



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Kristina Ragauskaitė**

**EMISIJŲ SUSIDARYMAS DEGINANT BIOKURĄ SU ĮVAIRIŲ  
ATLIEKŲ FRAKCIJOMIS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

lekt. dr. Inga Stasiulaitienė

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**  
**APLINKOSAUGOS TECHNOLOGIJOS KATEDRA**

**EMISIJŲ SUSIDARYMAS DEGINANT BIOKURĄ SU ĮVAIRIŲ  
ATLIEKŲ FRAKCIJOMIS**

Baigiamasis magistro projektas  
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

**Konsultantas**

lekt. dr. Edvinas Krugly

**Vadovas**

lekt. dr. Inga Stasiulaitienė

**Recenzentas**

doc. dr. Dainius Martuzevičius

**Projektą atliko**

Kristina Ragauskaitė

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos

(Fakultetas)

Kristina Ragauskaitė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Emisijų susidarymas deginant biokurą su įvairių atliekų frakcijomis“

### AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. Birželio 12 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Kristinos Ragauskaitės** baigiamasis projektas tema „**Emisijų susidarymas deginant biokurą su įvairių atliekų frakcijomis**“ 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 mokėjusi.

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

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Ragauskaitė, K. Emisijų susidarymas deginant biokurą su įvairių atliekų frakcijomis. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas lekt. dr. Inga Stasiulaitienė; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas, aplinkosaugos technologijos katedra.

Kaunas, 2015. 51 psl.

## SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamas biomasės deginimas kartu su įvairių atliekų frakcijomis, mažo galingumo įrenginyje.

Kadangi degimo procesas individualių namų ūkiuose nėra kontroliuojamas, svarbu išsiaiškinti kokie degimo produktai išsiskiria biokurą maišant su buityje susidariusiomis atliekomis. Tokie junginiai ne tik teršia aplinką, bet gali daryti neigiamą įtaką ir žmogaus sveikatai.

Biokuras su atliekų priemaišomis buvo deginamas laboratorijoje, 13 kW kietojo kuro deginimo katile, esant stabilioms deginimo sąlygoms. Tyrimui atlikti buvo pasirinkta 13 dažniausiai namų ūkiuose susidarantių atliekų: laikraštis, žurnalas, balintas popierius, pieno ir sulčių pakuotės, plastiko butelis grietinės, pomidorų padažo, šampūno bei vienkartiniai indeliai, poroloninė kempinė, sauskelnės, baldų audinys. Tyrimo metu analizuotas degimo metu išsiskiriančių policiklinių aromatinių angliavandenilių (PAA) emisijų kiekis ir kietųjų dalelių koncentracija išlakose.

Atlikus tyrimą ir išanalizavus rezultatus nustatyta, jog didžiausias kietųjų dalelių kiekis susidarė deginant šampūno indelį ( $5,41 \cdot 10^{11} \text{ \#/cm}^3$ ) ir sulčių pakuotę ( $4,75 \cdot 10^{11} \text{ \#/cm}^3$ ), o mažiausias – deginant žurnalą ( $8,1 \cdot 10^{10} \text{ \#/cm}^3$ ). PAA, esančių dujinėje fazėje, didžiausia koncentracija susidarė deginant balintą popierių ( $\Sigma \text{ PAA} - 8006 \text{ \mu g/m}^3$ ), o mažiausia – laikraštį ( $\Sigma \text{ PAA} - 580 \text{ \mu g/m}^3$ ). Tuo tarpu analizuojant PAA esančius, kietoje būsenoje, daugiausiai jų susidarė deginant pieno pakuotę ( $\Sigma \text{ PAA} - 2255 \text{ mg/m}^3$ ), o mažiausiai – žurnalą ( $\Sigma \text{ PAA} - 33 \text{ mg/m}^3$ ). Tyrimo rezultatai parodė, kad atliekų deginimo metu išsiskiriančiose emisijose vyrauja dujinėje fazėje susidarantys policikliniai aromatiniai angliavandeniliai.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad deginant medienos granules emisijų išsiskiria 2 kartus mažiau, negu deginant žurnalą, kuris išskyrė mažiausiai policiklinių aromatinių junginių lyginant su kitomis nagrinėtomis atliekomis.

Ragauskaitė, K. Emissions from the co-combustion of biofuel and various waste fractions. *Master's final project* / supervisor lect. Inga Stasiulaitienė; Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Environmental of Technology Department.

Kaunas, 2015. 51 p.

## SUMMARY

Master's final work analyzes burning of biomass together with fractions of different waste in low-power device.

The theme of work is relevant because in individual households the combustion process is the least controlled. There are released dangerous compounds to human health during the combustion process of waste.

Biofuel with waste impurities was burned in a laboratory in 13kW solid fuel burning boiler under stable combustion conditions. 13 waste products were chosen for the experiment: newspaper, magazine, bleached paper, package of milk, juice package, cruet of sour cream, tomato sauce bottle, plastic bottle, disposable cups, shampoo bottle, foam sponge, diapers, furniture fabric. During the study the quantity of released polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) emissions solid particles, were analyzed.

The results have shown that the biggest number of solid particles was produced during the combustion of shampoo bottle ( $5,41 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup>) and juice package ( $4,75 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup>) and the lowest amount – for the magazine ( $8,1 \cdot 10^{10}$  #/cm<sup>3</sup>). The largest quantity of PAHs, which are in the gas phase was produced during the combustion of white paper ( $\Sigma$  PAA – 8006 µg/m<sup>3</sup>), and the lowest – for the newspaper ( $\Sigma$  PAA – 580 µg/m<sup>3</sup>). Meanwhile, analyzing PAHs in solid phase the largest quantity of it was produced, burning milk package ( $\Sigma$  PAA – 2255 mg/m<sup>3</sup>) and the lowest – burning magazine ( $\Sigma$  PAA – 33 mg/m<sup>3</sup>). The results showed that gas-phase polycyclic aromatic hydrocarbons are released to the atmosphere during waste combustion.

The results of the investigation showed, that the emission of the burning wood pellets is 2 times less than of the magazine, which emitted the least amount of polycyclic aromatic compounds compared to the other examined materials.

## TURINYS

SANTRUMPOS.....	7
LENTELĖS.....	8
PAVEIKSLAI.....	9
PRIEDAI.....	10
ĮVADAS.....	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	12
1.1 Cheminių teršalų formavimasis biomasės deginimo metu.....	12
1.2 Atliekų deginimo problematika.....	14
1.2.1 Atliekų deginimas individualiuose namuose.....	15
1.2.2 Atliekų deginimo metu išsiskiriantys teršalai.....	17
1.3 Policiklinių aromatinių angliavandenilių nustatymas.....	19
1.4 Literatūros apžvalgos apibendrinimas.....	21
2. TYRIMO METODIKA.....	22
2.1 Atliekų deginimas ir degimo sąlygos.....	22
2.2 Deginimo tyrimui pasirinktos atliekos.....	23
2.3 Ėminių ėmimo įrenginiai.....	24
2.4 Policiklinių aromatinių angliavandenilių analizė.....	25
2.4.1 Ėminių ėmimas.....	25
2.4.2 Ekstrakcija ir koncentravimas azoto srove.....	26
2.4.3 Chromatografinė mėginių analizė.....	26
2.5 Duomenų analizė.....	27
3. TYRIMO REZULTATAI.....	28
3.1 Nepilno degimo susidarymas.....	28
3.2 Atliekų charakteristikos ir savybės.....	28
3.3 Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas.....	32
3.4 Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai dujinėje fazėje.....	35
3.5 Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai kietojoje fazėje.....	39
IŠVADOS.....	41
PARENGTOS PUBLIKACIJOS.....	42
LITERATŪRA.....	43
PRIEDAI.....	46

## SANTRUMPOS

B[a]P – benzo[a]pirenas

CO – anglies monoksidas

CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas

HDPE – aukšto tankio polietilenas

KD – kietosios dalelės

NO<sub>x</sub>- azoto oksidai

O<sub>2</sub> – deguonis

PAA – policikliniai aromatiniai angliavandeniliai

PE – polietilenas

PET – polietileno teraftalatas

PP – polipropilenas

PS – polistirenas

SO<sub>2</sub> – sieros dioksidas

## LENTELĖS

1	lentelė. Atliekų ir biokuro elementinė sudėtis ir pagrindinės charakteristikos.....	30
2	lentelė. Tyrimo parametrai degant atliekoms.....	31
3	lentelė. Tyrimui naudojamų atliekų rūšys ir kiekiai .....	32
4	lentelė. Policiklinių aromatinių junginių palyginimas su kitų autorių gautomis vertėmis .....	36
5	lentelė. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai kietojoje fazėje .....	40



## PAVEIKSLAI

1 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal medienos perdirbimo laipsnį [20] .....	12
2 pav. Biomasės deginimas ir anglies ciklo uždara sistema [18].....	13
3 pav. Plastikų monomerinės ir polimerinės struktūros [12] .....	17
4 pav. Dažniausiai aptinkami policikliniai aromatiniai angliavandeniliai [31] .....	18
5 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių piroksintezė [26] .....	19
6 pav. Principinė tyrimo schema.....	23
7 pav. Tyrime naudotos atliekos ir biokuras .....	24
8 pav. Elektrinis žemo slėgio impaktorius .....	24
9 pav. „MOUDI model 110 R“ impaktorius .....	25
10 pav. Nepilno degimo susidarymas sąlygos .....	28
11 pav. Kietųjų dalelių suminis grafikas.....	33
12 pav. Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas.....	33
13 pav. Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas.....	34
14 pav. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai dujinėje fazėje .....	35
15 pav. Policiklinių aromatinių junginių emisijos .....	37
16 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos dujinėje fazėje .....	38
17 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos kietojoje fazėje .....	39

## **PRIEDAI**

1	Priedas Plastikų ir dyzelino elementinės sudėtys[7].....	46
2	Priedas Sudedamosios plastikų ir dyzelino dalys [7].....	47
3	Priedas Kietųjų dalelių masės grafikas .....	48
4	Priedas Skaitinių kietųjų dalelių, kietųjų dalelių masės ir anglies monoksido koreliacija .....	49
5	Priedas Koreliacijos grafikai polipropileno, polivinilchlorido, aukšto tankio polietileno [9] .....	50
6	Priedas Koreliacija tarp anglies monoksido, suminių dujinių PAA ir atskirų paa junginių .....	51

## IVADAS

Energijos poreikis vis didėja, tradiciniai energijos ištekliai senka, o jos išgavimo būdai kenkia aplinkai, todėl vis daugiau naudojama atsinaujinančių energijos šaltinių. Vienas jų – biokuras. Tai vienas labiausiai paplitusių ir plačiausiai naudojamų atsinaujinančių energijos šaltinių.

Dėl augančios ekonomikos ir gerėjančio gyvenimo, individualiuose namų ūkiuose susidaro daugiau komunalinių atliekų. Dažniausiai susidarančios atliekos – plastikai, popierius, buitinės atliekos. Gyventojai norėdami sutaupyti pinigų atliekų išvežimui, taip pat sutaupyti žiemos sezono metu kurui, atliekas degina krosnyse. Taip individualiuose namų ūkiuose išsiskiria pavojingi junginiai, tokie kaip policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA), lakūs organiniai junginiai, dioksinai, furanai, kietosios dalelės, anglies monoksidas, azoto oksidai ir kiti junginiai. Šie junginiai susidaro dėl žemos temperatūros ir nepilno degimo. Patekę į orą teršalai ypatingai kenkia vaikų ir vyresnio amžiaus žmonių sveikatai bei aplinkai. Žmonės, kūrendami biomasę kartu su atliekomis dažnai nežino, kad iš atliekų išsiskyrę teršalai patenka į pelenus, kuriuos jie laiko trąša ir pavasarį tręšia dirvožemį. Tačiau juose lieka sunkiųjų metalų bei toksinių elementų.

**Tyrimo hipotezė** – išsiskiriančių teršalų emisijos priklauso nuo sudeginamų atliekų rūšies.

Tiriamąo darbo **objektas** – išlakose, esantys pavojingų teršalų kiekiai, deginant biomasę kartu su atliekų frakcijomis.

Tiriamąo darbo **tikslas** – nustatyti emisijas, deginant biomasę su atliekų priemaišomis esant pastovioms degimo sąlygoms, mažo galingumo įrenginiuose.

Tiksliui pasiekti buvo suformuluoti darbo **uždaviniai** :

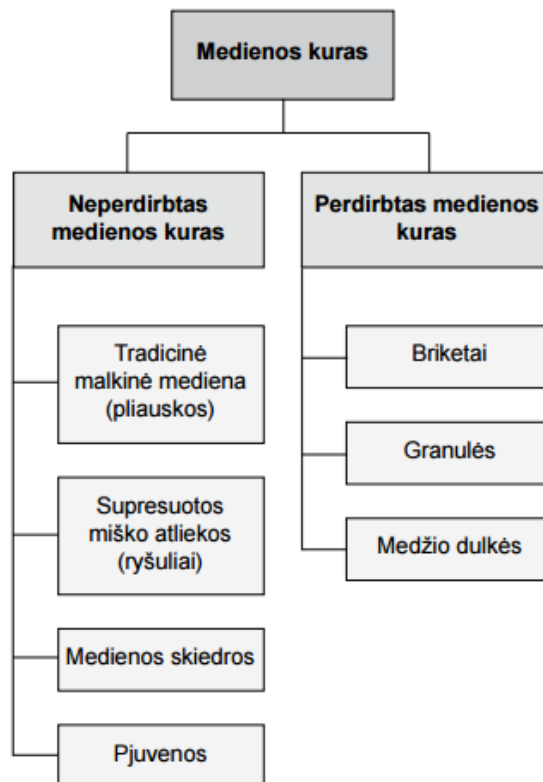
1. Išanalizuoti literatūros šaltinius, susijusius su didelio šilumingumo atliekų frakcijomis ir biokuro deginimu;
2. Atlikti atliekų deginimo eksperimentą bei nustatyti susidariusių teršalų koncentracijas.
3. Nustatyti emisijų koncentracijas ore;
4. Susisteminti ir interpretuoti gautus duomenis.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Cheminių teršalų formavimasis biomasės deginimo metu

Biomasė – fotosintezės būdu augaluose sukaupta saulės energija. Kasmet augalų stiebuose, šakose ir lapuose energijos kiekis keletą kartų viršija pasaulio energijos poreikius. [3] Biomasė žinoma kaip atsinaujinantis, išlaikantis ekologinę pusiausvyrą ir aplinkai mažai žalingas kuras. Kietąją biomasės dalį sudaro mediena, šiaudai, žemės ūkio produktų liekanos, perdirbimo atliekos ir dumbliai. Biomasė plačiai naudojama besivystančiose šalyse, nes yra pigus ir lengvai prieinamas energijos šaltinis.[8]

Medienos kuro rūšys yra skirstomos pagal žaliavos kilmę ir perdirbimo laipsnį. Pagal žaliavos kilmę medienos kuras gali būti skirstomas į kurą iš miškų, iš greitai augančių miškų bei pakartotinai naudojamą medieną. [20]



1 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal medienos perdirbimo laipsnį [20]

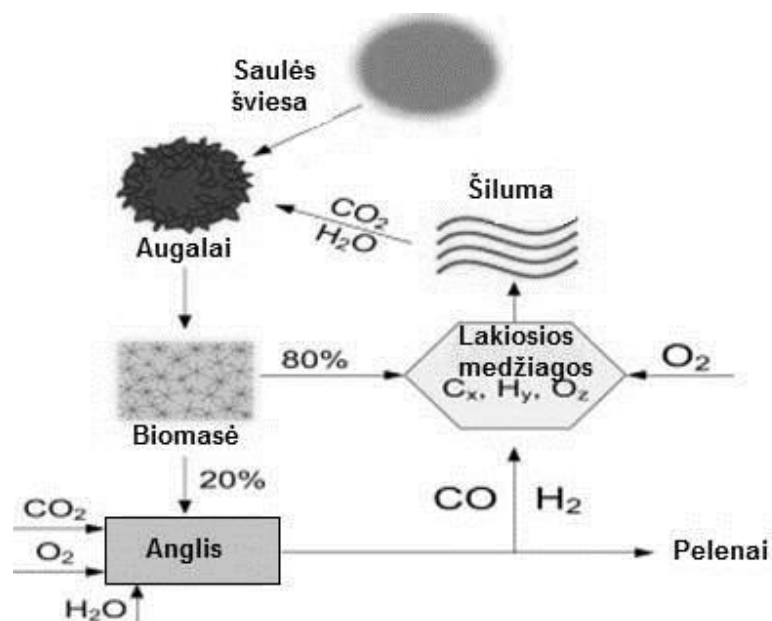
Iš medienos gaunamas kuras klasifikuojamas pagal perdirbimo laipsnį (1 pav.). [20] **Neperdirbtu** kuru laikomas kuras, kuris apdorojimo metu buvo tik supjaustytas arba supakuotas,

tačiau jo mechaninės savybės išliko nepakitusios. **Perdirbtos** medienos kuro rūšys yra medžio briketai ir granulės.[20]

Biomasės granulės gaunamos iš medžio, šiaudų ir žemės ūkio produktų liekanų, mažų dalelių (2-5mm), kurios suspaudžiamos, kaitinamos garais ir ligninu, kaip rišančiąja medžiaga [8]. Degimo proceso metu vyksta egzoterminės reakcijos. Kuro energija saugoma cheminiuose ryšiuose ir paverčiama į šilumos energiją, kuri gali būti įvairiai panaudojama. Biomasės degimas – cheminių reakcijų seka, kurios metu anglis oksiduojama į anglies dioksidą, vandenilis – į vandenį. Nepilno degimo metu dėl deguonies trūkumo susiformuoja nepageidaujami produktai [18].

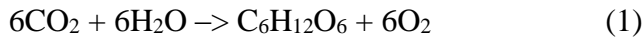
Biomasės kuro savybės suskirstytos į fizikines, chemines, šilumines ir mineralines. Fizikinės savybės, tokios kaip tankis, poringumas ir vidinis paviršiaus plotas yra susiję su biomasės rūšimis ir jų paruošimo metodais. Deginant biomasę svarbiausios cheminės savybės – lakiųjų medžiagų aukštesnioji/žemesnioji šildymo vertė, pirolizės produktų analizė ir anglies šilumingumas. Svarbiausios šiluminės savybės, tokios kaip šiluminis laidumas, spinduliavimas, temperatūra, terminis skilimas. Biomasės degimo metu šilumos skilimo produktai susideda iš lakiųjų medžiagų, drėgmės, anglies ir pelenų. Lakiosios medžiagos – anglies dioksidas, anglies monoksidas, lengvieji angliavandeniliai, vandenilis ir dervos. [18]

Deginant biomasę apie 80 % jos virsta lakiosiomis medžiagomis, kurios jungdamosis su deguonimi tampa šilumine energija, o išsiskyrę  $\text{CO}_2$  ir  $\text{H}_2\text{O}$  sunaudojami augalų fotosintezėje. Likę 20 % biomasę degant suanglėja, jungiasi su anglies dioksidu, deguonimi bei vandeniu ir sudaro pelenus, anglies monoksidą ir vandenilį, kurie panaudojami tolimesnėse reakcijose (2 pav.)[18].



2 pav. Biomasės deginimas ir anglies ciklo uždara sistema [18]

Biomasės naudojimas energijai gauti nedidina anglies dvideginio emisijų į atmosferą. Visi augalai augdami, fotosintezės proceso metu sunaudoja atmosferoje esantį anglies dvideginį atmosferos (1 lygtis) [8].



Biomasės transformacijos į energiją procesas yra neutralus anglies dvideginio atžvilgiu. Tuo būdu biomasės išteklių naudojimas energijai gaminti neįtakoja klimato kaitos, o taip pat yra vienas iš būdų sunaudoti biomasės atliekas [8].

Degimo metu susidarę teršalai priklauso nuo degimo būsenos. Kurą deginant dideliuose įrenginiuose, kur degimo parametrai stebimi išmetamų teršalų kiekiai maži, tuo tarpu mažuose katiluose, kuriuose kuro sumaišymas prastas, degimo parametrai nėra kontroliuojami išsiskiria dideli teršalų kiekiai [8].

Kaitinant medieną sudedamosios dalys pradeda hidrolizuotis, oksiduotis, dehidratuotis ir pirolizės metu, didėjant temperatūrai, formuojasi degios lakiosios medžiagos ir dervos, taip pat didelio reaktingumo anglis. Emisijų išmetimai iš bet kurios kuro rūšies degimo metu tiesiogiai priklauso nuo jos cheminės sudėties ir degimo sąlygų [4].

Degimo metu į orą išmetamas metanas, lakieji organiniai junginiai (LOJ), azoto oksidai, sieros oksidai, vandenilio chloridas, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAA), furanai, dioksinai bei organinės ir neorganinės aerozolinės dalelės. [8]

## 1.2 Atliekų deginimo problematika

Individualių namų gyventojai dažnai komunalines atliekas degina negalvodami apie daromą žalą aplinkai, kaimynams, net ir sau. Gyventojams, kuriems per brangu įsigyti biokuro, savo krosnyse degina „pigęsni“ kurą – buitines komunalines atliekas, kurios išskiria dideles koncentracijas policiklinių aromatinių angliavandenilių, dioksinų/furanų, taip pat smulkių kietųjų dalelių, kurių žmogaus organizmas nesugeba sulaikyti ir patenka į plaučius. Kadangi individualių gyvenamųjų namų kaminai neaukšti, visi išsiskiriantys teršalai patenka į dirvožemį kur auginamos daržovės ir vaisiai [17].

Komunalinės atliekos – tai atliekos susidarančios buityje arba kitos panašios buitinės atliekos [2]. LR aplinkos oro apsaugos įstatymo 20 straipsnyje pateikti teršalų mažinimo priemonių ir atliekų deginimo reikalavimai:

1. *Išmetamų į aplinkos orą teršalų mažinimo priemonės neturi teršti dirvožemio, vandens ir kitų aplinkos elementų.*

2. *Draudžiama deginti sausą žolę, nendrynus, ražienas. Draudžiama deginti atliekas, išskyrus atvejus, kai jos deginamos specialiai tam skirtuose įrenginiuose, vadovaujantis šio įstatymo 15 straipsnio 1 dalies nuostatomis.*“ (Lietuvos Respublikos aplinkos oro apsaugos įstatymas, 1999,(2013)) [19].

### 1.2.1 Atliekų deginimas individualiuose namuose

**Atliekos** (pagal LR Atliekų tvarkymo įstatymą (ATĮ)) – atliekos tai bet kokios medžiagos ar daiktai, kuriais atliekų turėtojas atsikrato, nori atsikratyti ar privalo atsikratyti (pvz., nauji, bet turėtojiui nereikalingi rūbai, gali tapti atlieka, o senas sugedęs televizorius, jei turėtojas juo nenori atsikratyti – nebus laikomas atlieka). Atliekas, pagal susidarymo šaltinį, galima suskirstyti komunalines, gamybines, pavojingas, pakuočių, bio-skaidžias, stambiagabarites ir statybines inertines. Komunalinės atliekos tai atliekos, kurios susidaro individualiuose namų ūkiuose, taip pat joms priskiriamos atliekos panašios į namų ūkių, tačiau susidariusios įmonėse ar organizacijose [30].

Komunalinės atliekos skirstomos [30] :

- Biodegraduojančios atliekos – sodo atliekos, maisto atliekos ir kt.
- Žaliosios atliekos – biologiškai skaidžios parkų, kapinių tvarkymo ir priežiūros atliekos.
- Antrinės žaliavos – tiesiogiai perdirbti tinkamos atliekos ir perdirbti tinkamos iš atliekų gautos medžiagos. Tai gali būti plastikas, stiklas, popierius, metalas.
- Stambiosios atliekos – baldai, buitinė technika ar kitos atliekos didelių matmenų.
- Statybinės atliekos – nuo statybų darbų likusios nebenaudojamos medžiagos.

Tačiau dažniausiai atliekas namų ūkiuose sudaro pagrindiniai penki plastikų polimerai (3 pav.): polietilenas (PE), polietileno tereftalatas (PET), polipropilenas (PP), polistirenas (PS) ir polivinilchloridas (PVC). PE polimerai (LLDPE, LDPE ir HDPE) yra gausiai naudojami polimerai plastikų gamyboje ir dominuoja pakavimo medžiagose, kurios sudaro daugiau nei pusę visų plastiko atliekų [12].

Pagrindinės plastiko atliekų rūšys liekanose ir šiukšlėse yra:

- didelio ir mažo tankio poli(etilenas) (HDPE, LDPE), naudojamas prekybos šiukšlių maišuose, maisto įpakavimuose ir plėvelėse;
- poli(vinilchloridai) (PVC) naudojami buteliuose, pakuotėse ir tarose;
- poli(etileno tereftalatai) (PET) naudojami gėrimų buteliuose ir panašiose tarose, karštų gėrimų puodeliuose, izoliacinėse medžiagose;
- poli(propilenai) (PP) naudojami jogurto pakuotėse, įvyniojimo medžiagose, pakavimo plėvelėse, sviesto pakeliuose ir t.t. [12]

Dauguma šių plastikų išmetami kartu su buitinėmis atliekomis. Nors plastikai (plataus vartojimo prekės, namų apyvokos medžiagos, pakuotės ir t.t.) yra santykinai stabilūs, dėl nuolat, lėtai vykstančių degradacijos procesų skilimo produktai gali būti išskiriami į aplinką. Pagrindinės aplinkosaugos problemos susijusios su galimu toksiniu poveikiu, bio- akumuliacija tarp vandens organizmų ir pavojingų medžiagų išsiskyrimu komunalinių atliekų šalinimo metu.

Kai angliavandeniliai reaguoja su deguonimi susidaro anglies dioksidas, vandens garai ir energija (2 lygtis). Tačiau yra žinoma, kad visiško sudegimo būseną yra neįmanoma [25].

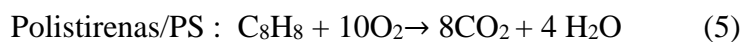
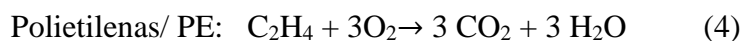


Nepilnas degimas įvyksta, kai atsiranda deguonies trūkumas, kurio metu deguoniui visiškai sureagavus su angliavandeniliais sudaro anglies dioksidas, monoksidas ir vanduo. (3 lygtis) [25].



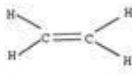
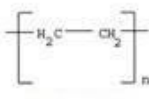
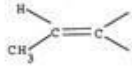
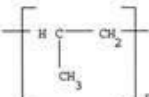
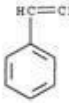
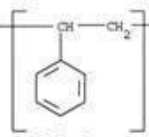
Nepilno degimo reakcijos (3 lygtis) metu, dėl deguonies trūkumo nesunaudojamos visos išsiskyrusios medžiagos, todėl išsiskyre teršalai patenka į orą. Deginant dujas ar naftos produktus, dėl nepilno degimo išsiskiria angliavandeniliai, sieros dioksidas, anglies dioksidas, azoto oksidai, suodžiai ir pelenai [25].

Stechiometrinės polietileno ir polistireno degimo reakcijos:



Deginamas plastikas išskiria lakiuosius organinius junginius (VOCs), dūmus (kietąsias daleles), santykinai kietas sunkiųjų metalų daleles, policiklinius aromatinius angliavandenilius (PAHs), polichlorizuotus dibenzofuranus (PCDFs) ir dioksinus [11].



Monomeras	Polimeras
 Etilenas = Etenas	 Polietilenas
 Propilenas = Propenas	 Polipropilenas
 Štirenas	 Polistirenas

3 pav. Plastikų monomerinės ir polimerinės struktūros [12]

Polimerines struktūras sudaro lengvieji angliavandeniliai – metanas ir etanas, kurie sudaryti iš didesnio kiekio angliavandenilių. (žr. 3 pav.)

Popieriaus atliekos skirstomos į tris grupes: laikraštinių popierių, kartoną ir įvairios rūšies popierių, kurį sudaro maisto pakavimo popierius, popieriniai rankšluosčiai, rudos spalvos popierius, žurnalų popierius. Popieriaus deginimo metu išsiskiria anglies dioksidas ir azoto suboksidas, anglies dioksidas yra biogeninės<sup>1</sup> kilmės, todėl nelaikomas pavojingu, azoto suboksidas – įtraukas į šiltnamio efektą sukeliančių dujų sąrašą. [24]

Sumaišytose popieriaus atliekose gali būti balinto popieriaus, kuris turi chloro arba kai kurių chlorintų organinių junginių. Degimo metu chloras paverčiamas vandenilio chloridu, kuris pasižymi korozinėmis savybėmis. Organinis chloras gali sudaryti ir kitas formas ne tik druskos rūgštį, bet ir chlorobenzenus (CBs), chlorfenolius (CPs), polichlorintus bifenilus (PCB) ir policiklinius aromatinius angliavandenilius (PAA), polichlorintus dibenzo – para – dioksinus (PCDDs) ir polichlorintus dibenzofuranus (PCDFs). Dauguma šių junginių yra kancerogenai, kurie pavojingi žmogui, esant milijoniniai ar trilijoniniai daliai dujose išlekiančiuose iš pakurų ir kaminų [22].

### 1.2.2 Atliekų deginimo metu išsiskiriantys teršalai

Carotti ir Smith (1974) padarė išvadą, kad dujinėse išlakose komunalinių kietųjų atliekų deginimo metu išsiskiria neorganiniai teršalai tokie kaip vandenilio chloridas, sieros rūgštis ir sieros

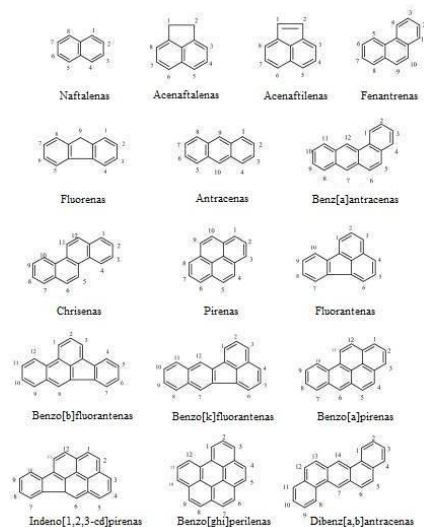
<sup>1</sup>Biogeninės kilmės CO<sub>2</sub> emisijos yra laikomos augalų augimo šaltiniu. Todėl šie išmetami teršalai neįtraukiami į šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.

dioksidas, o organiniai teršalai – angliavandeniliai, aldehydai, alkoholiai, ketonai, eteriai ir organinės rūgštys.

Doll ir Peto (1981) bei Speizer (1986) žinodami PAA susidarymo priežastis ir emisijų charakteristikas įrodė, jog kai kurie PAA yra kancerogenai. PAA ir jų dariniai plačiai paplitę, kenksmingi junginiai susidarę iš organinių medžiagų nepilno degimo metu.

PAA – junginiai sudaryti iš organinių cheminių medžiagų, kurių struktūrą sudaro bent du aromatiniai žiedai, kurie yra sudaryti tik iš anglies ir vandenilių. PAA – stabiliausi iš visų angliavandenilių, turinčių mažiausią vandenilio ir anglies santykį. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai dažniausiai pasitaiko sudėtinuose junginiuose. Šie teršalai dažniausiai susidaro nepilno degimo metu arba iš naftos produktų gavimo [14].

Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai plačiai paplitę aplinkoje ir yra vieni iš pirmųjų atmosferos teršalų, kurie buvo įvardinti kaip kancerogenai. PAA kancerogeniškumas didėja, kai didėja molekulinė masė, o ūmus toksiškumas mažėja [14]. Dažniausiai aptinkami PAA: naftalenas, acenaftilenas, acenaftilenas, fenantrenas, fluorenas, antracenas, fluorantenas, pirenas, benz[a]antracenas, chrizotilas, benzo[b]fluorantenas, benzo[k]fluorantenas, benzo[a]pirenas, dibenzo[h]antracenas, benzo[g,h,i,]perilenas ir indeno[1,2,3-cd]pirenas buvo atrinkti Jungtinių Amerikos valstijų aplinkos apsaugos agentūros (JAV EPA) ir yra stebimi nuolatos (4 pav) [31].

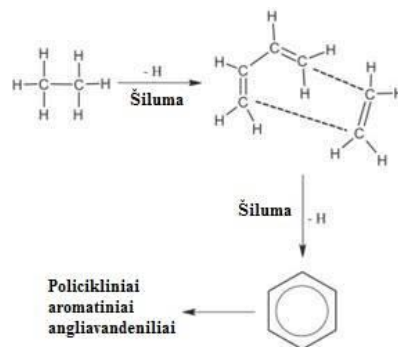


#### 4 pav. Dažniausiai aptinkami policikliniai aromatiniai angliavandeniliai [31]

Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, turintys tris ir daugiau benzeno žiedus, blogai tirpsta vandenyje ir pasižymi žemu garų slėgiu. Geriausiai žinomas PAA – benzo[a]pirenas (B[a]P), kuris turi penkis benzeno žiedus. Dėl mažo PAA garų slėgio, kai kurie iš jų randami aplinkos ore dujų arba kietų dalelių pavidale. Mažesnės molekulinės masės PAA, tokie kaip fenantrenas, dažnai aptinkami

dujinėje fazėje, o didesnės molekulinės masės policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, tokie kaip B[a]P, dažniau absorbuojami kietųjų dalelių [14].

PAA išsidėstymą lemia du pagrindiniai mechanizmai – piro sintezė ir pirolizė. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai sudaryti iš mažų angliavandenilių piro sintezės būdu. Kai temperatūra viršija 500 °C susiformuoja laisvieji radikalai, nes anglies – vandenilio ir anglies – anglies ryšiai yra nutraukiami. Laisvieji radikalai susijungia su acetilenu ir sudaro terminiam skilimui atsparius ryšius (5 pav) [14].



5 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių piro sintezė [26]

PAA dalelių pasiskirstymas buvo tirtas keliuose tyrimuose. PAA kurie turėjo penkis ir daugiau žiedų tarp 80% ir 100% formavosi ant aerodinaminių dalelių mažesnių nei 2,5 μm. [26]

### 1.3 Policiklinių aromatinių angliavandenilių nustatymas

Garų ir kietųjų dalelių būsenose, ore pakibusių PAA surinkimas vyksta į sorbento medžiagą (garų būsenoje) ar filtro medžiagą (kietosioms dalelėms). Tam reikalingi dideli oro kiekiai, nes jų koncentracija būna gana maža (ng/m<sup>3</sup>). Dažniausiai naudojamas sorbentas dujinėje – poliuretano puta (PUF). Taip pat, kiek rečiau, kaip sorbentai naudojami XAD-2, XAD-4, Carbo-pack C ir Tenax. Didelės apimtys ėminiai naudojami esant pakankamai dideliems srautams (34–1250 l/min) ir trunka ilgą laiką, taip siekiant užtikrinti pakankamą mėginių kiekį kiekybinei analizei [16].

Dujų fazės mėginiai apsaugomi pridėdant priešfiltrus bandinių ėmimo pradžioje, kad į juos nepatektų kitokios, ore esančios dalelės. Norint analizei surinkti ne tik dujinius teršalus, bet ir esančius kietoje fazėje, taip pat naudojamas priešfiltris, tačiau ant jo surinkus kietąsias daleles nebus įmanoma nustatyti kietųjų dalelių dydžio. PAA dujų fazės ėminiams imti gali būti naudojami tradiciniai PM<sub>10</sub> oro mėginių aparatai, kuriuose dalelių dydis yra žinomas. Poliuretano puta (PUF) yra filtro apačioje, todėl surenka kietąsias daleles, kurių dydis – PM<sub>10</sub> [16].

Po ore esančių PAA kietųjų dalelių surinkimo, filtro mėginiai apdorojami naudojant organinius tirpiklius, tokius kaip heksanas, dichlormetanas, acetonas ir metanolis.

Ekstrakcijai gali būti naudojami šie metodai [16]:

- ekstrakcija toluenu;
- Soksleto ekstrakcija: toluenas, dichlormetanas, 1:1 heksanas: acetono mišinys;
- mikrobangų ekstrakcija: 1:1 heksano : acetono mišinys;
- pagreitintas ekstrahavimas tirpikliais: toluenas, dichlormetanas, 1:1 heksanas: dichlormetano mišinys;
- ekstrakcija ultragarsu: toluenas, dichlormetanas.

PAA nustatymui naudojami įvairūs chromatografinės analizės metodai: dujų chromatografija (GC) arba aukšto efektyvumo skysčių chromatografija (HPLC).

## 1.4 Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Atliekų deginimas individualiuose namų ūkiuose kelia nemažą aplinkosauginį susirūpinimą. Dažniausiai buityje susidaranti atliekos – plastikai, popierius, folija. Atliekos degdamos išskiria daug teršalų, tokių kaip policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, azoto oksidai, kietosios dalelės ir anglies monoksidas, kurie kenkia aplinkai bei žmogaus sveikatai. Pavojingiausi iš jų – policikliniai aromatiniai angliavandeniliai. šiame darbe nagrinėjami policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, kurie aptinkami dujinėje ir kietoje fazėje. PAA dažniausiai aptinkami turintys du ar tris aromatinis žiedus, o kietojoje fazėje aptinkami daugiau aromatinių žiedų turintys PAA.

PAA surenkami sorbentais ( dujinėje fazėje) ir filtrais (kietojoje fazėje). Po surinkimo sorbentai ir filtrai apdorojami organiniais tirpikliais, vykdoma ekstrakcija, koncentruojama azoto srove, valymas kolonėlėje bei atliekama chromatografinė analizė.

Atlikus literatūros apžvalgą pastebėta, kad deginant plastikus tokius kaip polietilenas, polipropilenas, polietileno teraftalatas išsiskiria pavojingi teršalai, todėl nuspręsta atlikti eksperimentinį tyrimą, kuriame būtų deginama plastikų ir popieriaus atliekos, susidaranti buityje, kartu su medienos granulėmis.

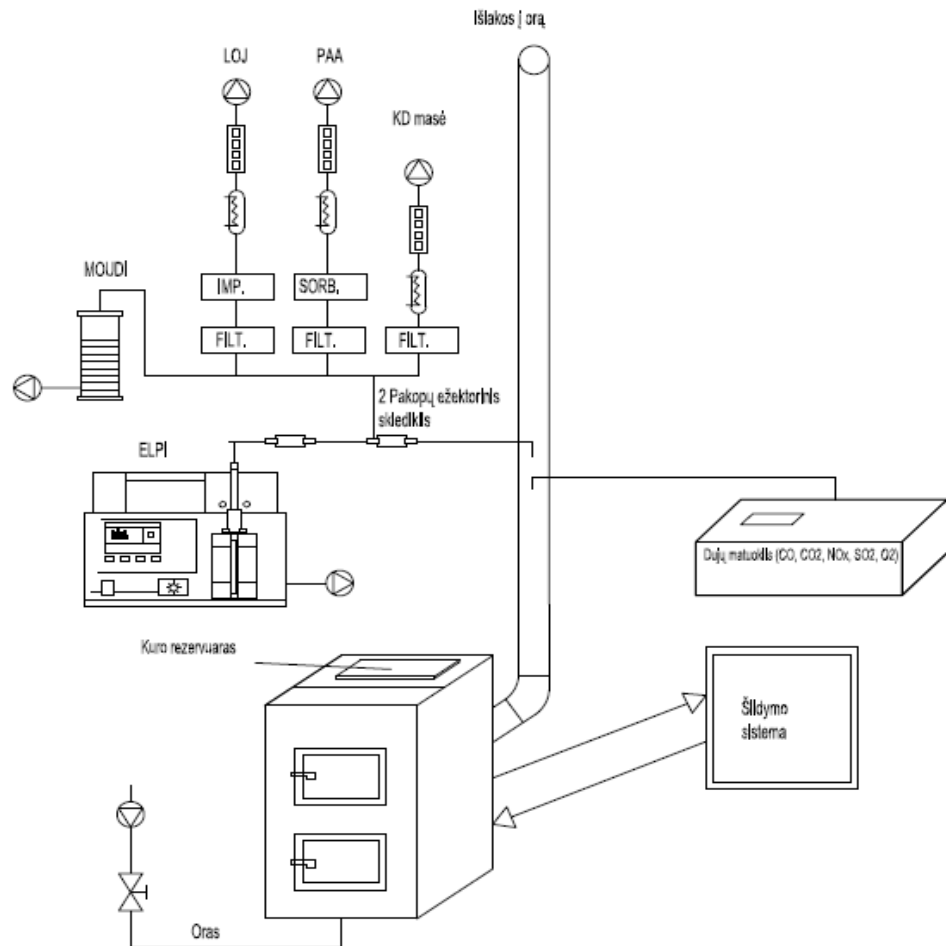
## 2. TYRIMO METODIKA

### 2.1 Atliekų deginimas ir degimo sąlygos

Prieš pradėdant tyrimą šilumnešis (vanduo) buvo įkaitinamas iki 70°C temperatūros tam, kad nesusidarytų kondensatas ant katilo paviršiaus. Siekiant greičiau pasiekti katilo pastovias degimo sąlygas buvo naudojamas gamtinių dujų katilas. Pasiekus reikiamą temperatūrą, turėjo būti užtikrintas stabilus degimas, tam buvo keičiamas paduodamo oro ir kuro kiekis, bei pelenų šalinimas. Stabilių degimo sąlygų nustatymui buvo matuojama šilumnešio temperatūra krosnyje, bei išmetamosiose dujose susidarančių CO dujų koncentracija. Tyrimo metu degimo sąlygos buvo laikomos stabilios matuojant šiuos parametrus: vandens temperatūra katile, išmetamųjų dujų temperatūra ir oro koeficientas -  $\lambda$ . Atliekų deginimas ir susidarančių emisijų matavimai buvo atliekami laboratorijoje. Tyrimas atliekamas mažo galingumo 13kW buitiniame katile (KSM-175-13-U, UAB Kalvis, Lietuva). Šiam tyrimui atlikti buvo sukurti du blokai: vieną bloką sudarė katilas, kitą - emisijų matavimo įrenginiai (6 pav).

Į katilą, medienos granulės, buvo tiekiamos automatiškai sraigtiniu transporteriu iš kuro padavimo rezervuaro. Degimo metu susidarę pelenai buvo šalinami sraigto į pelenų surinkimo bunkerį. Oras ventiliatoriaus pagalba tiekiamas į katilo pakurą. Visi šie parametrai kontroliuojami pagal vartotoją. Taip pat šioje sistemoje prijungtas šilumokaitis, kurio pagalba sumažinama išlakų temperatūra prieš patenkant į išmetimo vamzdį.

Pastebėta, kad susidariusios dujos patenka į izoliuotą kaminą (skersmuo 150mm), kuriame įmontuotas nešiojamas terminis anemometras dujų greičiui matuoti (Portable Thermal Anemometer Series 2440, Kurz Instruments Inc., USA). Kamine buvo įmontuotas realiu laiku dujinių emisijų komponentams (O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>) nustatyti analizatorius IMR 2000 (IMR Environmental Equipment, Inc., Vokietija). Elektrinių žemo slėgio impaktorių (ELPI+, Dekati Inc., Suomija) matuojama realiu laiku aerolinių dalelių skaitinė koncentracija. Policiklinių aromatinių angliavandenilių ėminiams imti buvo naudojami kvarciniai filtrai ir XAD – 2 sorbentai, debitas buvo 1 ml/min. Aktyvuotos anglies sorbentai buvo naudojami lakiems organiniams junginiams.



6 pav. Principinė tyrimo schema

## 2.2 Deginimo tyrimui pasirinktos atliekos

Tyrimą sudarė trylika bandinių, matavimo ciklų buvo 39, nes kiekvienas bandinys buvo deginamas tris kartus. Emisijų susidarymui nustatyti vykstant buitinių atliekų degimui mažos galios katilė buvo tiriamos šios atliekos (žr. 7 pav.): balintas ir laikraštinių popierių, žurnalas, kompozitinė pieno pakuotė, sulčių pakuotė, poroloninės kempinė su šveistuku, vienkartiniai indeliai, šampūno buteliukai, sauskelnės, grietinės indeliai, pomidorų padažo indeliai, baldinis audinys, plastikiniai buteliai. Pagrindinis buitiniame katilė naudojamas kuras buvo – medienos granulės. Atliekos dažnai yra deginamos nors tai yra teisiškai draudžiama, tačiau tai pagrindinis atliekų atsikratymo būdas gyvenamuosiuose namų ūkiuose.



7 pav. Tyrime naudotos atliekos ir biokuras

### 2.3 Ėminių ėmimo įrenginiai

Kietosioms dalelėms surinkti naudojamas Dekati ELPI – elektrinių žemo slėgio impaktorių (žr. 8 pav.), kuris leidžia išmatuoti realiu laiku dalelių dydžio pasiskirstymą ir koncentracijos dydį nuo 6 nm – 10 μm su 10 Hz ėmimo dažniu.[ 28]

Prieš matavimus Dekati ELPI + aparatu buvo išlakos praskiedžiamos 50 kartų (DI – 1000 Dekati Inc, Suomija).



8 pav. Elektrinis žemo slėgio impaktorių



Taip pat buvo naudojamas pakopinis impaktorius MOUDI 100- R (9 pav.), kuris skirtas išskirstyti daleles cheminei analizei. Modelio MOUDI 100 – R impaktoriaus ėminių ėmimo debitas 30 l/min. Prieš naudojimą šio impaktoriaus išlakos buvo praskiedžiamos 7 kartus. Impaktoriumi buvo surenkamos 0,010; 0,018; 0,032; 0,056; 0,1; 0,18; 0,32; 0,56; 1,0; 3,2; 5,6; 1,8; 10 ir 18  $\mu\text{m}$  skersmens kietosios dalelės.



9 pav. „MOUDI model 110 R“ impaktorius

## 2.4 Policiklinių aromatinių angliavandenilių analizė

### 2.4.1 Ėminių ėmimas

Dujinių teršalų matavimui buvo sumontuotas zondas 0,3m virš katilo, dujų išmetimo vamzdyje. Prieš pradėdant tyrimą buvo paruošiami filtrai naudojami policikliniams aromatiniams angliavandeniliams surinkti kietojoje fazėje. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai buvo renkami ant aliuminio folijos 25mm skersmens (DEKATI ELPI+, Dekati Inc., Finland). Prieš imant mėginius aliuminio folijos buvo kaitinamos 300°C temperatūroje 6 valandas, po kaitinimo atvėsinama esant santykiniai drėgmei 50% reguliuojamame termostate 20±1° C, 24 valandas. Prieš mėginių ėmimą ir po mėginių ėmimo filtrai buvo sveriami.

Policiklinių aromatinių angliavandenilių oro ėminių paruošimo metodika buvo sudaryta remiantis kitų autorių metodikomis, modifikuota ir pritaikyta policiklinių aromatinių angliavandenilių

mėginių ruošimui, kurie buvo surinkti kietojoje fazėje impaktoriumi ELPI+ ir MOUDI 110 bei dujinėje fazėje sorbentais XAD -2.

Impaktoriumi ELPI+ surinkti ėminiai kietojoje fazėje suskirstyti į tris frakcijas: frakcija 1 (0.017 – 0.4 μm); frakcija 2 (0.4 – 1 μm); frakcija 3 (1 – 10 μm), bei impaktoriaus MOUDI 110 buvo sugrupuoti į: frakcija 1 (0.056 – 0.18 μm); frakcija 2 (0.18 – 1 μm); frakcija 3 (1– 18 μm) .

Po ėminių ėmimo aliuminio folijos sudedamos į Petri lėkšteles, kurios suvyniojamos į foliją tam, kad išvengti sublimacijos ir suskilimo šviesoje. Ėminiai iki ekstrakcijos ir cheminės analizės yra laikomi -20° C šaltyje.

#### **2.4.2 Ekstrakcija ir koncentravimas azoto srove**

Pradedant vykdyti ekstrakciją aliuminio folijos iš Petri lėkštelės pincetu buvo įdedamos į 6 ml stiklo buteliukus pagal suskirstytas frakcijas. XAD – 2 sorbento ampulė perlaužiama ir sorbentas su stiklo vata sudedamas į 6 ml buteliuką.

Į buteliukus su filtru arba sorbentu su stiklo vata įpilama 4ml dichlormetano. Taip pat chromatografiniu švirksčiu yra įpilama 40 μl vidinio standarto tirpalo. Buteliukai uždengiami aliuminio folija, buteliukas įstatomas į ultragarsinę vonelę, kurioje vykdoma 15 minučių ekstrakcija. Po ekstrakcijos ekstrahentas yra perpilamas į kitą 4 ml buteliuką.

Po ekstrakcijos mėginys koncentruojamas azoto srove iki 0,5 ml. Sukoncentravus mėginį azoto srove, mėginys buvo valomas kolonėlėje.

Kolonėlė buvo sudaryta iš stiklo vatos, kuri buvo įstumiami į dugną. Tuomet buvo pripilta 0,6 g silikagelio ir pripilamas iki atžymos bevandenio natrio sulfato sluoksnis. Po pagaminta kolonėle buvo padedamas buteliukas. Prieš pradedant valyti mėginį kolonėlė buvo sudrėkinama heksanu, naudojantis Pastero pipete tol, kol kolonėlė visiškai sudrėksta. Tuomet pilamas 0,5 ml mėginys į paruoštą valymo kolonėlę. Išvalyto mėginio turėjo būti surenkama 4 ml. Mėginio buteliukas buvo skalaujamas dichlormetano ir heksano mišiniu santykiu 50:50.

Po išvalymo mėginys vėl sukoncentruojamas iki 0,2 ml ir į buteliuką įpilama 40 μL oktofluoronaftaleno standartinio tirpalo. Iš buteliuko mėginys yra perkeliamas į buteliuką 1,5 ml su 0,2 ml insertu. Iki analizės mėginiai laikomi 4° C temperatūroje. Chromatografinė analizė buvo atlikta per 40 dienų.

#### **2.4.3 Chromatografinė mėginių analizė**

Chromatografinė kiekybinė policiklinių aromatinių angliavandenilių mėginių analizė buvo atlikta dujų chromatografu su masių spektroskopija (GCMS-QP2010 Ultra, Shimadzu Corp., Japan) su

kapiliarine kolonėle Rxi-5ms (Restek Inc., USA). Įleidimo tūris buvo 2 µl, inžektoriaus temperatūra 250° C, nešančiųjų dujų – helio – debitas yra 0,58 ml/min. Masių spektroskopijos detektorius skanavo mases nuo 30 iki 450 m/z. Dujų chromatografu su masių spektroskopija buvo tiriami policikliniai aromatiniai angliavandeniliai: naftalenas, acenaftenas, acenaftenas, fluorenas, antracenas, fenantrenas, fluorantenas, pirenas, benz[a]antracenas, chrizenas, benzo[b]fluotantenas, benzo[k]fluorantenas, benzo[a]pirena, benzo[e]pirenas, indeno[1,2,3-c,d]pirenas, benzo[g,h,i]perilenas, dibenz[a,h]antracenas.

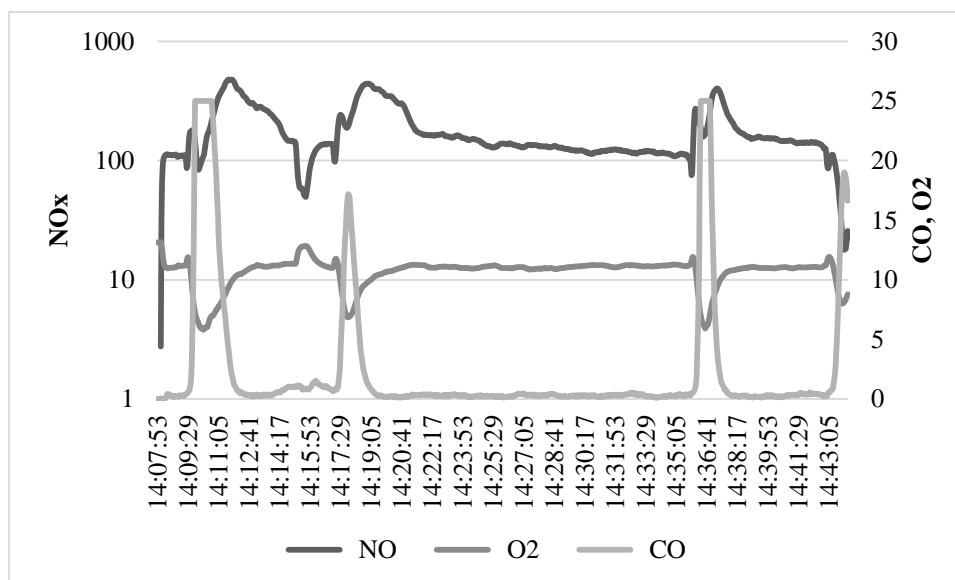
## **2.5 Duomenų analizė**

Tyrimo duomenų įvertinimui, statistinei analizei ir grafiniam vaizdavimui buvo naudojamos SigmaPlot 11.0 ir SPSS Statistics 7 programos. Šios statistinės analizės buvo naudojamos aprašyti kietųjų dalelių, policiklinių aromatinių angliavandenilių teršalų kiekiams. Spearmano koreliacijos koeficientas nustatė ryšį tarp atliekų savybių ir išsiskyrusių emisijų.

### 3. TYRIMO REZULTATAI

#### 3.1 Nepilno degimo susidarymas

Išanalizavus kitų autorių literatūrą, pilno sudegimo sąlygas charakterizuoja mažas CO, didelis  $\text{NO}_x$  ir mažas  $\text{O}_2$ . [33] Kuomet degimas yra neefektyvus CO kiekis būna didelis,  $\text{NO}_x$  mažas ir  $\text{O}_2$  žemas. Kaip matyti 10 paveiksle, atlikus eksperimentinį deginimą, deginant baldų audinį CO ir  $\text{NO}_x$  kiekiai padidėjo, o  $\text{O}_2$  sumažėjo. Atlikus tyrimą galima teigti, kad atliekos nepilnai sudegė, todėl susiformavo įvairūs teršalai, tokie kaip policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, anglies monoksidas ir kiti junginiai.



10 pav. Nepilno degimo susidarymas sąlygos

#### 3.2 Atliekų charakteristikos ir savybės

Eksperimentinio tyrimo metu tirtos atliekos pagamintos pomidorų padažo indelis – aukšto tankio polietileno, grietinės ir vienkartiniai indeliai – polistireno, poroloninė kempinė – polipropileno, sauskelnės – plastikų mišinys, pieno pakuotė – kartono ir polietileno, o sulčių pakuotė kartono, polietileno ir folijos.

Nustatytos pagrindinės elementinės atliekų savybės pateiktos 1 lentelėje. Atlikus atliekų charakteristikų tyrimą, nustatyta, kad didžiausią šilumingumą turi šampūno indelis pagamintas iš polietileno – 42,4 MJ/kg. Mažiausias šilumingumas nustatytas mėginiuose iš žurnalo popieriaus – 10,2 MJ/kg. Didžiausias peleningumas nustatytas poroloninės kempinės mėginiuose – 34 %.

Drėgmės kiekis tirtose sauskelnėse, laikraštyje, poroloninėje kempinėlyje ir pieno pakuotėje vyraavo nuo 7,0 – 8,7 %, o baldų audinyje, šampūno butelyje, vienkartinuose indeliuose, plastiko butelyje, pomidorų padažo indelyje bei grietinės indelyje drėgmės buvo 0,1-0,6 %.

Chun – Teh Li (2001) tyrimo metu nustatyta PP drėgmė siekė 0,27 % , o peleningumas – 0,37 %, HDPE drėgmės – 0,05 %, peleningumas – 1,51 %, lyginant su šio tyrimo duomenimis PP drėgmė (poroloninės kempinės) 32 kartus didesnė, o HDPE (pomidorų padažo indelis) skyrėsi 1,4 karto [9] (Priedas nr. 2).

Pagal gautus duomenis nustatyta, kad kuo didesnis kiekis anglies elementnėje sudėtyje, tuo didesnis atliekos šilumingumas. Atliekose sudarytose iš plastiko polimerų sudėtyje anglies kiekiai buvo didžiausi. Azoto kiekis tirtose atliekose vyraavo nuo 0,01 – 0,14 % , išskyrus baldų audinį – 3,5%, poroloninę kempinę - 7,98% ir sauskelnės 6,69%, kurių kiekis skyrėsi apie 70 kartų , baldų audinyje azoto kiekis skyrėsi 35 kartus daugiau nei kitų degintų atliekų. Deguonies kiekis visose tirtose atliekose siekė 19–44%, tuo tarpu plastikuose (buvo nustatyta 0,2–0,3 % deguonies. Vandenilio kiekis tirtose atliekose – 4,1–8,9 %, tačiau reikėtų išskirti pomidorų padažo bei šampūno indelį, kuriuose jis siekė 14,5 %.

Pagal autoriaus Chun – Teh Li et. al. (2001) gautas plastikų PP, HDPE elementines sudėtis, jos atitinka šiame tyrime gautus elementinės sudėties kiekius [9] (priedas nr.1).

**1 lentelė. Atliekų ir biokuro elementinė sudėtis ir pagrindinės charakteristikos**

Nr.	Atliekos/Biokuras	Medžiaga	Elementinė sudėtis				Sausa masė, aukštesnioji vertė, MJ/kg	Sausa masė, žemesnioji šildymo vertė, MJ/kg	Grynoji masė, aukštesnioji šildymo vertė, MJ/kg	Drėgmė, %	Peleningas, %
			C, %	O, %	H, %	N, %					
1	Laikraštis	Popierius	46.9	39.3	6.3	0.12	19.7	18.4	16.8	7.4	1.7
2	Žurnalas	Popierius	33.6	39.9	4.1	0.09	11.6	10.7	10.2	4.2	33.1
3	Balintas popierius	Popierius	36.2	44.0	4.7	0.10	13.7	12.7	11.9	5.5	18.9
4	Pieno pakuotė	PE/kartonas	46.0	38.1	6.2	0.14	21.9	20.6	18.9	7.0	0.3
5	Sulčių pakuotė	PE/kartonas/aliuminio folija	50.7	27.5	7.7	0.14	24.6	22.9	21.7	4.9	11.5
6	Grietinės indelis	PS	86.5	0.2	7.8	0.04	35.9	34.3	34.1	0.6	7.4
7	Pomidorų padažo indelis	HDPE	84.8	0.3	14.5	0.01	45.2	42.1	42.0	0.1	1.1
8	Plastiko butelis	PET	63.2	32.7	4.2	0.11	23.1	22.1	21.9	0.4	0.2
9	Vienkartiniai indeliai	PS	92.4	0.2	8.1	0.10	41.2	39.5	39.5	0.1	0.9
10	Šampūno butelis	PET	86.1	0.2	14.5	0.10	45.5	42.5	42.4	0.1	1.4
11	Poroloninė kempinė	PP	39.1	37.4	4.7	7.98	15.1	14.1	12.9	7.2	34.0
12	Sauskelnės	Plastikų mišinys	60.5	19.8	7.7	6.69	21.1	19.4	17.5	8.7	16.8
13	Baldų audinys	PS/AC/N66	57.7	29.4	8.9	3.50	27.0	25.1	24.7	1.5	0.5
Pagrindinis kuras: medienos granulės		Mediena	48.6	5.9	41.2	0.20	20.1	18.8	17.6	5.7	1.5

2 lentelėje pateikti degimo parametrų duomenys, kurie parodo kiekvienos atliekos procentinę dalį deguonies degimo metu, išmetamųjų dujų temperatūrą, oro pertekliaus koeficientą –  $\lambda$ . Iš gautų duomenų matome, jog didžiausia išmetamųjų dujų temperatūra buvo deginant pomidorų padažo indelį, keliais laipsniais mažesnė – degant žurnalui. Daugiausia deguonies sunaudojama vienkartiniais indeliais bei žurnalui sudeginti. Deguonies kiekis degant atliekoms sumažėdavo kelis kartus, lyginant su medienos granulėmis dėl to, kad plastike esantys

polimerai deguonies neturi, o medienos granulėse, kurios sudarytos iš celiuliozės, deguonies yra daugiau. Visų atliekų degimo naudingumas koeficientas ( $qA/ETA$ ) svyravo nuo 93 iki 96 %. Tyrimo metu buvo matuojama išmetamų dujų temperatūra. Mažiausia ji buvo degant poroloninei kempinei – 103 °C, o didžiausia – degant pomidorų padažo indeliui – 125 °C.

**2 lentelė. Tyrimo parametrai degant atliekoms**

Degimo parametrai	Medienos granulės	Laikraštis	Žurnalas	Baltas popierius	Pieno pakuotė	Sulčių pakuotė	Grietinės indelis	Pomidorų padažo indelis	Plastiko butelis	Vienkartiniai indeliai	Šampūno buteliukas	Poroloninė kempinė	Sauskelnės	Baldų audinys
O <sub>2</sub> , %	14,13	7,07	9,19	5,03	4,95	6,08	7,48	4,07	7,25	9,26	5,29	7,87	6,85	6,97
qA/ETA, %	91	95	93	95	96	95	95	95	95	94	95	95	95	95
LAMB	3,1	1,6	1,9	1,3	1,3	1,4	1,6	1,2	1,5	1,8	1,3	1,7	1,5	1,5
T-dujų, °C	114	110	122	117	115	115	113	125	117	109	121	103	117	114

Didžiausias deginamos atliekos kiekis buvo balinto popieriaus ir laikraščio – 85 g., o mažiausias kiekis – žurnalo 22 g. ir baldų audinio 29 g. Deginimo metu medienos granuliu buvo sunaudojama apie 1,5 kg/val. (žr. 3 lentelė)

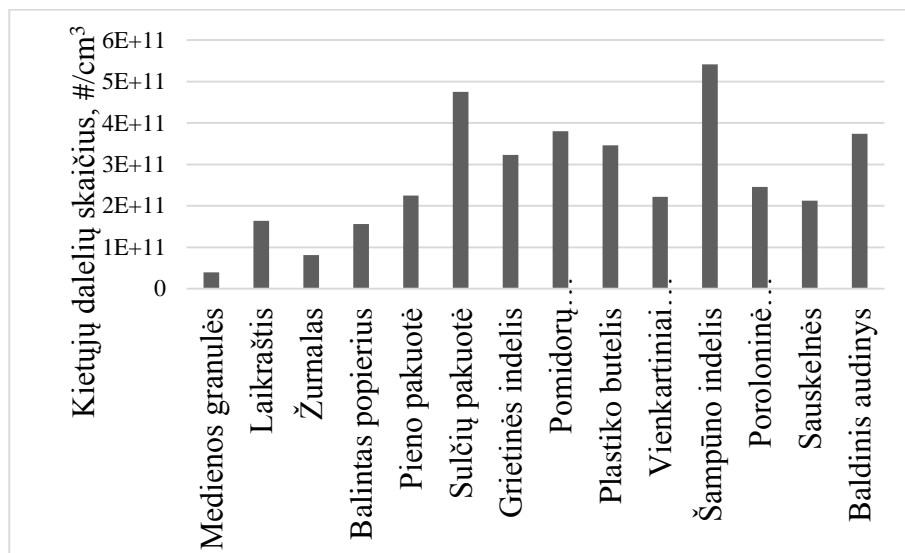
### 3 lentelė. Tyrimui naudojamų atliekų rūšys ir kiekiai

Nr.	Atliekos / Biokuras	Deginamų atliekų kiekis, g.
1	Laikraštis	85
2	Žurnalas	22
3	Balintas popierius	86
4	Pieno pakuotė	56
5	Sulčių pakuotė	34
6	Grietinės indelis	36
7	Pomidorų padažo indelis	80
8	Plastiko butelis	31
9	Vienkartiniai indelis	27
10	Šampūno butelis	53
11	Poroloninė kempinė su šveistuku	35
12	Sauskelnės	40
13	Baldų audinys	29
Pagrindinis kuras: medienos granulės		1,5kg/val.

### 3.3 Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas

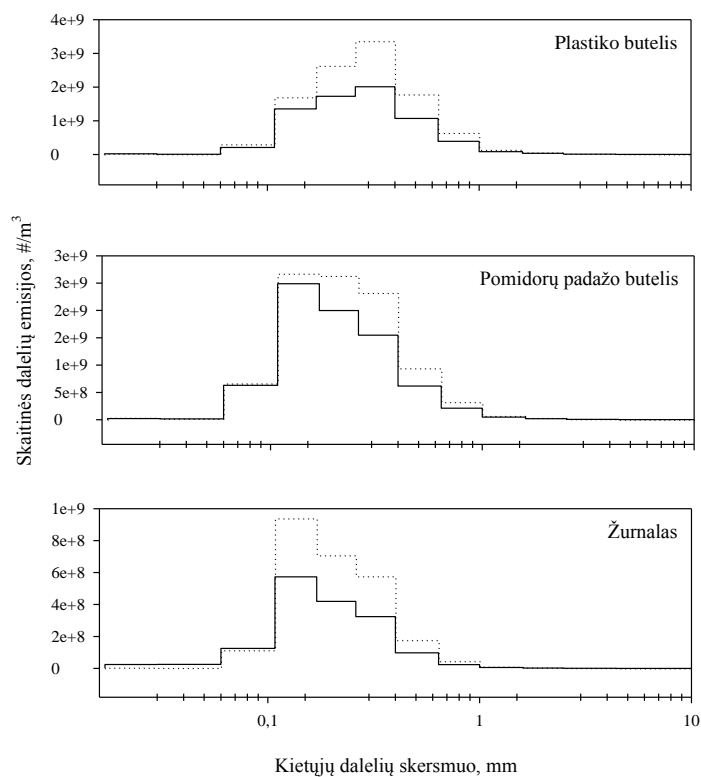
Didžiausios skaitinės dalelių emisijos buvo nustatytos degant šampūno indeliui –  $5,41 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup> ir sulčių pakuotei –  $4,75 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup>. Mažiausia koncentracija nustatyta degant žurnalui –  $8,1 \cdot 10^{10}$  #/cm<sup>3</sup>. (11 pav.) Vienmodalinę pasiskirstymą turėjo laikraščio, balinto popieriaus, sulčių pakuotės, pomidorų padažo, šampūno ir vienkartinė indelių, plastiko butelio, poroloninės kempinės, sauskelnių bei baldų audinio aerolinės dalelės. Didžiausios dalelių masės koncentracijos pastebėtos grietinės indelyje ( $5392 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ir pieno pakuotėje ( $4185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), o mažiausios – žurnalui ( $378 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ir laikraščiui ( $637 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). (priedas nr. 3). Atlikus koreliacinę rezultatų analizę nebuvo nustatytas koreliacinis ryšys tarp anglies monoksido ir skaitinės dalelių koncentracijos, koreliacijos koeficientas  $\sim 0,07$ , o tarp kietųjų dalelių masės koncentracijos ir anglies monoksido koreliacijos koeficientas  $\sim 0,33$  priedas nr. 4). Tai parodo, kad dujinės fazės teršalai nesiformuoja ant kietųjų dalelių.



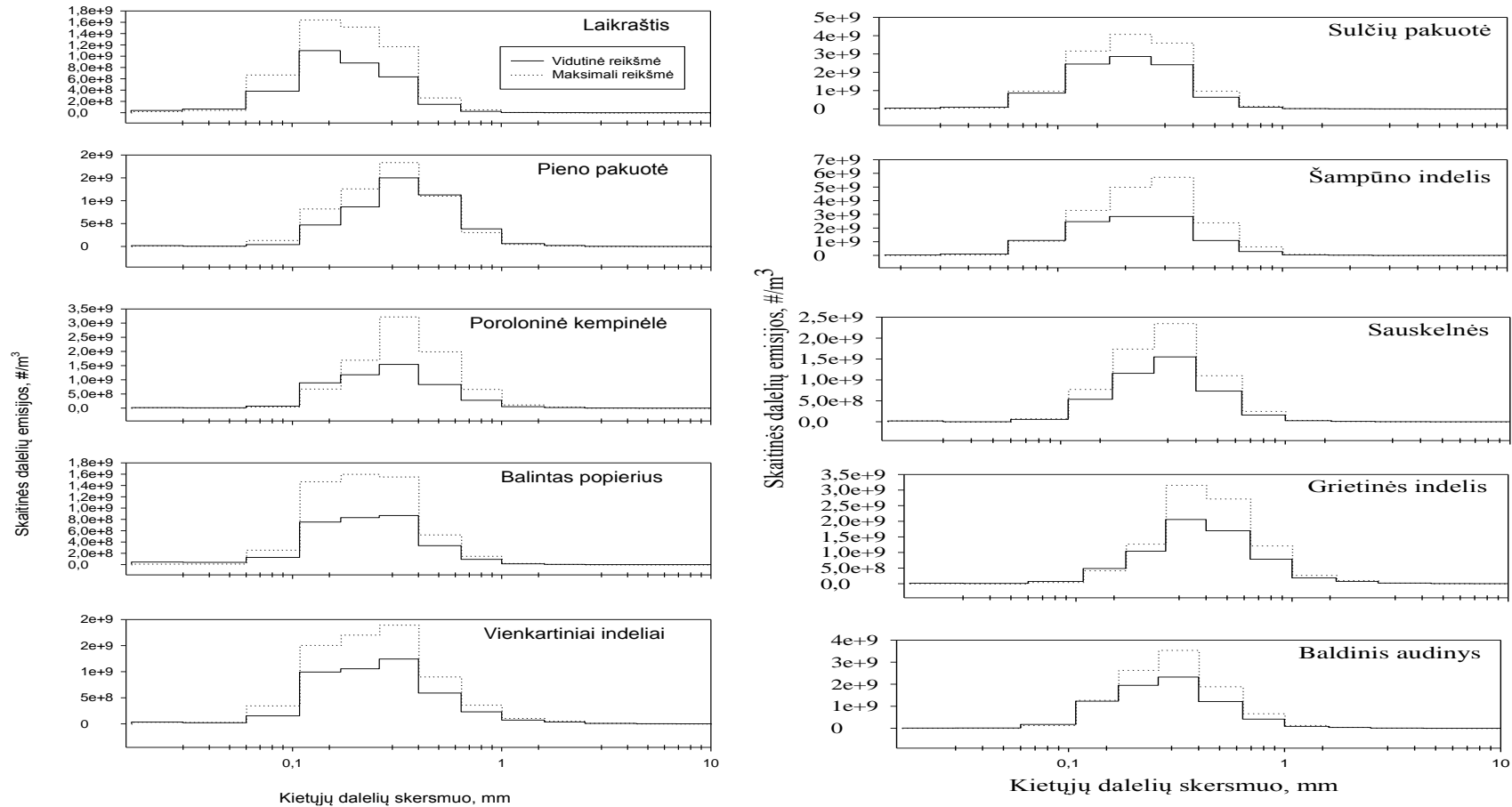


11 pav. Kietųjų dalelių suminis grafikas

Deginant atliekas susidariusių kietųjų dalelių didžiausia moda vyrauja nuo 100 iki 400 nm dalelių diapozone. (12 pav. ir 13 pav. )



12 pav. Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas



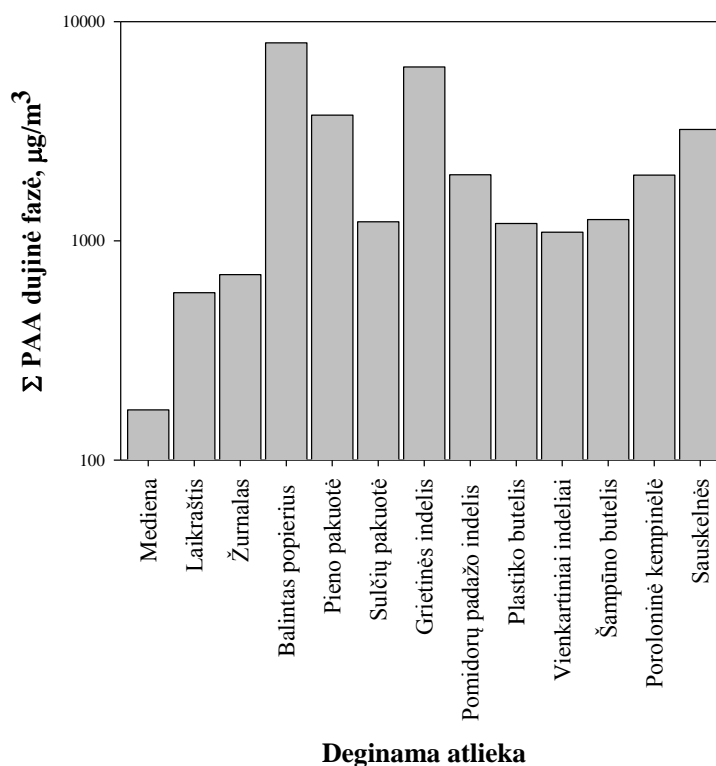
**13 pav.** Kietųjų dalelių emisijos deginant atliekas

Palyginus su Chun – Teh Li duomenimis tyrime buvo naudojamos medžiagos: poli(stirenas) PS puri izoliuojanti medžiaga, kuri išskyrė didžiausią kiekį kietųjų dalelių, poli(etilenas) (PE) – deginant šiukšlių maišus reikšmės buvo gautos panašios į ekperimentinio tyrimo gautus duomenis, poli(propilenas) PP – maisto pakuotės reikšmės buvo gautos panašios į ekperimentinio tyrimo gautus duomenis ir poli (etilenas teraftalatas) PET plastiko butelis išskyrė nedidelį kiekį kietųjų dalelių. [9]

### 3.4 Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai dujinėje fazėje

Pagal gautus eksperimentinio tyrimo duomenis, policiklinių aromatinių angliavandenilių atliekų deginimo išlakose, didžioji dalis PAA susidaro dujinėje fazėje. Dujiniai  $\Sigma$  PAA sudaro nuo 62,41% iki 98,60% visų policiklinių aromatinių angliavandenilių sumos.

Didžiausias kiekis policiklinių aromatinių angliavandenilių dujinėje fazėje susidaro deginant balintą popierių  $\Sigma$  PAA – 8006  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , o mažiausias – deginant laikraštį –  $\Sigma$  PAA – 580  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (žr. 14 pav.).



14 pav. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai dujinėje fazėje

Kadangi deginimui pasirinktos atliekos buvo ne tik skirtingos elementinės sudėties, bet skyrėsi ir savo morfologija, taip įtakoją policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijas. Gautų duomenų lyginimui buvo pasirinkti antracenas, fluorantenas, pirenas, chrisenas, benzo[k]fluorantenas, benzo[a]pirenas, dibenz[a,h]antracenas. Polietileno teraftalatas lygintas su plastiko buteliu bei šampūno indeliu, kurie pagaminti iš polietileno teraftalato. Eksperimentinio tyrimo metu gautus PAA duomenis palyginus su Huei Lee et. al. (1994) gautais duomenimis deginant polistireną ir polietileno teraftalatą buvo nustatyta, kad šios reikšmės skiriasi nuo 8 iki 17 kartų.[10]

Palyginant Hui Zhou et. al. (2014) tyrimo metu degintu polistireno su eksperimentinio tyrimo pasirinktomis atliekomis pagamintomis iš polistireno: grietinės indelis išskyrė PAA – 9,03 µg/g, vienkartinių indelių išskyrė PAA – 14,9 µg/g reikšmės mažesnės, nei Hui Zhou et. al. (2014) tyrime gautos polistireno PAA – 317,2 µg/g vertės.[21] (4 lentelė).

**4 lentelė. Policiklinių aromatinių junginių palyginimas su kitų autorių gautomis vertėmis**

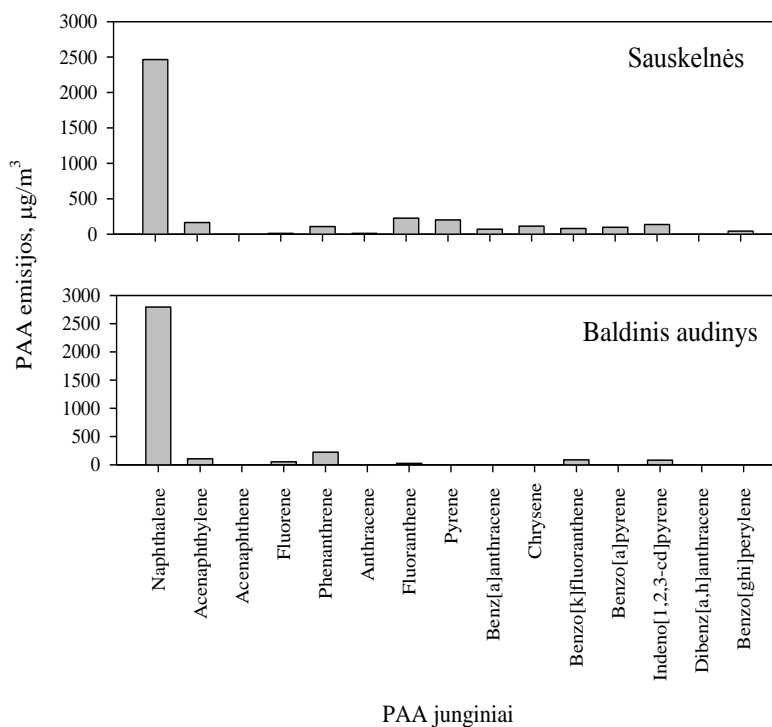
	<b>Polistirenas (Grietinės indelis), µg/g</b>	<b>Polistirenas (Vienkartiniai indeliai), µg/g</b>	<b>Polistirenas (PS), µg/g [10]</b>	<b>Polistirenas, µg/g[21]</b>	<b>Polietileno teraftalatas (Plastiko butelis), µg/g</b>	<b>Polietileno teraftalatas (Šampūno indelis), µg/g</b>	<b>Polietileno teraftalatas (PET), µg/g [10]</b>
Naftalenas	100,14	52,86	-	12,46	18,35	15,88	-
Acenaftilas	3,5	4,91	-	-	0,86	3,72	-
Acenaftenas	0	0,19	-	-	0,06	0,12	-
Fluorenas	0,49	1,02	-	2450	0,25	0,36	-
Fenantrenas	1,74	6,83	-	6001	1,2	0,99	-
Antracenas	0,07	0,72	7,4	1275	0,08	0,09	7,4
Fluorantenas	3,16	5,98	62,1	380	2,55	2,13	nenustatyta
Pirenas	2,19	3,74	58,1	354	2,52	1,72	14,9
Benz[a]antracenas	2,82	1,79	-	-	0,2	0,94	-
Chrisenas	1,9	1,41	106	-	3,89	0,61	21,4
Benzo[k]fluorantenas	1,28	1,67	3,8	-	1,73	0,54	1,3
Benzo[a]pirenas	0,19	0,71	11,6	-	0,12	0,11	4,3
Indeno[1,2,3-cd]pirenas	1,21	1,62	-	-	1,11	0,55	-
Dibenz[a,h]antracenas	0	0,18	47,3	-	0	0,01	14,7
Benzo[ghi]perilenas	0,25	0,52	20,9	-	0,05	0,14	28,5
<b>Σ PAA</b>	<b>118,94</b>	<b>84,14</b>	<b>317,2</b>	<b>10472,46</b>	<b>32,98</b>	<b>27,91</b>	<b>92,5</b>

Buvo atlikta Spearman'o koreliacinė analizė tarp CO,  $\Sigma$  PAA dujinėje fazėje, naftaleno, acenaftaleno, fluoreno, fenantreno, antraceno fluoranteno, pireno, benz(a)antraceno, chriseno, benzo(a)pireno, indeno (1,2,3 – c,d)pireno, dibenz(a,h)antraceno ir benzo(ghi)perileno. Koreliacinis ryšys pastebėtas tarp CO ir  $\Sigma$  PAA dujinėje fazėje,  $r \sim 0,53$ . Dujinėje būsenoje policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos priklausė nuo CO ir degimo efektyvumo ( $qA/ETA$ ). Taip pat koreliacijos ryšys pastebėtas tarp CO ir mažesnę molekulinę masę turinčių junginių: naftaleno – 0,49; acenaftaleno – 0,57; acenafteno – 0,46; fluoanteno – 0,46, bei stipresni ryšys su fluorenu – 0,67 fenantrenu – 0,61. (Priedas nr. 6)

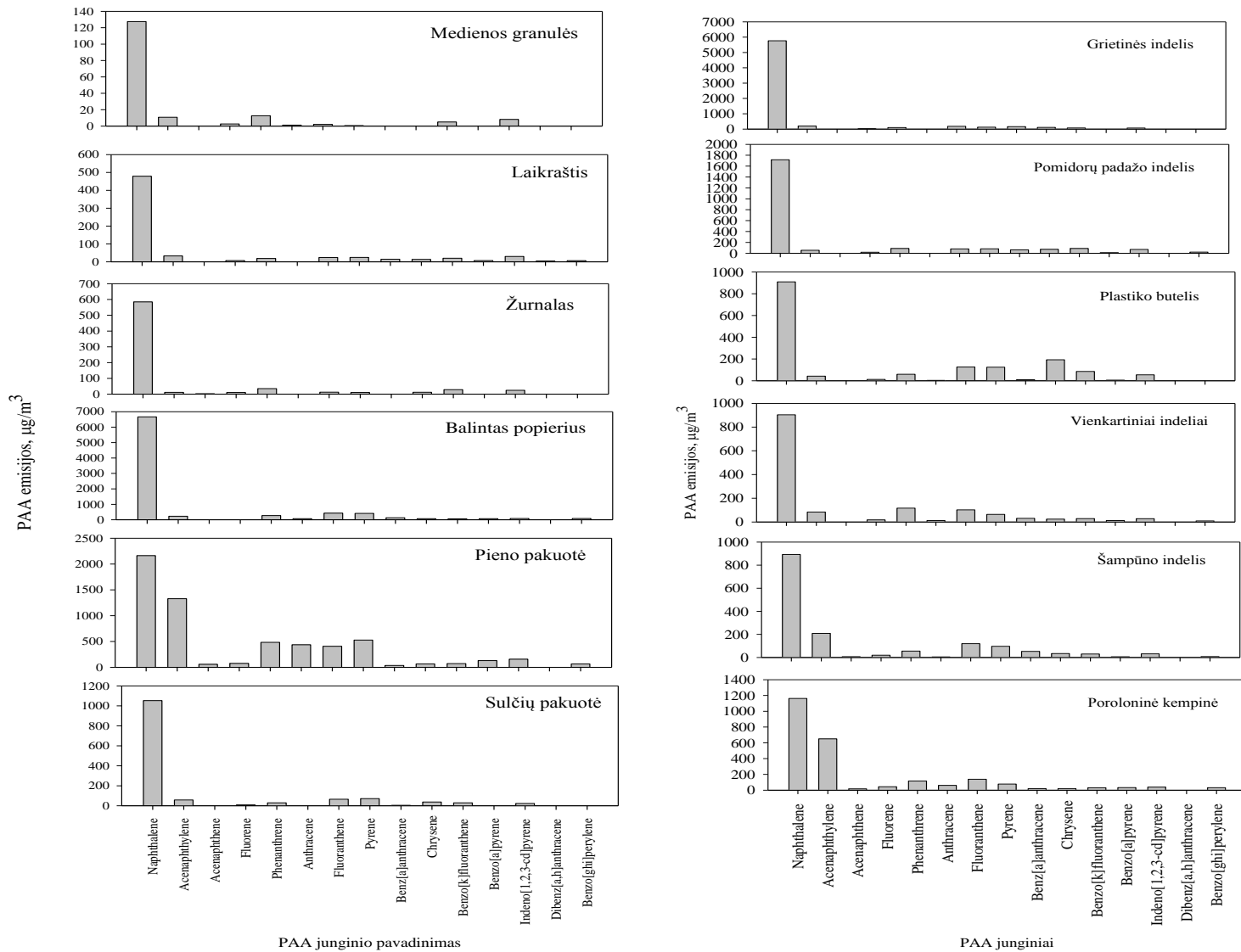
Chun – Teh Li (2001) atlikus koreliacinę analizę buvo nustatyta, kad tarp CO ir  $\Sigma$  PAA buvo  $r \sim 1,6$  karto mažesnis lyginant su šiame darbe atliktu eksperimentiniu tyrimu [9] (Priedas nr. 5), tačiau palyginus duomenis su Biswas (1998) gautomis reikšmėmis PAA pasiskirstymo rezultatai buvo panašūs į atlikto tyrimo rezultatus [15].

Iš tyrimo duomenų matyti, jog deginimo metu formuojasi didžiausi kiekiai PAA, turinčių mažesnę molekulinę masę, išskyrus polistireno – vienkartinius indelius ir polietileno teraftalato butelį, kuriuose formuojasi visi PAA junginiai .

PAA dujinėje fazėje pasiskirstę tarp mažesni aromatinių žiedų skaičių turinčių junginių, išskyrus vienkartinius indelius (PS) bei plastiko butelį (PET) (15 ir 16 pav.).



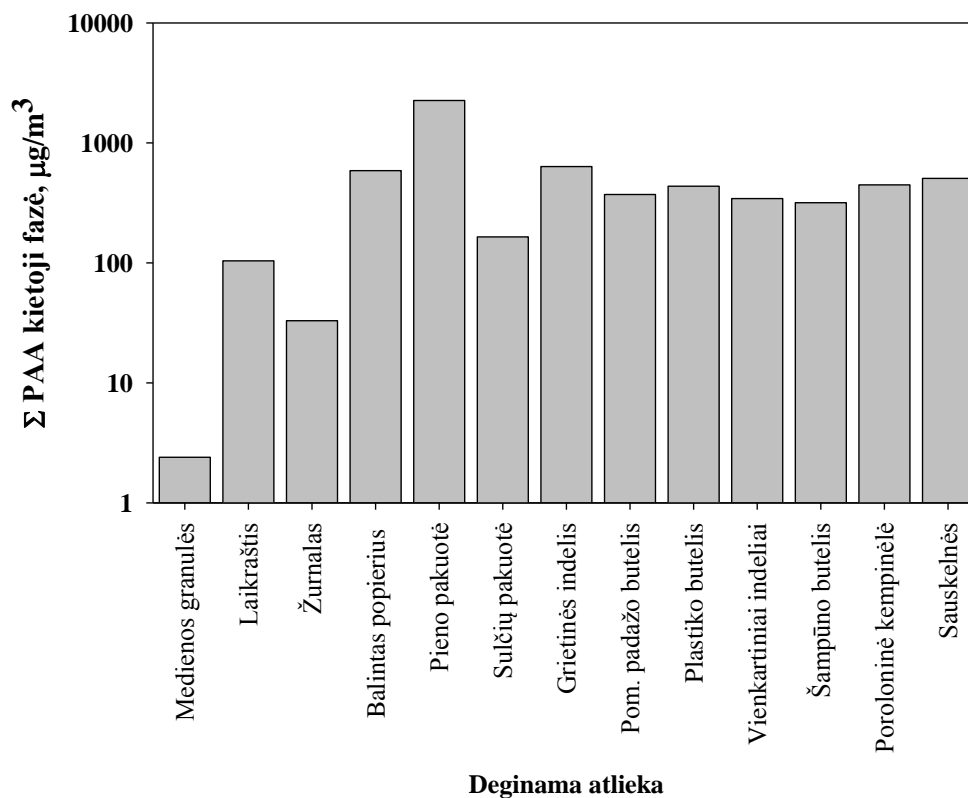
**15 pav.** Policiklinių aromatinių junginių emisijos



16 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos dujinėje fazėje

### 3.5 Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai kietojoje fazėje

Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai kietojoje fazėje kinta nuo  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  iki  $2256 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Didžiausios policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos pastebėtos deginant pieno pakuotę  $\Sigma$  PAA –  $2256 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mažiausios –  $\Sigma$  PAA –  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , deginant žurnalą. (žr. 16 pav.)



17 pav. Policiklinių aromatinių angliavandenilių emisijos kietojoje fazėje

Chun-Teh Li (2001) savo atliktame tyrime nustatė, jog kietojoje fazėje polipropileno susidarė  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , o aukšto tankio polietileno susidarė  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , taip pat kietojoje fazėje daugiausiai aptinko benzo[j]fluoranteno, 2,7- dimetilpireno, pireno ir dihidronaftaceno, tai didesnės molekulinės masės PAA junginiai [9].

**5 lentelė. Policikliniai aromatiniai angliavandeniliai kietojoje fazėje**

Deginama atlieka Dalelių frakcija, $\mu\text{m}$	Laikraštis	Žurnalas	Balintas popierius	Pieno pakuotė	Sulčių pakuotė	Grietinės indelis	Pomidorų padažo indelis	plastiko butelis	Vienkartiniai indeliai	Šampūno butelis	Kempinė	Sauskelnės	Baldinis audinys
0,18	46,5	20,8	27,7	100,1	124,6	50,2	178,8	112	125,8	68,5	203,8	43,4	10
0,56	51,1	12,2	244	263,4	20	172,9	132,2	235,8	166	195,4	1111,7	410,1	77
1,8	6,3	25	316,3	83,6	40,3	411,1	60,4	87,3	51,8	53,6	940,2	53	56,1
10	3	15	17,1	32,8	8	318,7	20	36,4	30,2	11,9	293,7	5,8	11,7
$\Sigma$ PAA	106,9	73	605,1	479,9	192,9	952,9	391,4	235,7	373,8	329,4	2549,4	512,3	154,8

Pagal 5 lentelėje pateiktus duomenis matyti, jog dalelės pasiskirstė tarp smulkios ir vidutinės frakcijos (0,18 $\mu\text{m}$  – 0,56  $\mu\text{m}$ ), tai patvirtina jog PAA formuojasi iš pirminių deginimo nano dalelių. Smulkiojoje frakcijoje policiklinių aromatinių angliavandenilių susidaro deginant laikraštį, sulčių pakuotę, pomidorų padažo indelį, plastiko butelį. Vidutinėje frakcijoje > 0,56 PAA susiformuoja daugiausiai deginant sauskelnes, šampūno indelį. Gautas PAA fracinis pasiskirstymas visais tirtais atvejais buvo vienmodalinis.

$\Sigma$  PAA kietųjų dalelių daugiausiai susidarė deginant poroloninę kempinę – 2549,4  $\mu\text{m}$ , o mažiausiai žurnalą – 73  $\mu\text{m}$ . Galima teigti, kad policiklinių aromatinių angliavandenilių formavimasis priklauso ir nuo deginamos atliekos dydžio bei struktūros – poroloninės kempinės – porėtos, smulkesnės, žurnalas – didesnis, kieti lapai. Mažesnio dydžio dalelės turi didesnį savitąjį paviršiaus plotą, dėl kurio PAA absorbuojasi.



## IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę, degant biokurui ir atliekoms susidaro pavojingi junginiai, tokie kaip PAA, anglies monoksidas, azoto oksidai, kietosios dalelės. Lietuvos Respublikos Aplinkos apsaugos įstatymas draudžia deginti atliekas, išskyrus tuos atvejus kai jos deginamos specialiai tam skirtuose įrenginiuose.
2. Didžiausios skaitinės dalelių emisijos buvo nustatytos degant šampūno indeliui –  $5,41 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup> ir sulčių pakuotei –  $4,75 \cdot 10^{11}$  #/cm<sup>3</sup>, o mažiausias kiekis susidarė degant žurnalui –  $8,1 \cdot 10^{10}$  #/cm<sup>3</sup>. Didžiausia moda vyrauja nuo 100 iki 400 nm dalelių diapozone.
3. Didžiausios PAA kietojoje fazėje emisijos susidarė deginant pieno pakuotę  $\Sigma$  PAA – 2255 mg/m<sup>3</sup>, mažiausios emisijos išsiskyrė deginant žurnalą  $\Sigma$  PAA – 33 mg/m<sup>3</sup>. Dujinėje fazėje susidarančių policiklinių aromatinių angliavandenilių didžiausias kiekis susidaro deginant balintą popierių  $\Sigma$  PAA – 8006 mg/m<sup>3</sup>, o mažiausiai susidaro deginant laikraštį –  $\Sigma$  PAA – 580 mg/m<sup>3</sup>.
4. Duomenų analizavimui buvo naudojama Spearmano koreliacija, kurios metu nebuvo nustatyta statistiškai reikšmingų duomenų. Silpnas koreliacinis ryšys pastebėtas tarp CO ir  $\Sigma$  PAA dujinėje fazėje, koreliacijos koeficientas  $\sim 0,53$ . Tarp PAA kietojoje fazėje ir skaitinių kietųjų dalelių buvo pastebimas silpnas koreliacijos ryšys, koeficientas – 0,56. Tai parodo, kad teršalų kiekiai priklauso nuo atliekos formos, struktūros, degimo sąlygų, bei katilo galios.
5. Atlikus eksperimentinį tyrimą pastebėta, kad deginant polimerinės struktūros atliekas susidaro dideli kiekiai PAA, nes degimo metu cheminiai ryšiai nutrūksta ir susidaro didelis savitasis paviršius. Deginant atliekas, kurios buvo pagamintos iš celiuliozės PAA susidarė mažesni kiekiai, tačiau lyginant su išsiskyrusiais teršalais degant tik medienos granulėms PAA koncentracija du kartus mažesnė.

## PARENGTOS PUBLIKACIJOS

1. **K. Ragauskaitė, lekt. I. Stasiulaitienė.** Emisijų susidarymas deginant biomasę su įvairių atliekų frakcijomis. Chemija ir cheminė technologija 2015, Klaipėda, Lietuva, gegužės 8d. 2015
2. **Stasiulaitiene, E. Krugly, K. Ragauskaitė, L. Kliučininkas, E. Puida, K. Buinevičius.** Emisijų susidarymas deginant kietąsias atliekų frakcijas mažo galingumo katile. Aerozolių technologija 2015, Tampere, Suomija, birželio 15 – 17d. 2015

## LITERATŪRA

1. Juan Riaza, Reza Khatami, Yiannis A. Levendis, Lucía Álvarez, María V. Gil, Covadonga Pevida, Fernando Rubiera, José J. Pis (2014) Combustion of single biomass particles in air and in oxy-fuel conditions. *Biomass and bioenergy*, p 162-174
2. „Mišrių komunalinių atliekų tvarkymas“ Internetinė prieiga. Peržiūrėta 2014 gegužės 09d. <http://www.aratc.lt/atlieku-tvarkymo-vadovas/misrios-komunalines-atliekos/gyventojams/>
3. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Internetinė prieiga. Peržiūrėta 2015 gegužės 17d. [http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos\\_kryptys/atsinaujantys\\_energijos\\_saltiniai/biomase.php?clear\\_cache=Y](http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos_kryptys/atsinaujantys_energijos_saltiniai/biomase.php?clear_cache=Y)
4. Bernd R.T Simoneit, (2002) Biomass burning — a review of organic tracers for smoke from incomplete combustion. *Applied Geochemistry*, p. 129-162
5. M. Morales J.M. Chimenos, F. Espiell, M. Segarra (2014) The effect of temperature on mechanical properties of oxide scales formed on a carbon steel in a simulated municipal solid waste incineration environment. *Surface and Coatings Technology*, p. 51-57
6. Municipal waste incineration
7. P. Kannan , A. Al Shoaibi, C. Srinivasakannan (2013) Energy recovery from co-gasification of waste polyethylene and polyethylene terephthalate blends. *Computers & Fluids*, p. 38-42
8. A. Williams, J.M. Jones, L. Ma, M. Pourkashanian, (2012) Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, p. 113 -137
9. Chun- Teh Li, Huan- Kai Zhuang, Lien –Te Hsieh, Wen- Jhy Lee, Meng Chun Tsao (2001) PAH emission from the incineration of three plastic wastes. *Environment International*, p. 61-67
10. Huei Lee, Lee Wang, Jung- Feng Shih (1995) Mutagenicity of particulates from the laboratory combustion of plastics.. *Mutation Research Letters*, p. 135-144
11. Athanasios Valavanidis, Nikiforos Iliopoulos, George Gotsis, Konstantinos Flotakis (2008) Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic. *Journal of Hazardous Materials*, p. 277-284
12. End of waste criteria for waste plastic for conversion. (2012) *Technical proposal*. Spain Internetinė prieiga. Peržiūrėta 2014 birželio 12 d. <http://susproc.jrc.ec.europa.eu/activities/waste/documents/Plastics2ndworkingdoc23may2012.pdf>

13. Nobusuke Kobuashi, Yoshinori Itaya, Guilin Piao, Shigekatu Mori, Motohiro Kondo, Michhiko Hamai, Masataka Yamaguchi (2004) The behavior of flue gas from RDF combustion in a fluidized bed. *Powder Technology*, p. 87-95
14. Khaiwal Ravindra, Ranjeet Sokhi, Rene Van Grieken, (2008) Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment*, p. 2895-2921
15. Chelsea M. Rochman, Carlos Manzano, Brian T. Hentschel, Staci L. Massey Simonich and Eunha Hoh. (2013) Polystyrene plastic: a source and sink for polycyclic aromatic hydrocarbons in the marine environment. *Environmental Science and Technology* p.13976–13984
16. Sudhir Kumar Pandey, Ki- Hyun Kim (2011) A review of techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in air. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, p. 1717-1739
17. Komunalinių atliekų deginimo poveikis žmogaus sveikatai. (2011) Ariogala.lt. Peržiūrėta 2014 lapkričio 22 d.  
<http://www.ariogala.lt/komunaliniu-atlieku-deginimo-poveikis-zmoniu-sveikatai>
18. A.A.A. Abuelnuor, M.A.Wahid, Seyed Ehsan Hosseini, A.Saat, Khalid M.Saqr, Hani H.Sait,M.Osman (2014) Characteristics of biomass in flameless combustion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 363 – 370
19. Lietuvos respublikos seimas. Aplinkos oro apsaugos įstatymas. (2013)Peržiūrėta 2015 gegužės 27d. [http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=454087&p\\_tr2=2](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=454087&p_tr2=2)
20. Villu Vares, Ülo Kask, Peeter Muiste, Tõnu Pihu, Sulev Soosaar (2007) Biokuro naudotojo žirnynas. Vilnius: Žara.
21. Hui Zhou, Chunfei Wu, Jude A. Onwudili, Aihong Meng, Yanguo Zhang, Paul T. Williams (2015) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) formation from the pyrolysis of different municipal solid waste fractions. *Waste management*, p. 136 – 146.
22. Aysen Ucuncu Energy recovery from mixed paper waste. *Department of Civil and Environmental Engineering*.
23. Akio Kamiya, Youki Ose (1987) Mutagenic activity and PAH analysis in municipal incinerators. *Science of The Total Environment*, p 37 – 49.
24. EPA government (2015) Paper products. Peržiūrėta 2015 gegužės 31 d.  
[http://epa.gov/epawaste/conservation/tools/warm/pdfs/Paper\\_Products.pdf](http://epa.gov/epawaste/conservation/tools/warm/pdfs/Paper_Products.pdf)
25. Mark Jonston (2009) Incomplete combustion. Peržiūrėta 2015 gegužės 23d.  
<http://www.blissflooring.com/bliss/about/warranties/information/~//media/Files/Technical%20Support%20Information/claims/Incomplete%20Combustion%20PDF.ashx>

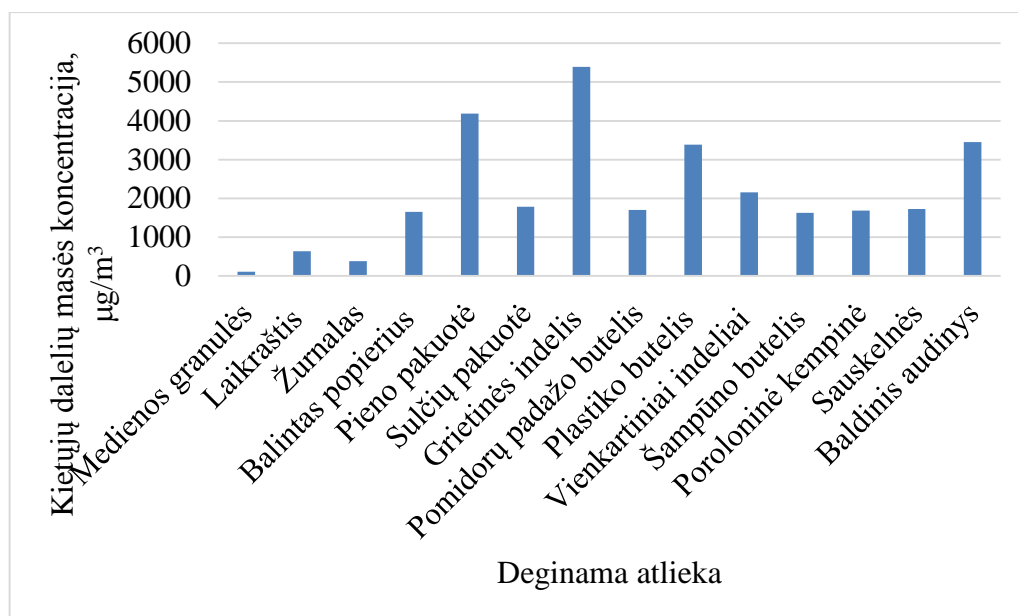
26. European commission (2001) Ambient Air Pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Peržiūrėta 2015 gegužės 24d. [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp\\_pah.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/pp_pah.pdf)
27. Susan K. Durlak, Pratim Biswas (1998) Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon particulate and gaseous emissions from polystyrene combustion. *Environmental Science and Technology* p. 2301- 2307.
28. Dekati. Peržiūrėta 2015 gegužės 26d. <http://dekati.com/products/Fine%20Particle%20Measurement/ELPI+%E2%84%A2>
29. Jari Tuominen, Sisko Salomaa, Heikki Pyysalo, Eija Skytta, Leena Tikkanen, Tuomo Nurmela, Marja Sorsa, Veijo Pohjola, Marketta Sauri, Kimmo Himberg (1988) Polynuclear aromatic compounds and genotoxicity in particulate and vapour phases of ambient air: effect of traffic, season, and meteorological conditions. *Environmental science and technology*, p. 1228 – 1234
30. Algirdo Stulginskio universitetas. Atliekų skirstymas Peržiūrėta 2015 gegužės 21d. <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/atliekutvarkymas/2.htm>
31. Jian Yan, Lei Wang, Peter P, Fu, Hongtao Yu (2004) Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbon from the US EPA priority pollutant list. *HHS Author Manuscripts* p. 99-108
32. F. E. Speizer (1986) Overview of the risk of respiratory cancer from airborne contaminants. *Environmental health perspectives* p. 9-15
33. Gintaras Denafas (2001) Atmosferos apsauga, II dalis. Kaunas: KTU leidykla "Technologija"

**PRIEDAI****1 PRIEDAS****PLASTIKŲ IR DYZELINO ELEMENTINĖS SUDĖTYS[7]**

	PVC plastikas	PP plastikas	HDPE plastikas	Skystas dyzelinas
Elementas (%)				
Anglis (C)	48.1	85.8	84.3	85.3
Vandenilis (H)	6.75	14.2	14.1	14.0
Deguonis (O)	<0.01	<0.01	<0.01	ND
Azotas (N)	<0.01	<0.01	<0.01	ND
Sulfidai (S)	<0.01	<0.01	<0.01	0.5
Chloras (Cl)	42.4	<0.01	<0.01	0.04

**2 PRIEDAS****SUDEDAMOSIOS PLASTIKŲ IR DYZELINO DALYS [7]**

Sudedamosios dalys	PVC plastikas	PP plastikas	HDPE plastikas	Dyzelinas
Degumas (%)	97.3	99.4	98.4	99.9
Drėgmė (%)	1.67	0.27	0.05	0.05
Peleningumas (%)	1.08	0.37	1.51	0.04

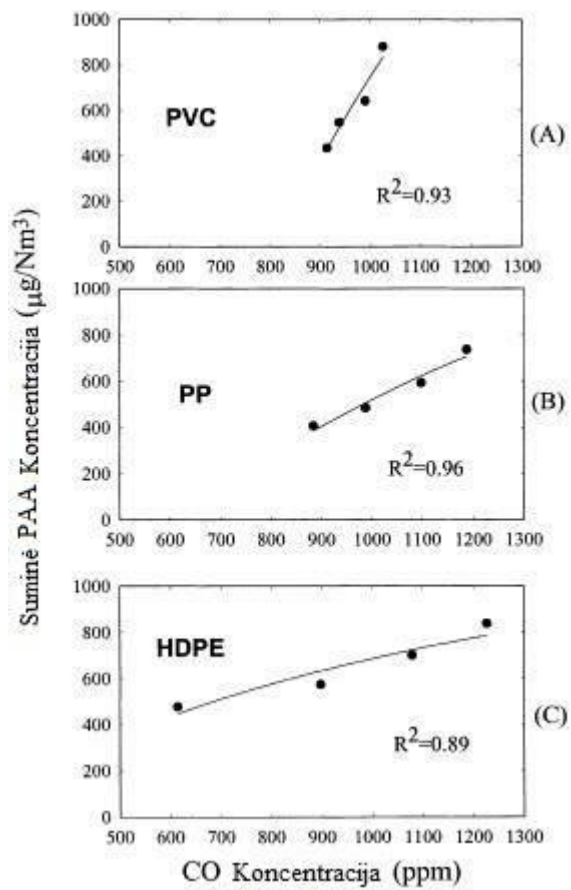
**KIETŪJŲ DALELIŲ MASĖS GRAFIKAS**



**SKAITINIŲ KIETŪJŲ DALELIŲ, KIETŪJŲ DALELIŲ MASĖS IR  
ANGLIES MONOKSIDO KORELIACIJA**

	<b>Skaitinė dalelių koncentracija, #/cm<sup>3</sup></b>	<b>Kietųjų dalelių masės koncentracija, µg/m<sup>3</sup></b>	<b>CO, g/m<sup>3</sup></b>
<b>Skaitinė dalelių koncentracija, #/cm<sup>3</sup></b>	1,000000	0,019780	- 0,079208
<b>Kietųjų dalelių masės koncentracija, µg/m<sup>3</sup></b>	0,019780	1,000000	0,334434
<b>CO, g/m<sup>3</sup></b>	-0,079208	0,334434	1,000000

## KORELIACIJOS GRAFIKAI POLIPROPILENO, POLIVINILCHLORIDO, AUKŠTO TANKIO POLIETILENO [9]



## 6 PRIEDAS

### KORELIACIJA TARP ANGLIES MONOKSIDO, SUMINIŲ DUJINIŲ PAA IR ATSKIRŲ PAA JUNGINIŲ

	CO, g/m <sup>3</sup>	SUM Vapour PAHs, µg/m <sup>3</sup>	Naphthalene, µg/m <sup>3</sup>	Acenaphthylene, µg/m <sup>3</sup>	Acenaphthene, µg/m <sup>3</sup>	Fluorene, µg/m <sup>3</sup>	Phenanthrene, µg/m <sup>3</sup>	Anthracene, µg/m <sup>3</sup>	Fluoranthene, µg/m <sup>3</sup>	Pyrene, µg/m <sup>3</sup>	Benz(a)anthracene, µg/m <sup>3</sup>	Chrysene, µg/m <sup>3</sup>	Benzo(k)fluoranthene, µg/m <sup>3</sup>	Benzo(a)pyrene, µg/m <sup>3</sup>	Indeno(1,2,3-cd)pyrene, µg/m <sup>3</sup>	Dibenz(a,h)anthracene, µg/m <sup>3</sup>	Benzo(ghi)perylene, µg/m <sup>3</sup>
CO, g/m <sup>3</sup>	1,000	0,526	0,493	0,568	0,445	0,667	0,607	0,438	0,462	0,332	0,235	0,059	0,184	0,296	0,293	0,238	0,428
SUM Vapour PAHs, µg/m <sup>3</sup>	0,526	1,000	0,956	0,829	0,438	0,855	0,859	0,736	0,956	0,930	0,851	0,767	0,799	0,766	0,903	0,185	0,882
Naphthalene, µg/m <sup>3</sup>	0,493	0,956	1,000	0,745	0,361	0,741	0,789	0,648	0,881	0,873	0,811	0,785	0,790	0,684	0,833	0,027	0,807
Acenaphthylene, µg/m <sup>3</sup>	0,568	0,829	0,745	1,000	0,711	0,890	0,833	0,855	0,877	0,798	0,719	0,468	0,504	0,766	0,710	0,492	0,827
Acenaphthene, µg/m <sup>3</sup>	0,445	0,438	0,361	0,711	1,000	0,484	0,634	0,759	0,629	0,515	0,207	0,172	0,174	0,577	0,436	0,521	0,550
Fluorene, µg/m <sup>3</sup>	0,667	0,855	0,741	0,890	0,484	1,000	0,873	0,789	0,815	0,758	0,679	0,495	0,625	0,686	0,727	0,346	0,778
Phenanthrene, µg/m <sup>3</sup>	0,607	0,859	0,789	0,833	0,634	0,873	1,000	0,908	0,873	0,763	0,666	0,512	0,592	0,865	0,785	0,404	0,884
Anthracene, µg/m <sup>3</sup>	0,438	0,736	0,648	0,855	0,759	0,789	0,908	1,000	0,833	0,719	0,574	0,420	0,440	0,794	0,644	0,424	0,782
Fluoranthene, µg/m <sup>3</sup>	0,462	0,956	0,881	0,877	0,629	0,815	0,873	0,833	1,000	0,952	0,798	0,736	0,715	0,812	0,890	0,331	0,884
Pyrene, µg/m <sup>3</sup>	0,332	0,930	0,873	0,798	0,515	0,758	0,763	0,719	0,952	1,000	0,798	0,837	0,812	0,722	0,930	0,209	0,816
Benz(a)anthracene, µg/m <sup>3</sup>	0,235	0,851	0,811	0,719	0,207	0,679	0,666	0,574	0,798	0,798	1,000	0,697	0,673	0,752	0,802	0,226	0,838
Chrysene, µg/m <sup>3</sup>	0,059	0,767	0,785	0,468	0,172	0,495	0,512	0,420	0,736	0,837	0,697	1,000	0,928	0,462	0,785	-	0,553
Benzo(k)fluoranthene, µg/m <sup>3</sup>	0,184	0,799	0,790	0,504	0,174	0,625	0,592	0,440	0,715	0,812	0,673	0,928	1,000	0,521	0,845	-	0,629
Benzo(a)pyrene, µg/m <sup>3</sup>	0,296	0,766	0,684	0,766	0,577	0,686	0,865	0,794	0,812	0,722	0,752	0,462	0,521	1,000	0,832	0,541	0,959
Indeno(1,2,3-cd)pyrene, µg/m <sup>3</sup>	0,293	0,903	0,833	0,710	0,436	0,727	0,785	0,644	0,890	0,930	0,802	0,785	0,845	0,832	1,000	0,253	0,896
Dibenz(a,h)anthracene, µg/m <sup>3</sup>	0,238	0,185	0,027	0,492	0,521	0,346	0,404	0,424	0,331	0,209	0,226	-0,153	-0,164	0,541	0,253	1,000	0,470
Benzo(ghi)perylene, µg/m <sup>3</sup>	0,428	0,882	0,807	0,827	0,550	0,778	0,884	0,782	0,884	0,816	0,838	0,553	0,629	0,959	0,896	0,470	1,000

