

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Tomas Vaitiekus

**KAUNO REGIONO BUITINIŲ ATLIEKŲ ENERGETINIS
POTENCIALAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. dr. Egidijus Puida

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS
ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

Doc. dr. Egidijus Puida

**KAUNO REGIONO BUITINIŲ ATLIEKŲ ENERGETINIS
POTENCIALAS**

Baigiamasis magistro projektas

Termoinžinerija (kodas 621E3001)

Vadovas

Doc. dr. Egidijus Puida

Recenzentas

Doc. Rolandas Jonynas

Projektą atliko

Tomas Vaitiekus

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Tomas Vaitiekus

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija (kodas 621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Kauno regiono buitinių atliekų energetinis potencialas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

_____ 2017 _____ Gegužės _____ 07 _____
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Vaitiekaus** baigiamasis projektas tema „Kauno regiono buitinių atliekų energetinis potencialas“ 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)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu: _____
(parašas, data)

Šilumos ir atomo energetikos _____
katedros vedėjas **Doc. E. Puida**
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa TERMOINŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema: Kauno regiono buitinių atliekų energetinis potencialas
The Energetic Potential of Household Waste in Kaunas Region
Patvirtinta 2017 m. balandžio mėn. 21 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-8
2. Darbo tikslas: apskaičiuoti Kauno regiono komunalinių atliekų energetinį potencialą, jas deginant atliekų deginimo jėgainėje.
3. Darbo struktūra: Darbą sudaro įvadas, literatūros apžvalga, komunalinių atliekų terminio apdorojimo technologijos, esama Kauno regiono komunalinių atliekų situacija, atliekų energetinio potencialo skaičiavimas, atliekų šalinimas, ekonominiai skaičiavimai, išvados ir literatūros sąrašas.
4. Reikalavimai ir sąlygos: darbas turi atitikti baigiamajam bakalauro darbui keliamus reikalavimus; Turi būti atliktas laikantis Lietuvos Respublikos normatyvinių reikalavimų. Papildomi duomenys skaičiavimams surinkti atliekant duomenų analizę.
5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2017 m. gegužė mėn. 23 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui Tomui Vaitiekui

Užduotį gavau Tomas Vaitiekus 2017.02.02
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas Egidijus Puida 2017.02.02
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vaitiekus Tomas. Kauno regiono buitinių atliekų energetinis potencialas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Egidijus Puida; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Energijos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: Komunalinės atliekos, deginimas, energetika, potencialas, šiukšlės.

Kaunas, 2017 m., 58 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe yra nagrinėjamas energetinis komunalinių atliekų potencialas. Visos atliekos turi vienokį ar kitokį energijos kiekį. Deginant atliekas galima gauti šiluminę ir elektrinę energijas, kurias vėliau naudoja miesto gyventojai.

Kadangi vartojimas didėja ir daugėja komunalinių atliekų, automatiškai kyla problema dėl jų tolimesnio tvarkymo. Pagal atliekų tvarkymo prioritetus, šalinimas sąvartynuose yra mažiausiai pageidaujamas. Todėl visos atliekos, kurios yra nerūšiuojamas ir neperdirbamos privaloma sudeginti, taip siekiant išsaugoti žemės plotus reikalingus sąvartynams ir pagaminti papildomos energijos.

Darbe buvo iškelti tokie uždaviniai: apžvelgti atliekų tvarkymo būdus ir principus, atlikti Kauno regiono komunalinių atliekų statistinių duomenų analizę, išanalizuoti komunalinių atliekų sudėtį, bei apskaičiuoti jų šilumingumą, apskaičiuoti atliekų energetinį potencialą ir pagaminamus metinius energijos kiekius komunalines atliekas deginant kogeneracinėje jėgainėje, taip pat atlikti ekonominiai skaičiavimai dėl jėgainės atsipirkimo laiko.

Siekiant atlikti darbe išsikeltus uždavinius, buvo ieškoma konkrečių duomenų apie susidarančius komunalinių atliekų kiekius Kauno regione. Atsižvelgus į atskiras atliekų rūšis ir jų procentinę sudėtį, buvo suskaičiuotas bendras komunalinių atliekų šilumingumas ir elementinė sudėtis (skaičiavimai atliekami prieš MBA ir po jo). Taip pat apskaičiuojamas komunalinių atliekų metinis potencialas, šlako pelenų kiekiai ir atsiperkamieji ekonominiai skaičiavimai.

Komunalinės atliekos sukelia dideles problemas. Kauno regione jų susidaro per 200 000 tonų. Nieko nedarant jos visos keliautų į sąvartynus. Būtent dėl to būtina analizuoti, skaičiuoti galimus variantus jas rūšiuojant, perdirbant, deginant, kad jos būtų kaip galima efektyviau tvarkomos.

Vaitiekus Tomas. The Energetic Potential of Household Waste in Kaunas Region. Master's thesis / supervisor doc. dr. Egidijus Puida. The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Energy Engineering

Key words: Waste, burning, energy, potential, trash.

Kaunas, 2017, 58 p.

SUMMARY

This project analyzes the energy potential of household waste. All waste has some form of energy. Thermal or electrical energy, this type of energy can be obtained by burning. The energy from burning waste can be used for the city's population.

As consumption rises and increasing amounts of households waste automatically appears a problem for their further processing. According to the waste management priorities landfilling is the least desirable. Therefore, all the waste that is not sorted and recycled must be burned in order to preserve the land and produce additional energy.

The project has set itself a number of objectives: overview of waste management methods and principles, carry Kaunas region municipal waste statistical analysis, analyze the composition of municipal waste, and calculate their calorific capacity, calculated waste energy potential and possible annual energy produced in quantities if they are burned in plants.

In order to carry out the work objective set was searched for specific data on household waste quantities Kaunas region. In view of the separate types of waste and by the percentage composition was calculated the total calorific value of the waste utility and elemental composition (the calculations are carried out before and after the MBT). Also calculated an annual potential of municipal waste, slag and ash emissions. Also made economic calculation.

This work is important because today's municipal waste is a big problem. Kaunas region generated more than 200 000 tonnes of household waste. Nothing without it all go into landfills. Necessary to analyze the options available to run them through sorting, recycling, incineration, that they are managed as efficiently as possible.

TURINYS

ĮVADAS.....	12
1 LITERATŪROS APŽVALGA.....	14
1.1 Buitinių atliekų problematika.....	14
1.2 Buitinių atliekų technologinis tvarkymas.....	16
1.2.1 Bendri nuostatai.....	16
1.2.2 Atliekų tvarkymas.....	19
1.2.3 Mechaninis apdorojimas.....	21
1.3 Atliekų tvarkymą reglamentuojantys teisės aktai.....	22
1.3.1 Europos Sąjungos atliekų tvarkymo teisinė bazė.....	22
1.3.2 Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo teisinė bazė.....	23
2 KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TERMINIO APDOROJIMO TECHNOLOGIJOS.....	25
2.1 Atliekų terminio apdorojimo raida.....	25
2.2 Pagrindinės komunalinių atliekų deginimo katilų rūšys.....	26
2.2.1 Katilai su judamų ardynų pakuromis.....	26
2.2.2 Verdančio sluoksnio katilai.....	27
2.3 Dūmų valymo įrenginiai.....	28
2.3.1 Ciklonai ir multiciklonai.....	28
2.3.2 Elektrostatiniai filtrai.....	29
2.3.3 Rankoviniai filtrai.....	30
2.3.4 Skruberiai.....	31
2.3.5 Išcentriniai purškiamieji džiovintuvai.....	32
3 ESAMA KAUNO REGIONO KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SITUACIJA.....	33
3.1 Kauno regiono buitinių atliekų susidarymas ir tvarkymas 2014 – 2020 metais.....	33
3.2 Kauno regiono komunalinių atliekų statistinių duomenų analizė.....	34
4 ATLIEKŲ ENERGETINIO POTECIALO SKAIČIAVIMAS JAS DEGINANT JĖGAINĖJE. 36	
4.1 Atliekų šilumingumas.....	36
4.2 Atliekų energetinio potencialo skaičiavimas iki po mechaninio – biologinio apdorojimo... 37	
4.3 Atliekų energetinio potencialo skaičiavimas po mechaninio – biologinio apdorojimo..... 38	
4.4 Degimo produktų skaičiavimo metodika.....	41
4.5 Komunalinių atliekų be mechaninio – biologinio apdorojimo degimo produktų skaičiavimas.....	43

4.6	Komunalinių atliekų po mechaninio – biologinio apdorojimo degimo produktų skaičiavimas.....	45
4.7	Pelenų susidarymas ir jų šalinimas	49
4.8	Išmetamų toksogenų kiekių skaičiavimas	50
5	EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI	52
6	IŠVADOS	54
7	LITERATŪROS SĄRAŠAS	55
8	PRIEDAI.....	58

Lentelių sąrašas

1. Lentelė Prognozuojami komunalinių atliekų kiekiai regionuose.....	35
2. Lentelė Kiekvienos komunalinių atliekų frakcijos cheminė sudėtis.....	35
3. Lentelė Komunalinių atliekų atskirų frakcijų šilumingumas.....	37
4. Lentelė Komunalinių atliekų šilumingumas po MBA.	40
5. Lentelė Pagaminamos energijos kiekiai	41
6. Lentelė Komunalinių atliekų cheminė sudėtis po MBA	46
7. Lentelė Degimo produktų skaičiavimo rezultatai.	48
8. Lentelė Susidariusių pelenų kiekiai kiekvienai atliekų frakcijai per metus.	49
9. Lentelė Vidutinės dienos išmetamųjų teršalų ribinės vertės.....	50
10. Lentelė Paskaičiuoti ir leistini teršalų kiekiai.	51
11. Lentelė 50 000 t/m atlieku deginimo stoties poreikiai medžiagoms ir išlaidos joms	52
12. Lentelė Papildomos išlaidos jėgainei	52
13. Lentelė Elektros energijos ir šilumos gamyba	53

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Atliekų tvarkymo prioritetai	17
1.2 pav. Atliekų susidarymo kelias	19
1.3 pav. Mišrių komunalinių atliekų srautų schema MBA įrenginyje	20
1.4 pav. Komunalinių atliekų tvarkymas Europos sąjungos šalyse 2013 metais	21
2.1 pav. Principinė komunalinių atliekų katilinės schema	25
2.2 pav. Principinė katilo su judama ardynine pakura schema.....	27
2.3 pav. Principinė verdančio sluoksnio schema	28
2.4 pav. Baterinio multiciklono sandara.....	29
2.5 pav. Dviejų zonų elektrostatinio filtro schema.	29
2.6 pav. Rankovinio filtro principinė schema.....	30
2.7 pav. Principinė purkštuvinio skruberio schema	31
2.8 pav. Principinė išcentrinio purškiamojo džiovintuvo schema	32
3.1 pav. Komunalinių atliekų pasiskirstymas Kauno regione 2014 – 2020 metais	33
3.2 pav. Komunalinių atliekų procentinė sudėtis Kauno regione 2016 metais.	34
4.1 pav. Komunalinių atliekų sudėtis po mechaninio – biologinio apdorojimo.....	39

Santrumpos ir žymėjimai

MBA – mechaninis biologinis apdorojimas

AEŠ – atsinaujinantys energetikos šaltiniai

EB – Europos Bendrija

ES – Europos Sąjunga

LR – Lietuvos Respublika

MBT – Mechanical biological treatment

TAR – Teisės aktų registras

MW – Megavatas

MWh – Megavatvalandė

kWh – Kilovatvalandė

KE – Kondensacinis ekonomizeris

ĮVADAS

Temos aktualumas. Didėjantis gyventojų skaičius pasaulyje, išaugęs vartojimas ir besiplečianti pramonė turi neišvengiamų padarinių gamtai ir ekologinėms sistemoms. Didėjantis vartojimas skatina intensyvesnį atliekų susidarymą. Daugelyje ekonomiškai neišsivysčiusių šalių, atliekos ilgai laikui yra paliekamos irti sąvartynuose. Sąvartynai yra padidintos rizikos vietovės, kadangi įvykus nenumatytiems atvejams, gali įvykti ekologinės nelaimės (pvz. pavojingų medžiagų patekimas į gruntinius vandenis). Taip pat, sąvartynai užima daug vietos, kurią būtų galima panaudoti kitiems tikslams.

Pagal atliekų tvarkymo prioritetus, atliekų kaupimas sąvartynuose yra mažiausiai pageidaujamas. Labiausiai skatinamas sprendimas – vengti atliekų susidarymo, jas rūšiuoti ir perdirbti. Tačiau ne visada pavyksta tai pasiekti. Tuomet lieka vienintelis sprendimas – nereikalingų atliekų deginimas, siekiant išgauti šilumos ir elektros energiją.

Temos problema. Kalbant apie atliekų deginimą yra svarbu nustatyti, ar tai bus energetiškai naudingas pasirinkimas ir kaip tai atsilieps aplinkai ir visuomenei.

Tinkamas ar netinkamas atliekų deginimas ir jų tvarkymas gali turėti neigiamos įtakos mūsų sveikatai bei gerai savijautai. Taip pat, atliekų tvarkymas turi įtakos ir nekilnojamam turtui, darbo rinkai, transportui ir kt.

Apie šiukšlių deginimą kalbama jau seniai. Yra atlikta įvairių galimybių studijų bei tyrimų. Teigiama, kad deginimas yra patogus būdas iš atliekų gauti elektros ir šilumos energijos, tačiau nemaža visuomenės dalis aktyviai priešinasi, remdamasi sveikatos sutrikdymais iškiliančias po jėgainės statybų.

Darbo tikslas – apskaičiuoti Kauno regiono komunalinių atliekų energetinį potencialą, jas deginant atliekų deginimo jėgainėje.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti atliekų tvarkymo būdus ir principus;
2. Apžvelgti komunalinių atliekų terminio apdorojimo technologijas ir atliekų deginimo jėgainių komponentus;
3. Atlikti Kauno regiono komunalinių atliekų statistinių duomenų analizę;
4. Išanalizuoti komunalinių atliekų sudėtį, bei apskaičiuoti jų šilumingumą;
5. Apskaičiuoti atliekų energetinį potencialą ir pagaminamus metinius energijos kiekius;
6. Atlikti ekonominius skaičiavimus parodančius galimą jėgainės atsipirkimo laiką.

Darbo struktūra. Darbą sudaro įvadas, penkios dėstymo dalys ir išvados. Pirmojoje dalyje aprašoma bendra atliekų problematika, technologinis komunalinių atliekų tvarkymas. Taip pat apžvelgiami teisės aktai reglamentuojantys atliekų tvarkymą Europos Sąjungoje ir Lietuvos respublikoje.

Antroje dalyje aprašoma komunalinių atliekų terminio apdorojimo technologijos. Apibūdinamos pagrindinės atliekų deginimo katilų rūšys, apžvelgiami dūmų valymo įrenginiai.

Trečioje dalyje aprašomi esami Kauno regiono komunalinių atliekų susidarymo situacija 2014 – 2020 metais, atliekama regiono atliekų statistinė analizė.

Ketvirtoje dalyje atliekamas komunalinių atliekų energetinio potencialo skaičiavimas. Degimo produktų susidarymo, prieš ir po mechaninio – biologinio apdorojimo įrenginių skaičiavimas. Taip pat apskaičiuojamas šlako ir pelenų susidarymas, bei toksogenų kiekis po mechaninio – biologinio apdorojimo įrenginių.

Penktoje dalyje pateikiami ekonominiai skaičiavimai. Jais apibrėžiami tariamai pastatytos jėgainės eksploatacijos kaštai, galimos pajamos ir išlaidos pardavus šilumą ir elektros energiją. Nustatomas galimas jėgainės atsipirkimo laikas.

1 LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Buitinių atliekų problematika

Atliekos – bet kokie daiktai arba medžiagos, kuriomis atsikratoma arba privaloma atsikratyti pagal visus galiojančius nacionalinės teisės aktus. Žemės ūkyje, miškininkystėje ir žuvininkystėje, taip pat susidaro tokios atliekos kaip šiaudai, mėšlas bei srutos, tačiau pagal Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymą šios atliekos nėra įtraukiamos į atliekų apskaitą [1].

Šiuo metu Europoje susidaro didžiuliai kiekiai visų rūšių atliekų: maisto atliekos, sodų atliekos, statybinės atliekos, pramonės atliekos. Bei sanitarinės atliekos: dumblas, plastikiniai maišeliai, elektronikos atliekos, seni televizoriai, senos transporto priemonės, baldų pramonės atliekos, popieriaus atliekos, tekstilės atliekos ir t. t.

Susidarančių atliekų kiekiai labai priklauso nuo produktų gamybos ir vartojimo įpročių. Importuojamos prekės, gaminiai ir produktai taip pat kelia didelius iššūkius, šalyje veikiančiai atliekų tvarkymo politikai. Vartojimo įpročiai taip pat turi didelę reikšmę susidarančių atliekų kiekiams, pavyzdžiui, prekės, kurios naudojamos kasdien, pakuojamos mažais kiekiais.

ES duomenų apie atliekas centras, kaupia duomenis apie atliekas Europos lygiu. Pagal turimus duomenis, 2012 metais 28 Europos valstybėse apie 62 % atliekų sudarė statybinės atliekos, kasybos ir gamybos atliekos. Kitos atliekos, tokios kaip metalas, kartonas bei popierius, cheminės ir medicininės atliekos, mediena ir jos atliekos, augalinės ir gyvulinės atliekos – visos išvardintos atliekų rūšys, sudarė apie 2 – 5 % nuo viso atliekų kiekio. Daugiausiai atliekų susidaro dėl namų ūkių veikos, taip pat svariai prisideda ir smulkusis verslas bei visuomeniniai pastatai (pvz. darželiai, ligoninės, mokyklos), visa tai sudaro apie 10 % visų susidarančių komunalinių atliekų kiekio [2].

Atliekos taip pat kelia didelę grėsmę jūrų, upių, ežerų bei pakrančių ekosistemoms. Šiukšlės vandens telkiniuose tampa vis didesnė problema. Netausodami aplinkos rizikuojame jos estetiniu, bei egzistenciniu aspektu.

Dažniausiai tiesiogiai arba netiesiogiai šiukšlės turi įtakos mūsų sveikatai bei aplinkai. Klimato kaitą veikiančios metano dujos, neteislingai naudojant sąvartynus, šiukšlės gali prasiskverbti į gruntinius vandenis, vėliau patekti į upes. Taip bus pakenkiama vandenių ekosistemai. Kaip ir buvo minėta, tai turėtų įtakos mūsų pačių sveikatai.

Neteisėtos veiklos, pavyzdžiui, neteisėtai atsikratytos atliekos, jų naikinimas deginant, taip pat turi įtakos. Tačiau visos šitos veiklos mastus sunku įvertinti.

Taip pat didžiulę įtaką gamtai kelia pavojingos atliekos: tepalai, akumulatoriai, benzinas, dyzelinas, chemijos pramonės atliekos, medicinos pramonės atliekos, statybinės atliekos ir kt. Visų šių atliekų patekimas į gamtą greičiausiai sukels ilgalaikį poveikį aplinkos augmenijai ir gyvūnijai.

Pamiškėje ar pakelėje dažnai matomos tokios šiukšlės, kaip padangos ar kitos stambios atliekos. Gali atrodyti, kad jos pradingsta laikui bėgant. Mokslininkų tyrimai rodo, kad šiukšlės gamtoje gali išsilaikyti labai ilgą laiką, šimtus metų, tai priklauso nuo tokių veiksnių, kaip saulės, deguonies, vandens poveikis. Pavyzdžiui į polietileninį maišelį suvyniotos atliekos gali irti kur kas ilgiau negu nesuvyniotos. Tuailete ir virtuvėje naudojamas vyniojamasis popierius suyra per mėnesį, tačiau skirtingi tyrėjai pateikia skirtingas irimo trukmes – nuo 2 savaitių iki 3 mėnesių. Laikraščio suirimas trunka apie pusantro mėnesio. Pieno produktų, sulčių pakuotes sudaro tik storas kartonas. Tokios pakuotės greičiausiai suirs per 2 – 3 mėnesius. Tačiau tose pakuotėse, kurių viduje yra aliuminio folijos sluoksnis (vadinamieji *tetrapakai*), sparčiai suirs tik išorinis sluoksnis. O likusi aliuminio folija dirvožemyje iris ilgus metus [3].

Nesutariama dėl to, per kiek laiko suyra iš plastiko pagamintas prekybos centro maišelis. Nors nemažai šaltinių deklaruoja, kad jo nebelieka per 10 – 20 metų, kai kurie mokslininkai teigia, kad šiukšlių sąvartynuose, kur nėra jokių išorinių veiksnių (nepasiekia saulės spinduliai, nėra plastiką ardančių mikrobu ir deguonies lygis minimalus), jie gali irti iki 400 metų. Matydami šią tendenciją, dauguma prekybos centrų pateikė užsakymus maišelių gamybai, kurie yra pagaminti iš *poliaktido* (PLA). Iš tokio plastiko pagaminti maišai suyra kur kas greičiau. Dar ilgiau nesuyra plastikiniai buteliai, pagaminti iš polietileno *tereftalato* (PET). Juos dažniausiai perkame kuomet norime atsigaivinti vaisvandeniais arba mineraliniu vandeniu. Toks butelis sąvartyno gilumoje iris apie 500 – 600 metų. Jeigu tokio plastiko butelis bus paliktas gamtoje, jo nebeliks tik po 50 metų. Gamtoje taip pat ilgai išlieka ir metalinės skardinės. Metalinė (plieno, alavo) pakuotė gamtoje suyra per maždaug 50 – 70 metų. Šiuolaikinės aliumininės skardinės dirvožemyje gal išsilaikyti dar ilgiau už metalines skardines. Manoma, kad ji gamtoje gali išlikti daugiau nei 200 metų. Atidavus tokią skardinę į taromatą ir ją perdirbus, pas vartotoją ji galėtų sugrįžti per 6 savaites. Ilgiausiai gamtoje išlieka paprasti stikliniai buteliai. Greičiausiai niekas nenustemba, kuomet statydami soduose šiltnamius arba tvarkydami aplinką randame stiklinius butelius. Moksliniais tyrimais yra nustatyta, kad stikliniai buteliai žemėje nesuirę gali išbūti 1000 ir daugiau metų [4].

1.2 Buitinių atliekų technologinis tvarkymas

1.2.1 Bendri nuostatai

Atliekų tvarkymas – svarbiausia ir sudėtingiausia aplinkos apsaugos sritis. Ši sritis apima atliekų iš gyventojų, mažų ir vidutinių verslo įstaigų, gydymo įstaigų, pramonės ir žemės ūkio įmonių surinkimą, apdorojimą ir atidavimą galutiniam saugojimui ar perdirbimui [5].

Atliekų tvarkymo sistemos prioritetai: atliekų susidarymo mažinimas, pakartotinis gaminių panaudojimas, atliekų perdirbimas, atliekų šalinimas.

Atliekų susidarymo mažinimas – veikslių visuma padedanti vengti atliekų susidarymo, mažinti susidarantių ir nenaudojamų atliekų.

Pakartotinis gaminių panaudojimas – kuo didesnis gaminių ir jų sudedamųjų dalių bei medžiagų panaudojimas. Tam, kad gaminiai būtų pakartotinai naudojami, turi būti taikomas ekologinio projektavimo, užstato sistemos ir ekonominės priemonės.

Atliekų perdirbimas – produktų ir medžiagų gaminimas naudojant atliekas ir taip siekiant mažinti gamtinių bei kitų išteklių panaudojimą.

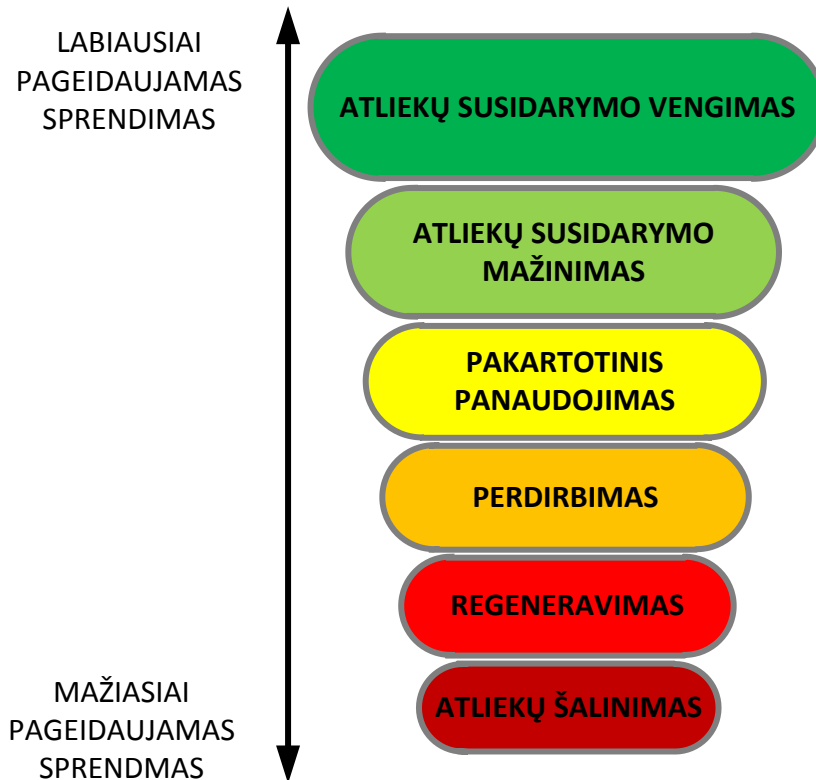
Atliekų šalinimas – procesas, kurio metu šalinamos atliekos įrenginiuose ir eksploatuojamos pagal teisės aktų reikalavimus. Tai antrą kartą nebe panaudojamos atliekos arba kurių negalima išvengti, taip pat atilikti jų perdirbimą ar kitaip panaudoti [7].

Didėjant atliekų kiekiui bei srautams, tobulėjo ir technologijos. Keitėsi atliekų tvarkymo sistemos ir tikslas – kaip surinkti ir pašalinti atliekas norint sumažinti jų kiekį.

Atliekų tvarkymo sistemoms buvo pradėtos naudoti antrinių žaliavų rūšiavimo iš pakartotinio naudojimo funkcijos. Atliekų panaudojimas ir tvarkymas tapo svarbus gamtinių išteklių išsaugojimui. Atliekų tvarkymas gali padėti taupyti gamtos išteklius, sumažinti pavojų aplinkai ir žmonių sveikatai bei sumažinti atliekų kiekį patenkantį į sąvartynus.

ES atliekų tvarkymo planas – buitinių atliekų panaudojimas naujo produkto gamybai. Kvalifikuotas atliekų tvarkymas – atliekų panaudojimas naujo produkto gamybai, vėliau energijos gavimui ir galiausiai pašalinimas sąvartyne. Išrūšiuotos atliekos daugelyje Europos šalių gyventojams nekainuoja, o štai atliekos, kurios nebetinkamos panaudoti yra apmokestinamos.

Europos Komisija vykdydama atliekų tvarkymo politiką, nustatė jų tvarkymo prioritetus. Šie prioritetai nustatyti pagal subalansuotumo kriterijų. Atliekų tvarkymo prioritetai (1.1 pav.) pirmą kartą buvo pateikti atliekų direktyvoje (75/442/EEC). Dabar ji svarbi atliekų tvarkymo direktyvų dalis. Tai įrodo, kad atliekų tvarkymas turi kur kas platesnę reikšmę. Atliekų tvarkymas pasirenkamas dėl aplinkos, socialinių bei ekonominių veiksnių saugojimo [9,6].



1.1 pav. Atliekų tvarkymo prioritetai

Atliekų tvarkymo prioritetų hierarchijoje yra svarbu pasirinkti atliekų tvarkymo strategiją, pritaikant minimalius išteklius. Pagrindinė strategija: atliekų mažinimas, pakartotinis panaudojimas ir perdirbimas. Šios atliekų tvarkymo prioritetų hierarchijos tikslas išgauti maksimalią naudą su minimaliu atliekų kiekiu. Taigi, pirmiausia turėtų būti vengiama atliekų susidarymo. O joms susidarius reiktų stengtis mažinti jų kiekį – pakartotinai panaudoti atliekas, o tos atliekos, kurių nebeįmanoma išvengti, turėtų būti perdirbamos ir kitaip panaudojamos tokiais būdais, kurie leistų sumažinti jų kiekį sąvartynuose ir kituose šalinimo įrenginiuose. Moderniose atliekų tvarkymo sistemose yra stengiamasi rasti visas įmanomas priemones atliekų susidarymui. Taip pat ieškomi veiksmai atliekų kiekio mažinimui bei stengiami užtikrinti tinkamą atliekų surinkimą ir rūšiavimą, kad kuo daugiau atliekų būtų pakartotinai panaudota kaip antrinės žaliavos arba išgaunant naujos energijos.

Esminiai atliekų tvarkymo principai:

1. Artimumo ir pakankamumo;
2. Visuotinum principai;
3. „Teršėjas moka“.

Atliekų tvarkymo sistemos taikomos šalyje ar savivaldybėje, yra organizuojamos vadovaujantis minėtais principais.

Efektyviausias atliekų tvarkymo principas – „Teršėjas moka“, kuris reiškia, kad atliekų tvarkymo išlaidos priklauso atliekų savininkui. Gamintojas ir importuotojas, dėl kurių naudojimo susidaro atliekos dengia medžiagų ir gaminių išlaidas. Štai visuotinio principas sako, kad atliekų surinkimo paslauga teikiama visiems atliekų turėtojams. Todėl tiek miesto, tiek kaimo gyventojai turi teisę pasinaudoti atliekų surinkimo sistemomis. O savivaldybės turi taip pat organizuoti atliekų surinkimo sistemas, kurios būtų prieinamos kiekvienam jos gyventojui. Artimumo ir pakankamumo principas naudojamas tuomet, kai nebetinkamos perdirbti ar kitaip panaudoti atliekos, turi būti pašalintos artimiausiame tinkamai įrengtame atliekų sąvartyne. Taip pat šis principas galioja ir perdirbimui, nes tuomet atliekos taip pat turi būti apdorojamos bei perdirbamos kuo arčiau atliekų susidarymo šaltinio. Atliekų tvarkymo sistemos veiksmingumas priklauso nuo pirmojo atliekų tvarkymo principo – artimumo ir pakankamumo.

Komunalinių atliekų Lietuvoje per metus susidaro ~1,3 mln. tonų. Šis skaičius kasmet vis daugėja. O pramoninių atliekų susidarymas siekia ~4,4 mln. tonų. Ir dauguma šių atliekų yra nepavojingos, kurias būtų galima panaudoti kaip kurą. Šiandieni Klaipėdoje dirba viena atliekų deginimo gamykla. O štai Europoje tuo pat metu galima rasti 410 modernių atliekų deginimo jėgainių. Urbanizacijos lygio šalyse, šios gamyklos veikia Europos miestų gyvenamosiose zonose ir centruose. Tai būdinga Vakarų Europai:

Prancūzija – 128 gamyklos

Vokietija – 67 gamyklos

Italija – 47 gamyklos

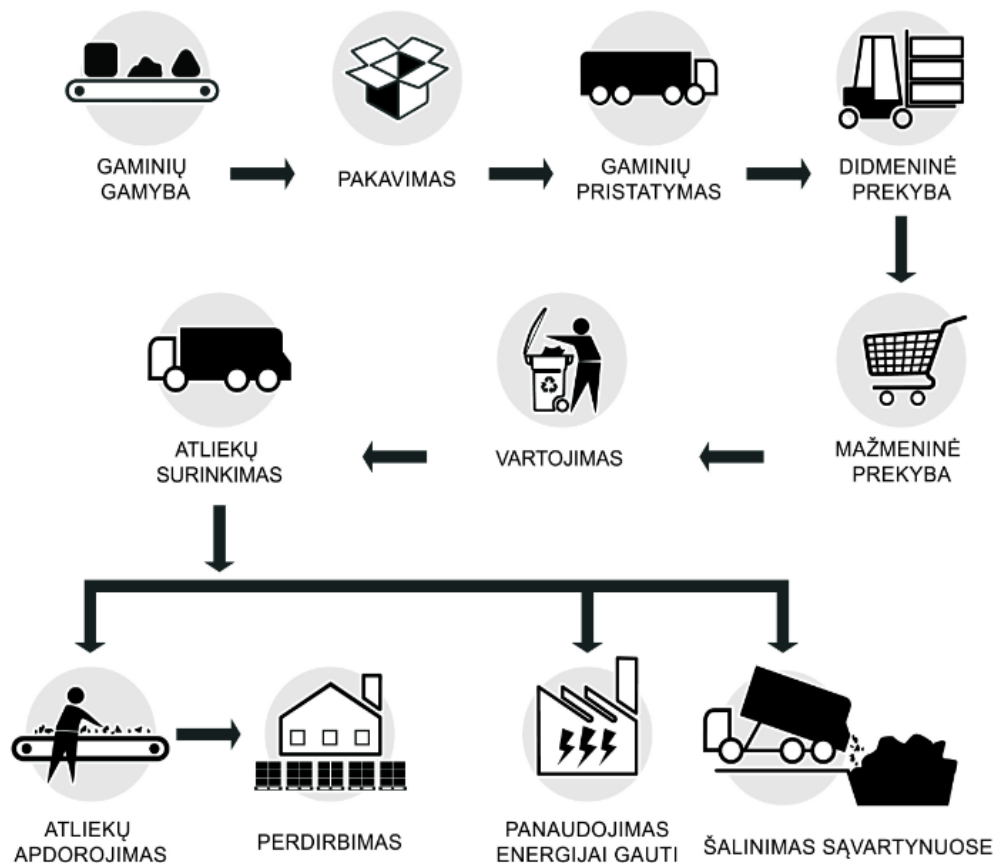
Švedija – 29 gamyklos (šiuo metu statomos dar šešios)

Ispanija – 8 gamyklos [2].

Šiandien atliekų deginimas yra laikomas pažangiausia ir mažiausią poveikį aplinkai turinti komunalinių atliekų perdirbimo technologija, kuri taip pat yra ir ekologiška. Tai yra aplinkai draugiškiau nei energijos gamyba deginant iškastinį kurą – akmens anglį, mazutą, gamtines dujas. Kadangi dalį atliekų sudaro biologinės kilmės medžiagos, jos yra deginamos aukštoje temperatūroje, todėl ne visai malonūs kvapai yra termiškai suskaidomi ir į aplinką nebepatenka. O procese susidarę pelenai bei šlakas gali būti panaudojami kelių statyboje. Taip pat po sudeginimo šlake likęs metalas galėtų būti išrenkamas tam, kad būtų panaudotas perdirbimui.

Kaip buvo aptarta anksčiau, deginimas yra geresnis pasirinkimas už iškastinį kurą ir naudingesnis už atliekų gabenimą į sąvartynus. Biologiškai degraduojančios atliekos į aplinką išleidžia didelius kiekius šiltnamio efektą sukeliančių dujų (metaną), bei daug kitokių kenksmingų medžiagų. Viena dalis dujų patenka į atmosferą, daug didesnė dalis pasilieka po žeme iš kur negali išstrūkti ir tampa padidintos rizikos vietomis.

Remiantis Europos Sąjungos direktyvomis, komunalinės atliekos yra laikomos atsinaujinančiu šaltiniu, todėl jų naudojimas kaip kuras yra teisingas. Apačioje (2 pav.) pavaizduotas atliekų susidarymo kelias: [10]



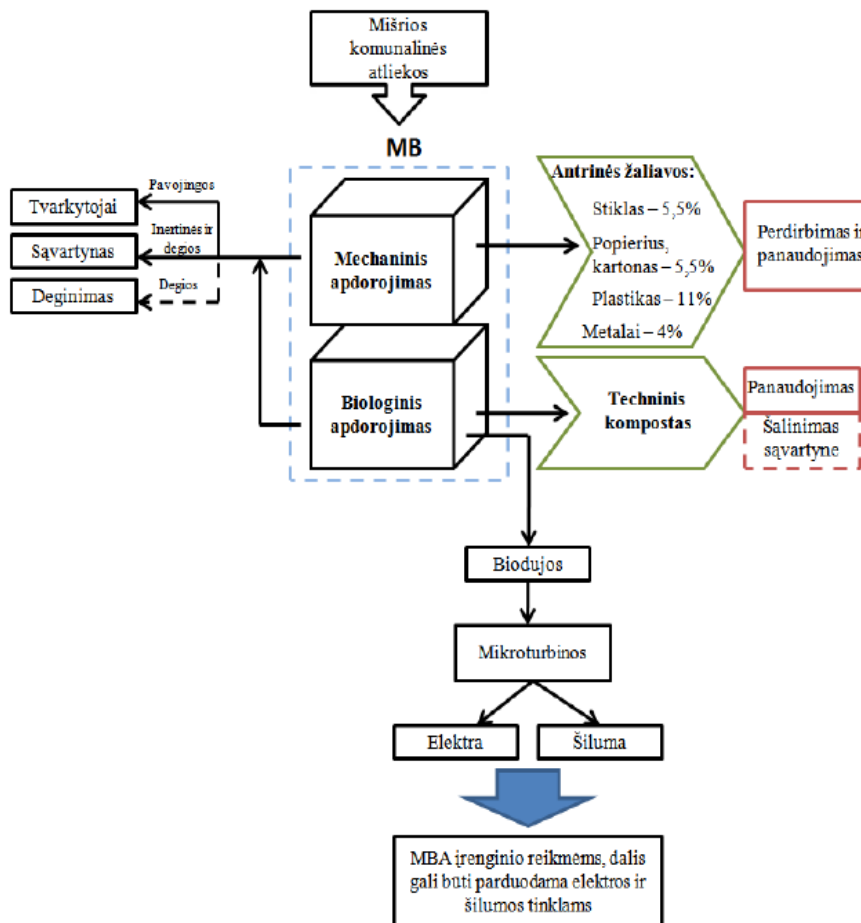
1.2 pav. Atliekų susidarymo kelias

1.2.2 Atliekų tvarkymas

Pagrindiniai mišrių komunalinių atliekų MBA (mechaninis – biologinis apdorojimas) įrenginyje vykstantys technologiniai procesai:

- atliekų priėmimas
- mechaninis atliekų apdorojimas
- biologinis aerobinis (kompostavimas), anaerobinis (pūdymas) arba mišrus bioskaidžių atliekų apdorojimas.

Apačioje (1.3 pav.) pavaizduota komunalinių atliekų MBA įrenginyje srautų schema [11].



1.3 pav. Mišrių komunalinių atliekų srautų schema MBA įrenginyje

Į mechaninio biologinio apdorojimo įrenginį mišrios komunalinės atliekos atvežamos specialiu atliekų surinkimo transportu. Su atliekomis atvažiuojęs transportas keliauja pro kontrolines svarstyklas. Vėliau gaunamas atliekų svoris išsaugomas mechaninio biologinio apdorojimo įrenginio darbo duomenų bazėje. Tuomet yra nustatomas atliekų dydis. Atliekos atmetamos arba tikrinamos papildomai. Mašinos yra pasveriamos ir važiuoja į uždarą mechaninio biologinio apdorojimo įrenginio atliekų iškrovimo patalpą. Ten iš sunkvežimių atliekos išmetamos į atliekų priėmimo bunkerį. Įrengus tris iškrovimo aikštes, iškrovimo patalpoje mišrias atliekas būtų galima vienu metu iškrauti iš trijų sunkvežimių atliekų. Vėliau atvežtos atliekos vizualiai apžiūrimos. Nepageidaujamos atliekos, tokios kaip elektros ir elektroninės įrangos, stambiagabaritinės ar kitokias pavojingas atliekos, atskiriamos mobilių krautuvų arba rankiniu būdu. Galiausiai konvejerio pagalba jos nukreipiamos į mechaninio apdorojimo įrenginius.

Stambiagabaritinėms atliekoms patekus į mechaninio biologinio apdorojimo įrenginį, jos atskiriamos ir išrūšiuojamos pagal rūšį: pavojingos medžiagos, plastikas, metalas, mediena bei elektroninė įranga. Tokios atliekos sukraunamos į atskirus kontenerius ir perduodamos išoriniams atliekų tvarkytojams ar perdirbėjams.

1.2.3 Mechaninis apdorojimas

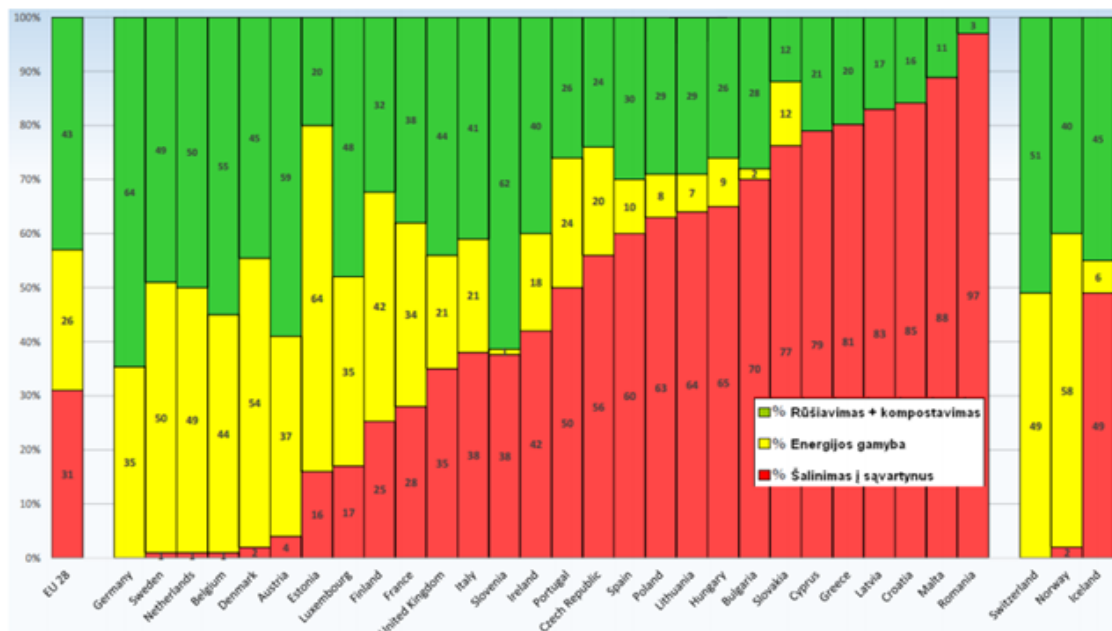
Mišrios buitinės atliekos atkeliavusios iš atliekų priėmimo patalpos (bunkerio), kelias į mechaninio biologinio apdorojimo įrenginio bunkerį. Iš šios patalpos atliekos nukeliaus į mechaninio apdorojimo bei rūšiavimo patalpas. Čia rankiniu ir automatinio būdu atskiriamos biologiškai skaidžios atliekos, netinkamos perdirbimui atliekos bei perdirbimui tinkamos atliekos. Mišrios komunalinės atliekos gali būti apdorojamos įvairiai: sijojamos, smulkinamos, homogenizuojamos, atskiriamos. O atliekas rūšiuoti galima panaudoti kelis būdus: naudoti mechaninius įrenginius arba mišrų rūšiavimą, kuomet panaudojamas rankinis būdas ir mechaniniai įrengimai.

Išrūšiuotus antrines žaliavas – perdirbimui tinkamas atliekas, jos presuojamos ir pakuojamos. Sumažinus atliekų dydį, sumažėja ir išlaidos atliekų transportavimui. Supakuotos perdirbimui tinkamos atliekos, perduodamos antrines žaliavas perdirbantiems ir superkantiems asmenims.

O išrūšiuotus perdirbimui netinkamas atliekas tolimesnė eiga yra kitokia. Tokios atliekos surenkamos į atskirą tarpinį bunkerį. Vėliau surinkus tam tikrą tokių atliekų kiekį, jos išvežamos į sąvartyną.

Biologiškai aktyvios komunalinės atliekos pateks į atskirą surinkimo bunkerį. Tuomet iš surinkimo bunkerio mobiliais krautuvais bus paduodama į biologinio apdorojimo įrenginius.

Pateiktame 1.4 paveiksle aiškiai matoma kaip ES narės tvarkosi su savo atliekomis. Matoma aiškiai, kad Vokietija į sąvartynus nieko nešalina, o viską išrūšiuoja arba sudegina, palyginti Rumunija, kuri beveik viską šaliną į sąvartynus ir tik labai nedidelę dalį išrūšiuoja [12].



1.4 pav. Komunalinių atliekų tvarkymas Europos sąjungos šalyse 2013 metais

1.3 Atliekų tvarkymą reglamentuojantys teisės aktai

1.3.1 Europos Sąjungos atliekų tvarkymo teisinė bazė

Iš ES aplinkos sričių, viena svarbiausių yra pripažinta atliekų tvarkymas. Tinkamai sutvarkyti didelius atliekų kiekius yra sudėtingas uždavinys. Atliekų tvarkymas apima ne tik komunalines atliekas, bet ir atliekas susidarančias mažose ir vidutinėse verslo įstaigose: žemės ūkyje, gydymo įstaigose, bei kitų ūkio šakų įstaigose.

ES atliekų tvarkymas apibrėžtas teisės aktuose, įvairiuose direktyvose, reglamentuose ir sprendimuose.

Pagrindiniai atliekų tvarkymo teisės aktai ir direktyvos:

2014 m. gruodžio 18 d. Komisijos reglamentas (ES) Nr. 13357/2014, kuriuo pakeičiamas Europos parlamento ir tarybos direktyva 2008/98/EB, kuri apibrėžia tai, kad ES reikia vengti atliekų susidarymo ir atliekas naudoti kaip išteklius. Ši direktyva įpareigoja operacijas atliekančiai įstaigai ar įmonei turėti leidimą arba būti registruotoms, valstybių narių įpareigojimas rengti atliekų tvarkymo planus. Joje taip pat nustatomi pagrindiniai principai, pavyzdžiui, įpareigojimas tvarkyti atliekas nedarant neigiamo poveikio aplinkai bei žmonių sveikatai, skatinama laikytis atliekų hierarchijos, ir vadovaujantis principu „teršėjas moka“ reikalavimas, kad atliekų šalinimo išlaidas turi padengti atliekų turėtojas, ankstesni turėtojai arba produkto, kurį gaminant susidarė atliekos, gamintojai. [13]

1994 m. gruodžio 20 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 94/62/EB dėl pakuočių ir pakuočių atliekų. Kadangi pakavimas yra labai svarbi socialinė ir ekonominė funkcija ir dėl to šioje direktyvoje numatytos priemonės turi būti taikomos nepažeidžiant kitų įstatymų dėl pakuočių kokybės ir transportavimo bei supakuotų prekių reikalavimų. Direktyvoje taip pat pabrėžiama, kad pakuotės būtų perdirbamos ir naudojamos pakartotinai. Tai pat ši direktyva numato reikalavimą, kad ES šalys sukurtų, panaudotų pakuočių grąžinimą bei panaudojimo sistemas [14].

2006 m. birželio 14 d. Europos parlamento tarybos reglamentas (EB) Nr. 1013/2006 dėl atliekų vežimo. Svarbu organizuoti ir reguliuoti atliekų vežimo priežiūrą ir kontrolę taip, kad būtų atsivėlgama į būtinybę išsaugoti, apsaugoti ir pagerinti aplinkos kokybę bei žmonių sveikatą, kad būtų skatinamas vienos desnis reglamento taikymas Europos sąjungoje [15].

2000 m. gruodžio 4 d. Europos parlamento ir tarybos direktyva. 2000/76/EB dėl atliekų deginimo. Direktyvoje išdėstyta atliekų deginimo įrenginių naudojimo sąlygos, kontrolė, bei nustatyta deginimo temperatūra, teršalų ribiniai dydžiai ir kiti parametrai.

2015 m. lapkričio 25 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2015/2193, dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą ir vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kiekio apribojimo. Pagal šios direktyvos penktą punktą kuris nurodo, kad kuro deginimas tam tikruose mažuose kurą deginančiuose įrenginiuose ir prietaisuose reglamentuojamas Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2009/125/EB (5) nurodytomis įgyvendinimo priemonėmis. Tačiau siekiant panaikinti

likusią reglamentavimo spragą, reikia skubių papildomų priemonių pagal direktyvą 2009/125/EB. Kuro deginimas dideliuose kurą deginančiuose įrenginiuose nuo 2013 m. sausio 7 d. reglamentuojamas Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2010/75/ES (6), o Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2001/80/EB (7) iki 2015 m. gruodžio 31 d. tebetaikoma dideliems kurą deginantiems įrenginiams, kuriems taikomos direktyvos 2010/75/ES 30 straipsnio 2 dalis [20]

1.3.2 Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo teisinė bazė

Lietuvos respublikoje teisės aktai reglamentuojantys atliekų tvarkymą, gali būti suskirstyti į šias grupes:

- Aktai apibrėžiantys bendruosius atliekų tvarkymo reikalavimus;
- Aktai, kuriuose nustatyti atliekų apdorojimo iš šalinimo reikalavimai;
- Aktai, kuriuose numatomas atskirų srautų tvarkymas.

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo teisės aktai:

2002 balandžio 12 d. Nr. 519 Lietuvos Respublikos vyriausybės nutarimas dėl valstybės atliekų tvarkymo 2014 – 2020 metų plano patvirtinimo. Planas išdėstytas komunalinių gamybos ir kitos ūkinės veiklos atliekos jų tvarkymo bei organizavimo Lietuvos Respublikos teritorijoje. Jis taip pat reglamentuoja energijos gamyba iš atliekų sudeginimą specialiose šilumos (elektros) jėgainėse. (Valstybės žinios, 2002 04 07, Nr. 40 1499)

1998 birželio 16 d., VIII – 787 Lietuvos respublikos atliekų tvarkymo įstatymas. Šiame įstatyme numatoma valstybės institucijų fizinių bei juridinių asmenų atsakomybė ir funkcijos tvarkant įvairias atliekas. Ir šiame įstatyme numatyta, kad už komunalinių atliekų tvarkymo sistemų organizavimą yra atsakinga savivaldybė. Lietuvoje jų yra 60 savivaldybių (Valstybės žinios, 1998-07-08, Nr. 61-1726).

1999 liepos 14 d., Nr. 217 Lietuvos respublikos ministro įsakymas dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo. Taisyklės nustato atliekų rūšiavimui reikalavimus surinkimui: vežimui, apdorojimui, papildomus biologinių ar pavojingų atliekų tvarkymo reikalavimus, prekybos atliekomis, atliekų naudojimo, atliekų apskaitos, ir tvarkymo dokumentų saugojimo tvarką. (Valstybės žinios, 1999-07-21, Nr. 63-2065)

2002 m. gruodžio 31 d., Nr. 699 Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl atliekų deginimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo. Įsakymas numato teršalų ribines vertes ir techninius reikalavimus, kurie privalomi visoms įmonėms deginančioms atliekas ar planuojantiems jas deginti Lietuvos respublikoje (Valstybės žinios, 2003 03 31, Nr. 31-1290).

2000 m. spalio 18 d., Nr. 444 Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl atliekų sąvartyno įrengimo eksploatavimo, uždarymo ir priežiūros po uždarymo taisyklių patvirtinimo.

Įsakymas paruošas vadovaujantis Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymo 23 straipsniu, Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymu, Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos nuostatų, patvirtintų Lietuvos Respublikos Vyriausybės 1998 m. rugsėjo 22 d. nutarimu Nr. 1138 „Dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos nuostatų patvirtinimo“, 8.3.6 papunkčiu ir įgyvendindamas 1999 m. balandžio 26 d. Tarybos direktyvos 1999/31/EB dėl atliekų sąvartynų (OL 2004 m. specialusis leidimas, 15 skyrius, 4 tomas, p. 228), 2002 m. gruodžio 19 d. Tarybos sprendimo 2003/33/EB, kuriuo pagal direktyvos 1999/31/EB 16 straipsnį ir II priedą nustatomi atliekų priėmimo į sąvartynus kriterijai ir tvarka (OL 2004 m. specialusis leidimas, 15 skyrius, 7 tomas, p. 314), 2006 m. rugsėjo 6 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2006/66/EB dėl baterijų ir akumuliatorių bei baterijų ir akumuliatorių atliekų ir direktyvos 91/157/EEB panaikinimo (OL 2006 L 266, p. 1) ir 2012 m. liepos 4 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2012/19/ES dėl elektros ir elektroninės įrangos atliekų (OL 2012 L 197, p. 38) nuostatas.

Kiekvienos savivaldybės taryba turi priimti sprendimą atliekų tvarkymo taisyklėms, kurios užtikrina, kad atliekos būtų tvarkomos ir kad jos atitiktų aplinkosauginius, techninius – ekonominius, higieninius reikalavimus.

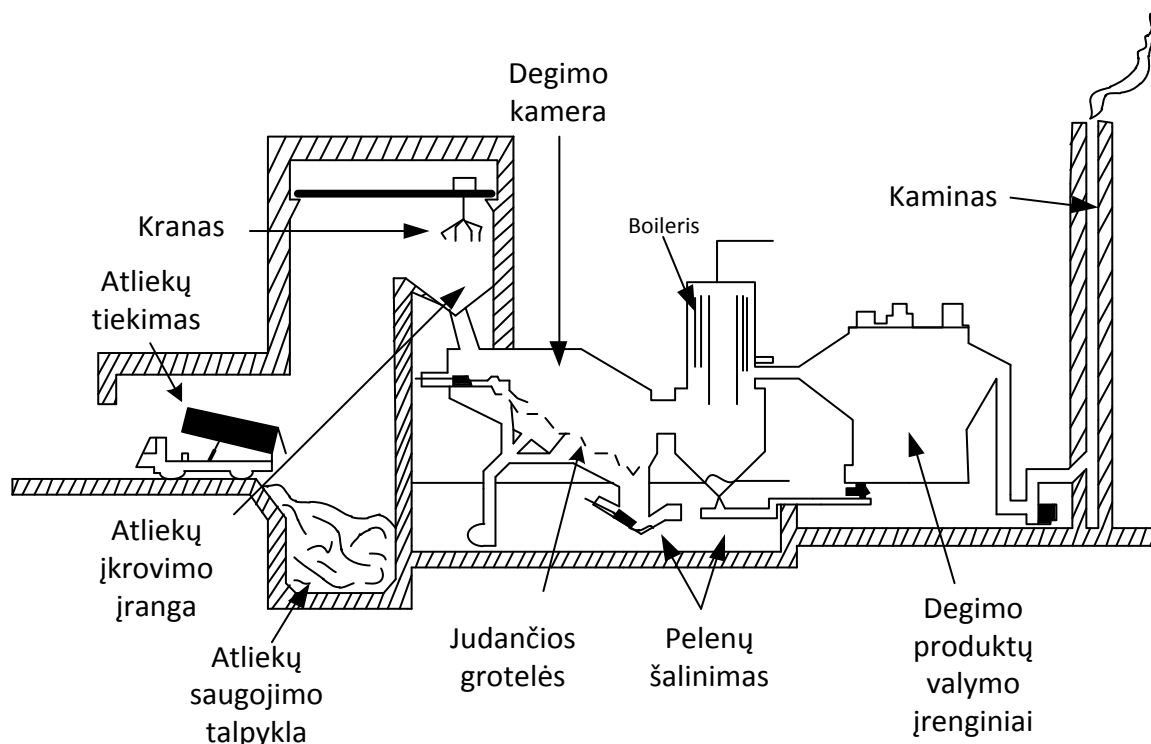
2 KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TERMINIO APDOROJIMO TECHNOLOGIJOS

2.1 Atliekų terminio apdorojimo raida

Jau XIX a. antroje pusėje, dėl spartaus gyventojų skaičiaus kilimo ir dėl labai greitai augančios bei besivystančios pramonės, atliekų susidarymas kėlė daug aplinkosaugos problemų. Miestai atrodė siaubingai. Buvo nuspręsta atliekas deginti, taip sumažinant jų kiekį miesto gatvėse. Pirmoji multiplikacinė atliekų deginimo sistema pradėjo veikti 1874 m. Notingeme (Jungtinė Karalystė) [21].

Vėliau paprastas atliekų deginimas Didžiosios Britanijos ir Vokietijos specialistų dėka buvo patobulintas ir pritaikytas siekiant gaminti šilumai. Gaminant šilumą buvo galima galvoti ir apie elektros energijos gamybą. Pirmasis elektros energijos gamybos iš atliekų deginimo proceso fabrikas buvo pastatytas Didžiojoje Britanijoje 1890 m.

Laikui bėgant, tobulėjant technologijoms, komunalinių atliekų deginimo įmonės efektyviai ėmė naudoti pagamintą energiją. Taip pat dėl naudojamų dūmų ir pelenų valymo įrenginių, aplinka buvo mažiau teršiama. Šiuolaikinės atliekų deginimo įmonėse esančios katilinės principinė schema pateikta 2.1 pav. [21].



2.1pav. Principinė komunalinių atliekų katilinės schema

Procesas prasideda atliekų supylimu į saugojimo talpyklas iš transportavimo priemonių. Atliekų saugojimo talpyklos plotį ir gylį nulemia supilamų ir sudeginamų atliekų santykis. Atliekų saugojimo talpyklos tūris paprastai lygus per dvi dienas sudeginamų atliekų kiekiui. Tiltinis kranas naudojamas perkelti atliekoms į atliekų įkrovimo angą, kuri nukreipia atliekas į krosnį. Didelių

matmenų ir nedegios atliekos turi būti pašalintos. Atliekos latakų patenka ant grotelių, kur sudega. Paprastai naudojamos kelios skirtingos kūrenimo sistemos. Oras į krosnį patenka iš apačios pro groteles, apačioje pučiant ventiliatoriui. Kadangi dauguma organinių medžiagų yra termiškai nestabilios, tai aukštesnėse temperatūrose išsiskiria įvairių dujų. Dujos ir mažos dalelės pakyla į degimo kamerą ir dega aukštesnėje nei 900 °C temperatūroje. Šiluminė energija paimama boilerio vamzdžiais cirkuliuojančiu vandeniu, kuris virtęs garu, suka turbiną gaminančią elektros energiją. Sudeginus atliekas galutinės medžiagos yra įkaitę degimo produktai ir pelenai. Išvalytos dujos per kaminą išleidžiamos į atmosferą. Pelenai ir nesudegusios medžiagos pro groteles krenta į surinktuvą po grotelėmis, kur atšaldomos vandeniu. Suodžiai iš dujų skruberio ir iš suodžių filtro transportuojami į atliekų šalinimo vietą [21].

2.2 Pagrindinės komunalinių atliekų deginimo katilų rūšys

Dažniausiai komunalines atliekas deginančioje termofikacinėje elektrinėje naudojamas katilas su viena iš šių technologijų – sluoksninis deginimas ant judančio ardyno arba deginimas verdančiame sluoksnyje.

2.2.1 Katilai su judamų ardynų pakuromis

Po antrinio rūšiavimo miesto atliekos keliauja į šiuos katilus. Laikomasi reikalavimo, kad atliekų gabaritai neviršytų didžiausio – 0,3 m. Šis reikalavimas naudingas dėl to, kad yra sutaupoma daug resursų, kurie būtų išieškojami norint susmulkinti atliekas. Komunalinės atliekos atvežtos į bunkerį neišbūna ilgiau 5 dienų. Bunkeryje dirba didžiuliai kranai, kurių pagalba atliekos yra sumaišomos, o vėliau tiekiamos į pakuros kanalą. Šis kanalas visuomet turi būti užpildytas šiukšlėmis, tokiu būdu kūrykla yra užsandarinama nuo perteklinio oro. Neužtikrinus sandaraus kūryklos darbo, pasiurbtas oras gali turėti neigiamos įtakos degimui ir degimo produktų rodmenims. Taip pat šiai problemai išspręsti gali būti projektuojama uždaromoji sklendė, kuomet katilinė sustabdoma ar kanalas yra be atliekų.

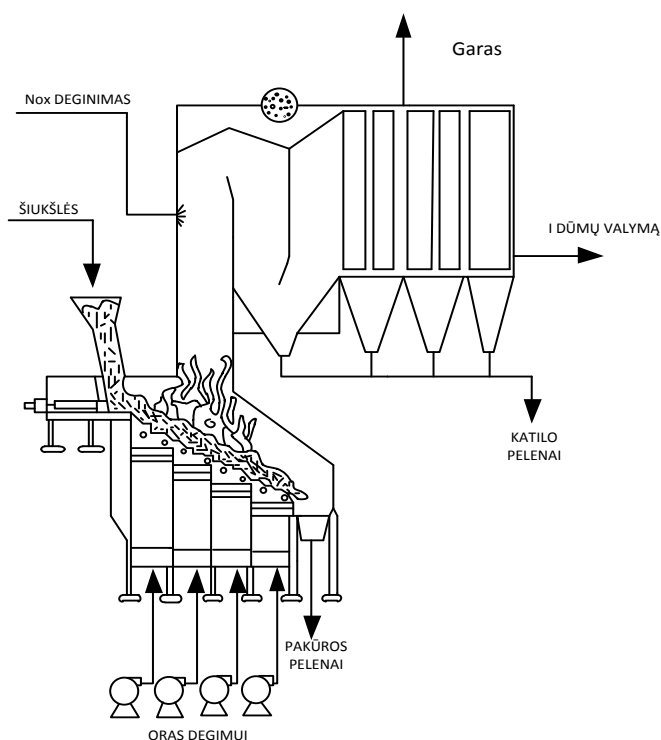
Kuras patekęs ant ardyno yra pašildomas ir vėliau išdžiovinamas. Ardynas pagal savo ilgį juda skirtingais greičiais. Priklausomai nuo ardyno ilgio, oras po juo tiekiamas skirtingai, nes lakiųjų medžiagų išgarinimui, degimui bei anglies degimui, reikalingas skirtingas oro kiekis. Pakuros gale yra įrengti šlako pašalinimo įrengimai.

Viena iš paprastesnių konstrukcijų – oru vėsiami ardynai. Oras paduodamas ardyno pradžioje padeda degimui, kadangi yra džiovinamas kuras. Jeigu prireikus procesui į kūrykla turi būti paduotas didesnio kaloringumo kuras, kurio šilumingumas viršija 18 MJ/kg, tuomet ardynas privalomas aušinti vandeniu. Geriausia kuomet oras paduodamas 150 °C. Jo padavimas reguliuojamas su valdikliais.

Pakuroje esantys vamzdžiai yra padengti keramikos sluoksniu, kad neužsiterštų nuosėdomis ir atspindėtų šilumą į deganti kurą. Didelio turbulentiškumo palaikymas kūrykloje įtakoja degimą,

padaro jį kokybiškesnį. Posūčiai ir pertvaros, naujos srovės padaro degimą geresnį. Dėl to gali būti tiekiamo oro kiekis sumažintas, dėl ko sumažėja ir dūmų tūris. Oro pertekliaus apie 6 O₂.

Dujų degimas vyksta temperatūroje iki 1300°C. Šioje riboje NO_x koncentracijos mažos, o CO ir suodžiai sudega labai gerai. Naudojant antrinio oro padavimo išskaidymą, NO_x efektingai sumažinami. Šiuose katiluose temperatūros žemesnės negu 8500°C yra vengiamos, nes šioje temperatūroje nepilno degimo produktai sudega labai lėtai. Žemiau yra principinė katilo su judama ardynine pakura schema [22].



2.2 pav. Principinė katilo su judama ardynine pakura schema

2.2.2 Verdančio sluoksnio katilai

I katilą patiekiamos atliekos turi būti susmulkinamos ir išrūšiuotos. Technologiškai į kūryklą susmulkintos atliekos patenka kartu su oru. Taip pat, kartu gali būti paduotas ir kalkakmenis, kuris surištų sierą. Kūrykloje yra palaikoma pastovi temperatūra (apie 850°C). Kūryklos apačioje įtaisyti purkštukai, pro kuriuos yra pučiamas oras į kūryklą. Taip yra pakeliamas smėlio sluoksnis, kurio temperatūra siekia apie 600°C. Šios temperatūros pakanka, kad kuras pradėtų skaidytis į lakiąsias medžiagas. Kūryklos dugne yra padarytos kelios angos, kuriose proceso metu susirenka sunkiosios medžiagos tokios kaip šlakai ir pelenai. Jų šalinimas vyksta paprastai: sraigtu smėlis kartu su šlaku ir pelenais yra šalinamas iš pakuros, kurios vėliau yra atskiriamos ciklone nusodinant kietąsias daleles. Iš pakuros smėlis yra grąžinamas atgal.

Verdančio sluoksnio katilai labiausiai tinka dalinai apdorotoms ir išrūšiuotoms atliekoms deginti.

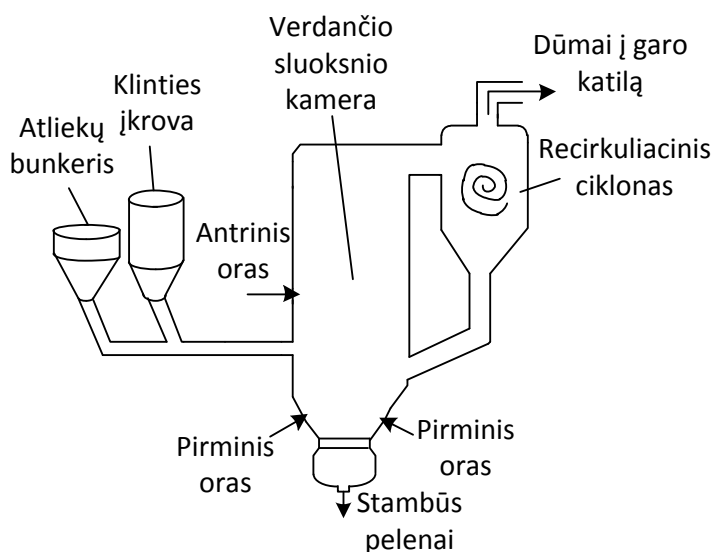
Verdančio sluoksnio katilų privalumai:

- Aukštas sudegimo laipsnis;
- Didesnė galia mažesniai įrenginiui;
- Galimi biokuro priedai.

Verdančio sluoksnio katilų trūkumai:

- Atliekas prieš deginant reikia paruošti, susmulkinti išrūšiuoti;
- Kuro dozavimas turi būti tikslus;
- Pelenai atskiriami aukštesnėje temperatūroje, todėl patikimumas sumažėja.

Žemiau yra pateikiama verdančio sluoksnio katilo principinė schema [23].



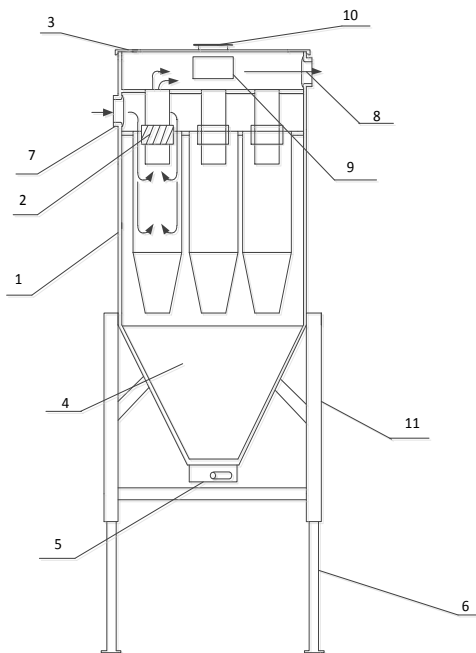
2.3 pav. Principinė verdančio sluoksnio schema

2.3 Dūmų valymo įrenginiai

Labai didelę įtaką sėkmingam, ekonomiškam ir ekologiškam katilinių bei elektrinių darbui turi dūmų valymo įrenginiai. Šiame skyriuje bus aprašyti pagrindiniai ir dažniausiai sutinkami dūmų valymo įrenginiai, tačiau pasitaikys ir keletas rečiau naudojamų, bet potencialių dūmų valymo įrenginių. Taip pat bus apžvelgti jų veikimo principai, privalumai ir trūkumai.

2.3.1 Ciklonai ir multiciklonai

Ciklonas – tai įrenginys, kuriame vertikaliuose vamzdžiuose, veikiant išcentrinei jėgai, kietosios dalelės atskiriamos nuo dujų. Multiciklonas yra sudarytas iš kelių į vieną sujungtų ciklonų.. Šiuose įrenginiuose degimo produktų, pelenų kiekis idealiomis sąlygomis gali būti išvalomas iki 90 %. Multiciklonas nėra sudėtingos konstrukcijos ir brangus įrenginys. Todėl jis yra paplitęs tarp naujo tipo ir rekonstruojamų katilinių. Parenkat multiciklonus turi būti žinomas dūmų kiekis elemente. Taip pat apskaičiuavus reikiamą darbinių elementų kiekį, pridedama 15 % atsarga. Tuomet pagal gautus skaičius parenkamas artimiausias standartinis multiciklonas [23].



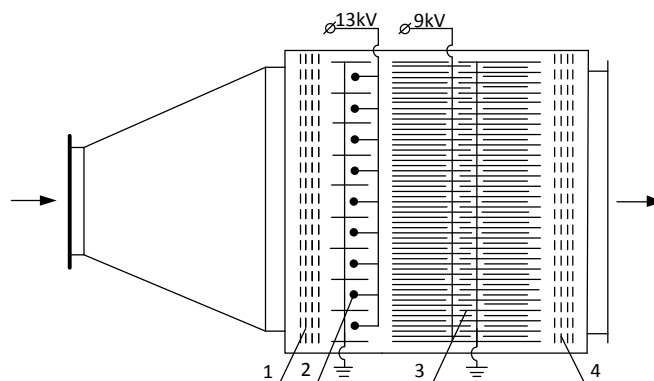
2.4 pav. Baterinio multiciklono sandara

1 – ciklono korpusas, 2 – mentelės 3 – ciklono uždangalas, 4 – ciklono apatinis bunkeris, 5 – apatinio bunkerio sklendė, 6 – kojos, 7 – dūmų įėjimo anga, 8 – dūmų išėjimo anga, 9 – valymo durelės, 10 – sproginimo vožtuvas, 11 – atraminis vamzdis

2.3.2 Elektrostatiniai filtrai

Elektrostatiniai filtrai yra vieni iš pažangiausių įrenginių, kurie iš oro valo kietąsias daleles. Šie filtrai daleles, kurių skersmuo mažesnis nei $1 \mu\text{m}$, gali išvalyti 99,9 % efektyvumu, kuomet dujos teka ne daugiau nei $100000 \text{ m}^3/\text{h}$. Šio filtro veikimas paremtas elektros krūviu, kuris veikia skirtingo poliariškumo principu.

Filtro veikimo principas. Iš pradžių dujos patenka į difuzorių. Difuzoriuje oras skaidosi, toliau patenka į pirminio valymo filtrą (1). Pirminis valymo filtras yra sudarytas iš trijų tankaus metalo tinklelio sluoksnių. Filtras sulaiko apie $50 \mu\text{m}$ dydžio daleles. Po to dujų srautas patenka į jonizatorių (2). Jame dalelės yra įelektrinamos. Po to įelektrintos dalelės lekia į kolektorių (3), kuriame ir nusėda. Už kolektoriaus yra įtaisytas apsauginis filtras (4). Jis padarytas iš kelių metalinių tinklelių. Apsauginis filtras išvalo dujas nuo kenksmingų priemaišų ir kvapų [23].



2.5 pav. Dviejų zonų elektrostatinio filtro schema

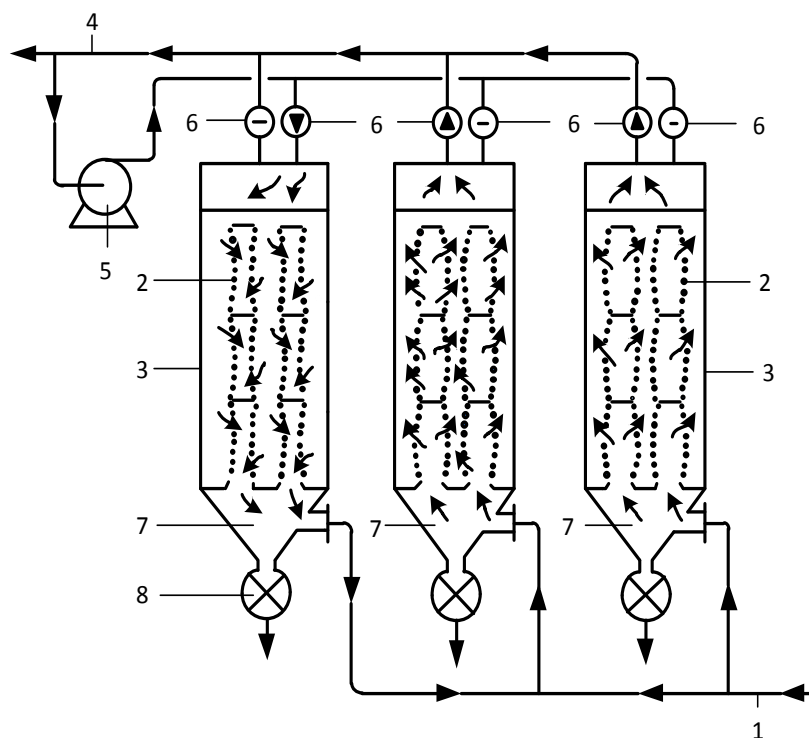
1 – priekinis pirminio valymo filtras, 2 – jonizatorius, 3 – kolektorius, 4 – užpakalinis apsauginis filtras

2.3.3 Rankoviniai filtrai

Šie įrengimai kietųjų dalelių valymo technologijoje taip pat yra efektyvūs. Rankoviniai filtrai sparčiai populiarėja pramonėje ir mažesniuose deginimo įrengimuose. Pastaraisiais metais jie taip pat populiarūs ir elektrą gaminančiose įmonėse. Šiuo metu rankoviniai filtrai sudaro apie 10 % įrenginių skirtų kietosioms dalelėms sugaudyti.

Rankovinio filtro veikimo principas. Dūmai patekę į rankovinį filtrą prakošiami pro pluoštinės medžiagos rankoves, jos sulaiko kietąsias daleles. Filtras veikia periodiškai – praėjus tam tikram laikui rankovės yra prapučiamos švariomis dujomis. Rankovių vidinėje dalyje susikaupę pelenai subyra į tam tikrus surinkimo bunkerius, esančius rankovinio filtro korpuso apačioje.

Filtro medžiaga turi būti valoma. Pagal medžiagos valymo būdą filtrai skirstomi į mechaninio nupurtymo, valymo grįžtančiu srautu ir valymas suspausto srauto impulsu. Apačioje esančiame paveikslėlyje pavaizduota rankovinio filtro veikimo schema su valymu grįžtančiu srautu [23].



2.6 pav. Rankovinio filtro principinė schema

1 – nevalytų dūmų latakas, 2 – filtrų rankovės, 3 – sekcijos gaubtas, 4 – išvalytų dūmų latakas, 5 – oro prapūtimo įrenginys, 6 – kontrolės vožtuvas, 7 – dulkių bunkeris, 8 – rotacinis vožtuvas

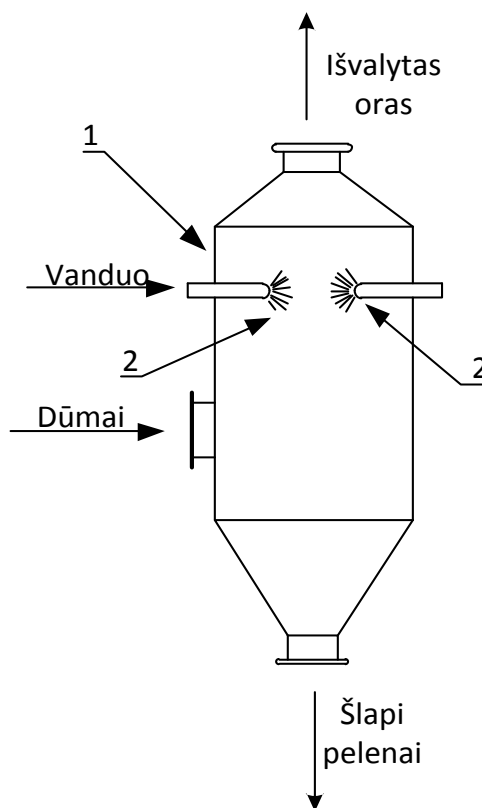
Medžiaga filtravimui parenkama pagal norimų pagauti dalelių didį, dūmų temperatūrą bei sudėtį. Dėvintis filtruojančiai medžiagai, valymo efektyvumas mažėja. Prakiurus filtrams labai suprastėja dalelių sugaudymas, todėl po šių filtrų yra svarbu atlikti kontrolinius matavimus dėl kietųjų dalelių.

2.3.4 Skruberiai

Skruberiai klasifikuojami pagal slėgį.

- Žemo slėgio – hidraulinis slėgis iki 1500 Pa
- Vidutinio slėgio – hidraulinis slėgis nuo 1500 iki 3000Pa
- Didelio slėgio – hidraulinis slėgis didesnis nei 3000 Pa

Detaliau nagrinėjamas purkštuvinis skruberis. Jis yra priskiriamas žemo slėgio skruberiams. Šis skruberis naudoja šlapiąjį valymo būdą. Kietosios dalelė vandeniū yra išplaunamos iš oro. Šis skruberis yra stačiakampis arba apvalus cilindras, su keliuose aukštuose išdėstytais 14 – 16 purkštukų. Šio skruberio schema pateikta (12 pav.), paduodami lašeliai turi būti dideli, kadangi valomo oro srautas juda apie 0,6-1,2 m/s greičiu ir gali juos išnešti. Dažnu atveju kada oro srautas viršija 5 m/s, už skruberio yra įrengiamas lašelių gaudytuvas. Projektuojant skruberį jo skersmuo 2,5 kartų mažesnis negu jo aukštis. Šie skruberiai yra pigesni nei rankoviniai filtrai ar elektrostatiniai skruberiai, tačiau jų eksploatacijai reikalingi didesni kaštai. Tokie dalelių išgaudytojai dėvisi dėl korozijos, susidariusios nuosėdos teršia vamzdynus ir aparatus, o susidariusiais nuosėdas periodiškai valomos. Skruberių efektyvumas yra mažesnis negu elektrostatinių ar rankovinių filtrų. Vykstant dūmų valymui skruberiuose, dujos yra atšaldomos vandeniū. Prieš išpučiant juos per kaminą, dujas vėl reikia pašildyti [23].



2.7 pav. Principinė purkštuvinio skruberio schema

2.3.5 Išcentriniai purškiamieji džiovintuvai

Šie džiovintuvai energetikoje yra naujiena. Pasaulyje tik keletas įmonių naudoja tokio tipo sunkiųjų metalų ir rūgštinių dujų neutralizatorius. Dažniausiai juos galima sutikti maisto, medicinos ar dažų gamybos pramonėje.

Išcentrinio purškiamojo džiovintuvo veikimo principas: Po katilo išėjusios karštos dujos, paduodamos į džiovintuvą. Tuo pat metu, iš viršaus pro purkštuką, labai smulkiais lašeliais yra paduodamas kalkių mišinys. Patekęs į karštų dūmų aplinką, jis absorbuoja rūgštines dujas ir pasišalina pro apatinę džiovintuvo angą, o sausas ir išvalytas oras yra paduodamas į tolimesnius kietųjų dalelių valymo įrenginius. Tokiu pat principu yra naikinami ir sunkieji metalai.

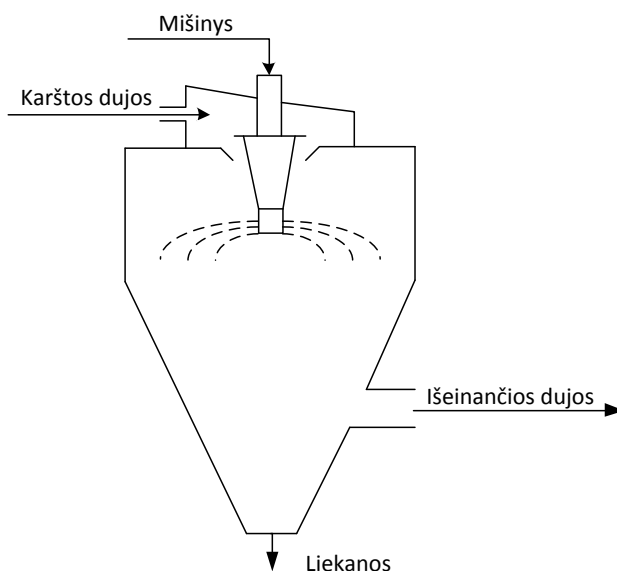
Jo naudojimo paskirtis pramonėje:

- Sunkiųjų metalų pašalinimas.

Aktyvuotoji anglis yra išpurškiama į karštų dujų srautą. Tuomet anglis absorbuoja dujose esančius sunkiuosius metalus, tokius kaip gyvsidabris arba kadmis, tuomet juos pašalins.

- Dioksinų ir furanų neutralizavimas.

Rūgštinės dujos yra neutralizuojamos kalkių arba natrio hidroksido injekcijomis. Šia cheminė reakcija gaunamas gipsas, gali būti panaudojamas kitose pramonės srityse. Šis procesas pašalina 94 proc. vandenilio chlorido rūgšties [24].



2.8 pav Principinė išcentrinio purškiamojo džiovintuvo schema

3 ESAMA KAUNO REGIONO KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SITUACIJA

3.1 Kauno regiono buitinių atliekų susidarymas ir tvarkymas 2014 – 2020 metais

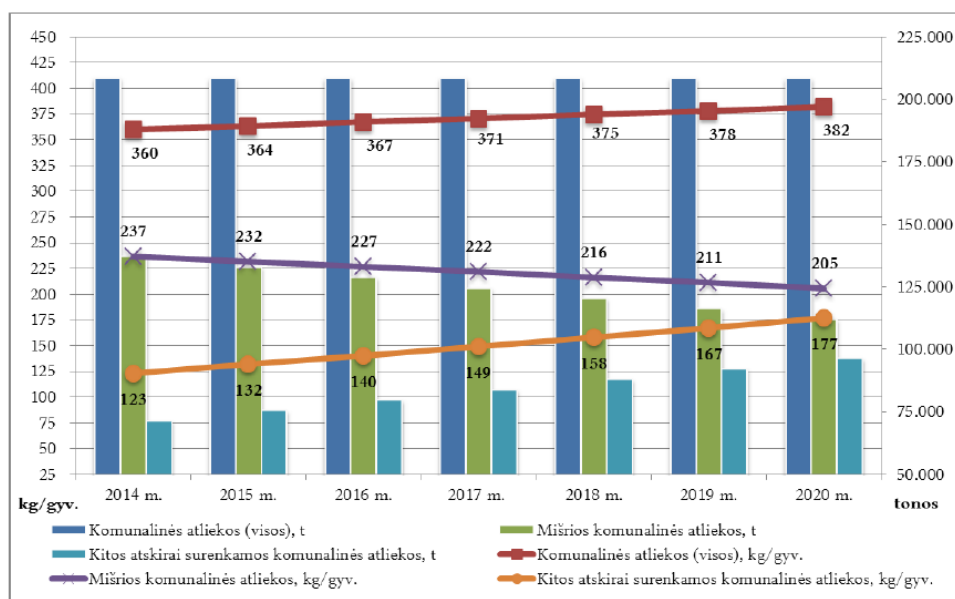
Kiekviena iš Kauno regiono savivaldybių, kurias sudaro Kauno miesto, Kėdainių, Kaišiadorių, Jonavos, Kauno ir Raseinių rajonų savivaldybės, yra nusistačiusios pagrindines taisykles dėl komunalinių atliekų tvarkymo. Vadovaujantis patvirtintomis taisyklėmis ir atliekų tvarkymo įstatymais, savivaldybės organizuoja atliekų tvarkymo sistemą, kuri yra būtina norint tvarkyti komunalines atliekas susidarančias toje savivaldybėje. Atliekų tvarkymo sistema paremta pagal principą „teršėjas moka“. Tai reiškia, kad už atliekų tvarkymą moka pirminis atliekų turėtojas pagal savivaldybės nustatytas įmokas.

Atliekų turėtojai savo atliekas atiduoda individualiuose arba kolektyviniuose konteineriuose. Įmonėms organizacijoms ir įstaigoms neturinčioms savo kiemo, komunalinių atliekų konteineriai gali būti statomi kartu su gyventojams skirtų komunalinių atliekų surinkimo konteineriais. Surinktos atliekos keliauja į savivaldybių sąvartynus, kur atliekamas antrinių žaliavų rūšiavimas arba į mechaninius – biologinius apdirbimo įrenginius.

Pagrindiniai 2014 – 2020 metų komunalinių atliekų tvarkymo plano prioritetai:

- Užtikrinti, kad visi žmonės turėtų galimybę atiduoti atliekas;
- Užtikrinti, kad atliekų tvarkymo prioritetai bus nuosekliai įgyvendinami;
- Sumažinti į sąvartynus patenkančių biologiškai skaidžių atliekų kiekį.

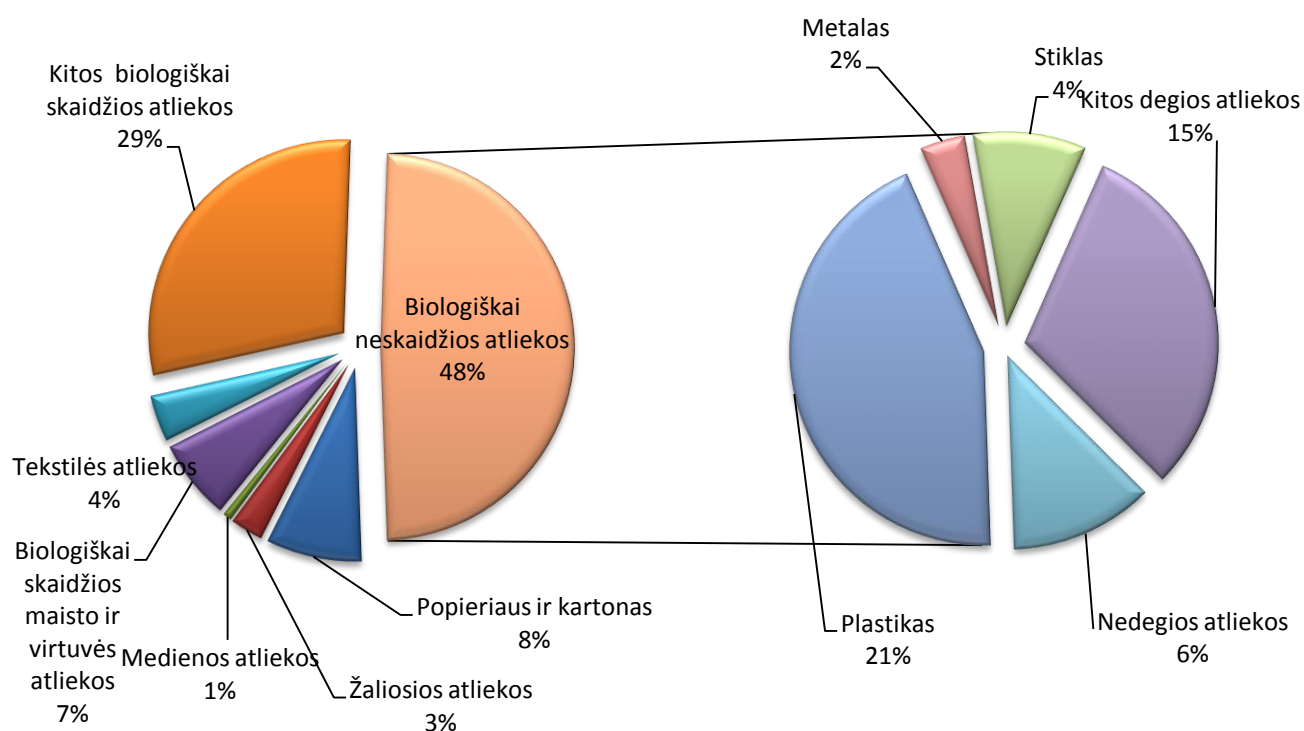
Kauno regiono komunalinių atliekų susidarymo prognozė 2014 – 2020 metais, buvo sudaryta remiantis 2009-2012 metų komunalinių atliekų susidarymo tendencija. Prognozė išreikšta pagal komunalinių atliekų kiekį tenkantį 1 žmogui per metus. Pagal prognozę matoma, kad gyventojų skaičius mažės, o komunalinių atliekų kiekis 1 žmogui didės [24].



3.1 pav. Komunalinių atliekų pasiskirstymas Kauno regione 2014 – 2020 m.

3.2 Kauno regiono komunalinių atliekų statistinių duomenų analizė

Išmetamos atliekos susideda iš daug skirtingų frakcijų. Ne visos jos yra degios ir energetiškai naudingos. Grafiškai, procentinė komunalinių atliekų sudėtis Kauno regione, pateikta 3.2 paveiksle. Diagrama pateikta taip, kad būtų matyti, kokia dalis komunalinių atliekų yra biologiškai skaidžios ir kuri dalis nėra. Pagal šią diagramą biologiškai neskaidžių atliekų buvo apie 46 % nuo viso surinkto atliekų kiekio. 56% buvo biologiškai skaidžios, joms priskiriamos tokios atliekos kaip: tekstilės atliekos (4%), popieriaus ir kartono atliekos (8%), maisto ir virtuvės atliekos (7%), medienos atliekos (1%), žaliosios atliekos (3%) ir kitos biologiškai skaidžios atliekos (31%). Biologiškai neskaidžioms atliekoms priskiriama: metalas (2%), stiklas (4%), plastikas (17%), kitos degios atliekos (15%), nedegios atliekos (8%) [16].



3.2 pav. Komunalinių atliekų procentinė sudėtis Kauno regione 2016 m.

Susidarančių atliekų kiekio prognozė pateikta 1 lentelėje. Skaičiai pateikti tonomis per metus. Kaip matyti iš lentelės, ateityje komunalinių atliekų kiekio augimas numatomas tik Kauno rajone, kituose rajonuose numatomas nežymus atliekų kiekio mažėjimas. Tokiam atliekų susidarymui daugiausiai įtakos turi demografiniai procesai, bei kylantis atliekų kiekis vienam žmogui.

1 Lentelė Prognozuojami komunalinių atliekų kiekiai regionuose (tonomis).

	2017 m.	2018 m.	2019 m.	2020 m.
Kauno miestas	130 611	130 597	130 585	130 573
Jonavos rajonas	10 361	10 013	9 666	9 318
Kaišiadorių rajonas	9 429	9 428	9 427	9 426
Kauno rajonas	29 798	30 126	30 459	30 795
Kėdainių rajonas	18 486	18 485	18 483	18 481
Raseinių rajonas	12 156	12 154	12.153	12 152
Viso regione	210 891	210 803	210 773	210 745

1 lentelėje pateikiamos mišrių komunalinių atliekų charakteristikos kiekvienai atliekų frakcijai atskirai, bei 20% drėgnumo medienos ir medienos atliekų naudojamosios masės sudėtis. Atliekų komponentų naudojamosios masės sudėtis sudaryta remiantis [26, 27, 28, 29, 30] šaltiniu.

2 Lentelė Kiekvienos komunalinių atliekų frakcijos cheminė sudėtis

Atliekų frakcija	Charakteristikos, %						
	C	H	N	S	O	A	W
Popierius ir kartonas	27,7	3,7	0,16	0,14	28,3	15	25
Plastmasė	55,1	7,6	0,9	0,3	17,5	10,6	8
Maisto atliekos	12,6	1,8	0,95	0,15	0,8	4,5	72
Tekstilė	40,4	4,2	3,4	1,1	23,2	8	20
Degios liekanos	47	5,3	0,21	0,2	27,7	11,7	8
Medienos atliekos	40,5	4,8	0,1	0	33,8	0,8	20
Komunalinės atliekos	28,22	3,13	1,00	0,26	10,92	7,23	49

Komunalinių atliekų naudojamosios masės sudėtis apskaičiuota pagal procentinius kiekius, bendrame sraute esančių komunalinių atliekų [21].

4 ATLIEKŲ ENERGETINIO POTENCIALO SKAIČIAVIMAS JAS DEGINANT JĖGAINĖJE

4.1 Atliekų šilumingumas

Svarbiausias faktorius, apsprendžiantis atliekų tinkamumą, naudoti kaip kurą energijos gamyboje – šilumingumas. Šilumingumas apskaičiuojamas naudojantis empirinėmis formulėmis. Skaičiuojant komunalinių atliekų šilumingumą naudota formulė [17]:

$$Q_a^n = 340 \cdot C^n + 1016 \cdot H^n + 63 \cdot N - 191 \cdot S_d^n - 98 \cdot O^n - 25 \cdot W^n \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.1)$$

Skaičiuojant medienos šilumingumą naudota formulė [17]:

$$Q_a^n = 339 \cdot C^n + 1035 \cdot H^n - 109 \cdot (O^n - S_d^n) - 25 \cdot W^n \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.2)$$

Q_a^n – apatinis šilumingumas, kJ/kg;

C^n – anglies kiekis, % pagal masę;

H^n – vandenilio kiekis %, pagal masę;

O^n – deguonies kiekis %, pagal masę;

S^n – sieros kiekis, % pagal masę;

N – azoto kiekis %, pagal masę;

W^n , – drėgmės kiekis %, pagal masę.

Popieriaus ir kartono šilumingumas:

$$Q_a^n = 340 \cdot C^n + 1016 \cdot H^n + 63 \cdot N - 191 \cdot S_d^n - 98 \cdot O^n - 25 \cdot W^n = 340 \cdot 27,7 + 1016 \cdot 3,7 + 63 \cdot 0,16 - 191 \cdot 0,14 - 98 \cdot 28,3 - 25 \cdot 25 = 9762,14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.3)$$

Tokiu pačiu būdu apskaičiuojamos ir kitos komunalinių atliekų frakcijos. Medienos frakcijos šilumingumui skaičiuoti bus naudojama kita formulė.

Medienos šilumingumas:

$$Q_a^n = 339 \cdot C^n + 1035 \cdot H^n - 109 \cdot (O^n - S_d^n) - 25 \cdot W^n = 339 \cdot 40,5 + 1035 \cdot 4,8 - 109 \cdot (33,8 - 0) - 25 \cdot 20 = 14513,33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (4.4)$$

Pagal 3.2 paveiklę pateiktą mišrių komunalinių atliekų procentinę sudėtį, perskaičiuojamas jų šilumos kiekis sraute. Visi skaičiavimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

Bendras komunalinių atliekų šilumingumas apskaičiuojamas įvertinus atskirų frakcijų šilumingumus ir frakcijų dalis sraute, pagal formulę:

$$Q_a^n = Q_{a1}^n \cdot i_1 + Q_{a2}^n \cdot i_2 + \dots + Q_{an}^n \cdot i_n = 9762 \cdot 0,143 + 24540 \cdot 0,153 + 4265 \cdot 0,332 + 15233 \cdot 0,025 + 14180 \cdot 0,145 + 14840 \cdot 0,017 + 0 \cdot 0,185 = 9860 \text{ kJ/kg} \quad (4.6)$$

3 Lentelė Komunalinių atliekų atskirų frakcijų šilumingumas

Atliekų frakcija	Šilumingumas	Atliekų dalis sraute	Šilumos dalies kiekis sraute
	kJ/kg	%	kJ/kg
Popierius ir kartonas	9762	14,3	1396
Plastmasė	24540	15,3	3755
Maisto atliekos	4265	33,2	1416
Tekstilė	15233	2,5	381
Degios liekanos	18425	14,5	2672
Medienos atliekos	14840	1,7	247
Nedegios atliekos	0	18,5	0
Komunalinės atliekos (teorinis apskaičiuotas)	9860	100	9860

Apskaičiuotas komunalinių atliekų šilumingumas – 9860 kJ/kg, tai yra pakankamas kaloringumas gaminti energiją, naudojant jas kaip kurą.

4.2 Atliekų energetinio potencialo skaičiavimas iki po mechaninio – biologinio apdorojimo

Įvertinus regionuose susidarančių atliekų kiekį, kuris per metus sudaro apie 210 000 tonų. Tarp šių atliekų yra ir nedegių atliekų, tokių kaip metalas, akmenys ar stiklas ir jos patenka į kūryklas, todėl jų energetinis potencialas prilyginamas nuliui.

Kaip matyti iš 3 lentelės, bendras vidutinis komunalinių atliekų šilumingumas yra 9860kJ/kg, o bendras komunalinių atliekų energetinis potencialas apskaičiuojamas:

$$Q_p^{ATL} = B_1 \cdot Q_d = 2.1 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot 9860 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2071860\text{GJ}. \quad (4.5)$$

B_1 – Atliekų kiekis

Q_d – atliekų šilumingumas

Vertinant bendrą energetinį potencialą, sudeginus 210 000 tonų komunalinių atliekų, apskaičiuojamas metinis pirminės energijos kiekis:

$$Q_{Pe} = \frac{Q_p^{ATL}}{T} = \frac{2071860000 \text{ MJ}}{7500\text{h} \cdot 3600\text{s}} = 76.73\text{MW}. \quad (4.6)$$

Žinant pirminės energijos kiekį ir tai jog šiluminė energija sudaro 75 % pirminės energijos, tai yra apie 58 MW šiluminės galios. Tada galima apskaičiuoti kiek jėgainė pagamins kilovatvalandžių šiluminės energijos per metus, dirbant 7500 h. Katilo naudingumo koeficientas $\eta = 0.9$:

$$Q_{\xi}^{Kiekis} = Q_{Pe} \cdot 0.75 \cdot 7500 \cdot \eta = 76.73 \cdot 0.75 \cdot 7500 \cdot 0.9 = 388445\text{MWh} \quad (4.7)$$

Taip pat prie šio skaičiaus nereikėtų pamiršti pridėti iš kondensacinio ekonomizerio gaunamos šilumos. Kadangi bendros komunalinės atliekos gana drėgnas kuras, tai kondensacinis ekonomizeris sugebės pagaminti apie 20 % šilumos nuo bendro šilumos pagaminimo skaičiaus. Tai būtų apie 466100MWh šiluminės energijos per metus.

Remiantis kitų panašios kogeneracinių elektrinių galios rodmenimis, galima sakyti, kad turint tokio galingumo katilą turbinos galingumas bus apie 25% katilo galingumo. Tai yra apie 19MW elektrinės galios, o turbinos naudingumas 90 %, tuomet per metus dirbant 7500h. pagamintos elektros energijos kiekis bus:

$$Q_e^{Kiekis} = Q_{Pe} \cdot 0.25 \cdot 7500 \cdot \eta = 76.73 \cdot 0.25 \cdot 7500 \cdot 0.9 = 129481\text{MWh} \quad (4.8)$$

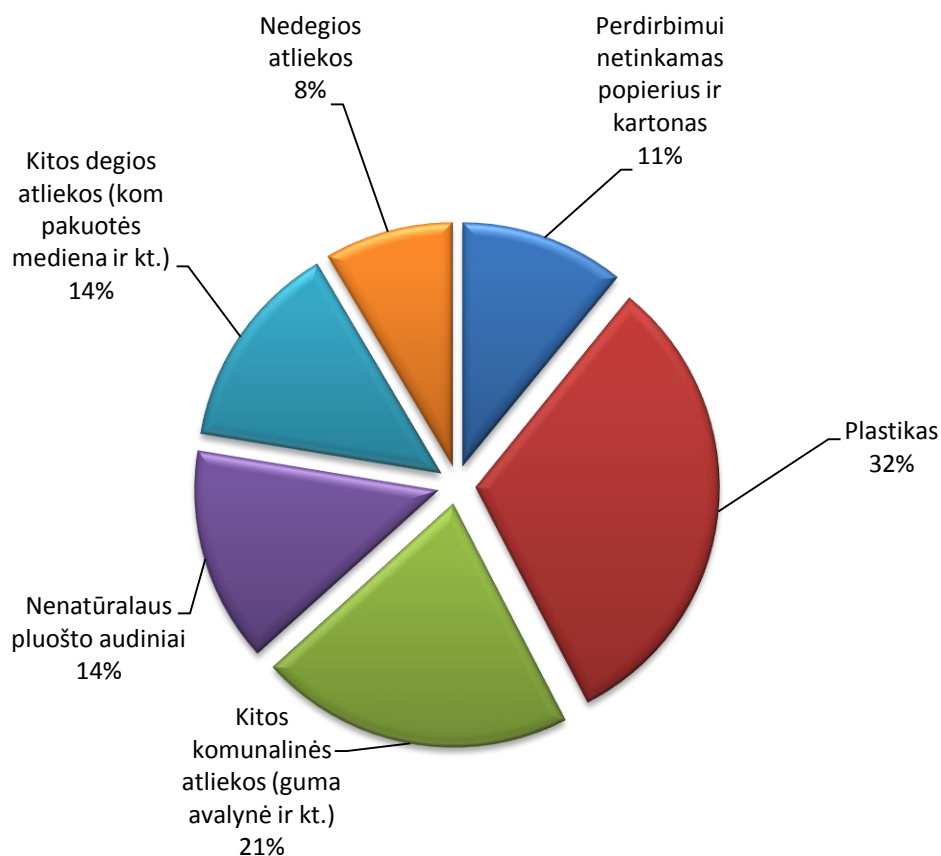
Skaičiavimas atliktas remiantis situacija, kuomet nebūtų naudojamas mechaninis – biologinis komunalinių atliekų apdorojimas. Dėl šios priežasties buvo nutarta atlikti teorinius skaičiavimus, dėl komunalinių atliekų potencialo po MBA.

4.3 Atliekų energetinio potencialo skaičiavimas po mechaninio – biologinio apdorojimo

2016 metais Kaune paleidus mechaninio – biologinio apdirbimo įrenginius, problemos dėl komunalinių atliekų sumažėjo. Įrengimai pajėgūs per metus išrūšiuoti iki 220 tūkst. tonų komunalinių atliekų iš Kauno miesto, Kauno, Kaišiadorių, Raseinių ir Jonavos rajonų. Kėdainiuose veikia atskira komunalinių atliekų rūšiavimo linija kuri yra pajėgi išrūšiuoti iki 20 000 tonų per metus. Biologinio apdirbimo pajėgumai atitinkamai 100 000 tonų ir 10 000 tonų per metus.

Pagal 1 lentelę yra žinoma, kad komunalinių atliekų Kauno regione susidaro per 210 000 tonų per metus, iš kurių (pagal 3.2 pav.) 48 % yra biologiškai neskaidžios arba 52 % yra biologiškai degraduojančios (skaidžios). Taigi apie 100 000 tonų yra biologiškai skaidžios. Kaip ir buvo minėta

visą šį kiekį Kauno ir Kėdainių linijos yra pajėgios sutvarkyti. Iš likusių 101 000 tonų yra išrenkamos perdirbimui tinkamos medžiagos. Pagal 2014 – 2020 metų Kauno regiono komunalinių atliekų tvarkymo planą 2020 metais šių perdirbamų atliekų turėtų būti nemažiau 26 % nuo bendro atliekų srauto. Iš kurių: 5,5% stiklas, 5,5% popierius ir kartonas, 11% plastikas, 4% metalai. Taigi tinkamų deginimui atliekų kiekis sudaro apie 50 000 tonų per metus. 16 paveiksle nurodoma, kokia šių atliekų frakcija po mechaninio – biologinio apdorojimo [16].



4.1 pav. Komunalinių atliekų sudėtis po mechaninio – biologinio apdorojimo

Kiekvienos iš komunalinių atliekų šilumingumas skaičiuojamas pagal (4.1) formulę. Bendras komunalinių atliekų šilumingumas apskaičiuojamas įvertinus atskirų frakcijų šilumingumus ir frakcijų dalis sraute, pagal formulę:

$$Q_a^n = Q_{a1}^n \cdot i_1 + Q_{a2}^n \cdot i_2 + \dots + Q_{an}^n \cdot i_n = 9762 \cdot 0,11 + 24540 \cdot 0,32 + 18425 \cdot 0,21 + 15233 \cdot 0,14 + 14180 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 16700 \text{ kJ/kg} \quad (4.9)$$

4. Lentelė Komunalinių atliekų šilumingumas po MBA.

Atliekų frakcija	Šilumingumas	Atliekų dalis sraute	Šilumos dalies kiekis sraute
	kJ/kg	i	kJ/kg
Perdirbimui netinkamas popierius ir kartonas	9762	0,11	1061
Plastikas	24 540	0,32	7680
Kitos komunalinės atliekos (guma, avalynė ir kt.)	18 425	0,21	3856
Nenatūralaus pluošto audiniai	15 233	0,14	2179
Kitos degios atliekos	14 180	0,14	1972
Nedegios atliekos	0	0,08	0
Komunalinės atliekos po MBA (teoriškai apskaičiuotos)	16 700	1	16 700

Tarp likusių atliekų taip pat yra metalai, stiklai ir kitos nedegios atliekos, jų energetinis potencialas skaičiavimuose prilyginamas nuliui.

Kaip matyti iš 4 lentelės, bendras vidutinis komunalinių atliekų šilumingumas yra 16 700 kJ/kg, o bendras komunalinių atliekų energetinis potencialas apskaičiuojamas:

$$Q_p^{ATL} = B_1 \cdot Q_d = 0,5 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot 16\,700 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 8350000 \text{ GJ}. \quad (4.10)$$

B_1 – Atliekų kiekis

Q_d – atliekų šilumingumas

Vertinant bendrą energetinį potencialą, sudeginus 50 000 tonų išrūšiuotų komunalinių atliekų, apskaičiuojamas metinis pirminės energijos kiekis:

$$Q_{Pe} = \frac{Q_p^{ATL}}{T} = \frac{8350000000 \text{ GJ}}{7500 \text{ h} \cdot 3600 \text{ s}} = 31 \text{ MW}. \quad (4.11)$$

Žinant pirminės energijos kiekį ir tai jog šiluminė energija sudaro 75 % pirminės energijos, tai yra apie 23 MW šiluminės galios. Tada galima apskaičiuoti kiek jėgainė pagamins kilovatvalandžių šiluminės energijos per metus, dirbant 7500 h. Katilo naudingumo koeficientas $\eta = 0.9$:

$$Q_S^{Kiekis} = Q_{Pe} \cdot 0.75 \cdot 7500 \cdot \eta = 31 \cdot 0.75 \cdot 7500 \cdot 0.9 = 156937 \text{MWh} \quad (4.12)$$

Taip pat prie šio skaičiaus nereikėtų pamiršti pridėti iš kondensacinio ekonomizerio gaunamos šilumos. Kadangi bendros komunalinės atliekos gana drėgnas kuras, tai kondensacinis ekonomizeris sugebės pagaminti apie 20 % šilumos nuo bendro šilumos pagaminimo skaičiaus. Tai būtų apie 188 000MWh šiluminės energijos per metus.

Remiantis kitų panašios kogeneracinių elektrinių galios rodmenimis, galima sakyti, kad turint tokio galingumo katilą turbinos galingumas bus apie 25% katilo galingumo. Tai yra apie 8MW elektrinės galios, o turbinos naudingumas 90 %, tuomet per metus dirbant 7500h. pagamintos elektros energijos kiekis bus:

$$Q_e^{Kiekis} = Q_{Pe} \cdot 0.25 \cdot 7500 \cdot \eta = 31 \cdot 0.25 \cdot 7500 \cdot 0.9 = 52312 \text{MWh} \quad (4.13)$$

5 Lentelė Pagaminamos energijos kiekiai

	Prieš MBA	Po MBA
Atliekų kiekis	210 000t	50 000t
Atliekų šilumingumas	9 860kJ/kg	16 700kJ/kg
Atliekų energetinis potencialas	576 000MWh	232 000MWh
Šiluminė galia + KE	70MW	28MW
Elektrinė galia	19MW	8MW
Pagaminta šiluminės energijos + ekonomizeris	466 100MWh	188 000MWh
Pagaminta elektrinės energijos	129 500MWh	52 300MWh

4.4 Degimo produktų skaičiavimo metodika

Kurą deginimo įrenginyje reikia sudeginti, suvartojant kuo mažiau oro. Mažiausias oro kiekis, kuris reikalingas sudeginti kuro kiekio vienetui (kg/kg), kai visas ore esantis deguonis reaguoja su kuro degiaisiais elementais, vadinamas teoriniu oro kiekiu. Teorinis oro kiekis randamas žinant kuro elementinę sudėtį. Elementinė komunalinių atliekų ir biokuro sudėtis pateikta 2 lentelėje. Skaičiavimai atliekami pagal [17]:

Viename kilograme kuro yra $\frac{C^n}{100}$ kg anglies, $\frac{H^n}{100}$ kg vandenilio ir $\frac{S_d^n}{100}$ kg sieros ir $\frac{O^n}{100}$ kg, kuri atmetus sudeginti reikalingas oro kiekis 1 kg kurui apskaičiuojamas:

$$M_{O_2} = 2,66 \frac{C^n}{100} + 8 \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} \frac{kg}{kg} \quad (4.14)$$

Ore yra 23% deguonies, o oro tankis normaliomis sąlygomis yra 1,293 kg/m³. Taigi, teoriškai degimui reikalingas oro tūris vienam kilogramui komunalinių atliekų ir biokuro apskaičiuojamas:

$$V_o^t = \frac{100M_{O_2}}{23 \cdot 1,293} = 0,0899(C^n + 0,375S_d^n) + 0,265H^n - 0,033O^n \frac{nm^3}{kg} \quad (4.15)$$

Deginant kietąjį kurą, vandens garas degimo produktuose atsiranda sudegus kure esančiam vandeniliui. Išgaravus drėgmei, taip pat įnešama kartu su atmosferos oru. Vandens garo tūris susidarantis sudeginus vieną kilogramą kuro apskaičiuojamas:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_o^t \rho_o \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n + 0,0161 \alpha V_o^t \frac{nm^3}{kg} \quad (4.16)$$

Naudojantis kuro degiųjų elementų degimo reakcijų lygtimis ir žinant, kad dujų savitasis tūris $v_{CO_2} = \frac{22,4}{\mu} \frac{m^3}{kg}$, triatomų dujų tūris sudegus vienam kilogramui kuro, apskaičiuojamas pagal žemiau pateiktą formulę. Kurui sudegus visiškai, degimo produktuose esantis triatomų dujų kiekis yra pastovus ir nepriklauso nuo oro pertekliaus.

$$V_{RO_2} = M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} \frac{nm^3}{kg} \quad (4.17)$$

Azotas sudaro 79 proc. oro. Taip pat ir pačiame kure yra Nⁿ proc. azoto, todėl teorinis azoto tūris, sudegus vienam kilogramui kuro:

$$V_{N_2}^t = 0,79V_o^t + 0,008N^n \frac{nm^3}{kg} \quad (4.18)$$

Teorinis sausų dūmų tūris, deginant kurą su teoriniu oro tūriu (kai $\alpha = 1$), susideda iš triatomų dujų ir azoto dujų:

$$V_{sd}^t = V_{RO_2} + V_{N_2}^t \frac{nm^3}{kg} \quad (4.19)$$

Bendrą degimo produktų tūrį sudaro sausų dūmų tūris ir vandens garo tūris:

$$V_d = V_{sd}^t + V_{H_2O} \frac{nm^3}{kg}. \quad (4.20)$$

Deginant tokį kurą kaip komunalinės atliekos ir biokuras ardyninėse pakurose, reikalingas didesnis oro pertekliaus koeficientas $\alpha = 1,4$.

Azoto tūris, susidarantis degimo produktuose, deginant kurą su oro pertekliumi apskaičiuojamas:

$$V_{N_2} = 0,79\alpha V_o^t + 0,008N^n \frac{nm^3}{kg}. \quad (4.21)$$

Vandens garo tūris deginant su oro pertekliumi:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9 \cdot H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_o^t \rho_0 \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n + 0,0161\alpha V_o^t \frac{nm^3}{kg} \quad (4.22)$$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{sd} = V_{sd}^t + (\alpha - 1)V_o^t \frac{nm^3}{kg}. \quad (4.23)$$

4.5 Komunalinių atliekų be mechaninio – biologinio apdorojimo degimo produktų skaičiavimas

Susidarantys degimo produktų kiekiai, oro kiekis reikalingas degimui, entalpijos, teorinės degimo temperatūros bei kitos degimo charakteristikos, deginant komunalines atliekas, apskaičiuojamas remiantis pateikta metodika.

Oro deguonies kiekis, reikalingas sudeginti vienam kilogramui kuro:

$$M_{O_2} = 2,66 \frac{C^n}{100} + 8 \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \frac{27,7}{100} + 8 \frac{3,74}{100} + \frac{0,14}{100} - \frac{28,3}{100} = 0,751 \frac{kg}{kg} \quad (4.24)$$

Teoriškai reikalingas oro tūris vienam kilogramui kuro:

$$V_0^t = \frac{100M_{O_2}}{23 \cdot 1,293} = 0,0899(C^n + 0,375S_d^n) + 0,265H^n - 0,0330N^n = \frac{100 \cdot 0,751}{23 \cdot 1,293} = 2,526 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}} \quad (4.25)$$

Vandens garo tūris susidarantis sudeginus vienam kilogramui kuro:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_0^t \rho_0 \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n + 0,0161\alpha V_0^t \\ &= 0,111 \cdot 3,7 + 0,0124 \cdot 25 + 0,0161 \cdot 1,4 \cdot 2,526 = 0,761 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}}. \end{aligned} \quad (4.26)$$

Triatomų dujų tūris sudegus vienam kilogramui kuro:

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,01866 \cdot \\ (C^n + 0,375S_d^n) &= 0,01866(27,7 + 0,375 \cdot 0,14) = 0,518 \text{ nm}^3/\text{kg} \end{aligned} \quad (4.27)$$

Teorinis azoto tūris, sudegus vienam kilogramui kuro:

$$V_{N_2}^t = 0,79V_0^t + 0,008N^n = 0,79 \cdot 2,526 + 0,008 \cdot 0,16 = 1,997 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.28)$$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{sd}^t = V_{RO_2} + V_{N_2}^t = 0,518 + 1,997 = 2,515 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.29)$$

Bendras degimo produktų tūris:

$$V_d = V_{sd}^t + V_{H_2O} = 2,515 + 0,761 = 3,276 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.30)$$

Kai $\alpha = 1,4$, azoto tūris:

$$V_{N_2} = 0,79\alpha V_0^t + 0,008N^n = 0,79 \cdot 1,4 \cdot 2,526 + 0,008 \cdot 0,16 = 2,795 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.31)$$

Vandens garo tūris:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9 \cdot H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_0^t \rho_0 \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n$$

$$+0,0161\alpha V_0^t = 0,111 \cdot 3,7 + 0,0124 \cdot 25 + 0,0161 \cdot 1,4 \cdot 2,526 = 0,778 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.32)$$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{sd} = V_{sd}^t + (\alpha - 1)V_0^t = 2,515 + (1,4 - 1) \cdot 2,526 = 3,942 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}}. \quad (4.33)$$

Katilo kuro suvartojimas kuomet katilas dirba 7500 valandų per metus ir sudeginama po 210 000 tonų buitinių atliekų, katilo naudingumas 0,9:

$$B = \frac{210\,000\,000}{7500 \cdot 3600} \cdot 0,9 = 7 \text{ kg/s} \quad (4.34)$$

Iš katilo išeinančių dūmų normaliomis sąlygomis tūris:

$$V_{dumų}^{ns} = B \cdot V_d = 7 \cdot 3,703 = 25,921 \text{ (nm}^3/\text{s)}. \quad (4.35)$$

4.6 Komunalinių atliekų po mechaninio – biologinio apdorojimo degimo produktų skaičiavimas

Priešingai nei 4.4 skyrelyje, kuriame buvo žinoma komunalinių atliekų cheminė sudėtis iki MBA, šiame ji nežinoma. Todėl pagal, iš po MBA išėjusių atliekų, procentinę sudėtį, reikia susiskaičiuoti komunalinių atliekų cheminę sudėtį.

Skaičiavimui bus naudojama ta pati metodika kaip ir skaičiuojant šilumingumą.

Bendras anglies kiekis atliekose:

$$C = C1 \cdot i_1 + C2 \cdot i_2 + \dots + Cn \cdot i_n = 27,7 \cdot 0,11 + 51,1 \cdot 0,32 + 65 \cdot 0,21 + 40,4 \cdot 0,14 + 39 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 42,165 \quad (4.36)$$

Bendras vandenilio kiekis atliekose:

$$H = H1 \cdot i_1 + H2 \cdot i_2 + \dots + Hn \cdot i_n = 3,7 \cdot 0,11 + 7,6 \cdot 0,32 + 5 \cdot 0,21 + 4,2 \cdot 0,14 + 5,3 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 5,219 \quad (4.37)$$

Bendras natrio kiekis atliekose:

$$N = N1 \cdot i_1 + N2 \cdot i_2 + \dots + Nn \cdot i_n = 0,16 \cdot 0,11 + 0,9 \cdot 0,32 + 0,2 \cdot 0,21 + 3,4 \cdot 0,14 + 0,21 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 0,853 \quad (4.38)$$

Bendras sieros kiekis atliekose:

$$S = S_1 \cdot i_1 + S_2 \cdot i_2 + \dots + S_n \cdot i_n = 0,14 \cdot 0,11 + 0,3 \cdot 0,32 + 0,6 \cdot 0,21 + 1,1 \cdot 0,14 + 0,2 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 0,4194 \quad (4.39)$$

Bendras deguonies kiekis atliekose:

$$O = O_1 \cdot i_1 + O_2 \cdot i_2 + \dots + O_n \cdot i_n = 28,3 \cdot 0,11 + 17,5 \cdot 0,32 + 12,6 \cdot 0,21 + 23,2 \cdot 0,14 + 27,7 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 18,485 \quad (4.40)$$

Bendras drėgmės kiekis atliekose:

$$W = W_1 \cdot i_1 + W_2 \cdot i_2 + \dots + W_n \cdot i_n = 25 \cdot 0,11 + 8 \cdot 0,32 + 5 \cdot 0,21 + 20 \cdot 0,14 + 15 \cdot 0,14 + 0 \cdot 0,08 = 15,235 \quad (4.41)$$

6 Lentelė Komunalinių atliekų cheminė sudėtis po MBA

Atliekų frakcija	Charakteristikos, %						
	C	H	N	S	O	W	i
Perdirbimui netinkamas popierius ir kartonas	27,7	3,7	0,16	0,14	28,3	25	0,11
Plastikas	55,1	7,6	0,9	0,3	17,5	8	0,32
Kitos komunalinės (guma, avalynė ir kt.)	65	5	0,2	0,6	12,6	5	0,21
Nenatūralaus pluošto audiniai	40,4	4,2	3,4	1,1	23,2	20	0,14
Kitos degios atliekos	39	5,3	0,21	0,2	27,7	16	0,14
Nedegios atliekos	0						0,08
Komunalinės atliekos po MBA (teoriškai apskaičiuotos)	42,2	5,3	0,8	0,4	18	15	1

Deguonies kiekis, reikalingas sudeginti vienam kilogramui kuro:

$$M_{O_2} = 2,66 \frac{C^n}{100} + 8 \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \frac{42,2}{100} + 8 \frac{5,3}{100} + \frac{0,4}{100} - \frac{18}{100} = 1,371 \text{ kg/kg} \quad (4.42)$$

Teoriškai reikalingas oro tūris vienam kilogramui kuro:

$$V_0^t = \frac{100M_{O_2}}{23 \cdot 1,293} = 0,0899(C^n + 0,375S_d^n) + 0,265H^n - 0,0330N^n = \frac{100 \cdot 1,371}{23 \cdot 1,293} = 4,608 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}}. \quad (4.43)$$

Vandens garo tūris susidarantis sudeginus vienam kilogramui kuro:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_0^t \rho_0 \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n + 0,0161\alpha V_0^t$$

$$= 0,111 \cdot 5,3 + 0,0124 \cdot 15 + 0,0161 \cdot 1 \cdot 4,608 = 0,848 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}}. \quad (4.44)$$

Triatomų dujų tūris sudegus vienam kilogramui kuro:

$$V_{RO_2} = M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,01866$$

$$(C^n + 0,375S_d^n) = 0,01866(42,2 + 0,375 \cdot 0,4) = 0,790 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.45)$$

Teorinis azoto tūris, sudegus vienam kilogramui kuro:

$$V_{N_2}^t = 0,79V_0^t + 0,008N^n = 0,79 \cdot 4,608 + 0,008 \cdot 0,8 = 3,647 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.46)$$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{sd}^t = V_{RO_2} + V_{N_2}^t = 0,790 + 3,647 = 4,437 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.47)$$

Bendras degimo produktų tūris:

$$V_d = V_{sd}^t + V_{H_2O} = 4,437 + 0,848 = 5,286 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.48)$$

Kai $\alpha = 1,4$, azoto tūris:

$$V_{N_2} = 0,79\alpha V_0^t + 0,008N^n = 0,79 \cdot 1,4 \cdot 4,608 + 0,008 \cdot 0,8 = 5,103 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.49)$$

Vandens garo tūris:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot v_{H_2O} = \left(\frac{9 \cdot H^n}{100} + \frac{W^n}{100} - \frac{d}{1000} \alpha V_0^t \rho_0 \right) \frac{22,4}{18} = 0,111H^n + 0,0124W^n$$

$$+ 0,0161\alpha V_0^t = 0,111 \cdot 5,3 + 0,0124 \cdot 15 + 0,0161 \cdot 1,4 \cdot 4,608 = 0,878 \text{ nm}^3/\text{kg} \quad (4.50)$$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{sd} = V_{sd}^t + (\alpha - 1)V_0^t = 4,437 + (1,4 - 1) \cdot 4,608 = 6,281 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}}. \quad (4.51)$$

Katilo kuro suvartojimas kuomet katilas dirba 7500 valandų per metus ir sudeginama po 50 000 tonų buitinių atliekų, katilo naudingumas 0,9:

$$B = \frac{50\,000\,000}{7500 \cdot 3600} \cdot 0,9 = 1,66 \text{ kg/s} \quad (4.52)$$

Iš katilo išeinančių dūmų normaliomis sąlygomis tūris:

$$V_{dumų}^{ns} = B \cdot V_d = 1,66 \cdot 6,281 = 10,45 \text{ (nm}^3/\text{s)}. \quad (4.53)$$

7 Lentelė Degimo produktų skaičiavimo rezultatai

Žymėjimas	M_{O_2}	V_o^t	V_{H_2O}	V_{RO_2}	$V_{N_2}^t$	V_{sd}^t	V_d	V_{N_2}	V_{H_2O}	V_{sd}	Q_d^n
Matavimo vnt.	kg/kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	nm ³ /kg	kJ/kg
Popierius ir kartonas	0,751	2,526	0,761	0,518	1,997	2,515	3,276	2,795	0,778	3,525	9762
Plastmasė	1,902	6,394	1,443	1,030	5,059	6,089	7,532	7,080	1,484	8,647	24540
Maisto atliekos	0,473	1,589	1,118	0,236	1,263	1,499	2,618	1,765	1,128	2,135	4265
Tekstilė	1,190	4,000	0,630	0,761	3,187	3,949	4,579	4,451	0,656	5,549	15233
Degios liekanos	1,399	4,705	0,912	0,878	3,719	4,597	5,509	5,205	0,942	6,479	18425
Medienos atliekos	1,123	3,777	0,693	0,756	2,985	3,741	4,433	4,178	0,717	5,251	14501
Komunalinės atliekos prieš MBA	0,807	2,714	0,861	0,469	2,149	2,618	3,478	3,006	0,878	3,703	9860
Komunalinės atliekos po MBA	1,371	4,608	0,848	0,790	3,647	4,437	5,286	5,103	0,878	6,281	16700

4.7 Pelenų susidarymas ir jų šalinimas

Po atliekų deginimo susidaro produktai, tokie kaip pelenai. Jie skirstomi į dugno pelenus (šlaką) ir į pelenus likusius po dūmu valymo. Pagal technologija dugno pelenai (šlakas) yra laikomas nepavojingais ir būtų kaupiami, bei transportuojami į sąvartynus, o pelenai gauti dūmų valymo metu yra laikomi pavojinga atlieka, todėl jie būtų kaupiami konteineriuose. Kol kas Lietuvoje nėra kur dėti tokio tipo atliekų, dėl šios priežasties jos būtų kaupiamos ir transportuojamos į užsienį.

Plastiko kiekis bendrame komunalinių atliekų sraute:

$$\text{Atliekos kiekis sraute} = \text{Komunalinių atliekų kiekis} \cdot i = 50\,000 \cdot 0,32 = 16\,000t. \quad (4.54)$$

Plastiko pelenų kiekis sraute:

$$\text{Atliekos pelenų kiekis sraute} = \text{Atliekos kiekis sraute} \cdot 0,106 = 16\,000 \cdot 0,106 = 1696t \quad (4.55)$$

Lygiai taip pat suskaičiuojami ir kitų frakcijų pelenų kiekiai. Skaičiavimo rezultatai surašomi į žemiau pateiktą lentelę.

8 Lentelė Susidariusių pelenų kiekiai kiekvienai atliekų frakcijai per metus

Atliekų frakcija	Peleningumas	Atliekų dalis sraute	Atliekų kiekis sraute	Pelenų kiekis sraute
	A %	i	t	t
Perdirbimui netinkamas popierius ir kartonas	15	0,11	5 500	725
Plastikas	10,6	0,32	16 000	1646
Kitos degios atliekos (guma, avalynė ir kt.)	11,6	0,21	10 500	1150
Nenatūralaus pluošto audiniai	8	0,14	7 000	510
Kitos degios nepavojingos atliekos	11,7	0,14	7 000	719
Nedegios atliekos	100	0,08	4 000	4000
Komunalinės atliekos po MBA (teoriškai apskaičiuotos)	17,5	1	100	8750

Taigi, atlikus skaičiavimus matyti, kad viso pelenų susidarys apie 8750 tonų. Tačiau verta pažymėti, kad teorinis susidariusių pelenų kiekis yra visuomet mažesnis už realiai surenkamų pelenų kiekį. Visi šie pelenai, kaip ir buvo minėta didesnė dalis nepavojingų pelenų kurių būtų apie 7500 tonų būtų šalinama sąvartynuose, kita dalis pavojingų pelenų, kurių yra apie 1250 tonų, gabenama į užsienį.

4.8 Išmetamų toksogenų kiekių skaičiavimas

Pagal 2002 m. gruodžio 31 d. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO ĮSAKYMAS DĖL ATLIEKŲ DEGINIMO APLINKOSAUGINIŲ REIKALAVIMŲ PATVIRTINIMO, pateikiamos tokios teršalų ribinės vertės. [31]

9. Lentelė Vidutinės dienos išmetamųjų teršalų ribinės vertės

Teršalai	Vidutinė dienos norma mg/Nm ³
Kietosios dalelės	30 mg/Nm ³
HCl	10 mg/Nm ³
HF	1 mg/Nm ³
CO	50 mg/Nm ³
NO _x	500 mg/Nm ³
SO ₂	50 mg/Nm ³
Cd + Tl	0,05 mg/Nm ³
Hg	0,05 mg/Nm ³
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5 mg/Nm ³
Dioksinai ir furanai	0,1 ng/Nm ³

Leistini kiekiai:

Išmetamų kietųjų dalelių kiekis:

$$m_{KD} = c_{Kd} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 30 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,3135 \frac{g}{s} \quad (4.56)$$

Išmetamas HCl kiekis:

$$m_{HCL} = c_{HCl} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,1045 \frac{g}{s} \quad (4.57)$$

Išmetamas HF kiekis:

$$m_{HF} = c_{HF} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,0105 \frac{g}{s} \quad (4.58)$$

Išmetamas CO kiekis:

$$m_{CO} = c_{CO} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,5225 \frac{g}{s} \quad (4.59)$$

Išmetamas NO_x kiekis:

$$m_{NO_x} = c_{NO_x} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 500 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 5,225 \frac{g}{s} \quad (4.60)$$

Išmetamas SO₂ kiekis:

$$m_{SO_2} = c_{SO_2} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,5225 \frac{g}{s} \quad (4.61)$$

Išmetamas Cd + Tl kiekis:

$$m_{Cd + Tl} = c_{Cd + Tl} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 0.05 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,0005 \frac{g}{s} \quad (4.62)$$

Išmetamas Hg kiekis:

$$m_{Hg} = c_{Hg} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 0.05 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,0005 \frac{g}{s} \quad (4.63)$$

Išmetamas kitų sunkiųjų metalų kiekis:

$$m_{SM} = c_{SM} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 0.5 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 0,0052 \frac{g}{s} \quad (4.64)$$

Išmetamas dioksinų ir furanų kiekis:

$$m_{DF} = c_{DF} \cdot V_d^{ns} \cdot 10^{-3} = 0.0001 \cdot 10,45 \cdot 10^{-3} = 1,05 \cdot 10^{-6} \quad (4.65)$$

10 Lentelė Paskaičiuoti ir leistini teršalų kiekiai

Teršalai	Leistina vidutinė reikšmė, g/s
Kietosios dalelės	0,3135
HCl	0,1045
HF	0,0105
CO	0,5225
NO _x	5,2250
SO ₂	0,5225
Cd + Tl	0,0005
Hg	0,0005
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,0052
Dioksinai ir furanai	1,05x10 ⁻⁶

Remiantis užsienio šalių komunalinių atliekų jėgainių patirtimi ir praktika, galima teigti, kad toksogenų kiekių išmetimų vertės yra griežtos tačiau įmanomos pasiekti. Pasitelkus pažangiausias technologijas ir prietaisus teršalai yra išvalomi iki verčių kurio kelis ar net keliasdešimt kartų mažesnės už reikalaujamas.

5 EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI

Vertėtų paskaičiuoti ar jėgainei kuri degintų komunalines atliekas tik iš Kauno regiono būtų ekonomiškai efektyvi.

Kadangi žinomas kuro kiekis ir degimo produktų susidarymai galima apskaičiuoti deginimo poreikiams reikalingus medžiagų kiekius ir jų išlaidas. Skaičiavimo rezultatai surašyti į 11 lentelę. [32,33,34,35,36]

11 Lentelė 50 000t/m atlieku deginimo stoties poreikiai medžiagoms ir išlaidos joms

Eil.Nr.	Pavadinimas	Poreikis ir kiekiai	1 Tonai atliekų	Kaina	
1.	Savi elektros energijos poreikiai (0,7 MW) Kai stotis dirba Naudojama sava pagaminta energiją.	4690MWh/m	93,8kWh/t	0€/kWh	Jėgainei dirbant naudojama savo pagaminta energija
2.	Perkama elektros energija kai vyksta remontai (priimkim 3% nuo poreikiu)	140MWh		0,114€/kWh	
3.	Ca(OH) ₂	630t/m	12.6kg/t	80€/t	
4.	Aktyvioji anglis	28,5t/m	0.57kg/t	380€/t	
5.	Vanduo	19 000m ³ /m	0.38m ³ /t	1,46€/m ³	Įskaitant ir šalinimą
6.	Amoniakas (25 proc.)	180t/m	3.6kg/t	65€/t	
7.	Papildomas kuras (gamtinės dujos)	68750m ³ /m	1.375m ³ /t	0,34€/m ³	
Susidaro atliekų					Šalinimas
1	Šlakas	7500t/m	150kg/t	100€/t	Į sąvartyną
2	Valymo įrenginiuose susidariusios atliekos	1250t/m	25kg/t	250€/t	Kaupiama ir išvežama iš šalies
	Viso išlaidų per metus (50 000t.)			1 180 000€	

Taip pat skaičiuojamos išlaidos darbuotojų atlyginimams, remonto sąnaudoms, nusidėvėjimui bei amortizacija ir kita. Skaičiavimai surašomi į 12 lentelę.

12 Lentelė Papildomos išlaidos jėgainei.

Eil. Nr	Rodikliai	Išlaidos per metus tūkst. €
1	Darbuotojų atlyginimas (26)	1 000
2	Remonto sąnaudos	500
3	Mokesčiai	120
4	Palūkanų mokėjimas	1 000

5	Kitos išlaidos (mokesčiai, nusidėvėjimas ir t. t)	1 500
	VISO	4 120

Suskaičiuotus technologiniams poreikiams ir atlyginimams privalomas išlaidas toliau skaičiuojamos pajamos gaunamos už elektros, šilumos pardavimą, bei atliekų supirkimą. Gamyba vyksta 7500 h/m, atlieku šilumingumas 16.7 MJ/kg. Pirminė energija 31MW (+ kondensacinis ekonomizeris 5MW). Skaičiavimo rezultatai surašomi į 13 lentelę.[32,33]

13 Lentelė Elektros energijos ir šilumos gamyba

Eil. Nr	Pavadinimas	Galia	Kiekis per metus	Kaina	Pajamos per metus
1.	Elektros energijos gamyba	8 MW	52 300MWh	-	-
2.	Savi el. energijos poreikiai	0,7MW	4 550MWh/m	-	-
3.	Elektros energija į tinklus	7,3MW	47 750MWh/m	5,1ct/kWh	2,43mil €
4.	Šiluminės energijos gamyba	28MW	188 000MWh/m	-	-
5.	Šiluminės energijos poreikiai saviems tikslams	1,7MW	11 400MWh/m	-	-
6.	Šiluminė energija į tinklus	26,3MW	176 600MWh/m	2,26ct/kWh	3,97mil €
7.	Atliekų supirkimas		50 000t/m	100€/t	5mil €

Klaipėdos komunalinių atliekų deginimo jėgainė statybos kainavo 126mil. €. Jos bendras galingumas yra 20MW elektrinės galios ir 50MW šiluminės galios ir papildomi 13MW, kurie bus gaunami iš išeinančių dūmų žiemos laikotarpiu panaudojant kondensatorius. 1MW instaliuotos galios kaina yra apie 1.51mil. €. Bendrai tokia jėgainė per metus pagamina apie 140GWh elektros energijos ir apie 400GWh šilumos energijos.

Norint statyti tik Kauno regiono šiukšlėmis deginamą elektrinę reikėtų investuoti nemažai lėšų, kadangi, remiantis užsienio šalių praktika instaliuoto MW kaina yra mažesnė kuomet jų suma objekte yra didesnė, kitaip tariant kuo mažesnio galingumo jėgainė tuo brangesnis jos instaliuotas megavatas energijos. Taigi statant jėgainę Kaune bendras instaliuotas galingumas būtų apie 35MW (su kondensaciniu ekonomizeriu). 1MW instaliavimo kaina būtų apie 2mil. €. Tokios jėgainės statyba kainuotų apie 70mil. €. Iš 11 ir 12 lentelių matyti, kad išlaidos per metus siekia 5,3mil €, o iš 13 lentelės matyti, pajamos siekia beveik 11,4mil. €. Atlikus paprastus veiksmus galima suskaičiuoti, kad jėgainės atsipirkimo laikas, idealiu atveju, būtų apie 11 metų.

6 IŠVADOS

Atlikus Kauno regiono komunalinių atliekų energetinio potencialo skaičiavimus, buvo nagrinėti šie aspektai:

- Apžvelgtos komunalinių atliekų tvarkymo technologijos;
- Apibendrinti pagrindiniai reglamentuojantys atliekų tvarkymo teisės aktai;
- Išanalizuoti susidarantys komunalinių atliekų kiekiai ir jų sudėtys prieš ir po mechaninio – biologinio apdirbimo įrenginių.
- Pagal komunalinių atliekų procentinę sudėtį apskaičiuotas šilumingumas: prieš MBA įrenginius $Q_1 = 9860 \text{ kJ/kg}$ ir po MBA $Q_2 = 16700 \text{ kJ/kg}$;
- Atliktas komunalinių atliekų energetinio potencialo skaičiavimas prieš MBA ir po MBA. Skaičiavimai parodė, kad po MBA iš daugiau nei 210000 tonų komunalinių atliekų lieka apie 50000 tonų tinkamų deginimui.
- Analizuojamos jėgainės galinumas deginant 50000 tonų komunalinių atliekų per metus būtų 28MW šiluminės ir 8MW elektrinės galios. Tokio galinumo jėgainė pagamintų apie 188000MWh šiluminės energijos ir 52300MWh elektrinės energijos.
- Ekonominių skaičiavimų pagrindu nustatytas katilinės atsipirkimo laikas, apytiksliai 11 metų.

7 LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Atliekų susidarymas ir tvarkymas žemės ūkyje, miškininkystėje ir žuvininkystėje 2014 m. Prieiga per internetą <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?articleId=3959597> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
2. Atliekų statistika. Prieiga per internetą http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics/Lt (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
3. Per kiek laiko suyra mūšų paliekamos šiukšlės? Prieiga per internetą <http://www.15min.lt/naujiena/eko-zmogus/rusuok/per-kiek-laiko-suyra-musu-paliekamos-siuksles-i-365-171786> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
4. Ar žinojai, kad šiukšlės...? Prieiga per internetą http://zagaresrp.am.lt/VI/article.php?article_id=671, (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
5. Buitinių, statybinių, kenksmingų šiukšlių tvarkymas. Prieiga per internetą <http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/181/1/0/1/article/1629/buitiniu-statybiniu-kenksmingu-siuksliau-tvarkymas> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
6. DĖL VALSTYBINIO STRATEGINIO ATLIEKŲ TVARKYMO PLANO PATVIRTINIMO Prieiga per internetą https://www.e-tar.lt/rs/legalact/TAR.D6E09DE0D6BF/format/OO3_ODT/ (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11)
7. ATLIEKŲ TVARKYMAS Prieiga per internetą <http://www.neringa.lt/index.php?88582779> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11).
8. Resource efficiency and waste Prieiga per internetą <https://greenerneighbourhoods.net/resources/waste/> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-04-11)
9. WASTE. Prieiga per internetą <https://greenerneighbourhoods.net/resources/waste/> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09)
10. Pakuotės gyvavimo kelias Prieiga per internetą <http://rusiuojigalvoji.lt/pradinis/apie-rusivima/pakuotes-kelias/> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09)
11. VŠĮ "KAUNO REGIONO ATLIEKŲ TVARKYMO CENTRAS" Komunalinių atliekų mechaninio-biologinio apdorojimo įrenginys greta Ateities pl. 49, Kaune, Poveikio aplinkai vertinimo ataskaita. Vilnius: COWI, 2011, 27p. Prieiga per internetą [file:///C:/Users/20141015s/Downloads/1dalisPoveikioaplinkaivertin%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/20141015s/Downloads/1dalisPoveikioaplinkaivertin%20(2).pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2007-05-09).
12. Lietuvoje susidarančių energijos gamybai tinkamų atliekų kiekių ir jų energetinio potencialo vertinimas. Prieiga per internetą: <http://lpk.lt/wp-content/uploads/2015/12/20150630-SWECO-prezentacija.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09).

13. EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2008/98/EB dėl atliekų ir panaikinanti kai kurias direktyvas, 2008 Prieiga per internetą <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09)
14. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 94/62/EB dėl pakuočių ir pakuočių atliekų, 1994. Prieiga per internetą <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A31994L0062> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09)
15. EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS REGLAMENTAS (EB) Nr. 1013/2006 dėl atliekų vežimo. Prieiga per internetą (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1013-20140526>) (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-09)
16. Mišrių komunalinių atliekų sudėties tyrimai ir biologiškai skaidžių atliekų vertinimas Prieiga per internetą <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=dd43d07e-1697-428b-9b05-2c418e5047b6> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
17. Švenčianas P. Kuro degimo teorijos pagrindai Kaunas, 2003, p. 10 – 11, 18 – 23.
18. Europos Parlamento ir tarybos Direktyva 2000/76/EB 2000 m. gruodžio 4 d. dėl atliekų deginimo Prieiga per internetą <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32000L0076> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
19. www.eur-lex.europa.eu (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
20. EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA (ES) 2015/2193 2015 m. lapkričio 25 d. dėl tam tikrų teršalų, išmetamų į orą iš vidutinio dydžio kurą deginančių įrenginių, kiekio apribojimo Prieiga per internetą <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32015L2193> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
21. B. Jaskelevičius Terminis atliekų apdorojimas Vilnius , 2009 p.35 - 37, 59, 101.
22. Database of Waste Management Technologies Prieiga per internetą <http://www.epem.gr/waste-control/database/html/WtE-01.htm> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
23. Burning Dirt Prieiga per internetą http://idahospudsblog.blogspot.lt/2006_05_01_archive.html (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
24. ES GPGB dideliems kurą deginantiems įrenginiams ir jų palyginimas su esama situacija Lietuvos energetikos sektoriuje Prieiga per internetą http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ub5epcWbi6IJ:193.219.133.6/aaa/Tipk/tipk/3_GPGB%2520anotacijos/9a.doc+&cd=2&hl=lt&ct=clnk&gl=lt (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
25. Spray do włosów odśrodkową Prieiga per internetą <http://lt.partner-hitech.com/spray-dryer/centrifugal-spray-dryer.html> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)

26. Kauno regiono atliekų tvarkymo 2014 – 2020 m. planas. Prieiga per internetą <http://www.lietuvsregionai.lt/wp-content/uploads/2015/03/Kauno-regiono-ATP-2014-2020-m-koreguotas-galutinis.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
27. Jonavos rajono savivaldybės atliekų tvarkymo 2014 – 2020 m. planas Prieiga per internetą <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Da-ZnR42ZtgJ:www.kaunoratc.lt/lt/files/teisine-informacija/jonavos-atp-2014-2020+&cd=1&hl=lt&ct=clnk&gl=lt>(paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
28. Kaišiadorių rajono savivaldybės atliekų tvarkymo 2014–2020 m. planas Prieiga per internetą <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:rpNLDwiN1UIJ:www.kaunoratc.lt/lt/files/teisine-informacija/kaisiadoriu-atp-2014-2020+&cd=1&hl=lt&ct=clnk&gl=lt>(paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
29. Kėdainių rajono savivaldybės atliekų tvarkymo 2014 – 2020 m. planas Prieiga per internetą <file:///C:/Users/20141015s/Downloads/TS-120%20PRIEDAS.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
30. Raseinių rajono savivaldybės atliekų tvarkymo 2014 – 2020 m. planas Prieiga per internetą <https://goo.gl/B8n5Ej> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
31. 2002 m. gruodžio 31 d. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO ĮSAKYMAS DĖL ATLIEKŲ DEGINIMO APLINKOSAUGINIŲ REIKALAVIMŲ PATVIRTINIMO Prieiga per internetą <https://www.e-tar.lt/rs/legalact/TAR.A6BE5BE0C398/> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-21)
32. Tarifų planai ir kainos. Prieiga per internetą. <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiek-kainuoja-elektra-2017-m..html> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-26)
33. Šilumos supirkimas Prieiga per internetą. <https://www.kaunoenergija.lt/verslui/nepriklausomiems-silumos-gamintojams/silumos-supirkimas/> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-26)
34. Aktyvuotos anglies kaina. Prieiga per internetą <https://www.alibaba.com/showroom/activated-carbon-price-in-kg.html> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-26)
35. Vandens tarifai. Prieiga per internetą. <https://www.kaunovandenys.lt/Gyventojams/Site-Pages/Tarifai.aspx> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-26)
36. Ca(OH)₂ kaina. Prieiga per internetą <https://www.alibaba.com/showroom/calcium-hydroxide-price.html> (paskutinį kartą žiūrėta 2017-05-26)

8 PRIEDAI

Galimos jėgainės schema.

