

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS INSTITUTAS**

Valda Grigolaitė

**PLASTIKINĖS PAKUOTĖS ATLIEKŲ PERDIRBIMO
GALIMYBĖS, TAIKANT TERMINEŲ DEKOMPOZICIJĄ Į
NAFTOS IR DUJŲ PRODUKTUS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

doc. Visvaldas Varžinskas

Kaunas, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS INSTITUTAS

**PLASTIKINĖS PAKUOTĖS ATLIEKŲ PERDIRBIMO
GALIMYBĖS, TAIKANT TERMINEJĄ DEKOMPOZICIJĄ Į NAFTOS IR
DUJŲ PRODUKTUS**

Magistro baigiamasis projektas
Aplinkos apsaugos vadyba ir švaresnė gamyba
(kodas 621H17002)

Vadovas

doc. dr. Visvaldas Varžinskas

Recenzentas

dr. Eugenijus Milčius

Projektą atliko

Valda Grigolaitė

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Aplinkos inžinerijos institutas

(Fakultetas)

Valda Grigolaitė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkos apsaugos vadyba ir švaresnė gamyba 621H17002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Plastikinės pakuotės atliekų perdirbimo galimybės, taikant terminę dekompoziciją į naftos
ir dujų produktus

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. birželio 09 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Valdos Grigolaitės** baigiamasis projektas tema „Plastikinės pakuotės atliekų perdirbimo galimybės, taikant terminę dekompoziciją į naftos ir dujų produktus“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Grigolaitė Valda. Plastikinės pakuotės atliekų perdirbimo galimybės, taikant terminę dekompoziciją į naftos ir dujų produktus. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Visvaldas Varžinskas; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas.

Mokslo kryptis ir sritis: aplinkos inžinerija, technologijos mokslai,

Reikšminiai žodžiai: plastikinės pakuotės, atliekų perdirbimas, terminė dekompozicija, pirolizė

Kaunas, 2017. 71, psl.

SANTRAUKA

Lietuva pagal atliekų utilizavimą sąvartynuose yra viena iš lyderių Europoje. Lietuvoje kasmet susidaro daugiau kaip milijonas tonų buitinių atliekų iš kurių apie 60% išvežama į sąvartynus. Didelių atliekų kiekių laidojimas sąvartynuose tapo rimta problema, didėja sąvartynų plotai, sąvartynuose susidarantys atliekų skysčiai daro neigiamą poveikį dirvožemiui ir gruntiniams vandenims, išsiskiriančios puvimo proceso dujos kenkia atmosferos orui ir didina šiltnamio efektą, ir galiausiai visas atliekų laidojimo procesas yra kenksmingas žmogaus sveikatai. Didėjantis energijos poreikis pramonėje skatina nuolat ieškoti alternatyvių, švarių energijos šaltinių. Siūloma atliekų tvarkymo alternatyva - pirolizės technologija, kurios taikymas atliekų tvarkymo modelyje utilizuotu plastiko atliekas išgaunant energiją ar žaliavas. Didelio kaloringumo plastiko atliekos (36-46MJ/kg) užima didžiausią dalį sąvartynuose apie 50%. Deginant komunalines atliekas sukuriama daugiau problemų negu gaunama naudos. Detali šiukšlių deginimo įrenginių gyvavimo ciklo analizė rodo, kad jie dažniausiai energijos sunaudoja daugiau, nei pagamina. Sudeginus produktus, juos reikia pakeisti naujais analogiškais produktais.

Šiuo metu plastiko atliekos yra vienos iš pagrindinių komunalinių atliekų komponentų. Per pastaruosius kelis dešimtmečius, plastiko vartojimas išaugo. Lietuvoje metinis komunalinių atliekų susidarymas yra apie 1,3 milijono tonų, kurias sudaro apie 200 tūkst. tonų plastiko atliekų. Tai yra įvairių plastiko gaminių mišinys, daugiausia sudarytų iš kombinuotų mažo tankio polietileno (LDPE), aukšto tankio polietileno (HDPE), polipropileno (PP), polistireno (PS), polivinilchlorido (PVC), ir polietileno-tereftalato (PET) plastikų. HDPE, LDPE ir PP – tai labiausiai paplitusios plastiko atliekų rūšys komunalinių atliekų sraute.

Šiuo metu didžiausia dalis plastiko rūšių Lietuvoje yra polipropilenas PP (19%), mažo tankio polietilenas LDPE (17%), aukšto tankio polietilenas HDPE (12%), daugiausiai plastiko žaliavos sunaudojama pakuotėms apie 40%.

Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 94/ 62/ EB dėl pakuočių ir pakuočių atliekų tikslas – suderinti Europos šalims pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo priemones, tokiu būdu užkirsti kelią daryti neigiamą poveikį aplinkai ir taip užtikrinti aukštą aplinkosaugos lygį.

Darbo tikslas – ištirti terminės dekompozicijos proceso pritaikymo galimybes panaudotų plastikinių pakuočių iš Lietuvos komunalinių atliekų srauto konvertavimui į pirmines plastikų gamybos žaliavas – naftos ir dujų produktus.

Pirolizė terminis degių medžiagų skaidymas 400–700°C temperatūroje be oro, kurio metu susidaro skystas kuras arba dujos. Pirolizės būdu apdorojant komunalines atliekas, susidaro tokie produktai: bionafta, dujos ir koksas, kurie gali būti naudojami išgaunant energiją arba naudojami kaip pagalbines medžiagos chemijos pramonėje. Produktai gali būti naudingi kaip kuro ir cheminių medžiagų šaltiniai. Pirolizė technologija tinkama produktų ar atliekų srautams, kuriuose yra plastiko atliekų, organinių atliekų ir neorganinių kietų atliekų medžiagų.

Valda Grigolaitė. Adaptation of thermal decomposition for conversion plastic packaging waste into oil and gas. Master's thesis in environmental Management and Cleaner Production / supervisor assoc. Visvaldas Varžinskas. Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology.

Research area and field: General Engineering, Technological Sciences

Key words: pyrolysis, thermochemical decomposition, municipal solid waste, energy recovery

Kaunas, 2017. 71.p.

SUMMARY

The disposal of mixed waste in landfills, dump sites and open burning without material and energy recovery leads to resource loss, causes health problems, pollution and littering. Increasing energy demand for industrial and domestic application with rising costs due to scarcity motivates a constant search for alternative clean energy sources. Recovering energy from waste presents various incentives e.g. creating jobs, alleviating poverty, combating and mitigating climate change, protecting the environment and reducing dependence on traditional fuels sources. Unfortunately, most non-biodegradable, high calorific value plastic waste fraction has little or no application in most developing world communities. Plastic waste with high calorific value (36-46MJ/kg) occupies the greatest portion of landfill space given their very slow degradability. When openly burned, plastics produce high pollutants such as VOCs, PAH and PCDD/F (dioxins).

Plastic waste is now one of the major components of municipal solid waste (MSW). It is a mixture of various plastic products, mainly made from low density polyethylene (LDPE), high density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyvinylchloride (PVC) and polyethylene-terephthalate (PET) plastics. HDPE, LDPE and PP are the most available plastic types among municipal plastic waste (MPW). Today in Lithuania, most types of plastic are polyolefin polymers, polypropylene, PP (19%), low density polyethylene, LDPE (17%) and high density polyethylene, HDPE (12%) respectively, with the largest use of the plastics being for packaging; around 40%

In the last few decades, plastic consumption has increased. Annual consumption of municipal waste in Lithuania is about 1,3 million tons, which results in about 145 thousands tons of plastics waste. Approximately 40 wt% of this waste comes from packing and packaging.

The EU Packing and Packaging Waste Directive (2004/12/CE) had the objective to reclaim or incinerate (using energy recovery) at least 60 wt% of packaging waste and to recycle between 55 wt% and 85 wt% of it.

The general objective of this paper is to study the suitability of the pyrolysis process for the thermal treatment of plastic residue from a material recovery facility in Lithuania. The plastic residue from the material recovery facility is 20–30 wt% of the entire waste stream.

Pyrolysis processing involves heating the material to moderate temperatures (400–700 °C) in the absence of oxygen. The organic components of the material are then decomposed, generating liquid (biooil) and gaseous products, which can be useful as fuels and or sources of chemicals and it would result in a much lower volume of waste to be placed in a landfill. Pyrolysis is especially appropriate for products or waste streams that contain waste plastics, organic waste and inorganic solid waste materials as exemplified by the waste stream analyzed in this study.

TURINYS

1.	LITERATŪROS IR ESAMOS SITUACIJOS ANALIZĖ	15
1.1.	Plastiko atliekų susidarymas, tvarkymas ir efektyvus išteklių naudojimas	15
1.2.	Komunalinių atliekų srautas Lietuvoje	17
1.3.	Plastiko atliekų srautai Lietuvoje	20
1.3.1.	Plastikinės pakuotės.....	24
1.3.2.	Lietuvoje importuotos ir eksportuotos plastiko atliekos.....	27
1.4.	Plastiko atliekų charakteristika.....	27
2.	PRIELAIDOS SĖKIMINGAM TYRIMO ATLIKIMUI	29
2.1.	Atliekų šalinamų sąvartynuose problematika	29
2.1.1.	Plastiko atliekų perdirbimas	30
2.2.	Žiedinės ekonomikos priemonių ir užduočių įgyvendinimas	30
2.2.1.	Žiedinės ekonomikos paketas – pagrindiniai elementai	31
2.2.2.	Nuoseklus pakuočių kiekio optimizavimas viso gaminio būvio ciklo metu ..	32
2.3.	Plastiko atliekų teisinis reguliavimas	32
2.3.1.	Teisiniai reikalavimai pakuotėms ir pakuočių atliekų tvarkymui.....	33
2.3.2.	Lietuvos teisinės bazės pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo apžvalga	33
2.3.3.	Pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo įstatymas	34
2.3.4.	ES ir LR teisės aktai reglamentuojantys atliekų tvarkymą.....	34
2.4.	Plastiko perdirbimo reikalavimai ateityje	35
2.4.1.	Atliekos kaip ištekliai	35
2.4.2.	REACH reglamentas.....	37
2.4.3.	Pirolizės technologijos praktika užsienio šalyse.....	38
3.	VYKDYTŲ MOKSLINIŲ TYRIMŲ METODIKA	41
3.1.	Taikytų tyrimo metodų sistema.....	41
3.2.	Pirolizė	42

3.2.1.	Dalelių dydžio įtaka pirolizės produktams	44
3.2.2.	Kaitinimo sparta.....	45
3.2.3.	Temperatūra ir jos įtaka produktų išeigai	46
3.2.4.	Pirolizės procesas.....	47
4.	PLASTIKŲ PIROLIZĖS PANAUDOJIMO PAKUOČIŲ ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOJE GALIMYBIŲ TYRIMAS	48
4.1.	Pirolizės būdu perdirbimui tinkamų komunalinių atliekų dalies tyrimai	48
4.2.	Tinkamo pirolizės tipo parinkimas plastikų perdirbimui iš komunalinių atliekų srauto remiantis kaštų-naudos analize	51
4.3.	Plastiko atliekų pirolizės produktų ir jų sudėties analizė	52
4.3.1.	Tiriamąjį darbo analizė	52
4.4.	Pirolizės technologijos kaštų ir naudos analizė.....	56
5.	PIROLIZĖS PROCESŲ ANALIZĖ SKAIDANT PLASTIKUS IŠ KOMUNALINIO ATLIEKŲ SRAUTO.....	57
5.1.	Pirolizės proceso schema	57
5.2.	Plastiko atliekų pirolizės produktai ir jų sudėtis	59
5.3.	Galutinių produktų taikymo pramonėje įvertinimas	60
5.4.	Integruotas atliekų tvarkymo modelis pritaikant pirolizės technologiją pagal žiedinės ekonomikos koncepciją.....	61
5.5.	Pirolizės technologijos plėtros nauda apimanti atliekų problemos sprendimą ...	62
	REKOMENDACIJOS IR SIŪLYMAI.....	64
	IŠVADOS	65
	LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	67

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Komunalinių atliekų susidarymas ir tvarkymas	18
2 lentelė. Susidarantis komunalinių atliekų kiekis pagal metus (kg/gyventojui)	19
3 lentelė. Susidarančių komunalinių atliekų kiekis (kg/gyventojui).....	19
4 lentelė. Susidarančių plastiko pakuočių atliekų sudėtis.....	20
5 lentelė. Plastkų tipai ir jų charakteristikos	26
6 lentelė. Plastiko rūšių analizė.....	28
7 lentelė. Pirolizės technologijos užsienyje pavyzdžiai.....	39
8 lentelė. Tipinės pirolizės reakcijos sąlygos ir produktai.....	43
9 lentelė. Pirolizės metu susidariusių dujų sudėtis (%) esant skirtingiems dalelių dydžiams	45
10 lentelė. Pirolizės metu vykstančios cheminių reakcijų charakteristikos.....	46
11 lentelė. Komunalinių atliekų sudėtis.....	48
12 lentelė. Įvairių rūšių atliekų perdirbimo galimybės	49
13 lentelė. Komunalinių atliekų dalis po pirminio rūšiavimo	50
14 lentelė. Pagrindiniai plastiko atliekų šaltiniai, kiekiai ir sudėtis.....	50
15 lentelė. Pirolizės parametrų palyginimas	51
16 lentelė. Perdirbamų komunalinių atliekų kiekiai su skirtingais pirolizės tipais	51
17 lentelė. Pirolizės produktų išeigos priklausomai nuo plastiko rūšies	52
18 lentelė. Pirolizės technologijos kaštų ir naudos analizė.....	56
19 lentelė. Pirolizės proceso produktai	60
20 lentelė. Pirolizės produktų pritaikymas rinkoje	61

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Plastiko pasiskirstymas Europoje, priklausomai nuo jų pritaikymo (a) ir plastiko rūšies (b) [Lopez G., Artetxe M. ir kt. 2017].....	15
2 pav. Plastiko rūšių pakuočių pasiskirstymas komunaliniame atliekų sraute Lietuvoje [Lopez G., Artetxe M. ir kt. 2017].....	16
3 pav. Komunalinių atliekų sudėtis [LRATCA 2015 m. duomenys].....	17
4 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo būdai Lietuvoje [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]..	19
5 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo nuošimčiai 2010-2015m. [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].....	20
6 pav. Plastiko pakuočių atliekų tvarkymas Lietuvoje 2015 metais (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].....	21
7 pav. Plastikinių pakuočių atliekų pasiskirstymas namų ūkiuose [Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015].....	22
8 pav. Plastikinių pakuočių atliekų dalis bendrame pakuočių atliekų sraute (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].....	22
9 pav. Perdirbtas pakuočių atliekų kiekis 2009 - 2015 metais (%) [Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015].....	23
10 pav. Perdirbtas plastikinių atliekų kiekis Lietuvoje 2009-2015 metais (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].....	23
11 pav. Lietuvos plastiko produktų gamybos produkcijos struktūra 2015m. [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].....	24
12 pav. Europos Sąjungos plastikų gamyba, mln. tonų [Europos aplinkos agentūra 2015].....	27
13 pav. Pakuočių atliekų darniųjų standartų taikymo schema [V. Varžinskas ir kt 2015].....	36
14 pav. Magistro baigiamojo projekto tyrimo metodika.....	42
15 pav. Polistireno cheminė formulė [Miskolczi N. ir kt. 2013].....	43
16 pav. Sausųjų dujų išėiga pirolizės metu iš komunalinių atliekų, esant skirtingoms temperatūroms ir skirtingais dalelių dydžiais [Luo S., Xiao B. Ir kt. 2010].....	44
17 pav. Procentinė anglies ir kokso išėiga pirolizės metu, veikiant skirtingoms temperatūroms priklausomai nuo dalelių dydžių Luo S., Xiao B. Ir kt. 2010].....	44
18 pav. Temperatūros įtaka galutiniams pirolizės produktams [Abnisa F., Sharuddin Sh. D.A. ir kt. 2016].....	46
19 pav. Atliekų pirolizės reakcijos produktų schema [Chhabra V. ir kt. 2016].....	47

20 pav. Pirolizės produktų išeigos priklausomybė nuo laiko ir temperatūros [Rohit Kumar Singh irk t., 2016]	53
21 pav. Plastiko mišinio pirolizė, reakcijos laikas 60 minučių,	53
22 pav. Temperatūros įtaka pirolizės produktų išeigai.....	54
23 pav. Reakcijos laiko įtaka plastiko pirolizės procesui esant 500°C temperatūrai	55
24 pav. Komunalinių atliekų pirolizės proceso schema [Engireening and fuel technology]	57
25 pav. Plastiko atliekų pirolizė į skystąjį kurą ir dujas	59
26 pav. Pirolizės metu išsiskiriančios šiluminės energijos panaudojimas	60
27 pav. Atliekų tvarkymo modelis	62
28 pav. Pirolizės technologijos plėtros nauda	62

ĮVADAS

Temos aktualumas. Plastiką yra plačiai naudojamas gaminant pramonės ir vartojimo prekes, o šiuolaikinis gyvenimas be jo neįsivaizduojamas. Vidutiniškai vienam Europos Sąjungos gyventojui tenka apie 477 kg komunalinių atliekų per metus. Lietuvoje šis kiekis yra šiek tiek mažesnis ir sudaro apie 448 kg. Kadangi Lietuvoje gyvena apie 3 mln žmonių, per metus susidaro apie 1,3 mln tonų komunalinių atliekų. Įvairiais vertinimais, pakuotės šioje atliekų masėje sudaro apie 145 tūkst. tonų. Statistiškai nustatyta, jog ~50% atliekų srauto tūrio masės sudaro įvairūs plastikai. Būtent šios atliekos, jei tvarkomos netinkamai, ir kelia didžiausias aplinkosaugines problemas. Pagal statistiką tik apie 10% atliekų yra perdirbamos, likusi dalis keliauja į sąvartynus arba šiukšlių pavidalu pasklinda po aplinką, ją teršia, dako gamtovaizdį, prarandamas jo patrauklumas ne tik turizmo, bet ir įprastinio gyvenimo prasme [Europos aplinkos agentūra 2015]. Šiuo metu Lietuvoje sąvartynai sparčiai pildosi, iš jų į atmosferą išsiskiria toksiškos ir sprogios dujos, į dirvožemį ir gruntinius vandenius patenka sunkiųjų metalų junginiai ir kiti toksinai. Nelegalių sąvartynų keliamo pavojaus neįmanoma nusakyti. Atliekų deginimo metu išsiskiria toksinai ir sunkiųjų metalų junginiai, kurie sklinda atmosferoje. Pagrindinė problema yra atliekų perdirbimas, kuris glaudžiai susijęs su vartojimo struktūra, gyvenimo būdu, užimtumu ir pajamų lygiu, taip pat su daugybe kitų socialinių, ekonominių ir kultūrinių faktorių. Šiuo metu atliekų mažinimas ir vengimas yra viena iš pagrindinių užduočių. Komunalinių atliekų pirolizė tai alternatyvus termocheminis procesas siekiant utilizuoti atliekas ir gauti naudingus produktus

Atliekos apibrėžiamos kaip objektas, kurio jo turėtojas atsikrato, ketina ar privalo atsikratyti. Iš čia kyla, kad atliekos yra medžiagos, kurių turėjimas nepageidaujamas ir/arba nenaudingas. Atliekos, jei jos netinkamai sutvarkytos, laikomos šiukšlėmis, tačiau ne visos atliekos yra bevertės. Kai kurios jų, arba bent jau jų dalis turi ekonominę vertę ir jas tinkamai atgavus iš atliekų srauto, galima naudingai perdirbti. Šiuo požiūriu terminė dekompozicija, kurią naudojant plastikinės atliekos būtų konvertuojamos į pirmines žaliavas (naftos ir dujų produktus), iš kurių šie plastikai ir buvo pagaminti, gali būti ypač patraukli ir naudinga plastikinių atliekų perdirbimo alternatyva.

Mokslinis naujumas. Žaliavą išgaunant iš komunalinių atliekų srauto, pasiekti tokį vienalytiškumo ir švarumo lygį nėra lengva - žaliavos sudėtis yra ypač mišri, be to yra stipriai užteršta kitomis priemaišomis, todėl prieš apsisprendžiant šią technologiją naudoti praktikoje, svarbu patikrinti jos suderinamumą su esamomis atliekų tvarkymo technologijomis ir įvertinti galimo ekonominio efektyvumo rodiklius. Todėl labai svarbu tinkamai parinkti ir konkrečią technologiją, nes egzistuoja nemaža jų modifikacijų įvairovė. Viena iš mokslininkų dėmesį patraukusių naujų krypčių yra terminė plastikinių medžiagų dekompozicija į naftos ir dujų produktus. Ši technologija galėtų atverti naujas galimybes Lietuvos plastikinių pakuočių atliekų tvarkymo sistemoje.

Teorinė ir praktinė reikšmė. Sukuriama plastikinių pakuočių atliekų tvarkymo sistema. Analizuojama reali galimybė leisianti tiksliau prognozuoti bei prisidėti prie dekompozicijos technologijų pritaikymo plastikinių pakuočių atliekų konvertavimo į naftos ir dujų produktus plėtros Lietuvoje ir taip ženkliai sumažinti šių atliekų žalingą poveikį aplinkai.

Darbo objektas – plastikinių pakuočių atliekos Lietuvos komunalinių atliekų sraute.

Darbo tikslas – ištirti terminės dekompozicijos proceso pritaikymo galimybes panaudotų plastikinių pakuočių iš Lietuvos komunalinių atliekų srauto konvertavimui į pirmines plastikų gamybos žaliavas – naftos ir dujų produktus.

Uždaviniai:

- Išanalizuoti plastiko atliekų, esančių komunaliniame atliekų sraute, sudėtį, kiekius ir charakteristikas;
- Išnagrinėti prielaidas sėkmingam plastiko atliekų tvarkymui, panaudojant pirolizės metodą, žiedinės ekonomikos kontekste;
- Parengti tyrimų metodų sistemą ir atlikti tyrimus, siekiant įvertinti pakuočių atliekų tvarkymo taikant pirolizės metodą galimybes remiantis laboratorinių tyrimų duomenų analize ir kaštų-naudos analize;
- Įvertinti parinktos pirolizės technologijos ir galutinių produktų taikymo pramonėje galimybes;
- Pateikti rekomendacijas, kaip integruoti plastiko atliekų perdirbimo pirolizės procesus į egzistuojančią komunalinių atliekų srauto tvarkymo sistemą.

1. LITERATŪROS IR ESAMOS SITUACIJOS ANALIZĖ

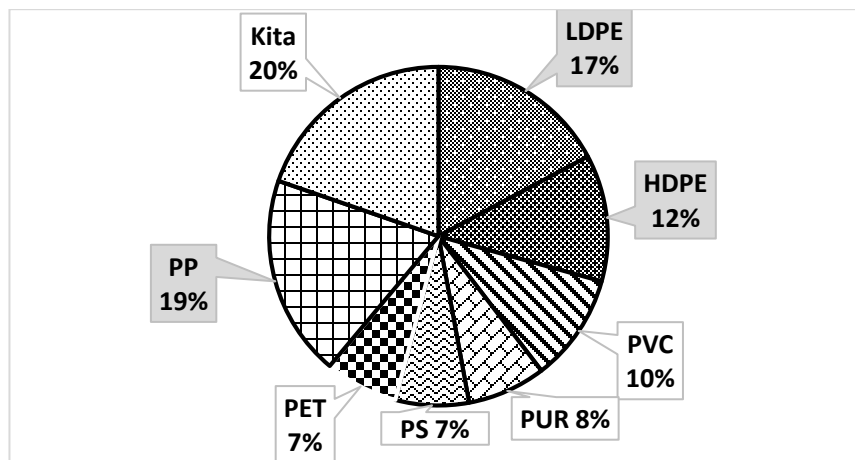
1.1. Plastiko atliekų susidarymas, tvarkymas ir efektyvus išteklių naudojimas

Plastiko produktai ypač svarbūs daugeliui pramonės procesų ir naudojami įvairioms pramonės reikmėms. Šiuolaikinėje visuomenėje plastikas laikomas pigia vienkartinio naudojimo medžiaga, tačiau šių atliekų perdirbama nedaug. Pusė visų plastiko atliekų Europoje šalinama sąvartynuose. Kai kurių plastiko produktų sudėtyje gali būti kenksmingų medžiagų, todėl šalinant plastiko atliekas sąvartynuose į aplinką gali patekti nepageidaujamų išmetamųjų teršalų ir kauptis taršios liekanos. 1 pav. pavaizduotas esamas plastiko pasiskirstymas Europoje pagal poreikį ir plastiko rūšį. HDPE, LDPE ir PP plastikai yra dažniausiai naudojami ir sudaro apie pusę visos produkcijos. [žr. 1 pav.].



1 pav. Plastiko pasiskirstymas Europoje, priklausomai nuo jų pritaikymo (a) ir plastiko rūšies (b) [Lopez G., Artetxe M. ir kt. 2017]

Libiausiai paplitęs plastiko taikymas yra pakuotės, kuris sudaro apie 40% nuo bendro plastiko pasiskirstymo [žr. 1 pav.].



2 pav. *Plastiko rūšių pakuočių pasiskirstymas komunaliniame atliekų sraute Lietuvoje [Lopez G., Artetxe M. ir kt. 2017]*

Norint efektyviai naudoti išteklius reikia tvaraus plastiko gamybos modelio ir tvaraus plastiko atliekų tvarkymo plano, ypač didinant antrinį perdirbimą. Taip būtų sumažintas žaliavų importas ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimai. Plastiką gaminamas iš naftos ir šiuo metu plastiko gamybai sunaudojama apie 8% pasaulyje pagaminamos naftos, iš šio kiekio 5% sunaudojama kaip žaliava, 3% kaip gamybos procesams reikalinga energija.

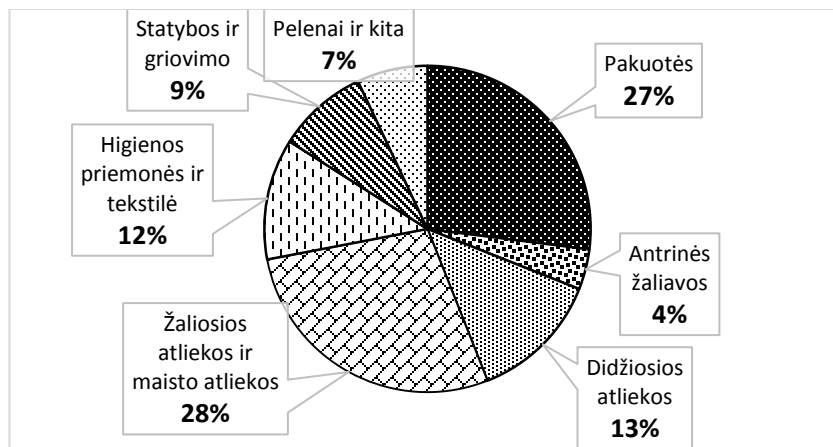
Viena svarbiausių užduočių – sumažinti plastiko atliekų šalinimą į sąvartynus. Sąvartynuose pašalintas plastiko produktai – nepanaudoti išteklių, todėl tokio atliekų šalinimo reikia vengti ir skatinti antrinį perdirbimą. Didinti plastiko perdirbimo rodiklius gali paskatinti poreikis taupyti gamtos išteklius ir efektyviau išnaudoti jau esamus išteklius. Plastiko antrinis perdirbimas prisidėtų prie klimato kaitos, abiotinių išteklių naudojimo, gėlojo vandens ekotoksiškumo mažinimo.

Plastikinių pakuočių deponavimas sąvartyne veikia aplinką ir eikvoja vietos valdžios ir namų ūkių biudžetus, jų neigiamas poveikis sukelia nepageidaujamas ekonomines ir aplinkosaugines pasekmes, kurias suvaldyti tenka vietos savivaldos institucijoms ir šių vietovių visuomenei bei skatina naujų atliekų tvarkymo ir perdirbimo technologijų paiešką. Ekonominiai kaštai tvarkant plastikinių pakuočių atliekas yra labai dideli ir juos dengianti vietos valdžia po to mokesčių pavidalu juos susigrąžina iš gyventojų. Šiuos kaštus galima sumažinti optimizuojant surinkimo sistemas, technologijas, tačiau didžiausią efektą gali duoti perdirbimas ar pakartotinis/daugkartinis panaudojimas.

Šiuo požiūriu terminė dekompozicija, kurią naudojant plastikinės atliekos būtų konvertuojamos į pirmines žaliavas (naftos ir dujų produktus), iš kurių šie plastikai ir buvo pagaminti, gali būti ypač patraukli ir naudinga plastikinių atliekų perdirbimo alternatyva.

1.2. Komunalinių atliekų srautas Lietuvoje

Bendrojoje atliekų direktyvoje (75/442/EEC) atliekos apibūdinamos kaip „bet kokios medžiagos ar objektai, kurių turėtojas atsikrato ar yra įpareigotas atsikratyti“. Atliekų tvarkymas ir šalinimas neigiamai veikia aplinką ir naudoja papildomus resursus. Sąvartynai užima žemės plotus ir teršia orą, vandenį bei dirvožemį, o utilizuojant atliekas deginimo būdu išmetami pavojingi oro teršalai. Europos Sąjungos atliekų tvarkymo politika siekiami tikslai, tai sumažinti neigiamą atliekų poveikį aplinkai ir sveikatai, užtikrinti, kad šalis išnaudotų išteklius kuo efektyviau. Atliekų tvarkymo politikoje numatyta – tais atvejais, kai atliekų išvengti neįmanoma, skatinti naudoti atliekas kaip išteklius, daugiau jų skirti antriniam perdirbimui.



3 pav. Komunalinių atliekų sudėtis [LRATCA 2015 m. duomenys]

Remiantis 2015 metų Lietuvos regioninių atliekų tvarkymo centrų asociacijos duomenimis, konteineriuose yra randama įvairiausių atliekų, tarp kurių pakuočių atliekos sudaro beveik trečdalį. Apie pusę namų ūkyje susidarančių buitinių atliekų kiekio sudaro virtuvės atliekos (įvairūs maisto likučiai), kita pusė - antrinės žaliavos (popierius, kartonas, stiklas, plastmasė, medienos atliekos, tekstilės, odos ir kt.). Dalis surinktų antrinių žaliavų perdirbamos.

Per metus Lietuvoje susikaupia apie 6,2 mln. tonų nepavojingų atliekų, iš jų apie 20% sudaro komunalinės atliekos. Vidutiniškai vienam Lietuvos gyventojui susidaro apie 448 kg atliekų per metus, apie 1,2 kg per dieną. Europos Sąjungos vidurkis - 477kg. Lyginant su 2001 m. komunalinių atliekų kiekis, tenkantis 1 gyventojui Lietuvoje, buvo - 300kg, Europos Sąjungoje - 399kg [Europos aplinkos agentūra 2015].

Komunalinių atliekų sudėtį įtakoja: namų ūkio dydis, gyventojų skaičius, gyvenamosios vietos (daugiabutis ar individualus namas), vartojimo įpročių, pajamų, rinkos dėsniai (pvz.: padidėjęs tam tikros rūšies pakuočių kiekis), pardavimų struktūra (pvz.: pakuotės gražinimo sistema), atliekų surinkimo ir apdorojimo sistemos ir kt. (Bandara et al., 2007; Marquez et al., 2008).

Komunalinės atliekos susideda iš:

- Plastiko;
- Popieriaus;
- Audinio medžiagos;
- Žaliosios atliekos (įskaitant nukritusius lapus, šakos);
- Maisto atliekos;
- Nedidelis kiekiai kitų medžiagų, tokių kaip:
 - odos, gumos, metalo, stiklo, keramikos.

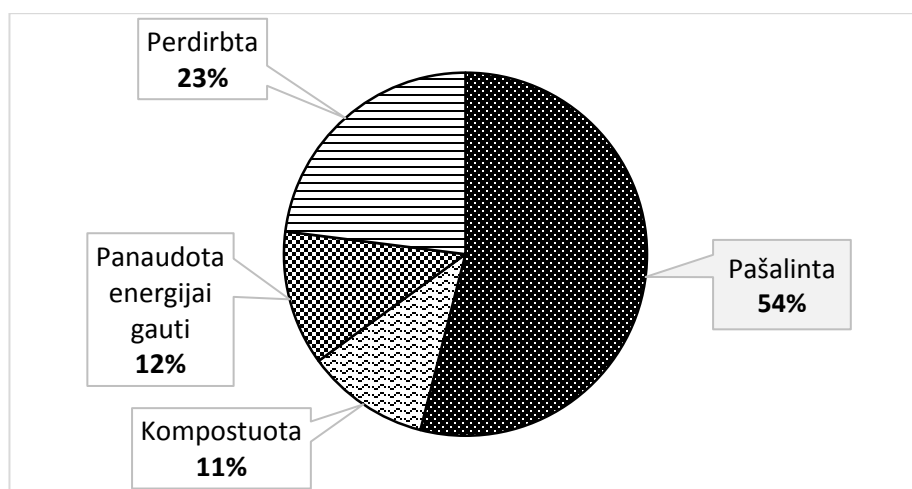
Pavyzdžiui: maisto ir sodų atliekos, statybos ir griovimo atliekos, kasybos atliekos, pramoninės atliekos, sanitarinės atliekos, dumblas, taip pat į atliekas patenka seni televizoriai, seni automobiliai, akumulatoriai, plastikiniai maišeliai, popierius, seni drabužiai ir baldai ir kt. Atliekos paprastai renkamos iš visų sričių, tam tikru atstumu ir šalinamos sąvartynuose, dėl to komunalinių atliekų homogeniškumas yra žemas.

1 lentelė. Komunalinių atliekų susidarymas ir tvarkymas

Metai	Susidarė, t	Tvarkymas											
		Pašalinta sąvartyne		Sudeginta (būdu – išgaunant energiją)		Sudeginta (būdu – be energijos išgavimo)		Perdirbta (su eksportu perdirbimui)		Kompostuota		Likęs nesutvarkytas kiekis dėl laikino saugojimo	
		t	%	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
2011	1339280	1033580	77,17	5670	0,42	1680	0,13	244120	18,23	23460	1,75	30770	2,3
2012	1330163	970559	72,97	204	0,02	12	0	261209	19,64	51041	3,84	51041	3,84
2013	1280049	798328	62,37	91339	7,14	264	0,02	261311	20,41	94680	7,4	34126	2,67
2014	1270245	747521	58,85	112593	8,86	192	0,02	267886	21,09	119094	9,38	22959	1,81
2015	1299998	702127	54,01	149885	11,53	0	0	298820	22,99	132357	10,18	16809	1,29

[Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

2015 metais Lietuvoje gyveno kiek daugiau nei 2,9 mln. žmonių. 2015 metais komunalinių atliekų susidarė apie 1,3 mln. tonų į sąvartynus išvežta apie 702 tūkst. tonų atliekų, t.y. 54,01% 2015 metais.



4 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo būdai Lietuvoje [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

Atliekų šalinimas sąvartynuose yra žemiausią prioritetą turintis atliekų tvarkymo būdas. Komunalinių atliekų sąvartynuose greitai prasideda organinių medžiagų irimas, pradeda gamintis sąvartyno dujos. Jos daro aplinkai itin neigiamą poveikį, kadangi 99% jų sudaro metanas (55%) ir dioksinas (45%). Šios dujos sukelia šiltnamio efektą.

2 lentelė. Susidarantis komunalinių atliekų kiekis pagal metus (kg/gyventojui)

	1995	2000	2005	2010	2015	Pokytis (%) 1995-2015
Europos vidurkis	473	523	517	505	477	0,8
Lietuva	426	365	387	404	448	5,2

[Eurostato duomenys 2015]

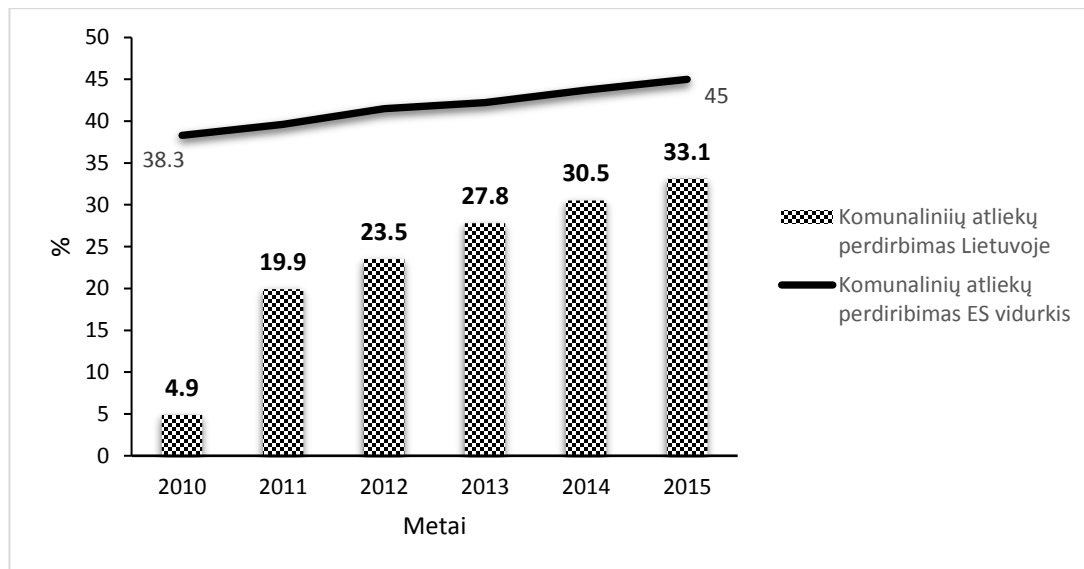
Komunalinių atliekų Lietuvoje susidarė šiek tiek mažiau už ES vidurkį (448kg gyventojui per metus, palyginti su vidutiniškai maždaug 477kg). 3 lentelėje pavaizduotas komunalinių atliekų kiekis Lietuvoje (kg/gyventojui) pagal tvarkymo būdą.

3 lentelė. Susidaranti komunalinių atliekų kiekis (kg/gyventojui)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	ES vidurkis
kg/gyventojui	404	442	445	433	433	448	477
skirtumas tarp susidariusių ir sutvarkytų atliekų	369	432	429	421	425	442	463
šalinimas ir vežimas į sąvartyną	348	341	325	270	255	242	120
iš viso sudeginta (įskaitant energijos gamybą)	0	2	0	31	38	52	127
medžiagų perdirbimas	14	81	87	88	91	103	137
kompostavimas ir skaidymas	6	8	17	32	41	46	79

[Eurostato duomenys 2015]

2015 m. Lietuva sumažino sąvartynuose šalinamų komunalinių atliekų kiekį (64% 2013 m., 60% 2014m., 54,4% 2015m.), palyginti su 2015m. Tačiau vis dar i viršijamas ES vidurkis (28%). Pagrindinis komunalinių atliekų tvarkymo būdas Lietuvoje vis dar išlieka šalinimas sąvartynuose. Kompostavimo dalis išaugo nuo 10% 2014m. iki 12% 2015 (ES vidurkis 2015m. – 17%).



5 pav. Komunalinių atliekų perdirbimo nuošimčiai 2010-2015m. [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

2015m. perdirbamų komunalinių atliekų dalis (~3%) šiek tiek padidėjo lyginant su 2014m. (2015m. ES vidurkis siekė 46%).

1.3. Plastiko atliekų srautai Lietuvoje

Į komunalines atliekas patekusios panaudotos plastiko pakuotės surenkamos kartu su kitomis potencialiomis antrinėmis žaliavomis. Norint išnaudoti kuo daugiau atliekų išteklių, jų tvarkymui ir apskaitai turi būti skiriama daugiau dėmesio.

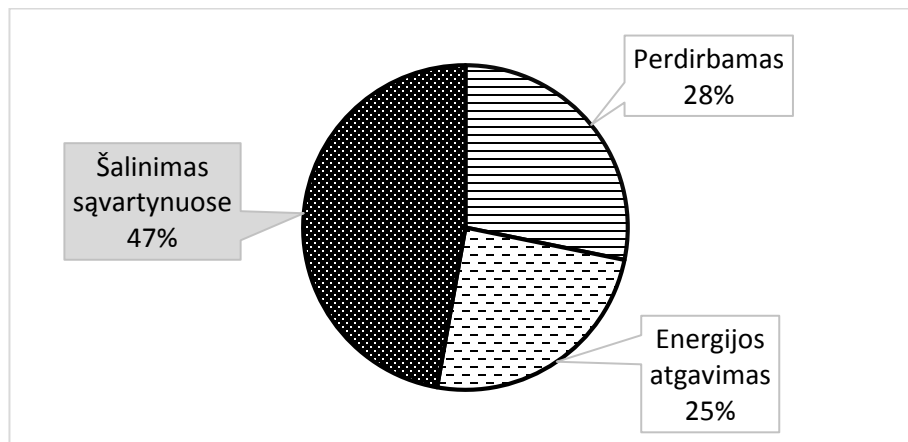
4 lentelė. Susidarančių plastiko pakuočių atliekų sudėtis

Plastiko rūšis	Atliekų kiekis, t	Atliekų dalis bendrame plastiko atliekų sraute, %
Polietileno tereftalatas, PET	9425	6,5
Didelio tankio polietilenas, HDPE	17545	12,1
Polivinilchloridas, PVC	15515	10,7
Mažo tankio polietilenas, LDPE	25375	17,5
Polipropilenas, PP	27115	18,7
Polistirenas, PS	10875	7,5

Kita: Polietilenas, PE Akrilnitrilo butadieninis stirenas, ABS Poliamidas ar nailonas, PA Polibutileno tereftalatas, PBT	28710	19,8
Viso:	145000	100,0

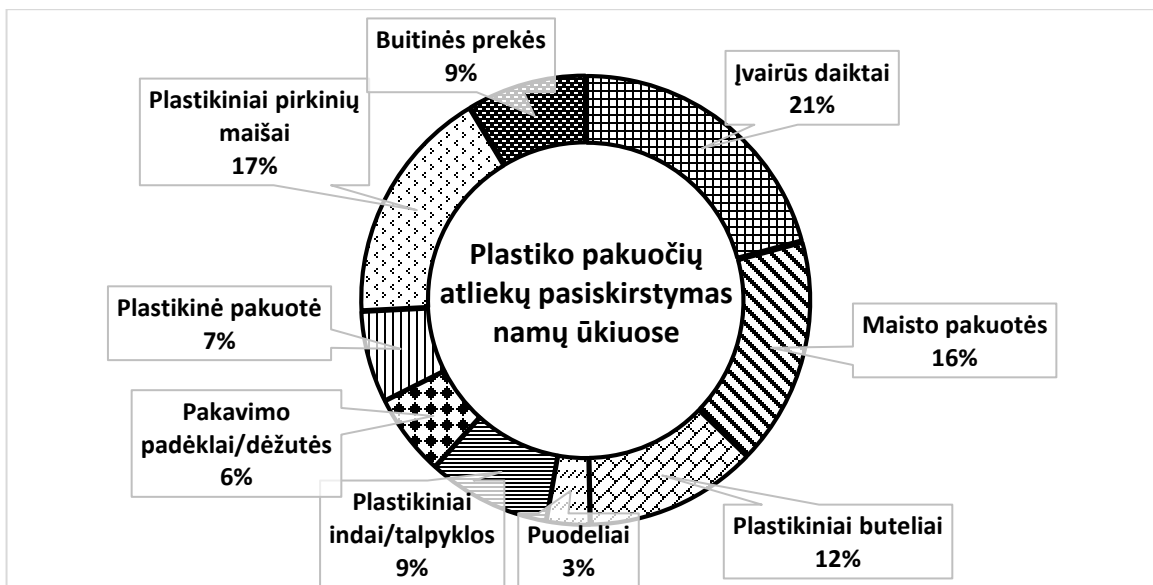
[Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015]

Šiuo metu plastikinių pakuočių atliekų kiekis sparčiai daugėja, o didžioji jų dalis patenka į komunalines atliekas, kurių didžioji dalis šalinama sąvartynuose. [žr. 6 pav.]



6 pav. Plastikinių pakuočių atliekų tvarkymas Lietuvoje 2015 metais (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

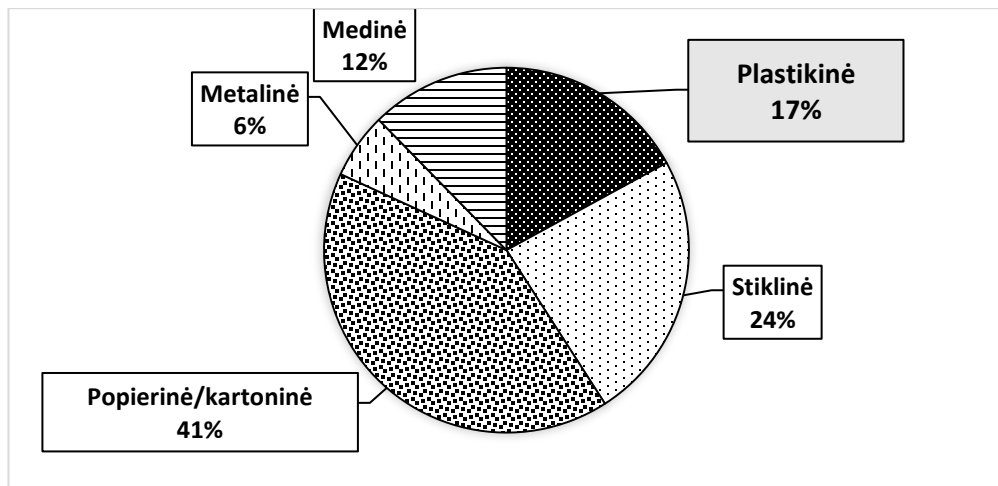
Net 50% visų prekių yra supakuotos į plastikines pakuotes ir sudaro 14% bendrame komunalinių atliekų svorio srauto [žr. 11 pav]. Tačiau pagal tūrį šis skaičius gali išaugti keletą kartų (apie 50%), nes pakuotės yra itin lengvos, jų paskirtis – apsaugoti produktus ir gaminius nuo išorinių aplinkos veiksnių. Užterštos plastiko pakuotės sudaro apie 10% viso plastiko bei plastikinės pakuotės svorio [Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015]. Plastiką komunalinių atliekų sraute yra užterštas pašalinėmis medžiagomis, tokiomis kaip maisto atliekos, dirvožemio purvas, popieriaus etiketės, aliuminio folija ir kt. Plastiką yra lengvas, tačiau dėl didelio tūrio užima didžiąją dalį sąvartynų.



7 pav. Plastikinių pakuočių atliekų pasiskirstymas namų ūkiuose [Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015]

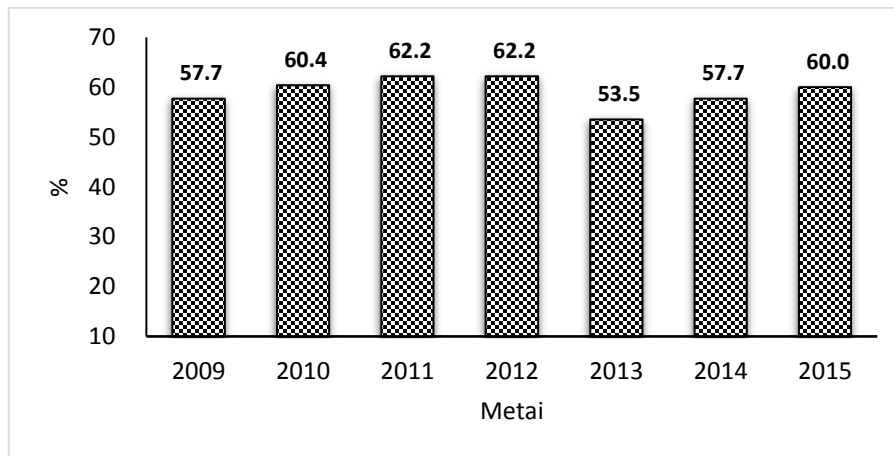
Komunalinių atliekų sraute daugiausiai yra vienkartinių indų, gėrimų pakuočių, įvairių plastikinių maišelių, žaislų, šiukšlių maišų, pakavimo plėvelių ir kt. [žr. 7 pav.]. Šios plastikinės atliekos daugiausiai yra sudarytos iš polipropileno PP, mažo tankio polietileno LDPE, didelio tankio polietileno. Šios plastiko atliekos gali būti aplinkosauginiu požiūriu priimtinaai utilizuojamos pirolizės metodu.

Bendrame komunalinių atliekų sraute 2015m. susidarančių plastikinių pakuočių atliekų kiekis apie 14%, tūrio atžvilgiu 50% [žr. 8 pav]. Lietuvoje susidaro apie 67 kg plastiko vienam gyventojui. Tačiau šių atliekų buvo perdirbta tik apie 54% (36kg/gyventojui) [žr. 10 pav.].



8 pav. Plastikinių pakuočių atliekų dalis bendrame pakuočių atliekų sraute (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

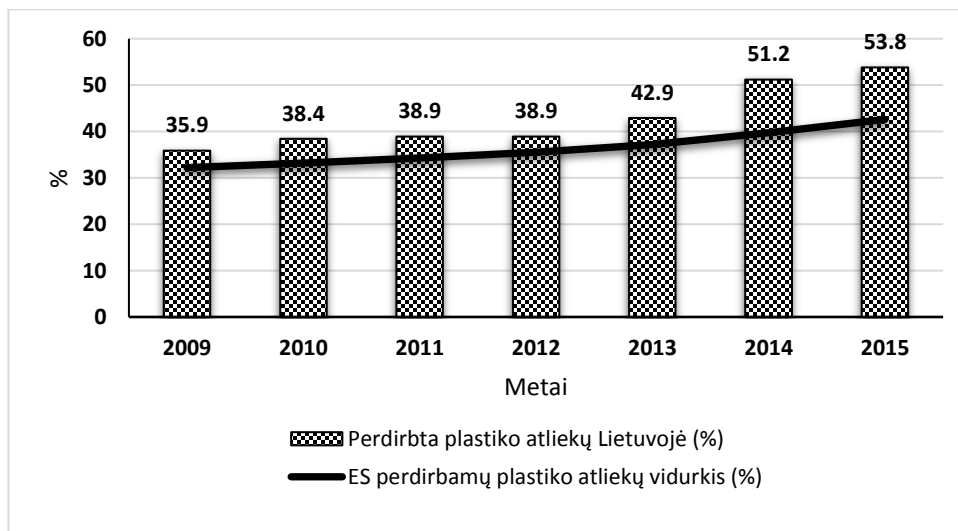
2015 m. buvo sutvarkyta apie 60% bendrai visų rūšių pakuočių atliekų [žr. 9 pav.]. Sudėtingiausias yra plastikinių pakuočių surinkimas iš komunalinio atliekų srauto, nes jis labiausiai priklauso nuo gyventojų aktyvumo ir komunalinių atliekų infrastruktūros išvystymo.



9 pav. Perdirbtas pakuočių atliekų kiekis 2009 - 2015 metais (%) [Pakuočių tvarkymo organizacijos duomenys 2015]

Europos Sąjungos teisės aktai numato, kad turi būti perdirbama arba kitaip panaudojama ne mažiau kaip 60% vidaus rinkoje suvartojamų gaminių pakuočių atliekų.

Statistika rodo, kad Lietuvoje perdirbamų pakuočių atliekų kiekis 2009-2015 m. kinta nežymiai, didelė dalis deponuojamas kartu su komunalinėmis atliekomis į sąvartynus. Mažiausias perdirbimo lygis buvo 2013 m. 53,5% [žr. 9 pav.]. Tačiau šis rodiklis parodo tik atskirai surinktų plastiko atliekų perdirbimą, į šį rodiklį neįskaičiuojama kombinuoto plastiko pakuočių atliekos, kurių didžioji dalis šalinama sąvartynuose [žr. 6 pav.].



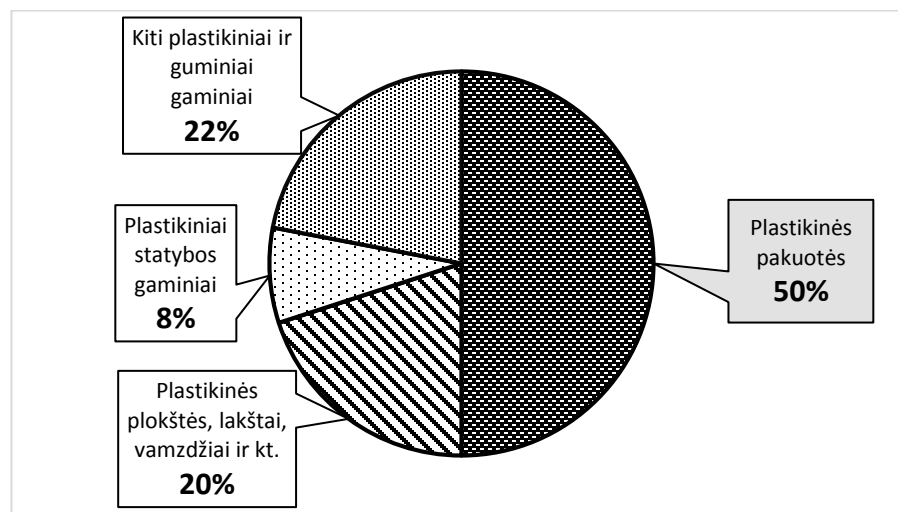
10 pav. Perdirbtas plastikinių atliekų kiekis Lietuvoje 2009-2015 metais (%) [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

Perdirbamas plastikinių atliekų kiekis per pastaruosius dvejus metus kito nežymiai nuo 51,2% iki 53,8%, beveik pusė (46,2%) plastikinių pakuočių atliekų šalinamos sąvartynuose.

1.3.1. Plastikinės pakuotės

Plastikinė pakuotė apibūdinama kaip gaminys sudarytas iš plastiko medžiagų ir priedų, kurios paskirtis daiktams, produktams pakuoti, apsaugoti, tvarkyti, transportuoti ir pateikti vartotojams ar produktų naudotojams.

Plastiko pakuotės viena dažniausiai šiuo metu naudojama pakuotės rūšis, kuri suteikia produktams ir daiktams patikimą apsaugą [žr. 11 pav.]. Plastikinė pakuotė pasižymi šiomis savybėmis: lengvos, skaidrios, sandarios, nepraleidžia drėgmės, dujų, kvapų, nedūžta ir yra pigios [Miandad R., Baraka M.A. ir kt 2017].



11 pav. Lietuvos plastiko produktų gamybos produkcijos struktūra 2015m. [Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

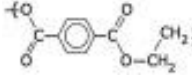
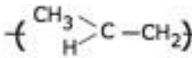
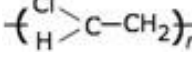
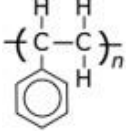

Plastikinių produktų vartotojai yra įvairūs, tačiau svarbiausią vietą užima pakavimo, maisto ir gėrimų pramonė ir statyba. Plastikinių produktų gamybos struktūroje dominuoja plastiko pakuočių gamyba, toliau rikiuojasi plokščių, vamzdžių gamyba, plastikinių gaminių gamyba statybai [žr. 11 pav.]. Plastikinių pakuočių atliekos komunalinių atliekų sraute sparčiai auga, tai skirtingos plastiko rūšys, tokios kaip mažo tankio polietilenas - LDPE, didelio tankio polietilenas – HDPE, polipropilenas - PP, polistirenas - PS, polietilenas - PE, polivinilchloridas - PVC, polietileno tereftalatas - PET.

Plastiko pakuotės sudarytos iš monomerų ir kitų pradinių medžiagų, kurios turi makromolekulinę struktūrą – polimerą, tai pagrindinis plastikų komponentas. Plastiko produktų gamyboje naudojami priedai, jie sudaryti iš cheminių medžiagų, kurios dedamos į plastikus siekiant išgauti fizines ar chemines savybes gaminiui.

Polimerai yra stambamolekuliniai junginiai, susidedantys iš daug kartų pasikartojančių mažesnių grandžių monomerų. Polimerai - sunkiai yrančios medžiagos, nesuirę gali išlikti šimtmečius ir ilgiau. [Saša V. Papuga ir kt. 2016].

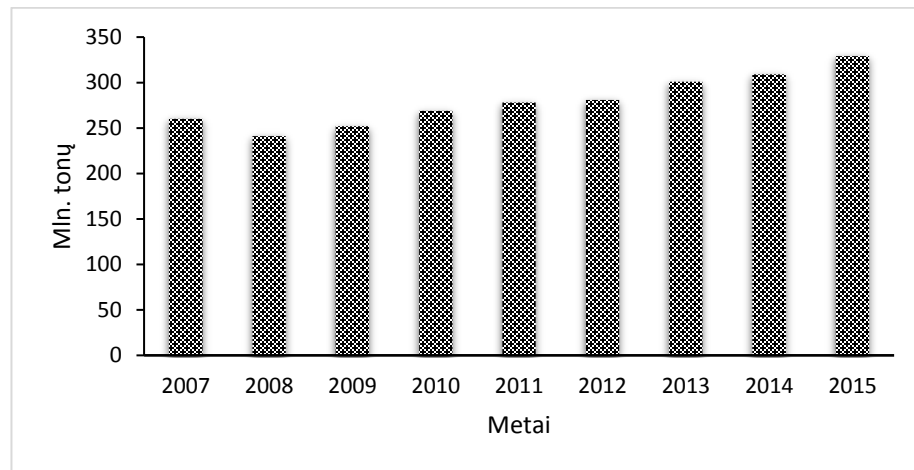
Tačiau dauguma plastiko pakuočių atliekų yra sudarytos iš kombinuoto plastiko. Tokių plastiko pakuočių pavyzdžiai – kavos pakuotės, ledų, traškučių pakeliai ir kt. Šis kombinuotas plastikas yra pagamintas iš skirtingų medžiagų, kurios viena nuo kitos negali būti atskirtos. Kombinuotas plastikas dažniausiai būna pagamintas iš plastiko ir aliuminio sluosknių. Ji yra labai tvirta, apsaugo produktą nuo išorinių poveikių. Šių plastiko pakuočių naudojimo spektras labai platus, tačiau tinkami šių kombinuotų plastiko pakuočių atliekų utilizavimo būdai vis dar mažai taikomi atliekų tvarkymo sistemoje.

5 lentelė. Plastikų tipai ir jų charakteristikos

Polimeras	Charakteristika	Pirolizės žaliava	Produktų sudėtis	Pritaikymas	
Polietileno tereftalatas, PET 	<ul style="list-style-type: none"> Lengvasvoris Atsparumas slėgiui Universalus polimeras Savo sudėtyje turi heteroatomų 	<ul style="list-style-type: none"> Gali išskirti endokrininę sistemą ardančius chemikalus, tokius kaip acetaldehidai. 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – propanonas Benzoinė rūgštis Bifenilas Fluorenas Difenilmetanas Antracenas Benzofenonas 1 - butanonas 	Plastikiniai maišeliai, buteliai, žaislai, elektrinė izoliacija, apsauga nuo korozijos.	
Polipropilenas, PP 	<ul style="list-style-type: none"> Atsparumas karščiui Cheminis atsparumas Mažas tankis Didelis patvarumas 	<ul style="list-style-type: none"> Aukšta lydymosi temperatūra Atsparus rūgštims, šarmams ir daugumai tirpiklių Gaunama didelė skystų produktų išeiga 	<ul style="list-style-type: none"> Benzenas Toluenas Ksilenas Etilbenzenas Indenas Bifenilas 1 – heptenas 1 - ocetenas 	Vidaus ir lauko kilimėliai, baldai, pakavimo plėvelė, vamzdžiai, indaplovių talpos, karštų skysčių užpildymo tara.	
Polivinilchloridas, PVC 	<ul style="list-style-type: none"> Atsparus ugniai Atsparus tiesioginiams saulės spinduliams Labiausiai toksiškas plastikas, išskiriantis ftalatus ir kt 	<ul style="list-style-type: none"> Išskiria nuodingas chloro dujas Dechorinimas vyksta žemoje temperatūroje arba vykdant cheminę absorbciją 	<ul style="list-style-type: none"> Azulenai Bifenilai Naftaleno monomerai 	Plastikiniai apsiaustai, dirbtinė oda, kompaktiniai diskai, avalynė, statybinės medžiagos, banko kortelės, langų rėmai.	
Polistirenas, PS 	<ul style="list-style-type: none"> Atsparumas karščiui Didelio stiprumo Patvarumas 	<ul style="list-style-type: none"> Maža lydymosi temperatūra Gaunama mažiau skystos agregatinės būsenos produkto lyginant su PE ir PP 	<ul style="list-style-type: none"> Stirenas Toluenas Etilbenzenas Benzenas Ksilenas Naftalinas Antracenas 	Maisto padėklai, vienkartiniai įrankiai, žaislai, dėžutės maistui, elektronika.	
Polietilenas, PE 	LDPE	<ul style="list-style-type: none"> Aukštos kokybės skaidrumas Didelis patvarumas Kieta medžiaga Cheminis atsparumas 	<ul style="list-style-type: none"> Aukšta lydymosi temperatūra > 500 °C Terminės pirolizės metu konvertuojasi į vašką 	<ul style="list-style-type: none"> 1 – heksenas Cikloheksenas 1 – oktenas Benzenas Toluenas ksilenas 	Buitinės ir pramoninės chemijos medžiagų pakavimas, pieno tara, žaislai.
	HDPE			<ul style="list-style-type: none"> Mažas atsparumas tempimui Mažas patvarumas Atsparus vandeniui Mažas toksiškumas 	<ul style="list-style-type: none"> Benzenas Toluenas Ksilenas Fluorenas Acenaftenas
Kitos plastikų rūšys	-	<ul style="list-style-type: none"> gali išskirti bisfenolį A (BPA) 	-	Buteliai ir kt.	

[Miandad R., Baraka M.A. ir kt. 2017]

Pastaraisiais metais Europos Sąjungos plastiko produkcijos gamybos augimas paspartėjo [žr. 12 pav.]. Gaminiai iš plastiko vis dažniau pakeičia atitinkamus produktus iš metalo ar medžio.



12 pav. Europos Sąjungos plastikų gamyba, mln. tonų [Europos aplinkos agentūra 2015]

1.3.2. Lietuvoje importuotos ir eksportuotos plastiko atliekos

2015 metais į Lietuvą importuota daugiau nei 268 tūkst. tonų atliekų. Didžioji dalis importuota: 60 tūkst. tonų iš Estijos, 60 tūkst. tonų iš Latvijos ir apie 45 tūkst. tonų iš Švedijos. Daugiausia įvežta - 100 tūkst. tonų popieriaus ar kartono, 70 tūkst. tonų juodųjų metalų, 40 tūkst. - įvairių plastikų.








Daugiausia atliekų eksportuojama į Latviją ir Turkiją. Į Latviją eksportuojama 200 tūkst. tonų. Taip Lietuvoje netenkami dideli kiekiai antrinės žaliavos, iš kurių galima gaminti naujus produktus ir taip sukurti pridėtinę vertę.

Į Lenkiją daugiausia eksportuojama metalo laužo ir popieriaus. Didžiąją dalį sudaro juodieji metalai (400 tūkst. tonų), popierius ir kartonas (daugiau nei 100 tūkst. tonų). Toliau – 20 tūkst. tonų metalų, įvairūs plastikai (11 tūkst. tonų) ir elektronika [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].

1.4. Plastiko atliekų charakteristika

Skirtingų rūšių plastikai yra skirtingos sudėties. Pagrindiniai plastikų pirolizės metu susidarantys elementai yra drėgmės, anglies, lakiųjų medžiagų ir pelenų kiekiai. Lakiųjų medžiagų ir pelenų kiekiai yra svarbiausi faktoriai nuo kurių priklauso bionaftos išėiga vykstant pirolizės procesui. Didelis lakiųjų medžiagų kiekis sąlygoja didelio bionaftos kiekio susidarymą, o didelis pelenų kiekis sąlygoja didesnį dujų ir kokso susidarymą. 6 lentelėje pateikta skirtingų plastikų pagrindinių pirolizės elementų kompozicija. [Funda Ate ir kt. 2014]

6 lentelė. Plastiko rūšių analizė

Plastiko rūšis, %	Plastiko ženklimas, %	Drėgmė, %	Anglis, %	Lakieji junginiai, %	Peleningumas, %	Kaloringumas, MJ/kg
Polietileno tereftalatas, PET		0,61	13,17	86,83	0,00	24
Didelio tankio polietilenas, HDPE		0,00	0,03	98,57	1,40	44
Polivinilchloridas, PVC		0,74	5,19	94,82	0,00	19
Mažo tankio polietilenas, LDPE		0,30	0,00	99,70	0,00	28
Polipropilenas, PP		0,18	0,16	97,85	1,99	44
Polistirenas, PS		0,30	0,20	99,50	0,00	41
Polietilenas, PE		0,10	0,04	98,87	0,99	25
Akrlitrilo butadieninis stirenas, ABS		0,00	1,12	97,88	1,01	
Poliamidas ar nailonas, PA		0,00	0,69	99,78	0,00	
Polibutileno tereftalatas, PBT		0,16	2,88	97,12	0,00	

[Nkosi and Edison ir kt. 2014, Themelis N.J.ir kt. 2011]

Iš lentelės 6 matome, kad lakiųjų junginių kiekis plastikuose yra didelis, o peleningumas – mažas.

Galima daryti išvadą, kad pirolizės proceso metu iš buitinių atliekų, turinčių gana didelį kiekį plastikinių pakuočių, susidaro didesni kiekiai bionaftos, kurią galima panaudoti kaip krosninį kurą, o susidarančių kokso ir pelenų kiekis yra mažesnis.

2. PRIELAIDOS SĖKIMINGAM TYRIMO ATLIKIMUI

2.1. Atliekų šalinamų sąvartynuose problematika

Kasmet Europos Sąjungoje pagaminama daugiau kaip 2 mlrd. tonų atliekų, iš kurių 200 mln. tonų yra komunalinės atliekos. Europos Komisijos duomenimis, per pastaruosius šešerius metus atliekų kiekis padidėjo daugiau kaip 10%. Atliekų kalnai ima kelti pavojų ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai, o atliekų tvarkymas kainuoja vis brangiau. [Europos komisija 2015]

Statistika rodo, kad Lietuva pagal atliekų utilizavimą sąvartynuose yra viena iš lyderių Europoje. Lietuvoje plastiko perdirbimas vykdomas neaktyviai. Plastiko atliekos daugiausia išvežamos į užsienį, kur plastiko atliekos perdirbamos į maišelius, statybines medžiagas ir kitą produkciją.

Remiantis Lietuvos Statistikos departamento duomenimis, Lietuvoje kasmet susidaro daugiau kaip milijonas tonų buitinių atliekų iš kurių apie 60% išvežama į sąvartynus, o likusi dalis rūšiuojama ir nukreipiama perdirbimui, antriam panaudojimui, kompostavimui ar energijos gamybai. Rūšiuojant daugiausia atrenkama popieriaus, stiklo, metalo, plastiko ir organikos, o likusi atliekų dalis, tai yra, užterštų pakuočių, tekstilės ir kitų buitinių atliekų mišinys, laidojamas sąvartynuose. Didelių atliekų kiekių laidojimas sąvartynuose tapo opi problema, nes didėja sąvartynų plotai, sąvartynuose susidarantys atliekų skysčiai daro neigiamą poveikį dirvožemiui ir gruntiniams vandenims, išsiskiriančios puvimo proceso dujos kenkia atmosferos orui ir didina šiltnamio efektą, ir galiausiai visas atliekų laidojimo procesas yra kenksmingas žmogaus sveikatai [Nkosi and Edison ir kt. 2014]. Nors atliekų deginimas laikomas ekologiškiausiu ir pažangiausiu atliekų utilizavimo būdu, kuris atveria galimybę efektyviai tvarkyti atliekas, tačiau išanalizavus atliekų deginimo privalumus ir trūkumus, aiškėja kad deginant komunalines atliekas sukuriama daugiau problemų negu gaunama naudos. Detali šiukšlių deginimo įrenginių gyvavimo ciklo analizė rodo, kad jie dažniausiai energijos sunaudoja daugiau, nei pagamina. Taip yra todėl, kad išrūšiuotos atliekos tampa produktais. Sudeginus šiuos produktus, juos reikia pakeisti naujais analogiškais produktais.

Naujų iškasenų gavyba ir jų transformavimas į naujus produktus sunaudoja daugiau energijos, nei pagamina atliekų deginimo įrenginys, taip aplinkai sukeliamas didelis neigiamas poveikis, jo nebūtų, jei atliekos būtų ne deginamos, o panaudojamos vėl kaip žaliava. Deginant atliekas, į atmosferą išmetami degimo metu susidarę toksiški junginiai. Utilizuojant nerūšiuotas buitines atliekas, į atmosferą patenka chloro organinių junginių grupės, tokios kaip dioksinai ir furanai, kuriuos sunku išvalyti.

Šie junginiai sklinda 20–30km spinduliu, akumuliuojasi augaluose, po to per mitybos grandinę patenka į žmogaus organizmą, kuriame kaupiasi ir kelia grėsmę sveikatai [Jiao, F. ir kt. 2016].

Mokslininkų atliktos studijos rodo, kad iš dalies atliekų susidarymo problemą galima išspręsti panaudojus pirolizės technologiją. Tokios technologijos tinkamas pritaikymas Lietuvoje užtikrintų į sąvartynus patenkančių buitinių atliekų mažinimą. Taip pat pirolizės proceso metu buitinėse atliekose esančios organinės medžiagos išskaidomos į dujinius ar skystuosius junginius, kurie gali būti panaudoti kaip kuras energijos gamybai.

2.1.1. Plastiko atliekų perdirbimas

Plastiko atliekos iš komunalinių atliekų srauto kokybė prasta ir jos dažniausiai netinkamos pakartotiniam naudojimui, o tai reiškia, kad norint atkurti aukšto kaloringumo žaliavą labiausiai tinka terminis plastikų apdorojimas. Plastikų terminis perdirbimas sumažina bendrą komunalinių atliekų kiekį ir prisideda prie energijos ir išteklių išsaugojimo. Pirolizės metu plastiko atliekos karštyje suardomos esant ribotam deguonies kiekiui. Šis procesas taikomas mišrioms plastiko atliekoms, kurios negali būti ekonomiškai efektyviai perdirbamos. Plastiko atliekų perdirbimo ekonominis ir energetinis pagrindumas [Chhabra V., Shastri Y. 2016]:

- Atgautos plastiko žaliavų pajamos;
- Darbo vietų kūrimas;
- Terminis perdirbimas be taršos;
- Sąvartynų išlaidų sumažinimas;
- Pajamos gautos iš antrinių žaliavų ir energijos prekybos;
- Klimato kaitos ir taršos mažinimas.

2.2. Žiedinės ekonomikos priemonių ir užduočių įgyvendinimas

Plastiko atliekos aplinkai keltų kur kas mažesnę pavojų, jeigu dabartiniai atliekų teisės aktai būtų tinkamai įgyvendinami. Dabar Lietuvoje pagrindinis plastiko atliekų šalinimo būdas yra šalinimas sąvartynuose. Europos komisija yra patvirtinusi žiedinės ekonomikos paketą, kuriuo siekiama, kad visi gamtos ištekliai būtų naudojami kuo taupiau, nes dauguma jų senka.

Todėl žiedinės ekonomikos skelbiama politika siekia kuo ilgiau išlaikyti produktų ir medžiagų vertę, išmesti kuo mažiau atliekų, o nebereikalingam produktui, kuris paseno ar sugedo, jo pagaminimui panaudotas medžiagas dar kartą panaudoti naujiems gaminiams.

Taikant tokį modelį, galima ne tik skatinti pažangių naujovių diegimą, taip pat sukurti naujų darbo vietų, apsaugoti aplinką ir žmonių sveikatą [Europos aplinkos agentūra 2015].

2.2.1. Žiedinės ekonomikos paketas – pagrindiniai elementai

- Europos Komisija 2015 m. gruodžio pradžioje patvirtino žiedinės ekonomikos paketą, kuriuo siekiama iki 2030 m. sumažinti į sąvartynus šalinamų komunalinių atliekų kiekį iki 10%, o iki 2030 m. perdirbti 65% komunalinių atliekų ir 75% pakuočių.
- Pakuočių atliekų parengimo pakartotiniam naudojimui ir perdirbimo tikslų padidinimas ir nustatytų tikslų supaprastinimas;
- Teisės aktų nuostatų, kuriomis reglamentuojami šalutiniai produktai ir atliekų nebelaikymas atliekomis, didesnis suderinimas ir supaprastinimas;
- Naujos atliekų, įskaitant maisto atliekas, prevencijos ir pakartotinio naudojimo skatinimo priemonės;
- Būtinausių didesnės gamintojo atsakomybės sąlygų nustatymas [Europos aplinkos agentūra 2015].

Pakuočių atliekų perdirbimo uždaviniai 2025 m.

Ne vėliau kaip 2025 m. gruodžio 31 d. mažiausiai 65% visų pakuočių atliekų svorio bus parengiama pakartotiniam panaudojimui ir perdirbama.

Pakuočių atliekų perdirbimo uždaviniai 2030 m.

Ne vėliau kaip 2030 m. gruodžio 31 d. mažiausiai 75% visų pakuočių atliekų svorio bus parengiama pakartotiniam panaudojimui ir perdirbama.

Taikant žiedinės ekonomikos principus būtina padidinti plastiko perdirbimą. Naudojamo plastiko kiekis sparčiai auga, tačiau Europos mastu 2015 metais surinktų plastikinių pakuočių atliekų perdirbama mažiau nei 25%, o apie 50% šalinama sąvartynuose.

Dideli kiekiai plastiko atliekų atsiduria vandenynuose, todėl į 2025 - 2030 m. darnaus vystymosi tikslus yra įtrauktas tikslas ženkliai sumažinti visų rūšių atliekas [Žiedinės ekonomikos tikslai 2015].

2.2.2. Nuoseklus pakuočių kiekio optimizavimas viso gaminio būvio ciklo metu

Pakuotė turi atitikti gaminio ir vartotojų keliamus reikalavimus, o kartu iki minimumo sumažinti poveikį aplinkai. Gaminio gyvavimo ciklo metu visa tiekimo grandinė prisideda prie efektyvaus išteklių naudojimo. Tuo siekiama užtikrinti, kad pakuotė:

- Projektuojama kompleksiskai, optimizuojant neigiamą poveikį aplinkai.
- Gaminama iš atsakingai išgautų žaliavų.
- Kuriama saugi, veiksminga, išliekanti per visą būvio ciklą.
- Atitinkanti rinkos teisinius reikalavimus.
- Atitinkanti vartotojų poreikius.
- Yra efektyviai perdirbama arba panaudojama, kuomet nebereikalinga [Žiedinės ekonomikos tikslai 2015].

2.3. Plastiko atliekų teisinis reguliavimas

Nors plastiko atliekų poveikis aplinkai auga, vienintelėje Pakuočių direktyvoje (94/62/EB) nustatytas konkretus plastiko pakuočių antrinio perdirbimo tikslas. Bendroji direktyva dėl atliekų (2008/98/EB) teigia, kad kad pirmasis visų atliekų politikos krypties tikslas turėtų būti siekis sumažinti neigiamą atliekų susidarymo ir tvarkymo įtaką žmonių sveikatai ir aplinkai. Bendroji direktyva dėl atliekų yra svarbi ir kai kuriais kitais aspektais, pavyzdžiui, šia direktyva nustatyta platesnė gamintojo atsakomybė yra vienas iš svarbiausių atliekų tvarkymo principų. Be to, ja nustatyta atliekų hierarchija, pagal kurią pirmenybė teikiama atliekų prevencijai, pakartotiniam naudojimui ir antriniam perdirbimui, o ne naudojimui (pvz., energijai gauti) ir šalinimui [Pakuočių atliekų teisinis reguliavimas 2015]. Šiam reikalavimui įgyvendinti valstybės narės privalo drausti nekontroliuojamą atliekų šalinimą, sudaryti atliekų tvarkymo planus ir sukurti integruotą ir tinkamą atliekų šalinimo įrenginių tinklą. Tačiau akivaizdus kontrastas tarp teisinių reikalavimų ir realios atliekų tvarkymo praktikos neišnyksta [Staniškis ir kt., 2016].

Pakuočių atliekų tvarkymo teisinio reglamentavimo tikslas – mažinti neigiamą poveikį aplinkai, nustatyti kokie yra pakuočių surinkimo ir perdirbimo tikslai ir kaip šiuos tikslus pasiekti.

Sparčiai didėjantis vartojimas, proporcingai didina į rinką leidžiamų pakuočių kiekius, tai patvirtina Aplinkos apsaugos agentūros 2010-2015 metų duomenys, kurie nurodo į vidaus rinką išleistų pakuočių kiekį Lietuvoje (Priedas 2) [Pakuočių atliekų tvarkymas 2015].

2.3.1. Teisiniai reikalavimai pakuotėms ir pakuočių atliekų tvarkymui 94/62EB ir 2004/12/EB

Europos Parlamento ir Tarybos 94/62/EB Direktyva dėl pakuočių ir pakuočių atliekų buvo patvirtinta 1994 m., o 2004 m. pradžioje buvo patvirtinta naujoji Europos Parlamento ir Tarybos 2004/12/EB Direktyva, iš dalies pakeičianti 94/62/EB Direktyva dėl pakuočių ir pakuočių atliekų. Direktyvos 94/62/EB ir 2004/12/EB yra pagrindiniai ES teisės aktai, reglamentuojantys pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymą Europos Sąjungoje. Teisės aktuose nustatyta suderinti nacionalinius teisinius dokumentus tam, kad užkirsti kelią pakuočių atliekų daromą poveikį aplinkai, bei užtikrinti vidaus rinkos funkcionavimą. Direktyva 94/62/EB ir ją papildanti 2004/12/EB Direktyva reglamentuoja pakuočių grąžinimo, surinkimo ir naudojimo (perdirbimas ir deginimas energijai gauti), ženklinimo ir identifikavimo sistemų kūrimą [Europos parlamentas ir Europos Sąjungos taryba 2009].

Pagrindiniai teisės aktai, reglamentuojantys pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymą Lietuvoje, yra šie [Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija 2001]:

1. LR Seimo 2001 09 25 įstatymas NR IX-517 „Pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo įstatymas“
2. Aplinkos ministro 2002 06 27 įsakymas Nr. 348 „Dėl pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“
3. LR Vyriausybės 2002 10 17 nutarimas Nr. 1643 „Dėl apmokestinamųjų gaminių ir apmokestinamosios pakuotės atliekų tvarkymo užduočių.“
4. Aplinkos ministro 2002 06 28 įsakymas NR. 349 „Dėl pakuočių ir pakuočių atliekų surinkimo, perdirbimo ir kitokio naudojimo užduočių nustatymo“
5. Užstato įstatymas
6. Ūkio ministro 2002 06 27 įsakymas Nr. 227 „Dėl kenksmingų medžiagų kiekių pakuotėse kontrolės tvarkos patvirtinimo“

2.3.2. Lietuvos teisinės bazės pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo apžvalga

LR Atliekų tvarkymo įstatyme apibrėžiami atliekų tvarkymo prioritetai, kuriais remiantis įmonė, naudojanti pakuotes, pirmiausia turi ieškoti būdų išvengti pakuočių naudojimo.

Jeigu pakuočių naudojimo atisakyti neįmanoma, būtina ieškoti galimybių sumažinti pakuočių poveikį aplinkai kiekybiškai mažinant pakuočių atliekų kiekį arba kokybiškai mažinant pakuočių atliekų kenksmingumą.

Jeigu pakuočių atliekų susidarymo išvengti ar sumažinti nėra įmanoma, projektuojant ar perkant pakuotes reikia stengtis, kad pakuotė būtų pagaminta iš antrinių žaliavų arba ją būtų galima perdirbti, jai tapus atlieka. Jeigu atliekos negali būti perdirbtos ar panaudotos energijai gauti, jos gali būti šalinamos į sąvartyną.

2.3.3. Pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo įstatymas

Įstatymo tikslas – sumažinti pakuočių atliekų kiekį bei neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Įstatymas taikomas Lietuvoje pagamintoms ir į šalį importuotoms pakuotėms, tarp jų užpildytoms pakuotėms (kartu su prekėmis) ir pakuočių atliekoms. Įstatymas numato [Europos aplinkos agentūra 2015]:

- Bendrus pakuočių ir pakuočių atliekų apskaitos, ženklinimo, surinkimo, naudojimo reikalavimus;
- Gamintojų, importuotojų, pakuočių gamintojų, pardavėjų, vartotojų, gaminių naudotojų bei atliekų tvarkytojų teises ir pareigas;
- Pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo prioritetus, kuriais privalo vadovautis visi ūkinės veiklos vykdytojai;
- Nustato galimybę įkurti organizacijas;
- Nustato pagrindinius pakuočių gamybos reikalavimus;
- Numato privalomo užstato sistemą.

2.3.4. ES ir LR teisės aktai reglamentuojantys atliekų tvarkymą

ES atliekų tvarkymą pagrindinis reglamentuojantis teisės aktas yra „Pagrindų direktyva dėl atliekų“ (PDA). Joje nusakoma atliekų tvarkymo hierarchija: prevencija, po to parengimas pakatotiniam naudojimui, antriniam perdirbimui, utilizavimui ir baigiant šalinimu. Taip siekiama kuo mažiau generuoti atliekų, o susidariusias atliekas naudoti kaip išteklius ir kuo labiau sumažinti vežamų atliekų kiekį į sąvartynus [Europos aplinkos agentūra 2015].

2.4. Plastiko perdirbimo reikalavimai ateityje

Europos Komisija (EK) kelia tikslą iki 2025 m. mažinti su plastikų pramone susijusią taršą ir didinti plastiko atliekų perdirbimą ir antrinių panaudojimą ES šalyse narėse, įskaitant Lietuvą. EK reikalavimai taikomi visiems plastikų pramonės etapams: nuo žaliavos perdirbimo į gaminių iki atliekų rūšiavimo ir perdirbimo į antrines žaliavas.

Bendrus reikalavimus ir tikslus plastikų pramonei apibrėžė ir išskėlė trys didžiausios Europos plastikų asociacijos, vykdančios tvarios ekonomikos strategiją.

Būtent nuo plastikų pramonės sektoriaus priklauso daug su tarša, antrinėmis žaliavomis, perdirbimu ir rūšiavimu susijusių klausimų. Jie arba pagilins globalias ekologines problemas, arba padės jas spręsti.

Nemažai dėmesio skiriama ir atliekų rūšiavimui, jų surinkimui iš sąvartynų ir prevencijai, kad plastiko atliekos ten nebepatektų. Taip pat numatoma sukurti kokybės standartą, pagal kurį visoje ES plastiko atliekos būtų vienodai apdorojamos, išrūšiuojamos, perdirbtas plastikas patikrinamas, o perdirbimo būdai vienodai sertifikuojami. Galiausiai, EK skatins plastiko produkcijos gamintojų potencialą inovacijomis visoje plastikų pramonės vertės kūrimo grandinėje, visuose jos technologiniuose procesuose.

Lietuvai įvykdyti plastiko atliekų perdirbimo tikslus ir įsipareigojimus ES yra gana sudėtinga. Kol kas trūksta nuoseklaus plastikų perdirbimo grandinės koordinavimo nuo kokybiško rūšiavimo iki perdirbimo [Aplinkos apsaugos agentūra 2015].

2.4.1. Atliekos kaip ištekliai

Perdirbti antrines žaliavas daug paprasčiau, pigiau, mažiau teršiama aplinka. Kuo didesni kiekiai naudojami antrinių žaliavų, tuo daugiau galima sutaupyti gamtinių išteklių. Lietuvai esant Europos Sąjungos nare privalu laikytis aplinkosauginių reikalavimų, kurie ES šalyse yra griežti. Aplinkosaugos reikalavimai išdėstyti ES direktyvose, reglamentuose, juose apsprendžiama bendra atliekų tvarkymo politika, atskiri atliekų srautai [Europos aplinkos agentūra 2015].

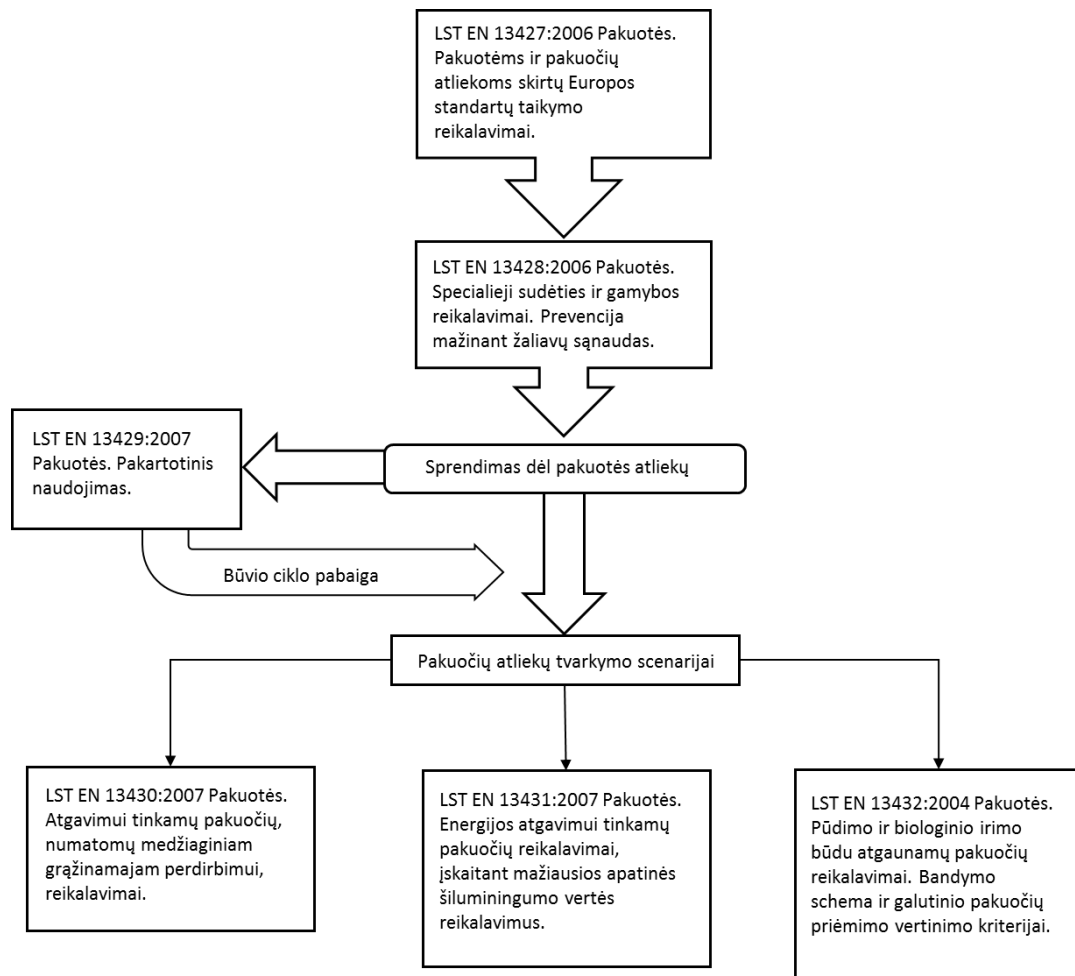
Antrinių žaliavų perdirbimas:

- išsaugomas tvarkingas aplinkos kraštovaizdis;
- sukaupiama antrinių žaliavų;
- sutaupoma gamtos išteklių ir energijos;
- sumažinamos atliekų tvarkymo išlaidos.

Neapnaudotos atliekos tai potencialūs nuostoliai, išgaudami mažiau medžiagų ir naudodami jau esančius išteklius būtų galima išvengti kai kurių grandinės sukeliama etapų poveikio.

Atliekos daro ir netiesioginį poveikį aplinkai. Kas yra neperdirbama arba neutilizuojama, sudaro žaliavų bei kitų medžiagų nuostolius grandinėje, t. y. produkto gamybos, transportavimo ir vartojimo etapuose. Poveikis gyvavimo ciklo grandinėje yra pastebimai stipresnis nei vien tik atliekų tvarkymo etapais.

Atliekų pavertimas ištekliais iki 2020 m. iš ES „Efektyvaus išteklių naudojimo Europoje plano“ tikslų. Plane taip pat pažymimas poreikis užtikrinti aukštos kokybės perdirbimą, atisakyti sąvartynų, apriboti energijos gavimą iš neatsinaujančių šaltinių bei sustabdyti nelegalų atliekų išvežimą. [Europos aplinkos agentūra 2015]



13 pav. Pakuočių atliekų darniųjų standartų taikymo schema [V. Varžinskas ir kt 2015]

Vykdamas direktyvos 94/62/EB ir darniojo standarto LST EN 13427:2006 nuostatas, energijos atgavimą reglamentuojantis standartas sudaro trijų grupių darniųjų standartą [žr. 13 pav.], kurie reglamentuoja pakuočių atgavimo procesus, iš kurių turi būti pasirinktas bent vienas kaip tinkamas pakuočių atliekų sutvarkymui. Naudotų plastiko pakuočių deginimas pirolizės metodu atgaunant energiją yra taikomas daugelyje ES šalių, nes gaunama šiluminė energija ir kuras, taip pat sumažinamas sąvartynuose šalinamų atliekų kiekis.

2.4.2. REACH reglamentas

Plastiko antriniam perdirbimui taip pat svarbus ir REACH reglamentas (1907/2006/EB). Galutinis pirolizės produktai sudaryti daugiausia iš lakiųjų medžiagų [žr. 6 lentelė], kurios yra greitai garuojančios cheminės medžiagos, keičiančios savo tūrį ir apimtį, sprogios, lengvai tirpstančios. Bionaftoje esantis lakiųjų organinių junginių skaičius yra didelis, todėl pirolizės produktą - bionaftą būtina užregistruoti REACH reglamente.

Lietuvoje direktyva 2004/42/EB perkelta Aplinkos ir Ūkio ministrų 2005 m. liepos 25 d. įsakymu Nr. D1-379/4-273 „*Dėl lakiųjų organinių junginių kiekių, susidarančių naudojant organinius tirpiklius tam tikrų dažų, lakų ir transporto priemonių pakartotinės apdailos produktų sudėtyje, ribojimo taisyklių patvirtinimo*“. Šiuo įsakymu importuotojai įpareigoti deklaruoti trečiojoje šalyje (ne EB valstybėse) pagamintų produktų atitikimą direktyvos 2004/42/EB reikalavimams [Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija 2005].

ES cheminių medžiagų teisinis dokumentas REACH apima cheminių medžiagų registraciją, įvertinimą, autorizaciją bei jų naudojimo apribojimus. REACH reglamente išdėstytos visos priemonės dėl medžiagų, preparatų ar gaminių gamybos, išleidimo į rinką ir naudojimo. Registruojamos cheminės medžiagos, kurių pagaminama arba importuojama ne mažiau nei 1 tona per metus.

Beveik visi tiekimo grandinės dalyviai, platinantys chemines medžiagas, turi registruoti chemines medžiagas:

- Cheminių medžiagų ar cheminių medžiagų mišinių gamintojai ir importuotojai, esantys ES teritorijoje;
- Tolesni naudotojai perdirbantys chemines medžiagas, gaminantys preparatus (mišinius) galutiniam suvartojimui arba naudojantys pagamintus produktus savo veikloje.

Cheminių medžiagų registravimas REACH reglamente užtikrina: žmonių sveikatos apsaugą ir aplinkosaugą, įvertina cheminių medžiagų sukeliama riziką, skatina naujoves ir ES chemijos pramonės konkurencingumą, perkelia atsakomybę nuo valdžios institucijų pramonei [Europos aplinkos agentūra 2015].

2.4.3. Pirolizės technologijos praktika užsienio šalyse

Pirolizė plačiai praktikuojama Europoje, Japonijoje ir JAV. Plastikinių atliekų pirolizės technologijos buvo sukurtos įvairiose kompanijose [žr. 7 lentelė].

7 lentelė. Pirolizės technologijos užsienyje pavyzdžiai

Pavadinimas	Reaktorių tipas ir veikimo sąlygos	Žaliavos ir produktai	Technologija	Pritaikymo pavyzdys
PYROPLEQ® pirolizės procesas (Bracker et al., 1998 and Modern Power Systems, 2014)	Besisukantis būgnas, temperatūra 450-500 °C. Gautos dujos sudeginamos 1200°C, degimo kameroje esančios karštos dujos šildo būgną iš išorės.	Įvediniai: iš anksto apdorotos komunalinės atliekos ir plastikinių pakuočių atliekos	Pirolizė ir degimas	“Ticino Canton” atliekų tvarkymo centras Šveicarijoje
		Išvediniai: anglis, energija nuo garo turbinos		
ConTherm® technologija (Tech Tech Trade, 2014 and Hauk et al., 2004)	Rotacinė krosnis, pirolizė vykdoma 500-550 °C apie 1 valandą, anglies milteliais kūrenamas katilas deginamos dujos	Įvediniai: susmulkintos komunalinės atliekos, plastikinių pakuočių atliekos iki 50%	Pirolizė ir deginimas	“Hamm” jėgainė, 100kt/m., Vokietija. Sustabdyta
		Išvediniai: energija gauta iš garo turbinos		
Gibros PEC procesas arba PKA technologija (IEA Bioenergy, 2004)	Rotacinė krosnis, pirolizė vyksta 500-550°C, apie 45-60 minučių, krosnis išoriškai šildoma su dujomis. Pirolizės dujos, kurių sudėtyje yra dervos deginamos iki 1200-1300°C, anglis sudeginama 1400-1500°C	Įvediniai: komunalinės, pramoninės atliekos, padangos, pramonės ir plastiko atliekos	Pirolizė, terminis krekingas, lydymas	“Aalen”, pajėgumas 25000 t/m., Vokietija
		Išvediniai: CO/H ₂ turtingos kuro dujos, metalai, bazaltas		
EDDITH procesas (Martin et al., 1998 ir Malkow, 2004)	Rotacinė krosnis, pirolizė vykdoma 450-600°C apie 45 minutes. Dujos deginamos esant 1100°C su oro įpūtimu, anglis filtruojama	Įvediniai: susmulkintos komunalinės atliekos, pramoninės atliekos ir dumblas	Pirolizė ir deginimas	“Arras”, Prancūzija
		Išvediniai: dujos, koksas, dujos sudeginamos šilumos ir elektros gamybai		
“Takuma SBV” (Kawai, 2009)	Rotacinė krosnis ir pelenu lydymo sistema. Pirolizė vykdoma 500-550°C. Pirolizės dujos deginamos aukštos temperatūros kameroje	Įvediniai: komunalinės atliekos, pramoninės atliekos, nuotekų dumblas	Pirolizės, dujofikacijos ir lydymo procesai	“Kakegawa” gamykla, Japonija, pajėgumas 140 t/d
		Išvediniai: energija, geležis, aliuminis		
Honghoo technologija (Chen et al., 2013)	Segmentinė rotacinė krosnis, pirolizė vykdoma 400-450°C temperatūroje, nėra katalizės proceso, dujos deginamos šiluminei energijai gauti	Įvediniai: komunalinės atliekos įskaitant plastiko butelius	Pirolizė	Šanchajus, Kinija
		Išvediniai: naftos produktai, anglis, dujos		
CNRS (Marculescu et al., 2007)	Vamzdinis – tiesinis reaktorius šildomas karštomis dujomis	Įvediniai: komunalinės atliekos	Pirolizė	Bandomasis įrenginys
		Išvediniai: sintezės dujos		

[Chen D., Yin L. ir kt. 2014]

Pirolizės technologijų veikimo pavyzdžiai užsienyje:

„VEBA OEL“ (Vokietija) pirolizės gamykla daugiausia perdirba automobilių plastikines atliekas ir vulkanizuotus elastomerus. Pirolizės procesas vykdomas, naudojant dujinius degiklius, kai yra 10 mbar slėgis bedeguonėje aplinkoje. Plastikinių atliekų buvimo reaktoriuje trukmė gali būti reguliuojama. Paprastai rotacinės krosnies sienelių temperatūra yra 650°C, bet gali būti pasiekama ir 850°C. „VEBA“ pirolizės produktai, perdirbus automobilių polimerines atliekas, šie: 10% dujų, 10% alyvos, 80% kietųjų atliekų.

Japonijos kompanijos „Fuji“ pirolizės gamykloje plastikinės atliekos susmulkinamos iki <8 mm diametro dalelių, praleidžiamos pro ekstruderį 300°C temperatūroje, sumaišomos su skystu pirolizės reaktoriaus produktu ir paduodamos į reaktorių, kuriame suskaidomos į mažos molekulinės masės angliavandenilius. Fuji pirolizės produktų sudėtis: 80% alyvos, 15% dujų, 5% liekanų.

„BP Chemicals“ (Didžioji Britanija) suskystintos įkrovos pirolizės proceso metu plastikinės atliekos paverčiamos naftos chemijos produktais. Procesas susideda iš keturių etapų: plastikinių atliekų padavimo, kaitinimo, karštų dujų gryninimo ir produkto gavimo. Plastikinės atliekos prieš paduodant į reaktorių susmulkinamos ir degazuojamos, kad jose nebūtų deguonies. Kaitinama 500 C temperatūroje. Įkrova šiame reaktoriuje yra smėlis. Proceso metu gautos dujos išgryninamos, nes jose gali būti halogenų darinių, nufiltruojamos kietos priemaišos, dujos sukondensuojamos ir gaunama derva. „BP Chemicals“ pirolizės produktų sudėtis: 80% alyvos, 10-15% dujų, 5% nepolimerinių atliekų.

Daugiausia užsienio pirolizės technologijos pritaikytos su rotacinės krosnies reaktoriais. Dėl jų plataus temperatūros intervalo rotacinėse krosnyse gautų pirolizės produktų sudėtis būna įvairi. Ji priklauso nuo paduodamų plastikinių atliekų sudėties, temperatūros ir proceso trukmės. Tačiau rotacinės krosnies pagrindiniai trūkumai: bloga temperatūros kontrolė, ilga atliekų buvimo krosnyje trukmė, anglies liekanos užteršia reaktoriaus sieneles, nesulaikomi CL, O iš PVC ir PET proceso metu [J. Ostrauskaitė ir kt. 2012].

3. VYKDYTŲ MOKSLINIŲ TYRIMŲ METODIKA

3.1. Taikytų tyrimo metodų sistema

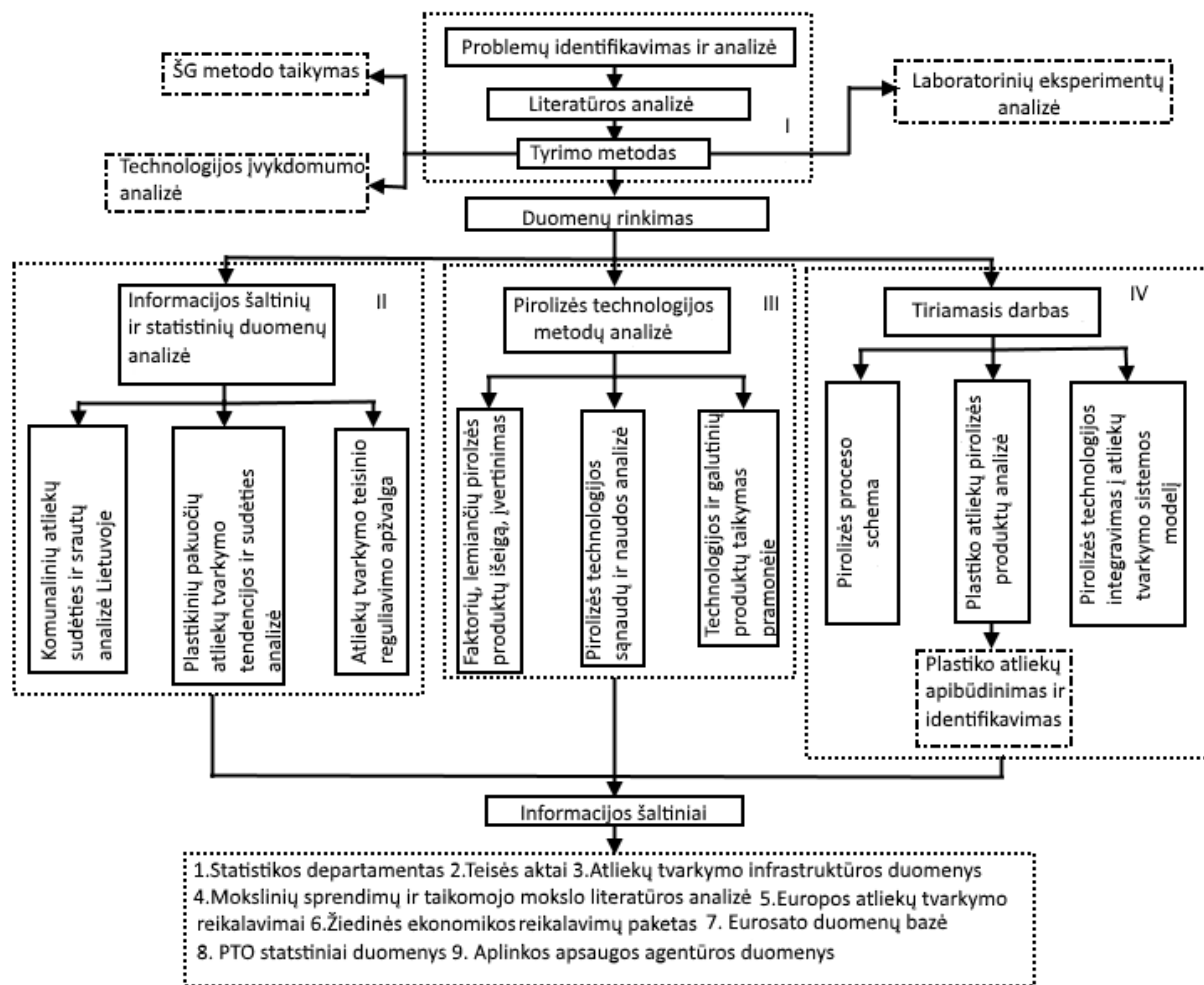
Plastikinės pakuotės atliekų perdirbimo galimybės, taikant terminę dekompoziciją į naftos ir dujų produktus tyrimo metodas pateikiamas paveiksle apačioje [žr. 14 pav.]. Metodika taikoma Lietuvos lygmeniu, tačiau nesunkiai pritaikoma ir regiono lygmeniu.

Pagrindiniai tyrimo metodo etapai: duomenų rinkimas, pirolizės metodų plėtros technologijos įvykdomumo analizė, laboratorinių eksperimentų analizė.

Pirmas metodikos taikymo etapas – duomenų rinkimas, naudojantis Statistikos departamento duomenų baze, valstybinių atliekų tvarkymo duomenimis, teisės aktais komunalinių ir plastikinių pakuočių atliekų tvarkymo srityse, žiedinės ekonomikos planais, projektiniais atliekų tvarkymo infrastruktūros duomenimis, naujausiais moksliniais sprendimais, renkami ir apdorojami duomenys.

Siekiant įvertinti pirolizės technologijos galimybes Lietuvoje, buvo nagrinėjami Lietuvos regione susidarantys komunalinių atliekų kiekiai, jų sudėtis. Taip pat analizuojami plastikinių pakuočių, esančių komunalinių atliekų sraute, charakteristikos, jų perdirbimo rodikliai. Remiantis statistiniais duomenimis įvertintas plastiko atliekų importas ir eksportas.

Toliau išsamiau analizuojama pirolizės technologijos reikalavimai, prieš tai įvertinus bendrus komunalinių ir plastikinių pakuočių atliekų srautus. Įvertinami tokie atskiri srautai, kaip maisto atliekos, žaliosios atliekos, popieriaus ir kartono atliekos, tekstilės atliekos. Po to įvertinama, kokią dalį plastikinių pakuočių atliekų sudaro bendrame komunalinių atliekų sraute, įvertinamas perdirbamumas. Vertinant plastikinių pakuočių atliekas, būtina įvertinti šių atliekų perdirbimą, energijos atgavimą ir šalinimą sąvartynuose. Vėliau įvertinamas plastikinių pakuočių sudėties charakteristika ir kokią dalį užima bendroje produkcijos gamyboje. Toliau nagrinėjama atliekų tvarkymo, plastikinių pakuočių atliekų teisiniai reguliavimai, apžvelgiamas žiedinės ekonomikos paketas ir užsibrėžti ateities tikslai. Pabaigoje analizuojamas laboratorinis eksperimentas, įvertinant susidarančius produktus. Kokybiškai ir kiekybiškai įvertinus pirolizės technologiją, pasirenkamas komunalinių atliekų srautas, kuriems atliekamas išsamus vertinimas, remiantis švaresnės gamybos metodika. Pasirinktiems srautams atliekamas techninis, aplinkosauginis ir socialinis įvertinimas. Nagrinėjamame pirolizės technologijos projekte atliekama sąnaudų ir naudos analizė. Atlikus duomenų kokybinę ir kiekybinę analizę, parinkus atskiras pirolizės proceso alternatyvas, sukuriama bendra komunalinių atliekų integruoto valdymo sistema.

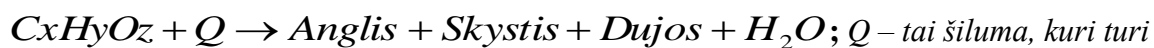


14 pav. Magistro baigiamojo projekto tyrimo metodika

3.2. Pirrolizė

- Pirrolizė – terminis degiųjų medžiagų skaidymas 400–1200°C temperatūroje be oro. Tai endoterminis procesas, kurio metu susidaro skystas kuras arba dujos. Išorinė energija reikalinga tam, kad pirrolizė prasidėtų, kai procesas prasideda, pirrolizės dujos sukuria pakankamai energijos palaikyti aukštą temperatūrą. Pirrolizės būdu perdirbant medžiagas, susidaro tokie produktai: bionafta, dujos ir koksas, kurie gali būti vėliau deginami išgaunant energiją arba rafinuojamos iki kitų naudingų medžiagų, kietieji likučiai (anglis, koksas) gali būti taip pat perdirbami [Chen D., Yin L. Ir kt. 2015].

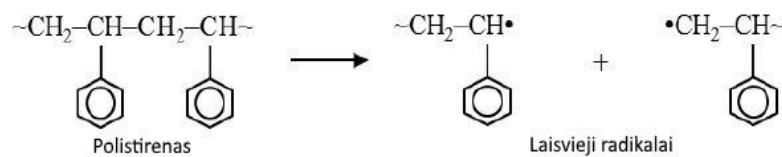
Pirrolizės procesas gali būti išreikštas formule:



būti paduodama į reaktorių tam, kad galėtų vykti junginių skilimo reakcijos.

Pirolizės metu polimero grandinės yra suardomos į mažesnes monomerų grandines. Aukštesnėse temperatūrose (650-700°C) vyksta tolimesnis skilimas tada susidaro daug vandenilio, anglies likučio (kokso), paprasčiausių sočiųjų ir nesočiųjų angliavandenilių. Veikiant aukštai temperatūrai organinės medžiagos skyla – susidaro laisvieji radikalai ir mažesnės molekulinės masės angliavandeniliai. Tarp molekulių ir radikalų vyksta izomerizacijos, kondensacijos, polimerizacijos ir kitos reakcijos [Adrados A., Caballero B.M. ir kt. 2012].

- Laisvasis radikalas –aktyvus cheminis vienetas (atomas, molekulių grupė ar jonas), egzistuojantis terpėje ir dalyvaujantis vienoje ar kitose cheminėse reakcijose [Miskolczi N. ir kt. 2013].



15 pav. Polistireno cheminė formulė [Miskolczi N. ir kt. 2013]

Faktoriai lemiantys pirolizės produktų sudėtį, yra šie:

- proceso trukmė;
- reaktoriaus temperatūra;
- pirolizei paduodamų dalelių dydis;
- reaktoriuje esančių garų ir dujų prigimtis.

Padidinus dalelių dydį ir proceso trukmę, padidėja kietų medžiagų koncentracija pirolizės produktuose. Pakėlus temperatūrą ir įvedus į reaktorių garų bei deguonies, padidėja dujinių pirolizės produktų ir skysto kuro išeiga. Šiluma reaktoriai aprūpinami arba iš dalies sudegant vandens-kuro mišinį, arba naudojant šilumos mainų principą [Miskolczi N., Ates F. ir kt. 2013].

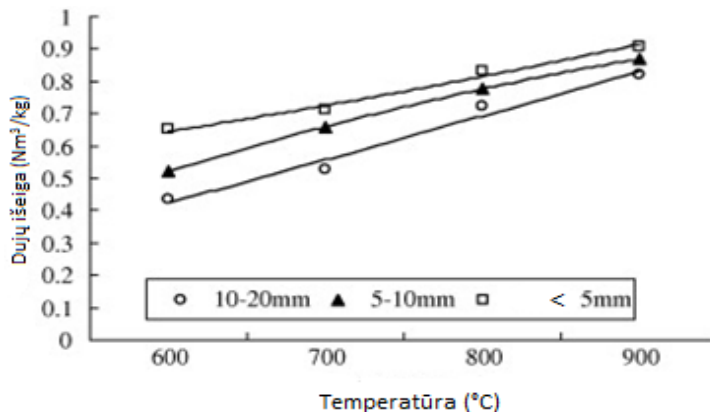
8 lentelė. Tipinės pirolizės reakcijos sąlygos ir produktai

Temperatūra, °C	300-850
Aplinka	Inertinė/ be deguonies
Dujų fazė	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂ , HCs
Kietoji fazė	koksas
Skystoji fazė	Bionafta ir vanduo

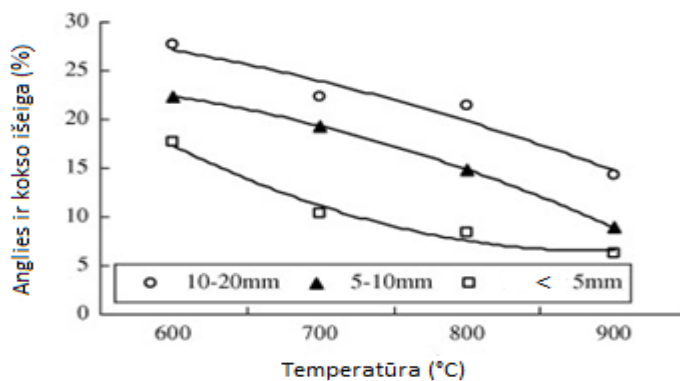
[Dias P., Javimeczik S. ir kt. 2017]

3.2.1. Dalelių dydžio įtaka pirolizės produktams

16 pav. matome, kad dalelių dydžio poveikį sausųjų dujų išėigai, esant skirtingoms temperatūroms. 17 pav., matome temperatūros poveikį iš komunalinių atliekų susidarantiems anglies ir kokso masei procentais.



16 pav. Sausųjų dujų išėiga pirolizės metu iš komunalinių atliekų, esant skirtingoms temperatūroms ir skirtingais dalelių dydžiais [Luo S., Xiao B. Ir kt. 2010]



17 pav. Procentinė anglies ir kokso išėiga pirolizės metu, veikiant skirtingoms temperatūroms priklausomai nuo dalelių dydžių Luo S., Xiao B. Ir kt. 2010]

Iš 16 pav. ir 17 pav. matome, kad sausųjų dujų, anglies ir kokso gamybai didelę įtaką daro temperatūra. Keičiant temperatūrą nuo 600°C iki 900°C dujų išėiga žymiai padidėjo, o anglies ir kokso išėiga sumažėjo, esant net ypač mažoms dalelėms (<5mm). Dujų išėigos padidėjimą įtakoja temperatūros kitimas iki 900°C, kurios metu anglis ir koksas paverčiami dujomis veikiant terminio krekingo reakcijoms. Kurių metu esant aukštai temperatūrai ir dideliame slėgiui skyla anglies (C-C) ryšiai tarp dviejų anglies atomų.

3.2.2. Kaitinimo sparta

Pirolizės produktų sudėtis ir kiekis priklauso nuo kaitinimo spartos. Aukštesnėje temperatūroje gaunama daugiau dujų, mažiau anglies ir kondensato.

Pagal žaliavos gabalėlių smulkumą, matyti, kad esant mažesniems žaliavos gabalėliams gaunama daugiau skystųjų produktų ir mažiau dujinių [žr. 9 lentelė]. To priežastis – tolygesnis žaliavos įkaitimas [L. Miknius ir kt. 2011].

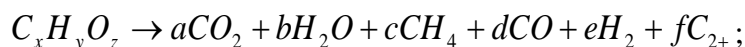
Kaip galima matyti iš 16 pav. ir 17 pav. susmulkintų komunalinių atliekų dalelių dydis labai svarbus. Toje pačioje temperatūroje, esant mažoms dalelėms (<5mm) dujų išėiga didesnė, nes mažesnės dalelės įtakoja greitesnį šilumos perdavimo laiką, o didesnio dydžio dalelės (5-20 mm) atsparesnės šilumos perdavimui, jų viduje temperatūra mažesnė nei išorėje, kuri lemia reakcijos skilimo metu kietųjų medžiagų (kokso) atsiradimą galutiniuose pirolizės produktuose.

9 lentelė. Pirolizės metu susidariusių dujų sudėtis (%) esant skirtingiems dalelių dydžiams

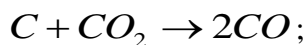
Dalelių dydis/d (mm)	d < 5	5 < d < 10	10 < d < 20
H ₂	22,4	20,6	18,3
CO	26,5	24,7	22
CO ₂	34,2	37,1	43,2
CH ₄	10,1	12,6	11,5
C ₂ H ₄	5,3	3,3	4,3
C ₂ H ₆	1,5	1,7	0,7

[Luo S. ir kt. 2010]

Mažėjant dalelių dydžiui H₂ ir CO kiekiai padidėjo atitinkamai nuo 18,3% iki 22,4% ir nuo 22% iki 26,5%, 7 lentelėje esantys junginiai, gauti pirolizės metu, aprašomi pagal lygtį:

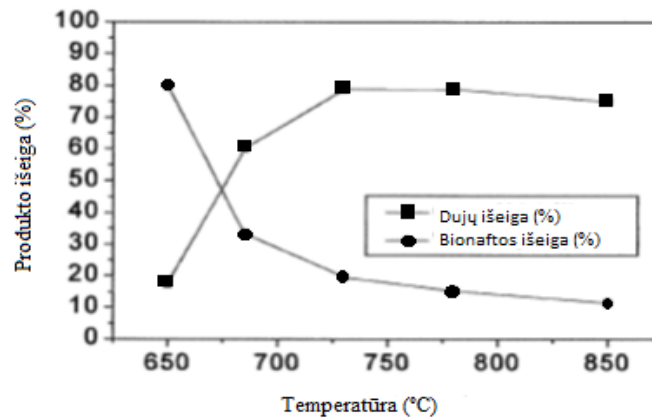


CO₂ kiekis palaipsniui mažėja prie atitinkamų dalelių dydžių, tai vyksta dėl krekingo reakcijų ir didesnio dalelių paviršiaus ploto, dėl kurio pasiekiamas geresnis šilumos perdavimas:



Kitiems dujų komponentams (CH₄, C₂H₄ ir C₂H₆) dalelių dydis įtakos neturi [Abnisa F., Sharuddin Sh. D.A. ir kt. 2016].

3.2.3. Temperatūra ir jos įtaka produktų išeigai



18 pav. Temperatūros įtaka galutiniams pirolizės produktams [Abnisa F., Sharuddin Sh. D.A. ir kt. 2016].

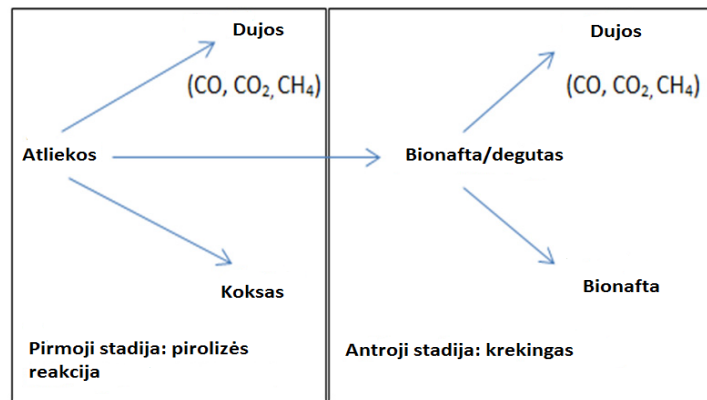
Analizuojant pirolizės proceso medžiagų balansus pagal temperatūros pokytį [žr. 18 pav.] matyti, kad esant mažesniems žaliavos gabalėliams gaunama daugiau skystųjų produktų ir mažiau dujinių.

10 lentelė. Pirolizės metu vykstančios cheminių reakcijų charakteristikos

Temperatūra (°C)	Cheminės reakcijos
100-120	Džiovinimas, dehidracija
250	Deoksidacija, desulfurizacija, molekulinis vandens ir anglies dioksido skaidymas, vandenilio sulfido skilimas.
340	Metano ir alifatinių junginių skilimas
380	Karbonizacija
400	Nutrūksta anglies-deguonies ir anglies-azoto ryšiai
400-600	Bitumo junginių dekompozicija į žemos temperatūros lakiuosius junginius ir koksą
600	Vyksta bituminių junginių krekingas į dujinius trumpos grandinės angliavandenilius
>600	Terminė aromatizacija į benzeno ir didesnio lakumo aromatinis junginius

[Chen D., Yin L. ir kt. 2014]

3.2.4. Pirolizės procesas



19 pav. Atliekų pirolizės reakcijos produktų schema [Chhabra V. ir kt. 2016]

Pirolizė vyksta dvejomis stadijomis [žr. 19 pav.]:

1. Įkrovos kaitinimas iki skilimo į sudedamąsias dalis (bionaftą, dujas ir koksą) bedeguonėje aplinkoje.
2. Krekingo procesas vyksta vėliau, kai medžiaga yra įkaitinama iki (450 – 500) °C ir daugiau. Krekingas – tai skaidymas į angliavandenilius, kurių molekulės ilgos, skaidymas į angliavandenilius, kurių molekulių grandinės yra trumpos. Procesas vyksta lėtai, susidaro nešakotosios grandinės angliavandeniliai [G. Denafas 2017].

4. PLASTIKŲ PIROLIZĖS PANAUDOJIMO PAKUOČIŲ ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOJE GALIMYBIŲ TYRIMAS

4.1. Pirolizės būdu perdirbimui tinkamų komunalinių atliekų dalies tyrimai

Atliekų tvarkymo pirolizės technologija išanalizuota kaip tinkama galimybė utilizuoti susidarančias komunalines atliekas. Šis problemos sprendimas, kaip suvaldyti ir panaudoti atliekų srautus, apima net tik realiu laiku pagaminamas atliekas, tačiau ir jau suskurtų sąvartynų panaudojimo galimybes. Pirolizės technologijos pagrindinis tikslas - perdirbti ir panaudoti sunkiai sutvarkomas atliekas. Ši technologija naudojama organinių atliekų perdirbimui, kurios susidaro namų ūkiuose. Perdirbant atliekas pirolizės metodu efektyvumas siekia iki 90%. Kietos agregatinės būsenos atliekos paverčiamos skysta ir dujine būsenomis ir gaunama 10% - 20% liekamųjų medžiagų (šlakų, pelenų ir nenustatytos sudėties medžiagų) (Lopez *et al.* 2010).

11 lentelė. Komunalinių atliekų sudėtis

Komunalinių atliekų rūšys	Komunalinių atliekų kiekis, %
Popieriaus ir kartono atliekos	5,67
Žaliosios atliekos	6,42
Medienos atliekos	1,13
Biologiškai skaidžios maisto ir virtuvės atliekos	13,89
Tekstilės atliekos	7,26
Kitos komunalinės biologiškai skaidžios atliekos	11,74
Visos komunalinės biologiškai skaidžios atliekos	46,05
Plastikų, įskaitant pakuotes, atliekos	12,28
PET pakuočių atliekos	1,14
Kombinuotų pakuočių atliekos	1,31
Metalų atliekos	1,95
Stiklo atliekos	4,95
Inertinės atliekos (keramika, betonas ir kt.)	14,01
Nepavojingosios atliekos	7,19
Baterijos ir akumuliatorių, elektros ir elektroninės įrangos atliekos	0,55
Pavojingosios atliekos	0,27
Kitos atliekos (avalynė, guma)	10,21
Visas mišrių komunalinių atliekų kiekis	100,00

[Aplinkos apsaugos agentūra 2015]

2015 metais komunalinių atliekų susidarė apie 1,3 mln. tonų atliekų, iš jų apie 54% apie 700 tūkst. tonų pašalinta sąvartynuose. Plastiko atliekos šalinamame komunalinių atliekų sraute sudaro apie 13,4% (110 tūkst. tonų), išrūšiuotos ir eksportuotas plastiko atliekos sudaro apie 11 tūkst. tonų, importuota iš užsienio šalių apie 39 tūkst. tonų. Viso plastiko atliekų Lietuvoje 2015 metais buvo apie 200 tūkst. tonų.

12 lentelė. Įvairių rūšių atliekų perdirbimo galimybės

Atliekų tipas	Perdirbimo galimybės
Komunalinės atliekos (be pirminio apdorojimo)	30-60%
Komunalinės atliekos (po pirminio rūšiavimo)	80%
Padangos	45-60%
Medicininės atliekos	30%
Medienos ir žemės ūkio atliekos	30%
Nuotekų dumblas	30%
Visų rūšių plastikas	40-65%
Naftos atliekos	30%

[V. Chhabra ir kt. 2016]

Komunalines atliekas (be pirminio apdorojimo) pirolizės būdu galima perdirbti nuo 30% iki 80% [žr. 12 lentelė].

Pirolizės būdu apdorojant plastiko pakuotes laboratorinėmis sąlygomis, kurios neturi užpildų (dažniausiai tai būna kalcio karbonatas, kurio gali būti iki 20%), kietojo produkto būna iki 1%. Dominuoja skystis (išskyrus PET) ir likęs kiekis yra dujiniai angliavandeniliai. PE, PP, EPDM skystos frakcijos išeiga 90-95%. LDPE, HDPE, PS skystos frakcijos išeiga siekia 97-98% [L. Miknius 2017].

Tačiau komunalinėse atliekose esančios plastiko pakuotės yra kombinuotos sudėties. Šios pakuotės sudarytos iš plastiko ir aliuminio, todėl perdirbant šias atliekas pirolizės būdu pakinta galutinių produktų išeigos lyginant su atliekama pirolize laboratorinėmis sąlygomis ne su kombinuotomis pakuotėmis. Taip pat remiantis atliktų eksperimentų patirtimi ir literatūros apžvalga galima teigti, kad tik atlikus pirminį rūšiavimą, kurio metu būtų atskiriamos biologiškai skaidžios atliekos, antrinės žaliavos, plastiko pakuočių atliekas būtų galima perdirbti iki 80% - 90% komunalinių atliekų.

Atsižvelgus į tai, kad plastiko atliekose po pirminio rūšiavimo liktų priemaišų ir pelenų iki 10% – 20%. Perdirbamas plastiko atliekų kiekis apie 500 tūkst. tonų atliekų, 80% nuo likusios komunalinių atliekų dalies po pirminio rūšiavimo [žr. 13 lentelė].

13 lentelė. Komunalinių atliekų dalis po pirminio rūšiavimo

Atliekos	Viso susidaro		Atskirtos bioskaidžios atliekos		Atskirtos antrinės žaliavos		Likusi atliekų dalis tinkanti pirolizuoti	
	t	%	t	%	t	%	t	%
Komunalinės atliekos	1300000	100	598000	46	66300	5	635700	49

Žaliavų pobūdis ir proceso sąlygos lemia susidarančių dujų, skysčio ir keitųjų produktų savybes. Todėl vykdant pirolizę būtina atlikti pirminį rūšiavimą, kurio metu yra atskiriamos bioskaidžios atliekos ir antrinės žaliavos. Visais atvejais naudojant švaresnę žaliavą, gaunami geresni (jei procesas išstobulintas ir optimizuotas konkrečiai žaliavai) bei prognozuojami rezultatai. Neišplautoje žaliavoje bus kintamos sudėties ir skirtingo kiekio priemaišos, todėl kiek vieną kartą būtų gaunami skirtingi rezultatai.

14 lentelė. Pagrindiniai plastiko atliekų šaltiniai, kiekiai ir sudėtis

Sektorius	Metinis kiekis	Pagrindinė žaliava
Žemės ūkis	3,5% (5075t)	PE plėvelė
Statyba ir konstrukcijos	20,3% (29435t)	PVC, PP
Automobilių detalės	8,5% (12325t)	PE, PP, PA, PVC, ABS, PS
Elektra ir elektronika	5,6% (8120t)	PP, PS, LDPE
Pakuotės	39,6% (145000t)	LDPE, HDPE, PP, PET, PS
Kita	22,5% (32625t)	PE, ABS, PA, PBT

[PTO duomenys 2015]

14 lentelėje identifikuojami plastiko atliekų šaltiniai komunalinėse atliekose. Nustatytos pagrindinės plastiko atliekų rūšys: LDPE, HDPE, PET, PS, PE. Išvardytos plastiko rūšys turi didelį kaloringumą ir lakiųjų medžiagų kiekį, todėl remiantis laboratorinių tyrimų analize šios plastiko atliekos gali būti utilizuojamos pirolizės metodu.

4.2. Tinkamo pirolizės tipo parinkimas plastikų perdirbimui iš komunalinių atliekų srauto remiantis kaštų-naudos analize

Yra trys pagrindiniai pirolizės tipai: standartinė (lėta pirolizė), greita, vakuuminė pirolizė. Vakuuminės ir standartinės pirolizės procesai yra labai panašūs, skiriasi tik du pirolizės procesų parametrai: slėgis ir trukmė, kuri yra žymiai trumpesnė atliekant vakuuminę pirolizę.

Vykdam vakuuminę pirolizę gaunama daugiau skystosios frakcijos ir mažiau dujų ir anglies lyginant su standartinė pirolize [žr. 15 lentelė].

15 lentelė. Pirolizės parametrų palyginimas

Pirolizės tipas	Pirolizės temperatūra	Kaitinimo sparta	Dalelių dydis	Trukmė	Galima išeiga (%)*		
					Skystis	Dujos	Anglis
Standartinė/lėta	470-950 K	1–60 K/min	5-50 mm	300-3600s	12-33	2-54	25-91
Vakuuminė	470 – 950 K	1–60 K/min	5-50 mm	0.50-10s	35-45	25-35	20-30
Greita	650 – 1250 K	60-12000 K/min	<1 mm	0,50-10s	46-76	12-24	9-34

[Luo S. ir kt. 2010]

*Priklauso nuo proceso sąlygų

Žaliavos dydžio reikalavimai atliekant lėtą ar vakuuminę pirolizę nėra tokie griežti lyginant su greitos pirolizės reikalavimais, todėl šie pirolizės tipai labiau tinkamos nehomogeniškomis žaliavoms. Todėl galima teigti, kad standartinė ar vakuuminė pirolizė tinkamiausi tipai perdirbant komunalines atliekas.

Vykdam standartinę ar vakuuminę pirolizę vidutiniškai iš 1 tonos komunalinių atliekų (po pirminio apdorojimo), kai drėgmės ne didesnė nei 15%, galima gauti apie 1 toną žaliavos. Remiantis 15 lentelėje pateiktais duomenimis, įvertintas komunalinių atliekų perdirbimo kiekis [žr. 16 lentelė].

16 lentelė. Perdirbamų komunalinių atliekų kiekiai su skirtingais pirolizės tipais

Pirolizės tipas	Komunalinės atliekos, t	Galima išeiga (%)*			Likutis, t (pelenai, šlakas ir kt.)
		Bionafta, t	Dujos, t	Koksas, t	
Standartinė/lėta	468000 (100%)	107640 (23%)	131040 (28%)	159120 (34%)	70200 (15%)
Vakuuminė	468000 (100%)	187200 (40%)	140400 (30%)	70200 (20%)	46800 (10%)

Vertės nurodytos 15 lentelėje yra orientacinės, tai gerai surūšiuotų atliekų gaunami produktai. Jei atliekos geresnės kokybės (gerai išrūšiuotos), tai gaunamos tuo didesnės skystosios frakcijos ir dujų išeigos. Jei pirolizuojamos komunalinės atliekos yra neišrūšiuotos, gaunami didesni kiekiai kokso ir kiti neorganiniai likučiai. Drėgmės kiekis atliekose įtakoja skystosios frakcijos ir dujų išeigas.

4.3. Plastiko atliekų pirolizės produktų ir jų sudėties analizė

Nagrinėtame eksperimente buvo atlikta pirolizė PP, LDPE ir HDPE rūšių plastikams. Šių plastikų rūšių komunalinėse atliekose daugiausia. Bandinys buvo pasirinktas naudojant susidarančių plastiko atliekų mišinio vidutines vertės Lietuvoje: PP - 40%, 35% - LDPE ir 25% - HDPE - 25%. Tai trys dažniausiai pasitaikančios plastiko rūšys komunalinėse atliekose: PP - 19%, LDPE - 17% ir HDPE - 12%, atitinkama procentinė mišinio dalis PP + LDPE + HDPE: PP - 40%, LDPE - 35% ir HDPE - 25%. PP, LDPE ir HDPE mėginiai – tai kombinuotos maisto plastiko pakuočių atliekos. Pakuočių atliekos prieš eksperimentą buvo išplautos ir susmulkintos

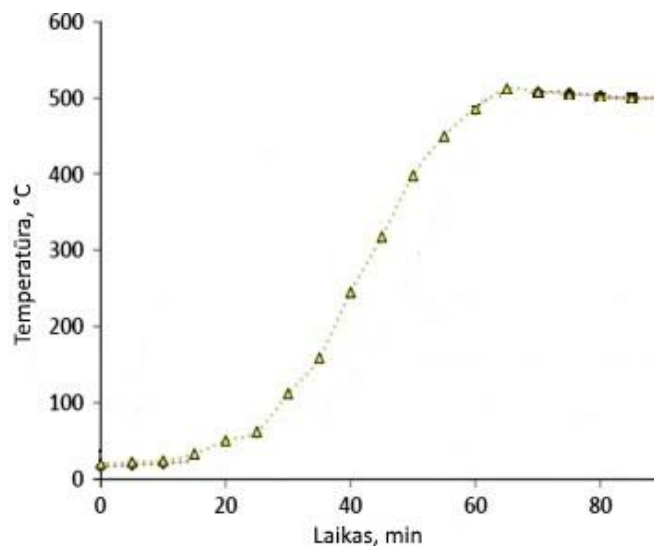
17 lentelė. Pirolizės produktų išeigos priklausomai nuo plastiko rūšies

Plastiko pakuotė	Pirolizės tipas	Temperatūra, °C	Dujos, %	Skystis, %	Anglis, %
PP	Vakuuminė	450	39,6	59,9	<0,1
PP	Standartinė	500	28,4	69,1	1,6
LDPE	Vakuuminė	480	33,7	65,3	1
LDPE	Standartinė	500	25,3	73,7	1
HDPE	Vakuuminė	530	22,8	74,2	3
HDPE	Standartinė	500	18,1	78,9	3

[Williams ir kt., 2006]

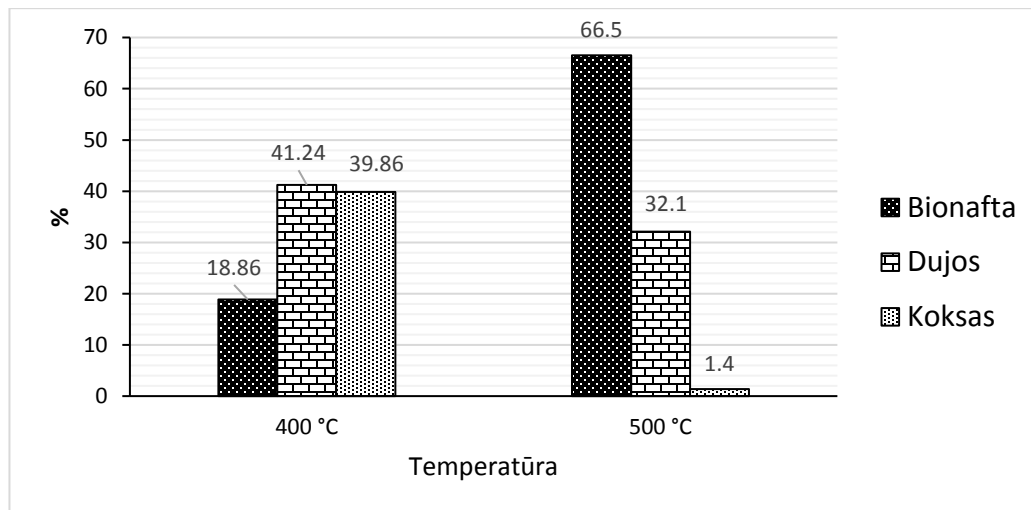
4.3.1. Tiriamojo darbo analizė

Eksperimentui buvo pasirinkta tarp 400°C - 500°C, reakcijos laikas tarp 30 – 90 minučių, norint pasiekti didžiausią skystos frakcijos išeią [žr. 20 pav.].



20 pav. Pirolizės produktų išeigos priklausomybė nuo laiko ir temperatūros [Rohit Kumar Singh irk t., 2016]

Remiantis 17 lentelėje duomenimis buvo atliktas eksperimentas. 21 paveiksle pavaizduoti pradiniai eksperimento rezultatai. Galima pastebėti, kad dėl pirminės pasirinktos temperatūros 400°C didelė žaliavos dalis liko nesureagavusi (39,86%), tačiau esant 500°C temperatūrai beveik visa žaliavos dalis sureagavo liko tik 1,4% kietos medžiagos - kokso.

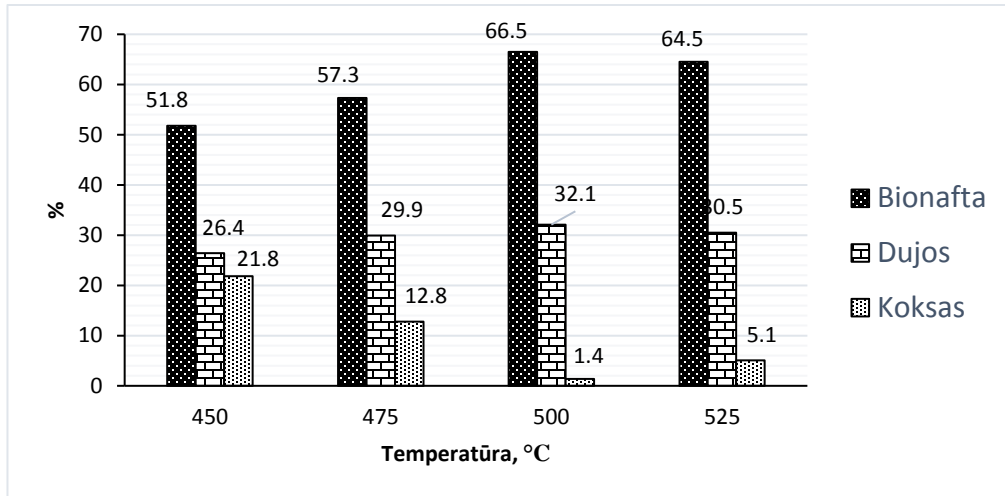


21 pav. Plastiko mišinio pirolizė, reakcijos laikas 60 minučių,

Temperatūros įtaka plastiko pakuočių pirolizės eksperimente

Ištirti temperatūros įtaka pirolizės produktų išeigai parinkti temperatūros intervalai 450°C – 525°C. Ne mažesnis kaip 450°C temperatūra buvo parinkta kaip pradinė, nes nuo šios vertės didesnė produktų išeiga, santykinai maža išeiga su kieta liekana (koksas apie 40%) esant 400°C temperatūrai pavaizduota ankstesniame eksperimente [žr. 21 pav.].

Galutinė 525°C temperatūra buvo parinkta, nes iki šios temperatūros įvyksta pilna plastiko žaliavų terminė dekompozicija. Šis temperatūros intervalas parinktas atsižvelgiant į daugelį pateiktų plastikų pirolizės rezultatų moksliniuose straipsniuose. 22 paveiksle pavaizduota temperatūros išėiga galutiniams pirolizės produktams.



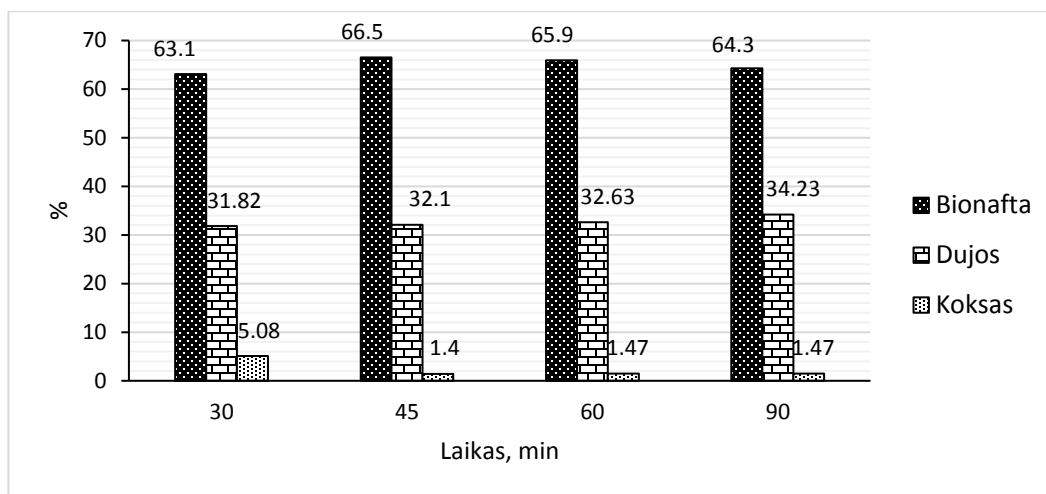
22 pav. Temperatūros įtaka pirolizės produktų išėigai

22 paveikslas rodo, kad esant net 450°C temperatūrai, didelė dalis žaliavos kiekio liko nesureagavusi (21,8%) dėl to, eksperimentui nebuvo pasirinktos žemesnės temperatūros. Temperatūrai didėjant pirolizės produktų išėiga taip pat didėja, o kokso išėiga mažėja. Didžiausia skystosios fazės išėiga gaunama esant 500°C temperatūrai. Esant 525°C temperatūrai produktų išėigos padidėjimas nežymus, lyginant su pirolize, esant 500°C temperatūrai. Didinant temperatūrą mažėja kietosios fazės – kokso išėiga, o skystosios fazės produktų išėiga didėja.

Pirolizės reakcijos trukmės įtaka galutiniams produktams

Atsižvelgiant į ankstesnius eksperimentų rezultatus parenkama pirolizės temperatūra 500°C ir skirtingos reakcijos trukmės. Ankstesni eksperimentai ir literatūros analizė parodė, kad 500°C temperatūra yra optimaliausia plastiko pakuočių atliekų terminei dekompozicijai. Reakcijos laiko intervalas tarp 30-90 minučių.

23 paveiksle pavaizduota, kaip reakcijai vykstant nuo 45 minučių plastiko pakuočių atliekų pirolizės galutinių produktų išėigos nežymus didėjimas. Didžiausia bionaftos išėiga (66,5%) pastebėta kai reakcija vykdoma 45 minutes. Toliau didinant reakcijos trukmę nuo 45 iki 90 minučių jokių reikšmingų bionaftos ir dujų produktų išėigos pokyčių nėra.



23 pav. Reakcijos laiko įtaka plastiko pirolizės procesui esant 500°C temperatūrai

Galima daryti išvadą, kad atliekant kombinuotų plastiko pakuočių pirolizę pakinta galutinių produktų procentinė sudėtis lyginant su 15 lentelėje esančiais duomenimis. Skystosios frakcijos išeiga apie 60 - 70%, tačiau dujinės frakcijos išeiga iki 35%, o kietosios frakcijos išeiga siekia tik apie 2%. Taip yra todėl, nes buvo pasirinktos homogeniškos kombinuotos plastiko pakuočių atliekos, to pasekoje itin maža kietosios frakcijos išeiga (apie 2%).

Pirolizės būdu apdorojant kombinuotas plastiko pakuotes skystosios frakcijos išeigos didelio pokyčio nėra, išlieka apie 60%, net ir pirolizuojant homogeniškas plastiko atliekas, nes didžioji dalis plastikinių pakuočių yra kombinuotos sudėties, turi įvairių priemaišų, tokių kaip aliuminis.

Pagal apskaičiuoto eksperimento rodiklius ir remiantis literatūros analize, reakcijos laikas 45 minutes yra pakankamas įvykdyti plastikinių pakuočių atliekų terminę dekompoziciją esant 500°C temperatūrai. Tačiau taip pat reikia papildomų tyrimų, su įvairiais bandomaisiais reaktoriais, kurie turi papildomų apribojimų, taip pat gautus rezultatus palyginti su laboratoriniais reaktoriais.

4.4. Pirolizės technologijos kaštų ir naudos analizė

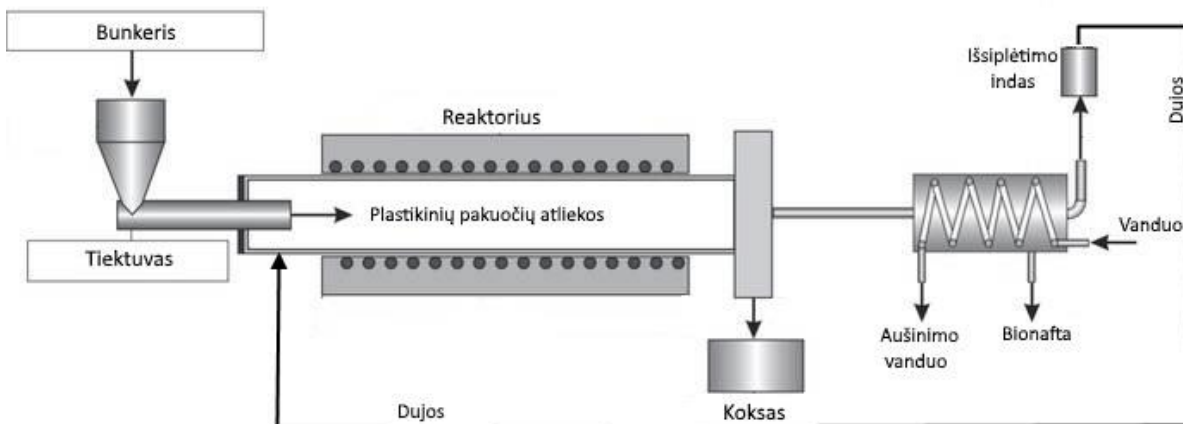
Iš daugelio socialinių, ekonominių ir aplinkosauginių problemų susijusių su atliekų tvarkymo kontrole, išanalizuotų laboratorinių eksperimentų rezultatų, remiantis užsienio šalių patirtimi, plastiko atliekų dekompozicijos technologija yra vienas tinkamiausių atliekų utilizavimo metodų. 17 lentelėje apžvelgiami darnaus vystymosi aspektai.

18 lentelė. Pirolizės technologijos kaštų ir naudos analizė

	Kaštai	Nauda
Ekonomika	<ul style="list-style-type: none"> • Reikalingi išsamūs moksliniai tyrimai; • Konceptijos formavimas, projektavimas, įrenginių optimizavimas; • Atliekų žaliavos išsami analizė. 	<ul style="list-style-type: none"> • Žaliavos (komunalinės atliekos) yra gausu ir yra nemokama; • Motyvuoja mišrių atliekų rūšiavimą su tikslu gauti daugiau plastiko atliekų; • Kuriamos naujos darbo vietos; • Dalyvaujant ir atliekant tyrimus skatinamas mokslininkų kūrybiškumas ir gebėjimų stiprinimas; • Sumažinamos didelio masto gamybos išlaidos, kadangi naudojamos vietinės žaliavos; • Galutiniai rezultatai sukuria ilgalaikę naudą socialiniu, aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu.
Socialinis vystymasis	<ul style="list-style-type: none"> • Sunkumai iškylantys prisitaikant prie naujos technologijos; • Rinkos stygius dėl neefektyvaus įrenginių subalansavimo ir įvertinimo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Energijos atkūrimas iš plastiko atliekų išsprendžia energijos, sveikatos, sanitarijos, taršos ir miesto šiukšlinimo problemas; • Pirolizės technologijos pasiūlymai ir jų pritaikymas išsprendžia šiuolaikines problemas darnaus vystymosi požiūriu; • Taikomi aukšti saugos standartai grindžiami atsargumo ir prevencijos principais;
Aplinkosauga	<ul style="list-style-type: none"> • Galimi kenksmingi cheminių medžiagų išmetimai perdurbant plastiko atliekas; • Iškastinės kilmės CO₂ ir kitų teršalų išmetimai. 	<ul style="list-style-type: none"> • Įprastai tyrimai atliekami ekstremaliomis sąlygomis su ribotomis lėšomis, žiemos ir vasaros sąlygomis; • Energijos ir medžiagos atgavimas iš atliekų pagerina aplinkos, socialinius ir ekonominius rodiklius; • Sumažinama vandens, dirvožemio ir atmosferos tarša • Sumažinami sąvartynų užimami plotai; • Žaliava gauta iš plastiko atliekų sumažina miškų kirtimą ir išsaugo biologinę įvairovę.

5. PIROLIZĖS PROCESŲ ANALIZĖ SKAIDANT PLASTIKUS IŠ KOMUNALINIO ATLIEKŲ SRAUTO

5.1. Pirolizės proceso schema



24 pav. Komunalinių atliekų pirolizės proceso schema [Engireening and fuel technology]

Komunalinių atliekų pirolizės procesas vykdomas taip:

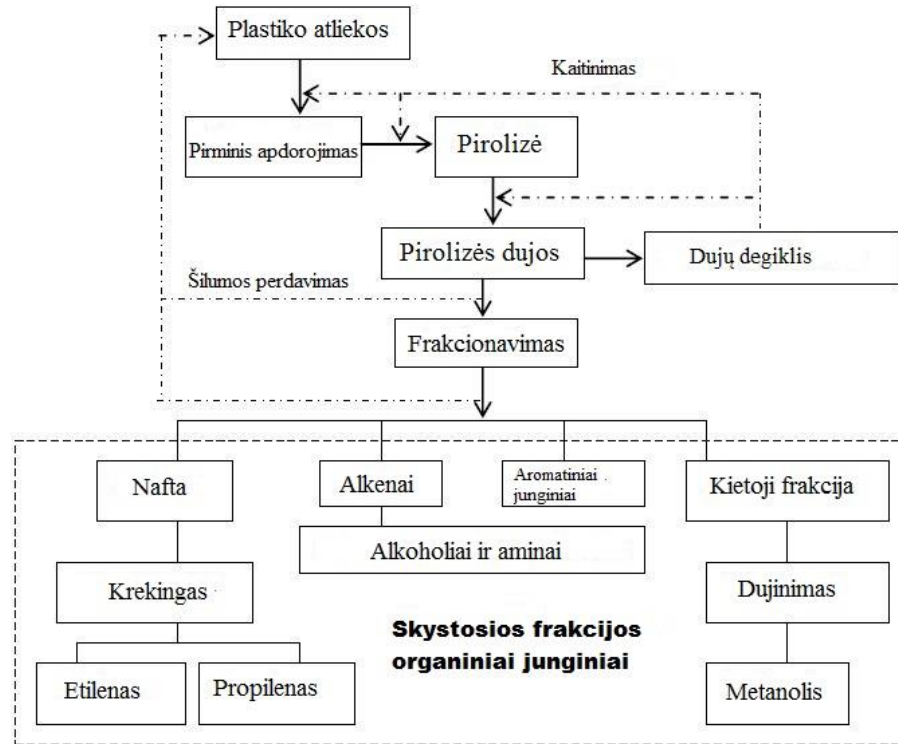
- Sumažinamas drėgmės kiekis atliekose jei norima gauti didesnę bionaftos išeigą ar sumažinti komunalinių atliekų transportavimo išlaidas;
- Siekiant padidinti kaitinamo paviršiaus plotą, atliekos yra susmulkinamos;
- Sugniuždomos pagal reikalingą kiekį;
- Susmulkintos atliekos netiesiogiai kaitinamos bedeguonėje aplinkoje;
- Įkrovoje esantys polimerai skyla į mažesnes molekules, palaiptiesiui garuoja ir palieka reaktorių;
- Išsiskyrę garai gali būti sudeginti siekiant pagaminti energiją arba kondensuoti į bionaftą;
- Kai kurios molekulės yra per mažos kad susikondensuotų todėl išlieka dujinės būsenos. Jos gali būti sudegintos kaip kuras (panaudotos technologijos reikmėms);
- Nesuskilusi polimerų dalis yra grynoji anglis su mineralinėmis priemaišomis, kuri yra pašalinama kaip kietoji frakcija;
- Netinkamų perdirbti komunalinių atliekų pirolizės procesas yra švarus ir beveik neišskiria jokių emisijų į atmosferą, lieka tiktai nesuskaldyta polimerų frakcija – koksas (anglis).

Netinkamos perdirbimui komunalinės atliekos susmulkinamos į mažesnes nei 5 mm dydžio daleles ir sukraunamos į rotacinį reaktorių. Liniją sudarytų trys reaktoriai. Trijų, nuosekliai sujungtų, periodinių rotacinių reaktorių sistema bendrą procesą padaro nuolatinį.

Tai duoda didesnę gamybos našumą, taupo energiją, reikalingą įkaitinti užkrautą ir paruoštą darbui reaktorių. Jei gamyba būtų daroma viename reaktoriuje, tai procesui įsibėgėjus, dujų išsiskiria per daug proceso energetiniam aprūpinimui, todėl jos nuvedamos į fakelą, kai trijų reaktorių atveju, trečiojo reaktoriaus proceso dujos yra panaudojamos pirmojo reaktoriaus įkaitinimui. Prieš pradėdant procesą naudojamas išorinis kuro šaltinis. Įkrova įkaitinama iki 500°C, nes esant tokiai temperatūrai vyksta organinių junginių skilimas į lakiuosius junginius. Lokieji junginiai praleidžiami per vandens aušinimo kondensatorių, kur bionafta ir vanduo transformuojama į skystą fazę. Bionafta ir vanduo atskiriami remiantis jų tankio skirtumu atskyrimo įrenginyje. Reakcijos eigoje susidarę garai ir dujos patenka į vandens kondensato surinktuvą, kuriam prisipildžius kondensatas šalinamas per sklendę. Susidariusios dujos ir kuro garai perėję per radiatorių, atvėsinti po kurio patenka į bionaftos kondensatorių. Prisipildžius bionaftos talpai skystas produktas išleidžiamas per sklendę. Dujos nukreipiamos į išsiplėtimo talpą, kurioje įmontuotas avarinis vožtuvas, susidariusiam pertekliniam slėgiui sumažinti. Dujos toliau iš išsiplėtimo talpos, po to nukreipiamos į proceso inicijavimo degiklį ir naudojamos reaktoriaus kaitinimui. Vandens buvimas reaktoriuje sumažina susidarančių kietų medžiagų kiekį: vanduo reaguoja su anglimi ir susidaro metanas. Naudojant pirolizės technologiją, galima perdirbti ir panaudoti sunkiai sutvarkomas atliekas, tokias kaip plastiko gaminius, sintetines pakuotes, automobilių padangas bei išvalyti užterštus gruntus ar panaudotus automobilių tepalus. Šiluma reaktoriai aprūpinami arba iš dalies sudeginant vandens-kuro mišinį, arba naudojant šilumos mainų principą. Šilumos perdavimo terpė pašildoma atskirame procese [G. Denafas 2017, Chen D. ir kt. 2014].

Technologiniu požiūriu pirolizės gamykla gali priimti perdirbimui ir rūšiuotas, ir nerūšiuotas atliekas. Tai priklauso nuo gamyklos pritaikymo lygmens, kur gali būti įrengta rūšiavimo linija priminėms ar proceso metu metu apdorotoms atliekoms rūšiuoti.

5.2. Plastiko atliekų pirolizės produktai ir jų sudėtis



25 pav. Plastiko atliekų pirolizė į skystąjį kurą ir dujas

Plastiko atliekos deginamos bedeguonėje aplinkoje. Polimerai skyla į mažesnes molekules, palaipsniui garuoja ir palieka reaktorių, išsiskyrę garai gali būti sudeginti siekiant pagaminti energiją arba kondensuoti į bionaftą. Toliau frakcionuojama bionafta skyla į naftą, alkenus, aromatinius angliavandenilius ir kietąją frakciją. Naftos produktai gali būti suskaidomi į etileno ir propileno produktus, alkenai suskaidomi į alkoholį ir aminorai, kietoji frakcija - koksas gali būti toliau dujinama į metanolio produktus.

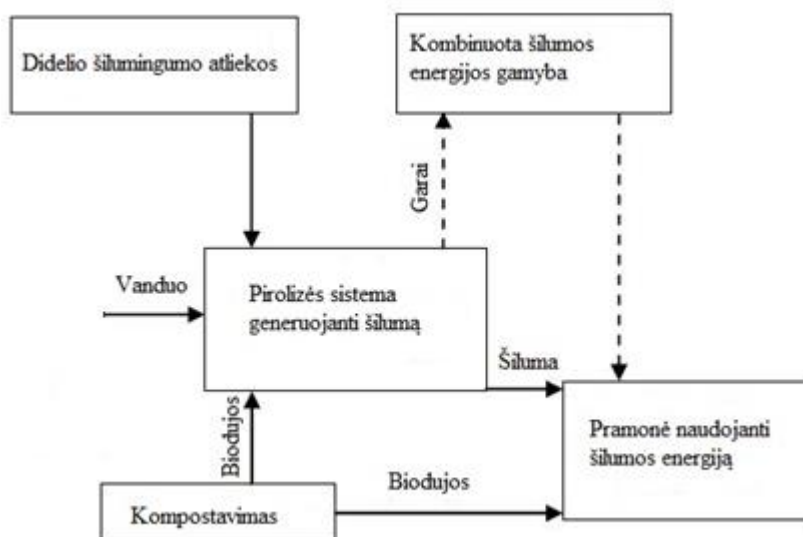
19 lentelė. Pirolizės proceso produktai

Produktas	Sudėtis	Apibendrinimas
Dujos	Daugiausia vandenilio (H ₂), metano (CH ₄), anglies monoksido (CO), anglies dioksido (CO ₂)	Susidaro apie 30% – 70% dujų priklausomai nuo komunalinių atliekų kiekio ir sudėties, didesnis pelenų kiekis sąlygoja didesnę dujų susidarymą. Reikiamas šiluminės energijos kiekis 3-12 MJ/Nm ³
Bionafta	Sudarytas iš angliavandenilių mišinio, kurio kompozicija priklauso nuo pradinės atliekų medžiagos sudėties.	Didelis lakiųjų medžiagų kiekis atliekose sąlygoja didelio bionaftos kiekio susidarymą. Skystosios fazės išėiga gali sudaryti apie 20% - 50% kiekį, priklausomai nuo komunalinių atliekų sudėties. Reikalingas šiluminės energijos kiekis 5-15 MJ/kg
Koksas	Kietoji frakcija, kuri sudaryta iš anglies ir mineralinių medžiagų priemaišų.	Kokso išėiga gali sudaryti 1% - 30% nuo bendro masės kiekio. Reikalingas šiluminės energijos kiekis 10-35 MJ/kg

[Miskolczy N., Ates F. ir Borsodi N. 2013]

5.3. Galutinių produktų taikymo pramonėje įvertinimas

Šis tyrimas buvo motyvuojamas norint išspręsti atliekų tvarkymo ir aplinkosaugos problemas Lietuvoje. Naudojant terminę dekompoziciją apdoroti plastikinių pakuočių atliekas ir tuo pačiu išgauti vertingas žaliavas bei panaudoti išsiskiriančią šiluminę energiją. [žr. 25 pav.].



26 pav. Pirolizės metu išsiskiriančios šiluminės energijos panaudojimas

Gaunama šiluma pirolizės proceso metu galima panaudoti garams generuoti, o šiluminę energiją panaudoti energijai gaminti. Arba pati sistema gali būti naudojama biokuro distiliavimui atlikti. Galutinių pirolizės produktų panaudojimas pavaizduotas 19 lentelėje.

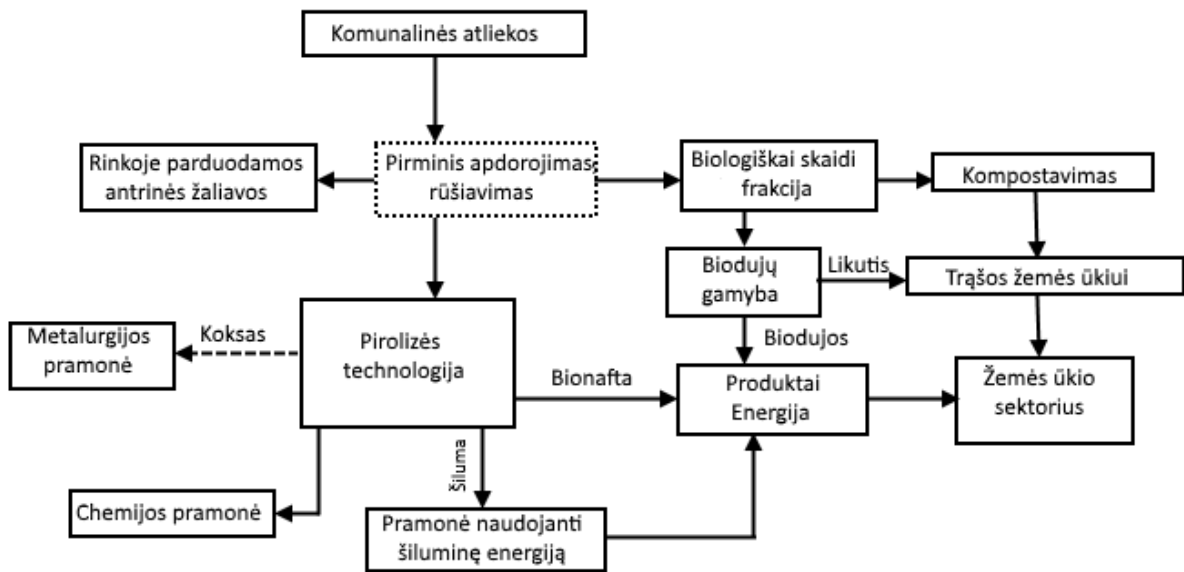
20 lentelė. Pirolizės produktų pritaikymas rinkoje

Gaminys	Taikymas	Pardavimų rinka
Bionafta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generatoriams gaminantiems elektros energiją; 2. Naudoti kaip kurą; 3. Parduoti naftos perdirbimo gamyklai tolimesniam apdorojimui. 4. Naudoti kaip žaliavą chemijos srityje 	Keramikos, stiklo, plieno gamybos fabrikai, elektros, katilinės gamyklos ir kt.
Dujos	Šilumos gamybai pirolizės reaktoriuose	
Koksas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Granulėmis arba briketais panaudoti deginimui; 2. Naudoti kaip aktyvią anglį, bedūmis kuras poligrafijoje 	Anglies, briketų fabrikai, plastiko gamyklos, metalo liejyklos ir kt.

5.4. Integruotas atliekų tvarkymo modelis pritaikant pirolizės technologiją pagal žiedinės ekonomikos koncepciją

Efektyvus atliekų tvarkymo modelis [žr. 26 pav.] apima rūšiavimą, perdirbimą, rinkodarą, energijos atgavimą, naudojant komunalines atliekas. Lietuvoje žemės ūkis yra vienas prioritetinių sektorių, atliekančių svarbų ekonominį, socialinį ir aplinkosauginį vaidmenį. Daugiau kaip pusė šalies teritorijos yra naudojama žemės ūkio veiklai plėtoti.

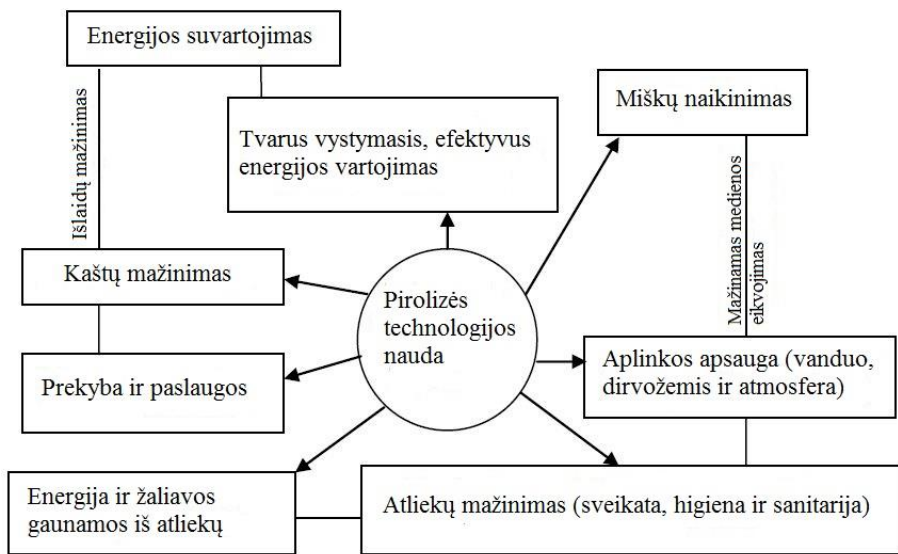
Pavaizduotame modelyje pirmiausia atliekamas pirminis rūšiavimas, atskiriama biologiškai skaidi ir antrinė žaliava. Biologiškai skaidžios atliekos gali būti kompostuojamos kaip žaliava trąšoms ir biodujų gamybai. Atskirta antrinė žaliava parduodama žaliavų supirkėjams. Pirolizės metu pagamintą bionaftą ir išsiskyrusią šiluminę energiją teikti žemės ūkio ir chemijos sektorių rinkai. Likusi nesuskaldyta polimerų frakcija – koksas, paklausus metalurgijos pramonėje, kur vartojamas kaip kuras ketui lydėti. Ši centralizuota sistema pagerintų energijos gamybos ir naudojimo efektyvumą.



27 pav. Atliekų tvarkymo modelis

5.5. Pirolizės technologijos plėtros nauda apimanti atliekų problemas sprendimą

Pirolizės technologijos potenciali nauda yra didelė, tai palengvina ES judėjimą link uždaro ciklo ekonomikos, kuriame nėra atliekų. Judėjimas aukštyt atliekų hierarchijos laipteliais duos didelę naudą aplinkai ir valstybėse, kuriose didelė dalis perdirbama ir utilizuojama [Europos Komisija 2017]. Pirolizės technologijos plėtra pagerina darnų vystymąsi, energijos vartojimo efektyvumą ir išsaugo aplinką. 27 paveiksle apibendrinama pirolizės technologijos reikšmė gaminant alternatyvią žaliavą.



28 pav. Pirolizės technologijos plėtros nauda

Perdirbimui netinkamų buitinių atliekų pirolizė ekonominiu ir aplinkos apsaugos požiūriu turi nemažai privalumų. Pirolizinant tokias atliekas gaunami produktai, kurie gali būti panaudoti šilumos ir elektros energijos gamyba.

Dabartinėse gamybos ir vartojimo sistemose nėra daug paskatų atliekų prevencijai ir jų kiekio mažinimui. Pirmiausia reikia atsižvelgti į gaminio dizaino kūrimą ir įpakavimo medžiagų pasirinkimą, atsižvelgiant į atliekų prevenciją, tada vieno proceso pabaigoje susidarę „likučiai“ taps žaliava kituose procesuose.

REKOMENDACIJOS IR SIŪLYMAI

Nors pirolizės technologija siūlo ilgalaikį plastiko atliekų mažinimo sprendimą, tačiau būtini tolimesni tyrimai, norint gerinti jos efektyvumą ir veiksmingumą. Taigi tolimesni tyrimai turi apimti:

- Išsamų ekonominį pirolizės technologijos vertinimą;
- Integruoti ekodizaino taikymas plastiko pakuočių produkcijai;
- Mažinti plastiko eksportą iš šalies,
- Atlikti drėgmės kiekio poveikį komunalinėse atliekose ir išanalizuoti tvarkymo, transportavimo ir rūšiavimo išlaidas, įvertinti atliekų esantį drėgmės kiekį atliekose.
- Integracija kitų atsinaujinančių energijos formų (pvz. :biodujos naudojamos kaip pradinis kuras);
- Sugeneruoti pradinis duomenis atitinkančius didelio masto gamybą ir prekybą.

Visi iškelti uždaviniai ir tikslai buvo atlikti remiantis išsamiais ir patikrintais duomenimis ir laboratoriniais eksperimentais, nepaisant bet kokių socialinių ar ekonominių iššūkių, su kuriais galima susidurti. Pirolizės technologijos taikymas išspręstų plastiko pakuočių atliekų tvarkymo ir energetikos problemas. Taikant technologiją realiame pasaulyje turi būti nuolat stebima ir vertinama atsižvelgiant naujausiomis mokslo tendencijomis.

IŠVADOS

- Išanalizavus susidarančių plastiko atliekų struktūrą ir sudėtį, nustatyta, kad didžiausią plastiko atliekų kiekį (39,6% (145000t)) sudaro pakuočių atliekos, papuolančios į komunalinių atliekų srautą. Nustatytos pagrindinės plastiko atliekų rūšys komunaliniame sraute - kombinuoti plastikai, kuriuose dominuoja LDPE (17%), HDPE (12%), PP (19%). Perdirbamas plastikinių atliekų kiekis šiuo metu Lietuvos statistikos duomenimis kinta nežymiai, beveik pusė (46,2%) plastikinių pakuočių atliekų šalinamos sąvartynuose.
- Išnagrinėtos prielaidos sėkmingam plastiko atliekų tvarkymui Lietuvoje, galime teigti, kad: a) Europoje didėjant kombinuoto plastiko pakuočių vartojimui ir augant susidarančių plastiko atliekų kiekiui; b) įgyvendinant ES žiedinės ekonomikos užduotis šalims narėms, kurios įpareigoja iki 2030 m. perdirbti 65% komunalinių ir 75% pakuočių atliekų (numatant, kad atliekų deginimas nebus įskaičiuojamas į perdirbtų atliekų kiekius) – būtina ieškoti alternatyvių neperdirbamų pakuočių atliekų sutvarkymo metodų, kurių dėka būtų galima atgauti medžiagas pakartotiniam naudojimui ir medžiagų „ciklo“ pratęsimui. Pagrindinė kliūtis taikyti pramoninę pirolizę atliekų tvarkymui Lietuvoje – netobula teisinė bazė, kuri prilygina pramoninius terminės dekompozicijos procesus (plastikų išskaidymą į pirmines organines medžiagas) atliekų deginimo procesams (kuomet medžiagos prarandamos).
- Parengtoje ir tyrimo metu taikytoje tyrimų metodų sistemoje apjungti tyrimų metodai, leidžiantis kompleksiškai įvertinti pirolizės, kaip alternatyvaus plastiko atliekų tvarkymo būdų, pritaikymo Lietuvoje teorines ir praktines galimybes. Atlikus laboratorinių eksperimentų duomenų analizę nustatyta, kad norint įvykdyti pakuočių atliekų terminę dekompoziciją būtina atlikti pirminį komunalinių atliekų rūšiavimą, atskirti bioskaidžias atliekas, kurių bendrame komunalinių atliekų sraute yra apie 46% ir antrines (perdirbimui tinkamas) žaliavas, kurias galima išskirti iki 5%. Pirolizei naudojant švaresnę žaliavą, gaunami geresni bei labiau prognozuojami rezultatai.

- Pirolizuojant pagrindinės plastiko atliekų rūšis, identifikuotas komunaliniame sraute (kombinuoti plastikai, kuriuose dominuoja: LDPE, HDPE, PP) gauti susidarančių produktų kokybiniai ir kiekybiniai rezultatai. Laboratorinių eksperimentų duomenys parodė, kad 500°C temperatūra yra optimaliausia plastiko pakuočių atliekų terminei dekompozicijai, vykdant 30-90 minčių laiko intervale. Gauti rezultatai: didžiausia bionaftos išeiga (65%), dujų išeiga (35%), kokso (2%).
- Remiantis tyrimų rezultatais, sukurtas integruoto atliekų tvarkymo modelis, kuriame pirolizė pateikiama, kaip vienas iš neperdirbamų komunalinių atliekų (plastiko pakuočių) srauto sutvarkymo būdų. Atsižvelgiant į tyrimų metu gautus rezultatus, galima daryti išvadą, kad plastiko atliekų pirolizės procesu pilnai galima pakeisti atliekų tvarkymo alternatyvą – deginimą. Į integruotą atliekų tvarkymo modelį įtraukiant ir pirolizės alternatyvą būtų įgyvendintas esminis žiedinės ekonomikos principas, kai vieno proceso pabaigoje susidariusios atliekos tampa žaliava kituose procesuose. Siekiant išsamiau įvertinti pramonės pirolizės plėtros galimybes ir perspektyvas šalies atliekų tvarkymo sistemoje, būtina atlikti išsamesnius kaštų-naudos bei medžiagų/energijos srautų (t.y. pirolizės metu susidariusių medžiagų tolimesnio panaudojimo) galimybių tyrimus.

LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

Mokslinės literatūros sąrašas

- Abnisa F., Sharuddin Sh. D.A. ir kt. A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 2016, vol. 115, p. 308-326.
- Adrados A., Caballero B.M. ir kt. Pyrolysis of plastic packaging waste: A comparison of plastic residuals from material recovery facilities with simulated plastic waste. *Waste Management*, 2012, vol. 32, p. 826-832.
- Chen D., Yin L. Ir kt. Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, 2015, vol. 37, p. 116-136.
- Chhabra V., Shastri Y. ir Bhattacharya S. Kinetics of Pyrolysis of Mixed Municipal Solid Waste- A Review. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, vol. 35, p. 513-527.
- Dembiras, A. 2011. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes, *Energy Conversion and Management* 52(2):
- DENAFAS G. 2017. Buitinių atliekų utilizavimas pirolizės būdu. Kaunas: Technologija
- Dias P., Javimczik S. ir kt. Recycling WEEE: Polymer characterization and pyrolysis study for waste of crystalline silicon photovoltaic modules. *Waste Management*, 2017, vol. 60, p. 716-722.
- Funda Ates, Norbert Miskolczi ir kt. Comparison of real waste (MSW and MPW) pyrolysis in batch reactor over different catalysts. Part I: Product yields, gas and pyrolysis oil properties. *Bioresource Technology*. Vol. 133, 2013, p. 443–454
- Jiao, F. ir kt. Study on the species of heavy metals in MSW incineration fly ash and their leaching behavior. *Fuel Processing Technology*, 2016, vol. 152, p. 108-115.
- Kaixin Li, Junxi Lei ir kt. Fe-, Ti-, Zr- and Al-pillared clays for efficient catalytic pyrolysis of mixed plastics. *Chemical Engineering Journal*, vol. 317, 2017, p. 800–809
- Lopez-Uribebarrenechea. Catalytic stepwise pyrolysis of packaging plastic waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2012 p. 54–62
- Lopez G., Artetxe M. ir kt. 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.

- Lopez, A.; Marco, I.; Caballero, B. M.; Laresgoiti, M. F.; Adrados, A. 2010. Pyrolysis of municipal plastic wastes: Influence of raw material composition, *Waste Management* 30(4): 620–627.
- Luo S., Xiao B. Ir kt. Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reactor. *Bioresource Technology*, 2010, vol. 101, p. 6517-6520.
- Lopez G., Artetxe M. ir kt. 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.
- Lidia Lombardi, Ennio Carnevale, Andrea Corti. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management*, 2015, p. 26–44
- Maoyun He, Bo Xiao ir kt. Syngas production from pyrolysis of municipal solid waste (MSW) with dolomite as downstream catalysts. *Pyrolysis* 2010, p. 181–187
- Miandad R., Baraka M.A. ir kt. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2017, vol. 119, p. 239-252.
- Miskolczi N., Ates F. ir Borsodi N. Comparison of real waste (MSW and MPW) pyrolysis in batch reactor over different catalysts. Part II: Contaminants, char and pyrolysis oil properties. *Bioresource Technology*, 2013, vol. 144, p. 370-379.
- Nkosi and Edison. A review and discussion of waste tyre pyrolysis and derived products. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2014, vol. II, p. 1-7.
- Na Wanga, Dezhen Chen ir kt. Hot char-catalytic reforming of volatiles from MSW pyrolysis. *Applied Energy*. 2017, p. 111–124
- Narinder Singh, David Hui ir kt. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites*, 2016, p. 1-14
- R. Miandad ir kt. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2016, p. 1-14
- Rohit Kumar Singh, Biswajit Ruj, Time and temperature depended fuel gas generation from pyrolysis of real world municipal plastic waste. *Fuel*, 2016, p. 164–171

- Saša V. PAPUGA, Petar M. GVERO, and Ljiljana M. VUKIĆ. Temperature and time influence on the waste plastics pyrolysis in the fixed bed reactor. *THERMAL SCIENCE*, Year 2016, Vol. 20, No. 2, pp. 731-741,
- Sathish Paulraj Gundupalli ir kt. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management*, 2017, p. 56–74
- STANIŠKIS, J., K., ir kt., 2016. *Darni Atliekų Vadyba*. Kaunas: Technologija.
- Themelis N.J., Castaldi M.J. ir kt. Energy and economic value of nonrecycled plastics(NRP) and municipal solid wastes (MSW) that are currently landfilled in the fifty states. *Advancing the Goals for Sustainable Waste Management*, 2011, p. 1-33.
- Yafei Shen, Rong Zhao, Junfeng Wang ir kt Waste-to-energy: Dehalogenation of plastic-containing wastes. *Waste Management*. 2016, p. 287–303
- Younan Younana, Marco W.M. ir kt. A particle scale model for municipal solid waste and refuse-derived fuels pyrolysis. *Computers and Chemical Engineering*, 2016, p. 148–159
- V. Chhabra, Y. Shastri ir kt. Kinetics of Pyrolysis of Mixed Municipal Solid Waste- A Review. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 35, 2016, p. 513 – 527
- W. K. Buah, A. M. Cunliffe and P. T. Williams. Characterization of products from the pyrolysis of municipal solid waste. *Process Safety and Environmental Protection*, 2007, p. 450–457
- Yafei Shen ir kt. Waste-to-energy: Dehalogenation of plastic-containing wastes. *Waste Management*, 2016, Pages 287–303
- VARŽINSKAS V. 2015. ES Pakuočių ir pakuočių atliekų politikos aspektai ir reikalavimai įmonėms. Kaunas: Technologija ISBN 9786099575209;
- Williams, P.T., 2006. Yield and composition of gases and oils/waxes from the feedstock recycling of waste plastic. In: Scheirs, J., Kaminsky, W. (Eds.), *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels*. John Wiley & Sons Press, West Sussex, pp. 285–309.
- Zaman, A. U. 2010. Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method, *International Journal of Environmental Science and Technology* 7(2): 225–234.

Kiti šaltiniai

- Europos Aplinkos agentūra [interaktyvus]. 2017. Assessment of Information Related to Waste and Material Flows: a Catalogue of Methods [žiūrėta 2017-03-18]. Prieiga per internetą: http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2003_96.
- Europos Aplinkos agentūra [interaktyvus]. 2017. Effectiveness of Packaging Waste Management Systems [žiūrėta 2017-03-19]. Prieiga per internetą: http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_3.
- Euromonitor International from national statistics [interaktyvus]. 2017. Production of Recycled Metal Waste and Scrap [žiūrėta 2017-03-19]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Euromonitor International from OECD [interaktyvus]. 2017. Electricity Produced by Combustible Renewables and Waste Generation [žiūrėta 2017-04-12]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Pakuočių tvarkymo organizacijos ataskaitų duomenys, 2015
- Eurostato duomenys 2015, Komunalinės atliekos ir tvarkymas pagal tvarkymo būdą, skelbta internete 2016m. spalio mėn.[interaktyvus], [žiūrėta 2017-05-05]. Prieiga per: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdpc240>
- Eurostato duomenys 2015, komunalinių atliekų perdirbimo nušimtis, skelbta internete 2016m. spalio mėn. [interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-28]. Prieiga per: http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=t2020_r120&plugin=1
- Aplinkos apsaugos agentūra, 2015. Pakuočių tiekimas vidaus rinkai, pakuočių atliekų tvarkymas 2015 m.[interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-30]. Prieiga per: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=a5a674f2-2878-4361-96ca-6829abca712>
- Aplinkos apsaugos agentūra, 2015. Perdirbtas plastikinių atliekų kiekis Lietuvoje 2009-2014 metais. [interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-16]. Prieiga per: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten0063&language=en>

- Aplinkos apsaugos agentūra, 2015. Pakuočių atliekų tvarkymas. [interaktyvus], [žiūrėta 2017-05-07]. Prieiga per: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=a5a674f2-2878-4361-96ca-6829abcab712>
- Europos aplinkos agentūra, 2015. Atliekų prevencija, teisės aktai: [interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-17]. Prieiga per: <http://www.eea.europa.eu/lt/signalai/signalai-2014/straipsniai/atliekos-problema-ar-istekliai#tab-related-briefings>
- Aplinkos apsaugos agentūra, 2015. Komunalinės atliekos. [interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=e4055918-4f56-4aee-8c10-620b407cc6f1>
- Eurostato duomenys, 2015. Susidarantis komunalinių atliekų kiekis (kg/gyventojui). [interaktyvus], [žiūrėta 2017-04-22]. Prieiga per: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_generated_by_country_in_selected_years_\(kg_per_capita\),1995-2015-T1.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Municipal_waste_generated_by_country_in_selected_years_(kg_per_capita),1995-2015-T1.png)
- Engineering and fuel technology. Pirolizės proceso schema. [interaktyvus], [žiūrėta 2017-05-14]. Prieiga per: <https://www.ievb.tu-clausthal.de/en/equipment/specially-developed-methods-for-fuel-characterization/>

Teisės aktai

- Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas (Žin., 1998, Nr. 61-1726). Įstatymas nustato bendruosius atliekų prevencijos, apskaitos, surinkimo, saugojimo, vežimo, naudojimo, šalinimo reikalavimus bei pagrindinius atliekų tvarkymo sistemų organizavimo ir planavimo principus.
- Lietuvos Respublikos pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo įstatymas (Žin., 2001, Nr. 85-2968);
- Lietuvos Respublikos mokesčio už aplinkos teršimą įstatymas (Žin., 1999, Nr. 47-1469);
- Lietuvos Respublikos administracinių teisės pažeidimų kodeksas (Žin., 1985, Nr. 1-1);
- Pakuočių ir pakuočių atliekų tvarkymo taisyklės, patvirtintos Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2002 m. birželio 27 d. įsakymu Nr. 348 (Žin., 2002, Nr. 81-3503);
- Gamintojų ir importuotojų registravimo taisyklės, patvirtintos Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2009 m. gegužės 27 d. įsakymu Nr. D1-291 (Žin., 2009, Nr. 65-2599);

- Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos finansų ministro 2008 m. liepos 9 d. įsakymas Nr. D1-370/1K-230 „Dėl mokesčio už aplinkos teršimą apskaičiavimo ir mokėjimo tvarkos aprašų patvirtinimo“ (Žin., 2008, Nr. 79-3140);
- Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2006 m. lapkričio 24 d. nutarimas Nr. 1168 „Dėl apmokestinamųjų gaminių ir pakuočių atliekų naudojimo ir (ar) perdirbimo 2007-2012 metų užduočių patvirtinimo“ (Žin., 2006, Nr. 130-4897);
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gruodžio 28 d. įsakymas Nr. D1-618 „Dėl pakuočių surinkimo ir pakartotinio naudojimo 2007-2012 metų užduočių nustatymo“ (Žin., 2007, Nr. 2-108);
- Reikalavimų visuomenės švietimui ir informavimui atliekų, kurioms taikomas gamintojo atsakomybės principas, tvarkymo klausimais tvarkos aprašas, patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2012 m. birželio 28 d. įsakymu Nr. D1-554 (Žin., 2012, Nr. 80-4206);
- Atliekų susidarymo ir tvarkymo apskaitos ir ataskaitų teikimo taisyklės, patvirtintos LR aplinkos ministro 2011 m. gegužės 3 d. įsakymu Nr. D1-367 (Žin., 2011, Nr. 57-2720);
- Gaminių ir (ar) pakuočių atliekų sutvarkymą įrodančių dokumentų išrašymo tvarkos aprašas patvirtintas 2013 gegužės 20 d. įsakymu Nr. D1-359 (Žin., 2013, Nr. 53-2652).
- Gamintojų ir importuotojų registravimo taisyklės, patvirtintos Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2009 m. gegužės 27 d. įsakymu Nr. D1-291 (Žin., 2009, Nr. 65-2599);