, kur VS – lakios kietos medžiagos, o TS – bendras kietųjų medžiagų kiekis. (Migneault et al, 2011).	22
Lentelė 3.1 Popieriaus gamybos kiekis gaunamas naudojant antrinį popierių kaip žaliavą Grigeo įmonėse t/mėn.	32
Lentelė 3.2 Atliekos susidaranti Grigeo gamyklose, t/mėn.	33

IVADAS

Neadekvatus kietų medžiagų tvarkymas (SWM, angl. solid waste management) šalyse su žemu ir vidutiniu darbo užmokesčiu kelia didelių aplinkosauginių problemų (Vögeli Y et. al. 2014). Auganti ekonomika ir pramonės plėtra spartina ne tik gyvenimo tempą, bet ir aplinkos progresą. Kaip ir didelė dalis pramonės sektorių popieriaus pramonė – laikui bėgant vis reiklesnis ir vienas iš skaudžių žmogaus konfrontacijos su gamta įrodymų. Kas dieną yra iškertami dideli miškų plotai, nes medis – pagrindinė žaliava popieriaus pramonėje. Šiame darbe nagrinėtas popieriaus ir kartono atliekų kurių nebeįmanoma perdirbti integravimas į anaerobinį skaidymą biodujų gamybai kartu su popieriaus gamybos metu susidaranciu dumbly, norint kaip įmanoma efektyviau panaudoti ir sumažinti bendrinį atliekų kiekį gamybos ir antrinio panaudojimo cikle.

Idealiu scenarijumi atliekos taptų žaliavomis, būtų kaip įmanoma efektyviau panaudoti gamybos procesų produktai. Popieriaus ir popieriaus gamybos atliekos tarpusavyje yra susijusios tik prigimtimi ir sudėtimi, todėl darbe norima nupiešti gijas ir susieti šias dvi atliekų grupes. Technologiniai procesai reikalingi apdirbti popieriaus atliekas ir popieriaus gamybos atliekas prieš teorinį anaerobinį atliekų skaidymą yra skirtingi, todėl neišsiplečiant į pirmines perdirbimo technologijas imponuojama teorinės biodujų išėigos faktoriumi pagrindinėms sudedamosioms popieriaus atliekų ir popieriaus dumblo dalims – ligninui, celiuliozei ir hemiceliuliozei.

Darbo tikslas apskaičiuoti teorinį biodujų potencialą iš Lietuvoje susidaranciu neperdirbamo popieriaus atliekų bei popieriaus gamybos dumblo.

Darbo uždaviniai:

- aptarti kokie veiksniai lemia efektyvų biodujų išsiskyrimą;
- išsiaiškinti popieriaus ir kartono sudėtį bei gamybos dumblo sudėtį ir apskaičiuoti teorinę biodujų išėigą iš atliekų kiekio apskaičiuoto AATC susidarancio netinkamų perdirbti popieriaus ir kartono atliekų procentinio rodiklio pritaikyto Lietuvos mastu;
- apskaičiuoti ir palyginti popierių gaminant skirtinga gamybos technologija susidarancio dumblo sudėtį ir energetinį potencialą.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje bus aptarta bendrinė ir jau žinoma informacija įtraukianti atliekų tvarkymo ir prevencijos apibendrintą istorinę raidą, kartono ir popieriaus atliekų susidarymo mastą bei esamą situaciją ir jos keliamas problemas žmogaus darnaus vystymosi politikos plėtroje. Taip pat bus paminėtos popieriaus produkcijos gamybos atliekų panaudojimo galimybės ir pagrindiniai jau vykdomi atliekų, kaip problemos, sprendimo būdai šioje srityje. Plačiausiai bus aptarta kartono gamybos atliekų ir kartono atliekų situacija, orientuojantis į energetinio panaudojimo galimybę.

1.1 ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOS ATSIKIRADIMO ISTORIJA IR SVARBA

Atliekos nuo pat žmonių miestų kūrimosi pradžios buvo identifikuojamos kaip ekologinė problema – nuo buitinių, biologiškai skaidžių atliekų ir oro taršos sandėliavimo bei degimo procesų metu iki cheminių medžiagų – pramonės procesų šalutinių produktų ir įsibėgėjus XVIII a. pabaigos pramonės perversmui. Šiame skyriuje bus trumpai aptartas komunalinių atliekų tvarkymo sistemos susikūrimas ir jo raida iki dvidešimt pirmo amžiaus įstatyminės bazės kuria yra vadovaujamas šiuo metu.

Po industrializacijos pradžios miestai pradėjo augti – didelė žmonių populiacijos dalis Anglijoje persikėlė į miestus. Sulig miesto gyventojų didėjimu atliekų padidėjimas sukėlė greitą ligų sanitarijos ir bendros gyvenimo kokybės mieste pablogėjimą – nebuvo jokio atliekų valymo reglamentavimo miesto gatvės tapo purvinos ir apdergtos. Pirmoji atliekų šalinimo sistemos idėja Europoje kilo Anglų pareigūnui ir ekonomistui Corbyn Morris XVIII a. penktajame dešimtmetyje. Būtent jo idėja savivaldybių institucijos apie atliekų teisinės sistemos įvedimą pradėjo diskutuoti kaip apie būtinybę. Kadangi žmonių sveikatos išsaugojimas turi labai didelę svarbą, buvo pasiūlyta, kad viešasis miesto atliekų valdymas būtų suvienodintas, o visos atliekos gabenamos numatyta atstuma šalies viduje, toliau nuo miestų. Vėliau ši idėja išaugo į 1800 metus Londone suformuotą formalią ir neformalią atliekų surinkimo sistemą ir organizuotą „likučio“ atliekų tvarkymo sistemą. Ankstyvoji Londono miesto atliekų surinkimo sistema įtraukė vadinamuosius *gatvės pirkėjus* (žmones kurie atgabendavo įvairias pataisomas dalis, drabužius ir kitą tekstilę, baldus, popierių, butelius ir stiklą, metalus, tuomet paklausių triušio ar kiškio odą, tepalus, arbatos lapus ir netgi kaulus), *gatvės ieškotojus* (žmones kurie pelnydavosi iš kitų žmonių atliekų tokių kaip cigarų nuorūkos), *kanalizacijų ir upės ieškotojus* ir *apmokamus darbuotojus* (žmones kurie buvo įdarbinami, kad naktimis valytų gatves, surinktų nuotekas kurios vėliau buvo naudojamos kaip trąša). Dėl didelės išmetamų medžiagų paklausos Londonas XVIII a. pabaigoje XIX a. pradžioje antrinio medžiagų panaudojimo mastas siekė beveik 100 procentų.

Pirmoji Europos bendrijų tarybos direktyva (75/442/EEB) dėl atliekų buvo priimta 1975 m. liepos 15 d. kur pagal pirmą jos straipsnį atliekos – tai bet kokios medžiagos ar daiktai, kurių atliekų turėtojas atsikrato arba privalo atsikratyti pagal galiojančius nacionalinės teisės aktus; šalinimas – tai:

- atliekų surinkimas, rūšiavimas, vežimas ir apdorojimas, taip pat atliekų išvertimas ant žemės arba po žeme;
- transformacijos operacijos, būtinos atliekų pakartotiniam naudojimui, naudojimui arba perdirbimui.

Ši direktyva nebuvo taikoma radioaktyviosioms atliekoms; atliekoms, susidarančioms žvalgant, išgaunant, tvarkant ir saugant mineralinius išteklius, ir atliekoms iš veikiančių karjerų; gyvūnų skerdienuoms ir šioms žemės ūkio atliekoms: fekalinėms medžiagoms ir kitoms ūkininkavimo veikloje naudojamoms medžiagoms; nuotekoms, išskyrus skystas atliekas; dujų išmetimams į atmosferą; atliekoms, kurioms taikomos specialios Bendrijos taisyklės. Taip pat pagal direktyvos 3-ąjį straipsnį valstybės Europos sąjungos narės privalo imtis atitinkamų priemonių atliekų prevencijai, perdirbimui ir apdorojimui, žaliavų gavimui, atliekų kaip energijos šaltinio panaudojimui ir kitokiam atliekų pakartotiniam panaudojimui skatinti. Direktyvoje dėl atliekų taip pat buvo paminėtas vieno iš pirminių atliekų prevencijos būdų teršėjas moka principo įsigaliojimas.

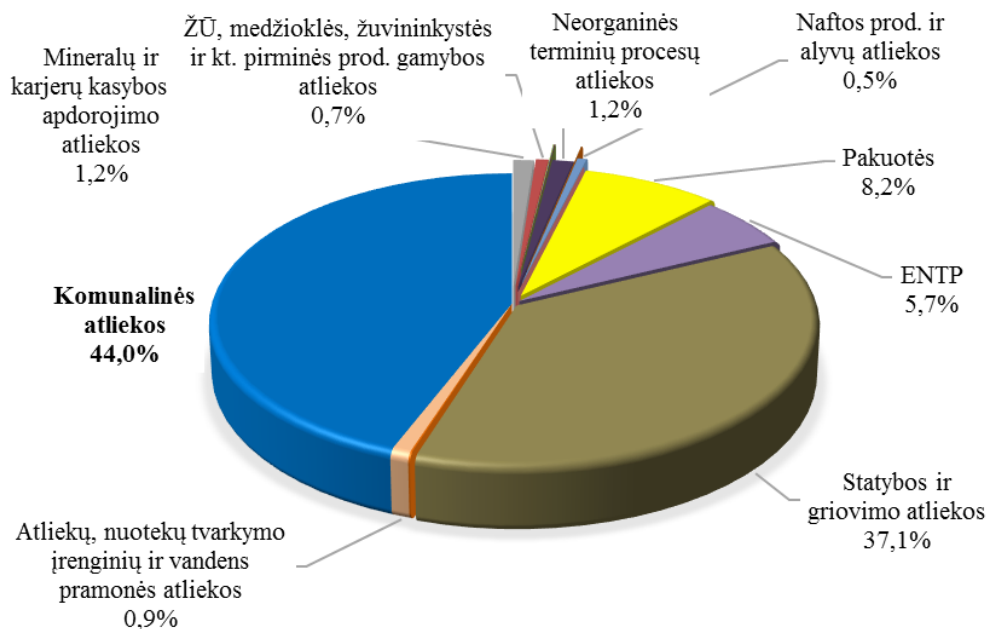
Vėliau, 1994 metų gruodžio 20 dieną, buvo priimta Europos Parlamento ir Europos Tarybos direktyva 94/62/EB dėl pakuočių ir pakuočių atliekų. Jos tikslas buvo suderinti pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo nacionalines priemones, kad, pirma, būtų galima užkirsti kelią daryti poveikį valstybių narių ir trečiųjų šalių aplinkai arba mažinti tą poveikį ir taip užtikrinti aukštą aplinkosaugos lygį, o antra, kad būtų galima užtikrinti vidaus rinkos funkcionavimą ir išvengti prekybos kliūčių bei konkurencijos iškreipimo ir apribojimo Bendrijoje.

1.1.1 Atliekų statistikos reglamentas

Vienas svarbiausių reglamentų susijusių su atliekų prevencijos ir kontrolės efektyvumu – 2002 metais lapkričio 25 dieną Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas Nr. 2150/2002 dėl atliekų statistikos. Jo tikslas - sukurti sistemą, skirtą bendrijos atliekų susidarymo, panaudojimo ir šalinimo statistiniams duomenims parengti. Lietuvoje aplinkos apsaugos agentūra veda valstybines atliekų apskaitas. Pagal jų duomenis 2013 m. Vilniaus mieste iš viso susidarė apie 657,7 tūkst. tonų atliekų (vidutiniškai apie 1 018 kg vienam savivaldybės gyventojui per metus). Susidariusių atliekų tarpe apie 289,3 tūkst. tonų (t.y. 44,0 proc. dalį) sudarė komunalinės atliekos (20 kodų grupei priskiriamos atliekos), apie 37,1 proc. – statybos ir griovimo, apie 8,2 proc. –

pakuočių atliekos, apie 5,7 proc. – eksploatuoti netinkamų transporto priemonių atliekos ir kitos (1.1 pav.)

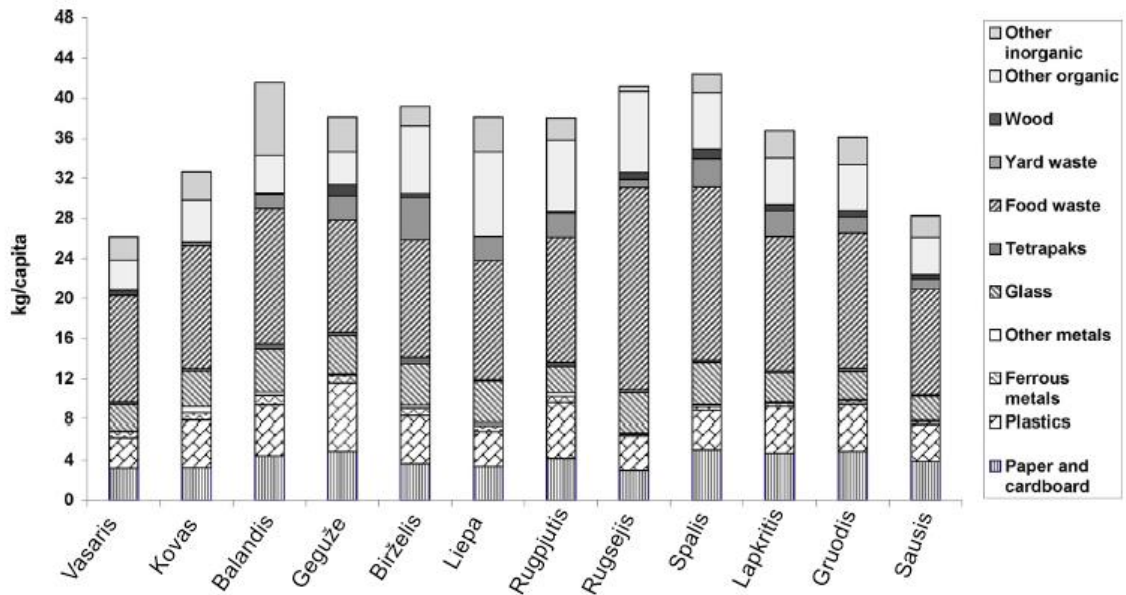
Bendras AAA 2013 m. apskaitytas komunalinių atliekų ir pakuočių atliekų kiekis (vertinant bendrai 15 ir 20 kodų grupei priklausančias atliekas) 2013 m. sudarė apie 343,4 tūkst. tonų.



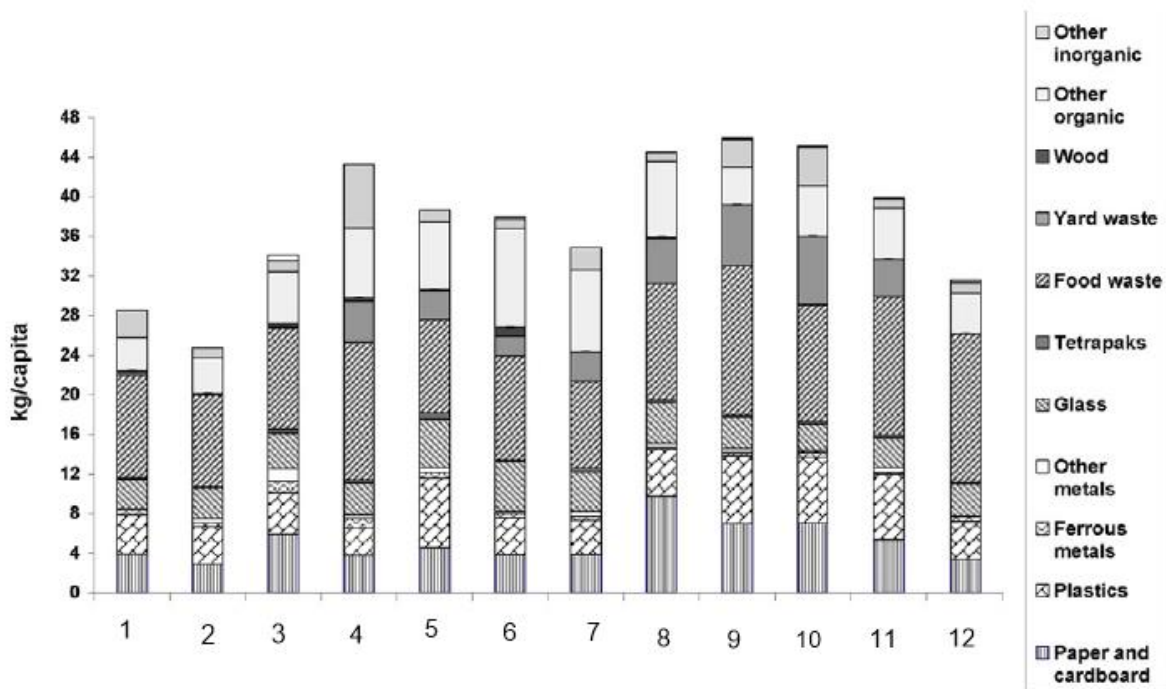
1.1 pav. Vilniaus miesto savivaldybės teritorijoje 2013 m. susidariusių atliekų sudėtis. (AAA, 2014 m.)

1.2 POPIERIAUS ATLIEKŲ SUSIDARYMAS BENDRAME ATLIEKŲ KONTEKSTE

Į šiuolaikinės visuomenės atliekų surinkimo sistemas iš miestų gyvenamųjų ir miegamųjų rajonų pagrindiniai keliaujantys atliekų tipai yra plastikas, stiklas, popierius ir biologinės skaidrios atliekos. 2009 metais G. Denafas atliko tyrimą kurio metu buvo atliekamas Kauno (Lietuva) miesto susidarančių kietųjų komunalinių atliekų vertinimas pagal metų mėnesius. Darbo rezultatai pateikti 1 pav. Didžiausią išmetamų atliekų procentinę mėnesinę dalį sudarė maisto atliekos (angl. *food waste*). 2009 metų vasarį kietųjų komunalinių atliekų buvo išmetama mažiausiai per visą tiriamąjį laikotarpį (26,1 kg/capita), o aukščiausias išmetamų atliekų kiekis buvo rugsėjį (42,4 kg/capita). Metiniam didžiausiam komunalinių atliekų kiekiui įtakos turėjo maistinių atliekų padidėjimas. Taip pat kaip 2009 metais, 2010 metais atliekų mažiausiai susidarė vasario mėnesį (24,8 kg/capita), o daugiausiai – rugsėjį (42,4 kg/capita), tam taip pat kaip ir ankstesniais metais turėjo įtakos maisto atliekų padidėjimas. Specifinis atliekų padidėjimas stebimas 2009 ir 2010 metų balandžio mėnesiais (atitinkamai 42,2 kg/capita ir 43,2 kg/capita). Šie padidėjimai buvo paaiškinami kasmetiniais pavasariniais gyvenamųjų namų ir butų tvarkymaisi, kurių metu išmetama daug nereikalingų namų apyvokos daiktų. Tokie tvarkymosi šalutiniai produktai dažniausiai padidina neorganinių (nedeginamų) atliekų kiekius.



1.2 pav. Kietų komunalinių atliekų mėnesinis pasiskirstymas Kauno (Lietuva) mieste 2009 metais. (Denafas, 2014)



1.3 pav. Kietųjų komunalinių atliekų mėnesinis pasiskirstymas Kauno (Lietuva) mieste 2010 metais, kur nuo 1 iki 12 skaičiais atitinkamai pažymėti metų mėnesiai nuo sausio iki gruodžio. (Denafas, 2014)

Iš 1.2 ir 1.3 paveikslų galima matyti, kad nors ir maža dalis, tačiau susidaro ir tetra pakuočių atliekų, kurios kartu su plastikumu, stiklu ir popieriumi ir sudaro pagrindines pakuočių sudėtinųjų medžiagų frakcijas, kurios vėliau tampa pakuočių atliekomis. Didžioji dalis kietų komunalinių atliekų konteneriuose išmetamų plastikų yra pakuočių plastikai (buteliukai, plėvelės). Labai svarbu sugalvoti perdirbimo būdą, kuris leistų atliekas paversti žaliavomis taip mažinant plastiko

pakuočių atliekų susidarymą. Didelė dalis skirtingų plastikų antriam panaudojimui gali būti perdirbami labai sudėtingai arba juos perdirbti neefektyvu pavyzdžiui *plėvelės*.

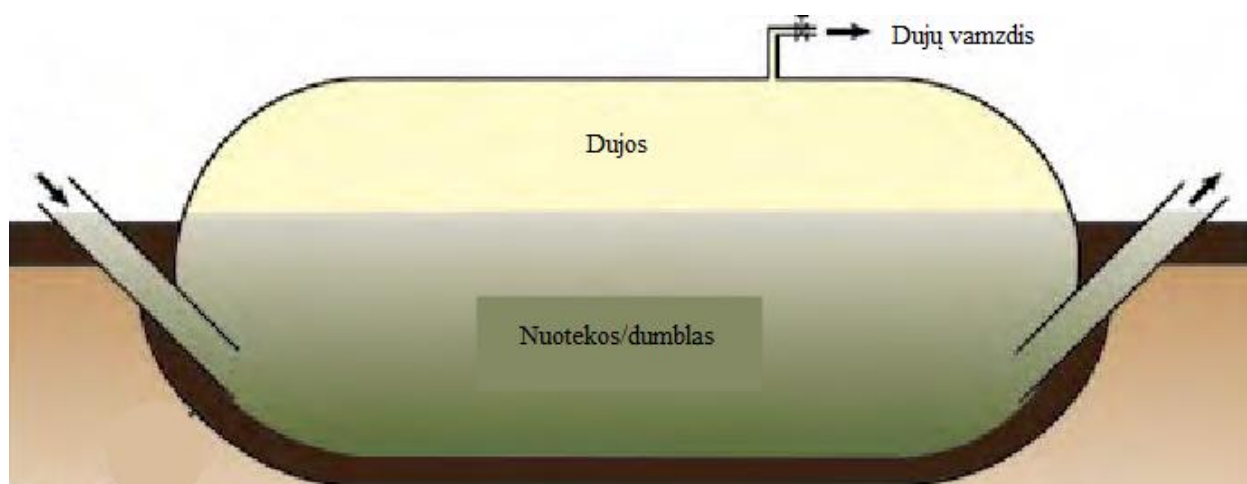
Popieriaus atliekų susidarymas ir 2009 ir 2010 metais Kauno mieste varijuoja nežymiai – nuo 4 iki 10 kg žmogui per mėnesį.

1.3 BIODUJŲ GAMYBA

Biodujos – tai dujos, susidaranti mikromikroorganizmams skaidant organines medžiagas anaerobinėmis sąlygomis, todėl savaime suprantama, kad biodujų gamybos procesą sąlygoja mikroorganizmų veikla. Kuo palankesnės aplinkos sąlygos mikromikroorganizmams gyvuoti, tuo greičiau jie auga ir dauginasi, yra aktyvesni, o tuo pačiu intensyviau visas organinių medžiagų skaidymas ir didėja susidaranti biodujų kiekis. Nors skaidymo procesas yra sąlyginai nesudėtingas, tačiau tinkamos aplinkos palaikymas yra labai jautrus faktorius viso proceso efektyvumui. Yra keturi pagrindiniai biodujų gamybą lemiantys veiksniai:

- Temperatūra - mikromikroorganizmai neturi šilumos reguliavimo mechanizmų, todėl aplinkos temperatūra yra svarbiausias veiksnys, nuo kurio priklauso jų dauginimosi greitis ir biocheminių reakcijų intensyvumas.
- Substrato sudėtis – mikromikroorganizmai gyvena, auga, vystosi ir dauginasi substrate optimaliausiai atitinkančiame gyvybinėse sąlygose. Besimaitindami substrate esančiomis mineralinėmis ir organinėmis medžiagomis, jie nuolat keičia substrato maisto medžiagų kiekis taip pat išskirdami medžiagų apykaitos produktus. Būtent dėl šios priežasties, labai sunku palaikyti optimalią aplinką organizmams – jie nuolat keičia atskirų medžiagų koncentracijas.
- Substrato rūgštingumas - mikromikroorganizmai gali skaidyti ir sintetinti medžiagas tik esant tam tikram substrato rūgštingumui, pH, pav. metaną gaminančių metanogeninių bakterijų veikla yra intensyviausia pH esant nuo 6,5 iki 7,5.
- Stimuliatoriai bei inhibitoriai – stimuliatoriai yra medžiagos spartinančios mikromikroorganizmų procesus, o inhibitoriai – lėtinančios.

1.4 paveiksle pateiktas supaprastintas anaerobinio skaidymo rezervuaras, kuriame turi būti palaikoma optimali terpė, kad iš bioskaidžių medžiagų mikromikroorganizmai gamintų biodujas surenkamas per dujų vamzdį.



1.4 pav. Anaerobinio skaidymo rezervuaras. (www.researchgate.net, žiūrėta 2017.04.02)

Biodujų gamyba ES šalyse 2007 m. sudarė apie 5900 ktne iš kurių biodujų iš žemės ūkio atliekų dalis bendroje biodujų gamyboje sudarė 36% (2108 ktne), o likę 64% - iš sąvartynų surenkamos biodujos (2905,2 ktne) ir iš nutekamųjų vandenų valymo įmonių dumblas susidarančios biodujos (887,2 ktne).

Nors Lietuvoje biodujų energetika plėtojama daugiau kaip 15 metų, per šį laikotarpį pastatytos 7 jėgainės iš kurių veikia vos penkios anaerobiniu būdu perdirbančios biodegraduojančias organinės kilmės atliekas ir gaminančios šiluminę energiją. Šios gamyklos bendrais skaičiavimais per metus perdirba apie 320 tūkst. t įvairių tipų biodegraduojančių atliekų ir pagamina apie 4,1 mln. m³ biodujų. Biodujos panaudotos kaip kuras sugeneruoja apytiksliai 20 mln. kWh energijos: apie 8 mln. kWh elektros ir apie 12 mln. kWh šiluminės energijos. Pagrindinės keturios žaliavų grupės iš kurių Lietuvoje gaminamos biodujos yra žemės ūkio atliekos, pramonės atliekos, komunalinės atliekos ir nutekamųjų vandenų dumblas.

Bendras instaliuotų generavimo šaltinių potencialas Lietuvoje neišnaudojamas. Dirbančių biodujomis jėgainių galingumas siekia iki 5,5 MW, iš jų elektros generavimo įrenginių galia – apie 2 MW, šilumos – apie 3,5 MW.

1.4 POPIERIAUS GAMYBA IR GAMYBOS ATLIEKŲ TVARKYMO TECHNOLOGIJOS

Šiame skyriuje aprašoma popieriaus sudėtis, jo gamybos procesai, popieriaus atliekų ir popieriaus gamybos proceso atliekų tvarkymo būdai.

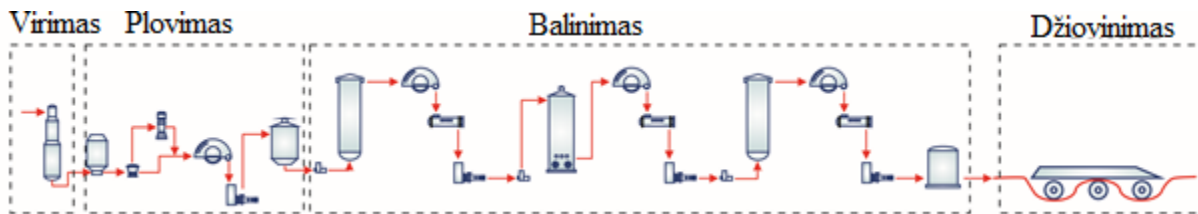
Prieš pradėdant nagrinėti popieriaus gamybos procesus svarbu suprasti popieriaus struktūrą ir iš ko jis gaminamas. Yra keletas skirtingų popieriaus rūšių besiskiriančių gamybos sudėtingumu ir pačio produkto kokybe. Minkštimas (dar kitaip medienos minkštimas, *angl.* pulp), kaip pirminis

popieriaus gamybos produktas, yra lignoceliuliozės pluoštas kuris pagaminamas iš medžio, pluoštinių augalų arba popieriaus atliekų chemiškai arba mechaniškai atskiriant celiuliozę. Medienos minkštimo gamybos tikslas – atskirti celiuliozės pluoštus nuo medienos struktūros. Daugeliu atžvilgių medienos minkštimas gali būti naudojamas kaip prastesnės kokybės popierius naujienlai kraščiams. Aukštesnės kokybės popierius yra toks, kuris gaminamas kartu suspaudžiant keletą sluoksnių šlapio celiuliozės minkštimo pluošto.

Masės trynimas (angl. *pulping*) gali būti skirstomas į dvi skirtingas grupes pagal gamybos technologiją: cheminį ir mechaninį. Abi minėtos grupės bus aptariamos 1.4.1 poskyryje. Labiau bus aptariamas cheminis popieriaus gamybos būdas, jis yra dažniau naudojamas popieriaus gamybos pramonėje. Mechaninis gamybos būdas bus lyginamas su cheminiu.

1.4.1 Cheminis ir mechaninis popieriaus gamybos būdai

Mechaninė gamyba nuo cheminės skiriasi tiek sudėtingumu, tiek proceso galutiniu produktu.



1.5 pav. Supaprastinta cheminiu metodu gaminamo popieriaus schema (Jesus Martinez Patino ir Martin Picon Nunez, 2011).

Pagrindinis skirtumas tarp dviejų minėtų gamybos metodų yra tas, kad cheminio masės trynimo metodas remiasi cheminių medžiagų galimybe atskirti celiuliozės pluoštus iš medienos tekstūros, o mechaninės gamybos procesas remiasi fiziniais veiksmais.

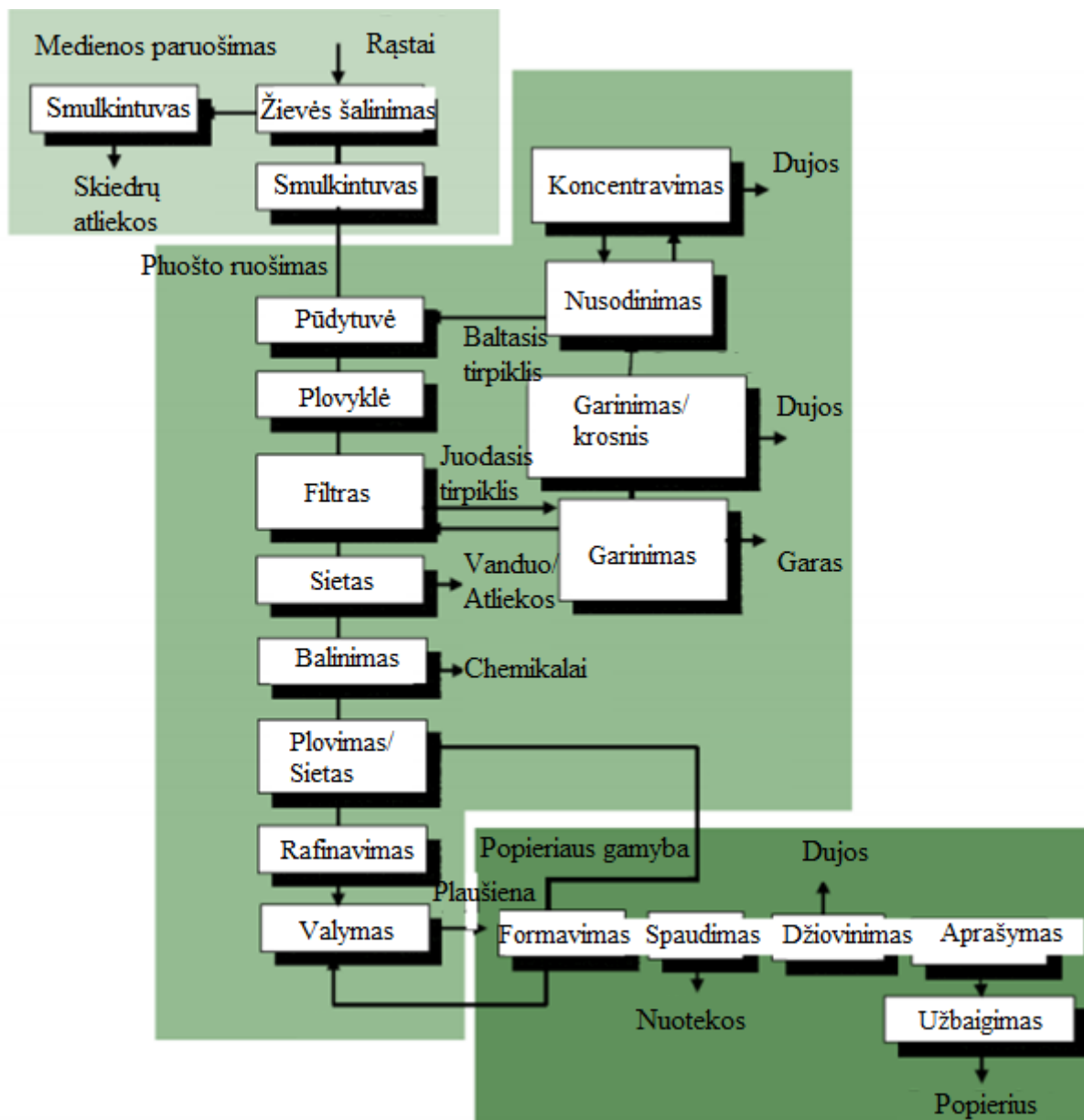
Yra du pagrindiniai cheminės gamybos tipo procesai – *kraft* arba *kraftceliuliozės* procesas (bazė yra aktyvioji medžiaga) ir *sulfite* arba *sulfitinis* procesas (rūgštis yra aktyvioji medžiaga), kurie iš esmės skiriasi tik naudojama aktyviajia medžiaga – techniniai procesai ir įranga reikalinga šiems dviems gamybos būdams yra identiška.

Mechaniškai pagamintas minkštimas, dar kitaip šaltiniuose vadinamas plaušiena, susideda iš dviejų fragmentų – didelių celiuliozės pluoštų ir mažesnių pluoštų fragmentų, kurie suteikia popieriui geltonai pilkšvą spalvą, nepermatomumą ir labai švelnų paviršių. Be to mechaninio gamybos proceso gamybos efektyvumas yra kiek didesnis nei cheminis gamybos efektyvumas, būtent todėl mechaniškai išgautas popierius charakterizuojamas kaip aukštos išeigos, standaus popieriaus ir nedidelių kaštų popieriaus gamybos būdas (Jesus Martinez Patino ir Martin Picon Nunez, 2011). Verta paminėti, kad mechaniškai pagamintas popierius yra labai silpnas, dėl lignino

popieriaus gamybos metu sąveikaujančio su vandeniliu tarp pluoštiniuose sluoksniuose. Abiejų cheminio proceso kai sąveikauja bazė ir kai sąveikauja rūgštis gamybos popieriaus išeiga yra žymiai mažesnė nei mechaniškai gaminamo popieriaus, nes ligninas yra visiškai ištirpdomas pluoštų atskyrimo metu, nors verta paminėti, kad chemiškai gaminamo popieriaus procese ištirpintas ligninas gali būti panaudojamas kaip kuro pakaitalas šildantis krosnį kuri svarbi pirmajame popieriaus gamybos etape – virimo procese.

1.5 paveikslas rodo supaprastintą cheminį popieriaus gamybos procesą. Prieš pat pirmąjį paveiksle iliustruotą žingsnį, virimą, nuo medžio yra nuimama žievė ir jis sukapojamas. Iš medžio skiedrų pašalinami visi panaudojami mineralai ir per dideli skiedrų gabalėliai. Tinkamo dydžio skiedros paduodamos į slėgio kamerą po kurios pradedamas pirmasis 0 paveiksle pažymėtas procesas – virimas. Iš skiedrų išgarinama kaip įmanoma daugiau oro, o virimo temperatūra palaikoma kol norimo lygio medžiagų delignifikacija pasiekama. Po delignifikacijos proceso medžiagos iš katilo keliauja į džiovinimo kamerą kurioje yra nuplaunamos ir patikrinamos (antras žingsnis, 1.6 pav.). Lignino likutis pašalinamas iš plaušienos balinimo būdu cheminiais reagentais. Balinimo procesas yra labiausiai chemiškai teršianti viso popieriaus gamybos proceso stadija. Prieš balinimo procesą plaušiena pasižyminti dideliu pluošto stiprumu yra tamsiai rudos spalvos, o balinant įgauna norimą šviesų atspalvį ir sudaro didelį kiekį nuotekų kurios reikalauja valymo (Meyer T., Edwards E. A., 2014). Po balinimo proceso atlikusi suspensija mikserių pagalba išpumpuojama į vamzdinį reaktorių ir taip transportuojama į valymo įrenginį išfiltruojantį ištirpusias medžiagas. Vanduo likęs plaušienoje išgarinimas džiovinimo proceso metu.

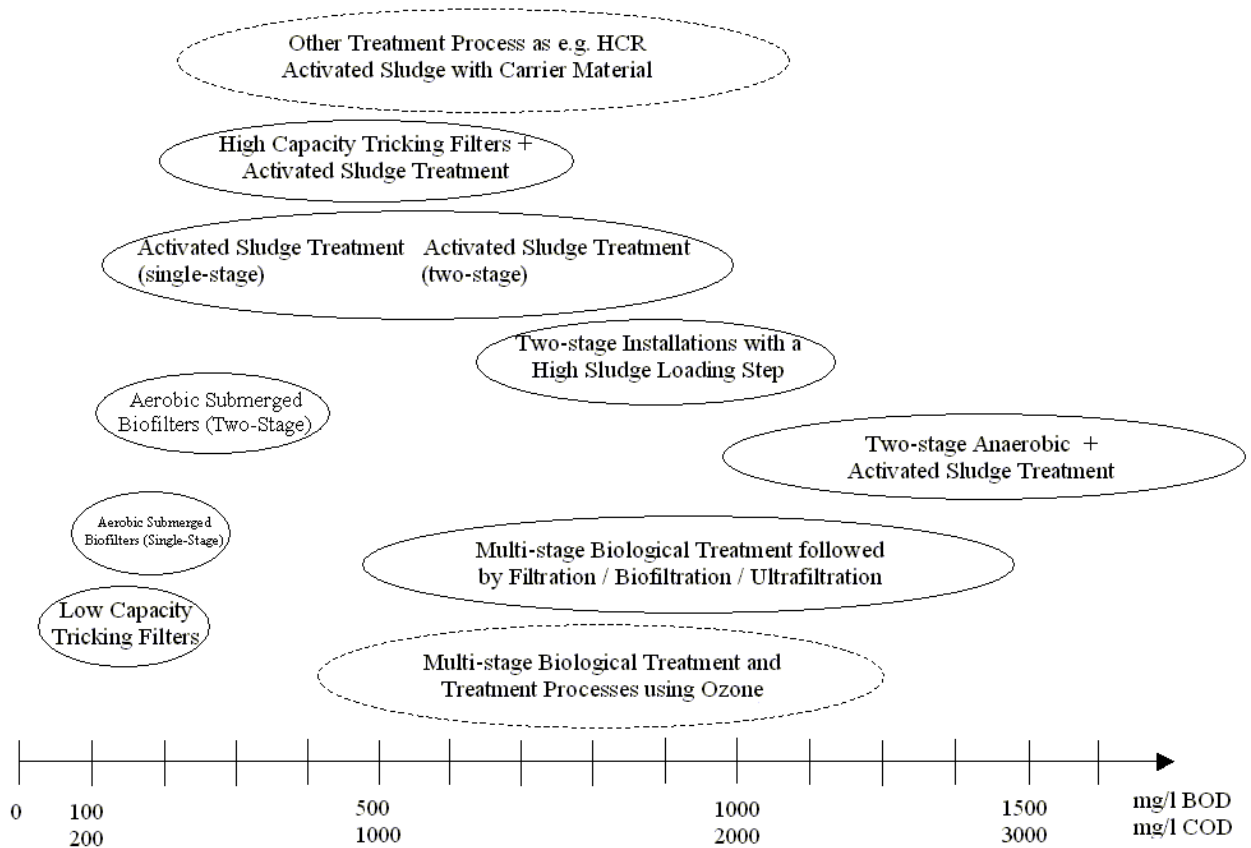
1.6 paveiksle – platesnė ir sudėtingesnė srautų diagrama kuri sugrupuota į tris pagrindinius plaušienos ir popieriaus gamybos žingsnius – medžio paruošimą, plaušienos trynimą ir popieriaus gamybą. Ši diagrama taip pat įtraukia kiekvieno proceso išeigos medžiagas kaip baltasis ir juodasis tirpikliai (dar vadinami likeriais, angl. *white liquor*, *black liquor*), nuotekos, chemikalai, ir kt. Baltojo tirpiklio sudėtyje galima rasti bent vieną paviršinio aktyvumo medžiagą iš grupės į kurią įeina polimetilalkilsiloksanai – medžiaga, kuri tinkamai apdorojus, gali būti skaidoma anaerobiškai taip gaminant biodujas. Virimo proceso metu maždaug pusė medžio skiedrų tampa suspensija kuri vadinama juodasis tirpiklis, kuris prieš balinimo procesą atskiriamas nuo bendro plaušienos srauto. Juodojo tirpiklio sudėtis – vandeninis tirpalas su lignino likučiais, hemiceliuliozė ir organiniai chemikalai naudojami plovimo ir filtravimo procesuose. Juodasis tirpiklis, esant idealiam scenarijui, taip pat galėtų būti anaerobiškai skaidomas jei prieš skaidymo procesą pirminis apdorojimas pašalintų jame esančius chemikalus. Kai kuriose gamyklose sunku pagrįsti anaerobinį nuotekų ir dumblo skaidymą, nes šiose atliekose yra sąlyginai mažas organinių medžiagų kiekis ir didelis nepageidaujamų chemikalų kiekis (Meyer T., Edwards E. A., 2014).



1.6 pav. Popieriaus ir minkštimo gamybos srautų detali diagrama. (Staudt, 2010)

1.4.2 Anaerobinis popieriaus gamybos dumblo skaidymas

Viena iš nepavojingų popieriaus gamyklos atliekų gaunamų trynimo ir balinimo procesuose yra dumblas. Dumblo atliekų utilizavimo svarba nėra pirminė, todėl įrenginių pačioje gamykloje valančių nuotekų dumblą pasitaiko retai, skirtingai nei nuotekoms kuriose esama chlorintų fenolių, dioksinų ir furanų. Išvalytos nuotekos dažnai nusistovi ir yra sandėliuojami su dumbliu.



1.7 pav. Pagrindinės popieriaus gamyklos nuotekų vandens valymo technologijos ir jų taikymo priklausomybė nuo COD ir BOD rodiklių.

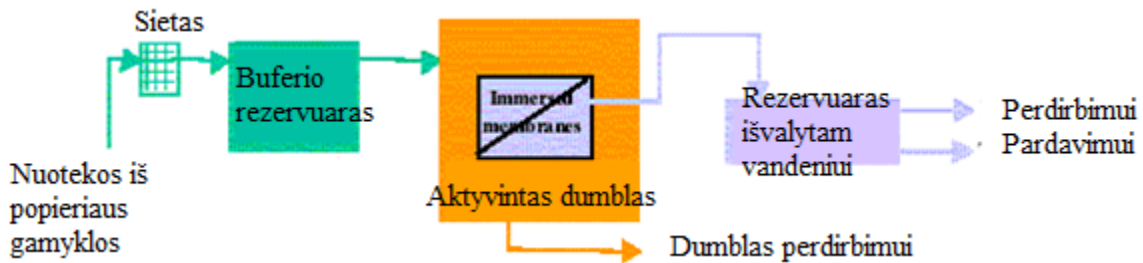
(http://ied.ineris.fr/sites/default/interactive/brefpap/bref_pap/english/bref_illus_gb.htm, N.A)

0 paveikslėlyje rodomi visi nuotekų vandens valymo būdai, naudojami popieriaus gamyklose norint sukcentruoti dumblą ir išgryninti vandenį antriniam panaudojimui. Valymo technologija pasirenkama priklausomai nuo biocheminio deguonies suvartojimo rodiklio (BOD) bei cheminio deguonies suvartojimo rodiklio (COD) nuotekose (matavimo dydis – mg/l).

Dažniausiai naudojamos nuotekų valymo technologijos BOD ir COD skalėje (0 paveiksle) pasiskirsto nuo 0 iki apytiksliai 1800 mg/l BOD ir nuo 0 iki apytiksliai 3500 mg/l COD. Valymo technologijos išsiskirsto į fizinius filtrinius membraninius procesus ir filtrinius biologinius procesus, kur valymas vyksta mikroorganizmų pagalba. Paprasta fizikos jėgomis paremta filtracija yra mažiau sudėtingesnė ir jos efektyvumas lengviau nuspėjamas. Kai proceso eigą lemia biologinis faktorius, pats procesas yra sunkiau nuspėjamas – sunkiau prognozuoti organizmų valymo efektyvumą ir bendrą organizmų elgseną. Mikroorganizmai reikalauja specifinė aplinkos sąlygų, kad galėtų gyventi ir funkcionuoti bei daugintis, bei yra itin jautrūs net menkiausiems aplinkos pakitimams. Nepaisant šio fakto, skaidymas mikroorganizmų pagalba yra vienas geriausių ir dažniausiai naudojamų metodų tvarkant organines atliekas.

Principinė popieriaus gamyklos nuotekų valymo mikroorganizmų pagalba schema pateikta 1.8 pav. Popieriaus gamybos nuotekos atkeliavusios iš proceso pro filtravimo sijos rezervuarą

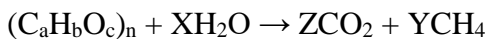
keliauja į buferinio tirpalo rezervuarą po kurio su buferiu susimaišiusios nuotekos įplaukia į aktyvuoto dumblo rezervuarą su panardintomis membranomis. Filtravimo metu iš nuotekų sukonzentruojamas dumblas kuris vėliau sandėliuojamas ir keliauja į perdirbimą, o išvalytas vanduo keliauja į dar vieną buferinį rezervuarą. Vėliau šis vanduo yra panaudojamas gamybos procesams.



1.8 pav. Membranos bioreaktorių naudojantis aktyviajame dumble panardintos membranos.

(http://ied.ineris.fr/sites/default/interactive/brefpap/bref_pap/english/bref_illus_gb.htm, NA)

Pagrindinė anaerobinio skaidymo reakcijos lygtis yra:



Anaerobinis organinių atliekų skaidymas gali sumažinti dvi problemas vienu metu – sušvelninti ekologinės taršos spaudimą neignoruojuot augančios ekonomikos keliamų iššūkių. (Meyer T., 2014). Pateikta lygtis rodo supaprastintą organinio junginio ar polimero formulę kuri mikroorganizmų pagalba transformuojama į anglies dvideginį ir metaną. Anaerobinis skaidymas ne tik sumažina atliekų tūrį – išsiskiriančios biudujos (metanas) gali būti panaudojamas kaip kuras. Nepaisant teorinių galimybių, kaip anksčiau šiame poskyryje minėta, popieriaus gamybos proceso dumblas yra labai sudėtingas junginys kuriam tinkamai išskaidyti anaerobiškai reikia pirminio apdoravimo ir daugiau tyrimų. Dėl informacijos stokos šioje srityje, daugiau tyrimų turėtų būti atlikti norint įvertinti mikroorganizmų adaptacijos prie lignoceliuliozinių medžiagų adaptaciją, nes būtent šios medžiagos sudaro daugiau negu 50 procentų organinių medžiagų esančių popieriaus gamybos proceso dumble (Meyer T., Edwards E. A., 2014). Ankstesni moksliniai tyrimai indukuoja pradines dumblo anaerobinio skaidymo galimybes – kai dumblas nebuvo papildomai apdorotas prieš skaidymo procesą labai plačiai varijuoja kenksmingų medžiagų pašalinimo produktyvumas. Meyer straipsnyje apskaičiuota, kad lakiųjų organinių junginių iš dumblo pašalinimas siekia nuo 21 iki 55 procentų, o metano išgaunami kiekiai svyruoja nuo 40 iki 200 mL/g priklausomai nuo pirminio dumblo sudėties (Meyer T., Edwards E. A., 2014).

Lentelė 1.1 Pirminio (neapdoroto) popieriaus gamybos dumblo apskaičiuota sudėtis, kur VS – lakios kietos medžiagos, o TS – bendras kietųjų medžiagų kiekis. (Migneault et al, 2011).

Parametrai	Komunalinis biodumblas	Pirminis popieriaus gamybos dumblas	Popieriaus biodumblas	Šaltiniai
Visas sausų kietų medžiagų kiekis (iš bendro kiekio)	0,8 - 1,2	1,5 – 6,5	1,0 – 2,0	1 – 3
Organiniai junginiai (% TS)	59 – 68	51 - 80	65 - 97	1, 2
Pelenų kiekis (% TS)	19 – 59	20 - 49	12 - 41	4, 5
N (% TS)	2,4 - 5,0	0,1 - 0,5	3,3 – 7,7	1, 2, 5
P (% TS)	0,5 – 0,7	-	0,5 – 2,8	1, 2
pH	6,5 – 8,0	5 - 11	6,0 - 7,6	1, 2, 6
Energinė vertė (MJ/kg sausos masės)	19 – 23	14 - 20	22 - 25	1, 2, 7
Angliavandeniai (% VS)	17	-	0 - 23	8, 9
Baltymai (% VS)	46 – 52	-	22 - 52	8, 9
Riebalai (% TS)	5 – 12	-	2 - 10	10, 11
Celiuliozė (% TS)	~1	36 - 45	19 - 27	12, 5
Ligninas (% TS)	< 0,1	20 - 24	36 - 50	12, 5

Šaltiniai: ¹Tchobanoglous et al. (2003); ²Elliott ir Mahmood (2007), ³Scott ir Smith (1995); ⁴Khan et al. (1991) ⁵Migneault et al. (2011); ⁶Ochoa de Alda (2008); ⁷Likon ir Trebše (2012); ⁸Frølund et al. (1996); ⁹Kyllonen et al. (1988); ¹⁰Pokorna et al. (2009); ¹¹Navia ir Mittelbach (2012); ¹²Zorpas et al. (2011).

Remiantis Mayer ir Edwards moksliniais tyrimais atliktais 2010 metais lignoceliuliozės, mikroorganizmų biojunginių ir panašių organinių junginių (dar vadinamų EPS, ląsteliniiais polimeriniais junginiais, angl. *extracellular polymeric substances*) hidrolizė yra labai sudėtinga ir užtrunka ilgą laiką, todėl moksliskai anaerobinis šių medžiagų skaidymas vis dar yra tyrinėjimo stadijos ankstyvuosiuose žingsniuose. Elliott ir Mahmood (2007) savo tyrimo medžiagoje pateikė išsamią apžvalgą apie terminį, cheminį, biologinį ir fizikinį popieriaus gamybos biodumblo pirminio tvarkymo metodus, kurie galėtų padidinti anaerobinį dumblo skaidumą, tačiau pats straipsnis buvo parengtas prieš 10 metų, o šaltiniai kuriais remiamasi referuoja į atliekų dumblą

ne iš popieriaus gamybos pramonės. Eksperimentiniai moksliniai straipsniai orientuoti į popieriaus gamybos dumblo valymo technologijas ir naudojančias mėginius gautus iš popieriaus gamyklų yra reti (Meyer and Edwards, 2010).

Popieriaus gamyklos biodumblo sudėtis labai skiriasi nuo komunalinio biodumblo, kaip rodo 1.1 lentelė. Pagrindinis skirtumas tarp minėtų atliekų yra celiuliozės ir lignino kiekiai - popieriaus gamybos dumble randamas apie 27 kartus didesnis celiuliozės kiekis ir net iki 500 kartų didesnis lignino kiekis nei komunaliniame dumble. Ieškant naujų metodų galinčių ekonomiškai efektyviau valyti popieriaus gamybos dumblą Mayers and Edwards (2010) buvo tirtos popieriaus gamyklos vidaus atliekų produktų koskaidymo galimybės. Minėtas tyrimas parodė, kad tos pačios rūšies atliekų koskaidymas yra neefektyvus būdas dumblui tvarkyti. Tas pats tyrimas taip pat parodė, kad termofilino anaerobino pirminio dumblo skaidymo metu išsiskyrė iki per pus daugiau metano (190-240 mL/g priklausomai nuo atliekų sudėties), nei maišant pirminį dumblą su biodumblu (150-170 mL/g). Nepaisant jau šiame darbe minėtų mokslinių darbų, atliekami nauji tyrimai norint iširti kaip varijuoja biodujų išsiskyrimas anaerobinio skaidymo metu, kai į sistema koskaidymui paduodamos skirtingos gamybinės atliekos.

2. METODIKA

Šiame skyriuje bus aprašoma tyrimų metodika naudota išpildyti šio darbo temai, pateiktai įvade. Pirmiausia bus aptariama kokia informacija buvo naudota, minimi šaltiniai. Taip pat bus paminėtas teorinis šių duomenų patikimumas.

2.1 DUOMENŲ RINKIMAS

Procesų skaičiavimams reikalingi duomenys pagrinde surinkti iš nagrinėtų mokslinių straipsnių, kuriuose aprašomi popieriaus gamybos atliekų susidarymas, gamybos proceso atliekų tvarkymo galimybės, popieriaus atliekų susidarymas bei tų atliekų integravimas į popieriaus gamybos atliekų koskaidymo procesą taip efektyviau gaminat biodujas. Rasta ir sukaupta informacija buvo išanalizuota ir atrinkti tik temą atspindintys straipsniai. Galima teigti, kad naudoti šaltiniai buvo patikimi, nes didžioji dalis jų buvo gauti iš akademinės duomenų bazės ScienceDirect.

Renkantis straipsnius analizei ir norint užtikrinti informacijos respektabilumą, buvo naudojami recenzuoti šaltiniai. Didžiojoje dalyje straipsnių duomenų rinkimo metodai buvo aprašyti gana detalai, nepaisant fakto, kad popieriaus gamybos pramonės nuotekų valymo technologijos yra žymiai plačiau aprašinėjama sritis nei popieriaus gamybos dumblo. Taip pat buvo minima, kad popieriaus gamybos dumblo valymo technologijų sritis nėra pakankamai plačiai išvystyta ir ištyrinėta, todėl bendrame šio darbo kontekste informacija tampa mažiau objektyvi dėl trūkstamos tyrimų informacijos apie biodumblo valymo technologijas ir dumblo koskaidymo galimybes.

2.2 POPIERIAUS ATLIEKŲ MORFOLOGINĖS SUDĖTIES TYRIMAI

2015 – 2016 metais Alytaus regiono atliekų tvarkymo centro prašymu buvo vykdomas projektas kurio metu buvo analizuojamos atliekos iš 7 skirtingų Alytaus regionų surinktų frakcijų. Projekto tiriamojo laikotarpio metu mechaniniu būdu buvo išrūšiuota apie 2 tonos atliekų, kurios buvo gaunamos atitinkamai kas mėnesį iš tų pačių septynių regionų. Frakcijos buvo suskirstytos taip – Alytaus miesto varpų popierius, Alytaus miesto varpų plastikas, Alytaus rajono varpų popierius, Alytaus rajono varpų plastikas, Alytaus miesto individualių namų konteineriai, Varėnos miesto individualių namų konteineriai ir Varėnos rajono individualių namų konteineriai. Projekto tikslas buvo ištirti įvairių atliekų susidarymo sezoniškumą kuris galėtų padėti prognozuoti metinį atliekų susidarymo rodiklį ir taip suvaldyti atliekų srautus efektyviai nukreipiant prognozuojamus jų kiekius į perdirbimą.

Siekiant įvertinti perdirbimui tinkamų popieriaus atliekų dalį bendrame komunalinių atliekų sraute, buvo tiriama Alytaus atliekų tvarkymo regione susidarančių pakuočių atliekų sezoninė morfologinė sudėtis. Kauno technologijos universitetas kaip projekto rangovas įvykdė projektą ir parengė ataskaitą užsakovui UAB „Alytaus regiono atliekų tvarkymo centrai“. Projekto vykdymo metu surinkta informacija apie kartono ir popieriaus atliekų kiekius toliau šiame darbe panaudota tiriant neperdirbamų popieriaus atliekų ir popieriaus gamybos atliekų anaerobinio skaidymo susidarant biodujoms galimybes. Darbo metodika buvo sudaryta iš trijų pagrindinių dedamųjų - atliekų paėmimo vietos ir kiekių, atliekų paėmimo laiko ir atliekų rūšiavimo pagal identifikuotas frakcijas ir subfrakcijas.

- Atliekų paėmimo vietos ir kiekiai:

Atskiras perdirbamų atliekų (tame tarpe ir pakuočių atliekų) surinkimas dažniausiai taikomas daugiabučių namų kvartaluose Lietuvoje vykdomas specialių varpo pavidalo konteinerių pagalba. Šie skirtingų spalvų konteineriai skirstomi į popieriaus ir kartono, plastiko ir metalo bei stiklo konteinerius. Alytaus mieste ir Alytaus rajono seniūnijose atliekos projekto vykdymui iš popieriui ir plastikams skirtų konteinerių buvo imamos atsitiktiniu būdu.

Nedaugiabučių kvartalų gyventojų iš Alytaus miesto ir rajono bei aplinkinių miestelių teritorijų individualiuose konteineriuose rūšiuotos komunalinės, popieriaus ir plastiko atliekų frakcijos projekto tyrimui taip pat buvo imamos atsitiktiniu būdu.

Varėnos rajono kaimo teritorijų gyvenvietėse individualiais konteineriais bendrai surenkamos perdirbamos pakuočių atliekos tyrimui buvo imtos atsitiktiniu būdu.

Tokiu būdu iš individualių konteinerių, plastikui skirtų varpo pavidalo konteinerių bei popieriui skirtų varpo pavidalo konteinerių kiekvienoje aukščiau minėtoje vietovėje kiekvieną sezoną morfologinei analizei buvo imama po ~ 300 kg konteinerių turinio.

- Atliekų paėmimo laikas:

Atliekos atsitiktiniu būdu tyrimui imtos 2015 m. liepos ir spalio mėnesiais, bei 2016 m. vasario – gegužės mėnesiais.

- Atliekų rūšiavimas pagal identifikuojamas morfologines frakcijas ir subfrakcijas:

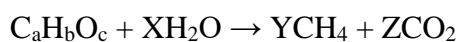
Iš paimtų atliekų ėminių rankiniu būdu atskiriamos 1 priede įvardytos frakcijos ir subfrakcijos, kurios būdingos bendram komunalinių atliekų srautui (nepriklausomai nuo atskiro surinkimo laipsnio) arba mišrioms atliekoms. Šis skirstymas buvo taikomas ir atskirai varpo formos konteineriuose surenkamoms frakcijoms, nes juose viso tyrimo metu buvo randama įvairių frakcijų priemaišų. Tokiu būdu nustatant morfologinę komunalinių atliekų sudėtį, atliekų ėminys pirmiausia yra persijojamas per 20 mm akučių skersmens sietą, kad pradžioje būtų atskirta smulki frakcija, kurioje identifikuoti įprastas frakcijas ir subfrakcijas yra sudėtinga.

2.3 ATVEJO ANALIZĖ ĮMONĖSE

Šiame darbe taip pat tirama atvejo analizė įtraukiant įmones UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ ir UAB „Grigeo Grigiškės“ (arba tiesiog UAB „Grigeo“). Šios įmonės yra vienos didžiausių ir pagrindinių popieriaus pramonės įmonių Lietuvoje ir Pabaltijyje. AB „Grigeo“ pagrindinė veikla įtraukia tualetinio popieriaus, popierinių rankšluosčių ir servetėlių, gofruotojo kartono ir gofruotojo kartono gaminių gamybą. AB „Grigeo Klaipėda“ – gamina žaliavą gofruoto kartono gamybai – testlainerį (lygių sluoksnių kartoną), fliutingą (gofruoti skirtą popierių) ir korinį užpildą, kuris naudojamas baldų pramonėje. Tyrimo metu buvo kontaktuojama su įmonės darbuotoja referente Renata Urbaitiene elektroniniais laiškais norint sužinoti informaciją apie gamyklos gamybinius ypatumus, kadangi internetinėje svetainėje www.grigeo.lt/ gamybos procesų informacija nebuvo teikiama. Gautos gamybos atliekų charakteristikos buvo panaudotos efektyvumo skaičiavimuose pateiktuose 2.4 poskyryje. Visa kita informacija susijusi su biodumblo skaidymo metodais kurios iš kontaktinio asmens gauti nepavyko buvo pagrįsta dabartinių technologijų pritaikymo galimybių spekuliacijomis atkreipiant dėmesį į įmonių politikos ideologiją – palaikyti ekonominį augimą.

2.4 BIODUJŲ SUSIDARYMO IR JŲ ENERGETINIO POTENCIALO SKAIČIAVIMAI

Teorinis metano kiekis gaunamas iš medžiagų gali būti apskaičiuojamas elementinės sudėtinės analizės pagalba. Pasinaudojama ir skaičiavimams pritaikoma literatūros analizėje cheminę anaerobinio skaidymo lygtis kur $C_aH_bO_c$ yra skaidomoji medžiaga, o X, Y ir Z dedamieji naudojami išlaikyti balansui abiejose lygties pusėse:



kur lygties kintamieji išskaičiuojami taip:

$$C: a = Y + Z \rightarrow Y = a - Z ;$$

$$O: c + X = 2Z \rightarrow X = 2Z - c ;$$

$$H: b + 2X = 4Y \rightarrow b + 2X = 4a - 4Z .$$

Iš šių lygčių išskaičiuojami:

$$Z = \frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} ;$$

$$Y = \frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} ;$$

$$X = a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} .$$

Gaunama bendroji lygtis naudojama apskaičiuoti teorinį metano išsiskyrimo kiekį skaidymo metu:



Toliau metano ir anglies dioksido kiekiai išskaičiuojami pagal formules:

$$\frac{m_{CH_4}}{m_{C_aH_bO_c}} = \frac{(n \times M)_{CH_4}}{(n \times M)_{C_aH_bO_c}} \quad \frac{m_{CO_2}}{m_{C_aH_bO_c}} = \frac{(n \times M)_{CO_2}}{(n \times M)_{C_aH_bO_c}} \quad (3.2)$$

Išskaičiuojamas metano ir anglies dioksido teoriniai susidarantys tūriai pagal duotuosius tankius normaliomis sąlygomis ($T=0^\circ\text{C}$; slėgis $p=101,3\text{kPa}$):

$$\text{Metano} - \rho_{CH_4} = 0,72 \text{ kg/m}^3 ;$$

$$\text{Anglies dioksido} - \rho_{CO_2} = 1,97 \text{ kg/m}^3.$$

Biodujų išėigos iš popieriaus gamybos nuotekų dumblo dujų apskaičiuoti iš pradžių apskaičiuojama lakiųjų organinių junginių dalis (iš bendros sausos kietų medžiagų masės):

$$VS_i = xVS_{,i} \times TS_i \quad (3.3)$$

kur VS_i yra lakiųjų kietų junginių dalis iš bendros sausos kietų medžiagų dumblo masės [kg/metus], $xVS_{,i}$ yra lakiųjų organinių junginių dalis bendroje sausoje masėje [-] ir TS_i yra bendras sausų kietųjų medžiagų kiekis [kg/a]. Bendras sausų kietųjų medžiagų kiekis apskaičiuojamas:

$$TS_i = (1 - x_{H_2O,i}) \times mm_{,i} \quad (3.4)$$

kur $x_{H_2O,i}$ vandens dalies kiekis nuotekų dumblo [-], o $mm_{,i}$ yra kasmetinis dumblo frakcijos generacijos kiekis i [kg/metus].

Antra, biodujų išgavimo kiekis kiekvienam nuotekų dumblo frakcijos komponentui yra apskaičiuojamas atskirai naudojant nuotekų dumblo komponento charakteristiką:

$$V_{CH_4} = y_{CH_4,i} \times VS_i; \quad (3.5)$$

kur V_{CH_4} yra biodujų tūris gaunamas iš frakcijos komponento i [m^3] ir $y_{x,i}$ yra metano išėiga gaunama iš dumblo i [m^3/kgVS]. Bendras gautų dujų kiekis susumuojamas iš visų nuotekų komponentų gautų susidarančių biodujų tūrių. Apskaičiavus visus aukščiau pateiktus rodiklius įmanoma palyginti ir optimizuoti metano generacijos efektyvumą maišant panašios sudėties atliekas su didesniu anaerobinio skaidymo efektyvumu norint pasiekti optimaliausią C:N santykį ir taip pat pakelti VS kiekį (Priadi C. et al 2014).

Biodujų šiluminiam efektyvumui apskaičiuoti naudojama formulė:

$$EP = LHV_{CH_4} \cdot V_{CH_4} \quad (3.6)$$

kur EP yra energijos potencialas gautas iš popieriaus gamybos nuotekų dumblo biodujų [kWh/a], LHV_{CH_4} yra žemiausia sauso junginio šiluminė vertė (angl. *lower heating value*) [MJ/m^3]. Metano LHV lygi 50 MJ/kg, o anglies dvideginis LHV neturi, todėl taip pat neturi ir šiluminio potencialo.

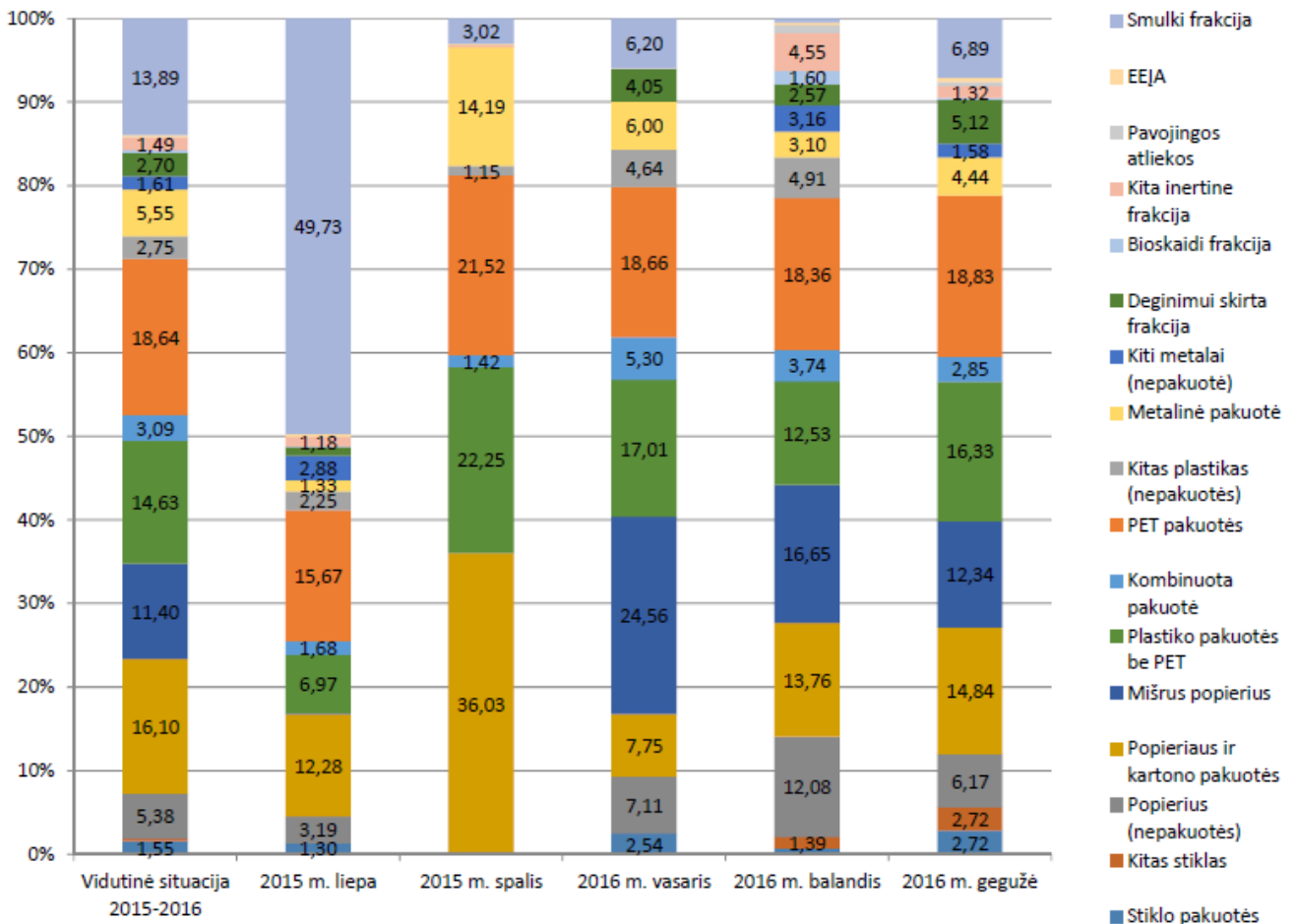
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1 POPIERIAUS ATLIEKŲ KIEKIAI IR SUDĖTIS

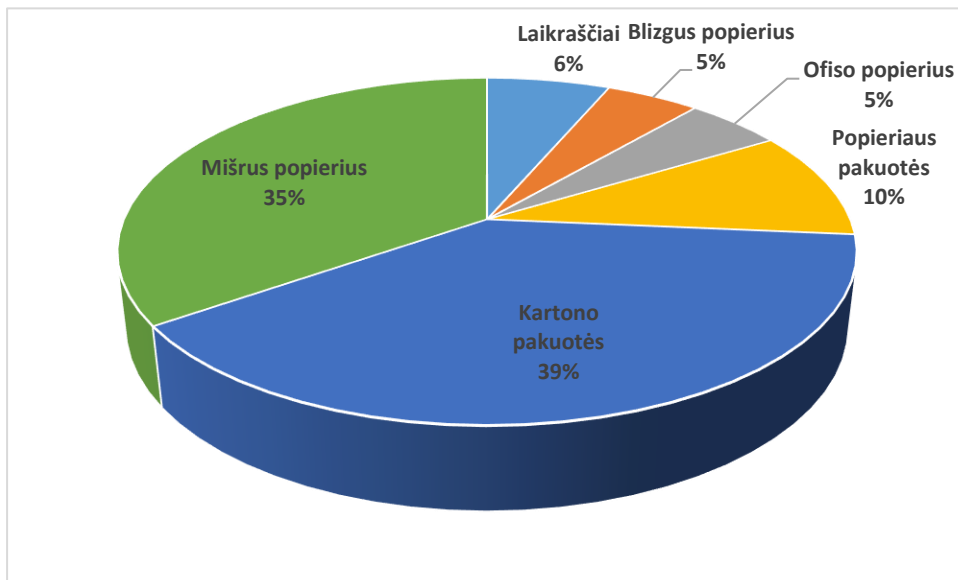
Alytaus atliekų tvarkymo regionui buvo ištirta sezoninė pakuočių atliekų sudėtis popieriaus ir plastiko/metalo surinkimui skirtuose varpeliuose bei individualių namų valdai skirtuose pakuočių atliekų konteineriuose. Dažniausiai pasitaikančių atliekų subfrakcijų visuose konteineriuose bendra procentinė sudėtis atsispindi 3.1 pav. žemiau, pilna procentinė atliekų frakcijų sudėtis atsispindi 2 priede, o pilna subfrakcijų skirstymo lentelė pateikta 1 priede.

Nagrinėjant 3.1 paveiksle pateiktus pakuočių atliekų morfologinės sudėties tyrimų rezultatus matomos aiškios dažniau pasitaikančių frakcijų spalvos, kaip popieriaus ir kartono pakuotės, mišrus popierius, plastiko pakuotės be PET ir PET pakuotės. 2016 metais gauti tyrimų duomenys rodo, kad beveik visų subfrakcijų procentinės dalys kinta nežymiai ir yra artimos vidutinei 2015 – 2016 metų situacijai (išskyrus 2015 metų spalio mėnesį matomas beveik trigubas popieriaus ir kartono atliekų ir pakuočių atliekų dalies padidėjimas, kitais mėnesiais popieriaus ir kartono procentinė dalis bendrame komunalinių atliekų kontekste sąlyginai pastovi). 2015 metų liepos mėnesį atliekų frakcijų duomenų pasiskirstyme matomas labai ženklus smulkios perdirbimui netinkamos frakcijos kiekio padidėjimas. Tiek varpeliuose, tiek individualiai namų valdai skirtų pakuočių konteineriuose beveik visada galima rasti ir nedidelius kiekius stiklo bei degių frakcijų (dažniausiai tekstilės), pavojingų atliekų, tokių kaip medicininės atliekos (vaistai – dažnais atvejais pakuotėje), bei elektros ir elektronikos prietaisų. Iš 3.1 paveikslo galima matyti, kad bioskaidžios frakcijos rūšiavimo konteineriuose beveik nerasta. Svarbu paminėti, kad popieriui skirtuose varpeliuose – plastiko priemaišų, o plastikui ir metalui skirtuose varpeliuose neišvengiamai pasitaiko popieriaus ir kartono priemaišų, todėl AATC yra taikoma papildomo rūšiavimo praktika, kuri leidžia atskirti ir tikslingai išrūšiuoti atliekas net jei frakcijų srautai nėra gryni.

3.1 paveiksle apskaičiuoti atliekų srautai pasitarnauja vedant bendrinę Lietuvoje susidarančių atliekų statistiką. Pagal Eurostat statistiką 2015 metais vienam Lietuvos gyventojui



3.1 pav. Iš gyventojų surenkamų pakuočių ir antrinių žaliavų morfologinė sudėtis.



3.2 pav. Iš Alytaus miesto gyventojų surenkamų popieriaus ir kartono frakcijos vidutinė atliekų ir pakuočių atliekų sudėtis.

teko 448 kg komunalinių atliekų per metus. Pasinaudojus Eurostat statistikos duomenimis ir iš 2015 – 2016 metais Alytaus regiono atliekų tvarkymo centre vykdyto projekto sužinojus atliekų frakcijų procentinę sudėtį apskaičiuojamas metinis kartono ir popieriaus atliekų susidarymo rodiklis

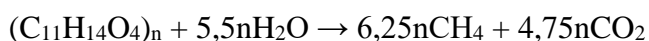
Lietuvoje (pagal AATC išvestą statistiką, 2 priede, 38 procentai iš bendro komunalinių atliekų srauto tenka popieriaus ir kartono atliekoms) – 497 271 040 tonų per metus.

Projekto rezultatuose išskaičiuota popieriaus frakcijų procentinė sudėtis pateikta 3.2 pav. Čia matoma, kad perdirbimui tinkamos popieriaus ir kartono pakuočių subfrakcija (dominuojant kartonui) sudaro beveik pusę popieriaus ir kartono frakcijos dalies, o perdirbimui tinkamas nepakuočių popierius (laikraščiai, blizgus popierius, ofiso popierius) sudaro beveik 15 proc. Likusi popieriaus frakcijos dalis, apie 10 proc., nėra tinkama perdirbimui. Iš bendrinės Eurostat statikos duomenų Lietuvos bendras komunalinių atliekų perdirbimo kiekis siekia apie 57 proc., tačiau AATC projekto metu bendras popieriaus ir kartono frakcijų perdirbimo potencialas lygus apie 90 proc. visos popieriaus ir kartono frakcijos masės. Pasinaudojus šia informacija išskaičiuotas popieriaus ir kartono atliekų srautas keliaujantis į antrinę panaudojimą ir perdirbimą lygus 338 144 000 tonų per metus.

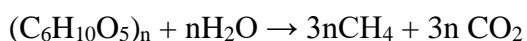
Netinkamo perdirbti popieriaus panaudojimą dažnai sąlygoja geopolitinė situacija, nors yra žinoma, kad nebeįmanomos perdirbti kartono ir popieriaus AATC į atliekų sąvartyną neišmeta. Pagal AATC politiką visos nebegalimos perdirbti atliekos keliauja į UAB „Fortum“ deginimo stotį esančią Klaipėdoje. Pagal statistiką Lietuvoje netinkamų perdirbimui popieriaus ir kartono atliekų ir pakuočių atliekų susidaro apie 84 536 000 tonų per metus. Šių atliekų sudėčiai apskaičiuoti buvo panaudoti Migneault et al. 2014 metų sudėtiniai procentiniai popieriaus komponentų rodikliai. Skaičiavimai pagrįsti teorija, kad 80 procentų popieriaus atliekų sudėtyje yra 52,7% celiuliozės, 17,6% hemiceliuliozės ir 29,9% lignino (kartono sudėtis), o likusių 20 procentų neperdirbamų popieriaus atliekų sudėtis - 87,9% celiuliozės ir 6,6% hemiceliuliozės (popieriaus sudėtis). Apskaičiavus bendrame neperdirbamų popieriaus atliekų sraute 60% sudaro celiuliozė, 15% - hemiceliuliozė, 24% - ligninas, o 1% kita frakcija, kuri nebus naudojama biodujų susidarymo potencialo skaičiavimuose šiame darbe.

3.2 BIODUJŲ IŠGAVIMO IŠ NEPERDIRBAMŲ POPIERIAUS ATLIEKŲ GALIMYBĖS

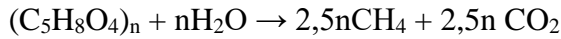
Pagal metodikoje pateiktą 3.1 lygtį apskaičiuojamas teorinis metano išsiskyrimas iš pagrindinių popieriaus gamybos dumblo ir popieriaus kaip produkto medžiagų – lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės. Lignino sutrumpinta cheminė formulė yra trys $C_9H_{10}O_2$, $C_{10}H_{12}O_3$, $C_{11}H_{14}O_4$. Skaičiavimams buvo pasirinkta $C_{11}H_{14}O_4$ lignino cheminė formulė, celiuliozės formulė – $(C_6H_{10}O_5)_n$. Bendroji lignino skaidymo formulė:



Bendroji celiuliozės skaidymo formulė:



Bendroji hemiceliuliozės skaidymo formulė:



Naudojantis metodikoje pateikta formule 3.2 išskaičiuojamas teorinis metano išsiskiriančio iš lignino kiekis, kai metano molinė masė – 16kg/kmol:

$$\frac{m_{CH_4}}{m_{C_{11}H_{14}O_5}} = \frac{6,25kmol \times 16 \frac{kg}{kmol}}{1kmol \times (11 \times 12 + 14 \times 1 + 4 \times 16)kg/kmol} = 0,47 \frac{kg_{CH_4}}{kg}$$

Metano tūris išsiskiriantis iš lignino – $0,66 \frac{m_{CH_4}^3}{kg}$.

Metano kiekis išsiskiriantis iš celiuliozės:

$$\frac{m_{CH_4}}{m_{C_6H_{10}O_5}} = \frac{3kmol \times 16 \frac{kg}{kmol}}{1kmol \times (6 \times 12 + 10 \times 1 + 5 \times 16)kg/kmol} = 0,30 \frac{kg_{CH_4}}{kg}$$

Metano tūris išsiskiriantis iš celiuliozės - $0,41 \frac{m_{CH_4}^3}{kg}$, o metano kiekis išsiskiriantis iš hemiceliuliozės ($C_5H_8O_4$), (taip pat apskaičiuotas aukščiau aprašytu metodu) lygus $0,30 \frac{m_{CH_4}^3}{kg}$.

Bendras lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės išskiriamas metano kiekis lygus $1,37 \frac{m_{CH_4}^3}{kg}$.

Iš lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės išsiskiriantis anglies dioksido kiekis taip pat apskaičiuojamas pagal formulę pateiktą aukščiau. Anglies dioksido molinė masė lygi 44 kg/kmol. Anglies dioksido kiekis ir teorinis tūris išsiskiriantis iš lignino normaliomis sąlygomis kai anglies dioksido tankis – $1,97 \text{ kg/m}^3$:

$$\frac{m_{CO_2}}{m_{C_{11}H_{14}O_5}} = \frac{4,75kmol \times 44 \frac{kg}{kmol}}{1kmol \times (11 \times 12 + 14 \times 1 + 4 \times 16)kg/kmol} = 0,99 \frac{kg_{CO_2}}{kg}$$

Anglies dioksido kiekis išsiskiriantis iš lignino – $0,51 \frac{m_{CO_2}^3}{kg}$.

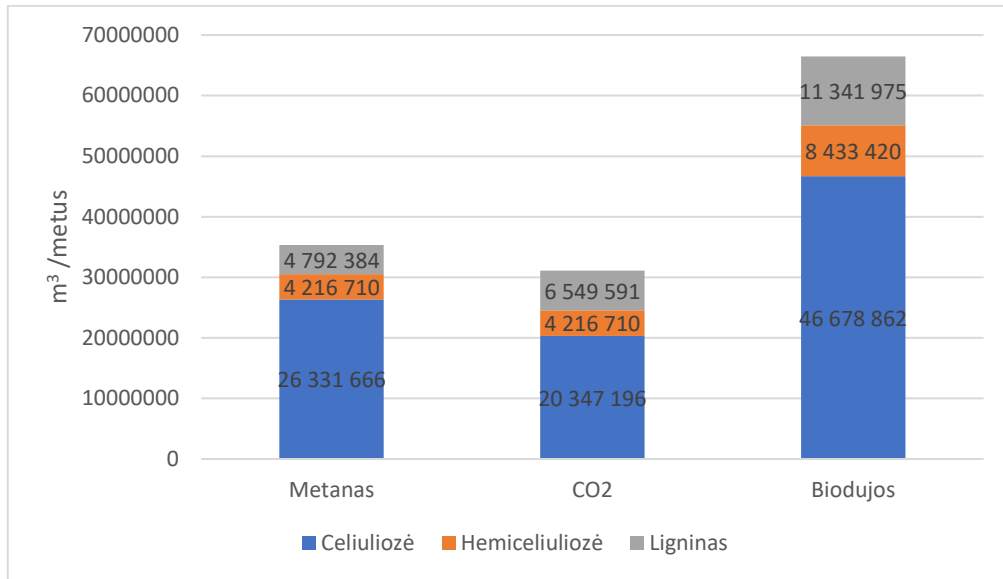
Anglies dioksido kiekis išsiskiriantis iš celiuliozės:

$$\frac{m_{CO_2}}{m_{C_6H_{10}O_5}} = \frac{3kmol \times 44 \frac{kg}{kmol}}{1kmol \times (6 \times 12 + 10 \times 1 + 5 \times 16)kg/kmol} = 0,81 \frac{kg_{CO_2}}{kg}$$

Anglies dioksido teorinis tūris išsiskiriantis iš celiuliozės – $0,41 \frac{m_{CO_2}^3}{kg}$, o iš hemiceliuliozės taip pat $0,41 \frac{m_{CO_2}^3}{kg}$. Bendras anglies dioksido teorinis išsiskyrimas iš visų trijų komponentų – $1,33 \frac{m_{CO_2}^3}{kg}$.

Remiantis statistika ir netinkamų perdirbti kartono ir popieriaus atliekų kiekiais ir sudėtimi iš šių atliekų apskaičiuota teorinė biodujų gamybos išeiga. Popieriaus ir kartono atliekų vidutinė drėgmė – 21 proc., o likusi masė (79%) traktuojama kaip TS ir naudojama apskaičiuoti bendrai teorinei biodujų išeigai. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.4 pav. Bendras teorinis susidarantis

biodujų kiekis susidarantis iš popieriaus ir kartono atliekų apytiksliai lygus 66 454 258 m³ per metus (iš kurių metano dedamoji yra 35 340 760 m³ – 53% viso susidarancio biodujų kiekio).



3.3 pav. Iš Alytaus ATC gautų netinkamų perdirbti popieriaus atliekų TS išsiskiriantis teorinis metinis biodujų kiekis.

3.3 BIODUJŲ IŠGAVIMO IŠ POPIERIAUS PRAMONĖS DUMBLO GALIMYBĖS

Norint palyginti esamo popieriaus atliekų srauto biodujų kiekio potencialą su popieriaus pramonės dumblo biodujų potencialu nagrinėta atvejo analizė. Darbo tyrimo metu dėl pasirinktos kartoną gaminančios įmonės UAB „Grigeo“ (UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ motininė įmonė) gamybos atliekų šalinimo ir tvarkymo metodų elektroniniais laiškais buvo kontaktuojama ne su gamybos specialistu, todėl gamybos ir gamybos metu susidarantių atliekų kiekiai buvo pateikti kaip apytiksliai rodmenys, todėl rezultatuose pateikti skaičiavimai bus abstraktūs, su paklaida. Gauta informacija pateikta lentelėse žemiau.

Lentelė 3.1 Popieriaus gamybos kiekis gaunamas naudojant antrinį popierių kaip žaliavą Grigeo įmonėse t/mėn.

Popieriaus produkcija (iš antrinio popieriaus) t/mėn.	UAB "Grigeo Klaipėdos kartonas"	UAB "Grigeo Grigiškės"
		10000

3.1 lentelėje pateikti vienos įmonės gamyklų gamybos pajėgumai, iš kurių galime spręsti apie gamyklų gamybos mastą – UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ per mėnesį pagamina beveik 7 kartus didesnę produkcijos kiekį iš perdirbto popieriaus nei UAB „Grigeo Grigiškės“. Šios gamyklos yra stipriai orientuoti į antrinio popieriaus panaudojimą savo gamyboje ir netgi yra duomenų, kad antrines žaliavas popieriaus produktams gaminti perka iš užsienio, dėl Lietuvoje

išrūšiuojamo popieriaus kiekio trūkumo. Nepaisant papildomos žaliavų dalies gaunamos ne iš Lietuvos popieriaus ir kartono atliekų šiame darbe bus traktuojama, kad 80 procentų visų popieriaus ir kartono atliekų tinkamų perdirbimui (apie 338 144 307 t/metus) keliauja į UAB „Grigeo“ ir UAB „Grigeo Klaipėdos kartoną“ kur yra panaudojami gamybos procesuose. Būtent iš šių atliekų ir gaunamas gamybos produkcijos kiekis pateikta Lentelė 3.1 lentelėje – bendrai ~137 400 t per metus. UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ perdirba iki 115 000 t, likęs kiekis perdirbamas UAB „Grigeo“.

Lentelė 3.2 Atliekos susidaranti Grigeo gamyklose, t/mėn.

Atliekų tipai	UAB "Grigeo Klaipėdos kartonas"	UAB "Grigeo Grigiškės"
Pirminio masės valymo atliekos, t/mėn.	500 - 650	-
Smulkaus masės valymo atliekos, t/mėn.	250 - 320	-
Nuotekų dumblas, t/mėn.	80	800
Metalo atliekos (makulatūros kipų pakuotė), t/mėn.	25 - 35	3 - 4
Kitos atliekos (smėlis, plastmasė, plėvelės užpildai ir pan.), t/mėn.	10 - 15	60
Biokuro katilinėse susidarantių pelenų kiekis (garo stirto popieriaus mašinoms gamyba), t/mėn.	45 - 70	20

Iš 3.2 lentelės galima spręsti apie taršumo mastus dvejose minėtose gamyklose. UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ esantis Klaipėdos regione pasigamina apie 80 t/mėn. nuotekų dumblo, kai UAB „Grigeo Grigiškės“ pasigamina net 10 kartų didesnį dumblo kiekį. Per metus šiose įmonėse susidaro vidutiniškai 10560 tonų dumblo atliekų iš kurių vos 960 tonų susidaro UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ gamykloje.

Popieriaus gamybos dumblui pakartotinio panaudojimo galimybių yra labai nedaug. Kontaktuojant su UAB „Grigeo“ referente buvo paminėti keletas šiuo metu ir praityje naudotų nuotekų dumblo antrinio panaudojimo metodų.

Iš gamyklų surinktas nuotekų dumblas yra kompostuojamas specialiai tam įrengtoje aikštelėje jį maišant su technologinės medienos (didžiaja dalimi spygliuočių rastų) žieve santykiu 70:30. Ši žievė yra UAB „Grigeo Grigiškės“ dukterinės įmonės UAB „Grigeo Baltwood“, kuri

gamina medienos plaušo plokštes, gamybos proceso atlieka. Gautas kompostas naudojamas baigtų eksploatuoti karjerų rekultivacijai.

Dar prieš dabartinį dumblo panaudojimo metodą buvo atliekami bandymai naudoti nekompostuotą dumblą keramikinių blokelių gamyboje Roku plytinėje. Šis gamybos metodas pasiteisimo technologiškai, tačiau buvo prastas ekonominis sprendimas UAB „Rokų keramika“ įmonės augimui – finansiškai nepasiteisino.

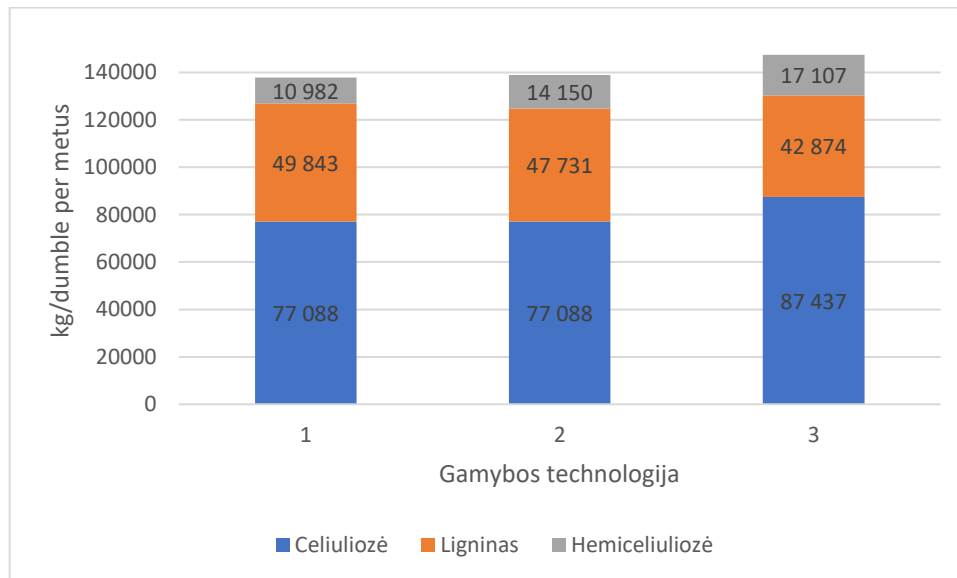
Buvo vykdoma dumblo deginimo atliekų utilizavimo katilinėje praktika, tačiau dėl žemos energetinės vertės (60-70% drėgnumas ir >50% mineralinė frakcija) ekonomiškai šis utilizavimo būdas nepravartus.

Biodujų anaerobinė gamyba tik iš šio dumblo yra sudėtinga, nes jame organikos dalis siekia iki 50%, todėl anaerobinio skaidymo galimybė su kitomis atliekomis galėtų būti taikoma kaip dumblo utilizavimo praktika. Norint taikyti šią praktiką, reikia įvertinti kas yra svarbu efektyviam anaerobinio skaidymo procesui.

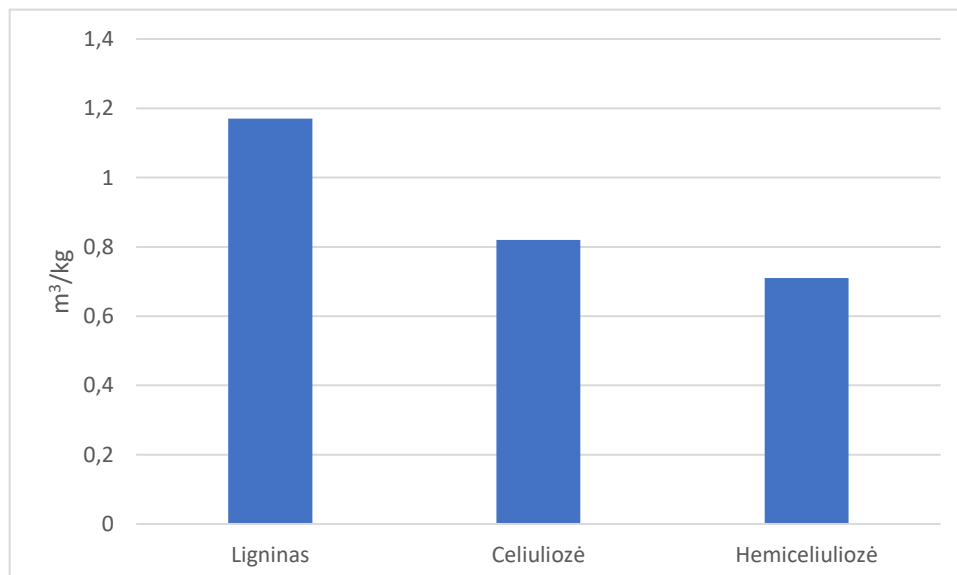
Anglies ir azoto (C:N) santykis metano gamybos produktyvume yra viena svarbiausių dedamųjų. Skaidomos medžiagos pasižymi 20-30:1 anglies – azoto santykiu, o optimalus pH svyruoja nuo 6,2 iki 8,0. Anaerobinis skaidymo procesas yra sudėtingas būtent dėl to, kad norint pasiekti aukštą efektyvumą, šios sąlygos turi būti nuolatos palaikomos. Viena pagrindinių priežasčių kodėl popieriaus gamybos dumblas privalo būti papildomai apdorojamas – skaidantiems mikroorganizmams nepalanki terpė sukelianti skaidymo sulėtėjimą ir net organizmų žūtį. Popierių gaminant cheminiu metodu nuotekų ir dumblo terpės pH būna arba stipriai šarminis arba stipriai rūgštinis (priklausomai ar aktyvioji medžiaga gamybos metu šarmas ar rūgštis), todėl reikalauja terpės neutralizavimo prieš pradedant skaidyti anaerobiškai. Drėgmės palaikymas taip pat labai svarbus – drėgmės kiekis neturi būti mažesnis nei 50%, kad vyktų efektyvus skaidymas. UAB „Grigeo Grigiškės“ atveju dumblo drėgnumas yra didesnis nei 50%, todėl šiuo aspektu anaerobiškai skaidyti dumblas tinkamas ir papildomos drėgmės procese nereikalaujama.

Iš Migneault et al (2011, 2016) pateiktų popieriaus pramonės nuotekų dumblo procentinės sudėties duomenų UAB „Grigeo“ metinių nuotekų dumblo kiekiui apskaičiuota, kad bendra sausų medžiagų masė (sudaranti iki 2 proc. bendros dumblo masės) yra 211200 kg/metus. Iš bendros dumblo masės, taip pat naudojantis Migneault et al tyrimo statistika, apskaičiuoti Grigeo susidarančio dumblo kiekyje esantys vidutiniai lignino ir celiuliozės kiekiai priklausomai nuo gamybos metodo. Popierių gaminant termocheminiu metodu celiuliozės kiekis nuotekų dumble yra lygus celiuliozės kiekiui nuotekų dumble gaminant chemikotermomechaniniu metodu. Lignino kiekis minėtų dviejų gamybos būdų dumblo sudėtyje nežymiai aukštesnis termocheminės gamybos metu. Lyginant *kraft* gamybos metodo dumblo sudėtyje su jau dviem minėtomis gamybos dumblo sudėtimis matomas aiškus didesnis celiuliozės susidarymas ir mažesnis lignino.

Informacijos apie procentinį hemiceliuliozės kiekį nuotekų dumble nebuvo rasta, todėl buvo traktuota, kad pentozanų kiekis yra hemiceliuliozės kiekio popieriaus dumble atitikmuo. Pentozanų kiekis popieriaus gamybos dumble esant skirtingiems gamybos metodams augo. Atitinkamai lyginant minėtus tris gamybos metodus mažiausias pentozanų kiekis dumble pastebimas gaminant termocheminiu būdu, kiek aukštesnis – chemikotermomechaniniu būdu ir



3.4 pav. Pagal Grigeo susidarancio dumblo kiekį apskaičiuota vidutinis dumble esancio lignino ir celiuliozės kiekis esant skirtingiems gamybos scenarijams, kur 1 – popieriaus gamyba tik termocheminiu metodu; 2 – popieriaus gamyba chemikotermomechaniniu metodu; 3 – popieriaus gamyba *kraft* metodu.

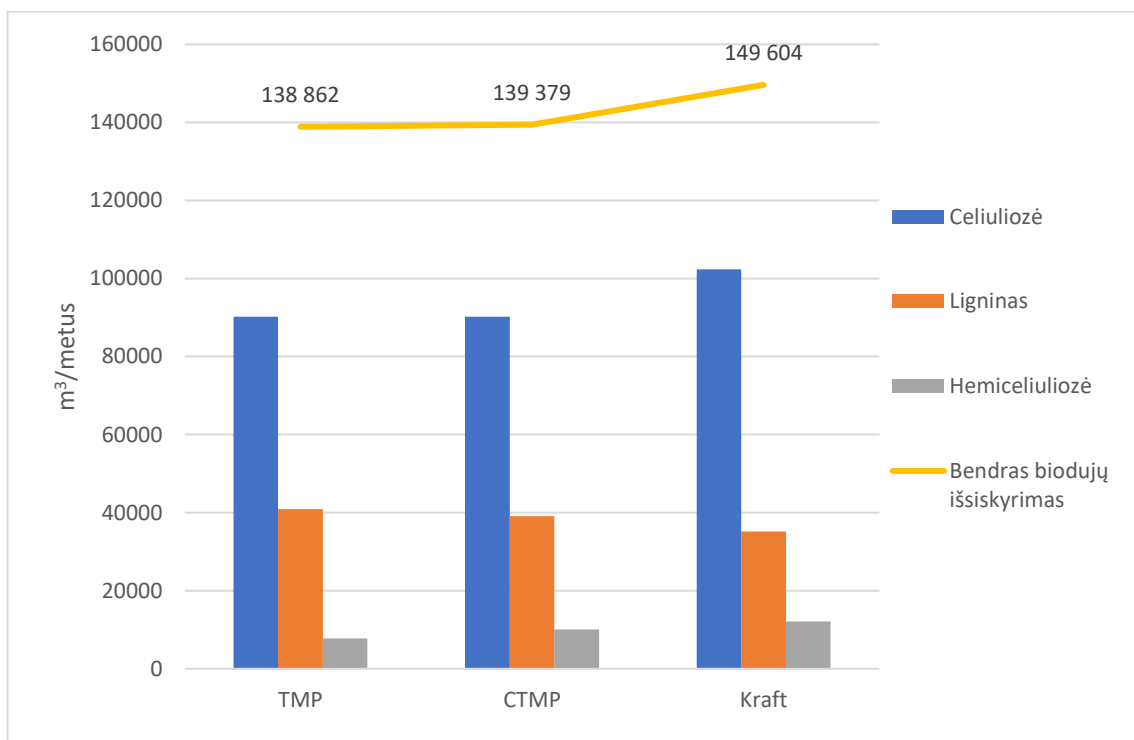


3.5 pav. Iš trijų (lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės) pagrindinių popieriaus pramonės junginių susidarantys teoriniai biudžių (metano ir anglies dioksido) kiekiai [$\text{m}^3_{\text{dujų}}/\text{kg}$].

didžiausias – gaminant *kraft* metodu. Taip pat svarbu paminėti, kad taikant *kraft* popieriaus gamybos metodą dumblas pasižymi didesniu bendru celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino kiekiu,

nei popierių gaminant termochemiškai ar chemikotermomechaniškai. Atitinkamai paminėtų technologijų tvarka bendri celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino dumblo kiekiai yra 69,8%, 65,3% ir 65,8%.

Susumuoti bendrai išsiskiriančių dujų teoriniai kiekiai lyginami paveiksle 3.5 pav. žemiau. Teoriškai daugiausia biodujų išskiria ligninas, o mažiausiai hemiceliuliozė. Tyrimo eigoje naudojantis 3.4 pav. vaizduojamais apskaičiuotais lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės popieriaus gamybos dumblo kiekiais ir 3.5 pav. minėtų medžiagų teoriniais biodujų išskyrimo kiekiais apskaičiuota trijų popieriaus gamybos technologijų dumblo biodujų išeiga. Gauti rezultatai palyginti 3.6 pav. – *kraft* gamybos metodą naudojant nuotekų dumblas išskiria 7 proc. daugiau biodujų nei TMP ar CTMP metodai.

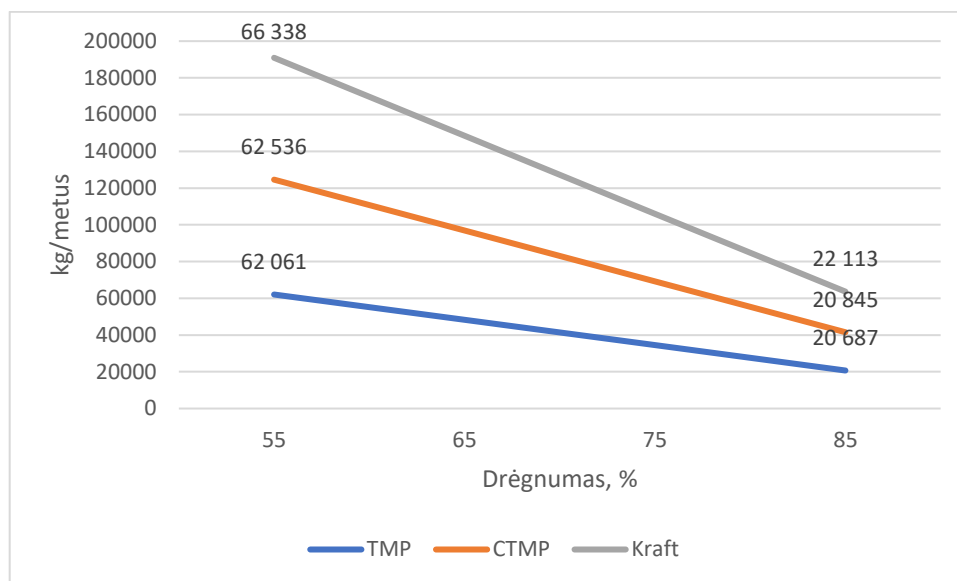


3.6 pav. UAB „Grigeo“ ir UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ atliekų biodujų išsiskyrimo teoriniai kiekiai naudojant skirtingus gamybos metodus. Čia TMP – termocheminis metodas, CTMP – chemikotermomechaninis metodas, ir *kraft* metodas.

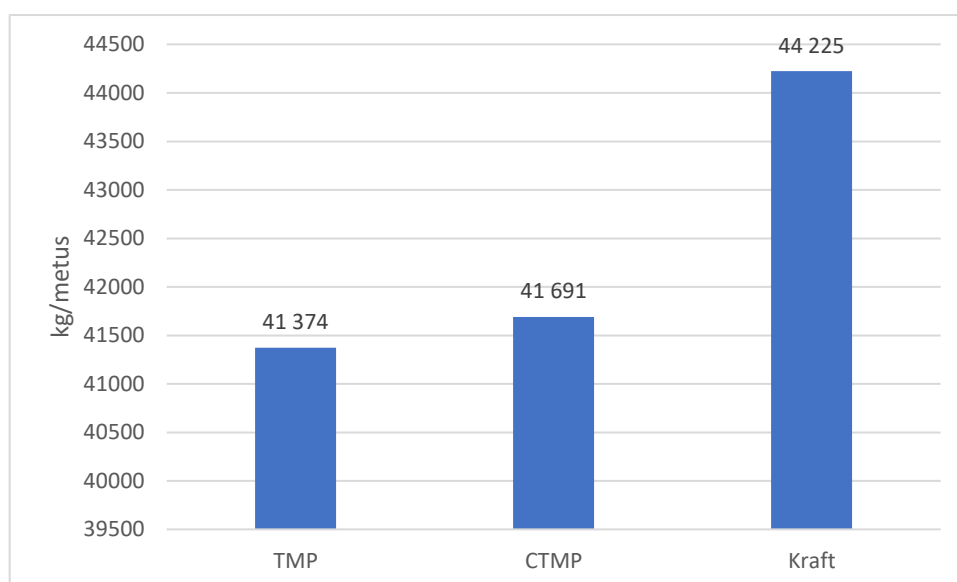
Atliekant platesnį popieriaus gamybos dumblo anaerobinio skaidymo galimybių vertinimą naudojamosi lygtimis 3.3 – 3.6 pateiktomis metodikos dalyje apskaičiuojamas biodujų gamybos efektyvumas. Pirma apskaičiuojamas bendras kietų junginių kiekis esantis dumble (TS_i). Kadangi formulė reikalauja drėgmės kiekio dumble, o bendras drėgmės kiekis šaltinių buvo nurodytas apytikslis (>50%), bendro kietų junginių kiekio dumble rodiklis turės standartinę paklaidą. Pasirinktas drėgnumas – vidutinė 4 skirtingų procentinių dumblo drėgnumų (55, 65, 75 ir 85 procentai) vidutinė reikšmė taikoma bendrai UAB „Grigeo Grigiškės“ ir UAB „Grigeo Klaipėdos

kartonas“ gamyklose susidarancio dumblo analizei. Susidarantis bendras dumblo kiekis kaip jau mineta yra 10 560 000 kg/metus.

3.7 pav. ir 3.8 pav. atitinkamai pavaizduota sausų kietų medžiagų popieriaus gamybos dumble kiekio priklausomybė nuo dumblo drėgnumo rodiklio popierių gaminant trimis skirtingomis technologijomis ir vidutinis sausų kietų medžiagų dumble kiekis. Aiškiai matoma tendencija – esant didesniai dumblo drėgnumui sausų kietų medžiagų bendra metinė generacija yra mažesnė. Dumblo drėgnumas – labai svarbus faktorius bendrame kontekste nulemiantis kiek



3.7 pav. Dumble esančių sausų kietų medžiagų priklausomybė nuo procentinio dumblo drėgnumo rodiklio TME, CTMP ir Kraft gamybos procesuose.

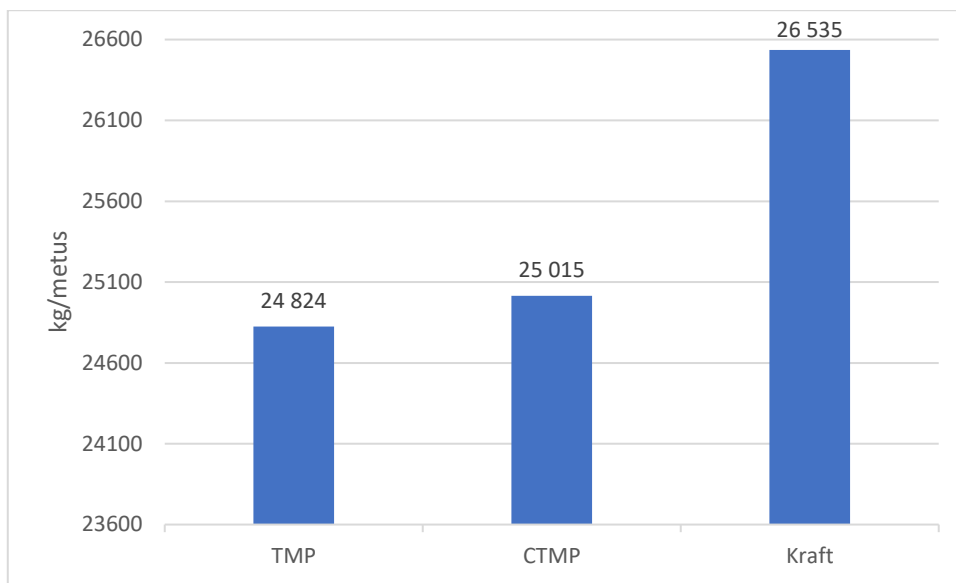


3.8 pav. Bendras vidutinis sausų kietų medžiagų kiekis dumble esant skirtingiems popieriaus gamybos būdams apskaičiuotas formule $TSi = (1 - xH_2O, i) \times mm, i$.

sausų kietų ir kiek lakių kietų medžiagų bus randama dumble. Platesniame kontekste – kuo didesnis dumblo drėgnumas, tuo mažesnis dumblo biudžų potencialas. Iš 3.8 pav. galima matyti,

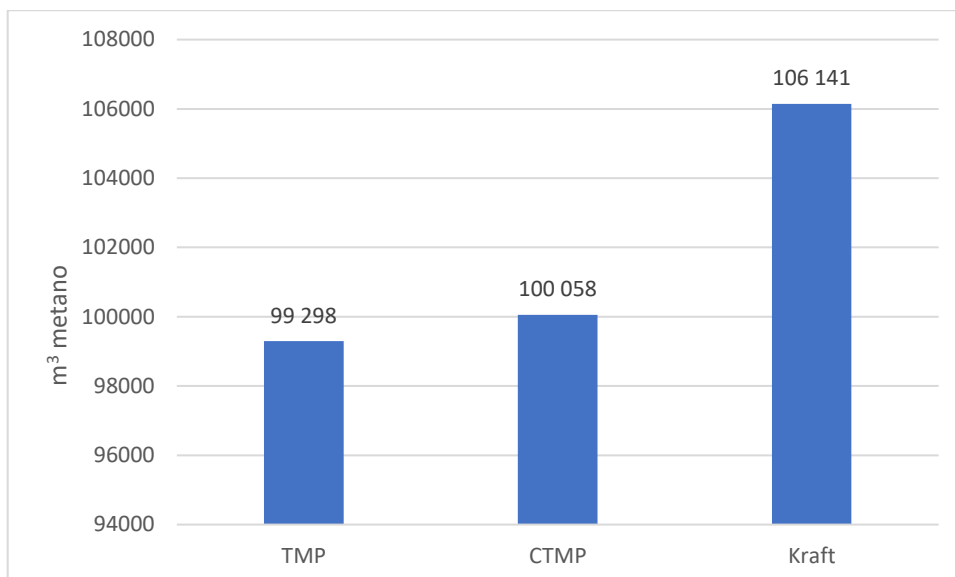
kad esant vidutiniam dumblo drėgnumui (apskaičiuojant naudota vidutinė 55%, 65%, 75% ir 85% drėgnumo vertė) didžiausias sausų kietų medžiagų kiekis popieriaus gamybos dumblyje – *kraft* gamybos būdu.

Naudojantis Priadi S. (2014) tyrimo duomenimis popieriaus gamybos pirminio dumblo sudėtyje yra apie 60 proc. VS. Šis rodiklis yra sąlyginai pastovus dydis, todėl tinkamas naudoti atliekant skaičiavimus ir šiame darbe. Pagal metodikoje nurodytą 3.3 formulę apskaičiuojama (VS_i) lakiųjų kietų junginių dalis iš bendros sausos kietų medžiagų dumblyje masės skirtingiems gamybos scenarijams. Gauti rezultatai pateikti 3.9 pav. *Kraft* metodu gaunamas nuotekų dumblys sudaro apie 1,5 t. daugiau lakiųjų kietų junginių, nei TMP ir CTMP metodais.



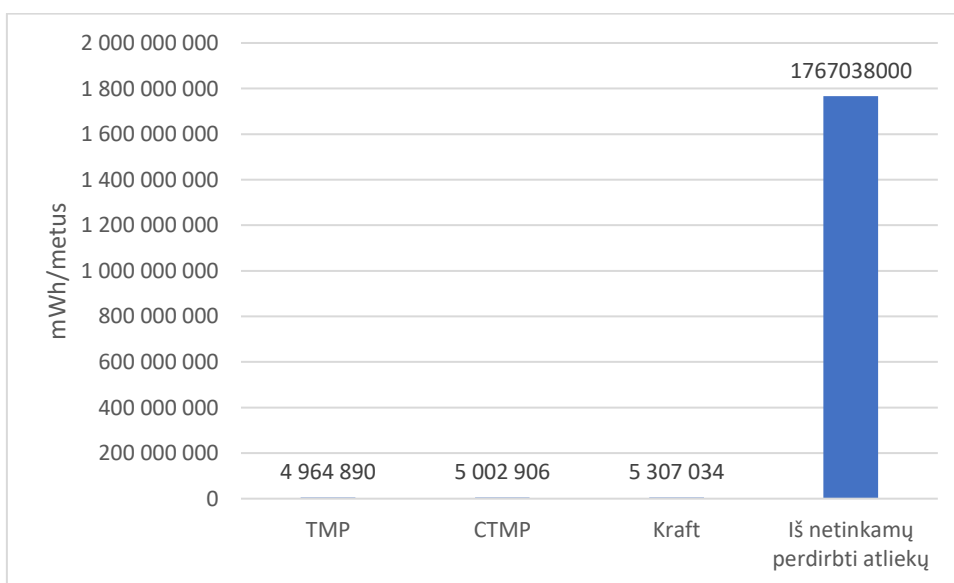
3.9 pav. Lakiųjų kietų junginių dalis iš bendros sausos kietų medžiagų dumblyje masės, apskaičiuota formule $VS_i = xVS_i \times TS_i$ esant pagrindiniais trimis popieriaus gamybos scenarijais – TMP, CTMP ir Kraft.

Kadangi anglies dvideginis neturi jokio energetinio potencialo, norint apskaičiuoti bendrą biodujų energetinį potencialą, naudojami tik metano išėigos TMP, CTMP ir *kraft* dumblo rodikliai. Naudojantis 3.6 formule, apskaičiuojamai ir susumuojami gautieji metano tūriai iš lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės, jie pateikti 3.10 pav. *Kraft* popieriaus gamybos būdu gaminamo atliekų dumblyje yra daugiau celiuliozės ir hemiceliuliozės, bet ne daugiau lignino nei TMP ir CTMP procesų dumblyje. Nors iš lignino išsiskiria didesnis biodujų tūris, bendrame kontekste sudėjus visus šiuos rodiklius *kraft* proceso nuotekų dumblys išskiria didžiausią kiekį metano - apie 7% daugiau nei kiti du procesai.



3.10 pav. Iš popieriaus gamybos dumblo susidarantis metano kiekis.

Iš 3.10 pav. pateiktų popieriaus gamybos dumblo anaerobinio skaidymo metu susidarančių metano kiekių galima teigti, kad gamybos technologija turinti didžiausią nuotekų dumblo potencialą biodujų gamybai yra *kraft* technologija. Pritaikant šiuos skaičiavimus, svarbu suprasti, kad teorinis metano kiekis išgaunamas iš celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino visada bus didesnis nei praktinis. Taip yra, nes skaičiavimo dedamosios yra teorinės ir neįtraukia aplinkos veiksnių kurie skaidymo metu yra vienas svarbiausių metano išgavimo efektyvumą lemiančių veiksnių. Teoriniai skaičiavimai taip pat gali labai skirtis nuo praktinių todėl, kad paprastai anaerobinio skaidymo procese dalis frakcijos substrato sunaudojama susintetinti bakterinę masę, dalis frakcijos bus prarasta nuotekose, o lignino turintys junginiai bus suskaidyti tik dalinai, nes dėl sudėtingos lignino struktūros jį skaido labai nedidelė dalis mikroorganizmų.



3.11 pav. Energetinio potencialo iš popieriaus gamybos nuotekų ir popieriaus atliekų Lietuvoje palyginimas.

3.11 pav. pavaizduota energetinis popieriaus gamybos dumblo ir netinkamų perdirbimui popieriaus atliekų potencialas. Lyginti šiuos skaičius yra tikslinga tik tuo atveju, kai jie turi sąsajų – šiuo atveju, pateiktas potencialas apskaičiuotas naudojantis ir statistiniais ir šiame darbe įvertintais Lietuvoje susidarančiais popieriaus gamybos dumblo ir perdirbimui netinkamų popieriaus ir kartono atliekų rodikliais. Iš 3.11 pav. bendrame kontekste matomas didesnis popieriaus atliekų potencialas, bet taip yra tik todėl, kad perdirbimui netinkamo popieriaus atliekų metinis kiekis yra 8000 kartų didesnis nei popieriaus gamybos atliekų kiekis. Bendrinio scenarijumi, kai popieriaus gamybos dumblas ir popieriaus atliekos būtų skaidomos kartu, energetiniai potencialai būtų: TMP – 1 772 mln. MWh/metus, CTMP – 1 772 mln. MWh/metus, o *kraft* – 1 772 mln. MWh/metus.

Lyginant teorinį biodujų išsiskyrimą iš atliekų dumblo verta paminėti, kad gautas kiekis Lietuvos biodujų gamybos kiekiais yra gan ženklus. Pavyzdžiui, AB „Vilniaus degtinė“ spirito gamykloje planuoja perdirbti apie 100 tūkst. tonų žlaugtų ir pagaminti apie 5 mln. tonų m³ biodujų. Šiuo scenarijumi energijos gamybai užtektų pastatyti 16 000 kW_{el}/ 17 000 kW_{šil}. biodujų kogeneracinę jėgainę kuri per metus pagamintų 11 mln. kWh elektros ir 12 mln. kWh šiluminės energijos.

4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

Popieriaus gamybos proceso nuotekų ir dumblo tvarkymas yra gana naujai iškilusi tema, todėl nėra daug šaltinių kuriais galima būtų paremti dumblo kaip atskiro produkto ir kartu su kitokio tipo atliekomis skaidymo galimybes. Popieriaus atliekų skaidymo praktika esant dabartinėms technologijoms nėra pasiteisinanti finansiškai, todėl nevykdoma. Nepaisant mokslinių šaltinių stokos, literatūros apžvalga ir darbo rezultatų analizė parodė, kad:

1. Vidutinis metinis Lietuvoje susidarančių perdirbimui netinkamų atliekų kiekis 84 536 000 t. per metus. Bendra šios frakcijos teorinė sudėtis - 60% celiuliozės, 15% - hemiceliuliozės, 24% - lignino, o 1% kitos medžiagos.

2. Popieriaus gamybos dumblo metano išeiga lygi 35 340 760 m³/metus, o energijos potencialas – 1,7 mln. GWh/metus.

3. Bendras popieriaus gamybos dumble esančių TS kiekis priklauso nuo gamybos dumblo drėgmės. Kuo didesnis dumblo drėgnumas, tuo mažesnė biodujų išeiga bei bendras energinis efektyvumas.

4. Lyginant biodujų išėigą TMP, CTMP ir *kraft* gamybos būdų popieriaus dumble atitinkamai gauti rezultatai buvo 138 tūkst. m³, 139 tūkst. m³ ir 149 tūkst. m³ biodujų per metus.

5. Apskaičiavus teorinį metano tūrį susidarantį iš lignino, celiuliozės ir hemiceliuliozės taikant UAB „Grigeo Grigiškės“ ir UAB „Grigeo Klaipėdos kartonas“ gamyklose susidarančius dumblo kiekius, paaiškėjo, kad idealiomis sąlygomis su 100 procentų efektyvumu per metus iš jų galima būtų išgauti virš 5 mln. m³ metano dujų. Praktikoje 100 procentų efektyvumo anaerobiniame skaidyme pasiekti neįmanoma, be to teorinis skaičiavimas neįtraukė veiksnių galinčių trikdyti skaidymo efektyvumą, tokių kaip pH pokyčiai, nepageidaujamos cheminės medžiagos dumble. Norint patikimai įvertinti popieriaus atliekų dumblo skaidymo galimybes, reikėtų atlikti atliekų dumblo skaidymo laboratorinį tyrimą.

6. Netinkamos perdirbti popieriaus atliekos ir popieriaus gamybos dumblas yra dvi frakcijos panašiomis sudėtimis, todėl netinkamos padidinti viena kitos anaerobinio skaidymo proceso efektyvumui. Skaidyti šias atliekas būtų brangiau ir sudėtingiau nei kitas bioskaidžias atliekas. Jei anaerobiškai būtų skaidomas popieriaus gamybos dumblas arba popieriaus atliekos, rekomenduotina skaidymo metu popieriaus atliekas maišyti su kitos struktūros atliekomis norint padidinti skaidymo efektyvumą – pasiekti optimaliausią C:N santykį ir taip pat pakelti VS kiekį.

7. Kelios popieriaus gamybos dumblo ir popieriaus atliekų skaidymo galybės – skaidymas kartu su komunalinėmis atliekomis, pramoninėmis atliekomis, žemės ūkio atliekomis arba nuotekų vandens dumblu. Šie keturi sektoriai yra vieninteliai sektoriai Lietuvoje kuriose plėtojama biodujų gamyba ir jau esama įdiegtų technologijų kurias galima būtų panaudoti.

LITERATŪRA

1. Clearly, 2009. Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: a comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environ. Int.* 35, 1256–1266 p.
2. Denafas G., Ruzgas T., Martuzevicius D., Shmarinc S., Hoffmann M., Mykhaylenko V., Ogorodnik S., Romanov M., Neguliaev E., Chusov A., Turkadze T., Bocheidze I., Ludwigi C.. Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities *Resources, Conservation and Recycling* 89 (2014). 22–30 p.
3. EC, JRC, IES, 2007. Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part II – Detailed Life Cycle Assessments. EUR 23021 EN/2 – 2007. European Commission, Joint Research Centre and Institute for Environment and Sustainability.
4. Elliott, A., Mahmood, T., 2007. Pretreatment technologies for advancing anaerobic digestion of pulp and paper biotreatment residues. *Water Res.* 41, 4273-4286 p.
5. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 94/62/EB 1994 m. gruodžio 20 d. dėl pakuočių ir pakuočių atliekų EUROPOS PARLAMENTAS IR EUROPOS SAJUNGOS TARYBA. El. prieiga: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:31994L0062> (žiūrėta 2017.02.03)
6. EUROSTAT. Population and population change statistics. El. prieiga: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Population_and_population_change_statistics (žiūrėta 2017.03.05)
7. EUROSTAT. Packaging waste statistics. El. prieiga: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Packaging_waste_statistics (žiūrėta 2017.03.05)
8. EUROSTAT. Municipal waste statistics. El. prieiga: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics (žiūrėta 2017.03.05)
9. Frost & Sullivan. 2013. CEO 360 Degree Perspective on the Global Pulp and Paper Water and Wastewater Treatment Market. Frost & Sullivan's Environmental Research and Consulting. Report - Paulina Szyplinska, 15 Feb 2013.
10. ISO, 2006. ISO 14040: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework.
11. Patino, J. M., Nunez M. P. 2011. Retrofit Approach for the Reduction of Water and Energy Consumption in Pulp and Paper Production Processes, *Environmental Management in Practice*, Dr. Elzbieta Broniewicz (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/20882. El. prieiga: <http://www.intechopen.com/books/environmental-management-in-practice/retrofit-approach-for-the-reduction-of-water-and-energy-consumption-in-pulp-and-paper-production-pro> (žiūrėta 2017.01.01)

12. Khan, A.W., Trottier, T.M., 1978. Effect of sulfur-containing compounds on anaerobic degradation of cellulose to methane by mixed cultures obtained from sewage sludge. *Appl. Environ. Microbiol.* 35 (6), 1027-1034 p.
13. Kyllonen, H.L., Lappi, M.K., Thun, R.T., Mustranta, A.H., 1988. Treatment and characterization of biological sludges from the pulp and paper industry. *Water Sci. Technol.* 20 (1), 183-192 p.
14. Lewis Herbert. History of waste and waste managers in London and south east England Centenary 1998. London. El. prieiga:
http://www.ciwm.co.uk/web/files/about_ciwm/100_yrs_london_and_se_centre.pdf (žiūrėta 2017.02.11)
15. Likon, M., Trebše, P., 2012. Recent advances in paper mill sludge management. In: Show, K.-Y. (Ed.), *Industrial Waste*. InTech, Frølund, B., Palmgren, R., Keiding, K., Nielsen, P.H., 1996. Extraction of extracellular polymers from activated sludge using cation exchange resin. *Water Res.* 30 (8), 1749-1758 p.
16. Meyer T., Edwards E. A. (2014). Anaerobic digestion of pulp and paper mill wastewater and sludge. *Water research* 65 (2014). 321-349 p.
17. Migneault, S., Koubaa, A., Riedl, B., Nadji, H., Deng, J., Zhang, S.Y., 2011. Binderless fiberboard made from primary and secondary pulp and paper sludge. *Wood Fiber Sci.* 43 (2), 180-193 p.
18. Moore, K. J., Jung, H. G. 2001. Lignin and fiber digestion. *J. Range Manage.* 54: 420-430 p.
19. Navia, R., Mittelbach, M., 2012. Could sewage sludge be considered a source of waste lipids for biodiesel production? *Waste Manag. Res.* 30 (9), 873-874 p.
20. Nielfa, A., Cano, R., Fdz-Polanco, M. 2015. Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Universidad de Valladolid. Biotechnology Reports. Volume 5, March 2015, Pages 14 – 21 p.*
21. Ochoa de Alda, J.A.G., 2008. Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. *Resour. Conserv. Recycl.* 52, 965-972 p.
22. Pokorna, E., Postelmans, N., Jenicek, P., Schreurs, S., Carleer, R., Yperman, J., 2009. Study of bio-oils and solids from flash pyrolysis of sewage sludges. *Fuel* 88, 1344-1350 p.
23. Priadi, C. Wulandari, D., Rahmatika, I., Moersidik, S. S. 2014. Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Paper Sludge *Environmental Engineering Study Program, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia APCBEE Procedia* 9 (2014) 65 – 69 p.

24. Scott, G.M., Smith, A., 1995. Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. In: Tappi 1995 International Environmental Conference, Proceedings, Atlanta, GA.
25. Staudt, J. 2010. Memorandum from Jim Staudt, Andover Technology Partners, to Will Yelverton, Matt Witosky, and Elineth Torres, U.S. EPA, and Katie Hanks, RTI International. ISIS Emissions Control for Pulp and Paper Plants. March 3, 2010.
26. TAPPI Method T412 om-02. 2002. "Moisture in Pulp, Paper and Paperboard." Test methods of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry 2002-2003.
27. Tarybos Direktyva 1975 m. liepos 15 d. dėl atliekų (75/442/EEB) (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:31975L0442&qid=1466436622432> žūrėta 2016-06-18)
28. Tchobanoglous, G., Barton, F., Stensel, H., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth ed. Metcalfe and Eddy Inc., New York.
29. Tutkimuskeskus, V. T., Pere, J., Saloheimo, M., Penttilä, M., 2006. Method of treatment of pulp useful for papermaking. Application. PCT/FI2006/050264. WO2006136656 A1.
30. Vögeli Y., Lohri C. R., Gallardo A., Diener S., Zurbrügg C. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), Dübendorf, Switzerland. 8 p.
31. Zorpas, A.A., Inglezakis, V., Koumi, C., Voukalli, I., 2011. Domestic sewage sludge (DSS) characteristics from wastewater treatment plant (WWTP) operation in warm climatesn conditions. A 7 years project. In: Proceedings of the 3rd International CEMEPE & SECOTOX Conference, Skiathos, Greece, June 19-24 p.

PRIEDAI

1 PRIEDAS. PROJEKTE „PAKUOČIŲ ATLIEKŲ MORFOLOGINĖS SUDĖTIES SEZONIŠUKMAS IR JO ĮTAKA SURINKIMO IR PERDIRBIMO GALIMYBĖMS“ IŠSKIRSTYTO ATLIEKŲ FRAKCIJOS IR SUBFRAKCIJOS.

<i>Eil. Nr.</i>	<i>Frakcijos</i>	<i>Subfrakcijos</i>
1	Popierius ir kartonas	
1.1		Laikraščiai
1.2		Blizgus popierius
1.3		Ofiso popierius
1.4		Popieriaus pakuotės
1.5		Kartono pakuotės
1.6		Kitas popierius ir kartonas (mišrus popierius)
2	Plastikai ir kompozitai	
2.1		Aukšto slėgio polietileno (HDPE) pakuotė (indai)
2.2		Žemo slėgio polietileno (LDPE) pakuotė (plėvelės)
2.3		Polipropileno (PP) pakuotė (indai, plėvelės)
2.4		Polietilentereftaliato (PET) pakuotė (indai)
2.5		Polistireno pakuotė (vienkartinio naudojimo indai, dėžutės)
2.6		Polistireno putplasčio pakuotė
2.7		Kombinuota pakuotė (tetrapakai)
2.8		Kombinuota pakuotė (Al dengta PP plėvelė)
2.9		Kita plastmasė ir kompozitai
3	Metalai	
3.1		Feromagnetinė pakuotė
3.2		Kiti feromagnetiniai metalai
3.3		Aliuminio pakuotė
3.4		Kiti neferomagnetiniai metalai
4	Stiklas	
4.1		Stiklo pakuotė (indai)
4.4.		Kitoks stiklas
5	Kitos degios atliekos	
5.1		Mediena

5.2		Tekstilė
5.3		Guma
5.4		Oda, kailis
5.5		Kitos degios atliekos
6	Kitos inertinės atliekos	
7	Maisto atliekos	
8	Žaliosios atliekos	
9	Pavojingos atliekos	
9.1		Medicininės atliekos
9.2		Kitos pavojingos atliekos
10	Elektros ir elektroninės įrangos atliekos	
11	Smulki mišri frakcija	

2 PRIEDAS. 2016 METŲ VASARIO, BALANDŽIO IR GEGUŽĖS MĖN. ALYTAUS ATR IŠ GYVENTOJŲ SURINKTŲ PAKUOČIŲ IR ANTRINIŲ ŽALIAVŲ (BE STIKLO IŠ STIKLO SURINKIMO KONTEINERIŲ) MORFOLOGINĖ SUDĖTIS, PROC.

Rodikliai	2016 m. vasaris			2016 m. balandis			2016 m. gegužė		
	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime
<i>Bendrai plastikų ir popieriaus varpeliams bei ind. pakuočių konteineriams</i>									
<i>Konteinerių tūris, m³</i>	11273	5130	6143	11273	5129	6143	11273	5130	6143
<i>Konteinerio turinio tankis, kg/m³</i>	74,93	84,51	66,94	89,60	104,33	77,31	71,23	81,56	62,60
Viso atliekų	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Viso tinkamų perdirbimui	64,38	71,65	58,59	67,74	71,48	64,77	68,29	71,91	64,35
Viso netinkamų perdirbimui	35,62	28,35	41,41	32,26	28,51	35,24	31,71	28,09	35,65
Viso tik deginimui (įskaitant mišrų popierių)	29,34	14,48	41,36	23,85	8,77	35,04	22,38	24,40	20,19
Viso tik šalinimui	6,29	13,87	0,05	7,60	17,81	0,20	8,98	3,02	15,46
Viso popieriaus ir kartono	39,42	24,87	51,03	42,49	38,42	45,31	33,35	33,61	33,06
Viso plastiko	36,40	32,05	40,24	35,52	29,51	39,82	40,08	41,61	38,40
Viso metalo	6,00	8,38	4,10	6,26	4,54	7,56	6,03	3,83	8,42
Viso stiklo	2,54	4,58	0,90	2,06	3,46	1,19	2,72	4,21	1,11
Viso kitų perdirbamų	5,30	7,77	3,26	3,74	2,75	4,43	2,85	2,99	2,70
Viso pavojingu	0,07	0,09	0,05	1,00	2,21	0,09	0,51	0,95	0,03
Viso pakuočių	57,26	55,90	58,59	52,16	55,53	48,86	60,01	60,87	59,07
Viso popieriaus ir kartono pakuočių	7,75	3,38	11,11	13,76	23,62	5,72	14,84	16,78	12,72
Viso plastiko pakuočių	35,67	31,80	39,23	30,89	26,52	33,98	35,16	34,57	35,80
Viso metalo pakuočių	6,00	8,38	4,10	3,10	2,48	3,55	4,44	2,33	6,75
Viso kombinuotų pakuočių	5,30	7,77	3,26	3,74	2,75	4,43	2,85	2,99	2,70
Viso stiklo pakuočių	2,54	4,58	0,90	0,67	0,16	1,18	2,72	4,21	1,11
<i>Stiklo pakuotės</i>	<i>2,54</i>	<i>4,58</i>	<i>0,90</i>	<i>0,67</i>	<i>0,16</i>	<i>1,18</i>	<i>2,72</i>	<i>4,21</i>	<i>1,11</i>
<i>Kitas stiklas</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>1,39</i>	<i>3,30</i>	<i>0,01</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
<i>Popierius (nepakuotės)</i>	<i>7,11</i>	<i>15,74</i>	<i>0,00</i>	<i>12,08</i>	<i>13,13</i>	<i>11,86</i>	<i>6,17</i>	<i>8,69</i>	<i>3,42</i>

Rodikliai	2016 m. vasaris			2016 m. balandis			2016 m. gegužė		
	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime
Laikraščiai	0,41	0,90	0,00	3,65	3,09	5,19	2,67	3,52	1,75
Blizgus popierius	1,71	3,79	0,00	4,64	7,31	2,74	3,02	5,17	0,68
Ofiso popierius	4,99	11,04	0,00	3,79	2,73	3,94	0,47	0,00	0,98
<i>Popieriaus ir kartono pakuotės</i>	<i>7,75</i>	<i>3,38</i>	<i>11,11</i>	<i>13,76</i>	<i>23,62</i>	<i>5,72</i>	<i>14,84</i>	<i>16,78</i>	<i>12,72</i>
Popieriaus pakuotės	2,16	3,30	1,25	1,84	2,63	1,29	1,25	0,01	2,60
Kartono pakuotės	5,59	0,08	9,86	11,93	20,99	4,43	13,59	16,77	10,12
<i>Mišrus popierius</i>	<i>24,56</i>	<i>5,76</i>	<i>39,92</i>	<i>16,65</i>	<i>1,66</i>	<i>27,73</i>	<i>12,34</i>	<i>8,14</i>	<i>16,92</i>
<i>Plastiko pakuotės be PET</i>	<i>17,01</i>	<i>18,64</i>	<i>15,87</i>	<i>12,53</i>	<i>16,98</i>	<i>9,05</i>	<i>16,33</i>	<i>18,84</i>	<i>13,59</i>
HDPE	4,38	7,21	1,89	3,96	4,21	3,40	3,07	2,83	3,32
LDPE (plėvelės)	9,32	7,52	11,10	4,78	9,45	1,52	8,89	10,41	7,25
PP	1,37	1,12	1,64	2,32	1,91	2,68	2,65	3,58	1,64
PS skaidrus	1,31	2,21	0,56	0,96	0,90	0,97	1,25	1,40	1,09
PS putplastis	0,63	0,58	0,68	0,51	0,51	0,47	0,46	0,63	0,29
<i>Kombinuota pakuotė</i>	<i>5,30</i>	<i>7,77</i>	<i>3,26</i>	<i>3,74</i>	<i>2,75</i>	<i>4,43</i>	<i>2,85</i>	<i>2,99</i>	<i>2,70</i>
Kombinuota pakuotė (tetrapakai)	3,50	4,52	2,64	3,07	2,23	3,64	2,03	1,73	2,35
Kombinuota pakuotė (plėvelės su Al)	1,80	3,25	0,61	0,68	0,53	0,79	0,82	1,26	0,35
<i>PET pakuotės</i>	<i>18,66</i>	<i>13,16</i>	<i>23,36</i>	<i>18,36</i>	<i>9,54</i>	<i>24,93</i>	<i>18,83</i>	<i>15,73</i>	<i>22,21</i>
<i>Kitas plastikas (nepakuotės)</i>	<i>0,73</i>	<i>0,26</i>	<i>1,01</i>	<i>4,64</i>	<i>2,99</i>	<i>5,85</i>	<i>4,91</i>	<i>7,04</i>	<i>2,60</i>
<i>Metalinė pakuotė</i>	<i>6,00</i>	<i>8,38</i>	<i>4,10</i>	<i>3,10</i>	<i>2,48</i>	<i>3,55</i>	<i>4,44</i>	<i>2,33</i>	<i>6,75</i>
Feromagnetinė pakuotė	3,18	4,96	1,74	0,64	1,42	0,02	2,43	1,56	3,37
Al pakuotė	2,82	3,42	2,36	2,47	1,08	3,53	2,01	0,77	3,37
<i>Kiti metalai (nepakuotė)</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>3,16</i>	<i>2,06</i>	<i>4,01</i>	<i>1,58</i>	<i>1,50</i>	<i>1,68</i>
Kiti feromagnetiniai metalai	0,00	0,00	0,00	0,86	2,04	0,00	1,07	1,43	0,68
Kiti neferomagnetiniai metalai	0,00	0,00	0,00	2,30	0,02	4,01	0,52	0,07	1,00
<i>Deginimui skirta frakcija</i>	<i>4,05</i>	<i>8,47</i>	<i>0,43</i>	<i>2,57</i>	<i>4,11</i>	<i>1,47</i>	<i>5,12</i>	<i>9,21</i>	<i>0,68</i>
Mediena	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,06	0,00	0,12

Rodikliai	2016 m. vasaris			2016 m. balandis			2016 m. gegužė		
	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime	Bendrai AATR	AATR mieste	AATR kaime
Tekstilė	0,60	0,86	0,43	2,06	3,17	1,27	0,20	0,00	0,42
Guma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08
Oda, kailis	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kitos degios	3,44	7,61	0,00	0,50	0,92	0,20	4,83	9,21	0,05
<i>Bioskaidi frakcija</i>	<i>0,02</i>	<i>0,05</i>	<i>0,00</i>	<i>1,60</i>	<i>3,68</i>	<i>0,11</i>	<i>0,25</i>	<i>0,45</i>	<i>0,03</i>
Maisto atliekos	0,02	0,05	0,00	0,06	0,03	0,11	0,02	0,00	0,03
Žaliosios atliekos	0,00	0,00	0,00	1,53	3,65	0,00	0,23	0,45	0,00
<i>Kita inertine frakcija</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>4,55</i>	<i>10,83</i>	<i>0,00</i>	<i>1,32</i>	<i>1,62</i>	<i>0,99</i>
<i>Pavojingos atliekos</i>	<i>0,07</i>	<i>0,09</i>	<i>0,05</i>	<i>1,00</i>	<i>2,21</i>	<i>0,09</i>	<i>0,51</i>	<i>0,95</i>	<i>0,03</i>
Medicininės atliekos	0,02	0,05	0,00	0,14	0,32	0,01	0,07	0,13	0,00
Kitos pavojingos	0,04	0,04	0,05	0,86	1,89	0,08	0,44	0,81	0,03
<i>EEJA</i>	<i>0,01</i>	<i>0,01</i>	<i>0,00</i>	<i>0,34</i>	<i>0,76</i>	<i>0,04</i>	<i>0,53</i>	<i>0,85</i>	<i>0,18</i>
<i>Smulki frakcija</i>	<i>6,20</i>	<i>13,73</i>	<i>0,00</i>	<i>0,46</i>	<i>1,09</i>	<i>0,00</i>	<i>6,89</i>	<i>0,00</i>	<i>14,40</i>