



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ištekliaus tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti plastiko perdirbimo pramonė Lietuvoje

Baigiamasis magistro projektas

Tadas Kavaliauskas

Projekto autorius

doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ištekliaus tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti plastiko perdirbimo pramonė Lietuvoje

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

Tadas Kavaliauskas

Projekto autorius

doc. dr. Irina Kliopova

Vadovė

doc. dr. Visvaldas Varžinskas

Recenzentas



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Tadas Kavaliauskas

Ištekliaus tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti plastiko perdirbimo pramonė Lietuvoje

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, **Tado Kavaliausko**, baigiamasis projektas tema „**Ištekliaus tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti plastiko perdirbimo pramonė Lietuvoje**“ 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)



Kauno technologijos universitetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Išteklių tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti pramoninė gamyba

Reikalavimai ir sąlygos
(tikslinti pavadinimą
pagal poreikį)

Išteklių bei energijos naudojimo efektyvumas apdirbamojoje pramonėje – Lietuvai aktuali tematika. Įvairiuose Lietuvos ūkio sektoriuose atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad lyginant su ES-15 šalimis, Lietuvos apdirbamoji pramonė turi nemažą išteklių taupymo potencialą. Energetiniai ištekliai naudojami visuose pramoniniuose procesuose, tad pramonė tiesiogiai ir/ ar netiesiogiai daro poveikį globaliniam atšilimui dėl ŠESD.

Magistrantas eksperimentui parinktoje apdirbamosios pramonės įmonėje (pasiūlo savo arba parenka vadovas) naudojant Švaresnės gamybos (ŠG) koncepcijos principus, poveikio aplinkai vertinimo metodus bei aplinkos sistemų teoriją turi atlikti aplinkosaugos auditą, sudaryti įmonės bei atskirų procesų medžiagų ir energijos bei kuro ir energijos balansus, identifikuoti reikšmingus aplinkosaugos aspektus bei jų poveikį aplinkai, nustatyti išteklių neefektyvaus naudojimo priežastis bei pasiūlyti reikšmingų aspektų aplinkos valdymo sistemą. Naudojant mokslinės literatūros analizės rezultatus, magistrantūroje įgytas žinias, įvairių ŠG duomenų bazių informaciją, magistrantas eksperimentui parinktoje įmonei turi pasiūlyti alternatyvas, kurių įdiegimas leistų padidinti energijos naudojimo efektyvumą, tausoti išteklius ir, tuo pačiu, mažintų poveikį aplinkai ir klimato kaitai. Darbe turi būti atlikta detali siūlomų inovacijų (2-3 eko-inovacijų) įvykdomumo analizė (techninis, aplinkosauginis ir ekonominis vertinimas) bei įvertintas įmonės aplinkosaugos veiksmingumas po atrinktos (-ų) inovacijos (-jų) įdiegimo.

Darbo rengimui turi būti pritaikytos magistrantūroje įgytos žinios Švaresnės gamybos, darnaus vartojimo ir gamybos, poveikio aplinkai vertimo, aplinkos sistemų teorijos srityse.

Vadovas / Vadovė

doc. dr. Irina Kliopova

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Kavaliauskas, Tadas. Išteklius tausojanti ir mažai anglies dioksido išskirianti plastiko perdirbimo pramonė Lietuvoje. 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: CO₂, plastiko perdirbimas, energijos intensyvumas, energijos taupymas, ŠESD mažinimas, taršos prevencija.

Kaunas, 2021 m. 65 p.

Santrauka

Europos Sąjungos (ES) žaliajame kurse iškelti atliekų tolimesnio panaudojimo tikslai: ES narės iki 2030 metų įsipareigojo pasiekti, kad 60% visų susidarančių komunalinių atliekų būtų pakartotinai panaudojama ar perdirbama; perdirbti ne mažiau nei 70% susidariusių pakuočių atliekų. Plastiko atliekos aptinkamos abiejuose anksčiau paminėtuose atliekų srautuose. Susidarančio plastiko atliekų kiekis kiekvienais metais didėja. Plastiko perdirbamoji pramonė kiekvienais metais auga, tačiau ne taip sparčiai kaip atliekų kiekis. Svarbu ne tik siekti perdirbti nustatytus kiekius, bet tai atlikti darant kuo mažesnę poveikį aplinkai.

Plastiko perdirbimas pasižymi dideliu energijos intensyvumu. Energijos gamyba yra vienas pagrindinių Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) priežasčių, todėl neefektyvus energijos vartojimas netiesiogiai didina ŠESD kiekį. Lietuva yra įsipareigojusi iki 2030 m. 40 % sumažinti išmetamas ŠESD lyginant su 1990 m. duomenimis. Mažinti energijos naudojimo intensyvumą (ENI) numatyta ir Nacionalinėje energetikos nepriklausomybės strategijoje (NENS). Joje įsipareigota iki 2030 m. sumažinti ENI 1,5 karto lyginant su 2017 m. vartojimu.

Tyrimo tikslas – padidinti energijos naudojimo efektyvumą plastiko atliekų perdirbime, optimizuojant procesus ir taip mažinant jų poveikį klimato kaitai. Nors plastiko perdirbimo sektoriaus svarba prisidedant prie ES tikslų įgyvendinimo akivaizdi, tačiau atskirų studijų nagrinėjančių plastiko perdirbimo poveikio mažinimo galimybes pastarąjį penkmetį Lietuvoje nebuvo atlikta.

Eksperimentui parinktas objektas – viena didžiausių ES plastiko perdirbimo įmonių – AB „Plasta“, kurioje kasmet perdirbama virš 35 tūkst. t plastiko atliekų, o gautos antrinės žaliavos sunaudojamos produkto gamybai.

Darbe atlikta plastiko atliekų tvarkymo Lietuvoje analizė. Identifikuota problematika – plastiko atliekų nepakankamu rūšiavimu centralizuotose mechaninio apdorojimo įrenginiuose.

Atliekant mokslinės ir praktinės literatūros analizę, aptarti pagrindiniai plastiko perdirbimo technologiniai procesai, jų poveikis aplinkai, metodai, kurie taikomi nustatyti ŠESD (CO_{2e}) kiekį. Eksperimentui parinktoje įmonėje AB „Plasta“ LDPE atliekų perdirbime atliktas energetinis ir aplinkosauginis auditas, nustatytas energijos naudojimo intensyvumas, CO_{2e} emisijų šaltiniai (sistemos ribos: nuo LDPE atliekų transportavimo iki antrinės žaliavos gamybos). Siekiant sumažinti energijos naudojimo intensyvumą ir poveikį klimato kaitai dėl ŠESD, pateikiami 3

pramoninės ekologijos alternatyvos. Atlikta jų įvykdomumo analizė: techninis įvertinimas, įskaitant bandymus, aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas. Taikomi pramoninės ekologijos metodai: dematerializavimas (procesų optimizavimas / integravimas), pramoninė simbiozė.

Sėkmingai įdiegus visus darbe siūlomus energiją tausojančius projektus metinis AB „Plasta“ elektros vartojimas galėtų sumažėti iki 17 475,4 MWh/m, dėl to energijos naudojimo intensyvumas sumažėtų 33 % arba 1,32 MWh vienai tonai pagaminto granuliato. Bendras ŠESD kiekis įgyvendintus projektus sumažėtų ~34 % – 7 672 t CO_{2e}/m., arba 0,543 t CO_{2e} vienai tonai pagaminto granuliato.

Sėkmingai įgyvendinti projektai ženkliai prisidėtų prie daugelio Lietuvos iškeltų tikslų įgyvendinimo, tokių kaip energijos intensyvumo, ŠESD išmetimų mažinimas, plastiko atliekų perdirbimo normų pasiekimas. Darbe analizuoti projektai ir gauti santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai gali būti pritaikomi ir kitoms plastiko perdirbimo įmonėms Lietuvoje siekiant mažinti poveikį klimato kaitai ir prisidėti prie ES tikslų įgyvendinimo.

.

Kavaliauskas, Tadas. Resource-efficient and low-carbon plastic recycling industry in Lithuania. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. 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: CO₂, plastic recycling, energy intensity, energy saving, GHGs reduction, pollution prevention.

Kaunas, 2021. 65 p.

Summary

European Green Deal by European Union (EU) provides goals for further waste utilization. Ratified directives oblige every member of EU to reuse or recycle 60% of all municipal waste by 2030 and also to recycle no less than 70% off all packaging waste. Both of these directives include plastic waste. The amount of plastic waste is increasing every year, whereas industry of plastic recycling is growing yearly as well, but not at the same pace as the accumulated amount of waste. It is significant not only to recycle the appointed amounts of waste, but also to accomplish it while making as little environment impact as possible.

The process of plastic waste processing (recycling) requires high volume of energy. Energy production is one of the main reasons causing Greenhouse gas (GHG) emission. Therefore, energy inefficiency indirectly increases GHG emissions. Between 2021 and 2030 Lithuania is committed to reduce GHGs by 40% comparing to the year of 1990. Reducing energy intensity is stipulated in the National Energy Independence Strategy, which obliges to minimize energy intensity until 2030 by 1.5 times comparing to the consumption in 2017.

The aim of this research is to increase the efficiency of energy consumption in the plastic waste recycling by optimizing processing processes and, thus, minimizing the impact on the climate changes.

Although the importance of the plastic processing sector in contributing to the implementation of the EU goals is obvious, separate studies examining the possibilities of reducing the impact of plastic processing haven't been carried out in Lithuania in the last five years.

The object selected for the experiment is one of the largest plastic processing companies in the EU - AB Plasta, which annually recycles over 35 thousand tons of plastic waste, and uses secondary raw material for production.

In the work are made analysis of plastic waste management in Lithuania. Identified problematic – insufficient sorting of plastic waste in centralized mechanical treatment facilities.

During the analysis of scientific and practical literature, reviewed main technological processes of plastic recycling, their impact on the environment. Methods used to determine the amount of GHG (CO_{2e}) are discussed.

In the company, AB Plasta was made energy and environmental audit in LDPE waste recycling determined. Calculate the intensity of energy use, CO_{2e} emission sources (system boundaries: from LDPE waste transportation to secondary raw material production). In order to reduce energy intensity and the impact on climate change due to GHGs. In work presented 3 industrial ecology alternatives. An analysis of their feasibility has been carried out: technical assessment, including

testing, environmental and economic assessment. Applied industrial ecology methods: dematerialization (process optimization/integration), industrial symbiosis.

Successful integration of all environmental suggestions provided in this work, would enable Plasta to reduce electricity consumption up to 17 475 MWh per year, energy intensity – by 33 % – 1.32 MWh per tonne of granulate produced.

An overall amount of GHGs would be minimized by ~34 % – 7 672 t CO_{2e} per year or 0.28 t CO_{2e} per tonne of granulate produced. Then the GHG emitted during the production of 1 t of plastic granulate would be 0.543 t CO_{2e} / t.

Successful implementation of these projects would be a significant move forward in order to achieve environmental goals of Lithuania, such as reduction of energy intensity and GHGs, as well as reaching the required norm of waste recycling. The projects, analysed in this work, could be easily applied to other plastic processing Lithuanian enterprises, which could also contribute to reducing environmental impact and achieving the EU's goals.

Turinys

| | |
|--|-----------|
| Lentelių sąrašas | 10 |
| Paveikslų sąrašas | 11 |
| Santrumpų sąrašas | 12 |
| Įvadas..... | 14 |
| 1. Plastiko perdirbimas Lietuvoje: ŠESD šaltiniai ir jų mažinimo galimybės..... | 16 |
| 1.1. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymas ir energijos naudojimo intensyvumas Lietuvos ūkio sektoriuose..... | 16 |
| 1.2. Plastiko atliekų susidarymas ir tolimesnis naudojimas Lietuvoje..... | 21 |
| 1.3. Fizinis plastiko perdirbimas: tendencijos, technologija, poveikio aplinkai ir klimato kaitai mažinimas | 28 |
| 1.4. ŠESD plastiko perdirbime nustatymo metodikos..... | 33 |
| 2. Tyrimo metodika | 36 |
| 3. ŠESD mažinimo galimybių vertinimas eksperimentui parinktame objekte..... | 40 |
| 3.1. AB „Plasta“ – viena didžiausių plastiko atliekų perdirbėja Europoje..... | 40 |
| 3.2. Apibrėžto proceso analizė ir ŠESD kiekio įvertinimas | 40 |
| 3.3. Aušinamo vandens perteklinės šilumos rekuperacinės sistemos įdiegimo galimybių įvertinimas | 47 |
| 3.4. Pramoninės simbiozės projekto realizavimas AB „Plasta“, mažinant ŠESD dėl plastikinių žaliavų transportavimo..... | 50 |
| 3.5. Žaliavos papildomas apdorojimas prieš plovimo procesą įdiegimo galimybių įvertinimas | 52 |
| 4. ŠESD mažinimo galimybės pramonės lygmenyje (rekomendacijos Lietuvos fizinio plastiko perdirbimo įmonėms) | 59 |
| Išvados | 60 |
| Literatūros sąrašas | 62 |
| 1 priedas. AB „Plasta“ procesų srauto diagrama..... | 65 |

Lentelių sąrašas

| | |
|--|----|
| 1 lentelė. ŠESD kiekio išmetimas Lietuvoje pagal sektorius 1990-2018 m., , kt CO _{2e} [8] | 17 |
| 2 lentelė. CO ₂ emisijų faktoriai (EF) transportuojant 1 t produkto skirtingais transportavimo būdais [17]. | 18 |
| 3 lentelė. Plastiko atliekų susidarymas ir tolimesnis naudojimas 2019 m. Lietuvoje [12] | 22 |
| 4 lentelė. Plastiko atliekų importas į Lietuvą 2017 m. [16]..... | 23 |
| 5 lentelė. Pagrindiniai tikslai, susiję su plastiko atliekų panaudojimu..... | 23 |
| 6 lentelė. Komunalinių atliekų susidarymas ir tvarkymas Lietuvoje [15]..... | 24 |
| 7 lentelė. MKA sudėtis Lietuvoje 2019 metais [20]..... | 26 |
| 8 lentelė. Tipinis fizinio plastiko rūšiavimo procesų išdėstymas [26]. | 30 |
| 9 lentelė. AB „Plasta“ plastiko atliekų perdirbimo padalinio medžiagų ir energijos balansas, 2019 m., vnt./m..... | 42 |
| 10 lentelė. Žaliavos transportavimo atstumų nuo tiekėjų iki AB Plasta įvertinimas..... | 42 |
| 11 lentelė. Elektros energijos intensyvumas LDPE plastiko perdirbimo įrenginiuose | 44 |
| 12 lentelė. Elektros energijos naudojimo intensyvumo įvertinimas AB „Plasta“ plovimo linijoje .. | 45 |
| 13 lentelė. Pagrindinių ŠESD taršos šaltinių poveikio aplinkai mažinimo galimi sprendimai | 46 |
| 14 lentelė. Rekuperacinės sistemos įdiegimo aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas | 49 |
| 15 lentelė. Plastiko atliekų potencialas mišrių komunalinių atliekų sraute Lietuvoje 2019 m. | 50 |
| 16 lentelė. Nepanaudotos plastiko atliekos iš mišraus komunalinio srauto pagal plastiko tipus | 51 |
| 17 lentelė. Pasikeitusios tiekimo grandinės žaliavos transportavimo atstumų nuo tiekėjų iki AB „Plasta“ įvertinimas atliekų tiekimo variantas ir transportavimo atstumai | 52 |
| 18 lentelė. AB „Plasta“ naudojamos žaliavos užteršimo nustatymo bandymo rezultatai | 53 |
| 19 lentelė. AB „Plasta“ naudojamos žaliavos užterštumo antro bandymo rezultatai..... | 55 |
| 20 lentelė. Inovacijos įdiegimui reikalingos įrangos pagrindinės techninės charakteristikos ir investicijos | 56 |
| 21 lentelė. Po projekto įdiegimo plovimo įrengimų charakteristikos | 56 |
| 22 lentelė. Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas | 57 |

Paveikslų sąrašas

| | |
|---|----|
| 1 pav. Lietuvoje išmestas ŠESD kiekis, % pagal sektorius [8] | 17 |
| 2 pav. ŠESD sukeliančių medžiagų – CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O – išsiskyres kiekis (%) 2018 m. Lietuvoje pagal sektorius [8] | 18 |
| 3 pav. Energijos vartojimas pagal žaliavos rūšis 2019 m. [9] | 19 |
| 4 pav. Galutinis kuro ir energijos suvartojimas ūkinės veiklos sektoriuose 2015-2019 m. [10]. | 20 |
| 5 pav. Energijos vartojimo efektyvumas EU [11] | 21 |
| 6 pav. Komunalinių atliekų tvarkymas EU bei Šveicarijoje, Norvegijoje, Airijoje [19] | 25 |
| 7 pav. Plastiko pakuočių pagal rūšis pasiskirstymas Lietuvos komunaliniame atliekų sraute [21] .. | 27 |
| 8 pav. Pasaulinė plastiko atliekų susidarymo ir tolimesnio panaudojimo statistika [25] | 28 |
| 9 pav. Plastiko atliekų perdirbimo metodai ir pagrindiniai po perdirbimo gauti produktai [26]. | 29 |
| 10 pav. Energijos naudojimo efektyvumo didinimo ir CO _{2e} mažinimo galimybių LDPE plastiko perdirbime tyrimo etapai | 36 |
| 11 pav. Apibrėžto proceso srautų diagrama | 41 |
| 12 pav. Tipinis plovimo linijos išplanavimas AB „Plasta“ | 45 |
| 13 pav. Rekuperacinės sistemos (vanduo-oras) veikimo srautų diagrama | 47 |

Santrumpų sąrašas

2D – plokščios formos kūnai, pvz. plėvelė, popieriaus lapas;
3D – kitos nei plokščios formos kūnai
AAI – aplinkos apsaugos indikatorius;
AAI_s – santykinis aplinkos apsaugos indikatorius;
AAV – aplinkosauginis veiksmingumas;
AM – Aplinkos ministerija;
BVP – bendras vidaus produktas;
CH₄ – metanas;
CO – anglies monoksidas;
CO₂ – anglies dioksidas;
CO_{2e} – anglies dioksido ekvivalentas;
EER – energetinio efektyvumo rodiklis;
EF – emisijų faktoriai;
ENI – energijos naudojimo intensyvumas;
EK – Europos Komisija;
ES – Europos Sąjunga;
EVE – energijos vartojimo efektyvumas;
GPGB – geriausi prieinami gamybos būdai;
HDPE – aukšto tankio polietilenas (*Angl. - high density polyethylene*);
HFC – fluorinti angliavandeniai;
ISO – Tarptautinė standartizacijos organizacija;
JT BKKK – Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija;
LDPE – žemo tankio polietilenas (*Angl. - low-density polyethylene*);
MBA – mechaninio biologinio apdorojimo;
MKA – mišrios komunalinės atliekos;
NENS – Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija
NF₃ – azoto trifluoridas;
NMLOJ – ne metaniniai lakieji organiniai junginiai;
N₂O – nitro oksidas;
NO_x – azoto oksidai;
PAV – poveikio aplinkai vertinimas;
PET – polietilentereftalatas;

PP – polipropilenas;
PrS - pramoninė simbiozė;
PS – polistirenas;
PUR – poliuretanas;
PVC – polivinilchloridas;
SF₆ – sieros heksfluoridas;
SO₂ – sieros dioksidas;
ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
ŠG – švaresnė gamyba;
TIPK – taršos integruota prevencija ir kontrolė;
TL – Taršos leidimas
ŽE – žiedinė ekonomika;
ŽNPKM – žemės naudojimo, paskirties keitimo ir miškininkystės.

Ivadas

Europos Sąjungos (ES) žaliajame kurse išskelti atliekų tolimesnio panaudojimo tikslai. ES narės iki 2030 metų įsipareigojusios pasiekti, kad 60% visų susidarantių komunalinių atliekų būtų pakartotinai panaudojama ar perdirbama. Taip pat perdirbti ne mažiau nei 70% susidariusių pakuočių atliekų [1]. Plastiko atliekos aptinkamos abiejuose anksčiau paminėtuose atliekų srautuose. Susidarantis plastiko atliekų kiekis kiekvienais metais didėja. Plastiko perdirbamoji pramonė kiekvienais metais auga, tačiau ne taip sparčiai kaip susidarantis atliekų kiekis. Svarbu ne tik siekti perdirbti nustatytus kiekius, bet tai atlikti darant kuo mažesnę poveikį aplinkai.

Plastiko perdirbimo procesui, kaip ir visiems perdirbimo procesams reikalinga daug energijos, todėl ši pramonės šaka pasižymi dideliu energetiniu intensyvumu [3]. Energijos gamyba yra vienas pagrindinių šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) susidarymo priežasčių. Lietuva 2021-2030 m. laikotarpiu yra įsipareigojusi 40 % sumažinti išmetamas ŠESD lyginant su 1990 m. duomenimis. Mažinti energijos naudojimo intensyvumą (ENI) numatyta ir Nacionalinėje energetikos nepriklausomybės strategijoje (NENS). Joje įsipareigota iki 2030 m. sumažinti ENI 1,5 karto lyginant su 2017 m. vartojimu [2].

Šiame darbe analizuojamos energijos naudojimo efektyvumo didinimo galimybės, optimizuojant plastiko perdirbimo procesus ir mažinant poveikį klimato kaitai. Nors plastiko perdirbimo sektoriaus svarba prisidedant prie ES tikslų įgyvendinimo akivaizdi, tačiau atskirų studijų nagrinėjančių plastiko perdirbimo poveikio mažinimo galimybes pastarąjį penkmetį Lietuvoje nebuvo atlikta.

Tyrimo objektas – žemo tankio polietileno (LDPE) plastiko perdirbimo technologiniai procesai.

Tyrimo tikslas – nustatyti energijos naudojimo intensyvumo ir tuo pačiu šiltnamio efektą sukeliančių dujų (CO_{2e}) mažinimo galimybes LDPE plastiko perdirbimo procesuose.

Eksperimentui parinktas objektas – AB „Plasta“. Tai viena didžiausių Europos Sąjungos plastiko perdirbimo įmonių, kurioje kasmet perdirbama virš 35 tūkst. t žemo tankio polietileno (LDPE) atliekų, išgautą antrinę žaliavą sunaudoja produkcijos gamybai.

Tyrimo ribos – atliekų tiekimas – perdirbimas (nuo lopšio-vartų).

Funkcinis vienetas – 1 t perdirbto plastiko granulių.

Uždaviniai:

- Atlikti plastiko atliekų tvarkymo Lietuvoje analizę, identifikuoti problematiką ir jos priežastis.
- Atlikti mokslinės ir praktinės literatūros analizę pagrindinių plastiko perdirbimo technologinių procesų ir poveikio aplinkai srityje, didesnę dėmesį skiriant išteklių tausojimo ir energijos intensyvumo mažinimo klausimams.
- Atlikti AB „Plasta“ LDPE atliekų perdirbimo veiklos aplinkosauginį ir energetinį auditą, siekiant nustatyti tiesioginius ir netiesioginius CO₂ emisijų šaltinius.
- Taikant Pramoninės ekologijos metodus, pateikti pasiūlymus mažinant ŠESD išsiskyrimą (įmonės lygmenyje) ir atlikti jų įvykdomumo analizę.
- Pateikti rekomendacijas Lietuvos LDPE plastiko perdirbimo pramonės įmonėms.

Tyrimo rezultatų publikavimas:

Dalis darbo rezultatų pristatyta nuotoliniu būdu 2021 m. balandžio 17 d. 28-toje Tarptautinėje mokslinėje konferencijoje bakalaurantams ir magistrantams bei jaunesiems mokslininkams „Lomonosov 2021“, kuri vyko Maskvos valstybiniame M. V. Lomonosovo universitete. Santrauka pateikta tarptautinės konferencijos recenzuojamoje medžiagoje:

Kavaliauskas, T. Kliopova I. (Scientific adviser). Resources Efficiency in Plastic product production // 28th International Scientific Conference for Undergraduate and Graduate Students and Young Scientists “Lomonosov”. Atsakingi redaktoriai: I.A. Aleshkovsky, A.V. Andriyanovas, E.A. Antipovas, E.I. Zimakova. [Elektroninis išteklius]. ISBN 978-5-317-06593-5.
https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/21914/127551_uid563824_report.pdf

1. Plastiko perdirbimas Lietuvoje: ŠESD šaltiniai ir jų mažinimo galimybės

1.1. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymas ir energijos naudojimo intensyvumas Lietuvos ūkio sektoriuose

Nepaisant 2016 m. Paryžiaus klimato kaitos susitarimo, kurį ratifikavusios šalys įsipareigojo ne vėliau kaip iki 2030 m. sumažinti išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį bent 55 %, lyginant su 1990 m. [46]. Kasmet į atmosferą išmetama vidutiniškai 2,2 % daugiau ŠESD emisijų, lyginant su ankstesniais metais [4]. Remiantis Aplinkos ministerijos (AM) duomenis, 2019 m. Lietuvoje į atmosferą buvo išmesta 20,4 mln. tonų ŠESD. Tai apie 1,0 % daugiau nei 2017 m. išmetimai. Lietuvoje daugiausiai išmeta transporto (30,9 %) ir energetikos (27,5 %) sektoriai. Toliau pagal išmetimus rikiuojasi: žemės ūkio (20,9 %), pramonės (16,7 %) ir atliekų (4,0 %) sektoriai [5].

Energijos vartojimas ir su ja susiję procesai yra didžiausias ŠESD išmetimų skleidėjas. Energijos naudojimo efektyvumui (ENE) nustatyti yra naudojamas energijos efektyvumo rodiklis (EER). Tai santykis: energijos naudojimo intensyvumo (ENI) (bendrųjų vidaus energijos sąnaudų) ir bendrojo vidaus produkto (BVP)[6]. Lietuva, NENS numatys iki 2030 sumažinti iki 1,5 karto, ir iki 2050 m. – 2,4 karto, lyginant su 2017 metais [2]. Valstybės kontrolės 2018m. ataskaitoje „Energijos vartojimo efektyvumo tikslų pasiekimas“ skelbiama – energijos vartojimas vienam bendrojo vidaus produkto vienetui sukurti kasmet didėja 2% per metus [7]. Reikia imtis papildomų priemonių mažinančių ENI siekiant įgyvendinti užsibrėžtus tikslus.

Energijos vartojimo efektyvumas – vienas geriausių būdų siekiant didinti energijos tiekimo saugumą, mažinti ŠESD išmetimus ir didinti pramonės konkurencingumą [7]. Siekiant detaliau išanalizuoti esamą situaciją ir jos problematiką reikia atlikti statistinių duomenų ir teisės aktų susiję su ŠESD ir ENI Lietuvos ūkio sektoriuje analizę.

Pagrindiniai tarptautiniai dokumentai, reguliuojantys klimato kaitą, yra Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija (toliau – JT BKKK) vykusi 1997 m. Kioto mieste. JT BKKK tikslas – stabilizuoti tokio lygio ŠESD koncentraciją atmosferoje, kuri neturėtų pavojingos antropogeninės sąveikos su klimato sistema. Kioto protokolas nustato išmetamų ŠESD sumažinimo tikslus daugeliui pramoninių šalių, įskaitant daugelį ES valstybių narių, ir apriboja išmetamų ŠESD kiekio didėjimą [8]. ES valstybės iki 2030 įsipareigojusi sumažinti 40 % išmetimų emisiją, lyginant su 1990 m.

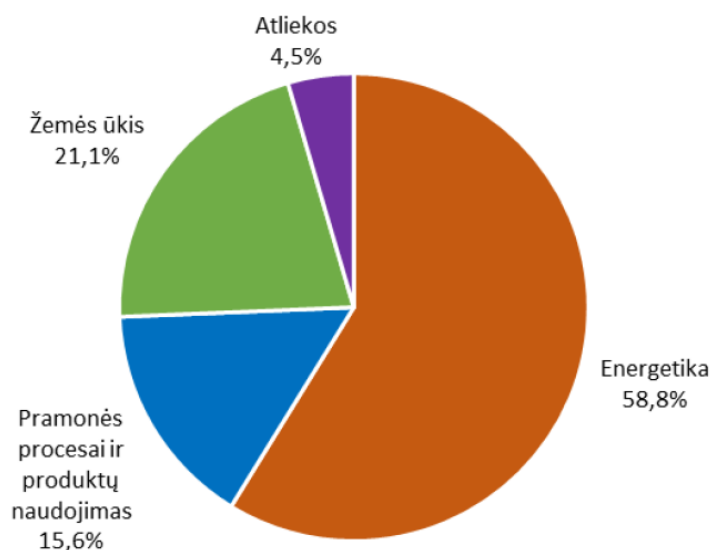
2020 m. Nacionalinėje išmetamųjų ŠESD kiekio apskaitos ataskaitoje pateikiama informacija apie tiesiogiai (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, SF₆ ir NF₃) ir netiesiogiai (CO, NO_x, NMLOJ, SO₂) medžiagų išmetimus Lietuvos teritorijoje [8]. ŠESD kiekis pateikiamas CO₂ ekvivalentu, nes skirtingos dujos turi skirtingą visuotinį šiltėjimo potencialą. Potencialas skirtingoms dujoms nustatomas atskirai.

Šalyje 2018 m. į atmosferą buvo išmesta 20 267 000 t ŠESD (neįskaitant žemės naudojimo, paskirties keitimo ir miškininkystės (ŽNPKM) sektoriaus). Lyginant su 1990 m., išmetamas ŠESD kiekis sumažėjo apie 58 %, neįskaitant ŽNPKM, o įskaitant šį sektorių – 61 % ŠESD kiekio. CO_{2e} išmetimų kitimas 1990-2018 m. pagal ūkio sektorius pateiktas 1 lentelėje [8]. Iš šios lentelės matyti, kad Lietuva savo įsipareigojimus iki 2030 jau yra įvykdžiusi.

1 lentelė. ŠESD kiekio išmetimas Lietuvoje pagal sektorius 1990-2018 m., , kt CO_{2e} [8]

| Metai | Energetika | Pramonės procesai ir produktų naudojimas | Žemės ūkis | ŽNPKM | Atliekos | Iš viso (įskaitant ŽNPKM) | Iš viso (neįskaitant ŽNPKM) |
|---------------------|--------------|--|--------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1990 | 33 128,5 | 4 464,3 | 8 853,4 | -5 578,2 | 1 570,1 | 42 438,1 | 48 016,3 |
| 1995 | 14 168,7 | 2 202,7 | 4 391,5 | -4 451,6 | 1 569,7 | 17 881,0 | 22 332,6 |
| 2000 | 10 917,6 | 3 062,5 | 4 004,6 | -9 466,8 | 1 538,4 | 10 056,3 | 19 523,1 |
| 2005 | 13 160,1 | 4 079,8 | 4 144,4 | -4 497,3 | 1 487,0 | 18 374,0 | 22 871,3 |
| 2010 | 13 136,0 | 2 216,1 | 4 193,4 | -10 284,8 | 1 342,1 | 10 602,8 | 20 887,6 |
| 2015 | 11 276,2 | 3 486,9 | 4 559,5 | -5 529,8 | 1 077,8 | 14 870,6 | 20 400,4 |
| 2018 | 11 906,7 | 3 158,6 | 4 280,7 | -3 866,7 | 920,9 | 16 400,2 | 20 266,9 |
| 2018/1990, % | -64,1 | -29,2 | -51,6 | -30,7 | -41,3 | -61,4 | -57,8 |

Pirmame paveikslėlyje pateikta ŠESD susidarymo procentinė išraiška pagal ūkio sektorius. Didžiausi išmetimai yra energetikos sektoriuje – 58,8 % viso kiekio. Iš šio sektoriaus daugiausiai buvo išmesta CO₂ – 82,2 % ir CH₄ – 15,6 % viso Lietuvoje išsiskyrusio kiekio. Pagrindiniai energetikos sektoriaus taršos skleidėjai: transportas ir deginamas kuras energijos gamybai. Energetikos sektoriaus išmetimai 1990-2018 m. laikotarpiu sumažėjo beveik 3 kartus. Pagrindinis sumažėjimas siejamas su skirtingų laikotarpių ekonominėmis krizėmis. Analogiškai padidėjimas siejamas su ekonomikos atsigavimu.



1 pav. Lietuvoje išmestas ŠESD kiekis, % pagal sektorius [8]

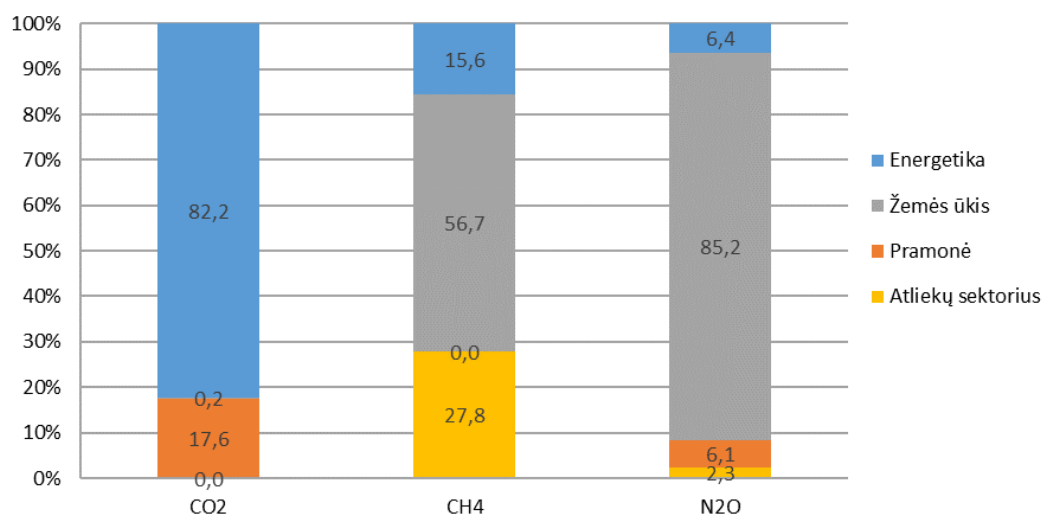
Transporto sektoriaus išmetimų didėjimas tiesiogiai siejamas su pervežimų kiekio didėjimu. Transportuojant krovinius iš mobilių oro taršos šaltinių išsiskiria oro teršalai (CO, NO_x, NMLOJ, SO_x), susidaro ŠESD. Kuo didesnis transportavimo atstumas, tuo didesnis poveikis aplinkos orui ir klimato kaitai. Tarptautinio jūrų instituto atliktoje studijoje „Laivų oro taršos prevencija“ nustatyti CO₂ emisijų faktoriai 1 toną 1 km atstumu transportuojant skirtingais būdais. Tyrimo rezultatai pateikti 2 lentelėje [17]. Šiuo metu, dėl sektoriaus investicijų į mažiau taršias transporto priemones,

išmetama tarša nedidėja eksponente. Nuo 2012 m., įgyvendinus Valstybinės ŠESD mažinimo priemones, stebimas nedidelis ŠESD išmetimų mažėjimas šiame sektoriuje. Numatomose mažinimo priemonėse pagrindinis dėmesys bus skiriamas: atsinaujinančiai energetikai, diegiami mažesni poveikį aplinkai energetikos gavimo ir panaudojimo sprendimai.

2 lentelė. CO₂ emisijų faktoriai (EF) transportuojant 1 t produkto skirtingais transportavimo būdais [17].

| Krovinio transportavimo būdas | EF, t CO _{2e} t žaliavų per 1 km |
|-------------------------------------|---|
| Lėktuvais | 445 |
| Sunkvežimiais, bendras svoris >40 t | 80 |
| Traukiniais | 45 |
| Vidutinio dydžio keltais | 8,6 |

Antras pagal taršą – žemės ūkio sektorius (21,1 %), kuriame 2018 m daugiausiai susidarė N₂O – 85,2 % ir CH₄ – 56,7 % viso išmesto kiekio Lietuvoje. 2 pav. pateiktas ŠESD sukeliančių medžiagų – CO₂, CH₄, N₂O – 2018 m. Lietuvoje išsiskyręs kiekis (%) pagal ūkio sektorius. N₂O iš dirvožemių į aplinką patenka tiesioginiu būdu: iš sintetinių ir organinių trąšų, gyvulių mėšlo ir šlapimo, pasėlių likučių, organinių dirvožemių valdymo, azoto mineralizacijos ir kt. Netiesioginiu būdu: azoto išgaravimas ir azoto išplovimas/ nutekėjimas. CH₄ išsiskiria iš gyvulių organizmo. Pagrindinės priemonės šiame sektoriuje, mažinančios ŠESD: naujų augalų rūšių plėtojimas, dirvožemio kokybės atkūrimas, biologinės įvairovės įvedimas, gamtinius išteklius tausojanti technologinė kaita, mėšlo tvarkymo sistemos pakeitimas į biodujų gamybos įrenginius.



2 pav. ŠESD sukeliančių medžiagų – CO₂, CH₄, N₂O – išsiskyręs kiekis (%) 2018 m. Lietuvoje pagal sektorius [8]

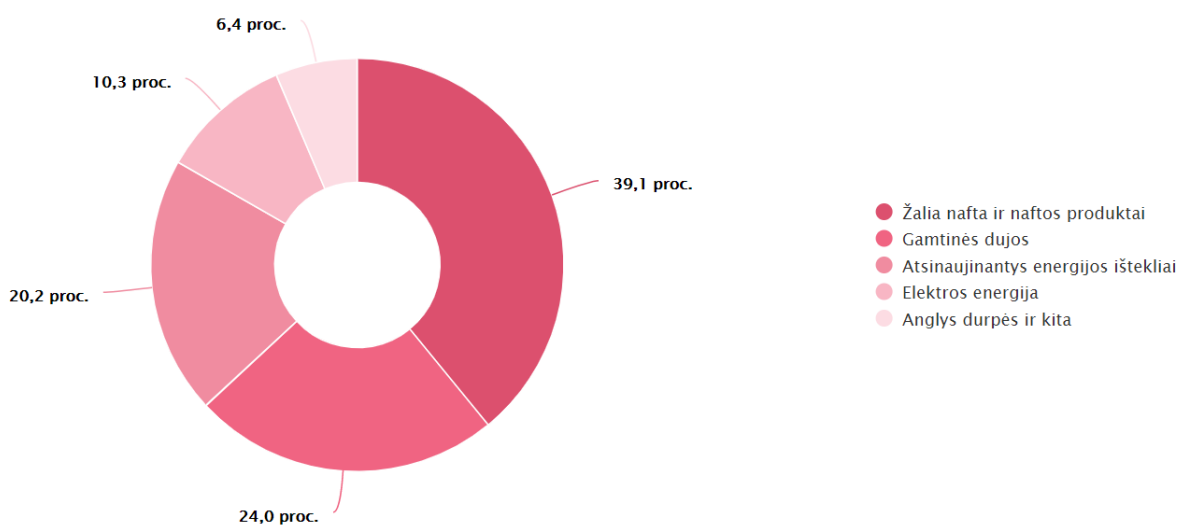
Pramonės sektorius metiniai išmetimai sudaro 15,6 % viso Lietuvoje išmesto ŠESD metinio kiekio. Pagal kiekį tai 3 taršiausias sektorius Lietuvoje. Pagrindinė sektoriaus trąša CO₂ – 17,6% ir N₂O – 6,1 % Lietuvoje išmesto kiekio. Didžiausi taršos skleidėjai šiame ūkio sektoriuje – chemijos pramonė (azoto rūgšties gamyba) ir mineralinių produktų gamyba (chemijos pramonė). Amoniako gamyba 2018 m. sudarė 76,2 % viso CO₂ pramonės sektoriaus kiekio t.y. 13,4 % metinio išmesto kiekio Lietuvoje. Mineralinių medžiagų pramonės CO₂ išmetamas kiekis sudarė 22,5 % visų pramonės sektoriaus išmetimų. Kitos pramonės šakos tesudarė 1,3 % viso CO₂ kiekio šiame sektoriuje. Išmetamas kiekis tiesiogiai susijęs su gamybiniais pajėgumais.

Ketvirtoje vietoje su 4,5 % rikiuojasi atliekų sektorius. Daugiausiai šiame sektoriuje susidarė CH₄ dujų – 27,8 % ir N₂O – 2,3 % bendro išmetamo kiekio. CH₄ dujų kiekis susidaro yrant biologiškai skaidžioms (BS) atliekoms ir valyklose nuotekų išleidimo metu. Iki 2015 m. sąvartynuose buvo šalinama daugiau nei 50 % atliekų. 2018 m. duomenimis, sąvartynuose šalinama iki 25 % atliekų. Lietuvos Valstybiniame atliekų tvarkymo plane 2014-2020 m. yra iškeltas ilgalaikis strateginis tikslas mažinti jų kiekį bei užtikrinti žmonių sveikatai ir aplinkai saugų atliekų tvarkymą ir racionalų atliekų medžiaginių ir energetinių išteklių naudojimą, taip mažinti gamtos, kitų išteklių naudojimą ir atliekų šalinimą sąvartynuose. Bendras atliekų sektoriaus išmetimų kiekis nuo 1990 m. sumažėjo 1,7 karto. Šis skaičius siejamas su Lietuvoje gyvenančių žmonių kiekio sumažėjimu, atliekų tvarkymo sistemos infrastruktūros plėtra bei visuomenės sąmoningumo didėjimu.

Apžvelgus visus ūkio sektorius, beveik visuose pastebimas ŠESD išsiskyrimo mažėjimas 2018 m. Pramonėje sumažėjo 12,8 %, žemės ūkyje – 2,4 %, atliekų sektoriuje – 13,2 %. Tačiau energetikos sektoriuje padidėjo 3,1 %. Bendros tendencijos nuo 1990 m. yra pozityvios. Jau dabar yra pasiektas tikslas iki 2030 40 % sumažinti ŠESD kiekį, lyginant nuo 1990 m. 2018 m. duomenimis, šis kiekis jau sumažėjo 58 % (neįskaitant ŽNPKM).

Pagrindinė priemonė Lietuvoje ŠESD kiekio ribojimui priemonė ūkio sektoriuje – taršos integruotos prevencijos ir kontrolės (TIPK) leidimai. Kurie apibrėžia įmones pagal jų sukeliama taršą ir nustato maksimalius išmetimų kiekius. Tik labai taršios įmonėms taikomi TIPK leidimo reikalavimai, mažiau taršioms taikomi taršos leidimo (TL) reikalavimai. Tarp jų pagrindinis skirtumas, kad pirmasis siekia mažinti taršą, o antrasis nustato leistinos taršos ribą. Siekiant mažinti ŠESD išmetamą kiekį rekomenduojama taikyti atskirų sektorių geriausiai prieinamų gamybos būdų (GPGB) dokumentus [8].

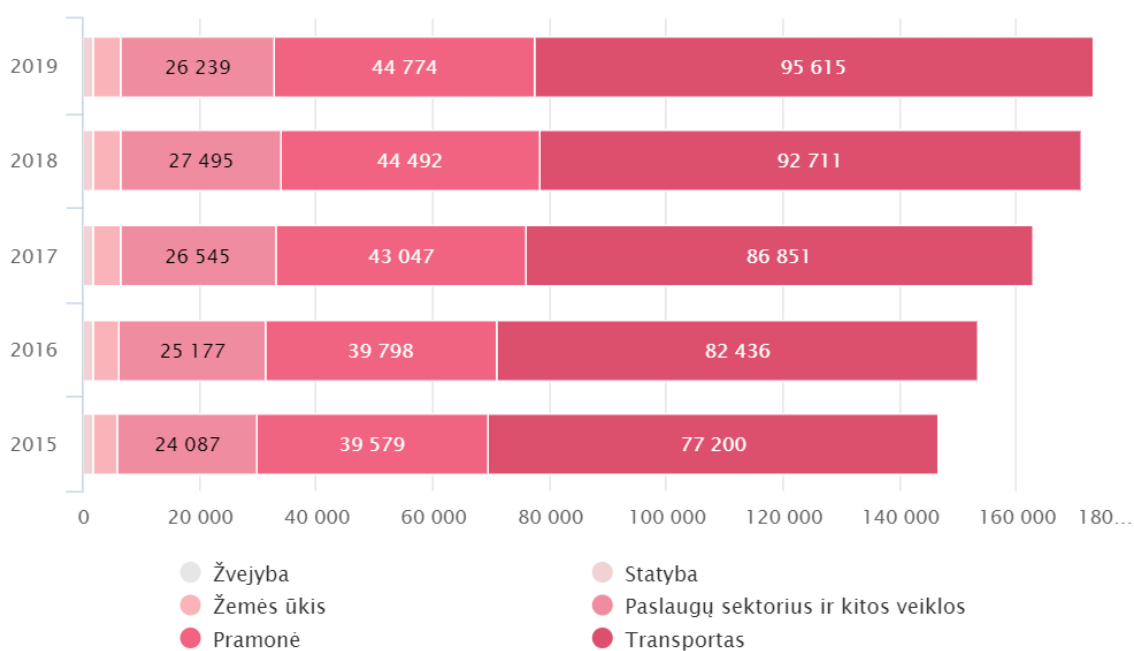
Statistikos departamento duomenimis, bendros šalies kuro ir energijos sąnaudos 2019 m. sudarė 7,76 mln. tonų naftos ekvivalento t. y. 0,2 % daugiau nei 2018 m. [10]. 3 paveikslėlyje pateiktas energijos vartojimas pagal rūšis. Didžiausias energijos vartojimas – žalios naftos ir naftos produktų, tai sudaro 39,1 % viso 2019 m. sunaudotos energijos kiekio, lyginant pagal naftos ekvivalentą. Po jų pagal suvartojimą: gamtinės dujos (24,0 %), atsinaujinantys energijos ištekliai (20,2 %), elektros energija (10,3 %), anglis, durpės ir kita (6,4 %).



3 pav. Energijos vartojimas pagal žaliavos rūšis 2019 m. [9]

Galutinių vartotojų: pramonės, statybos, žemės ūkio, kitų ekonominės veiklos rūšių įmonėms ir namų ūkių sektorių energijos suvartojimas (kuras ir energija) padidėjo 1,2 %, lyginant su 2018 m [10]. 4 pav. pateikta energijos vartojimo dinamika pagal ūkio sektorius. Didžiausia 2019 m. kuro energijos vartojimo dalis (55,2 %) tenka transporto sektoriui. Ši dalis, lyginant su ankstesniais metais, beveik nekinta. Antroje vietoje pagal suvartojimą yra pramonė – 25,9 % viso kiekio. Trečioje vietoje yra paslaugų sektorius su 15,2 %. Likusios pramonės šakos pagal statistikos departamento duomenis: žemės ūkis, statyba ir žvejyba kartu sudėjus sudaro 3,7% viso galutinio kuro ir energijos suvartojimo ūkinės veiklos sektoriuje. Energijos suvartojimas 2019 m. lyginant su 2018 m padidėjo nežymiai. Ankstesniais metais augimo tendencija buvo didesnė. Dar per anksti daryti prielaidas apie energijos efektyvumo didėjimą, ar netolimoje ateityje metinio suvartojimo mažėjimą lyginant su ankstesniais metais.

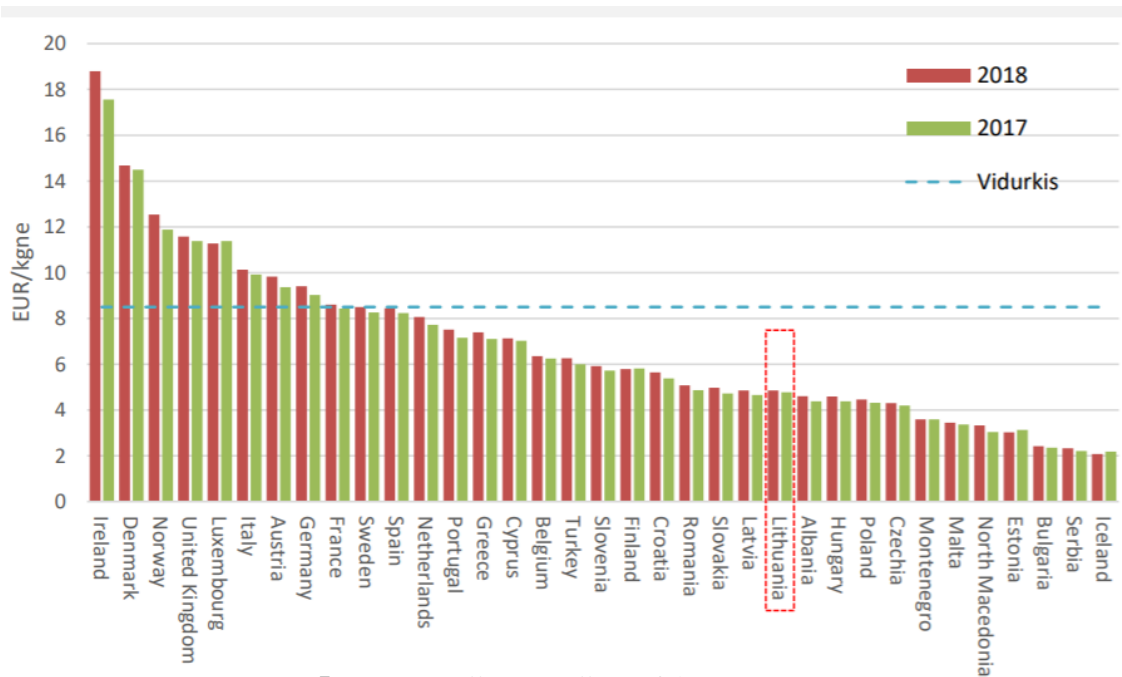
Teradžauliais



4 pav. Galutinis kuro ir energijos suvartojimas ūkinės veiklos sektoriuose 2015-2019 m. [10].

Aiškiau įsivertinti problematiką padeda – energijos vartojimo efektyvumą (EVE). EVE indikuojami ES ir Lietuvos nacionaliniai tikslai: direktyva 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo, NENS. Strategijoje numatyta, kad iki 2030 metų pirminės ir galutinės energijos intensyvumas būtų 1,5 karto mažesnis negu 2017 metais, o iki 2050 metų sumažėtų 2,4 karto [2]. Intensyvumas tiesiogiai susijęs su efektyvumu. 2020 m. Energetikos ministerijos 2018 m. parengtoje „Pažangos siekiant nacionalinių energetikos vartojimo efektyvumo tikslų“ ataskaitoje EVE buvo – 4,852 eur/kgne, 2017 m. 4,77 eur/kgne. [11]. Šis rodiklis parodo, kad, nors metinis suvartojimas padidėjo, tačiau sukuriame daugiau pridėtinės vertės.

Lietuvos EVE rodiklis geriausias tarp Baltijos šalių, tačiau mes ženkliai atsiliekame nuo ES vidurkio. ES narių EVE pateiktas 5 pav. Norint pasiekti užsibrėžtus tikslus reikia siekti ženkliai efektyvesnio energijos panaudojimo. Pasitelkiant BPGB, ar kitų šalių gerąją praktika, kuriose šis rodiklis ženkliai geresnis nei Lietuvos. Didžiausiais dėmesys turi būti skiriamas pramonės ir transporto srityje kuriose vartojimas yra didžiausias.



5 pav. Energijos vartojimo efektyvumas EU [11]

1.2. Plastiko atliekų susidarymas ir tolimesnis naudojimas Lietuvoje

Pagrindinis teisės aktas apibrėžiantys atliekas - „Lietuvos Respublikos Atliekų tvarkymo įstatymas“. Atliekos pagal pavojingumą skirstomos: pavojingas ir nepavojingas. Plastikai tinkami būti perdirbti priskiriami prie nepavojingų atliekų kategorijos. Plastikai užteršti pavojingomis cheminėmis medžiagomis priskiriami prie pavojingų atliekų kategorijos. Pagal kilmę atliekos skirstomos: buitinių/komunalinių ir gamybinį srautus [14]. 2019 m. plastiko atliekų susidarymas ir jų tolimesnis panaudojimas pateiktas 3 lentelėje.

Pakuotės atliekos sudaro didžiausią surenkamą kiekį – 64 515 t/m. (žr. 3 lentelę). Antroje vietoje pagal sugeneravimą yra plastikas, atskirtas iš komunalinio srauto – 16 025 t/m.. Trečioje vietoje – plastiko gamybinės atliekos – 10 035 t/m.. Viso per 2019 m. sugeneruotas plastiko atliekų kiekis – 103 063 t. 2018 m. identiškų kodų plastiko atliekų buvo surinkta 100 486 t. Metinis padidėjimas 2019 m., palyginti su 2018 m. - 2,6 %.

Pagal 3 lentelėje pateiktus duomenis, didžioji dalis Lietuvoje 2019 m. surinktų plastiko atliekų yra eksportuojama (iki 37 %). Antroje vietoje pagal tolimesnio panaudojimo procentą – perdirbama (29 %), trečioje – apdorojimas prieš tolimesnį panaudojimą (21 %). Eksportuotos atliekos turėjo teigiamą arba neutralią vertę atliekų generuotojui, kad atsipirktų transportavimas į kitas šalis. Tokios atliekos dažniausiai būna tinkamos perdirbti, ar kitaip panaudojamos sukuriant pridėtinę vertę. AAA sistemoje nėra pateikta oficialių duomenų, kiek 2019 m. plastiko atliekų buvo importuota į Lietuvą su tikslu jas perdirbti, ar kitaip panaudoti. Naujausi atliekų importavimo duomenys, kurie pateikiami AAA puslapyje – 2017 m. pateikti 4 lentelėje.

2017 m. į Lietuvą importuota 55 575 t plastiko atliekų. Informacijos apie atliekų kilmės šalį ir transportavimo atstumą viešai prieinamų duomenų nėra. Žinant, kad plastiko atliekų kiekis kiekvienais metais auga, taip pat didėjant plastiko perdirbimo pajėgumams galime daryti prielaidą, kad 2019 m. įvežtas plastiko atliekų kiekis nebuvo mažesnis nei 2017 m. Tuomet bendras Lietuvos plastiko perdirbimo įmonių 2019 m. perdirbimo pajėgumas galėjo viršyti 90 tūkst. t. plastiko atliekų.

3 lentelė. Plastiko atliekų susidarymas ir tolimesnis naudojimas 2019 m. Lietuvoje [12]

| ¹ Atliekos | | Kiekis metų pradžioje, t/m. | Suma surinktų ir susidariusių, t | Atliekų tvarkymo veiklos, t/m. | | | | | Kiekis metų pabaigoje, t/m. |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------------------------|
| kodas | pavadinimas | | | D1 | S4 | D10 | R | R12 arba S5 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Žemės ūkio, akvakultūros, miškininkystės, medžioklės ir žūklės atliekos | | | | | | | | | |
| 20104 | plastikų atliekos (išskyrus pakuotę) | 327 | 122 | 1 | – | – | 88 | 29 | 331 |
| Plastikų, sintetinės gumos ir dirbtinio pluošto GMTN atliekos | | | | | | | | | |
| 70213 | plastikų atliekos | 210 | 533 | 14 | – | 4 | 492 | 19 | 213 |
| Metalų ir plastikų formavimo, fizinio ir mechaninio jų paviršiaus apdorojimo atliekos | | | | | | | | | |
| 120105 | plastiko drožlės ir nuopjovos | 672 | 10035 | 2937 | 631 | 0 | 4144 | 2633 | 362 |
| Pakuotės (įskaitant atskirai surinktas komunalines pakuočių atliekas) | | | | | | | | | |
| 150102 | plastikinės pakuotės | 9430 | 64515 | – | 38791 | – | 26445 | 3122 | 5586 |
| Eksploatuoti netinkamos įvairios paskirties transporto priemonių atskirtos atliekos | | | | | | | | | |
| 160119 | plastikas | 473 | 3192 | 1468 | 92 | – | 10 | 1734 | 360 |
| Statybinės ir griovimo atliekos | | | | | | | | | |
| 170203 | plastikas | 131 | 1011 | 476 | – | 6 | 123 | 209 | 328 |
| Atliekos iš atliekų tvarkymo įrenginių, nuotekų valymo įrenginių, kitaip neapibrėžtos atliekų mechaninio apdorojimo (pvz., rūšiavimo, smulkinimo, suslėgimo, granuliavimo) | | | | | | | | | |
| 191204 | plastikai ir guma | 3722 | 7630 | 90 | 4011 | 15 | 3492 | 2018 | 1725 |
| Komunalinės atliekos (buitinės, gamybų ir organizacijų atliekos) | | | | | | | | | |
| 200139 | plastikas | 1265 | 16025 | 546 | 580 | – | 393 | 14654 | 1117 |
| Iš viso, t/m.: | | 16230 | 103063 | 5533 | 44106 | 25 | 35186 | 24419 | 10023 |
| Iš viso, % | | 100 | | 5 | 37 | 0 | 29 | 21 | 8 |

¹Pastaba: atliekų tvarkymo kodai pagal Atlieku tvarkymo taisykles [13]: D1 – išvertimas ant žemės ar po žeme (pvz., šalinimas sąvartyne); S4 – išvežimas (eksportas); D10 – deginimas sausumoje; R – vienas iš naudojimo būdų, pvz., populiariausias aptariamos atliekų atveju – R3 – organinių medžiagų, nenaudojamų kaip tirpikliai, perdirbimas ir (arba) atnaujinimas (įskaitant kompostavimą ir kitus biologinio pakeitimo procesus); R12 – atliekų būsenos ar sudėties pakeitimas, prieš vykdant su jomis bet kurią iš R1-R11 veiklų; S5 – atliekų paruošimas naudoti ir šalinti, apimantis šias išankstinio atliekų apdirbimo veiklas.

4 lentelė. Plastiko atliekų importas į Lietuvą 2017 m. [16]

| Metai | Atliekos kodas | Atliekos pavadinimas | Kiekis, t |
|-------|----------------|--------------------------------------|--------------|
| 2017 | 020104 | Plastikų atliekos (išskyrus pakuotę) | 270 |
| | 070213 | Plastikų atliekos | 160 |
| | 120105 | Plastiko drožlės ir nuopjovos | 312 |
| | 150102 | Plastikinės (kartu su PET) pakuotės | 49622 |
| | 160119 | Plastikai | 112 |
| | 191204 | Plastikai ir guma | 1217 |
| | 200139 | Plastikai | 3883 |
| | | | 55575 |

2017 m. į Lietuvą importuota 55 575 t plastiko atliekų. Informacijos apie atliekų kilmės šalį ir transportavimo atstumą viešai prieinamų duomenų nėra. Žinant, kad plastiko atliekų kiekis kiekvienais metais auga, taip pat didėjant plastiko perdirbimo pajėgumams galime daryti prielaidą, kad 2019 m. įvežtas plastiko atliekų kiekis nebuvo mažesnis nei 2017 m. Tuomet bendras Lietuvos plastiko perdirbimo įmonių 2019 m. perdirbimo pajėgumas galėjo viršyti 90 tūkst. t. plastiko atliekų.

Atliekant plastiko perdirbimo įmonių paiešką internete, pavyko identifikuoti 10 įmonių užsiimančių šia veikla. Ne visos tiksliai nurodo, kokio tipo plastiką perdirba, bet vyraujantys plastikų tipai yra šie: LDPE, HDPE, PP, PET. Vyraujantis atliekų perdirbamų atliekų srautas – pakuotės atliekos. Daugiau susistemintų duomenų apie plastiko perdirbėjus Lietuvoje nepavyko rasti. Tai rodo pakankamai menką dėmesį į šį sektorių. Kadangi nėra įsteigtos plastiko atliekų perdirbėjų asociacijos, didžioji dalis perdirbėjų priklauso – Pakuočių atliekų perdirbėjų asociacijai. Tačiau, apie šią asociaciją viešai prieinamų duomenų yra labai nedaug.

5 lentelė. Pagrindiniai tikslai, susiję su plastiko atliekų panaudojimu

| Atliekų rūšis | Tikslai / uždaviniai | Pasiekti iki | Teisės aktas |
|----------------------|--|--------------|-----------------------|
| Komunalinės atliekos | Panaudoti ar perdirbti 55 % atliekų. | 2025 | EU direktyva 2018/851 |
| | Panaudoti ar perdirbti 60 % atliekų. | 2030 | |
| | Panaudoti ar perdirbti 65% atliekų. | 2035 | |
| | Sumažinti atliekų, patenkančių į sąvartyną, 10 % ir daugiau. | 2035 | EU direktyva 2018/850 |
| Pakuočių atliekos | Perdirbti ne mažiau 65 %. | 2025 | EU direktyva 2018/852 |
| | Perdirbti ne mažiau 70 %. | 2030 | |
| | Atskiri tikslai pakuočių atliekų rūšims: | | |
| | Plastiko 50 % | 2025 | |
| | Plastiko 55 % | 2030 | |

Lietuva su kitomis ES valstybėmis įsipareigojusi siekti žaliojo kurso iškeltų tikslų. Pagrindiniai tikslai, susiję su plastiko atliekų tolimesniu panaudojimu, pateikti 5 lentelėje. Šie tikslai užtvirtinti ne tik ES direktyvose, bet ir perkelti į Lietuvos teisės aktus. Visi siekiai įtraukti į „Valstybiniame atliekų tvarkymo planas 2014-2020“ [47]. Plano atnaujinimas rengiamas.

Lyginant 3 ir 4 lentelių duomenis galime matyti, kad Lietuva su pakuotėmis tolimesniu panaudojimu susijusius įsipareigojimus yra įvykdžiusi. Siekiant nustatyti komunalinių atliekų tikslų įgyvendinimo lygį Lietuvoje bus atliekama šio srauto detalesnė analizė. Analizės metu taip pat bus siekiama nustatyti kaip prie tikslų įgyvendinimo prisideda plastiko perdirbimas, bei koks nepanaudoto plastiko potencialas yra komunaliniame atliekų sraute kuris galėtų būti perdirbamas.

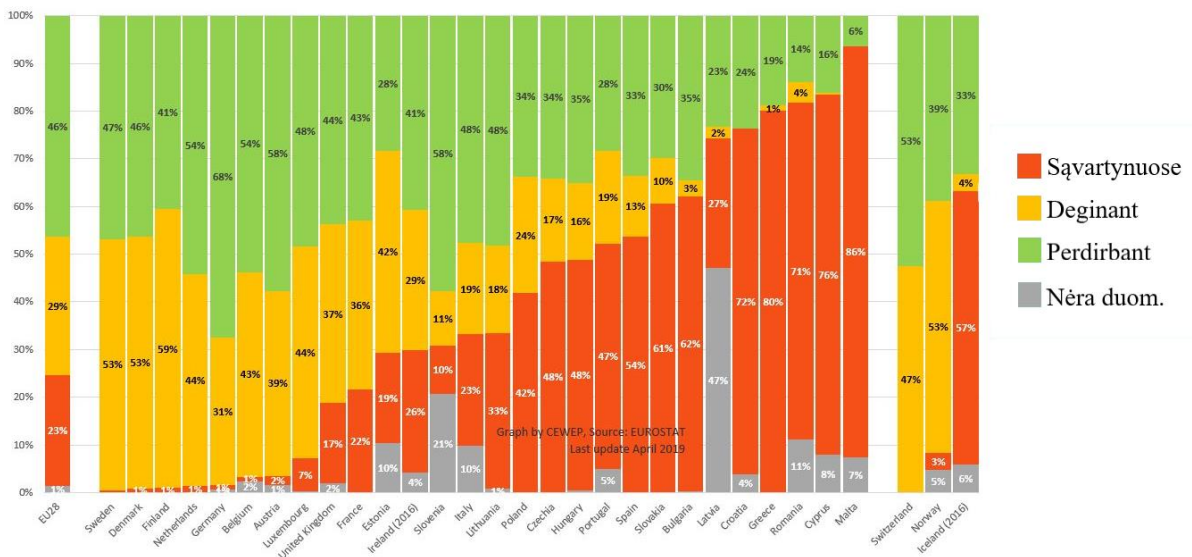
Atliekų tvarkymo įstatyme komunalinės atliekos yra apibrėžiamos – buitinės, komercinės, pramoninės, institucijų bei kitokios prigimties atliekos, kurios savo pobūdžiu ir sudėtimi yra panašios į buitines atliekas [14]. Jos skirstomos į 2 tipus: 1) išrūšiuotos komunalinės atliekos – pagal žaliavos tipą atskirtos ir sumestos į skirtingus konteinerius, siekiant, kad atliekos būtų perdirbtos ar kitaip panaudotos; 2) mišrios komunalinės atliekos po rūšiavimo likusios nepavojingos buitinės atliekos, kurios negali būti perdirbamos ar toliau panaudojamos [14].

Valstybinių lygiu komunalinių atliekų surinkimą ir tolimesnį panaudojimą prižiūri Aplinkos apsaugos agentūros (AAA). AAA surinkti statistiniai duomenys pateikti 6 lentelėje [15]. Remiantis statistiniais pateiktais duomenimis ir atsižvelgiant į atliekų tvarkymo hierarchijos principus, sugeneruotų Lietuvos komunalinių atliekų tolimesnio panaudojimo situacija gerėja. Didėja, perdirbimo, kompostavimo procentas. Mažėja kiekis patenkantis į sąvartynus. Reikia atkreipti dėmesį į matų pabaigoje nesutvarkytų atliekų kiekį, jis pastaruosius 2 metus didėja. Iki 2025 metų Lietuva dar turi ~5 % padidinti komunalinių atliekų perdirbimo ar tolimesnio panaudojimo lygį, kad pasiektų ES tikslus.

6 lentelė. Komunalinių atliekų susidarymas ir tvarkymas Lietuvoje [15]

| Metai | Susidarė t | Sutvarkyta, t/m. ir % nuo susidarymo | | | | | | | | | |
|-------|------------|--------------------------------------|----|-----------|----|-------------------------------------|----|-------------|----|----------------------------|----|
| | | Pašalinta sąvartyne | | Sudeginta | | Perdirbta (su eksportu perdirbimui) | | Kompostuota | | Likęs nesutvarkytas kiekis | |
| | | t | % | t | % | t | % | t | % | t | % |
| 2015 | 1299998 | 702127 | 54 | 149885 | 12 | 298820 | 23 | 132357 | 10 | 16809 | 1 |
| 2016 | 1272061 | 379267 | 30 | 220796 | 17 | 312268 | 25 | 298706 | 23 | 61024 | 5 |
| 2017 | 1286434 | 420678 | 33 | 235872 | 18 | 310807 | 24 | 307971 | 24 | 11106 | 1 |
| 2018 | 1300572 | 320493 | 25 | 162797 | 13 | 315390 | 24 | 368400 | 28 | 133593 | 10 |
| 2019 | 1318626 | 309667 | 23 | 194462 | 15 | 362745 | 28 | 292540 | 22 | 159312 | 12 |

Lietuvos komunalinių atliekų 2017 m. surinkimo ir tolimesnio panaudojimo palyginimas su kitomis ES valstybėmis, bei Šveicarijos, Norvegijos, Airijos pateiktas 6 pav. Paveikslėlyje pateiktų valstybių bendras vidutinis tolimesnis atliekų panaudojimas: 46 % perdirbama/kompostuojama, 29 % išgaunama energija, 23 % keliauja į sąvartynus, apie 1 % atliekų duomenų nėra. Pagal paveikslėlyje pateiktus duomenis Lietuvoje į sąvartynus patenka 10% daugiau atliekų nei ES vidurkis. Vėlesnių metų atliekų pateikimas į sąvartynus ženkliai mažėjo (žr. 6 lentelę). Tačiau, tais metais stipriai išaugo metų pabaigoje nesutvarkytas komunalinių atliekų kiekis.



6 pav. Komunalinių atliekų tvarkymas EU bei Šveicarijoje, Norvegijoje, Airijoje [19]

Remiantis 2017 metų Eurostato duomenimis, Lietuvos susidaranti komunalinių atliekų kiekis, tenkantis vienam gyventojui per metus yra mažesnis nei ES valstybių vidurkis – 487 kg. Lietuvoje – 455 kg per metus [18]. Tačiau, šis sugeneruojamas kiekis vienam gyventojui dar toli nuo mažiausiai sugeneruojančių šalių pasiekimo. Trijų ES valstybių vienam gyventojui sugeneruojamas komunalinių atliekų kiekis nesiekia 350 kg/m.: Rumunija (272 kg/m.), Lenkija (315 kg/m.) ir Čekija (344 kg/m.). Lietuvoje, turi būti siekiama ne tik atliekų perdirbimo lygio pasiekimo, bet ir susidaranti kiekio mažėjimo.

Lietuvoje veikiančios apskritys atsakingos už komunalinių atliekų surinkimą ir tolimesnį panaudojimą. Apskričių viršininkai, apskričių taryboms pritarus, savo teritorijose koordinuoja antrinių žaliavų surinkimą, komunalinių atliekų tvarkymą, skiria žemės sklypus komunalinėms atliekoms [14]. Sudaromos sutartys su atliekų vežėjais, kurie rūpinasi konteinerių tinklo plėtimu ir atliekų išvežimu. Išrūšiuotos komunalinės atliekos apdoroja atliekų vežėjai. Išrūšiuotų plastiko komunalinių atliekų susidarymas ir tolimesnis panaudojimas pateiktas 3 lentelėje. Šioms atliekoms suteiktas kodas – 150102. Nuo 2017 metų visoje Lietuvoje pradėjus veikti 10 mechaninio biologinio apdirbimo (MBA) įrenginių visos mišrios komunalinės atliekos apdorojamos tik juose. MBA įrenginių veikimo principas beveik nesiskiria, tačiau atskirų rajonų įrengimai turi papildomas funkcijas, ar kitokį darbo veiklos administravimą, dėl to atliekų tinkamų perdirbti iš mišraus komunalinio srauto stipriai skiriasi.

Atliekos MBA įrenginiuose: smulkinamos, mechaniškai atskiriamos pagal frakcijos dydį, erdvinę atliekos formą, magnetų pagalba atskiriami metalai, automatiniai separatorių pagalba atskiriamos medžiagos pagal tipą, rankiniu būdu atliekamas finalinis perdirbti tinkamų atliekų atskyrimas iš viso srauto. Šiuo metu Lietuvoje esančių MBA įrenginių efektyvumas, t.y. atliekų regeneracijos laipsnis, labiausiai priklauso nuo žmogiškojo faktoriaus. Pamainos darbuotojai rankiniu būdu išrenka didįjį kiekį perdirbti tinkamų atliekų iš komunalinio srauto. Mechaninio apdorojimo įranga pagrįdė atskiria organines priemaišas, bei metalus, taip palengvindama rankinį išrinkimą. Moderniuose Europos MBA centruose žmogiškojo faktoriaus beveik nėra, ten didžiąją dalį darbo atlieka automatinio rūšiavimo įranga ir robotai. Tokių centrų atliekų regeneracija yra ženkliai geresnė nei Lietuvoje.

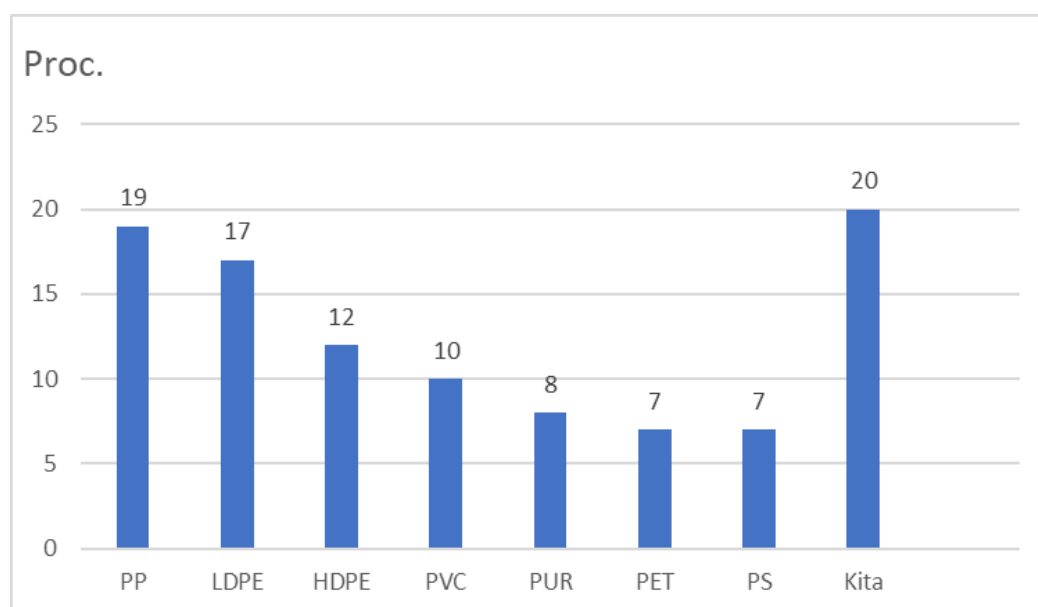
7 lentelė. MKA sudėtis Lietuvoje 2019 metais [20]

| Eil. Nr. | Atskirtos komunalinių atliekų rūšys | Komunalinių atliekų kiekis, % | | | | Išskaičiuotas susidarymas t |
|-----------|---|-------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| | | Vilniaus regionas | Kauno regionas | Klaipėdos regionas | Vidurkis 9 savivaldybių % | |
| 1 | Popieriaus ir kartono, įskaitant pakuotes, atliekos | 7,4 | 7,1 | 10,0 | 6,3 | 83073,4 |
| 2 | Žaliosios atliekos | 3,1 | 6,3 | 2,4 | 4,4 | 58019,5 |
| 3 | Medienos, įskaitant pakuotes, atliekos | 1,3 | 1,5 | 1,0 | 0,9 | 11867,6 |
| 4 | Biologiškai skaidžios maisto ir virtuvės atliekos | 9,5 | 7,8 | 9,8 | 14 | 184607,6 |
| 5 | Tekstilės atliekos | 8,1 | 3,1 | 6,3 | 7,8 | 102852,8 |
| 6 | Kitos komunalinės biologiškai skaidžios atliekos | 24,1 | 23,3 | 0,0 | 17,1 | 225485,0 |
| 7 | Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekos | 11,1 | 20,6 | 16,7 | 10,9 | 143730,2 |
| 8 | PET pakuočių atliekos | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 10549,0 |
| 9 | Kombinuotų pakuočių atliekos | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 1,6 | 21098,0 |
| 10 | Metalų, įskaitant pakuotes, atliekos | 1,7 | 1,4 | 3,3 | 1,7 | 22416,6 |
| 11 | Stiklo, įskaitant pakuotes, atliekos | 6,3 | 4,2 | 6,3 | 4,5 | 59338,2 |
| 12 | Inertinės atliekos (keramika, betonai, akmenys ir panašiai) | 4,8 | 6,2 | 26,4 | 9,2 | 121313,6 |
| 13 | Kitos atsitiktinai į regioninį nepavojingųjų atliekų sąvartyną patekusios, į MBA | 15,0 | 9,9 | 7,3 | 9,4 | 123950,8 |
| 14 | Atsitiktinai į regioninį MBA, MA įrenginį priimtos elektros ir elektroninės įrangos atliekos | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 5274,5 |
| 15 | Atsitiktinai į regioninį nepavojingųjų atliekų sąvartyną patekusios, į MBA, MA įrenginį priimtos baterijų ir akumuliatorių atliekos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,0 |
| 16 | Kitos atsitiktinai į regioninį nepavojingųjų atliekų sąvartyną patekusios, į MBA, MA įrenginį priimtos pavojingosios atliekos | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 2637,3 |
| 17 | Kitos komunalinės atliekos (pavyzdžiui, higienos atliekos, avalynė, guma) | 5,6 | 6,8 | 8,8 | 10,7 | 141093,0 |
| 18 | Visos komunalinės biologiškai skaidžios atliekos | 53,5 | 49,1 | 29,5 | 50,5 | 665906,1 |
| 19 | Visas tirtas mišrių komunalinių atliekų kiekis | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100 | 1 318 626,0 |

Lietuvoje 2019 m. mišrių komunalinių atliekų (MKA) susidarė 1 318 626 t. Nuo 2016 metų AAA atliek MKA srauto morfologijos tyrimus. 7 lentelėje pateikiami didžiausių Lietuvos regionų MKA morfologija ir bendras 9 savivaldybių vidurkis. Skirtinguose Lietuvos regionuose stipriai skiriasi atliekų morfologija MKA sraute. Tam turi įtakos atskirų regionų gyventojų gyvenimo būdas, gyventojų rūšiavimo kultūra. Dėl to labai svarbu, kad MBA įrenginiai būtų pritaikyti prie vyraujančios atliekų srauto jų regione. Taip pat vadovaujantis kiekvieno regiono morfologija siektų maksimalaus atliekų tinkamo perdirbti ištraukimo iš MKA srauto.

Plastiko atliekos 2019 m. Lietuvoje MKA sraute sudarė ~10,9 % nuo viso susidariusio kiekio. Pagal atliekų susidarymo duomenis Lietuvoje 2019 m. iš MKA srauto buvo išrinkta 16 025 t plastiko atliekų (žr. 6 lentelę). Tokios atliekos suteikiamas 20 01 39 kodas. Tai sudaro tik 11 % pagal morfologiją nustatyto plastiko kiekio esančio MKA sraute. Identifikuota atliekų apdorojimo vieta kurioje „pasimeta“ didelis kiekis plastiko atliekų, Tinkamai atskirtas ir perdirbtas kiekis galėtų prisidėti prie ES iškeltų komunalinių atliekų perdirbimo tikslų įvykdymo.

Plastiko atliekos komunaliniame sraute didžiaja dalimi – pakuočių atliekos. Dažniausiai tai yra maisto produktų pakuotė, įvairūs maišeliai, kitos įpakavimo medžiagos, higienos priemonių (šampūnų buteliukai, dantų pastos tūbelės ir kt.) pakuotės. Per pastaruosius penketą metų ženkliai pagerėjus stambiagabaričių atliekų infrastruktūroms bei elektronikos surinkimui, kitokių plastiko atliekų srautas komunalinėse atliekose yra minimalus. Pakuočių atliekų morfologijos tyrimai komunalinių sraute Lietuvoje yra aprašyti Lopez G., Artetxe M. ir kt. knygoje: „*Termocheminiai plastiko atliekų vertės nustatymo būdai, kurui ir cheminėms medžiagoms gaminti*“ [21]. Baltijos šalyse buvo atliktas tyrimas, siekiant nustatyti kokie dažniausi plastiko rūšys susidaro MKA sraute. Didžiausias tyrimo metu susidarantys plastikai buvo – PP (polipropilenas), LDPE (žemo tankio polietilenas), HDPE (aukšto tankio polietilenas). Šių plastikų perdirbimas ir tolimesnis panaudojimas yra plačiai paplitęs pasaulyje. Reikia paminėti, kad pagal Lietuvoje galiojančius teisės aktus, ant pakuotės ženklavimui naudojama vyraujanti medžiaga, tačiau pati pakuotė gali būti kompozitinė ir nebetinkama perdirbimui.



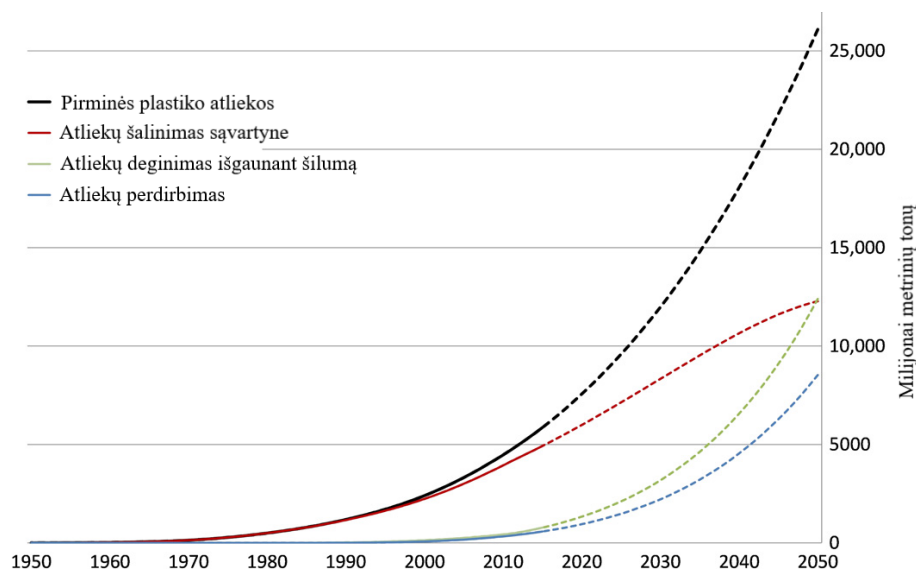
7 pav. Plastiko pakuočių pagal rūšis pasiskirstymas Lietuvos komunaliniame atliekų sraute [21]

1.3. Fizinis plastiko perdirbimas: tendencijos, technologija, poveikio aplinkai ir klimato kaitai mažinimas

Pirmasis sintetinis plastikas buvo išrastas 1869 m. Platesnio plastiko panaudojimo proveržis buvo padarytas 1907 m. Leo Baekeland'o, kuris pirmas pagamino pilnai sintetinį plastiką. Jo molekulinė sudėtis neturi cheminių elementų, kurie natūraliai randami gamtoje [21]. Nuo to laiko plastiko industrija palaipsniui augo. Pirmasis plastiko panaudojimo šuolis įvyko II Pasaulinio karo metu. Plastiką pradėtas plačiai naudoti gaminant: karinės įrangos, medicinos, buitines technikos elementuose. Sąlyčiui su maistu plastiko panaudojimo pradžia traktuojama apie 1950 m. Plastiko perdirbimu susirūpinta tik praėjus daugiau nei 20 metų, prasidėjus plačiam plastiko panaudojimui. Didėjant atliekų kiekiui bei brangstant pirminėms žaliavoms, valstybės ir atskiros organizacijos pradėjo imtis veiksmų didinančių atliekų perdirbimą ir tolimesnį jo panaudojimą.

Plastiko perdirbimo pramonė vystėsi labai palaipsniui. Tam įtakos turėjo mažas sektoriaus pelningumas, bei mažas valstybinių institucijų dėmesys [22]. Plastiko perdirbimo industrija pradėjo sparčiau vystytis po 1997 m. Kioto protokolo pasirašymo. Besivystant industrijai didėjo valstybių, mokslo, bei įrangos gamintojų dėmesys šiam sektoriui. Pagrindinį dėmesį skiriant gerinti plastiko perdirbimo efektyvumą.

Pasaulinė plastiko atliekų susidarymo statistika ir panaudojimas pateikimas 8 pav. Plastiko atliekų ženklus susidarymo augimas prasidėjo 2000 m. ir kiekvienais metais ženkliai didėja. Tuo tarpu perdirbimo augimas prasideda tik nuo 2020 m. bet jis dar nepasiekia atliekų susidarymo augimo lygio. Skaičiuojama, kad iki 2015 m. sugeneruotų plastiko atliekų 8,3 mlrd. t. Į sąvartynus pateko 60 % šio kiekio – 4,9 mlrd. tonų [22]. 2020 m. pasaulinė plastiko perdirbimo rinka vertinama 26,5 mlrd. JAV dolerių, skaičiuojama, kad ši rinka didės ir 2025 m. pasieks 34,4 mlrd. JAV dolerių vertę [24]. Rinkos augimas per 5 metus – 30 %. Ne mažiau už perdirbimo kiekio augimą yra svarbu, kad perdirbimas didėtų diegiant tvarius, kuo mažesnę poveikį aplinkai turinčius sprendimus.



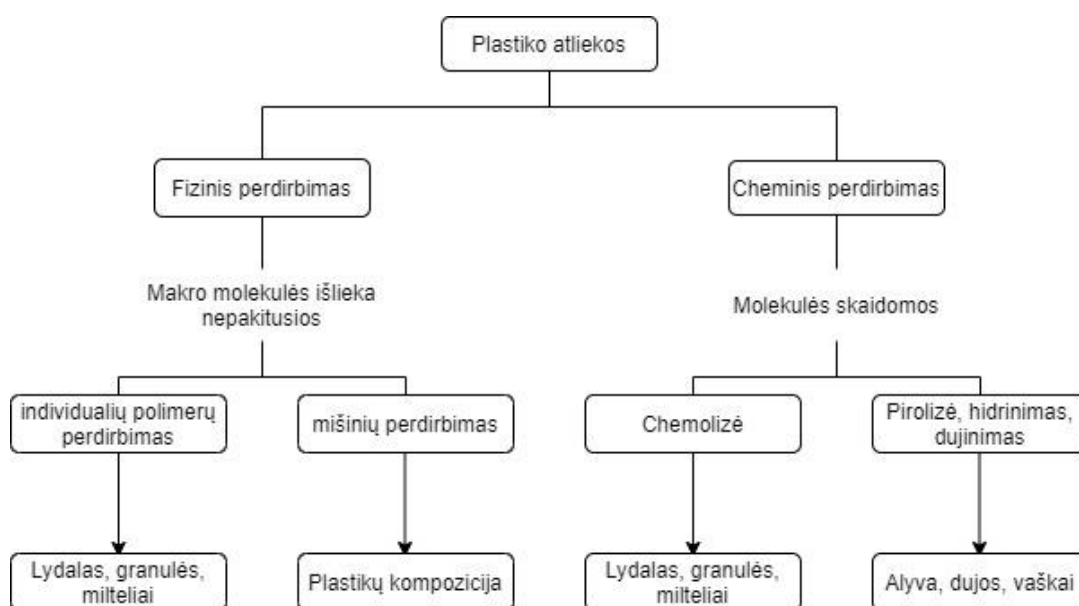
8 pav. Pasaulinė plastiko atliekų susidarymo ir tolimesnio panaudojimo statistika [25]

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatyme, atliekų perdirbimas apibrėžiamas kaip: atliekų naudojimo veikla, kuomet atliekas sudarančios medžiagos perdirbamos į tos pačios ar kitos paskirties produktus ar medžiagas. Ši veikla apima organinių medžiagų perdirbimą, tačiau neapima

naudojimo energijai gauti ir perdirbimo į medžiagas, kurios turi būti naudojamos kaip kuras ar užpildas [14]. Atliekos pagal grįžtamąjį perdirbimą skirsto į pirminį, antrinį, tretinį perdirbimą [26]:

- Pirminis perdirbimas – atliekos perdirbamos į produktus, kurių savybės panašios į pirmines žaliavos savybes. Šiam rezultatui pasiekti dažniausiai taikomas fizinis, mechaninis perdirbimo būdas.
- Antrinis perdirbimas – atliekų perdirbimas į produktus, kurių savybės skiriasi nuo pirminės žaliavos savybių. Šiam rezultatui pasiekti dažniausiai taikomas fizinis, mechaninis perdirbimo būdas.
- Tretinis perdirbimas – rūšiuotų ar nerūšiuotų plastiko atliekų pavertimas cheminėmis žaliavomis ar žaliavomis, tinkančiomis kuro gamybai.

Plastiko atliekų perdirbimo būdai pateikti 9 pav.



9 pav. Plastiko atliekų perdirbimo metodai ir pagrindiniai po perdirbimo gauti produktai [26].

Lietuvoje plačiausiai paplitęs – fizinis, individualių polimerų perdirbimas. Individualių polimerų perdirbimas – tik vieno tipo plastiko perdirbimas. Skirtingi plastikai, lydymo proceso metu, tarpusavyje dažniausiai nesijungia. Tik artimos cheminės sudėties ir tankio polimerai tarpusavyje jungiasi ir gali turėti artimas mechanines savybes pirminei žaliavai. Fizinis plastiko perdirbimo būdas labiau tinka termoplastikams, nei rektoplastikams, kurių negalima išlydyti pakeičiant jų formą [27]. Iš perdirbtų atliekų gautos žaliavos gali būti naudojamos vienos ar kaip priedai pirminei tokio pat tipo plastiko medžiagai. Kuo perdirboje plastiko žaliavoje daugiau priemaišų, tuo mažėja jo mechaninės ir cheminio atsparumo savybės, pakinta išvaizda [27]. Todėl atliekant individualių polimerų perdirbimą labai svarbu didžiausias galimas plastiko atliekos vienodumas.

Tipinio plastiko atliekų transportavimo ir perdirbimo proceso pateiktas 8 lentelėje. Procesų skaičius perdirbant skirtingo tipo plastiką gali būti skirtingas, tačiau eiliškumas beveik visada išlaikomas toks pat. Kiekvieno proceso metu atliekama kokybės kontrolė. Tokiu technologiniu principu vadovaujantis kuriamos nauja plastiko perdirbimo įranga.

8 lentelė. Tipinis fizinio plastiko rūšiavimo procesų išdėstymas [26].

| Eil. nr. | Procesas pavadinimas | Proceso aprašymas |
|----------|--|---|
| 1 | Plastiko atliekos pristatymas perdirbėjams | Surinkimo aikštelėse, ar MBA pagal rūšį atrūšiuotos plastiko atliekos transportuojamos iki perdirbėjų. |
| 2 | Pakartotinis rūšiavimas | Plastikas papildomai rūšiuojamas perdirbimo įmonėse, siekiant maksimalaus plastiko viena lytiškumo |
| 3 | Atliekos smulkinimas | Atliekų dydžio mažinimas iki gamybos technologijoje nustatyto dydžio |
| 4 | Plovimo | Frikcijos pagalba su dideliu vandens kiekiu. |
| 5 | Džiovinimas | Mechaninis ir terminis žaliavos sausinimas |
| 6 | Filtravimas, degazacija | Išlydyta plastiko masės mechaninis filtravimas nuo užteršimų. Lydimo proceso metu išsiskyrusių dujų pašalinimas iš lydalo. |
| 7 | Homogenizavimas, granuliavimas | Homogenizavimas procesas -mažina plastiko fazių išsiskyrimą polimerinėse dispersijose. Granuliavimas – išlydytą masę paverčia granulėmis. |
| 8 | Žaliavos kokybės tikrinimas | Gautos žaliavos kokybės tikrinimas. Kokybiška laikoma ta žaliava iš kurios be papildomo žaliavos kokybės gerinimo galima produkto gamyba. |

Fizinis perdirbimas įmonėse, dažniausiai pradedamas gavus iš tiekėjų atrūšiuotų vieno tipo plastiko atliekų. Atvežtų plastiko atliekų vienodumas yra per žemas, kad visas gautas kiekis būtų tiesiai tiekiamas į perdirbimo liniją. Todėl įmonės, visas gautas atliekas dar kartą fiziškai atrūšiuoja, siekiant atrinkti tik vieno tipo polimerą. Galimos ir papildomos užduotys – atrinkti pagal spalvas, ar atliekų kilmės tipą. Šis darbas dažniausiai atliekamas žmonių rankiniu būdu. Rūšiuodami žmonės vizualiai apžiūrint kiekvieną atliekos gabaliuką, kartais atliekami nesudėtingi mechaniniai bandymai siekiant nustatyti plastiko tipą. Plastikai vizualiai ir mechaniškai yra panašūs, todėl šis darbas reikalauja kompetencijos ir yra labai imlus laikui. Europoje yra tik kelios plastiko perdirbimo įmonės, kurios įsidiegusios automatinio rūšiavimo linijas savo perdirbimo gamyklose.

Atrūšiuotos žaliavos patenka į smulkintuvus. Tai daroma siekiama susmulkinti žaliavą iki tokio dydžio, kad būtų užtikrintas efektyviausias perdirbimo procesas. Susmulkinta žaliava geriau plaunasi, atskiria priemaišos, mažėja sulipomo ir linijos užsikimšimo galimybė. Pagal atliekos tipą, užterštumą ir plovimo procesą parenkamas efektyviausias trupinimo būdas. Smulkinimo procesui naudojamas didelis kiekis elektros energijos.

Susmulkintos atliekos patenka į plovimo vonias. Kuriose plastiko atliekos susimaišo su vandeniu ir mechaniškai sukeliama trintis. Jos metu nuo paviršiaus nuplaunami esantys nešvarumai, atskiriamos kitos priemaišos. Plovimo sistemų būna įvairių, priklausomai nuo plaunamos atliekos. Termoplastikai pagal savo tankį gali būti didesnio ar mažesnio tankio lyginant su vandens tankiu. Nuo to priklausys, ar jie plauks vandens paviršiumi ar skęs. Nepaisant plovimo linijų tipo joms visoms reikia didelio kiekio vandens siekiant tinkamai išplauti plastiko atliekas. Vandens kiekis priklauso nuo žaliavos užterštumo ir linijos komplektacijos. Stipriai užterštam plastikui plauti papildomai naudojami cheminiai reagentai, ar organiniai priedai.

Džiovinimas dažniausiai atliekamas 2 etapais: 1) mechaninis drėgmės atskyrimas nuo plastiko paviršiaus (naudojamos įvairaus tipo centrifugos ar kiti prietaisai, sukiantys įcentrinę jėgą), 2) terminis džiovinimas (naudojamas įvairių tipų šiluminė energija, siekiant išdžiovinti drėgmę likusią ant plastiko paviršių). Tam sunaudojamas didelis kiekis energijos. Po mechaninio džiovinimo

drėgmės gali siekti 15-30 %. Po terminio džiovinimo drėgmė neturi viršyti <8 %, kitu atveju tai mažintų granuliavimo proceso našumą, didėja nekokybiškos žaliavos tikimybė.

Priešpaskutinis perdirbimo procesas – granuliavimas. Išdžiovintas plastiko plaušas patenka į granulatoriaus pirminę stadiją – aglomeratorių, kuriame trinties pagalba žaliava yra aplydoma. Aplydyta žaliava patenka į lydymo sraigatą, kur pilnai yra išlydoma. Išsilydžius žaliavai vyksta homogenizavimo procesas. Kuris padeda sumažinti fazių išsiskyrimą polimerinėse dispersijose, sumažina tarpfazinio paviršiaus įtempimą ir padidina tarpinę adheziją [26]. Išlydytas plastikas taip pat yra filtruojamas, nuo priemaišų specialiais filtrais, bei vakuumo pagalba atskiriamos lydimo metu išsiskyrusios dujos. Granulatoriaus įrengimo pabaigoje išlydyta plastiko masė yra supjaustoma ir atšaldomos vandeniui. Siekiant, kad susiformuoti taisyklingą granulės formą.

Paskutinioji standartinio perdirbimo fazė – perdirbtų granuliu kokybės patikra. Šis procesas būtinas nustatant ar perdirbimo procesas pavyko sėkmingai ir pagamintas produktas gali būti laikomas žaliava kitiems produktams. Kitaip sakant, ar sėkmingai įvyko fizinis individualių polimerų perdirbimas ir buvo gauta žaliava savo savybėmis atitinkanti pirminiai žaliavai. Vieningos kokybės tikrinimo sistemos ES nėra. Perdirbimo įmonės ne retai susikuria savo perdirbamos žaliavos kokybės standartus arba vadovaujasi perdirbtos žaliavos pirkėjų keliamais reikalavimais žaliavai. Jie dažniausiai būna pagal produkto gamybai keliamus žaliavos techninius reikalavimus.

Fizinio individualių polimerų perdirbimo technologijos paskutinį dešimtmetį sparčiai vystosi, tačiau esminis proceso principas nekinta. Įvairių komponentų gamintojai siekia sukurti efektyvesnę ir mažiau resursų naudojančią įrangą. Įrangos efektyvumas yra tik viena dedamųjų perdirbimo proceso poveikio aplinkai prasme. Kitą nemažiau svarbesnę dalį užima efektyvus įrangos naudojimas ir taršos prevencija, už kurią atsakingi plastiko perdirbėjai.

Kaip ir visų gamybos procesų atveju, perdirbant plastiką susidaro neigiamas poveikis aplinkai. Yra įvairios metodikos, padedančios identifikuoti pagrindinius poveikį aplinkai darančius proceso elementus. Vienos iš plačiausiai taikomų yra:

- Švaresnės gamybos (ŠG) diegimo pramonės įmonėse koncepciją (įsk. medžiagų ir energijos balanso sudarymą, identifikuoti taršos susidarymo vietas ir priežastis, prevencinių inovacijų pasiūlymą ir jų įvykdomumo analizę, kt.);
- Įmonėje esamų technologijų ir aplinkos apsaugos indikatorių (AAI) palyginimą su indikatoriais, pateiktas ES Geriausiai prieinamų gamybos būdų (GPGB) informaciniuose dokumentuose (ID);
- Pramoninės ekologijos metodų taikymas, pvz., pramonės simbiozė (PrS).

1995 m. pasirašytoje Jungtinių tautų aplinkosaugos programoje ŠG apibrėžiama – prevencinė ir integruota aplinkos apsaugos vadybos strategija, kuri turi būti nuolat taikoma gamybiniais procesams bei produktams per visą jų egzistavimo ciklą, siekiant sumažinti poveikį žmonėms ir aplinkai [28]. Pagrindiniai ŠG tikslai: atliekų, teršalų prevencija, neefektyvaus energijos resursų ir išteklių sąnaudų mažinimas. ŠG koncepcijos taikymas – sisteminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kurio pagrindinis tikslas yra atliekų, teršalų prevencija bei neefektyvaus energijos resursų ir išteklių sąnaudų mažinimas ekonomiškai pagrįstais prevenciniais metodais [3].

ŠG gali būti taikoma:

- gamybos procesams: ŠG apima racionalų žaliavų ir energijos vartojimą, toksinių medžiagų šalinimą, atliekų ir emisijų kiekio bei toksiškumo mažinimą gamybiniuose procesuose;

- gaminiams: ŠG strategija orientuojama į gaminių poveikio aplinkai mažinimą jų būvio ciklo metu, t.y. nuo žaliavos išgavimo iki galutinio gaminio deponavimo;
- paslaugoms: ŠG sumažina paslaugų, teikiamų būvio ciklo metu, poveikį aplinkai, įskaitant sistemos sukūrimą ir naudojimą bei išteklius, reikalingus normaliam sistemos funkcionavimui užtikrinti [29].

ŠG prevenciniai metodai taip pat plačiai taikomi mažinti taršą plastiko perdirbimo metu. Vienas iš tokių pavyzdžių pateiktas studijoje – *Anglies dioksido išmetimų mažinamas taikant ŠG metodus perdirbtų plastiko dervų gamybos įmonėje* [30]. Aplinkosauginio audito metu buvo nustatyta, kad 73,8 % ŠESD emisijų gaminat dervą iš perdirbto plastiko susidaro dėl elektros energijos vartojimo. Prieš projektą gamykloje nustatyta perdirbimo proceso tarša – 0,84 kg CO₂/kg. Buvo analizuojama galimybė įdiegti ŠG projektą – automatinį ekstruderio termo reguliavimo sistemą, kuri leistų tikslingiau naudoti elektros energiją. Įgyvendinus projektą buvo apskaičiuota, kad bendra perdirbimo proceso tarša per sumažės 0,11 kg CO₂/kg. Taip pat apskaičiuota, kad projektas gali kainuoti 8150 USD ir atsipirks per 8 mėnesius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos svetainėje pateiktoje informacijoje GPGB apibūrinamas kaip „*veiksmingiausi ir pažangiausi veiklos ir jos vykdymo metodų plėtojimo būdai, kurie gali būti pagrindas nustatant išmetamųjų teršalų ribines vertes ir kitas leidimo sąlygas, siekiant išvengti taršos, ar mažinti teršalų išmetimus ir jų poveikį visai aplinkai*“ [31]:

- *Gamybos būdai – suprantami kaip naudojamos technologijos ir įrenginio projektavimo, statybos, priežiūros, eksploatavimo ir uždarymo būdai;*
- *Prieinami gamybos būdai – gamybos būdai, išplėtoti taip, kad juos būtų galima taikyti tam tikrame pramonės sektoriuje, esant ekonomiškai ir techniškai tinkamoms sąlygoms, atsižvelgiant į sąnaudas ir šių būdų pranašumą, nepaisant to, ar tie gamybos būdai taikomi ar kuriami Lietuvos Respublikoje ir ar jie yra iš tikrųjų prieinami veiklos vykdytojui;*
- *Geriausi – veiksmingiausi, siekiant aukšto aplinkos apsaugos lygio* [31].

GPGB dokumentai grupuojami pagal veiklos sritis. Kuriose konkrečioms sritims aprašomi: taikomi gamybos būdai, esami išmetamųjų teršalų ir suvartojimo (pavyzdžiui, energijos, vandens, žaliavų) kiekiai, pateikiami naujausi gamybos būdai. Ypatingas dėmesys skiriamas geriausių prieinamų gamybos būdų nustatymo kriterijams [31].

Plastiko perdirbimas patenka į atliekų apdorojimo sritį. GPGB dokumente aprašyti daugelio skirtingų procesų aprašų. Visi anksčiau išvardinti fizinio plastiko perdirbimo procesai yra minimi pateiktuose dokumente. Pateiktos atskirų procesų vidutinės emisijos. Pateiktus duomenis galima palyginti su gautais analizuojant konkretų įmonės procesą. Pateikiamos technikos, kaip nustatyti didžiausią taršos skleidėją skirtinguose proceso etapuose ir kaip jį būtų galima sumažinti.

PrS vyksta tuomet, kai vienu įmonių/organizacijų atliekos (šalutiniai produktai) tampa kitų įmonių žaliavomis arba energija, arba vienu įmonių atliekama energija tampa kitų įmonių arba namų ūkių energijos šaltiniu. PrS dalyvaujančioms organizacijoms gauna teigiamos naudos – aplinkosauginės ir ekonominės [32]. Analizės rodo, kad organizacijoms, dalyvaujančioms PrS, atliekų išmetimas ir energijos taupymas geresnis nei simbiozėje nedalyvaujančių panašaus pobūdžio organizacijų [33].

Plastiko perdirbamoji pramonė prigimtinė prasme – PrS dalis. Tačiau PrS atskirose sistemose gali būti neefektyvus. Reikia siekti kiekvieno proceso efektyvumo siekiant, mažinti taršą.

1.4. ŠESD plastiko perdirbime nustatymo metodikos

Plastikas yra ne tik fizinis gamtos teršėjas, kuriam sunykti reikia šimtmečių, bet ir didelis ŠESD išmetamo kiekio priežastis. Vienos plastiko gaminių CO₂ emisijos arba anglies dioksido pėdsako nustatymo, nuo lopšio iki utilizavimo, metodologijos nėra. Pagrindinė pirminio plastiko gamybos žaliava yra iškastinis kuras – nafta, dujos. Jo išgavimas ir tolimesnis naudojimas yra viena pagrindiniu ŠESD taršos šaltinių. Nustačius atskirų proceso vietų emisijas, galima identifikuoti taršiausius procesus ir juos tobulinti. Darbe bus analizuojamos šiuo metu taikomos CO₂ nustatymo metodologijos, apžvelgiami atlikti tyrimai.

Tarptautinio aplinkosaugos teisės centras (CIEL) 2019 m. paskelbė vieną naujausių tyrimų – plastiko CO₂ emisijos vertinimas pilno būvio ciklo ribose – „nuo lopšio iki kapo“. Skirtingais būdais buvo tiriama utilizavimo fazė. Subendrinus įvairius tyrimus bei statistinę informaciją nustatyta, kad per 2019 m. pasaulinė plastiko gamyba ir utilizavimas išmetė 0,86 Gt CO_{2e} emisijų. Jeigu nebus imtasi taršos mažinimo priemonių skaičiuojama, kad šis skaičius turėtų padidėti iki 1,34 Gt CO₂ [41]. 2019 metais papildytoje Oksfordo universiteto studijoje apskaičiuota 2019 metų pasaulinė CO₂ emisija siekė apie 37,3 Gt CO₂ ekvivalento [42]. Plastiko CO₂ tarša 2019 metais sudarė 2,3 % visos CO₂ pasaulinės taršos. Tai sąlyginai mažas procentas, bet jį reikia siekti mažinti toliau prisidedant prie globalinio atšilimo mažinimo.

Gaminant plastiką ir jį perdirbant sunaudojamas didelis kiekis energijos, daugiausiai – elektros, kurią gaminant, dažniausiai deginamas kuras, iš neatsinaujančių energijos išteklių todėl susidaro nebiogeninės kilmės CO₂ emisijos. Šios emisijos ir vertinamos kaip netiesioginis poveikis aplinkai perdirbant plastiką dėl elektros energijos sąnaudų.

Elektros energija naudojama visuose plastiko perdirbimo procesuose: trupinime, plovime (besisukančioms dalims), džiovinime karštu oru, aglomeravime-granuliavime. Vanduo visoje sistemoje taip pat tiekiamas siurblių pagalba bei naudojamas vandens valymo sistemoje. Lietuvoje, naudojant elektros energiją iš tinklų, taršos emisijų faktorius yra nustatomas, kasmet atnaujinamas (pagal faktą) ir pateikiamas Klimato kaitos programos lėšų naudojimo tvarkos apraše. 2021 metams jis yra lygūs 0,42 t CO_{2e}/MWh [45].

2018 m. pabaigoje Europos komisijos „Jungtinio tyrimų centras“ išleido dviejų dalių leidinį: „*Aplinkos apsaugos vertinimas, naudojant būvio ciklo vertinimo priemones. Atliekant palyginamąją poveikio aplinkai analizę (biomasės, perdirbtų plastikų, CO₂) su pirminės žaliavos išgavimui reikiamų žaliavų (naftos ir dujų) išsiskyrimu*“ [34, 35]. Jame pateikta plastiko gaminių CO₂ pėdsako nustatymo metodologijų santrauka, su siūlymais kur ir kaip jas taikyti, bei pateikiami praktiniai pavyzdžiai. Darbo pagrindiniai uždaviniai buvo: įvertinti metodologijas ir su ja susijusius iššūkius, metodologijų pasirinkimo kriterijus, apžvelgti jau esamas studijas, išskirti didžiausius informacijos trūkumus ir kokios studijoms yra poreikis.

Kita didelė metodologijų apžvalga, kurioje jau minima ir aprašyta „Jungtinio tyrimų centro“ apžvalga, yra „*Plastiko taršos nustatymo metodikų apžvalga*“. Apžvalgą parangė – „Tarptautinės gamtos išsaugojimo sąjungos“ [36]. Apžvalgoje aprašomos ne bendrosios metodologijos, kaip apskaičiuoti CO₂ emisijas, bet vertintos jau egzistuojančios sistemos. Tokias sistemas galima tiesiogiai diegti panašaus pobūdžio procesuose. Apžvalgoje vertinamas būvio ciklo tyrimo metodologijų gausa, bei galimybė pritaikyti kitoms sistemoms.

Metodologijų skirtumus lemia – skirtumai identiškuose proceso etapuose. Tam, kad tiksliau nustatyti išmetimus reikia kiekvienam unikaliam atvejui pritaikyti specifinius nustatymo metodus. Siekiant, geriau suprasti būvio ciklo skaičiavimą metodų taikymą, buvo apžvelgtos 4 skirtingos studijos. Apžvalga buvo atlikta pagal 5 aspektus: naudojama metodologija, funkcinis vienetas, sistemos ribos, naudojama programinė įranga skaičiavimams, darbo limitavimas.

Pirmasis analizuojamas atvejis – „*Iš LDPE, PUR ir PP žaliavos mišinių pagamintų pakavimo plėvelių ŠESD išsiskyrimas Pietų Korėjoje*“ [37]. Publikacija rašyta remiantis: ISO 14040: 2006, ISO 14044: 2006 ir ISO 14067: 2013 metodologija. Studiją atliekant buvo remiamasi ne tik pagrindiniu ISO būvio ciklo vertinimo standartu 14040, bet ir jo papildymais ISO 14044: 2006 ir ISO 14067: 2013. ISO 14044: 2006 standartas apima ir būvio ciklo vertinimą ir būvio ciklo poveikio vertinimą. ISO 14067: 2006 skirtas anglies emisijų skaičiavimui [38]. Pasirinktas funkcinis vienetas – plėvelė 300 x 250 mm ir 0,06 mm storio. Funkcinis vienetas pasirinktas neįprastas, lyginant su kitais tokio tipo tyrimais, nes yra pernelyg siauras ir sunkiai adaptuojamas bei pritaikomas kituose darbuose. Dažniausiai funkcinis vienetas yra 1 kg plastiko medžiagos.

Nors darbe ir nurodomas kiekvieno tipo plastiko pasirinktas svoris, bet dėl tankio skirtumo, kurių turi visi plastikai, skaičiai gali stipriai skirtis. Pavyzdžiui, pirminio žemo tankio polietileno (toliau LDPE) tankis gali svyruoti nuo 0,917-0,930 g/cm³, dėl to tolimesni skaičiavimai gali nebūti tikslūs. Vertinami žaliavos gamybos tonos, transportavimo, finalinio gaminio CO₂ emisijos išskiriami kiekiai.

Sistemos ribos pasirinktos nuo žaliavos pagaminimo iki utilizavimo. Pagrindiniai vertinti aspektai: žaliavos pagaminimas, produkto gamyba, transportavimas ir atliekų sutvarkymas. Kadangi plastiko utilizavimas gali būti skirtingas: deginant, laidojant sąvartynuose perdirbant – plastiko emisijos rezultatuose pateikiamos atskirai. Būvio ciklo vertinimui pasinaudota CML-IA duomenų baze, kuri buvo apdorota ir pritaikyta su SimaPro 8.2.0 programine įranga [37]. Rezultatai atskirai nebus apžvelgti, nes tikslas – aptarti naudojamas metodologijas, o pats rezultatas, kaip žinoma, kiekvieną kartą skirsis nuo tiriamo objekto ir jo savybių. Pagrindiniu limitavimo veiksnium šios analizės autoriai įvardino per mažą Pietų Korėjos informacinės bazę. Jie teigia, kad jei būtų naudojama Europos informacinė baze, rezultatai, tikėtina, būtų kitokie.

Sekanti studija – „*Produkcijos iš perdirbto plastiko palyginimas su pirminiu plastiku. Būvio ciklo nustatymas*“, kurią atliko Danijos mokslininkai [39]. Jie darbe taip pat grindžia pagrindinėmis būvio ciklo vertinimo sistemomis: ISO 14040: 2016, ISO 14044: 2016. Čia jau naudojama naujausia standarto versija, nors darbas publikuotas metais anksčiau nei Korėjos tyrimas. Tai parodo aktualumą ir naujausių metodų įsisavinimą. Darbe yra lyginami pirminio ir antrinio plastiko CO₂ gamybos ir perdirbimo ŠESD išmetimai viso būvio ciklo metu. Pirminės žaliavos būvio ciklas pasibaigia, kaip atlieka yra paruošta perdirbimui, tuomet ji tampa nebe atlieka, o žaliava

Tyrimo funkcinis vienetas - 1 t perdirbtų plastiko granulių. Sistemos ribos buvo pasirinktos: nuo lopšio iki vartų. Pirminio plastiko gamybos procesų susidaranti tarša apima: pirminis žaliavos išgavimą, polimerizacijos ir papildomus procesus, bei transportavimą. Pagamintas produktas – pirminės plastiko granulės. Į antrinio plastiko ribas patenka šie taršą skleidžiantys procesai: atrūšiuotos plastiko atliekos transportavimas iš atliekų paruošimo perdirbti bendrovių iki perdirbimo gamyklos ir perdirbimo procesas. Pagamintas produktas – perdirbto plastiko granulė.

Tyrimo autorius traktuoja, kad taip apibrėžia proceso ribas galime atlikti palyginamąją analizę. Pasak jo nebūtų teisinga lyginant prie plastiko perdirbimo ciklo pridėti ir atliekos surinkimo taršą. Tuomet procesas skaitytųsi nuo kapo iki lopšio ir tuomet nebūtų tiksliau lyginti su pirmine žaliava. Perdirbimo ciklo pradžia, kuomet atlieka įgauna teigiamą vertę tuomet ji tampa žaliava. Skaičiavimai buvo atlikti naudojant SimaPro sistemą pasitelkiant „Ecoinvent“ duomenų bazę. Darbe nebuvo išskirtų limitavimo vietų. Dalis skaičių paimtų skaičiavimams yra kvestionuojami, neturint tikslų duomenų daromos prielaidos.

Trečiasis analizuojamas darbas – Minesotos universiteto iš Jungtinių Amerikos Valstijų, kuris tyrė „*Popierius ar plastikas? Pirkinių maišelio ŠESD emisijų palyginimas*“ [40]. Darbas atliktas naudojantis ISO 14040: 2016 metodologija, kas taip pat parodo naujausio standarto taikymą. Čia plastikinio maišo funkcinės ribos nesibaigia maišelio pardavimu ir panaudojimu pagal pirminę paskirtį – parsinešti prekes iš parduotuvės. Ribos pratęsimas, darant prielaidą, kad didžioji dalis žmonių juos po to panaudoja vietoj šiukšlių maišų ir taip praplečia būvio ciklą. Skaičiuojama, kad vidutiniškai pirkinių maišas naudojamas 30 min. Tai yra laikas, per kurį pirkėjas grįžta iš parduotuvės namo. Analizuojamos ir išmetimo bei perdirbimo CO₂ emisijos.

Kadangi pirkinių maišai būna įvairūs, studijoje funkcinis vienetas buvo pasirinktas vidutinis kiekis pirkinių maišelių, tenkantis vienam šeimos ūkiui. Amerikoje jis yra 483 pirkinių maišeliai per mėnesį. Toks funkcinis vienetas yra labiausiai nestandartinis ir labai sąlyginis, dėl to neparodo vieno konkretaus mato, bet parodo bendrinį vaizdą. Skaičiavimai atlikti naudojant OpenLCA programinę įrangą. Duomenys imti iš Amerikos universitetų duomenų bazių. Autoriai taip pat išskyrė darbo limitavimo priežastis: nevienodas pirkinių maišelių svoris bei ant jų dedama spauda, dėl to yra sunku padaryti tikslų palyginimą.

Skirtingų plastikų pirminės žaliavos emisijos yra skirtingos. Toliau bus nagrinėjama CO₂ emisijos gaminant ir perdirbinat LDPE tipo polietileną. 2017 metų studijoje „*Šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimas JAV plastikų gamyboje*“ sutartinis nustatytas LDPE išmetamas CO₂ faktorius – 1,5 kg CO_{2e}/kg plastiko [43]. Tai rodo, kiek CO₂ emisijų išsiskiria siekiant pagaminti 1 kg pirminio plastiko. Skandinavijos mokslininkų 2015 metų studijoje „*Medžiagų perdirbimas – nauda klimatui*“, kurioje buvo apibendrinti 27 Europos valstybių duomenys, CO₂ kiekis, tenkantis 1 kg LDPE plastiko produktui, buvo taip pat 1,5 kg CO_{2e}/kg, perdirbto plastiko – 1,3 kg CO_{2e}/kg [44]. Galima daryti išvadą, kad perdirbto plastiko emisija yra daugiau kaip 13 % mažesnė nei pagaminto pirminio. Šie duomenys yra labai suabsoliutinti, nes pasirinkta prielaida dėl ekvivalento pagal daugelį statistinių duomenų bei mokslinių studijų.

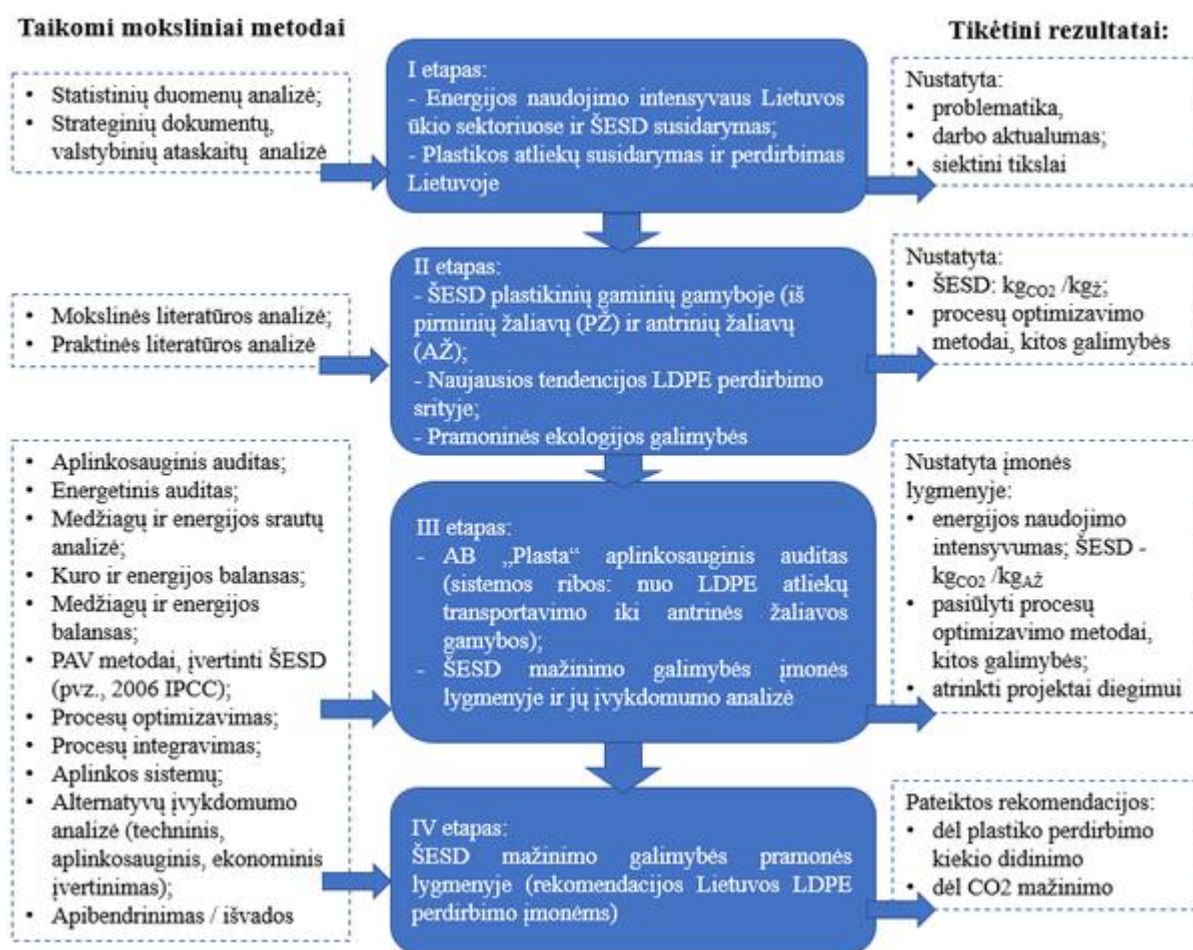
Siekiant kuo tiksliau apskaičiuoti plastiko išmetamus CO₂ kiekius. skirtingo būvio ciklo ribose, reikia naudoti atskiram atvejui kuo labiau pritaikytas metodologijas. Reikia atsižvelgti: tyrimo tikslą, pasirinktas ribas, esamus procesus. Skaičiavimams naudojamų duomenų tikslumas ir patikimumas, vienas iš kertinių aspektų siekiant tikslumo. Didelis prielaidų kiekis ir nepatikimi informaciniai šaltiniai gali stipriai iškreipti darbą ir jo patikimumas gali kelti abejonių.

2. Tyrimo metodika

Tyrimo objektas – LDPE plastiko perdirbimo technologiniai procesai.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti energijos naudojimo efektyvumo didinimo galimybes plastiko perdirbimo procesuose, transportuojant atliekas į įmonę, sukeliant veiksnius, taikant Žiedinės ekonomikos (ŽE) ir pramoninės ekologijos metodus (taršos prevencijos ir atliekų mažinimo, pramonės simbiozės).

Baigiamąjį darbą sudaro 4 pagrindiniai etapai. Kiekvienam etapui taikomi skirtingi metodai, siekiant pasiekti kiekvienos dalies išsikeltą rezultatą. Metodai ir rezultatai pavaizduoti 10 pav.



10 pav. Energijos naudojimo efektyvumo didinimo ir CO_{2e} mažinimo galimybių LDPE plastiko perdirbime tyrimo etapai

Tyrimo etapų detalizavimas:

1. Siekiant pagrįsti darbo aktualumą, atlikta statistinių duomenų analizė. Etape analizuojama:

- energijos suvartojimo intensyvumas Lietuvos ūkio sektoriuose;
- ŠESD susidarymas Lietuvos ūkio sektoriuose;
- Lietuvos Respublikos išipareigojimai dėl ŠESD;
- plastiko atliekų susidarymas ir tolimesnis panaudojimas Lietuvoje;
- Lietuvos Respublikos išipareigojimai atliekų srityje.

2. Atliekant mokslinės ir praktinės literatūros analizę siekta nustatyti ir išanalizuoti taikomus tvarios pramonės plėtros metodus, kurie leistų sumažinti CO_{2e} emisiją plastiko perdirbimo procese. Tam pasitelkti įvairūs mokslo šaltiniai ir praktiniai tyrimai, kuriuose buvo taikomos ŠG, GPGB arba ŽE metodikos.

3. Vertinant objekto CO_{2e} išsiskyrimą mažinančias galimybes buvo taikomi šie tyrimo metodai:

- energetinis auditas;
- aplinkosauginis auditas;
- sudaromas medžiagų ir energijos balansas įmonės ir atskirų procesų lygmenyje;
- nustatomos problematiškiausios proceso vietos, identifikuojamos pagrindinės taršos susidarymo priežastys;
- pateikiamos alternatyvos CO_{2e} taršos mažinimui.

3.1. ir 3.3 Pateiktų procesų optimizavimo ir integravimo CO_{2e} mažinančios priemonės, įvykdomumo analizės etapai:

- nustatomas elektros energijos ir ŠESD kiekis džiovinimo sistemoje prieš ir po projekto;
- atliekamas ekonominis įvertinimas, lyginant procesų tiesioginius kaštus prieš ir po inovacijos įdiegimo;
- atliekamas aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas, lyginant santykinius aplinkos apsaugos indikatorius (AAIs) prieš ir po inovacijos įdiegimo.

3.2 Pateiktos pramoninės simbiozės CO_{2e} mažinančios alternatyvos įvykdomumo analizės etapai:

- atlikti skaičiavimai, kiek LDPE tipo plastiko gali būti neregeneruota Lietuvos komunaliniame atliekų sraute;
- apskaičiuota, kiek sumažėtų ŠESD dėl transportuojamos žaliavos atstumo sumažinimo, jei būtų perdirbamas nustatytas kiekis LDPE atliekų iš Lietuvos;
- atliekamas aplinkosauginis įvertinimas, lyginant absoliučius aplinkos apsaugos indikatorius (AAI) (vnt./m.) prieš ir po inovacijų įdiegimo;
- įvertinamas aplinkosauginis veiksmingumas, lyginant prieš ir po inovacijos įdiegimo.

Skaičiavimams atlikti darbe naudojamos formulės:

Netiesioginio poveikio aplinkai vertinimui – ŠESD dėl elektros iš tinklų sąnaudų, naudojama 1 formulė:

$$\dot{S}ESD_E = VD \times EF, \quad (1)$$

čia,

$\dot{S}ESD_E$ – į atmosferą išsiskiriančių ŠESD kiekis, perskaičiuotas į CO₂ ekvivalentą (CO_{2e});

VD – veiklos duomenys, pvz., elektros energijos iš tinklų sąnaudos, MWh/m.;

EF – emisijų faktorius. Nuo 2021 m. Lietuvoje vykdomiems projektams, kai vertinamos netiesiogiai išmetamos ŠESD dėl elektros energijos ir tinklų sąnaudų, $EF = 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.}$

Netiesioginio poveikio aplinkai vertinimui – ŠESD dėl transportuotos 1 t žaliavos 1 km skaičiuojamas pagal 2 formulę [17]:

$$\check{S}ESD_T = IA \times AA \times IN, \quad (2)$$

čia:

$\check{S}ESD_T$ – į atmosferą išsiskiriančių ŠESD kiekis, perskaičiuotas į CO_{2e}

IA – įveiktas atstumas transportuojant 1 t žaliavos (km);

AA – į įmonę perdirbimui skirtų atvežtų atliekų kiekis (t);

IN – išmetimų norma pagal transporto rūšį, CO_{2e} (g/t km).

AAI_s naudojamas įrenginio ar atskiro proceso aplinkos apsaugos veiksmingumui įvertinti bei pateikti informaciją sprendimams priimti. Indikatorius padeda parodyti aplinkos apsaugos būklės kitimą laike (vnt./m.). Santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai prieš projekto įdiegimą įvertinamas pagal 3 formulę [29]:

$$AAI_{s(t-1)} = X_{(t-1)} \div G_{(t-1)}, \quad (3)$$

čia:

AAI_{s(t-1)} – santykinis AAI prieš inovacijos įdiegimą iki projekto įdiegimo, pvz., tonai perdirbto plastiko pagaminti, sunaudojamas elektros kiekis (MWh) arba išmetamas ŠESD kiekis – t CO_{2e} ;

t-1 – ankstesnis ciklas;

$X_{(t-1)}$ – išmatuota arba apskaičiuota sąnaudų reikšmė per fiksuotą t laikotarpį;

$G_{(t-1)}$ – produkcijos kiekis, pagamintas per fiksuotą t laikotarpį prieš inovacijos įdiegimą.

Santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai įgyvendinus projektą įvertinami pagal 4 formulę 4 [29]:

$$AAI_s = X_t \div G_t, \quad (4)$$

čia,

AAI_s – AAI po inovacijos įdiegimo per fiksuotą t laikotarpį.

Planuojamas aplinkos apsaugo vertinimas AAV apskaičiuojamas, palyginant AAI_s prieš ir po projekto įdiegimo [29]:

$$AAV_{plan.} = AAI_{sprieš} - AAI_{spo}, \quad (5)$$

čia,

AAV_{plan.} – planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas;

AAI_{siki} – santykinis AAI iki projekto įdiegimo, pvz.: perdirbtos žaliavos vienetai pagaminti sunaudojamas elektros kiekis (MWh/vnt), susidariusi emisija t CO_{2e} /vnt;

AAI_{spo} – planuojamas santykinis AAI po projekto įdiegimo.

Mokesčio už suvartotą elektros energiją skaičiavimas atliekamas pagal 6 formulę:

$$M_e = AAI_{sel} \times T_{el}, \quad (6)$$

čia,

M_e – mokama suma už suvartotą elektros energiją (Eur);

AAI_{sel} – elektros energijos sąnaudos per ataskaitinį laikotarpį (MWh/laik.);

T_{el} – taikomas tarifas už suvartotą 1 MWh elektros energijos (Eur).

Projekto atsipirkimas skaičiuojamas pagal 7 formulę:

$$AT = PI \div GP, \quad (7)$$

čia,

PI – reikiamos investicijos diegiant projektą (Eur);

GP – sutaupymas ar generuojamas pelnas per metus (Eur/m.).

Elektros energijos suvartojimas pasirinktame įrenginyje apskaičiuojamas pagal 8 formulę:

$$EES = VVS \times DL, \quad (8)$$

čia,

EES – elektros energijos suvartojimas MWh;

VVS – vidutinis valandinis elektros energijos sunaudojimas apibrėžtame įrenginyje (MW);

DL – įrengimo darbo laikas (val.).

3. ŠESD mažinimo galimybių vertinimas eksperimentui parinktame objekte

3.1. AB „Plasta“ – viena didžiausių plastiko atliekų perdirbėja Europoje

Tyrimo objektui pasirinkta AB „Plasta“ – viena didžiausių plastiko atliekų perdirbėjų, bei produkcijos iš perdirbtų atliekų gaminių Europoje. Bendrovės pagrindinės veiklos: plastiko atliekų perdirbimas, produktų gamyba iš pačių perdirbto LDPE plastiko. Per metus perdirba virš 38 000 t plastiko atliekų ir pagamina virš 27 000 tonų produkcijos iš savo paties perdirbtos žaliavos. Įmonėje dirba 450 darbuotojai, kurie užtikrina nenutrūkstamą darbo procesą. Įmonė nuolatos diegia naujausias perdirbimo ir gamybos technologijas, kurios leidžia efektyvinti gamybą, didinti perdirbamo plastiko panaudojimo galimybes. Pagrindiniai įmonės gaminami gaminiai iš pačių perdirbtos žaliavos: šiukšlių maišai, pakavimo maišai, plėvelės, uždangalai, statybose naudojama hidrostatinė plėvelė. Gaminiai yra sertifikuojami pagal atskirų produktų grupių standartus. Tai įrodo aukštą perdirbto plastiko kokybę nes dalis standartu taikomi ir pirminio plastiko gaminiams.

Įmonės pagrindiniai gamybiniai padaliniai: perdirbimo cechasis, plastiko gaminių cechasis. Pagrindiniai cechasis dirba nepertraukiamos gamybos principu. Dirbama keturių pamainų režimu po 12 val.. Kiekviename ceche dirba apie 150 darbuotojų. Visuotiniai gamyklos stabdymai būna išimtiniais atvejais – švenčių proga ir nenumatytų atvejų metu. Kiekviena perdirbimo linija kiekvieną savaitę stabdoma 6 val. techniniam aptarnavimui. Granulatoriai stabdomi – 1-2 val. per savaitę. Vidutiniškai gamybinė įranga dirba ~7828 val./m..

Pagal pasirinktas tyrimo ribas darbe bus vertinamas tik AB „Plasta“ perdirbimo padalinio darbas. Perdirbimo ceche per parą vidutiniškai perdirbama apie 110 t plastiko atliekų ir pagaminama 78 t granulato. Toks išėigos skirtumas susidaro, nes atvežtos žaliavos turi daug priemaišų, o gaunamų atliekų kiekis skaičiuojamas su jomis. Ryšuliuose be tinkamo perdirbti LDPE plastiko bendrą svorį sudaro: drėgmė (3-15 %), mechaniskas užteršimas (smėlis, žemės, kitos priemaišos 3-25 %), kito tipo plastikai, netinkami perdirbimui (1-8 %), lydimo reakcijos metu išsiskyrę lakieji organiniai junginiai (0,03 % nuo pagaminto granulato). Šie skaičiai susisteminti iš atvykstančios žaliavos kontrolės aktų bei mėnesinės granulato gamybos apskaitos. Užterštumo tipas ir jo kiekis ryšulyje priklauso nuo plastiko atliekos susidarymo kilmės. AB „Plasta“ dažniausiai naudojamas plastikas pagal kilmę:

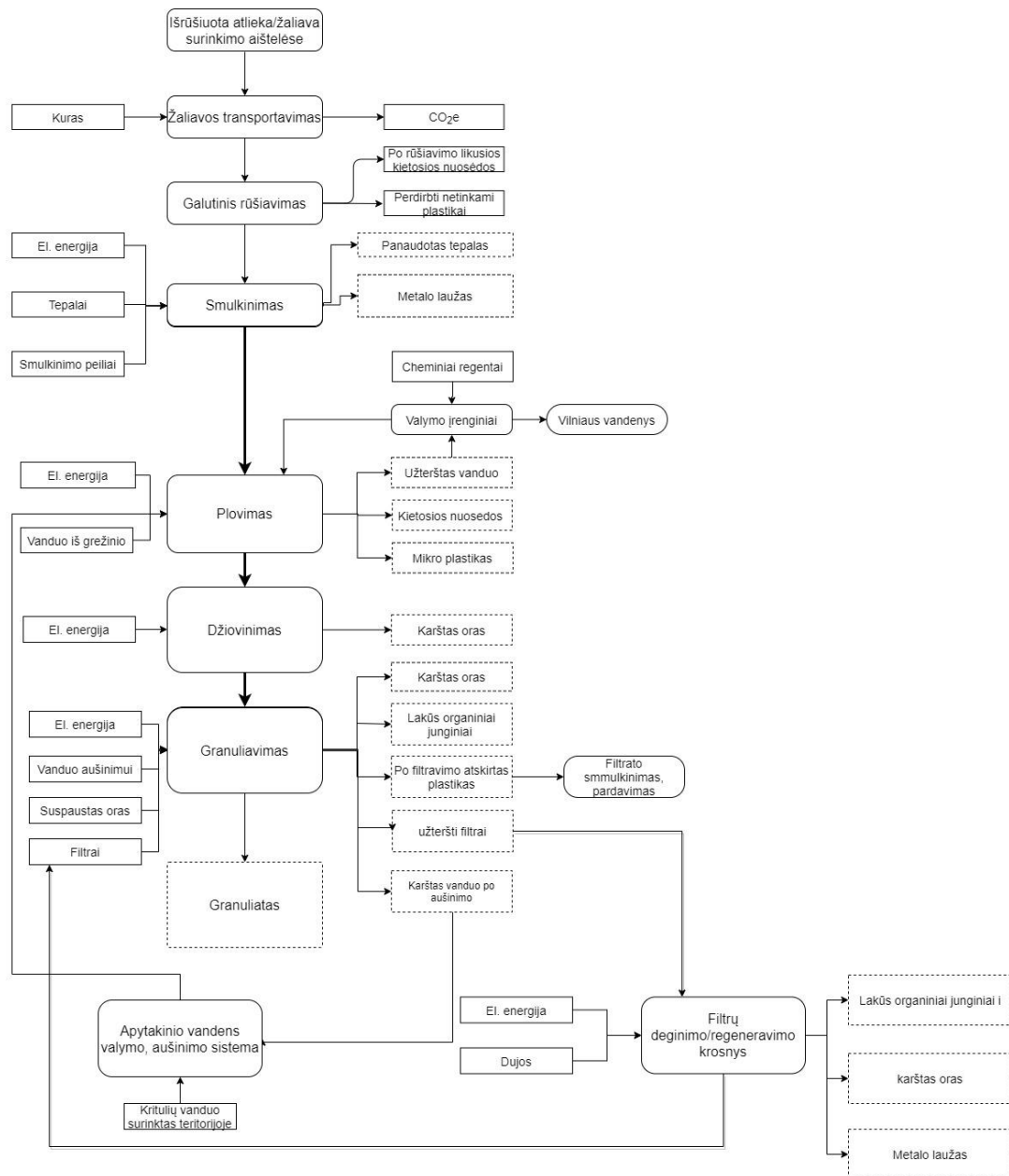
- Statybinės kilmės atliekos – stipriai užteršta smėliu, įvairiomis dulkėmis, statybinėmis medžiagomis, gali turėti drėgmės, pasitaiko kitų, ne plastikinių priemaišų bei kitų plastikų.
- Komunalinės kilmės atliekos – stipriai užteršta organine tarša, turi nemalonų kvapą, didelis kiekis drėgmės, didelis kiekis ne LDPE tipo plastikų.
- Agrarinės kilmės atliekos – didelis užterštumas žemėmis, didelis drėgmės kiekis, gali būti akmenų, kitų plastikų nerandama.
- Pramoninės kilmės atliekos – mažas užterštumas, maža drėgmės tikimybė, nedidelis kiekis kitų plastikų.

3.2. Apibrėžto proceso analizė ir ŠESD kiekio įvertinimas

Tyrimo ribos buvo nustatytos remiantis Danijos mokslininko darbu. Šis būvio ciklas darbe traktuojamas, kaip nuo lopšio iki vartų. Ciklas prasideda kuomet plastiko atlieka po pirminio rūšiavimo įgauna teigimą rinkos vertę ir tampa žaliava iki perdirbimo proceso pabaigos, kuomet pagaminamos granulės. Plačiau studija aptariama 1.6 skyriuje. Šio proceso ribose bus siekiama

nustatyti didžiausius ŠESD išmetimų skleidėjus, tam kad sumažinti jų poveikį aplinkai. Pasirinktas funkcinis vienetas – 1 t perdirbto plastiko granulių.

Siekiant nustatyti ŠESD didžiausius išmetimus, apibrėžtame procese atliekama srautų diagramos analizė. Analizė pateikta su pagrindiniais kiekvieno proceso etapo įvediniais ir išvediniais. Pilna AB „Plasta“ procesų diagrama pateikta 1 priede. Apibrėžto proceso srautų diagrama pateikta 11 paveiksle. Pagrindiniai perdirbimo proceso etapai: dalinai išrūšiuotos atliekos transportavimas, finalinis rankinis rūšiavimas, smulkinimas, frikcinis plovimas, džiovinimas, plastiko išlydimas, filtravimas, degazavimas, granuliavimas. Pagamintas granuliatas yra patikrinamas ir pagal vidinius nustatytus kokybės standartus suteikiamas kokybę įrodantis kodas. Su šiuo etapu ir baigiasi nustatyto tyrimo ribos – pagaminamas kokybiškos antrinio plastiko žaliavos, kurios paruoštos tolimesniam panaudojimui.



11 pav. Apibrėžto proceso srautų diagrama

AB „Plasta“ perdirbimo proceso srautų diagrama beveik nesiskiria nuo standartiškai naudojamos, fizinio individualių polimerų perdirbimo procesų sekos. Kuri pateikta 8 lentelėje. Srautų diagramoje matomi pagrindiniai perdirbimo procesai bei jų metabolizmui reikalingos medžiagos, energijos rūšys, išsiskirianti tarša, kitos sąnaudos, bei pagrindiniai nuostolių tipai. 9 lentelėje pateiktas AB „Plasta“ perdirbimo proceso 2019 m. medžiagų ir energijos balansas. Lentelės duomenys gauti – susisteminius įmonės apskaitos dokumentus, skaitiklių apskaitos duomenis, gautus išorinio monitoringo duomenis. Į lentelę nebuvo įtrauktos ne esminės procesą užtikrinančios medžiagos, taip pat neįtraukta analogiškos atliekos, kurių kiekis sąlyginai mažareikšmis.

9 lentelė. AB „Plasta“ plastiko atliekų perdirbimo padalinio medžiagų ir energijos balansas, 2019 m., vnt./m.

| | | |
|---|---|---|
| <p>Srautai proceso įėjime vnt./m.:</p> <p>Žaliavos prieš rūšiavimą: 38 280 t El. energija: 53 690 MWh Vanduo iš gręžinio: 79 200 m³ Lietaus vanduo iš teritorijos 30 000 m³ Bendras vandens kiekis: 109 200 m³</p> | <p>AB „Plasta“ perdirbimo cechas, 2019</p> | <p>Srautai proceso išėjime , vnt./m.</p> <p>Pagamintas granuliatas: 27 400 t Išgaravęs vanduo nuo plastiko: 3 622 t Perdirbimui netinkamas plastikas : 2 300 t Po plovimo likusios kietosios nuosėdos: 4 950 t Į aplinkos orą išmetami lakieji junginiai: 8 t Viso: 38 280 t Užterštas vanduo: 61 680 m³ Karštas vanduo: 31 680 m³ Išgaravęs vanduo: 15 840 m³ Viso: 109 200 m³ Netiesioginis CO₂ dėl elektros energijos sąnaudų – 22 550 tCO_{2e}</p> |
|---|---|---|

10 lentelė. Žaliavos transportavimo atstumų nuo tiekėjų iki AB Plasta įvertinimas

| Eil. Nr. | Valstybė – žaliavos tiekėjas | Atvežtas kiekis, t/m. | Dalis nuo bendro kiekio, % | Vidutinis atstumas sausumos keliu, km | Vidutinis atstumas vandens keliu, km | Įveiktas atstumas, transportuojant žaliavą sausumos keliu, km/m. | | Įveiktas atstumas, transportuojant žaliavą jūros keliu, km/m. | |
|--------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------|---|---------------|
| | | | | | | km/m. | km/1 t | km/m. | km/1 t |
| 1 | Lietuva | 3150 | 8,23 | 32 | – | 4582 | 1,45 | – | – |
| 2 | Latvija | 380 | 0,99 | 320 | – | 5527 | 14,55 | – | – |
| 3 | Lenkija | 7610 | 19,88 | 764 | – | 264275 | 34,73 | – | – |
| 4 | Švedija | 3610 | 9,43 | 702 | 414 | 115192 | 31,91 | 67934 | 19 |
| 5 | Jungtinė karalystė | 5520 | 14,42 | 821 | 1200 | 205996 | 37,32 | 301091 | 55 |
| 6 | Vokietija | 7630 | 19,93 | 1138 | – | 394679 | 51,73 | – | – |
| 7 | Olandija | 5430 | 14,18 | 1654 | – | 408237 | 75,18 | – | – |
| 8 | Danijos | 3640 | 9,51 | 412 | 640 | 68167 | 18,73 | 105891 | 29 |
| 9 | Belgijos | 1310 | 3,42 | 1761 | – | 104860 | 80,05 | – | – |
| Viso: | | 38280 | 100,00 | | | 1571515 | 345,64 | 474915 | 102,45 |

Žaliava į įmonę gabena iš 9 ES valstybių, įskaitant Lietuvą. 10 lentelėje pateikti susisteminti 2019 m. duomenys, parengti vadovaujantis apskaitos duomenimis. Lentelėje pateiktas vidutinis atstumas 1 t žaliavos transportavimui buvo apskaičiuotas išvedus bendro transportavimo vidurkį vienos

atgabentos tonos atžvilgiu iš kiekvienos tiekėjų šalies. Atskirai paskaičiuoti įveiktus sausumos ir jūrų kelius. Tai buvo atliekama siekiant tiksliau nustatyti išskiriamas emisijas.

Suminis 1 t žaliavos nuvažiuotas kiekis sausumos keliu atstumas – 1 571 515 km/m., vandens keliu – 474 915 km/m.. Išsiskirianti ŠESD dėl žaliavos transportavimo sausumos ir jūrų kiekis apskaičiuojamas pagal 2 formulę:

ŠESD transportuojant žaliavą sausumos keliu:

$$\text{ŠESD}_{\text{TS}} = 345,64 \text{ km/t} \times 38280 \text{ t/m.} \times 80 \text{ g CO}_{2e} / \text{km} \times 10^{-6} = 1058,48 \text{ t CO}_{2e}$$

ŠESD emisijų faktoriai, plastiką transportuojant įvairiu transportu pateikti 6 lentelėje.

ŠESD transportuojant žaliavą jūrų keliu:

$$\text{ŠESD}_{\text{TV}} = 102,45 \text{ km/t} \times 38280 \text{ t/m.} \times 8,6 \text{ g CO}_{2e} / \text{km} \times 10^{-6} = 33,73 \text{ t CO}_{2e}$$

Bendras ŠESD kiekis, išsiskyres transportuojant plastiko žaliavą iki AB „Plasta“ teritorijos –

- 1092,21 t CO_{2e} arba
- 0,029 t CO_{2e}/t plastikinės žaliavos arba
- 0,040 t CO_{2e}/t gaminamo granuliato.

AB Plasta perdirbimo padalinyje per metus sunaudojama iki 53 690 MWh elektros energijos (žr. 9 lentelę) arba iki 1,403 MWh/t perdirbamos žaliavos, arba 1,7 MWh/t gaminamo granuliato:

$$\text{AAI}_{s1} = 53\,690 \text{ MWh} \div 38\,280 \text{ t} = 1,403 \text{ MWh/t plastikinės žaliavos};$$

$$\text{AAI}_{s2} = 53\,690 \text{ MWh} \div 27\,400 \text{ t} = 1,959 \text{ MWh/t gaminamo granuliato}.$$

Įmonėje įdiegta moderni energijos suvartojimo fiksavimo sistema, kuri fiksuoja ir išsaugo mėnesio duomenis apie atskirų linijų įrengimų energijos sąnaudas. Taip sudaroma galimybė nustatyti linijų arba įrengimų faktinį vidutinį elektros suvartojimą. Pagrindiniai matuojami ir fiksuojami perdirbimo proceso linijų ir įrengimų duomenys pateikti 11 lentelėje. Pagal įmonės apskaitos duomenis, suminis elektros suvartojimas plovimo linijose ir granulatoriuose per 2019 m. – 46 690 MWh. Tai sudaro 87 % bendrai sunaudojamos elektros perdirbimo padalinyje. Vidutiniškai 1 tonos tiesioginiam perdirbimo procesui (plovimui ir granuliavimui) reikalinga elektros energijos intensyvumas apskaičiuojamas pagal 4 formulę:

$$\text{AAI}_{sp} = 46\,690 \text{ MWh} \div 27\,400 \text{ t} = 1,704 \text{ MWh/t}$$

Perdirbimo padaliniui dirbant nepertraukiamu režimu elektros energija naudojama ne tik pagrindiniam perdirbimo procesui. Perdirbimo padalinyje elektra dar naudojama: elektros apšvietimas, elektriniai krautuvai, vandens tiekimo siurbliai, valymo įrengimai, oro kompresoriai ir kt. Jų bendras metinis suvartojimas sudaro 7000 MWh, arba 13 % nuo viso perdirbimo padalinio sunaudojimo energijos kiekio.

11 lentelė. Elektros energijos intensyvumas LDPE plastiko perdirbimo įrenginiuose

| Nr. | Plovimo linija | Pagaminimo metai | Instaliuotas elektros galimumas kW | Faktinis elektros suvartojimas, kWh | Įrenginių vidutinis našumas t/val. | Elektros energijos naudojimo intensyvumas kWh/t |
|----------------|----------------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 1 | Plėvelės plovimo linija Nr. 1 | 1998 | 500 | 420 | 0,35 | 1 200 |
| 2 | Plėvelės plovimo linija Nr. 2 | 2000 | 500 | 420 | 0,35 | 1 200 |
| 3 | Plėvelės plovimo linija Nr. 3 | 2001 | 500 | 410 | 0,35 | 1 171 |
| 4 | Plėvelės plovimo linija Nr. 4 | 2001 | 500 | 400 | 0,35 | 1 143 |
| 5 | Plėvelės plovimo linija Nr. 5 | 2004 | 600 | 500 | 0,5 | 1 000 |
| 6 | Plėvelės plovimo linija Nr. 6 | 2005 | 500 | 390 | 0,35 | 1 114 |
| 7 | Plėvelės plovimo linija Nr. 7 | 2009 | 500 | 380 | 0,35 | 1 086 |
| 8 | Plėvelės plovimo linija Nr. 8 | 2017 | 800 | 725 | 0,9 | 806 |
| Viso: | | | 4400 | 3645 | 3,5 | 1090 |
| Granuliatoriai | | | | | | |
| 9 | Granuliatorius Erema I TVE1512 | 2014 | 540 | 420 | 0,7 | 600 |
| 10 | Granuliatorius Erema II TVE1714 | 2016 | 730 | 660 | 1,1 | 600 |
| 11 | Granuliatorius Erema III TVE1714 | 2017 | 730 | 660 | 1,1 | 600 |
| 12 | Granuliatorius Erema IV TVE1517 | 2008 | 700 | 590 | 0,9 | 656 |
| Viso: | | | 2700 | 2330 | 3,8 | 614 |

Metinis poveikis klimato kaitai dėl 2019m AB „Plasta“ sunaudotos elektros energijos išmetimų ŠESD apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

$$\check{S}ESD_E = 53\,690 \text{ MWh} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e} = 22\,550 \text{ tCO}_{2e}$$

$$AAI_{sCO_{2e}} = 22\,550 \text{ t CO}_{2e} / \text{m.} \div 38\,280 \text{ t} = 0,589 \text{ t CO}_{2e} / \text{t plastikinės žaliavos arba}$$

$$AAI_{sCO_{2e}} = 22\,550 \text{ t CO}_{2e} / \text{m.} \div 27\,400 \text{ t} = 0,823 \text{ t CO}_{2e} / \text{t gaminamo granulianto.}$$

ŠESD kiekis dėl AB Plasta veiklos:

- Netiesioginis dėl elektros sąnaudų: 22 550 t CO_{2e} /m.

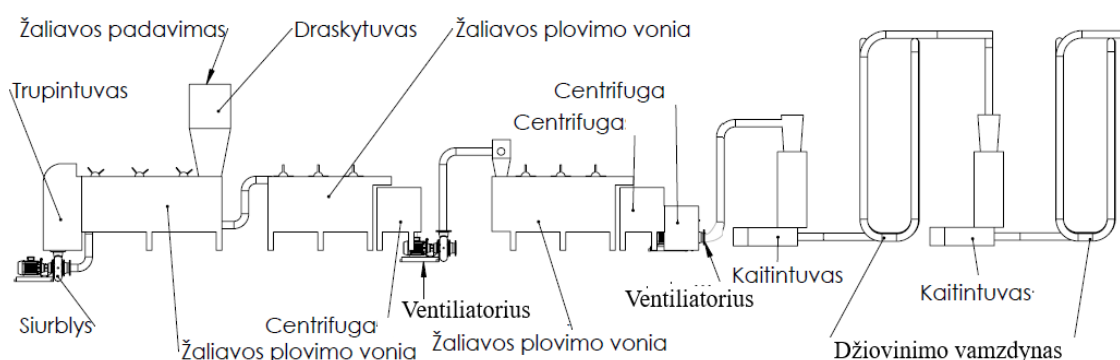
Transportuojant žaliavas: 1092 t CO_{2e}/m.

Tokiu būdu galima daryti išvadą, kad dėl AB Plasta esamos veiklos į aplinkos orą netiesiogiai patenka 23 642 t CO_{2e}, arba 0,863 t CO_{2e}/t gaminamo granulianto arba 0,618 t CO_{2e} plastiko atliekų.

$$AAI_{s\ CO_2e} = 23\ 642\ t\ CO_{2e} \div 38\ 280\ t/m. = 0,618\ CO_{2e} /t\ plastiko\ žaliavos;$$

$$AAI_{s\ CO_2e} = 23\ 642\ t\ CO_{2e} \div 27\ 400\ t/m. = 0,863\ CO_{2e} /t\ gaminamo\ granuliato;$$

Siekiant nustatyti pagrindinius neefektyvaus elektros vartojimo priežastis pagrindiniame perdirbimo procese, reikia detaliau analizuoti plovimo procesą. Jame energijos intensyvumas 1 tonai produkcijos - didžiausias. AB „Plasta“ turi 6 identiškos komplektacijos plovimo linijas. Jos pateiktos 11 lentelėje ir pažymėtos numeriais: 1, 2, 3, 4, 6, 7. Kitos 2 linijos (nr. 5 ir 8) esminiais elementais technologiškai nesiskiria nuo anksčiau minėtų. Kai kurie elementai identiški, kaip kitose. Skirtumas atsiranda dėl atskirų elementų galingumų ir našumo. Tipinės AB „Plasta“ plovimo linijos schema su elementais pateikta 12 paveiksle.



12 pav. Tipinis plovimo linijos išplanavimas AB „Plasta“

12 lentelė. Elektros energijos naudojimo intensyvumo įvertinimas AB „Plasta“ plovimo linijoje

| Eil. Nr. | Įrangos pavadinimas | Instaliuota galia kW/val. | Procentas nuo instaliuotos galios % | Elektros energijos intensyvumas 1 kWh/t |
|----------|---|---------------------------|-------------------------------------|---|
| 1 | Draskytuvas | 50 | 10 | 143 |
| 2 | Pirminio plovimo vonia nr. 1 | 12 | 2,4 | 34 |
| 3 | Trupintuvas G100 | 120 | 24 | 343 |
| 4 | Vandens su plėvele siurblys | 5,5 | 1,1 | 16 |
| 5 | Pirminio plovimo vonia nr. 2 | 12 | 2,4 | 34 |
| 6 | Centrifuga Nr. 1 | 35 | 7 | 100 |
| 7 | Plovimo vonia nr. 3 | 12 | 2,4 | 34 |
| 8 | Nuvandenimo sraigtas 2 vnt. | 5 | 1 | 14 |
| 9 | Centrifuga Nr. 2 | 35 | 7 | 100 |
| 10 | Centrifuga Nr. 3 | 35 | 7 | 100 |
| 11 | 2 segmentų džiovykla | 120 | 24 | 343 |
| 12 | Ventiliatoriai | 12 | 2,4 | 34 |
| 13 | SiurbLIAI užtikrinantys vandens apytaką | 46,5 | 9,3 | 133 |
| | Viso: | 500 | 100 | 1 429 |

Plovimo linijų: 1, 2, 3, 4, 6, 7 pagrindiniai elementai su instaliuotu galingumu pateikti 12 lentelėje. Iš lentelėje pateiktų duomenų aišku, kad didžiausi energijos kiekiai tenka žaliavos smulkinimui:

trupintuvas – 50 kW, draskytuvas – 120 kW. Šių mechanizmų ir didžiausias energijos intensyvumą. Antroje vietoje pagal elektros suvartojimą – džiovinimas. Analoginė elektros energijos suvartojimo tendencija ir kitose plovimo linijose.

Atlikus analizę nustatyta, kad didžiausi apibrėžto proceso netiesioginiai ŠESD išmetimai susidaro dėl elektros vartojimo ir žaliavos transportavimo iki gamyklos. Identifikavus pagrindinius taršos šaltinius atliekama taršos mažinimo galimybių analizė. Analizė atliekama svarstant: ŠG projektų diegimo galimybes, GPGB atliekų tvarkymo dokumentus, pramoninės ekologijos metodų taikymo galimybes. 13 lentelėje patikti galimi poveikio aplinkai mažinimo sprendimai AB „Plasta“ perdirbimo procese.

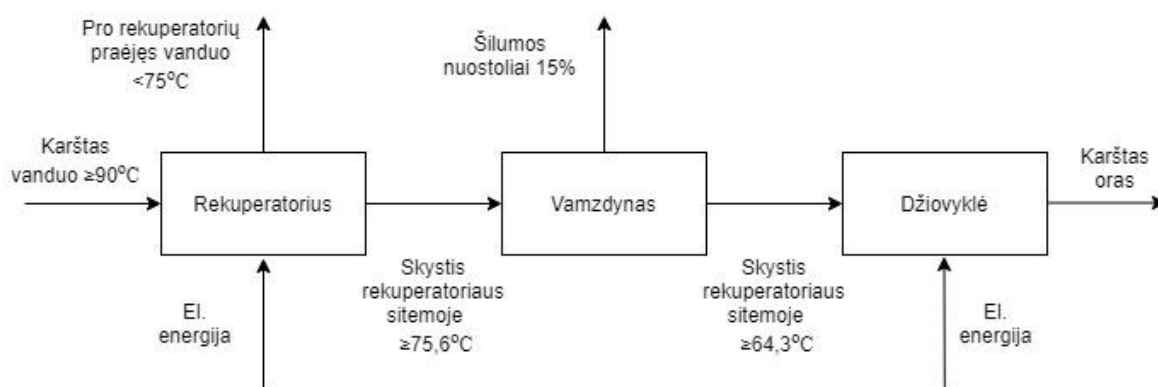
13 lentelė. Pagrindinių ŠESD taršos šaltinių poveikio aplinkai mažinimo galimi sprendimai

| Nr. | Proceso pavadinimas | Pagrindinės aplinkosauginės problemos | Esama situacija | Sprendimo būdas |
|-----|---|--|---|---|
| 1 | LDPE plėvelės džiovinimas | Naudojamas didelis kiekis elektros energijos | Įmonėje džiovinimui naudojama tik elektros energija | Didelis kiekis vandens naudojamas granuliu aušinimui, toliau šis vanduo išeina į apytakinę sistemą, ten ataušta ir naudojamas plovimo procese. Siūloma įdiegti šiluminės energijos rekuperavimo sistemą (vanduo-oras) ir panaudojant perteklinę šilumą džiovinimui (<i>taikomas ŠG prevencinis metodas – procesų optimizavimas - integravimas</i>) |
| 2 | Žaliavų transportavimas | ŠESD emisijos, transportuojant žaliavas dideliais atstumais | Žaliavos transportuojamos su priemaisomis | <ul style="list-style-type: none"> • Mažinti priemaišų kiekį žaliavose; • Ieškoti kitų žaliavų šaltinių, pavyzdžiui, analizuojant Lietuvoje susidariusių plastiko atliekų naujas perdirbimo galimybes (<i>Pramoninės simbiozės principų taikymas</i>) |
| 3 | Žaliavos apdirbimas prieš plovimo procesą | Dėl didelio atliekų užterštumo naudojama galingesnė įranga; todėl neefektyviai naudojami energijos, vandens išteklių | Atliekos turi iki 15% mechaninio užteršimo, kurio didžioji dalis patenka į plovimo liniją | <p>Siūlomas papildomas išankstinis žaliavų apdorojimas prieš perdirbimą: smulkinimas iki 30-50 mm, separavimas į 2D ir 3 D frakcijas, naudojant balistinį separatorių (prieš tiekimą į plovimo liniją). Taip į plovimo liniją nepateks priemaišų, kurios bus atskirtos oro purkštukais, įrengtais siūlomo aparato galia (<i>taikomas ŠG prevencinis metodas – procesų optimizavimas</i>)</p> <p>Prieš rūšiuojant žaliavas ir jas metant į plovimo liniją atliekamas smulkinimas į didelius gabalus, be to, visa žaliava pračina pro balistinį separatorių, kuris atskiria 2D frakciją nuo 3D. Nukrato pagrindinius mechaninius priemaišas. Balistinio separatoriaus pabaigoje stovi oro purkštukai, kurie dar atskiria priemaišas nuo plastiko.</p> |

3.3. Aušinamo vandens perteklinės šilumos rekuperacinės sistemos įdiegimo galimybių įvertinimas

Siekiant identifikuoti vieną plovimo linijos elementą suvartojantį daugiausiai elektros energijos buvo sudaryta srautų diagrama, išanalizuotos linijos elementų instaliuotos galios, įvertintas medžiagų ir energijos balansas. Nustatyta, kad termininės džiovyklės gali sunaudoti iki 24 % plovimo linijos sunaudojamos elektros energijos. Energija naudojama, kaitintuvų pagalba pašildyti orą, kuris džioviną išplautus plastiko plaušus. Elektriniai kaitintuvai sistemos pradžioje palaiko 60 °C temperatūrą. Ventilatorių pagalba įkaitinamas oras susimaišo su drėgnais plėvelės plaušais ir transportuojamas vamzdžiais. Vamzdžių trasos pabaigoje stovi ciklonas, kuris atskiria karštą drėgną orą nuo išplautų plėvelės plaušų. Išmatavus oro temperatūrą sistemos išėjime, buvo nustatyta, kad čia oro temperatūra siekia – <30 °C. Šilumos nuostoliai patiriami džiūstant plastikui ir dėl ilgo transportavimo kelio. Vienos džiovyklės kartu su ventilatoriumi galingumas – 123 kW. Nors plovimo linijų našumas skiriasi, tokios identiškios džiovyklės yra instaliuotos visose 8 linijose. Reikiamą <6% drėgnumo lygį po džiovyklų skirtingo našumo linijose padeda užtikrinti skirtingų galingumų ir tipų mechaninės centrifugos, kurios linijose stovi prieš termines džiovyklės.

Vienas iš GPGB ID plastiko perdirbimui siūlymų energijos suvartojimą mažinančių būdų – perteklinės šilumos panaudojimas. Atliekant aplinkosauginį auditą, buvo nustatyta granuliavimo įrenginio vieta, kurioje susidaręs karštas vanduo niekur nėra panaudojamas ir nuteka į įmonės valymo įrenginius. Granuliacijos pabaigoje vanduo tiekiamas lydalo šaldymui. Tai atliekama tam, kad pjaustant išlydytą masę, kurios temperatūra >200 °C, atvėsintų plastiką, ir taip susiformuotų taisyklinga genulės formą. Šio proceso metu vanduo sušyla iki 90-99 °C. Vibro tinklo ir centrifugos pagalba vanduo atskiriamas nuo granulių ir išteka į valymo įrenginius, nepanaudojant perteklinės šiluminės energijos. Identišką procesą atliekančių įrenginių įmonėje – 4 vnt. Nors granuliacijos našumai skiriasi, tačiau tiekiamas vandens debitas šaldymui visose linijose vienodas – 4 m³/val. Vienodas šaldymui skirtas vandens kiekis užtikrina stabilų lydalo atšaldymą ir granulių formavimą, nepaisant skirtingų granuliacijos išeinančios išlydytos masės temperatūrų, bei perdirbamų žaliavų lydymosi indeksų skirtumų.



13 pav. Rekuperacinės sistemos (vanduo-oras) veikimo srautų diagrama

Atradus nepanaudotos šilumos šaltinį, GPGB dokumentuose rekomenduojama identifikuotoje vietoje įrengti šilumos mainus atliekančią rekuperavimo sistemą. Rinkoje yra daug skirtingų tipų ir efektyvumo rekuperatorių, kurie dirba principu vanduo-oras. Siūloma rekuperatoriaus panaudojimo principinė schema pateikta 13 paveiksle. Šilumos siurblys perims vandenyje esančią šilumą ir perduos ją vamzdyno pagalba transportuojant iki džiovyklų, kurios yra 30-50 m atstumu nuo

granuliatorių. Džiovyklių kamerosse turi būti sumontuoti spiraliniai vamzdžiai, nuo kurių ventiliatoriais bus nupučiama šiluma. Vieno šilumos rekuperatoriaus kaina – 53 000 eurai su PVM. Naudingumo koeficientas – 84 %. Šilumos siurblio instaliuota elektros galia – 30 kW, ventiliatoriaus – 2,5 kW.

Vidutinė oro temperatūra perdirbimo patalpoje ~20 °C,. Džiovyklėse esantys kaitintuvai palaiko 60 laipsnių šilumą. Oro srautas visuose džiovyklėse yra 20 m³/h. Pagal fiksuojamas įrengimo darbo valandas buvo išskaičiuota, kad viena džiovyklė vidutiniškai dirba - 7828 val./m. Buvo atliekami džiovyklių sistemos sunaudojimo matavimai, kartu tikrinant išeinančios drėgmės kiekį, kad jis neviršytų 6 %, kaip nustatyta įmonės technologinio proceso apraše. Stebėjimo metu buvo nustatyta, kad vidutinis 8 džiovyklių valandinis elektros energijos sunaudojimas – 836,4 kW/val.

Faktinis elektros suvartojimas džiovyklėse skaičiuojamas pagal 8 formulę:

$$EES = 836,4 \text{ kW} \times 7828 \text{ val./m.} = 6\,547\,339 \text{ kWh/m.} \approx 6\,547 \text{ MWh/m.}$$

Santykinis aplinkos apsaugos indikatorius ($AAI_{s\text{ iki}}$) prieš projekto įdiegimą apskaičiuojamas pagal 4 formulę:

$$AAI_{s\text{ iki}} = 6547 \text{ MWh/m.} \div 27400 \text{ t/m.} = 0,239 \text{ MWh/t gaminamo granuliato;}$$

čia,

27400 t/m. – pagaminto granuliato kiekis (žr. 9 lentelę).

Rekuperatoriaus efektyvumas – 84 %. Perteklinio vandens temperatūra šilumos mainų metu bus >90 °C. Rekuperatoriaus vamzdeliuose esantis skystis šilumos mainų pabaigoje bus įkaitintas iki 75,6 °C. Vamzdyno naudingumo koeficientas – 85 %. Tuomet skysčio sistemos pabaigoje temperatūra, kai vamzdeliai stovės džiovyklėje, sieks 64,3 °C. Rekuperatorius parinktas tokio dydžio ir galingumo, kad sugebėtų vienas perimti 2 džiovyklės.

Vienos rekuperatoriaus sistemos (šilumos siurblio, 2 ventiliatorių) instaliuota elektros galia – 32,5 kW. Keturių rekuperatorių metinės elektros sąnaudos apskaičiuojamos pagal 8 formulę:

$$ESS = 32,5 \text{ kW} \times 4 \times 7828 \text{ val./m.} = 1\,017\,640 \text{ kWh/m.} \approx 1\,018 \text{ MWh/m.}$$

$AAI_{s\text{ po}}$ – energijos sąnaudos 1 t granuliato pagaminti po projekto įdiegimo vertinimas, naudojant 3 formulę:

$$AAI_{s\text{ el.po}} = 1\,018 \text{ MWh/m.} \div 27400 \text{ t/m.} = 0,037 \text{ MWh/t}$$

Planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas elektros energijos efektyvumo didinimo srityje skaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$AVV_{el} = 0,239 \text{ MWh/t} - 0,037 \text{ MWh/t} = 0,202 \text{ MWh/t}$$

14 lentelėje pateikti susisteminti projekto duomenys. Susidariusios išlaidos dėl elektros vartojimo apskaičiuotos pagal 6 formulę.

14 lentelė. Rekuperacinės sistemos įdiegimo aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas

| Analizuojami proceso srautai, vnt. | Prieš projekto įdiegimą | | | AAI _{s iki} | Po projekto įdiegimą | | | AAI _{s po} | Sutaupoma | | AAV |
|---|-------------------------|----------|--------|----------------------|----------------------|----------|--------|---------------------|-----------|---------|--------|
| | vnt./m. | Eur/vnt. | Eur/m. | Vnt./t | vnt./m. | Eur/vnt. | Eur/m. | Vnt./t | vnt./m. | Eur/m. | Vnt./t |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Elektros energija, MWh | 6547 | 90 | 589230 | 0,239 | 1018 | 90 | 91620 | 0,037 | 5529 | 497610 | 0,2 |
| Netiesioginis poveikis dėl elektros sąnaudų, t CO _{2e} | 2750 | — | — | 0,10 | 428 | — | — | 0,02 | 2322 | — | 0,085 |
| Sutaupoma įdiegus projektą: | | | | | | | | | | 497 610 | |

Projekto įdiegimas leistų sumažinti elektros sąnaudas iki 5529 MWh/m.

Netiesioginių ŠESD kiekis dėl elektros sąnaudų analizuojame procese prieš projekto įdiegimą:

$$\check{S}ESD_{EP} = 6547 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.} \approx 2750 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.}$$

$$AAI_{CO_{2e}iki} = 2750 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.} \div 27400 \text{ t/m.} = 0,10 \text{ t CO}_{2e}/\text{t}$$

Netiesioginių ŠESD kiekis įdiegus projektą sumažėja iki

$$\check{S}ESD_{EP} = 1018 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.} \approx 428 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.}$$

$$AAI_{CO_{2e}po} = 428 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.} \div 27400 \text{ t/m.} = 0,016 \text{ t CO}_{2e}/\text{t}$$

Projekto įdiegimas leistų sumažinti elektros sąnaudas iki 5529 MWh/m.

Netiesioginis ŠESD kiekio sumažėjimas apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

$$\check{S}ESD_{ET} = 5529 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.} = 2322 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.}$$

$$AAI_{CO_{2e}po} = 2322 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.} \div 27400 \text{ t/m.} = 0,085 \text{ t CO}_{2e}/\text{t, gaminamogranuliato;}$$

Planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas ŠESD kiekio mažinimo srityje skaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$AVV_{CO_{2e}} = 0,10 \text{ t CO}_{2e}/\text{t} - 0,016 \text{ t CO}_{2e}/\text{t} = 0,084 \text{ t CO}_{2e}/\text{t}$$

Projekto diegimui reikalingos preliminarios investicijos – apie 228 000,00 Eur, įsk. PVM:

- rekuperatorių įsigijimui: 53 000, 00 x 4 vnt. = 212 000,00 Eur;
- mažai šilumai laidžių vamzdžių įrengimui: ≈ 10 000,00 Eur;
- įrangos montavimui, paleidimui, derinimo darbams: ≈ 6000,00 Eur.

Projekto apsipirkimo trukmė apskaičiuojama pagal 7 formulę:

AT = 228 00,00 Eur ÷ 497 10,00 Eur/m. = 0,5 m.

Šios proceso optimizavimo inovacijos įdiegimas leistų taupyti elektros energiją šiluminės energijos gamybai, dėl ko iki 2322 t CO_{2e}/m. sumažės ŠESD kiekis. Investicijų atsipirkimo trukmė neviršys 1 metus. Todėl daroma išvada, kad šis projektas atitinka ŠG koncepcijos principus.

3.4. Pramoninės simbiozės projekto realizavimas AB „Plasta“, mažinant ŠESD dėl plastikinių žaliavų transportavimo

Analizuojant pramoninės simbiozės projektus, praplečiamos sistemos ribos: nuo įmonės lygmens (ŠG inovacijose) iki logistikos ar kitos įmonės lygmens. Šiuos analizuojamos inovacijos atveju sistemos ribos praplečiamos iki žaliavos transportavimo, kurio metus sunaudojami degalai ir iš mobilių taršos šalinių išmetami oro teršalai bei šiame darbe detaliau analizuojamos ŠESD. Pavyzdžiui, įvertinta, kad per 2019 m. dėl į AB „Plasta“ iš įvairių šalių atvežamų plastikinių žaliavų, transporto vidaus degimo varikliuose deginant dyzelinį kurą, į aplinkos orą išsiskyrė iki 1092 t CO_{2e} (žr.3.1 skyrių).

Veiksmingiausias būdas mažinti taršą iš mobilių taršos sklaidos šaltinių – mažinti transportavimo skaičių arba atstumus. Trumpiausias transportavimo atstumas būrų iš Lietuvos atliekų surinkėjų (žr. 10 lentelę).

2019 m. duomenimis nepanaudotų plastiko atliekų metų pabaigoje Lietuvoje buvo – 10 023 t. Tačiau nėra aišku, kokio tipo šios žaliavos ir ar jos būtų tinkamos AB Plasta perdirbimo procesui. Statistinių duomenų analizės metu buvo pastebėta, kad nemaža dalis plastiko atliekų nėra regeneruojama iš Lietuvos komunalinio atliekų srauto. Todėl bus atliekama šio srauto analizė tikslu nustatyti, koks LDPE plastiko tipo kiekis yra nepanaudojamas.

T.y. šioje alternatyvoje siūloma padidinti plastiko atliekų iš Lietuvos šaltinių, pvz., MBA įrenginių, perdirbimo kiekį AB Plasta, kuris dabar siekia tik 8,2 % nuo visų perdirbamų atliekų per metus (žr. 10 lentelę). Didinat Lietuviškų plastiko atliekų kiekį, mažės transportavimo atstumas ir taip bus mažinamas poveikis aplinkai.

Galimas plastiko atliekų potencialas pateiktas 15 lentelėje. Tik nedidelė dalis plastiko atliekų, patekusi į komunalinį srautą, yra atrenkama ir perdirbama. Šie skaičiai rodo MBA įrengimų prastą funkcionalumą šios atliekos antrinio rūšiavimo atžvilgiu.

15 lentelė. Plastiko atliekų potencialas mišrių komunalinių atliekų sraute Lietuvoje 2019 m.

| Pavadinimas | Susidarantis kiekis t/m. | Dalis nuo bendro atliekų kiekio, % |
|---|--------------------------|------------------------------------|
| Susidaręs mišrių komunalinių atliekų kiekis Lietuvoje (faktas) | 1 318 626 | 100 |
| Išskaičiuotas plastiko atliekų mišrių komunalinių atliekų sraute kiekis pagal morfologinius tyrimus | 143 730 | 10,9 |
| Regeneruotas plastiko atliekų kiekis (faktas) | 16 025 | 1,2 |
| Mišių komunalinių atliekų sraute likęs kiekis | 127 705 | 9,7 |

Naudojantis G. Lopez tyrimu, kuris aprašytas šio darbo tyrimo dalyje, galima teoriškai apskaičiuoti, kokio plastiko pagal rūšis yra neregeneruojama iš mišrių komunalinių atliekų srauto. Skaičiavimo rezultatai pateikti 16 lentelėje. Didžiausi kiekiai susidaro polipropileno (PP) (19 %, 24 264 t), žemo

tankio polietileno (LDPE) (17 %, 21 710 t), aukšto tankio polietileno HDPE (12%, 9947 t). Šių tipų žaliavos yra plačiausiai perdirbinėjamos, tinkamai atskirtos ir supresuotos atliekų rinkoje turi teigiamą vertę. Išrūšiuojant aptartas antrines žaliavas iš mišraus komunalinio srauto (šiam tikslui užtektų optimizuoti esamas technologijas MBA įrenginiuose) ir pridėjus PET, kurio perdirbimo galimybės taip pat plačiai žinomos, bendras perdirbimui tinkamas kiekis padidėtų iki 64 860 t per metus. Bendras plastiko atrinktas kiekis iš mišraus komunalinių atliekų srauto padidėtų nuo 1,2 % iki 6,1 %. Tai ženklus pokytis siekiant užsibrėžtų plastiko atliekų perdirbimo tikslų.

AB „Plasta“ 2019 m. perdirbo 3150 t plastiko atliekų iš Lietuvos tiekėjų ir importavo 35 130 t. 16 lentelėje duomenys parodė, kad net – 21 710 t LDPE tipo plastiko atliekų 2019 metais nebuvo atskirtos iš komunalinių atliekų srauto. Jei visas šitas kiekis būtų perdirbamas AB „Plasta“ įmonėje tuomet atliekos iš Lietuvos tiekėjų galėtų sudaryti 73 % visų perdirbamų atliekų metinio kiekio. Šis kiekis gali būti pasiektas visuomenės švietimo, didesnio komunalinių atliekų rūšiavimo, jas metant į tam pritaikytus konteinerius pagal atliekų rūšį, bei geresnio MBA įrenginių darbo. Siekiant, kad kuo didesnis plastiko kiekis patektų perdirbėjams.

16 lentelė. Nepanaudotos plastiko atliekos iš mišraus komunalinio srauto pagal plastiko tipus

| Plastiko rūšies pavadinimas | Dalis mišrių komunalinių atliekų sraute, % [9] | Kiekis, t/m. |
|-----------------------------|--|----------------|
| PP | 19 | 24 264 |
| LDPE | 17 | 21 710 |
| HDPE | 12 | 15 325 |
| PVC | 10 | 12 771 |
| PUR | 8 | 10 216 |
| PET | 7 | 8 939 |
| PS | 7 | 8 939 |
| Kita | 20 | 25 541 |
| Viso: | 100 | 127 705 |

Teoriškai bus paskaičiuota, kiek sumažėtų CO_{2e}, jeigu tik 27 % reikiamų atliekų būtų transportuojama iš svetur.

Primename, kad šiuo metu ŠESD kiekis dėl plastikinių žaliavų transportavimo:

- 1092,21 t CO_{2e}, arba
- 0,029 t CO_{2e}/t plastikinės žaliavos,
- arba 0,040 t CO_{2e}/t gaminamo granuliato.

17 lentelėje pateiktas sumodeliuotas variantas, kaip galėtų atrodyti atliekų tiekimas į AB „Plasta“, padidinus nustatytus atliekų kiekius iš Lietuvos atliekų srauto. Pasirenkat plastiko žaliavų tiekėjus buvo atsižvelgiama į trumpiausią transportavimo atstumą, bei mažiausią poveikį aplinkai sukeltą transportavimo būdą. Netiesioginis ŠESD kiekis po projekto įgyvendinimo apskaičiuojamas pagal 2 formulę. CO_{2e} išmetimo normos transportuojant 1 t krovinio 1 km naudojamos pagal transporto rūšį ir pateiktos 6 lentelėje.

17 lentelė. Pasikeitusios tiekimo grandinės žaliavos transportavimo atstumų nuo tiekėjų iki AB „Plasta“ įvertinimas atliekų tiekimo variantas ir transportavimo atstumai

| Eil. Nr. | Valstybė – žaliavos tiekėjas | Atvežtas kiekis, t/m. | Dalis nuo bendro kiekio, % | Vidutinis atstumas sausumos keliu, km | Vidutinis atstumas vandens keliu, km | Įveiktas atstumas, transportuojant žaliavą sausumos keliu, km/m. | | Įveiktas atstumas, transportuojant žaliavą jūros keliu, km/m. | |
|----------|------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------|---|--------------|
| | | | | | | km/m. | km/1 t | km/m. | km/1 t |
| 1 | Lietuva | 24864 | 64,95 | 52 | – | 58769 | 2,36 | – | – |
| 2 | Latvija | 380 | 0,99 | 320 | – | 5527 | 14,55 | – | – |
| 3 | Lenkija | 7610 | 19,88 | 764 | – | 264275 | 34,73 | – | – |
| 4 | Švedija | 1790 | 4,68 | 702 | 414 | 57117 | 31,91 | 33685 | 19 |
| 5 | Danijos | 3640 | 9,51 | 412 | 640 | 68167 | 18,73 | 105891 | 29 |
| | Viso: | 38280 | 100,00 | | | 453856 | 102,27 | 139575,45 | 47,91 |

ŠESD kiekis dėl žaliavos transportavimo sausumos keliu (po projekto įdiegimo):

$$\check{S}ESD_{TS} = 102,27 \text{ km/t} \times 38280 \text{ t/m.} \times 80 \text{ g CO}_{2e} / \text{km} \times 10^{-6} = 313,19 \text{ t CO}_{2e}.$$

ŠESD transportuojant žaliavą jūrų keliu (po projekto įdiegimo):

$$\check{S}ESD_{TV} = 47,91 \text{ km/t} \times 38280 \text{ t/m.} \times 8,6 \text{ g CO}_{2e} / \text{km} \times 10^{-6} = 15,77 \text{ t CO}_{2e}.$$

Bendras ŠESD kiekis, išsiskyręs iš vidaus degimo variklių, transportuojant plastiko žaliavą iki AB „Plasta“ teritorijos (po projekto įdiegimo):

- 328,96 t CO_{2e}/m. arba
- 0,009 t CO_{2e}/t plastikinės žaliavos arba
- 0,012 t CO_{2e}/t gaminamo granuliato.

Planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas ŠESD kiekio mažinimo srityje skaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$AVV_{CO_{2e}} = 0,04 \text{ t CO}_{2e} / \text{t} - 0,012 \text{ t CO}_{2e} / \text{t} = 0,028 \text{ t CO}_{2e} / \text{t gaminamo granuliato.}$$

Šio projekto įgyvendinimas priklauso nuo didelio tiekimo grandinės dalyvių skaičiaus ir jų bendradarbiavimo bei sąmoningumo: valstybinių institucijų, gyventojų, verslo atstovų, atliekų tvarkytojų.

Pasiekus visišką LDPE tipo plastiko ištraukimą iš mišrių komunalinių atliekų srauto ir jį perdirbant AB „Plastai“, CO_{2e} mažėtų 763,25 t CO_{2e} /m., būtų siekiama užbrėžtų ES tikslų tiek atliekų perdirbime, tiek CO_{2e} mažinime.

3.5. Žaliavos papildomas apdorojimas prieš plovimo procesą įdiegimo galimybių įvertinimas

Analizės metu buvo nustatyta, kad plėvelės smulkinimo įranga sunaudoja didžiausias elektros energijos kiekį lyginant su kitais proceso etapais. Žaliavos smulkinimo procese dalyvauja 2 įrenginiai: trupintuvas ir drąskytuvas. Iš medžiagų ir energetikos balanso galime matyti, kad atvežtų žaliavų išeiga 71,6 %. Atvežamų atliekų morfologija aptarta 3.1 skyriuje. Nepaisant papildomo rūšiavimo prieš smulkinimą į linijas patenka daug priemaišų, kurios sukelia papildomos taršos

perdirbimo procesui. Jos užteršia vandenį, pradeda kauptis nuosėdos, padidėja valymų įrengimų sąnaudos. Smulkinimo įrangoje didėja trintis ir rotoriams tenkantis pasipriešinimas. Dėl šių faktorių sunaudojama papildomas kiekis elektros energijos ir greičiau dyla įranga. Taikant ŠG metodus bus siekiama sumažinti į linijas patenkančią taršą ir nustatyti tokio proceso efektyvumą.

Siekiant detaliau išanalizuoti situacija buvo atliekami bandymai. Pirmasis AB „Plasta“ bandymas buvo atliktas siekiant nustatyti – į liniją vidutiniškai patenkančių priemaišų kiekį. Fiksuojant linijos elektros sąnaudas. Išsiaiškinus priemaišų kiekį, galima teoriškai apskaičiuoti elektros energijos patiriamus nuostolius smulkinimo įrenginiuose. Eksperimentui buvo parinkta plovimo linija Nr. 4. Prieš bandymą linijai buvo atliktą pilna profilaktinį patikra, išvalytos plovimo linijose susidariusios kietosios nuosėdos, pakeistas vanduo. Bandymas truko savaitę iki kitos profilaktikos. Bandymo metu perdirbimui buvo sunaudota 80,5 t atliekų. Kiekvieno tipo atliekos buvo perdirbinėjamos vienodomis proporcijomis. Bandymo metu buvo fiksuojama:

- atrūšiuotos netinkamos plastiko atliekos;
- į plovimo linijas nepatekęs mechaninis užterštumas;
- bendras linijos plovimo voniose nuskendusiu nuosėdų kiekis;
- bendras linijose nuskendęs plastikų kiekis;
- susidariusio filtrato kiekis;
- pagaminto granuliato kiekis;
- elektros energijos suvartojimas;
- valandinis švaraus vandens sunaudojimas;

Žaliavos užteršimo nustatymo bandymo rezultatai 18 lentelėje.

18 lentelė. AB „Plasta“ naudojamos žaliavos užteršimo nustatymo bandymo rezultatai

| Nr. | Pavadinimas | Kiekis, t/sav. | Dalis nuo bendro įmesto kiekio, % |
|-----|---|----------------|-----------------------------------|
| 1 | Sunaudotos žaliavos | 80,5 | 100 |
| 2 | Atrūšiuotos netinkamo plastiko atliekos | 2,4 | 3 |
| 3 | Į plovimo vonias nepatekęs mechaninis užterštumas | 1,6 | 2 |
| 4 | Susidariusios kietosios nuosėdos | 12,1 | 15 |
| 5 | Nuosėdose nuskendęs plastikas | 0,8 | 1 |
| 6 | Filtrato kiekis | 1,6 | 2 |
| 7 | Pagamintas granuliato kiekis | 55,5 | 69 |
| 8 | Išskaičiuotas drėgmės kiekis ryšulyje | 6,4 | 8 |

Bandymo metu gauta plastiko išeiga – 69 % t.y. dviem procentais mažesnė nei vidutinė metinė išeiga. Skirtumas susidaro dėl atvežamų atliekų nevienodo užterštumo. Į linijas patekusių, kietųjų priemaišų kiekis sudarė 15 % pirminės ryšulio masės. Tai dažniausiai mechaninis užterštumas, smėliu, žemėmis nuplaunamas nuo plėvelės paviršiaus. Skęstantis plastikas – toks plastikas, kurio tankis yra didesnis nei 1 g/cm³, LDPE plastiko tankis – 0,91-0,94 g/cm³, todėl jis plaukia vonių

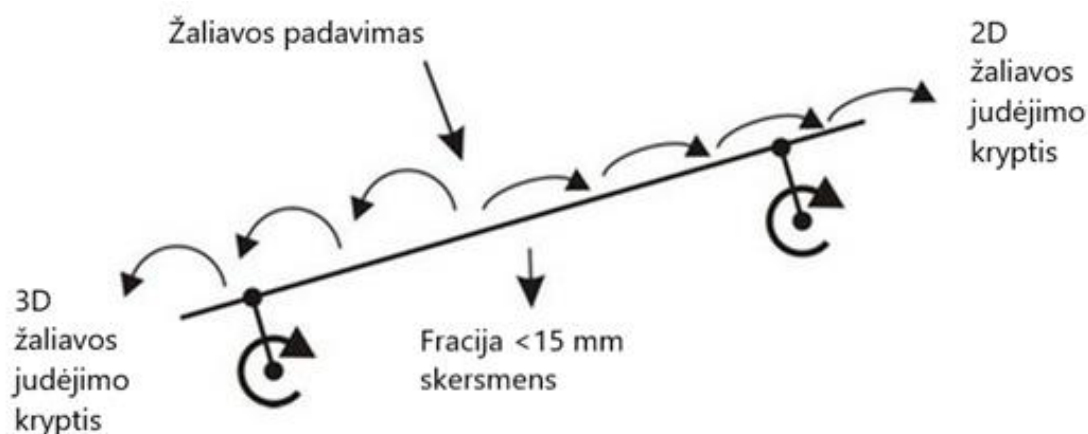
paviršiumi. Nuskendusio plastiko kiekis plovimo voniose siekė 1%. Filtratas susidaro plastiko lydymo proceso metu, kuomet per 110 μ akutes turinčio filtro diską praeina LDPE plastikas, o neišsilydžiusios priemaišos grandiklių pagalba nuvalomos nuo filtro ir pašalinamos. Išmatuotas plovimo linijos elektros energijos suvartojimas bandymo metu – 65,2 MWh., arba 1,175 MWh/t. Šis skaičius taip pat didesnis nei linijos naudojamas metinis vidurkis. Švaraus vandens sąnaudos iš gręžinio, siekiant palaikyti įmonės technologijoje nustatytą suspenduotų medžiagų (SM) kiekį buvo 3,5 m³/val. Linijos vidutinis našumas buvo 0,35 t/h išplautos žaliavos. Galima daryti išvadą, kad didėjant į liniją patenkančių atliekų kiekiui, linijos darbo efektyvumas mažėja, elektros sąnaudos didėja.

Siūlomas taršos mažinimo prieš plovimą sprendimas – trupintuvo ir balistinio separatoriaus įdiegimas prieš paduodant žaliavas į plovimo linijas. Technologinis procesas, kuomet visos perdirbamos žaliavos prieš plovimą yra papildomai apdorojamos:

- po rankinio rūšiavimo visos žaliavos kampiniu konvejeriu nukreipiamos į 2 trupintuvus, kurių našumas 2,5 t/val.; kuriose jos susmulkinamos iki 30-50 mm;
- iš trupintuvų susmulkintos žaliavos nukreipiamos į balastinius separatorius, kurių kiekvieno našumas – iki 2,5 t/val. ir kuriuose jos skirstomos į 2 frakcijas: 2D ir 3D, atskirai priemaišas (žr. 14 pav.).

Taip susmulkinta ir nukratyta žaliava būtų papildomai paruošta prieš plovimo procesą.

Atrūšiuota žaliava patekusi į sauso trupintuvą yra ne tik sutrupinama į atskirus gabalus, bet ir dėl trinties sukurtos šilumos džiovina plėvelę. Drėgmės sumažinimas svarbus tolimesniam balistinio separatoriaus darbui – nuo sausų paviršių geriau atsiskiria mechaninis užterštumas. Balistinio separatoriaus turi 3 pagrindines funkcijas: atskirti 2D frakciją nuo 3D (2D – plokščios formos kūnai, pvz. plėvelė, 3D – kitos nei plokščios formos kūnai), atskirti sunkias priemaišas, ar kitą frakciją kurių dydis yra mažesnis nei 20 mm. Balistinio separatoriaus veikimo principas pavaizduotas 14 paveiksle.



14 pav. Balistinio separatoriaus veikimo principas

Siekiant išsiaiškinti tokios sistemos veiksmingumą buvo rastas testavimo centras kuris yra įsidiegęs analogišką technologiją. Bandymas buvo atliekamas Tomra testavimo centre, kurio metu buvo simuliuojama anksčiau aptarta technologija. Analogiško kuri naudota priimama bandymui buvo paruošta AB „Plasta“ įmonėje. Atrūšiuotos ir vėl supresuotos žaliavos nutransportuotos į testavimo centrą. Dėl patiriamų išlaidų ir testavimo centro užimtumo buvo paruošta 1/4 (20 t) pirminio

bandymo kiekio. Tomra testavimo centre buvo fiksuojami tie patys kaip ir prieš tai bandymų duomenys. Po testo žaliava vėl buvo supresuojama ir vežama į AB „Plasta“ analoginiams perdirbimo bandymams. Kadangi gauta žaliava jau susmulkinta iki reikiamo plovimo procesui dydžio buvo iš plovimo proceso pašalintas finalinio smulkinimo magas. Plovimo linijos pradžioje esantis drąskytuvas buvo paliktas, tam kad atliktų atliekos dozavimo funkciją. Linijos stabdymas ir analizė buvo atliekama sunaudojus paruoštą kiekį atliekų. Viso kompleksinio bandymo rezultatai pateikti 19 lentelėje.

19 lentelė. AB „Plasta“ naudojamos žaliavos užterštumo antro bandymo rezultatai

| Nr. | Pavadinimas | Kur buvo atlikinėjamas bandymas | Kiekis, t | Dalis nuo bendro įmesto kiekio, % |
|-----|---|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 1 | Sunaudotos žaliavos | AB „Plasta“ | 20,0 | 100 |
| 2 | Atrūšiuotos netinkamo plastiko atliekos | | 0,6 | 3 |
| 3 | Į plovimo vonias nepatekęs mechaninis užterštumas | | 0,2 | 1 |
| 4 | Iš balistinio separatoriaus kaip netinkamos iškritusios priemaišos* | Tomra testavimo centras | 1,6 | 8 |
| 5 | Plovimo voniose susidariusios kietosios nuosėdos | AB „Plasta“ | 1,0 | 5,2 |
| 6 | Nuosėdose nuskendęs plastikas | | 0,1 | 0,3 |
| 7 | Filtrato kiekis | | 0,3 | 1,3 |
| 8 | Pagamintas granuliato kiekis | | 14,4 | 72 |
| 9 | Išskaičiuotas drėgmės kiekis ryšulyje | | 1,8 | 9,2 |

Bandymo metu gauta plastiko išeiga – 72 % t.y. vienu procentu didesnė nei žaliavos vidutinė metinė išeiga. Į linijas patekusių priemaišų kiekis sudarė 6,8 % pirminės ryšulio masės. Tai yra 11,2 % mažiau nei pirmame bandyme. Bandymo metu buvo taip pat buvo matuojamas įrangos Tomros testavimo centre bei AB Plasta plovimo linijų elektros suvartojimas. Elektros suvartojimo intensyvumas Tomros testavimo centre – 0,194 MWh/t. Bandymas buvo atliekamas su linija, kurios valandinis našumas 500 kg/val., plovimo linijos elektros suvartojimo intensyvumas antro bandymo metu pagaminant 1 t – 0,751 MWh/t. Bendras 1 tonos plovimo našumas – 0,945 MWh/t. Tai 20 % mažesnis plovimo linijos elektros intensyvumas, išplauant 1 toną žaliavos lyginant su pirminiu bandymu.

Švaraus vandens sąnaudos iš gręžinio, siekiant palaikyti įmonės technologijoje nustatytą suspenduotų medžiagų (SM) kiekį buvo 2 m³/val. Tai 43 % mažesnis suvartojimas nei buvo. Dėl šios priežasties siurbliai, kurie užtikrina vandens lygį voniose, dirbo trumpesnę laiką. Plovimo linijos našumas padidėjo ~15 % ir siekė 0,4 t/val. išplautos žaliavos.

Bandymo rezultatai parodė, kad žaliavos smulkinimas ir nupurtymas duoda ženklų rezultatą. Bus analizuojamas poveikio aplinkai sumažėjimas pakeitus AB Plasta esamą technologinį procesą pagal prieš tai gautus bandymo rezultatus. Projektui įgyvendinti reikalingas papildomos įrangos sąrašas su našumais ir galingumais pateiktas 20 lentelėje.

20 lentelė. Inovacijos įdiegimui reikalingos įrangos pagrindinės techninės charakteristikos ir investicijos

| Nr. | Įrangos pavadinimas | Įrengimo našumas, t/val. | Instaliuota el. galia, kW/vnt. | Kiekis vnt. | Investicijos, Eur su PVM |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------|
| 1 | Konvejeris | 2,5 | 44 | 8 | 32 000,00 |
| 2 | Trupintuvas Lindner Micromat 2500 | 2,5 | 422 | 2 | 558 000,00 |
| 3 | Balistinis separatorius BSH 60 | 2,5 | 60 | 2 | 249 000,00 |
| 4 | Žaliavos dozatorius | 0,35-0,6 | 28 | 8 | 56 000,00 |
| Išviso: | | | 526 kW | 12 vnt. | 895 000,00 |

Įdiegus šią sistemą būtų atsisakoma 8 linijose stovinčių trupintuvų ir 8 drąskytuvų. Visą trupinimo procesą atliktų 2 nauji trupintuvai. Tolygų žaliavos padavimą užtikrintų susmulkintos žaliavos dozatoriai. Įgyvendinus tokį pokytį pasikeitusios plovimo linijų charakteristikos pateiktos 21 lentelėje.

21 lentelė. Po projekto įdiegimo plovimo įrengimų charakteristikos

| Nr. | Plovimo linija | Periodas | Instaliuota elektros galia, kW | ¹ Faktinis elektros sunaudojimas, kWh | Įrenginių vidutinis našumas t/val. | Elektros energijos naudojimo intensyvumas kWh/t |
|----------------|--------------------------------------|----------|--------------------------------|--|------------------------------------|---|
| 1 | Pirminio žaliavos apdorojimo sistema | 2021 | 526 | — | 5 | 105,2 |
| 2 | Plėvelės plovimo linija Nr. 1 | 1998 | 333,5 | 275 | 0,4 | 688 |
| 3 | Plėvelės plovimo linija Nr. 2 | 2000 | 333,5 | 275 | 0,4 | 688 |
| 4 | Plėvelės plovimo linija Nr. 3 | 2001 | 333,5 | 269 | 0,4 | 673 |
| 5 | Plėvelės plovimo linija Nr. 4 | 2001 | 333,5 | 262 | 0,4 | 655 |
| 6 | Plėvelės plovimo linija Nr. 5 | 2004 | 433,5 | 380 | 0,55 | 691 |
| 7 | Plėvelės plovimo linija Nr. 6 | 2005 | 333,5 | 256 | 0,4 | 640 |
| 8 | Plėvelės plovimo linija Nr. 7 | 2009 | 333,5 | 250 | 0,4 | 625 |
| 9 | Plėvelės plovimo linija Nr. 8 | 2017 | 633,5 | 570 | 1 | 570 |
| Išviso: | | | 3068 kW | 2537 kWh | 3,95 t/val. | 654 kWh/t |

Prieš projektą metinis elektros suvartojimas plovimo procese siekė 29 866 MWh/m. Skaičius užfiksuotas įmonės atskirų įrenginių elektros energijos suvartojimo kaupimo sistemoje.

Aplinkos apsaugos indikatorius prieš projekto įdiegimą apskaičiuojamas pagal 4 formulę:

$$AAI_{eliki} = 29\,866 \text{ MWh/m.} \div 27\,400 \text{ t/m.} = 1,090 \text{ MWh/t}$$

Įdiegus atliekos apdorojimą prieš plovimą bei atsisakius senos žaliavos smulkinimo įrangos ir kiekvienoje linijoje sumontavus naujus žaliavos dozatorius, elektros suvartojimas apskaičiuojamas pagal 8 formulę:

$$ESS = 654 \text{ kWh/t} \times 27\,400 \text{ t/m} = 17\,919,600 \text{ MWh/m.}$$

Santykinis aplinkos apsaugos indikatorius – energijos sąnaudos 1 t granuliato pagaminti po projekto įdiegimo plovimo procese vertinimas, naudojant 3 formulę:

$$AAI_{elpo} = 17\,919,600 \text{ MWh/t} \div 27\,400 \text{ t/m.} = 0,654 \text{ MWh/t}$$

Planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas elektros energijos efektyvumo didinimo srityje skaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$AVV_{el.} = 1,090 \text{ MWh/t m.} - 0,654 \text{ MWh/t m.} = 0,436 \text{ MWh/t m.}$$

22 lentelėje pateikti projekto susisteminti duomenys. Susidariusios išlaidos dėl elektros vartojimo apskaičiuotos pagal 6 formulę.

22 lentelė. Aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatas

| Analizuojami srautai | Prieš projekto įdiegimą | | Po projekto įdiegimą | | Sutaupoma / sumažėja (+) Padidėja (-) | | | AAV |
|--|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--|----------|----------------|--------|
| | vnt./ m. | AAI _{s iki} , vnt./t | vnt./ m. | AAI _{s po} , vnt./t | vnt./ m. | Eur/vnt. | Eur/m. | vnt./t |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Elektros energija, MWh | 29866 | 1,090 | 17919,6 | 0,654 | 11946,4 | 90 | 1075176 | 0,436 |
| Netiesioginis poveikis dėl elektros sąnaudų, t CO _{2e} . | 12543,72 | 0,460 | 7526,4 | 0,275 | 5017,320 | – | – | 0,19 |
| Sutaupoma įdiegus projektą: | | | | | | | 1075140 | |

Projekto įdiegimas leistų sumažinti elektros sąnaudas iki 11 946,400 MWh/m. Netiesioginis ŠESD kiekio sumažėjimas apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

$$\check{S}ESD_{ET} = 11\,946,400 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.} = 5017,320 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.}$$

Netiesioginių ŠESD kiekis prieš projekto įdiegimą:

$$\check{S}ESD_{EP} = 29\,866 \text{ MWh/m.} \times 0,42 \text{ t CO}_{2e}/\text{MWh}_{el.e.} = 12\,543,72 \text{ t CO}_{2e}/\text{m.}$$

$$AAI_{CO_{2e}iki} = 12\,544 \text{ CO}_{2e} \div 27\,400 \text{ t} = 0,46 \text{ CO}_{2e}/\text{t.}$$

Netiesioginių ŠESD kiekis įdiegus projektą:

$$AAI_{CO_{2e}po} = 7526,4 \text{ t CO}_{2e} \div 27\,400 \text{ t} = 0,275 \text{ CO}_{2e}/\text{t.}$$

Planuojamas aplinkosauginis veiksmingumas ŠESD kiekio mažinimo srityje skaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$AVV_{CO_2e} = 0,46 \text{ CO}_{2e} - 0,275 \text{ CO}_{2e} = 0,185 \text{ CO}_{2e}/t.$$

Projektui įgyvendinti reikiamos investicijos pateikta 20 lentelėje. Taip pat turėtų būti numatytos investicijos į statybos ir komunikacijų pravedimo darbus – iki 50 tūkst. Eur (su PVM)

Projekto apsipirkimo trukmė apskaičiuojama pagal 7 formulę:

$$AT = 945\,000 \text{ Eur} \div 1075176 \text{ Eur/m.} = 0,88 \text{ m.}$$

Kadangi investicijų atsipirkimo trukmė iki 1 metų, daroma išvada, kad šis projektas atitinka ŠG koncepcijos principus.

Be ENI sumažinimo ir dėl to sumažėjusio ŠESD išmetimų poveikis aplinkai papildomai bus mažinamas dėl: sumažės švaraus vandens sąnaudos, sumažės įmonėje įrengimų valymų įrengimų darbas. Sumažėjus profilaktinių darbų trukmei ir periodiškumui, padidėjus plovimo linijų pralaidumui, būtų galima perdirbti dar didesnę kiekį atliekų. .

4. ŠESD mažino galimybės pramonės lygmenyje (rekomendacijos Lietuvos fizinio plastiko perdirbimo įmonėms)

2019 m. duomenimis pramonės skleidžiama tarša sudarė 15,6 % viso ŠESD išmetamo kiekio. Lietuvoje pramonės pajėgumai kiekvienais metais auga, tarp jų ir Lietuvoje vyraujanti fizinio plastiko atliekų, individualių polimerų perdirbimo pramonė. Pats sektorius Lietuvoje, lyginant su kitais pramonės sektoriais – sąlyginai mažas, bei naujas. Tačiau, pačio sektoriaus svarba siekiant ES žaliojo kurso tikslų yra didelė. Aplinką tausojantis sektoriaus darbas prisideda prie daugelio tikslų įgyvendinimo.

Svarbu, kad šis sektorius ne tik plėstųsi, bet ir darytų kuo mažesnę poveikį aplinkai. Atliekant plastiko perdirbimo pasaulinėje literatūros analizę galima rasti daug įvairių metodų ir metodologijų, kurias pritaikius galima sumažinti perdirbimo procesų poveikį aplinkai. Vienas iš metodų, kuris taip pat naudojamas šiame darbe – ŠG metodologija. ŠG tikslas – mažinti taršą susidarymo vietoje. Siekiant nustatyti pagrindinius taršos šaltinius, atliekamas energetinis auditas, bei sudaromas medžiagų ir energijos balansas. Identifikavus taršo šaltinį ieškomi aplinkai ir įmonės ekonomikai tvarūs sprendimai, padėsiantys mažinti poveikį aplinkai. Taršos mažinimo sprendimų paiešką bei palyginamąją analizę rekomenduojama atlikti gilinantis į GPGB dokumentus (atliekų apdorojimo dalį). Čia aprašyti atskirų perdirbimo būdų bei atskirų linijose esančių mazgų: esami išmetamųjų teršalų ir suvartojimo (pavyzdžiui, energijos, vandens, žaliavų) kiekiai, pateikiamos išvados ir pristatomi nauji gamybos būdai. Atradus sprendimo būdus taikyti ŠG projekto įgyvendinimo metodiką analizuojant projekto įgyvendinimo galimybę. Diegiant poveikio aplinkai mažinimo projektus įmonės prisideda prie ES tikslų įgyvendinimo, gerina savo ekonominius rodiklius, įgauna socialiai atsakingo verslo statusą.

PrS taikymas ne mažiau svarbus šiame pramonės sektoriuje siekiant įgyvendinti ES tikslus. Taikymui reikalingas glaudesnis bendradarbiavimas, nei ligi šio su institucijomis ir didžiausiais pramonės atliekų generuotojais. Tai leistų padidinti plastiko atliekų iš Lietuvos perdirbimo kiekį. Bendradarbiaujant galima siekti mažesnio plastiko atliekų mechaninio užterštumo. Tai leistų sumažinti žaliavų transportavimo atstumą, bei dėl nereikalingo transportuoja svorio išmetamas ŠESD. Perdirbimo procese susidarytų mažiau atliekų, dėl sumažėjusios taršos išaugtų perdirbimo pajėgumai, sumažėtų energijos sąnaudos vienai tonai produkcijos. Tai leistų mažinti ŠESD išmetamą kiekį perdirbant 1 toną produkcijos.

Šių metodų taikymo rezultatai, pateikti darbo išvadose, parodo, kad su greitai atsiperkančiais sprendimais galima ženkliai sumažinti poveikį aplinkai. Tai tik patvirtina, kad yra didelis potencialas mažinti poveikį aplinkai plastiko perdirbimo sektoriuje. Fizinio perdirbimo įmonių technologinis procesas iš principo vienodas, kaip ir tirtame objekte, todėl darbe pateiktos poveikio aplinkai mažino būdus galima nesudėtingai pritaikyti ir kitose plastiko perdirbimo įmonėse.

Rekomenduojama Lietuvos plastiko perdirbimo įmonėms pasinaudoti anksčiau išvardintais metodais, kurių veiksmingumas įrodytas analizės metu diegti savo gamyboje siekiant prisidėti prie ES tikslų įgyvendinimo bei užtikrinant ekonomiškai tvarias investicijas.

Išvados

1. Atlikus plastiko atliekų tvarkymo analizę buvo nustatyta, kad apskaitytas susidarantis šių atliekų kiekis Lietuvoje kiekvienais metais didėja. 2019 m. susidarė virš 103 tūkst. tonų per metus, iki 37 % šių atliekų – eksportuojama, 29 % – perdirbama, 21 % – apdorojama prieš tolimesnį panaudojimą. Bet didžioji dalis plastiko atliekų atskirai neapskaitoma. Įvertinta, kad 2019 m. mišrių komunalinių atliekų sraute, t.y. jau po pirminio rūšiavimo, jų galėjo būti virš 127,7 tūkst. tonų per metus. Dėl įvairių priežasčių didžioji dalis centralizuotuose mechaninio apdorojimo įrenginiuose atskirto plastiko tampa kietuoju atgautuoju kuru ir nukreipiama į deginimą, bet ne į perdirbimą.

2. Mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatai parodė, kad didžioji dalis ŠESD, kurią galima priskirti plastiko perdirbimui, susidaro netiesiogiai dėl elektros energijos sąnaudų. Didelis energijos naudojimo intensyvumas – vienas iš pagrindinių ekonominių ir aplinkosauginių problemų Lietuvos pramonėje. ŠESD, kuris susidaro dėl žaliavų transportavimo, tiesiogiai priklauso nuo kuro sąnaudų įvairiai transportuojant plastiko žaliavas ir gali svyruoti nuo 8,6 t CO_{2e}/t iki 445 t CO_{2e}/t žaliavų.

3. Analizuojant 2018 m. energijos naudojimo Lietuvoje intensyvumą ir jį lyginant su ES vidurkiu, įvertintas energijos vartojimo efektyvumo didinimo potencialas, kuris siekia 3,6 Eur/kgne. Tikslu sumažinti energijos intensyvumą plastiko perdirbime, siūloma naudoti pramoninės ekologijos metodus: dematerializavimą, diegiant švaresnės gamybos projektus (procesų optimizavimo, integravimo) ir pramoninę simbiozę.

4. Eksperimentui parinktoje AB „Plasta“ atliekant ŠG galimybių vertinimą nustatyta, kad 1,959 MWh – vidutinės elektros energijos sąnaudos 2019 m. pagaminant 1 t granuliato iš plastikinių atliekų, dėl ko susidaro ŠESD – 0,823 t CO_{2e}/t. Didžioji dalis elektros energijos (iki 34,4%) sunaudojama džiovynuose ir plastikinių atliekos smulkinime. Pramoninės simbiozės galimybių vertinimo analizės rezultatai parodė, kad ŠESD kiekis transportuojant žaliavą į įmonę – 0,040 t CO_{2e}/t pagaminamo granuliato vienetai. Bendras ŠESD išmetamas kiekis pagaminto granuliato vienetai sudaro 0,863 t CO_{2e}/t.

5. Darbe pasiūlytos ir detalios išanalizuotos 3 inovacijos:

- *ŠG procesų optimizavimo*: aušinimo vandens šiluminės energijos regeneravimo ir panaudojimo džiovynimui bei plastikinės žaliavos paruošimo (papildomo išvalymo) procedūros įdiegimas prieš smulkinimą leistų įmonei sumažinti elektros sąnaudas – iki 17 475,4 MWh/m. arba iki 0,638 MWh/t gaminamo granuliato; netiesioginių ŠESD kiekis sumažėtų iki 0,268 t CO_{2e}/t gaminamo granuliato arba 32,6%. Inovacijų atsipirkimo trukmė – iki 1 metų.
- *Pramoninės simbiozės*: LDPE iš mišraus komunalinių atliekų srauto perdindimo AB „Plasta“ įdiegimas leistų padidinti įmonėje perdirbamų plastikinių atliekų kiekį iš Lietuvos tiekėjų nuo 8 iki 65%. ŠESD kiekis iš mobilių taršos šaltinių sumažėtų iki 0,012 t CO_{2e}/t įmonėje gaminamo granuliato.

Įgyvendinus 3 darbe siūlomas inovacijas, bendras ŠESD išmetamas kiekis sumažėtų ~34 % – 7 672 t CO_{2e}/m. arba 0,28 t CO_{2e} / t granuliato. Tuomet ŠESD išsiskiriantis pagaminant 1 t plastiko granuliato būtų – 0,543 t CO_{2e} / t.

6. Sėkmingai įgyvendinti projektai ženkliai prisidėtų prie daugelio Lietuvos iškeltų tikslų įgyvendinimo. Tokių kaip: energijos vartojimo intensyvumo, ŠESD išmetimų mažinimo, plastiko atliekų perdirbimo normų pasiekimo. Baigiamajame darbe analizuoti projektai ir gauti santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai gali būti pritaikomi ir kitoms plastiko perdirbimo įmonėms Lietuvoje siekiant mažinti poveikį klimato kaitai ir prisidėti prie ES tikslų įgyvendinimo.

Literatūros sąrašas

1. Europos Parlamentas ir ES Taryba, *Atliekų direktyva*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015PC0595&from=EN>
2. Lietuvos Respublikos Energetikos ministerija (2018), Nacionalinė energetikos nepriklausomybės strategija, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf
3. Staniškis J. K., Staniškienė Ž., Kliopova I., Varžinskas V. (2010). Darniosios inovacijos Lietuvos pramonėje: kūrimas ir diegimas. Monografija. Technologija. ISBN 978- 9955-25-815-5. 4 skyrius: Kliopova I. „Inovacijos energetikoje“. P: 223-306.
4. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. *ŠESD mažinimas Lietuvoje*. [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <http://klimatokaita.lt/klimato-kaitos-svelninimas/sesd-mazinimas-lietuvoje/>
5. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija (2021) *ŠESD apskaitos ir prognozių ataskaitos, nacionaliniai pranešimai*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/klimato-kaita/sesd-apskaitos-ir-prognoziu-ataskaitos-nacionaliniai-pranesimai>
6. Verslo žinos. *Energetikos intensyvumas ekonomikoje*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <http://zodynas.vz.lt/energijos-intensyvumas-ekonomikoje-2>
7. Lietuvos Respublikos Valstybės kontrolė (2018), *Energijos vartojimo efektyvumo tikslų pasiekimas, valstybinio audito ataskaitos santrauka*. P: 4
8. Aplinkos apsaugos agentūra, *Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis Lietuvoje 2019 m. ir tendencijos 1990-2018 m.* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: https://klimatas.gamta.lt/files/Tendencijos_1990-2018.pdf
9. Statistikos departamentas (2020), *Energetikos statistika 2019 m.* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?articleId=7697635>
10. Statistikos departamentas (2020), *Lietuvos aplinka, žemės ūkis ir energetika. Kuro ir energijos suvartojimas*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/lietuvas-aplinka-zemes-ukis-ir-energetika-2020/energetika/kuro-ir-energijos-suvartojimas>
11. Lietuvos Respublikos Energetikos ministerija (2020), *Lietuvos respublikos 2018 metų pažangos siekiant nacionalinių energetikos vartojimo tikslų ataskaita*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/EED_Pazangos_ataskaita_2018_galutine.pdf P: 33
12. Aplinkos apsaugos agentūra (2020), *Lietuvoje susidariusios, surinktos ir sutvarkytas atliekos 2019m.* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://atliekos.gamta.lt/files/Oficiali%20atliek%C5%B3%20suvestin%C4%97%202019%202020.12.29.xlsx>
13. Lietuvos Respublikos ministro įsakymas, *Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo*, 1999 m. liepos 14 d. (2019) Nr. 217, naujausia redakcija: Nr. D1-831, 2017-10-09, paskelbta TAR 2017-10-11, i. k. 2017-16089, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302/asr>
14. Lietuvos Respublikos Atliekų tvarkymo įstatymas, 1998-06-16 (2018) nr. VIII-787 [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>
15. Aplinkos apsaugos agentūra (2020), *Komunalinės atliekos*. [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=e4055918-4f56-4aee-8c10620b407cc6f1>

16. Aplinkos apsaugos agentūra (2018), *I Lietuvą įvežtos atliekos 2017 m.* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: https://atliekos.gamta.lt/files/2017_importas.xlsx
17. Tarptautinė jūrų organizacija (2009), *Prevention of air pollution from ships*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/MEPC%2059-INF.10%20-%20Second%20IMO%20GHG%20Study%202009.pdf> P: 174 - 178.
18. Eurostat (2019), *487 kg of municipal waste generate per person*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190123-1>
19. Confederation of European waste-to-energy plants (2019), *Latest Eurostat figures: Municipal waste treatment 2017*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2017/>
20. Aplinkos Apsaugos agentūra (2021), *Mišrių komunalinių atliekų sudėties tyrimai ir biologiškai skaidžių atliekų vertinimas 2019 m.* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://atliekos.gamta.lt/files/Sudeties%20tyrimai%2020191617276945933.xlsx>
21. Lopez G., Artetxe M. ir kt. (2017) *Thermochemical routes for the valorization of waste polyolefinic plastics to produce fuels and chemicals*. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 73, p. 346-368
22. Science history institute, *History and future of Plastics*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics>
23. Tim Walle, Cosmos, *First global analysis of all plastic ever mass produce* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://cosmosmagazine.com/society/global-plastic-waste-totals-4-9-billion-tonnes/>
24. Statista, *Market value of plastic recycling worldwide in 2019 and 2027*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.statista.com/statistics/987522/global-market-size-plastic-recycling/><https://cosmosmagazine.com/society/global-plastic-waste-totals-4-9-billion-tonnes/>
25. Geyer R., Jambeck J. R., Law K. L. (2017), *Production, use, and fate of all plastic ever made*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782>
26. Ostrauskaitė J. Gražulevičius J.V. (2012) *Polietileninių atliekų grįžtamasis perdirbimas, mokomoji knyga*. [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: www.ebooks.ktu.lt/eb/354/polimeriniu-atlieku-griztamasis-perdirbimas/
27. Michigan state university, *Polymers* [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/polymers.htm>
28. United Nation Environmental programme (2001), *Implementation guidelines for Facilitating organizations*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8153/306-104.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
29. Staniškis J. K., Stašiskienė Ž., Kliopova I. (2002), *Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris*. Kaunas: Technologija, 2002. ISBN 9955-09-312-9
30. Ragim R, Raman A. A. A (2017), *Carbon dioxide emission reduction through cleaner production strategies in a recycled plastic resins producing plant*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616313646?via%3Dihub>
31. Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija (2021), *Geriausi prieinami gamybos būdai*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/tarsos-integruota-prevencija-ir-kontrolė/geriausi-prieinami-gamybos-budai-gpbg>

32. Kliopova I., Malinauskiene M., Baranauskaitė I., (2014) *Ištekliai tausojančių švaresnės azoto trąšų gamybos inovacijų įvykdomumo analizės studija. Studija parengta vykdant mokslinių tyrimų projektą Ištekliai Tausojanti ir Švaresnė Azoto Trąšų Gamyba (ŠATG)*, p. 159.
33. Fraccascia L., Giannoccaro I., (2020) , *What, where, and how measuring industrial symbiosis: A reasoned taxonomy of relevant indicators*. [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344920301208>
34. Nessi S., Bulgheroni C., Konti A., (Eds), (2018) *Environmental sustainability assessment comparing through the means of lifecycle assessment the potential environmental impacts of the use of alternative feedstock (biomass, recycled plastics, CO₂) for plastic articles in comparison to using current feedstock (oil and gas)*. Part 1 European Commission, JRC technical reports 2018
35. Nessi S., Bulgheroni C., Konti A., (Eds). (2018) *Environmental sustainability assessment comparing through the means of lifecycle assessment the potential environmental impacts of the use of alternative feedstock (biomass, recycled plastics, CO₂) for plastic articles in comparison to using current feedstock (oil and gas)*. Part 2 European Commission, JRC technical reports 2018
36. Boucher J., Dubois C., Kounina A., (Eds), (2019) *Review of plastic footprint methodologies*. International union for conservation of nature
37. Bulim C., Suynwoo Y., Su-il P. (2018) *Carbon Footprint of Packaging Films Made from LDPE, PLA, and PLA/PBAT Blends in South Korea*. Department of Packaging, Yonsei University
38. Elsevier B.V. (2019) *Life Cycle Interpretation. From : Handbook of Energy Efficiency in Buildings*, Science Direct
39. Storm B. K. (2017) *Production of recyclates – compared with virgin Plastics – a LCA Study*. Aalborg University Esbjerg, Denmark
40. Hannah T. (2017) *"Paper or Plastic? A Comparison of the Carbon Emissions of Grocery Bags"* University of Minnesota. Undergraduate Research Symposium
41. Hamilton L. A., Feit S., (2019) *Plastic & Climate The Hidden Costs of a Plastic Planet* CIEL;
42. Ritchie H., Roser M (2019) *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions* by Oksford university
43. Posen I. D., (2017), *Greenhouse gas mitigation for U.S. plastics production: energy first, feedstocks later*. Environmental Research Letters
44. Hillman K. Damgaard O., Eriksson O. (Eds), (2015) *Climate Benefits of Material Recycling* Nordic, Council of Ministers
45. *Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2010-04-06 įsakymas Nr. D1-275 Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo* 2010 Nr. 42-2040; TAR 2014 Nr. 04916; 2019 Nr. 17755
46. Europos vadovų taryba, *Paryžiaus susitarimas dėl klimato kaitos*, [žiūrėta 2021-05-22] prieiga per internetą: <https://www.consilium.europa.eu/lt/policies/climate-change/paris-agreement/>
47. *Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2014-04-16 įsakymas Nr. 2014-04989 Dėl Valstybinio strateginio atliekų tvarkymo plano pakeitimo patvirtinimo* Nr. 519 TAR, 2014-04-30, Nr. 4989

AB „Plasta“ procesų srauto diagrama

1 priedas

