

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

INGRIDA VALAVIČIENĖ

**KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO
SEZONINIO KITIMO ĮTAKA ATLIEKŲ
TVARKYMO SISTEMOS RODIKLIAMS**

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka (04T)

2012, Kaunas

Disertacija rengta 2003-2012 m. Kauno technologijos universiteto Cheminės technologijos fakultete Inžinerinės ekologijos katedroje.

Mokslinis konsultantas:

Prof. dr. Gintaras Denafas (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

Interneto svetainės, kurioje skelbiama disertacija, adresas:

www.ktu.lt/turinys/mokslo-renginiai

www.asu.lt

www.lei.lt

Recenzavo:

Prof. dr. Violeta Makarevičienė (Aleksandro Stulginskio universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T);

Prof. habil. dr. Algirdas Jonas Raila (Aleksandro Stulginskio universitetas, technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka – 04T).

© I. Valavičienė, 2012

© Leidykla, 2012

ISBN

TURINYS

SANTRUMPOS	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	8
ĮVADAS	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
1.1. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMĄ, SURINKIMĄ IR SUDĖTĮ ĮTAKOJANTYS VEIKSNIAI.....	12
1.2. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO PROGNOZAVIMAS	20
1.3. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ APSKAITA LIETUVOJE	23
1.4. ES IR LR TEISĖS AKTŲ REGLAMENTUOJANČIŲ ATLIEKŲ TVARKYMĄ APŽVALGA	26
1.4.1. ES Direktyvos reglamentuojančios komunalinių atliekų tvarkymą	26
1.4.2. Lietuvos Respublikos teisės aktai reglamentuojantys komunalinių atliekų tvarkymą.....	26
1.5. TRUMPA KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TVARKYMO TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA	27
1.5.1. Atliekų perdirbimas.....	27
1.5.2. Biologiškai skaidžių atliekų apdorojimas.....	28
1.5.3. Mišrių komunalinių atliekų apdorojimas.	29
1.6. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SAVYBĖS	36
1.6.1. Fizinės mišrių komunalinių atliekų savybės	37
1.6.2. Cheminės mišrių komunalinių atliekų sudėtis	38
1.7. LITERATŪROS APŽVALGOS IŠVADA	39
2. TYRIMŲ METODIKA	40
2.1. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ CHARAKTERISTIKŲ NUSTATYMO METODIKA	40
2.1.1. Komunalinių atliekų kiekio tenkančio vienam gyventojui nustatymo metodika .	40
2.1.2. Komunalinių atliekų susidarymo kitimo laiko bėgyje nustatymo metodika.....	41
2.2. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ KIEKIO IR SUDĖTIES PROGNOZAVIMO METODIKA	42
2.2.1. Komunalinių atliekų kiekio ir sudėties prognozavimas naudojant miesto socialinio – ekonominio gerbūvio lygio ir atliekų susidarymo priklausomybę	42
2.2.2. Komunalinių atliekų savaitinio kiekio prognozavimas naudojant laiko eilučių analizę.....	44
2.2.3. Mišrių komunalinių atliekų sudėties apskaičiavimas įvertinant sezoninį skirtumą....	48
2.3. MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TVARKYMO TECHNOLOGIJŲ PASIRINKIMAS	49
2.4. MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ KONVERSIJOS Į DIDELIO ŠILUMINGUMO FRAKCIJĄ PO MECHANINIO – BIOLOGINIO APDOROJIMO SKAIČIAVIMAS	50
2.5. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ DEGINIMUI REIKALINGŲ ENERGETINIŲ IR APLINKOSAUGINIŲ RODIKLIŲ NUSTATYMAS	51
2.5.1. Energetinių rodiklių nustatymas	51
2.5.2. Aplinkosauginių rodiklių nustatymas	52
3. TYRIMŲ REZULTATAI	56
3.1. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO KITIMO LAIKO BĖGYJE DĖSNINGUMŲ NUSTATYMAS	56
3.1.1. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo metinė kaita.....	56
3.1.2. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo kaita mėnesiais.....	56
3.1.3. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo sezoninė kaita.....	57
3.1.4. Komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo kaita savaitėmis	58

3.2. KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SUSIDARYMO IR SUDĖTIES PROGNOZĖS	59
3.2.1. Komunalinių atliekų kiekio prognozė remiantis socialinių –ekonominių rodiklių ir atliekų susidarymo priklausomybe	59
3.2.2. Komunalinių atliekų kiekio prognozė naudojant laiko eilutę	60
3.3 KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ SURINKIMO SCENARIJAI	68
3.4. MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOS SUDĖTIES (TECHNOLOGIJŲ) PARINKIMAS	69
3.5 MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ TVARKYMAS MECHANINIŲ-BIOLOGINIŲ BŪDU	70
3.6. MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ DEGINIMO ENERGETINIŲ RODIKLIŲ APSKAIČIAVIMAS	75
3.7. OPTIMALIOS ATLIEKŲ TVARKYMO SISTEMOS STRUKTŪROS SUDARYMAS	80
3.8. MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ DEGINIMO APLINKOSAUGINIŲ RODIKLIŲ APSKAIČIAVIMO REZULTATAI	83
3.9 PROGNOZĖS EKSTREMUMŲ ANALIZĖ.....	90
IŠVADOS	91
REKOMENDACIJOS.....	92
GAUTŲ REZULTATŲ TAIKYMO GALIMYBĖS.....	93
LITERATŪROS SĄRAŠAS	95
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	103
PADĖKA	105
PRIEDAS.....	106

SANTRUMPOS

ARIMA – Autoregresinis integruotas slenkančiojo vidurkio metodas;
ARIMA+SES – Autoregresinio slenkančiojo vidurkio ir sezoninio eksponentinio glodinimas metodų derinys;
ARMA – Autoregresinis slenkančiojo vidurkio metodas;
ATS – atliekų tvarkymo sistema;
BOA – bendroji organinė anglis;
BVP – bendras vidaus produktas;
DeNO_x (SCR) – azoto oksidų pašalinimo degimo procesuose sistema;
DŠF – didelio šilumingumo frakcija;
MBA – mechaninis biologinis apdorojimas;
MKA – mišrios komunalinės atliekos;
KA – komunalinės atliekos;
KD – kietosios dalelės
SES – Sezoninis eksponentinis glodinimas;
SM – sausoji medžiaga;
OSM – organinė sausoji medžiaga;
PCB – polichlorbifenilai;
PCDD – polichlordioksinai;
PCDF – polichlordifuranai
RG – regionų grupė;
VSATP – Valstybinis strateginis atliekų tvarkymo planas.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1 lent.** Komunalinių atliekų kiekiai, susidarantys skirtingo gerbūvio lygio miestuose;
- 1.2 lent.** Atskiro surinkimo vidutinės reikšmės aukštą gerbūvį turinčiuose miestuose;
- 1.3 lent.** Mišrių komunalinių atliekų sudėtis skirtingais metų laikais;
- 1.4 lent.** Atliekų surinkimas 1 gyv./kg/metus Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis ir pagal teorinius skaičiavimus įvertinant BVP 2004 m.;
- 1.5 lent.** Atliekų šilumingumo vertės pagal skirtingus literatūros šaltinius;
- 1.6 lent.** Deginimo įmonių emisijų vidutinės ir ribinės vertės pateiktos ES deginimo direktyvoje;
- 1.7 lent.** Oro teršalų sulaikymo efektyvumo koeficientai;
- 1.8 lent.** Dažniausiai pasitaikantis mišrių komunalinių atliekų tankis skirtingo gerbūvio šalyse;
- 1.9 lent.** Atliekų frakcijų cheminė sudėtis;
- 1.10 lent.** Metalų kiekis atskirose mišrių komunalinių atliekų frakcijose;
- 2.1 lent.** Atskirų frakcijų kiekis, likęs didelio šilumingumo frakcijoje po siojimo (80 mm dydžio akutės);
- 2.2 lent.** Orinio separatoriaus efektyvumas;
- 2.3 lent.** Specifinės išmetamųjų dujų konstantos;
- 2.4 lent.** Minimalus deguonies poreikis deginimui;
- 3.1 lent.** ARIMA modelio parametrai;
- 3.2 lent.** Rekurentinių lygčių sistemos komponentų pradiniai įverčiai;
- 3.3 lent.** Frakcijų atskiro surinkimo padidėjimas per metus (kg/sav.) 1 scenarijaus atveju;
- 3.4 lent.** Frakcijų atskiro surinkimo padidėjimas per metus (kg/sav.) 2 scenarijaus atveju;
- 3.5 lent.** Atliekų, nukreiptų į mechaninį biologinį apdorojimą, sudėties kitimas 1 scenarijaus atveju;
- 3.6 lent.** Atliekų, nukreiptų į mechaninį biologinį apdorojimą, sudėties kitimas 2 scenarijaus atveju;
- 3.7 lent.** Atliekų, nukreiptų į mechaninį biologinį apdorojimą, sudėties kitimas 3 scenarijaus atveju;
- 3.8 lent.** Apskaičiuotas atliekų frakcijų šilumingumas;
- 3.9 lent.** Papildomuose regionuose susidarantys didelio šilumingumo frakcijų kiekiai;
- 3.10 lent.** Papildomuose regionuose susidaranti didelio šilumingumo frakcijos šilumingumas;
- 3.11 lent.** Bendras deginamo kuro šilumingumas 2 alternatyvos atveju;
- 3.12 lent.** Bendras deginamo kuro šilumingumas 3 alternatyvos atveju;
- 3.13 lent.** Iš metamųjų dujų tūris (m^3) tonai atliekų;
- 3.14 lent.** Išmetamųjų dujų tūris (m^3) energijos kiekiui (kWh);
- 3.15 lent.** HCl kiekis išmetamose dujose (kg) tonai atliekų ir energijos kiekiui (kWh) (2008-2017 m.);

3.16 lent. SO₂ kiekis išmetamose dujose (kg) tonai atliekų ir energijos kiekiui (kWh) (2008-2017 m.);

3.17 lent. Į aplinką po dujų išvalymo išsiskiriantys teršalai;

3.18 lent. Atliekų kiekiai po mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% didesni negu prognozuota;

3.19 lent. Atliekų kiekiai be mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% didesni negu prognozuota;

3.20 lent. Atliekų kiekiai po mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% mažesni negu prognozuota;

3.21 lent. Atliekų kiekiai be mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% mažesni negu prognozuota.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav.** Komunalinių atliekų ir atskirai surinktų frakcijų kiekiai miestuose;
- 1.2 pav.** Popieriaus ir kartono dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
- 1.3 pav.** Biologinių atliekų dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
- 1.4 pav.** Stiklo dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
- 1.5 pav.** Plastikų ir kompozitų dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
- 1.6 pav.** Metalų dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje;
- 1.7 pav.** Mišrių komunalinių atliekų frakcijų dydžių kitimas skirtingais metų laikais Donecke;
- 1.8 pav.** Komunalinių atliekų kiekio 1995 – 2004 m. Lietuvoje kitimai pagal atliekų tvarkymo regionus;
- 1.9 pav.** Mišrių atliekų sudėties procentais Kauno mieste kitimas (1995-2004);
- 1.10 pav.** Aerobinio mechaninio biologinio apdorojimo schema;
- 1.11 pav.** Atliekų deginimo schema;
- 2.1 pav.** Mišrių komunalinių atliekų susidarymo kitimo laiko bėgyje matematinės analizės schema;
- 2.2 pav.** Prognozavimo LCA-IWM prognostiniu modeliu algoritmas;
- 2.3 pav.** Prognozavimo laiko eilutėmis algoritmas;
- 2.4 pav.** Šilumos tiekimo į Kauno miesto integruotą šilumos tinklą galia 2005 -2006 m.;
- 3.1 pav.** Susidarančių atliekų kiekio metinis kitimas;
- 3.2 pav.** Susidarančių atliekų kiekio kitimas mėnesiais;
- 3.3 pav.** Susidarančių atliekų kiekio kitimas sezonais;
- 3.4 pav.** Prognozės pagal miesto socialinio-ekonominio gerbūvio lygio ir susidarančių atliekų kiekio priklausomybę rezultatai;
- 3.5 pav.** Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo ARIMA metodu rezultatai;
- 3.6 pav.** Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo SES metodu rezultatai;
- 3.7 pav.** Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo ARIMA+SES metodu rezultatai;
- 3.8 pav.** ARIMA+SES metodu atliktos prognozės splainas su 15 mazgų;
- 3.9 pav.** ARIMA+SES metodų derinimo pagalba gautų prognostinių duomenų ir realių 2007 m. surinktų atliekų kiekių palyginimas;
- 3.10 pav.** ARIMA+SES modelių derinimo pagalba gautų duomenų ir realių 2008 m. surinktų atliekų kiekių palyginimas;
- 3.11 pav.** Prognozuoto ir tikrojo metinio atliekų kiekio susidarymo 1 gyventojui palyginimas;
- 3.12 pav.** Pasirinktų scenarijų, besiskiriančių rūšiavimo namuose laipsniu, grafinis vaizdas;
- 3.13 pav.** Bendras didelio šilumingumo frakcijos šilumingumo kitimas skirtingais scenarijais;
- 3.14 pav.** Susidaręs energijos kiekis 1 alternatyvos atveju;
- 3.15 pav.** 1 ir 2 alternatyvų atvejais susidariusių energijos kiekių palyginimas;

- 3.16 pav.** Kauno m. susidarančių mišrių komunalinių atliekų šilumingumas po pirminio rūšiavimo namų ūkiuose;
- 3.17 pav.** Susidaręs energijos kiekis 3 alternatyvos atveju;
- 3.18 pav.** Kauno m. susidarančių mišrių komunalinių atliekų šilumingumas skirtingais sezonais;
- 3.19 pav.** Bendras atliekų šilumingumas sezonais 3 alternatyvos atveju;
- 3.20 pav.** Bendras atliekų šilumingumas sezonais, didelio šilumingumo frakciją deginant pavasario ir vasaros sezonais;
- 3.21 pav.** Energijos kiekis gautas deginant atliekas;
- 3.22 pav.** Išmetamųjų dujų tūris sezonais;
- 3.23 pav.** HCl kiekis sezonais;
- 3.24 pav.** SO₂ kiekis sezonais.

ĮVADAS

Gerėjant ekonominėms sąlygoms ir augant gyventojų pragyvenimo lygiui bendras atliekų kiekis daugelyje Europos miestų vis didėja. Ypač aiškiai šią tendenciją parodo komunalinių atliekų kiekio augimas. Kiekvienais metais Europoje surenkama daugiau kaip 306 milijonai tonų komunalinių atliekų, vidutiniškai 500 kg/gyventojui 2010 m. (Vakarų Europoje virš 540 kg/ gyv.) (EUROSTAT). Dažniausiai šis kiekis prilyginamas susidarantiems atliekų kiekiui.

1993 m. Penktojoje Bendrijos aplinkosaugos veiksmų programoje, kurioje išdėstyti pagrindiniai Bendrijos tikslai ir principai, buvo iškeltas tikslas 2000 metais komunalinių atliekų kiekį, tenkantį vienam gyventojui, sumažinti iki 1985 metų lygio, t.y. iki 300 kg/gyv. Tačiau šio tikslo pasiekti nepavyko. Beveik visos šalys nustatytą kiekį viršijo 75 – 100% . Todėl Šeštojoje Bendrijos aplinkosaugos veiksmų programoje šio sunkiai pasiekiamo tikslo atsisakyta. Atliekų mažinimo tikslas jau nebuvo kiekybiškai apibrėžtas.

Atliekų politikos tikslu tapo išteklių naudojimo sąlygojamas ženklaus bendro neigiamo poveikio aplinkai sumažinimas, labiau tvarios gamybos ir vartojimo modeliai sukūrimas, taip atsiejant išteklių naudojimą ir atliekų susidarymą nuo ekonominio augimo. Ilgalaikis ES tikslas yra tapti atliekas perdirbančia visuomene, vengiančia atliekų susidarymo ir naudojančia atliekas kaip išteklius. Nuolat kuriamos naujos atliekų tvarkymo technologijos, tampa vis sudėtingesnės ir tobulinamos, atsižvelgiant į besikeičiančius teisės aktų reikalavimus, finansinius, ekonominius ir socialinius aspektus. Tačiau nuolat kintanti situacija atliekų sektoriuje smarkiai įtakoja surenkamą atliekų kiekį ir pobūdį, o tuo pačiu ir atliekų tvarkymo sistemos planavimą.

Darbo aktualumas

Pasirenkant optimalią, miesto specifikai tinkančią atliekų tvarkymo sistemą, būtina ne tik vadovautis teisės aktų reikalavimais, bet ir įvertinti daugelį veiksnių: komunalinių atliekų susidarymą, galimybes šį kiekį surinkti ir jo svyravimo tendencijas, sezoniškai kintančią mišrių komunalinių atliekų sudėtį ir šilumingumą, atliekų tvarkymo technologijų taikymo galimybes. Tačiau esminis duomuo tiek planuojant atliekų tvarkymo sistemą, tiek ją eksploatuojant, yra realiai surenkamas atliekų kiekis ar jo prognozavimas.

Pirmieji bandymai įvertinti atliekų susidarymą ir rasti patikimą atliekų kiekio prognozės būdą pasirodė daugiau kaip prieš 30 metų. Tačiau pasirodantys nauji moksliniai straipsniai, aprašantys vis kitas atliekų surinkimo (kuris šiame darbe prilyginamas atliekų susidarymui) prognozavimo metodikas, leidžia teigti, kad universalus, patogus ir patikimas prognozavimo būdas dar neatrastas.

Komunalinių atliekų susidarymą (tuo pačiu ir surinkimą) lemia daug veiksnių: gyventojų noras ir galimybės pirkti tam tikras prekes, egzistuojanti atliekų tvarkymo sistema (ypač atliekų surinkimo sistemos patogumas), ekologinis švietimas, metų laikas ir pan. Tai labai apsunkina prognozavimą, nes kiekvieno veiksnio įtaka yra specifinė ir ne visada pamatuojama.

Nors komunalinių atliekų prognozė nėra teisiškai reglamentuota ir ją atlikti neprivaloma, tačiau duomenys apie ateityje susidarysiantį atliekų kiekį yra svarbūs tvirtinant strateginius tikslus, priimant politinius sprendimus, nustatant atliekų tvarkymo užduotis tiek Europos Sąjungos, tiek Lietuvos Respublikos lygiu. Netinkamai įvertintas atliekų kiekis gali lemti tikslų neįgyvendinamumą, atliekų tvarkymo sistemos nepasiteisinimą ar atnešti ekonominius nuostolius, pvz., dėl neįvertinto antrinių žaliavų surinkimo. Patikimo ir praktikoje lengvai pritaikomo atliekų kiekio prognozavimo būdo suradimas palengvintų sprendimų dėl atliekų tvarkymo sistemos priėmimą.

Darbo tikslas

Įvertinti komunalinių atliekų susidarymo mieste sezoninio kitimo dėsningumus ir šio kitimo įtaką atliekų tvarkymo sistemos energetiniams ir aplinkosauginiams rodikliams.

Numatytam tikslui įgyvendinti iškelti uždaviniai

1. duomenų apie komunalinių atliekų surinkimą Kauno mieste pagrindu sukurti komunalinių atliekų susidarymo prognozavimo metodą, kuris tiksliausiai prognozuotų sezoninio kitimo dėsningumus;
2. pasirinktu prognozavimo metodu įvertinus atliekų susidarymo sezoniškumą ir atliekų tvarkymo įrenginių technologinius parametrus atlikti energetinę ir aplinkosauginę komunalinių atliekų tvarkymo sistemos analizę;
3. įvertinus komunalinių atliekų susidarymo prognozės rezultatus bei atitinkamus atliekų tvarkymo sistemos energetinius ir aplinkosauginius rodiklius, parengti rekomendacijas atliekų tvarkymo sistemos planavimui.

Darbo mokslinis naujumas

Komunalinių atliekų susidarymo prognozei naujai pritaikytas laiko eilučių autoregresinio slenkančio vidurkio ir sezoninio eksponentinio glodinimo metodų derinys.

Pirmą kartą mišrių komunalinių atliekų tvarkymo sistemos energetiniai ir aplinkosauginiai rodikliai įvertinti atsižvelgiant į sezoniškumo įtaką ir atliekų tvarkymo įrenginių technologines charakteristikas.

Komunalinių atliekų surinkimo ir sudėties sezoninis įvertinimas pirmą kartą atliekamas nesivadovaujant kalendoriniais sezonais.

Darbo praktinė vertė

Darbe siūlomas atliekų susidarymo prognozavimo metodas, kurio pagalba galima įvertinti vienos savaitės bėgyje surenkamą atliekų kiekį ir priimti optimalius sprendimus planuojant komunalinių atliekų tvarkymo sistemas.

Apskaičiuoti aplinkosauginiai bei energetiniai rodikliai ir pasiūlyta atliekų tvarkymo sistema gali būti taikomi planuojant energetinį komunalinių atliekų panaudojimą Kauno regione. Šių rodiklių skaičiavimo metodika gali būti nesunkiai pritaikoma kitiems Lietuvos bei panašaus socialinio – ekonominio gerbūvio šalių atliekų tvarkymo sistemoms.

Ginamieji disertacijos teiginiai

Prognozuojant miestų, turinčių ilgalaikius patikimus komunalinių atliekų susidarymo duomenis, komunalinių atliekų susidarymo kitimus ir siekiant adekvačiai įvertinti tiek metinį, tiek sezoninį surinkimo kitimą, regresinio ir laiko eilučių prognozavimo metodų derinys yra tinkamas.

Projektuojant miestų komunalinių atliekų tvarkymo sistemas būtina įvertinti sezoninių veiksnių įtaką mišrių komunalinių atliekų susidarymo ir sudėties kitimui.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Komunalinių atliekų susidarymą, surinkimą ir sudėtį įtakojantys veiksniai

Sėkmingos atliekų tvarkymo sistemos (toliau – ATS) sukūrimui būtinas tinkamų sprendimų priėmimas savu laiku. Dar ankstyvoje ATS planavimo stadijoje turi būti atliktas esamos situacijos vertinimas ir situacijos prognozė, analizuojami komunalinių atliekų (toliau – KA) susidarymas (įskaitant surinkimą) ir sudėtis. Siekiant įgyvendinti pagrindinius KA tvarkymo principus, nuolat kuriamos naujos atliekų tvarkymo technologijos, nes susidarančių atliekų kiekis parodo, kiek energijos ir medžiagų prarandama.

KA susidarymą ir sudėtį labai įtakoja gyventojų vartojimo įpročiai, pajamos, rinkos dėsniai (ir su jais susijęs pvz., padidėjęs tam tikrų pakuočių kiekis), pardavimų struktūra (pakuotės grąžinimo sistema ar pakartotinio naudojimo pakuotės), gyvenvietės struktūra (galimybė kompostuoti namų ūkiuose), atliekų surinkimo ir apdorojimo sistemos, su tuo susiję mokesčiai, religija ir kt. (Bandara et al., 2007; Marquez et al., 2008).

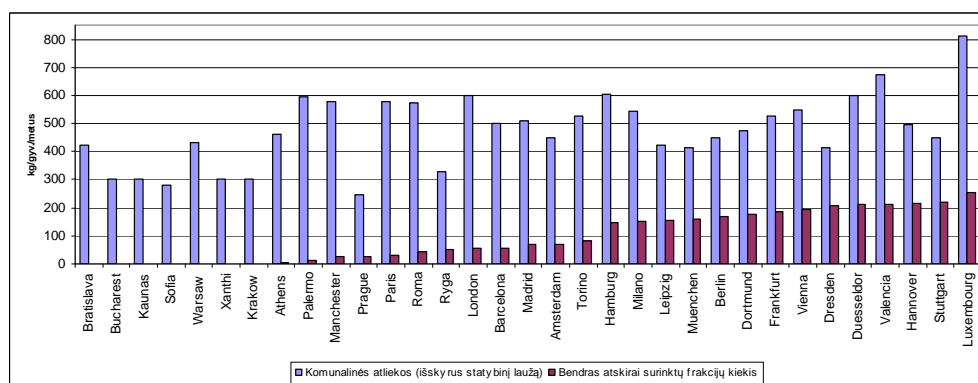
Jau seniai pastebėta priklausomybė tarp miesto socialinio – ekonominio gerbūvio ir KA susidarymo ir sudėties. Kadangi sunku įvertinti atliekų susidarymo ir surinkimo skirtumą ir tai nėra šio darbo tikslas, toliau darbe komunalinių atliekų surinkimas bus prilygintas šių atliekų susidarymui. Vidutinė susidarančių atliekų kiekio reikšmė labai skiriasi priklausomai nuo miestų gerbūvio lygio. Ši priklausomybė tampa akivaizdi analizuojant atliekų susidarymo specifiką skirtinguose ES miestuose (1.1 lent.).

1.1 lentelė. Komunalinių atliekų kiekiai susidarantys skirtingo gerbūvio lygio miestuose (Beigl et al., 2003)

Miesto gerbūvio lygis	Komunalinių atliekų kiekis, kg/gyv./metus
Labai aukštas (Hamburgas (nuo 1992), Paryžius (nuo 1989), Taragona (nuo 2000) ir kt.)	504
Aukštas (Madridas (1989-1999), Praha (nuo 1998), Taragona (1990-1999) ir kt.)	436
Vidutinis (Taragona (1988-1989), Nitra (1993-1997), Krokuva (nuo 1997) ir kt.)	365
Žemas (Krokuva (1994-1996), Bukareštas (nuo 1997), Sofija (1995) ir kt.)	287
Vidutiniškai visų miestų:	468

Tačiau reikia pastebėti, kad KA – tai ne tik namų ūkių ar privačių asmenų atliekos. Tai ir kitos atliekos, kurios savo pobūdžiu ar sudėtimi yra panašios į buitines atliekas. Taigi, KA susidarymas atspindi ir miestuose veikiančių nedidelių verslo įmonių skaičių.

1.1 pav. pavaizduotas bendras KA kiekis didžiausiuose Europos miestuose (mišrios atliekos + stambiagabaritės atliekos + atskirai surinktos frakcijos, neįtraukiant atskirai surinkto statybinio laužo). Pateiktame paveiksle galima įžvelgti, kad miestuose, kurie pasižymi aukštu gerbūvio lygiu, KA kiekis yra didesnis.



1.1 pav. Komunalinių atliekų ir atskirai surinktų frakcijų kiekiai miestuose.

Pateikiami skirtingų metų duomenys (1995-2001, daugiausia 1999-2001) (Schanne, 2003)

Dar vienas veiksnys įtakojantis KA kiekį – tai frakcijų, kurios turėtų būti surenkamos atskirai (pvz. statybinės atliekos), įtraukimas į bendrą statistiką. Visgi šias frakcijas sunku atskirti nuo bendro KA kiekio dėl praktinių priežasčių – dažniausiai jos patenka į sąvartyną bendrame sraute, ypač šalyse, kuriose ATS tik kuriamos.

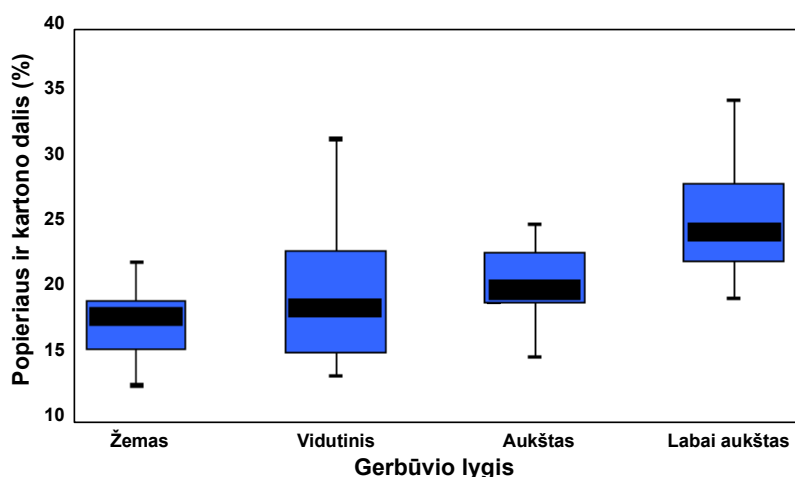
Visgi, KA ir ypač mišrių komunalinių atliekų (toliau – MKA) sudėties žinojimas – viena pagrindinių informacinių ATS planavimo ir vadybos dalių. Ši informacija yra labai svarbi planuojant ir vykdant antrinių žaliavų iš KA atskiro surinkimo veiklą, planuojant antrinių žaliavų kiekio padidėjimą dėl MKA rūšiavimo ir t.t. Be to, remiantis ES teisės aktais, šalis narės turi žinoti kiek pvz. biologiškai

skaidžių atliekų yra bendrame KA sraute. Tačiau gauti tikslią informaciją apie KA ir MKA sudėtį – labai sunki užduotis tiek techniniu, tiek statistiniu požiūriu. Tai nuolat ir stipriai kintantis dydis, priklausantis nuo gyventojų vartojimo įpročių, metų laiko ir pan.

Skirtingos socialinės – ekonominės padėties miestuose KA sudėtis skiriasi. Galima išskirti keturis miestų socialinės – ekonominės padėties (gerbūvio) lygius (šie lygiai skiriasi BVP augimo dydžiu, žmonių, dirbančių žemės ūkyje ir aptarnavimo sektoriuje kiekiu, kūdikių mirtingumo laipsniu, kuris atspindi sveikatos apsaugos lygį šalyje ir panašiais, miesto gerbūvio lygį nusakančiais rodikliais):

- žemas (nedidelis BVP augimas, daug žmonių dirba žemės ūkio sektoriuje, mažai dirbančių aptarnavimo srityje, aukštas kūdikių mirtingumo laipsnis ir pan., pvz. Bulgarijos miestai (iki 1999 m.), Rumunijos miestai (iki 2001 m.));
- vidutinis (šiek tiek didesnis BVP ir ženkliai, palyginus su žemo lygio miestais, sumažėjęs kūdikių mirtingumo laipsnis, pvz. Slovakijos miestai (1993-1997), Lenkijos (nuo 1997 m.));
- aukštas (pvz. Slovakijos miestai nuo 1998, Ispanijos miestai nuo 1989 iki 1999);
- labai aukštas (pvz. Ispanijos miestai nuo 2000, Italijos miestai nuo 1993) (Beigl et al., 2003).

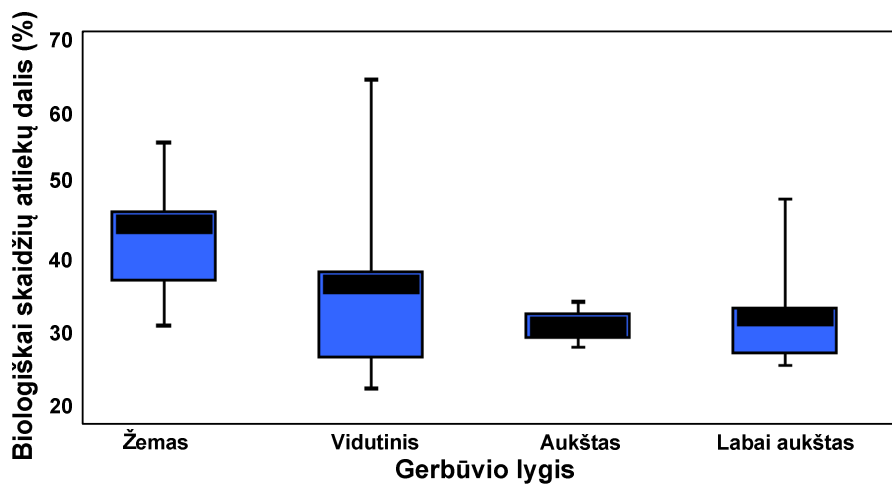
Toliau apžvelgtas KA sudėties skirtumai. Popieriaus ir kartono procentinė dalis KA skirtingo ekonominio gerbūvio miestuose smarkiai skiriasi (Bach, 2004). Kuo aukštesnis miesto gerbūvio lygis, tuo didesnė šios frakcijos dalis (1.2 pav.).



1.2 pav. Popieriaus ir kartono dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje (Beigl et al., 2003)

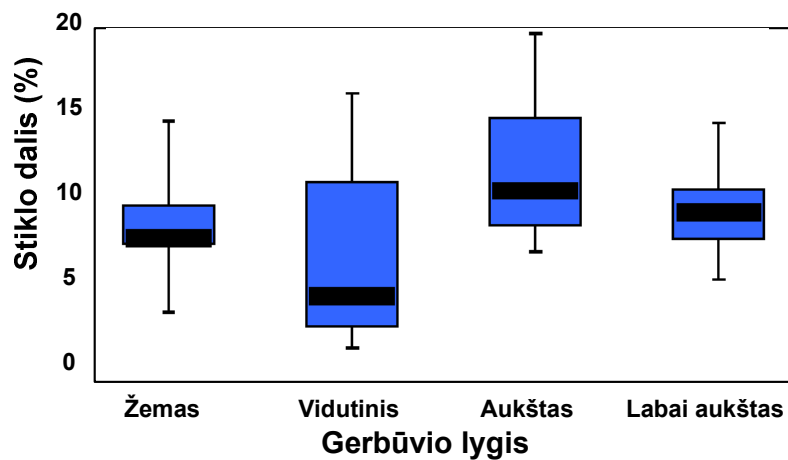
Vidutiniškai per metus vienas gyventojas išmeta maždaug 45 kg popieriaus ir kartono žemo lygio miestuose, 81 kg – vidutinio lygio, 97 kg – aukšto lygio ir 120 kg – labai aukšto lygio. Panašios kitimo tarp lygių tendencijos pastebimos ir analizuojant procentinę KA sudėtį. Šios frakcijos dydis kinta nuo 18% žemiausiame lygyje, iki 25% – aukščiausiam.

Biologinių atliekų kiekis vidutinio, aukšto ir labai aukšto lygio miestuose yra panašus (1.3 pav.). Nors biologinių atliekų susidarymas yra didesnis aukštesnio gerbūvio lygio miestuose, tačiau procentinė jų dalis žemesnio gerbūvio lygio miestuose yra didesnė.

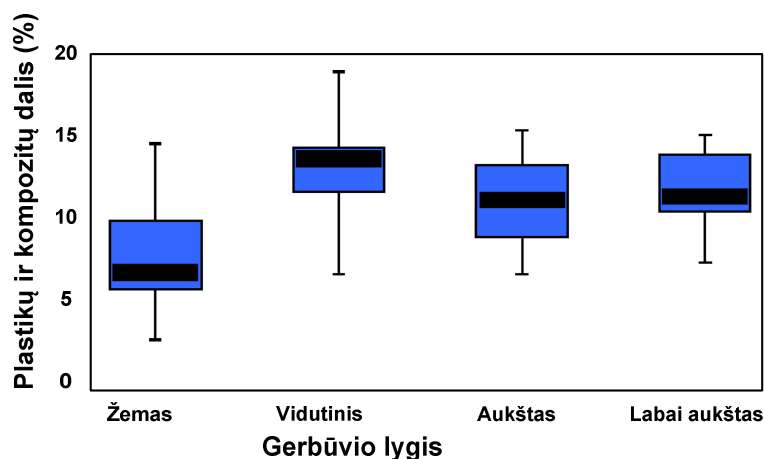


1.3 pav. Biologinių atliekų dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje (Beigl et al., 2003)

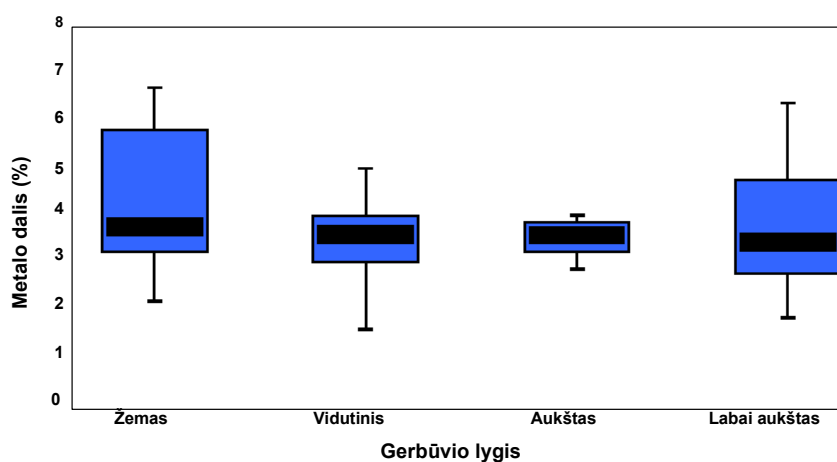
Nepastebima jokių aiškių tendencijų stiklo (1.4 pav.), plastiko (1.5 pav.) ir metalo (1.6 pav.) atliekų atveju. Šių frakcijų dalis bendrame KA kiekyje priklauso nuo mieste egzistuojančių vartojimo tradicijų, t. y. nuo kasdien naudojamų (perkamu) produktų pakuočių ir pan.



1.4 pav. Stiklo dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje (Beigl et al., 2003)



1.5 pav. Plastikų ir kompozitų dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje (Beigl et al., 2003)



1.6 pav. Metalo dalis (%) bendrame komunalinių atliekų kiekyje (Beigl et al., 2003)

Visgi, susidarantis didelis KA kiekis – ekonomiškai išsivysčiusios šalies požymis, tačiau tai ne būtinai yra pavyzdingos ATS ženklas, t.y. didelio antrinių žaliavų atskyrimo laipsnio rodiklis. 1.1 paveiksle palyginti atskirai surinktų frakcijų kiekiai miestuose. Iš pateiktos informacijos matyti, kad miestų, kuriuose susidaro daugiau kaip 500 kg/gyv./metus KA, tačiau juose nepakankamai įdiegta atskiro surinkimo sistema ir surenkami nedideli antrinių žaliavų kiekiai. Tačiau keletas miestų (daugiausia Vokietijos ir Austrijos), surenkantys mažiau nei 500 kg/gyv./metus, yra pasiekę tokį atskiro surinkimo laipsnį, kad išrūšiuoja pusę susidarančių atliekų kiekio. KA išrūšiovimo laipsnis, skirtingi teisės aktų keliami reikalavimai, jų įgyvendinimo terminai, antrinių žaliavų rinka ir lemia MKA (KA ir antrinių žaliavų kiekio skirtumas) sudėties skirtumus miestuose.

2002 m. Eurostat atliko apklausą apie KA tvarkymą ir MKA sudėtį ES šalyse (Municipal, 2002). 9 iš 12 ES šalių pateikė informaciją apie MKA sudėtį. Kipras,

Estija ir Lenkija neturėjo tokios informacijos. Tik keletas šalių pateikė nepertraukiamų stebėjimų rezultatus. Nedaug situacija pasikeitė ir dabar. Dažniausiai šalys narės pateikia tik pavienius tyrimus arba ekstrapoliaciją šaliai pagal pavieniuose miestuose gautą informaciją (Gentil, 2009).

Susidarančių MKA (t. y. neišrūšiuotų KA) kiekį ir sudėtį įtakoja net ir gyventojų amžius ir lytis. Pvz., Anglijoje atliktų tyrimų metu paaiškėjo, kad 50% žmonių, vyresnių nei 35 metai, rūšiuoja daugiau kaip 40% savo buitinių atliekų. Tuo tarpu tą patį kiekį rūšiuoja tik 35% jaunesnių nei 35 metai gyventojų. Šeimose, rūšiuojančiose atliekas, ši iniciatyva palaikoma 69% moterų ir tik 48% vyrų (MORI, 1999). Išsilavinimo lygis taip pat svarbus veiksnys suprantant ATS ar atliekų perdirbimo naudą. Kuo namų ūkyje daugiau išsilavinusių žmonių, tuo didesnis išrūšiuotų atliekų procentas (Jeroen, 2008). Kita Anglijoje atlikta studija parodė, kad šeimos, turinčios mokyklinio amžiaus vaikų, dažnai informaciją apie rūšiavimą gauna iš mokyklų. Du trečdaliai tokių šeimų (apie 10% visų suaugusiųjų) teigia, kad tai įtakoja jų norą rūšiuoti (Waste Watch, 1999).

Galima pastebėti, kad geresnės ekonominės padėties miestuose rūšiavimas – tai noras apsaugoti aplinką, o ekonominė nauda yra tik kaip priedas. Tuo tarpu prastesnės ekonominės padėties miestuose rūšiavimui būtina sąlyga yra ekonominė nauda.

Visgi, neįmanoma tiksliai prognozuoti visuomenės elgesio. Yra daug priežasčių lemiančių gyventojų nenorą rūšiuoti atliekas. Pirmiausiai tai tingėjimas ir užimtumas. Antroje vietoje – galimybių rūšiuoti trūkumas ir surinkimo sistemos nepatogumai. Teisinės priemonės ir baudos gali pakeisti visuomenės elgesį ir ją įpareigoti laikytis ATS taisyklių. Tačiau prieš įdiegiant naujoves svarbus gyventojų švietimas ir sąmoningumo ugdymas.

1.2 lent. pateiktos atskiro surinkimo (rūšiavimo namų ūkiuose) vidutinės reikšmės aukšto gerbūvio lygio miestuose (šioje grupėje Vokietijos, Prancūzijos, Airijos, D. Britanijos, Italijos ir Olandijos miestai).

1.2 lentelė. Atskiro surinkimo vidutinės reikšmės aukštą gerbūvį turinčiuose miestuose (den Boer et al., 2005)

Atliekų frakcija	Atskiro surinkimo vidutinė reikšmė	
	masės %	kg/gyv./metus
Popierius ir kartonas	45	50
Stiklas	50	22
Plastikai ir kompozitai	33	19
Biologinės atliekos	22	35

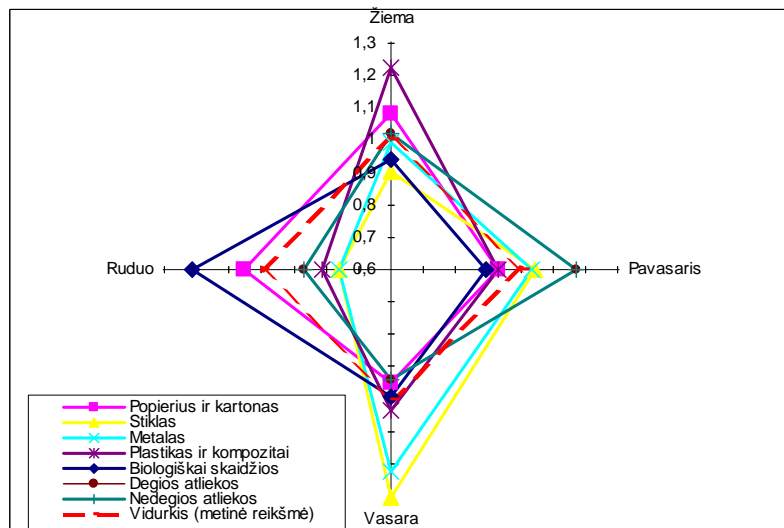
Nors dažniausiai literatūros šaltiniuose ir Eurostat duomenų bazėje pateikiamas MKA sudėties kitimas pamečiui, tačiau akivaizdu, kad metų bėgyje atliekų sudėtis taip pat kinta. 1.3 lent. pateikiamas skirtinguose Europos miestuose atliktų tyrimų rezultatai.

1.3 lentelė. Mišrių komunalinių atliekų sudėtis skirtingais metų laikais

Atliekų frakcija	Pavasaris	Vasara	Ruduo	Žiema
Doneckas (Ukraina) (Sustainable, 2007)				
Popierius ir kartonas, %	5,5	5,6	6,2	6,4
Stiklas, %	7,4	9,2	5,4	6,4
Metalas, %	2,7	3,2	2,0	2,6
Plastikas ir kompozitai, %	7,4	8,2	6,4	9,7
Biologinės atliekos, %	33,3	38,6	47,3	36,6
Kitos degios atliekos, %	25,3	20,4	19,0	22,2
Kitos nedegios atliekos, %	18,4	14,8	13,7	16,1
Talinas (Estija) (MSW Sorting, 2008)				
Popierius ir kartonas, %			25,5	18,2
Stiklas, %			5,7	12,5
Metalas, %			1,8	2,1
Plastikas ir kompozitai, %			14,2	18,1
Biologinės atliekos, %			63,9	54,6
Pilea (Graikija) (Koufodimos et al., 2002)				
Popierius ir kartonas, %	28	21	27	19
Stiklas, %	2,5	2,5	2,5	3
Metalas, %	4	5	4,5	4,5
Plastikas ir kompozitai, %	12,5	13	17	12,5
Biologinės atliekos, %	42	45,5	36,5	33
Didžioji Britanija (Burnley et al., 2007)				
Popierius ir kartonas, %		23,8	24	
Stiklas, %		6,4	6,4	
Metalas, %		3,7	3,7	
Plastikas ir kompozitai, %		10,2	9,4	
Biologinės atliekos, %		35,9	38,2	
Bangladešas (Tariq Bin et al., 2007)				
Popierius ir kartonas, %		7	10	
Plastikas ir kompozitai, %		2	6	
Biologinės atliekos, %		66	68	

Galima pastebėti, kad atliekų sudėties kitimai metų laikais priklauso ir nuo miesto geografinės padėties (šiltojo ir šaltojo sezonų ilgio), mieste apsilankančių turistų skaičiaus, miesto infrastruktūros ir pan.

Toliau pateiktame grafike analizuojamos MKA kitimo Donecko (Ukraina) mieste tendencijos. Matyti, kaip skirtingais metų laikais padidėja ar sumažėja frakcijų dalis bendrame MKA kiekyje palyginus su vidutine metine reikšme.



1.7 pav. Mišrių komunalinių atliekų frakcijų dydžių kitimas skirtingais metų laikais Donecke. Parengta pagal (Sustainable, 2007) duomenis

Popierius: popieriaus frakcija visais metų sezonais Donecke išliko beveik nepakitusi. Remiantis ir kitomis studijomis atliktomis įvairiuose miestuose, popieriaus frakciją dažniausiai sudaro laikraštinių popierių (apie 60 %) (Ludwig et al., 2003), o jų kiekis nelabai priklauso nuo metų sezono.

Stiklas: stiklo kiekis smarkiai padidėja vasaros metu. Tikėtina, kad dėl šiltojo metų sezono padaugėja gėrimų, esančių nedidelės talpos buteliuose, pirkimai.

Metalias: metalo kiekis MKA yra nedidelis dėl retai pakuotėms naudojamos šios medžiagos. Tačiau šios frakcijos kiekis, kaip ir stiklo frakcijos, padidėja vasaros laikotarpiu.

Plastikai ir kompozitai: šios frakcijos padaugėja vasarą. Tikėtina, kad dėl šiltojo metų sezono padaugėja gėrimų, plastikiniuose buteliuose, pirkimai. Taip pat plastikų padaugėja žiemos sezonu. Įtakos šiam padidėjimui gali turėti padidėjęs vartojimas dėl šaltuoju sezonu esančių švenčių ir didesnio gyventojų noro šaltąjį laikotarpį praleisti namuose. Kuomet valgoma mažiau daržovių, vaisių, daugiau maisto produktų supakuotų įvairiose plastikinėse pakuotėse.

Biologinių atliekų procentas padidėja vasaros ir rudens sezonais, kai gyventojai pradeda naudoti daugiau daržovių ir vaisių, taip pat žiemai ruošiamas derlius, vyksta aplinkos tvarkymo darbai.

Degių ir nedegių atliekų labai padaugėja pavasario laikotarpiu. Tai greičiausiai dėl pavasarį atliekamų remontų ir butų tvarkymosi (SEB, 2007).

Taigi, žmonių elgesys, tuo pačiu atliekų sudėtis ir tvarkymo kultūra, atsilieka nuo vartojimo technologinės raidos. Kintant materialiai kultūrai, visuomenė priversta keisti ir nematerialią kultūrą (praktiką, papročius), kurią būtų galima apibūdinti kaip reakciją į technologinę raidą. Tačiau praeina laiko kol įvyksta gyventojų adaptacija prie materialių sąlygų (Gyventojų, 2001).

1.2. Komunalinių atliekų susidarymo prognozavimas

Patikimų duomenų apie atliekų susidarymą poreikis netiesiogiai atspindi daugelio šalių teisės aktuose. Tikslių duomenų apie atliekų susidarymą ir prognozę reikalauja Airija (Dennison et al., 1996) ir Vokietija (Sircar et al., 2003). Tokie duomenys reikalingi kuriant atliekų tvarkymo planus (Daskalopoulos et al., 1998), planuojant atliekų tvarkymo sistemas, pajėgumus (Grossman et al., 1974; Dennison et al., 1996) ar apskaičiuojant sąvartyno plotą (Leao et al., 2001).

Šie duomenys taip pat svarbūs kaip pagrindas tvarios plėtros įvertinimui ir optimizavimui (Beigl et al., 2008).

Tačiau nuolat kintanti situacija atliekų tvarkymo sektoriuje smarkiai įtakoja susidarancius atliekų kiekius ir apsunkina prognozavimą.

Įvairiuose literatūros šaltiniuose aprašyti įvairiausi modeliai atliekų kiekio prognozei, nors visų jų tikslas vienodas. Tačiau apibendrinant galima teigti, kad komunalinių atliekų prognozės metodo pasirinkimas priklauso nuo įvairių kriterijų:

- naudojamų duomenų (pvz. atliekų kiekio, socialinių – ekonominių rodiklių) kiekio ir kokybės;
- duomenų tipo (pvz. nepertraukiami ar atsitiktiniai duomenys);
- žinių apie koreliacinius ryšius tarp turimų duomenų;
- pokyčių laukimas atliekų tvarkymo srityje (Amstrong, 2001).

Pats paprasčiausias ir seniausiai naudojamas prognozavimo būdas – tiesinė regresija. Grossman ir kt. (1974) prognozavimo metodus papildė į tiesinės regresijos modelį įtraukiant tokius veiksnius kaip gyventojų skaičiaus didėjimas, pajamų lygis ir būsto tipas. Nagelhout ir kt. (1990), Bruvoll ir kt. (1995) teigia, kad atliekų kiekio prognozavimą galima sieti su prognozuojamu gamybos lygiu ir suvartojimu. Coopers & Lybrand (1996) pasiūlė komunalinių atliekų susidarymą apibrėžti paprasta funkcija, kur atliekų kiekis tiesiškai priklauso nuo privataus vartojimo. Jei atsižvelgiama į ekonominį aktyvumą ir kitus parametrus, galima naudoti pastovių arba kintančių koeficientų modelį, kuris aprašo ryšį tarp atliekų kiekio ir vieno ar daugiau parametrų (Christiansen et al., 1999).

Teigiama, kad egzistuoja ryšys tarp šalies ekonominių rodiklių, pvz. tokių kaip bendras vidaus produktas (BVP), ir KA susidarymo. Atlikus 130 miestų istorinių duomenų analizę buvo sudaryta formulė, pagal kurią galima apskaičiuoti mieste susidaranciu komunalinių atliekų kiekį (kg/gyv./metus) pagal BVP ($R^2=0,4$) (Beigl et al., 2003):

$$KA=218+0,0128*BVP \quad (1.1)$$

čia BVP – bendrasis vidaus produktas vienam gyventojui JAV doleriais pagal 1995 metų perkamosios galios paritetą.

Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija (OECD) atlikusi išsamią ryšio tarp ekonomikos augimo ir atliekų susidarymo analizę teigia, kad egzistuoja skirtingos ryšio tendencijos. Bendras atliekų susidarymas 1990 – 1995 metais padidėjo 10% (EEA, 1998a), tuo tarpu kai ekonomikos augimas buvo apie 6,5 % skaičiuojant pastoviomis kainomis. Tačiau analizuojant paskutiniųjų metų statistiką, BVP augant stabiliu greičiu, atliekų susidarymas didėja lėčiau (EEA, 2008).

Ryšį tarp susidarancio KA kiekio ir BVP gali įtakoti ne tik KA susidarymo specifiškumas, bet ir tai, kad valstybinių pajamų svyravimas nebūtinai pakeis pagrindines namų ūkio išlaidas. Kaip pavyzdys, BVP sumažėjimas gali neįtakoti vartojimo, dėl kurio susidaro atliekos, bet mažinti taupymą. Taigi, komunalinių atliekų susidarymas gali būti paaiškinamas BVP dalimi, išleista privačių ūkių vartojimui, bet ir tai gali sukelti daug paklaidų. Nėra nustatyta, kokia augančio privataus vartojimo išlaidų dalis įtakoja KA susidarymą. Padidėjusios išlaidos gali būti išleistos ir kelionėms, transportui, apsirūpinimu būstu, energijai ir t.t. (Christiansen et al., 1999).

Literatūroje galima rasti Kuznets kreivių naudojimą atliekų susidarymui prognozuoti (Dinda et al, 2005; Wang et al, 1998). Pagal atliktus ekonominio augimo tyrimus, natūralių šaltinių (energijos ir medžiagų) naudojimas ir pagamintos produkcijos kiekis didėja ta pačia tendencija. Pateikti kai kurie aplinkos kokybės (bei gamtos išteklių naudojimo) ir pajamų, tenkančių vienam gyventojui, ryšio duomenys leidžia daryti prielaidą, kad aplinkos kokybė prastėja esant žemam pajamų lygiui, bet po to labai pagerėja pajamų lygiui padidėjus. K. Arrow et al. (1995) ši nacionalinių pajamų, tenkančių vienam žmogui, ir pramoninių teršalų išsiskiriančių į aplinką koncentracijų lygio ryšį pavadino aplinkos Kuznets kreive.

Kuznets kreivių hipotezė dažniausiai pritaikoma oro ir vandens taršai. Galima pastebėti, kad toks ryšys atliekoms yra mažiau iširtas, negu pvz. šiltnamio dujų emisijoms. Tačiau dabartiniu metu ekonomistai pastebi minėtų tendencijų nesutapimą (atsiejimą). Šis nesutapimas vis dažniau aptinkamas matuojant ekonomikos efektyvumą.

Atliekų susidarymas didėja didėjant pajamoms ar gerėjant kitiems ekonomikos rodikliams ir apverstos U formos kreivės dažniausiai netinka aprašyti šiam reiškiniui. Žemėjanti U formos kreivės dalis galėtų aprašyti atliekų susidarymą nebent labai ekonomiškai išsivysčiusiose šalyse, kur atliekų politika yra gerai suformuota. Todėl Kuznets kreivės tendencijos yra tinkančios tik keletui, labai turtingų šalių (Mazzanti, 2008; Mazzanti et al., 2009).

Būtina pastebėti, kad prognozuojant makroekonominis rodiklius, taip pat gali pasitaikyti netikslumų, kurie vėliau įtakos komunalinių atliekų kiekio prognozavimą. Norint naudoti šiuos statistinius prognozavimo metodus, reikia surinkti daug socialinių, ekonominių ir aplinkosauginių duomenų, bei atlikti išsamią jų analizę (Fabricino, 2001). Tačiau daugeliu atveju savivaldybės neturi pakankamai lėšų ir pajėgų rinkti ilgalaikę tokių duomenų bazę, todėl šis būdas praktikoje naudojamas retai.

Tačiau taikant tą pačią prognozavimo metodiką (modelį) skirtingose šalyse turi būti atkreiptas dėmesys į naudojamus įvesties duomenis (Beigl et al., 2008). Skirtingose šalyse tie patys parametrai gali būti skirtingai suprantami ir tuomet gali būti gaunami neteisingi rezultatai ir vertinimai.

Turint pakankamai daug duomenų apie praityje susidariusius atliekų kiekius mieste, prognozei gali būti naudojami įvairūs matematiniai laiko eilučių prognozavimo metodai (Jalili et al., 2008). Tokių metodų privalumas – išvengiama ekonominių – socialinių rodiklių analizės ir jų prognozės. Tačiau didžiausias privalumas – galimybė prognozuoti sezoninius pokyčius. Matsuto ir Tanaka (1993)

MKA prognozavimui naudojo slenkančio vidurkio kreives, kurios padėjo nustatyti duomenų pasikartojamumą. Katsamaki et al. (1998) analizavo per dieną susidarančius atliekų kiekius. Tam buvo naudotas ARMA (1, 0)(1, 1)₅ (Autoregresinis slenkančio vidurkio) metodas, kuris apjungia autoregresijos ir slenkančiųjų vidurkių metodo galimybes ir turi sezoniškumo komponentę. Autoriai teigia, kad modeliu gauti duomenys statistiškai patikimi ir šis modelis tinka komunalinių atliekų prognozei.

J. Navarro-Esbri et al. (2002), atlikęs komunalinių atliekų prognozes trijuose Ispanijos ir Graikijos miestuose pažymi, kad prognozuojant trumpus laikotarpius laiko eilučių pagalba galima pasiekti 90% tikslumą, o prognozuojant vidutinio ilgio laikotarpius – 95%. Be to autorius pažymi, kad prognozavimas ARIMA, kuris apjungia autoregresijos, diferencijavimo ir slenkančiųjų vidurkių metodo galimybes, sezoniniu modeliu buvo tikslesnis, negu naudojant nelinejines sistemas. Kiti autoriai ARIMA naudojo atskirų KA srautų prognozavimui, pvz.: buityje susidarančių elektros ir elektroninės įrangos atliekų (Hsu et al., 2005), antrinių žaliavų (Chao, 2008), transporto priemonių remonto ir demontavimo metu susidariusių atliekų (Giannouli et al., 2006; Giannouli et al., 2007).

Laiko eilutės gali būti naudojamos ne tik atliekų kiekiui, bet ir atliekų šilumingumui, drėgmei, degiosios dalies procentui, pelenų sudėčiai ir pan. prognozuoti. Tokių prognozių vidutinė absoliučioji procentinė paklaida 20% parodo, kad prognozavimas laiko eilutėmis yra tinkamas metodas (Lin, 1998).

Kadangi atliekų susidarymo laiko eilutės yra dinamiškos, siekiant nustatyti laiko eilučių ryšius, galima pritaikyti ir nelinejinius metodus, pvz., dirbtinių neuroninių tinklų modeliavimą (Noori et al., 2009).

Gottman (1981) pabrėžė, kad ieškant sudėtingų ir socialiai svarbių problemų sprendimo (pvz. atliekų kiekio susidarymo įvertinimas), būtina atrasti labiausiai problemą įtakančius veiksnius. Tačiau aplinkoje, kurią galima tik nežymiai kontroliuoti, atsiranda daugybė „triukšmo“ (išsibarstymo) reikšmių. Todėl svarbiausias klausimas analizuojant laiko eilutes: ar praeities ir ateities duomenis įtakoja tie patys procesai?

Visgi, reikia atkreipti dėmesį, kad dinaminės atliekų susidarymo proceso savybės negali būti pilnai charakterizuotos matematiniais modeliais. Didelę įtaką atliekų susidarymui gali turėti antrinių žaliavų perdirbimas. Tokia analizė gali tapti labai sudėtinga prognozuojant galimus atliekų susidarymo pokyčius didmiesčiuose (Chang et al., 2001; Dyson et al., 2005; Shmelev, 2006).

Coopers & Lybrand (1996) išskiria du atliekų kiekio prognozavimo atvejus: prognozuojamas pagrindinis augimo laipsnis (neįvertinant prevencinių priemonių) ir šio pagrindinio augimo laipsnio sumažinimas įvertinus naudojamas priemones atliekų prevencijai. Tačiau sunku įvertinti galimą atliekų prevencijos, apibrėžtų teisės aktais, realų poveikį atliekų susidarymui. Tikėtina, kad teisės aktuose nustatytos užduotys pakuočių atliekų tvarkymui gali turėti įtakos susidarančių atliekų kiekiui, tačiau mažai tikėtina, kad didelę įtaką turės teisės aktuose nustatyta užduotis ženkliai sumažinti biologiškai skaidžių atliekų patekimą į sąvartynus.

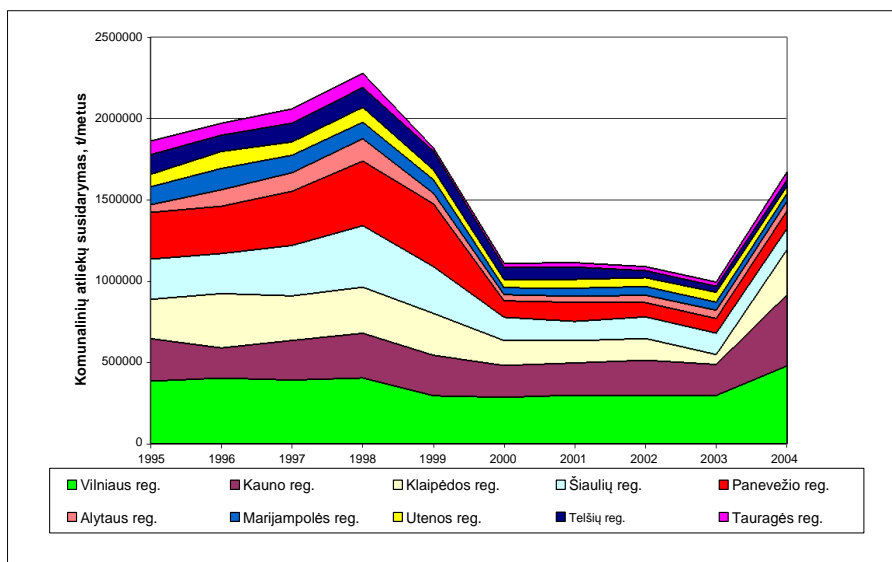
1.3. Komunalinių atliekų apskaita Lietuvoje

Lietuvoje, kaip ir kitose buvusios Tarybų Sąjungos šalyse, aštuntajame dešimtmetyje KA kiekis buvo planuojamas pagal faktinį susidarantį atliekų kiekį. Buvo siūloma atlikti atliekų susidarymo tyrimus ne mažiau kaip kas penki metai (Шевченко, 1984; Рекомендации, 1982). Tačiau buvo atkreipiamas dėmesys, kad KA kiekio susidarymas gali būti prognozuojamas, atsižvelgiant į jų sudėtį ir tikėtiną įvairių pramonės šakų vystymąsi (Александровской, 1977). Buvo prognozuojamas smarkus popieriaus, stiklo ir plastikų gamybos padidėjimas, todėl tokių atliekų dalies padidėjimo buvo laukiama ir KA. Tačiau manyta, kad biologinių atliekų (virtuvėje susidarančių atliekų) kiekis išliks toks pats. Buvo planuojama, kad 1980 m. Vokietijoje vienam gyventojui susidarys apie 300 kg buitinių atliekų (apie 50 kg daugiau negu 1970 m.) per metus. Taigi, atliekų kiekių prognozavimo metodai dažniausiai rėmėsi statistiniais analizės metodais.

Išsamių duomenų apie komunalinių atliekų surinkimo ir tvarkymo raidą Lietuvoje iki Nepriklausomybės atkūrimo nėra. Apskaitą tuo metu vykdė komunalinės tarnybos, bet šių duomenų objektyviai vertinti negalima. Vėliau situacija pradėjo keistis. Dar 1991 m. buvo parengti ir 1992 m. patikslinti atliekų apskaitos forma bei atliekų klasifikatorius. Nuo 1993 m. pradžios įsigaliojo atliekų pirminės apskaitos tvarka, kuri leido gauti tikslesnius duomenis apie atliekų susidarymą. Visgi, lyginant daugiametes atliekų srautų susidarymo tendencijas, pastebima, kad kiekvienas atliekų apskaitos pakeitimas koreguoja statistinius rodiklius. Keičiasi atskirų atliekų grupių priskyrimo kategorijos, apskaitos metodai ir pan. Todėl palyginti skirtingais metais susidariusį atliekų kiekį yra labai sudėtinga (1.8 pav.).

2001 m. MKA buvo sveriamos tik dvejuose sąvartynuose: Lapių ir Kariotiškių. Kituose sąvartynuose atliekų kiekis buvo įvertinamas vizualiai, o mažuosiuose jis buvo visai nekontroliuojamas. Ten, kur MKA nebuvo sveriamos, statistinei apskaitai pateikiami duomenys dažniausiai buvo apskaičiuojami pagal atliekas gabenančios mašinos bunkerio (konteinerio) tūrį, užpildymo laipsnį ir apytikslį atliekų piltinį tankį. Todėl šie duomenys negali būti laikomi patikimais. Lietuvos ir kitų Rytų Europos šalių patirtis rodo, kad atliekų kiekiai tonomis gerokai sumažėja sąvartynuose įrengus svėrimo mechanizmus.

Vertinant, pavyzdžiui, 2004 m. Aplinkos apsaugos agentūros teikiamus statistinius komunalinių atliekų susidarymo regionuose duomenis, galima konstatuoti, kad ne visi jų atrodo pakankamai patikimi, o kai kurie ir visai nerealūs, pvz. Širvintų rajono savivaldybėje 2004 m. susidarė tik 153 t MKA. Kai kuriems regionams, pvz. Pagėgių savivaldybei, tokių duomenų 2004 m. išvis nėra.



1.8 pav. Komunalinių atliekų kiekio 1995 – 2004 m. Lietuvoje kitimai pagal atliekų tvarkymo regionus (KTU, 2007a)

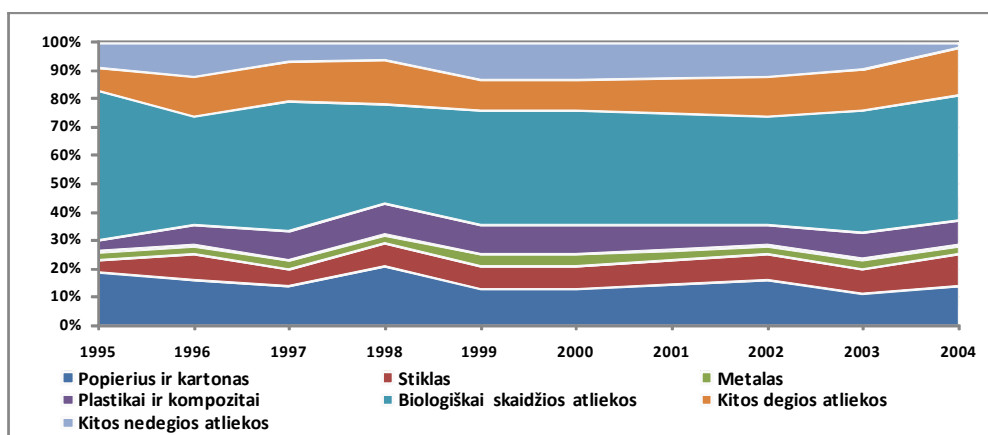
1.4 lentelė. Atliekų surinkimas 1 gyv./metus/kg Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis ir pagal teorinius skaičiavimus įvertinant BVP 2004 m.

Savivaldybė	1 gyv./metus/kg		Savivaldybė	1 gyv./metus/kg	
	Statistiniai duomenys	Pagal BVP paskaičiuoti duomenys (1.1 formulė)		Statistiniai duomenys	Pagal BVP paskaičiuoti duomenys (1.1 formulė)
Birštono sav.	0	324	Šakių r. sav.	252	289
Pagėgių sav.	0	278	Mažeikių r. sav.	259	316
Širvintų r. sav.	8	376	Kėdainių r. sav.	265	324
Panevežio r. sav.	30	311	Zarasų r. sav.	271	309
Vilkaviškio r. sav.	31	289	Utenos r. sav.	277	309
Alytaus r. sav.	41	296	Palangos m. sav.	286	331
Prienų r. sav.	61	324	Kelmės r. sav.	287	301
Molėtų r. sav.	89	309	Elektrėnų sav.	312	376
Kalvarijos sav.	114	289	Biržų r. sav.	312	311
Kazlų Rūdos sav.	118	289	Jonavos r. sav.	328	324
Ukmergės r. sav.	128	376	Anykščių r. sav.	340	309
Ignalinos r. sav.	134	309	Šilalės r. sav.	350	278
Rietavo sav.	139	316	Joniškio r. sav.	381	301
Varėnos r. sav.	149	296	Alytaus m. sav.	395	296
Kaišiadorių r. sav.	156	324	Lazdijų r. sav.	428	296
Akmenės r. sav.	184	301	Radviliškio r. sav.	432	301
Pasvalio r. sav.	190	311	Raseinių r. sav.	455	324

Savivaldybė	1 gyv/metus/kg		Savivaldybė	1 gyv/metus/kg	
	Statistiniai duomenys	Pagal BVP paskaičiuoti duomenys (1.1 formulė)		Statistiniai duomenys	Pagal BVP paskaičiuoti duomenys (1.1 formulė)
Telšių r. sav.	191	316	Šiaulių m. sav.	464	301
Kretingos r. sav.	192	331	Marijampolės sav.	484	289
Šiaulių r. sav.	200	301	Druskininkų sav.	488	296
Rokiškio r. sav.	205	311	Kupiškio r. sav.	518	311
Klaipėdos r. sav.	208	331	Panevėžio m. sav.	586	311
Šalčininkų r. sav.	208	376	Švenčionių r. sav.	641	376
Pakruojo r. sav.	209	301	Jurbarko r. sav.	656	278
Skuodo r. sav.	227	331	Šilutės r. sav.	688	331
Plungės r. sav.	234	316	Vilniaus m. sav.	735	376
Trakų r. sav.	234	376	Kauno m. sav.	817	324
Vilniaus r. sav.	238	376	Kauno r. sav.	895	324
Visagino sav.	246	309	Neringos sav.	989	331
Tauragės r. sav.	248	278	Klaipėdos m. sav.	1089	331

Lietuvoje oficialių duomenų apie susidarantių MKA sudėtį nėra. Nuolatiniai MKA sudėties tyrimai kol kas neatliekami. Yra atlikti tik keli pavieniai tyrimai miestų mastu.

UAB „Kauno Švara“ (bendrovė, vykdanči komunalinių atliekų surinkimą Kauno mieste) MKA sudėties tyrimus atlieka nuo 1995 metų. 1.9 pav. atvaizduoti mišrių komunalinių atliekų sudėties kitimai 1995 – 2004 m. Kauno mieste (Kauno švara, 2005). Matyti, kad MKA sudėtis kinta nežymiai. Tačiau reikia įvertinti tai, kad tyrimai atliekami tik vieną kartą per metus.



1.9 pav. Mišrių atliekų sudėties procentais Kauno mieste kitimas (1995-2004) (Kauno Švara, 2005)

1.4. ES ir LR teisės aktų reglamentuojančių atliekų tvarkymą apžvalga

ES ir LR teisės aktuose nustatyti atliekų tvarkymo reikalavimai – vienas pagrindinių veiksnių skatinantis KA rūšiavimą ir mažinantis susidarantį MKA kiekį. Siekiama didinti tinkančių perdirbti atliekų rūšiavimą, jų perdirbimą ir kitokį panaudojimą, o biologiškai skaidžių atliekų nebevežti į sąvartynus. Planuojant LR miestų ATS pirmiausiai atsižvelgiama į Valstybinio strateginio atliekų tvarkymo plano reikalavimus, kuris, savo ruožtu parengtas siekiant įvykdyti ES Direktyvose ir LR įstatymuose nustatytus reikalavimus.

1.4.1. ES Direktyvos reglamentuojančios komunalinių atliekų tvarkymą

Bendroji atliekų direktyva 2008/98/EB teigia, kad „Pirmasis visų atliekų politikos krypčių tikslas turėtų būti siekis sumažinti neigiamą atliekų susidarymo ir tvarkymo įtaką žmonių sveikatai ir aplinkai. Atliekų politika taip pat turėtų būti siekiama sumažinti išteklių naudojimą ir skatinti praktinį atliekų hierarchijos taikymą.“ Šiam bendram reikalavimui įgyvendinti valstybės narės privalo drausti nekontroliuojamą atliekų šalinimą, sudaryti atliekų tvarkymo planus ir sukurti integruotą ir tinkamą atliekų šalinimo įrenginių tinklą.

Visi ES direktyvose nustatyti reikalavimai ir užduotys visam KA srautui ir atskiroms KA kategorijoms taikomos ir vykdomos tik perkėlus juos į ES šalių narių nacionalinius teisės aktus.

1.4.2. Lietuvos Respublikos teisės aktai reglamentuojantys komunalinių atliekų tvarkymą

Pagrindiniai aplinkos apsaugos tvarkymo Lietuvoje principai apibrėžti 1992 m. Lietuvos Respublikos Seimo priimtame Aplinkos apsaugos įstatyme (Nr.I-2223). Įstatyme nurodoma, kad visi asmenys turi laikytis Lietuvos Respublikos įstatymuose ir kituose teisės aktuose nustatytų atliekų tvarkymo reikalavimų.

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas (Nr. IX-1004) buvo priimtas 1998 m. (nauja redakcija galioja nuo 2003 m. sausio 1 d.). Įstatymas nustato bendruosius atliekų prevencijos, apskaitos, surinkimo, saugojimo, vežimo, naudojimo, šalinimo reikalavimus bei pagrindinius atliekų tvarkymo sistemų organizavimo ir planavimo principus. Šiame įstatyme perkeltos pagrindinės direktyvos 2008/98/EB dėl atliekų nuostatos.

Atliekų tvarkymo taisyklės, pavirtintos aplinkos ministro 1999 m. liepos 14 d. įsakymu Nr. 217 (nauja redakcija patvirtinta aplinkos ministro 2011 m. gegužės 3 d. įsakymu Nr. D1-368), nustato reikalavimus atliekų rūšiavimui, laikinajam laikymui, surinkimui, vežimui, apdorojimui, atliekų tvarkytojų registravimo tvarką ir kt.

Valstybinis strateginis atliekų tvarkymo planas patvirtintas Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. balandžio mėn. nutarimu Nr. 519, aktuali redakcija patvirtinta 2007 m. spalio 31 d. Šiame plane numatytos priemonės vykdomos 2007–2013 metais. Jo tikslas – atsižvelgiant į esamą atliekų tvarkymo būklę ir vadovaujantis Lietuvos ir Europos Sąjungos atliekų tvarkymą reglamentuojančių teisės aktų reikalavimais, nustatyti atliekų tvarkymo prioritetus ir principus, strateginius tikslus, tikslus ir uždavinius, šio plano įgyvendinimo priemones, aprašyti atliekų tvarkymo sistemą, nustatyti atliekų tvarkymo užduotis,

numatyti šio plano įgyvendinimo ir atskaitomybės mechanizmą. Taip pat plane nustatytos komunalinių biologiškai skaidžių atliekų šalinimo sąvartynuose mažinimo užduotys, tačiau nenustatyti detalūs reikalavimai (atliekų surinkimo ar apdorojimo būdai) joms pasiekti. Visgi plane galima rasti deklaratyvaus pobūdžio reikalavimą laikytis atliekų tvarkymo hierarchijos.

Bene aktualiausias reikalavimas, susijęs su šiuo darbu, nustatytas plano 108 punkte: išrūšiuotus likusias, netinkamas perdirbti ir turinčios energetinę vertę komunalinės atliekos, kurių energetinio naudingumo koeficientas, apskaičiuotas pagal energetinio naudingumo formulę, lygus arba didesnis negu 0,65, turi būti naudojamos energijai gauti.

Savivaldybės, organizuodamos komunalinių atliekų tvarkymo sistemą, atsižvelgia į kiekvieno regiono specifiką. Siekdamas užtikrinti antrinių žaliavų (popieriaus ir kartono, stiklo, plastiko, metalo) rūšiavimą, savivaldybės visiems komunalinių atliekų turėtojams turi užtikrinti rūšiavimo galimybes ir priemones.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2002 m. gruodžio 31 d. įsakymu Nr. 699 patvirtinti Atliekų deginimo aplinkosauginiai reikalavimai. Nuo 2005 m. gruodžio 28 d. tai pagrindinis Lietuvos Respublikos dokumentas, į kurį turi būti atsižvelgiama analizuojant komunalinių atliekų deginimo galimybes aplinkosauginiu aspektu. Atliekų deginimo aplinkosauginiai reikalavimai parengti atsižvelgiant į Europos Sąjungos Parlamento ir Tarybos direktyvos Nr. 2000/76/EB dėl atliekų deginimo nuostatas. Reikalavimai nustato eksploatacines sąlygas, išmetamųjų teršalų ribines vertes ir techninius reikalavimus, kurie privalomi visoms Lietuvos Respublikos teritorijoje esančioms įmonėms, eksploatuojančioms ar planuojančioms eksploatuoti atliekų deginimo įrenginius ar bendro deginimo įrenginius.

1.5. Trumpa komunalinių atliekų tvarkymo technologijų apžvalga

Lietuvoje pagrindinis mišrių komunalinių atliekų tvarkymo būdas – šalinimas sąvartyne. Taip gali būti šalinamos MKA neatsižvelgiant į jų procentinę sudėtį, šilumingumą, drėgmę. Tačiau brangstant ir mažėjant sąvartynams tinkamos žemės plotams, didėjant gyventojų pasipriešinimui sąvartyno kaimynystei, būtina rasti tvirtai pagrįstą optimalų atliekų tvarkymo būdą. Šalinimą sąvartyne būtina riboti ir atsižvelgiant į atliekų tvarkymo būdų prioritetus ir kitus teisės aktų reikalavimus.

Nors šalinimo sąvartynuose visiškai atsisakyti nėra galimybių, tačiau įdiegus efektyvius tvarkymo būdus, šalinamų atliekų kiekis gali smarkiai sumažėti.

Analizuojant įvairius atliekų tvarkymo sistemų scenarijus būtina įvertinti jų privalumus ir trūkumus, ES užduočių įvykdymo ir teisės aktų reikalavimų atitikimus, miesto galimybes įdiegti vienokią ar kitokią sistemą, ekonominį efektyvumą, aplinkosauginius ir energetinius rodiklius.

Šiame skyriuje pateikta trumpa, Europos Sąjungos valstybių narių atliekų tvarkymo sistemose dažniausiai naudojamų KA tvarkymo technologijų apžvalga.

1.5.1. Atliekų perdirbimas

Iš KA išskirtos ir perdirbtos medžiagos gali būti panaudotos kaip antrinės žaliavos ir taip sutaupomi gamtiniai išteklių, mažinamas energijos sunaudojimas ir teršalų išsiskyrimas į orą, vandenį ir dirvožemį. Atlikti gyvavimo ciklo vertinimai

parodė, kad naudojamų kaip antrinės žaliavos frakcijų perdirbimas yra draugiškesnis aplinkai palyginus su atliekų deginimu ar šalinimu sąvartyne (Morris, 2005).

Popierius ir kartonas. Atskirai surenkama popieriaus ir kartono frakcija sudaryta iš dviejų pagrindinių subfrakcijų: popieriaus (apie 60 %), kartono (apie 35 %) ir priemaišų (apie 5 %) (Ludwig et al., 2003). Popierius gali būti perdirbamas į prastesnės kokybės popierių.

Stiklas. Atskirai surenkamas stiklas būna sudarytas iš keturių pagrindinių subfrakcijų: maišyto stiklo (apie 37 %), žalio stiklo (apie 20 %), rudo stiklo (apie 20 %), skaidraus stiklo (apie 20 %) ir priemaišų (apie 3 %) (European, 1996). Visų spalvų stiklas yra susmulkinamas iki duženų, o stiklo duženos perdirbamos į stiklą jas išlydant krosnyje.

Metalas. Surenkamas metalas būna sudarytas iš dviejų pagrindinių subfrakcijų: alavuoto plieno (apie 77,5 %), aliuminio (apie 17,5 %) ir priemaišų (apie 5 %) (RDC-Env&Pira Int, 2003). Alavuotas plienas gali būti perdirbamas į antrinį plieną, taikant perlydimą elektros krosnyje ir kitus metalurgijos procesus. Aliuminis perdirbamas į antrinį aliuminį.

Plastikai ir kompozitai. Atskirai surinkti plastikai ir kompozitai sudaryti iš šešių pagrindinių subfrakcijų: didelio tankio polietileno (DTPE) (apie 13,1 %), polietilenteraftaliato (PET) (apie 15,9 %), mažo tankio polietileno (MTPE) (apie 16,9 %), plastikų mišinio (apie 25,3 %), kartoninės gėrimų pakuotės (KGP) (apie 11,2 %), kitų kompozitų (apie 6,6 %) ir priemaišų ir teršalų (apie 11 %) (RDC-Env&Pira Int, 2003). Visų spalvų DTPE gali būti perdirbamas į daugiasluoksnius DTPE butelius. PET perdirbamas į trisluoksnius PET butelius. MTPE plėvelė gali būti perdirbama į maišelius. Kartoninė gėrimų pakuotė gali būti perdirbama į paprasto popieriaus masę.

1.5.2. Biologiškai skaidžių atliekų apdorojimas

Biologiškai skaidžios atliekos – bet kokios atliekos, kurios gali skaidytis ar būti suskaidytos aerobiniu ar anaerobiniu būdu.

Kompostavimas yra organinių medžiagų irimo aerobinėmis sąlygomis procesas. Tai atliekų tvarkymo būdas, kai dėl kompleksinio biologinio, biocheminio ir fizinio proceso (mikroorganizmų, dirvožemio gyvūnų ir jų išskiriamų fermentų poveikio) biologiškai skaidžios atliekos mineralizuojasi, išsiskiria biogeniniai elementai ir susidaro kompostas (EEA, 2003).

Labiausiai paplitusios technologijos: stacionarus kaupas, aeruojamas stacionarus kaupas, judanti sankasa, besisukantis būgnas ir kompostavimo dėžė.

Dažniausiai naudojama kompostavimo dėžė, kur uždaruose kaupuose vyksta brandinimo procesai. Naudojant šią sistemą galima išvengti pagrindinio kompostavimo proceso trūkumo – nemalonaus kvapo. Technologijos privalumas – galimybė reguliuoti įrenginio galingumą pagal patenkančius atliekų kiekius.

Kompostavimo procesas gali būti aprašomas dvejomis stadijomis: intensyvus kompostavimas kompostavimo dėžėse ir brandinimo procesas kaupuose kompostavimo salėse.

Prieš kompostavimą, atskirai surinktos organinės atliekos yra mechaniškai apdorojamos, atskiriant kompostavimui netinkamas stambesnes frakcijas.

Kompostavimo dėžėje gaunamas šviežias kompostas. Automatizavus intensyvų kompostavimo procesą šviežio komposto gamybos laikas sutrumpėja iki 10-14 dienų. Vėliau šviežias kompostas patenka į brandinimo stadiją, kur laikomas dar apie 8 savaites. Gautas produktas (techninis kompostas) gali būti naudojamas parkams ar vejoms tręšti.

Abi kompostavimo stadijos išskiria emisijas į orą ir vandenį. Uždarame kompostavimo įrenginyje dujų emisijos gali būti surenkamos ir, prieš išmetant jas į atmosferą, išvalomos (pvz. biofiltruose). Nuotekos taip pat turi būti surenkamos ir nukreipiamos į nuotekų valymo įrenginį.

Pūdymas – tai organinių medžiagų skaidymo anaerobinėmis sąlygomis procesas. Pūdymas atliekamas anaerobinėmis sąlygomis ir jo metu gaunamos biodujos – daugiausia metano ir anglies dioksido mišinys. Pūdymas, kaip atliekų apdorojimo metodas, taikomas mėšlui, skerdyklų atliekoms, nuotekų valymo metu susidariusiam dumblui ir biologiškai skaidžioms atliekoms. Nors sodų atliekos yra labiau tinkamos kompostavimui, bet joms taip pat gali būti naudojamas pūdymo procesas, dažniausiai sausas pūdymas (Niebaum et al., 2004). Pūdymo procesus galima suskirstyti į sausą ar šlapią, termofilinį ar mezofilinį ir 1-mos ar 2-os fazės pūdymo procesus. Dažniausiai naudojamas 1-os fazės pūdymo procesas (Fricke et al., 2002a, Kern, 1999, Vogt et al., 2002).

Prieš pūdymą, atskirai surinktos biologiškai skaidžios atliekos yra mechaniškai apdorojamos, atskiriant pašalines medžiagas. Pūdymo proceso metu gaunamos biodujos, nuotekos ir pūdymo liekanos. Deginant biodujas gali būti gaminama elektra ir šiluma. Liekanos toliau apdorojamos aerobinėje brandinimo stadijoje, t. y. kompostuojamos. Nuotekos nukreipiamos į nuotekų valymo įrenginius. Gautas kompostas ir nuotekų valymo procese susidaręs dumblas gali būti toliau naudojami žemės tręšimui. Maistingosios medžiagos esančios komposte gali pakeisti sintetines trąšas.

1.5.3. Mišrių komunalinių atliekų apdorojimas.

Aerobinis mechaninis biologinis apdorojimas (MBA). Aerobinis MBA – tai deginimui alternatyvus metodas MKA ar liekanų, likusių po rūšiavimo, tvarkymui prieš šalinant jas sąvartynuose. MBA sudaro įvairūs mechaninio ir biologinio apdorojimo operacijų deriniai pasirenkami priklausomai nuo apdorojamų atliekų savybių ir norimo gauti galutinio produkto: komposto, energijos ar antrinių žaliavų (Diaz et al., 2005; Strategy Unit, 2002). Visgi pagrindinis šios technologijos tikslas yra atliekų šalinimo sąvartynuose neigiamo poveikio aplinkai mažinimas ir metalų išgavimas iš atliekų srauto.

MBA veikimo principas panašus į kompostavimo procesą. Dažniausiai naudojamos MBA technologijos paremtos „atskyrimo“ arba „stabilizavimo“ principais. „Atskyrimo“ atveju atliekos pirmiausiai apdorojamos mechaniškai atskiriant metalus, degias medžiagas ir likusias biologiškai neskaidžias medžiagas. Atskirtos biologinės (mažo šilumingumo) atliekos pūdomos. Atskyrimo tikslas – antrinių žaliavų ir degių medžiagų atskyrimas, sąvartyne šalinamų atliekų kiekio mažinimas. „Stabilizavimo“ atveju biologiškai apdorojamos visos atliekos, toliau

mechaniškai atskiriant perdirbimui tinkamas medžiagas (pagrindė metalus) ir degias medžiagas (didelio šilumingumo frakcija).

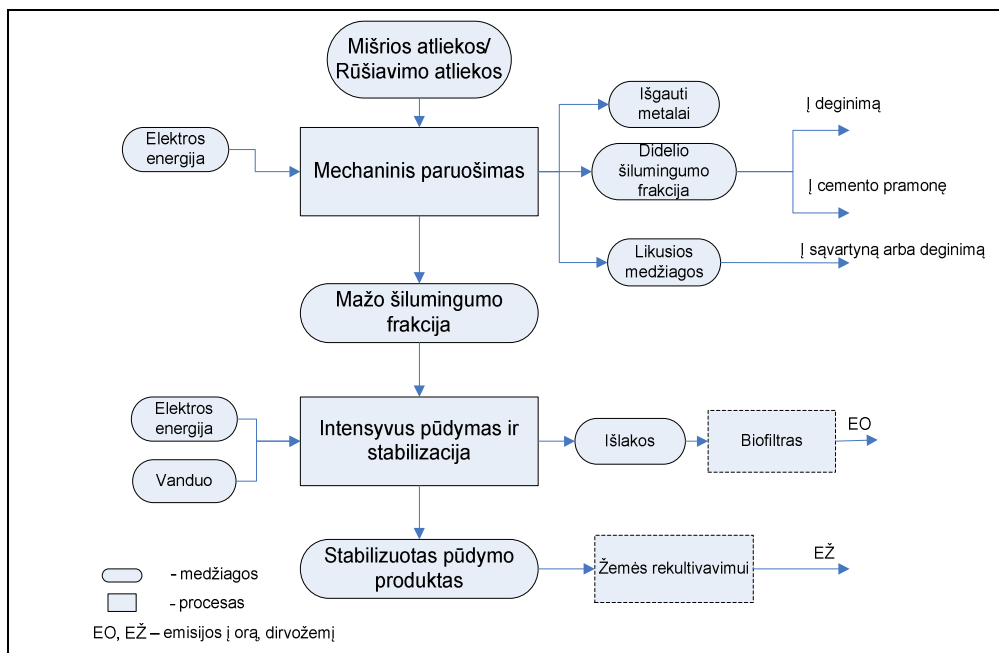
Biologinis procesas (intensyvus anaerobinis puvinimas ir aerobinis stabilizavimas) vyksta tame pačiame kaupe. Tris savaites, automatiškai keičiant aeracijos greitį, gali būti reguliuojama kaupo temperatūra, tuo pačiu ir intensyvus puvinimas. Toliau proceso intensyvumas palaipsniui mažėja. Po 14-16 savaičių esant optimalioms proceso sąlygoms mažo šilumingumo frakcijos cheminė sudėtis stabilizuojasi ir gali būti šalinama sąvartynuose arba naudojama (jei tinkama) pažleistų žemių rekultivavimui (Müller et al., 2001) (1.10 pav.).

Procese išskirta kompostuoti netinkanti didelio šilumingumo frakcija (toliau – DŠF) (joje būna popieriaus, tekstilės, plastikų ir medienos) gali būti nenukreipiama į sąvartynus, o naudojama kaip papildomas kuras cemento gamyklose arba kaip papildomas kuras atliekų deginimo įrenginiuose (Soyez et al. 2001, Garg et al., 2007). Tačiau tyrėjai atkreipia dėmesį, kad tokio kuro naudojimas cemento gamyklose gali būti nuostolingas dėl energijos kiekio praradimo (pagrindinio kuro šilumingumas yra didesnis negu deginant DŠF). Visgi ekonomiškai tai galima kompensuoti įvedant „vartų mokestį“. MKA ar biomasės deginimo įmonėse toks kuras taip pat gali būti nepageidaujamas dėl padidėjusio taršos kiekio (Garg et al., 2009).

Toks kuras gali būti netgi transportuojamas į kitas šalis, nes jų vežimo nereglamentuoja Bazelio konvencija. Pvz., Italijoje pagamintas didelio šilumingumo kuras transportuojamas į Vokietijos ir Danijos deginimo įrenginius (Juniper, 2005).

DŠF Europos Sąjungoje gali būti traktuojama kaip prekė ir jos cheminės ir fizikinės savybės gali būti derinamos prie tokio kuro užsakovų pageidavimų (Juniper, 2005). Toks kuras gali būti supakuojamas (susuktas) į įvairaus dydžio ryšulius ir taip transportuojamas ar saugojamas (Ferber, 1998; Hogland et al., 2001; Kallunki et al., 2002). Skandinavijos šalyse tokiuose ryšuliuose didelio šilumingumo frakcija saugojama vasaros periodu, kai energijos poreikis yra palyginus mažas.

Tačiau MBA technologijos diegimas turi būti kruopščiai įvertintas. Ypač daug dėmesio turi būti skiriama ekonominių rodiklių analizei ir galimybei panaudoti išgautas antrines žaliavas ir DŠF. Kitų šalių patirtis parodė, kad sprendimas įdiegti MBA ne visuomet pasiteisina (Miliūtė, 2009; Thiel et al., 2010).



1.10 pav. Aerobinio mechaninio-biologinio apdorojimo schema (den Boer et al., 2005)

Anaerobinis mechaninis biologinis apdorojimas. Anaerobinio MBA įrenginyje gali būti apdorojamos po rūšiavimo likusios atliekos ir MKA. Anaerobinio MBA metodas kol kas dar nėra plačiai taikomas, bet tokių įrenginių paklausa vis didėja (Kern, 2001). Lyginant su aerobiniu MBA, anaerobinio MBA privalumai – energijos gamyba, trumpesnis biologinio apdorojimo laikas, mažesnės kvapų emisijos.

Tačiau anaerobinė technologija yra sudėtingesnė ir reikalauja daugiau investicijų (Zeschmar-Lahl et al., 2000).

Analogiškai aerobiniam MBA procesui, atliekos yra pirmiausiai mechaniškai apdorojamos, atskiriama DŠF. Likusi mažo šilumingumo frakcija apdorojama biologiškai: biologiškai skaidžios medžiagos anaerobinėmis sąlygomis yra suskaidomos, susidarant biodujoms (daugiausia metano ir anglies dioksido mišiniui). Vienos pakopos sausos termofilinės fermentacijos metu atliekos aerobiškai stabilizuojasi maždaug po trijų savaičių. Vidutinio stambumo mažo šilumingumo frakcija gali būti pilnai aerobiškai apdorojama ją intensyviai pūdant. DŠF yra naudojama energijos gamybai.

Deginimas. Siekiant sumažinti į sąvartynus patenkančių atliekų kiekį, vienas iš efektyvių būdų, yra atliekų deginimas.

Atliekų deginimo įmonės skirstomos į „atliekų deginimo įmones“, kuriose atliekos apdorojamos termiškai panaudojant ar nepanaudojant pagamintą šilumą ir „bendro atliekų deginimo įmones“, kurios pagrindinis tikslas yra energijos arba produktų gamyba ir kuri naudoja atliekas kaip įprastinį arba kaip papildomą kurą arba kurioje atliekos yra termiškai apdorojamos tam, kad būtų sunaikintos. Taip pat

atliekų deginimo procesą galima skirstyti pagal deginama kurą: mišrių komunalinių atliekų deginimas (*angl. Mass Burn*) ir didelio šilumingumo frakcijos deginimas.

ES šalyse senbuovėse sudeginamų komunalinių atliekų kiekis svyruoja nuo 0 % Graikijoje iki 95 % Liuksemburge ir beveik 100 % Šveicarijoje (Johnke, 2003). Toks atliekų apdorojimo būdas gali būti naudingas besivystančiose šalyse, kur susidaro dideli MKA kiekiai, o antrinių žaliavų rūšiavimas vyksta vangiai (Sufiana et al., 2006). Aplinkosauginiu požiūriu atliekų deginimas naudingas dėl smarkiai sumažinamo tvarkomų atliekų kiekio (iki 70% tūrio), taip pat dėl gaunamos elektros ir (ar) šiluminės energijos. Be to atliekų deginimo metu išsiskirianti tarša yra taškinė, dėl to lengviau pritaikyti emisijų valymo įrenginius.

Tačiau tikrąjį deginimo metu išsiskiriančių teršalų daromą neigiamą poveikį aplinkai įvertinti būvio ciklo vertinimo būdu sunku, nes vertinimo modeliuose pateikiamos skirtinga deginimo reikšmė aplinkai, ypač toksiškumo ir sunkiųjų metalų kategorijose (Winkler, 2005).

Atliekas galima apibūdinti kaip degių ir nedegių medžiagų derinį. Degios atliekos oksiduojamos ir paverčiamos dujinėmis medžiagomis. Nedegios atliekos tampa šlaku ir pelenais.

Ne visos atliekos tinkamos deginti – jos gali būti pernelyg drėgnos arba nepakankamai šilumingos, nedegančios be papildomų priedų. Mažiausias priimtinas šilumingumas priklauso nuo atliekų deginimo technologijos ir laukiamo eksploatacijos efektyvumo. Tačiau minimalus atliekų šilumingumas neturėtų būti mažesnis negu 6500 kJ/kg. Mažesnio šilumingumo atliekos nedega be papildomo kuro (Pasaulinė sveikatos, 1995; Rand et al., 2000).

Šilumingumą lemia anglies (C), vandenilio (H), deguonies (O) ir sieros (S) kiekiai atliekose (cheminiai elementai, kurių degimo metu išsiskiria šiluma). Literatūroje galima rasti skirtingas atskirų frakcijų šilumingumo reikšmes. 1.5 lent. pateikiamos dažniausiai nurodomos atliekų šilumingumo reikšmės.

Dažniausiai naudojama deginimo ant ardyno technologija, kuri priskiriama geriausiai prieinamai KA deginimo technologijai (European Commission, 2006). Įrenginio konstrukcija (vandeniu aušinamas ardynas, dūmų recirkuliacija) užtikrina mažą oro tiekimą su atitinkamai mažesniu susidarantiu dūmų kiekiu. Iš atliekų gauta energija gali būti panaudojama elektros ir šilumos gamybai.

Ant ardyno vykstantys procesai (Vares et al., 2007):

- kai kuras (atliekos) patenka ant ardyno, kuro sluoksnio temperatūra pradeda kilti ir prasideda džiūvimo procesas;
- kai kuro temperatūra pakyla iki 100 – 105 °C, išsiskiria lakiosios medžiagos (pirmiausiai angliavandeniliai);
- priklausomai nuo atliekų rūšies, jis užsidega, esant 220 – 300 °C (Varpu, 2000);
- anglies degimas baigiasi esant 800 – 900 °C temperatūrai.

1.5 lentelė. Atliekų šilumingumo (MJ/kg) vertės pagal skirtingus literatūros šaltinius

	(Environmental, 2007)	(Seeger et al., 2002)	(Beckmann et al., 2005)	(den Boer et al., 2005)	(Menikpura et al., 2009)	(Trang et al., 2009)	(Skovgaard et al., 2008)	(Cheshire, 2001)	(Grammelis et al., 2009)	Mažiausia reikšmė	Vidutinė reikšmė	Didžiausia reikšmė
Popierius	12,0	11,6	10,6	9,3	15,0	15,0	15,0	13,4-13,8	12,3-15,9	9,3	12,6	15,0
Plastikas	30,0	23,7	28,0	32,9	33,3-45,0	33,5	30,0	24,1	18,1-45,7	18,1	31,9	45,7
Plastikinės pakuotės		28,4		15,3						15,3	21,8	28,4
Kompozitai	13,5	13,3		15,2					18,5	13,3	15,1	18,5
Kompozitinės pakuotės		16,2								16,2	16,2	16,2
Biologinės atliekos	4		6,7	6,3	15,8-28,4		2,0-5,0	7,0-9,0		2,0	15,2	28,4
Stiklas			-0,2	-0,1				-0,2		-0,2	-0,1	-0,1
Metalas			-0,1	-0,3				-0,3		-0,3	-0,2	-0,1
Medis	14,0	17,3			14,2	18,4	15,0	9,0		9,0	14,7	18,4
Tekstilė, oda, guma	12,0	17,1	16,4	7,6	17,0-25,5	21,8-32,9	16,0	6,9		6,9	19,9	32,9
Kitos atliekos (įskaitant mineralines)	4,0		9,3					12,2		4,0	8,5	12,2
Atliekos, kurių dalelių skersmuo >8 mm	2,5			4,6						2,5	3,6	4,6

Sunkiųjų metalų kiekis emisijose priklauso nuo atliekų sudėties. Jų pasiskirstymas emisijose (dūmuose, šlakuose, pelenuose ir oro valymo atliekose) gali būti paskaičiuojamas pagal empirinius atitinkamo metalo transmisijos koeficientus. Sunkieji metalai esantys inertinėse frakcijose pereina į šlakus.

1.6 lentelėje pateiktos egzistuojančių deginimo įmonių vidutinės emisijų į orą vertės ir ribinės ES atliekų deginimo direktyvos vertės.

Atliekų deginimo įrenginio išlakų valymas vykdomas taip: dulkės ir lakieji pelenai yra atskiriami elektrostatiniame nusodintuve ir vėliau šalinami kaip pavojingos liekanos; sieros dioksidas, vandenilio fluoridas, vandenilio chloridas ir sunkieji metalai yra pašalinami skruberyje neutralizuojant kalcio hidroksido suspensija; dioksinai ir furanai pašalinami filtre su kokso adsorberiu; azoto oksidai pašalinami selektyvios katalizinės redukcijos būdu (SCR-katalizatorius). Pagrindinių emisijų valymo efektyvumo vertės pateiktos 1.7 lent.

Fe, Cu ir Al iš šlako gali būti išskiriami naudojant paprasto mechaninio apdorojimo technologiją. (Hellweg et al., 2000). Išgavus metalus, šlakas gali būti naudojamas kelių tiesimui arba šalinamas sąvartynuose (Frančois et al., 2009a, Frančois et al., 2009b, Schimmoller et al., 2000). 1.11 pav. pavaizduota pagrindinių medžiagų srautų deginimo procese schema.

1.6 lentelė. Deginimo įmonių emisijų vidutinės ir ribinės vertės pateiktos ES deginimo direktyvoje

Emisijos	Vidutinės emisijos pagal egzistuojančias įmones Vokietijoje		ES Direktyva dėl deginimo 2000/76/EB
	(Dehoust et al., 2002)	(ifu and ifeu, 2001)	
	mg/m ³ išlakų	kg/kg išlakų	mg/m ³ išlakų
N ₂ O	2	0,00000023	
KD ₁₀	1,11	0,000001	1,15
HCl	1,97		2,17
HF	0,11		0,16
SO ₂	6,19		6,72
NO _x (kaip NO ₂)	94,1	0,00006	111
NH ₃	0,5	0,000003	
CO		0,00001	
BOA		0,000001	1,37
PCDD, PCDF		5,00E-15	1E-08
PCB		5,00E-11	
Chlorfenolis		1,00E-10	
Chlorbenzenas		5,00E-11	
Benzo(a)pirenas		7,00E-13	
Hg			0,006
Cd, Tl			0,004
Sunkieji metalai			0,04

1.7 lentelė. Oro teršalų sulaikymo efektyvumo koeficientai (if and ifeu, 2001)

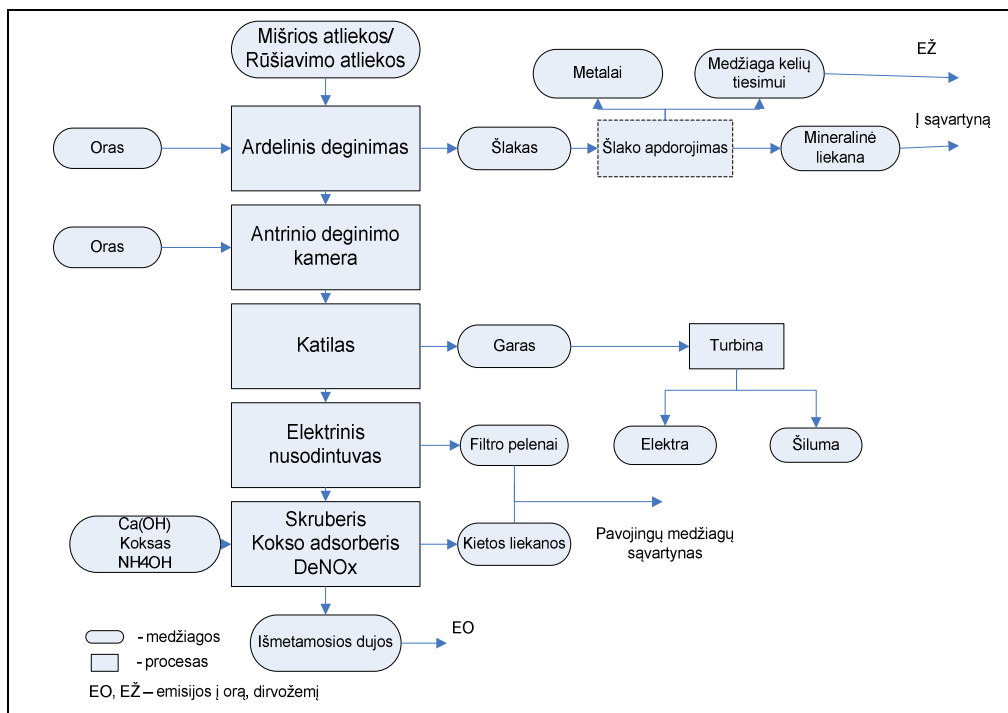
Teršalas	Teršalų šalinimo iš dūmų efektyvumas
HCl	99,95 %
SO ₂	99,87 %
HF	95,74 %

Deginimas gali būti naudojamas įvairių KA tvarkymui, įskaitant ir MKA, atliekoms iš komercinių objektų, stambiagabaritėms atliekoms, degioms, po MBA procesų likusioms atliekoms (kuriai iš atliekų, popieriui, medžiui ir t. t.).

Nuomonės dėl MKA tvarkymo technologijų naudojimo energijos gavybai, skiriasi. Manoma, kad šie būdai gali neigiamai įtakoti perdirbimo ir kompostavimo technologijų pasirinkimą ir sukelti didesnes emisijas (Finnveden et al., 2005; Juniper, 2005).

Tačiau būvio ciklo vertinimo analizės pagalba nustatytas rūšiavimo namuose lygis, kuriam esant būtų pasiekti geriausi ATS aplinkosauginiai ir energetiniai rezultatai, t. y. optimalus išrūšiuojamų ir deginamų atliekų kiekių santykis. Tyrėjai teigia, kad optimalus rūšiavimo namuose lygis yra apie 60%, kai visų fraksijų rūšiavimo efektyvumas didelis. Rezultatai prastėja, kai šis procentas mažėja iki 50% ir kai namų ūkio rūšiavimo aukštą lygį lemia tik biologinių atliekų atskiras surinkimas (Rigamonti et al., 2009).

Tačiau literatūroje galima rasti ir nuomonių, kad energijos gavyba iš atliekų rodo perdirbimo efektyvumo padidėjimą (Themelis, 2008).



1.11 pav. Atliekų deginimo schema

Šalinimas sąvartyne. Šalinimas sąvartyne yra neišvengiamas kiekvienos atliekų tvarkymo sistemos elementas. Tai atliekų tvarkymo būdas, kuris tinkamas beveik visoms kietosioms atliekoms. Tvarkant atliekas kitais būdais (MBA, deginant ir kt.) vis tiek susidaro liekanos, kurios turi būti šalinamos sąvartyne. Kai kuriose Europos šalyse (Didžiojoje Britanijoje, Airijoje, Ispanijoje) šalinimas sąvartynuose vis dar yra pagrindinis atliekų tvarkymo metodas. Naujosiose ES šalyse tai yra pagrindinis ir dažniausiai vienintelis atliekų tvarkymo būdas (McDougall et al. 2001), nors toks būdas ES teisės aktuose vadinamas žemiausias atliekų tvarkymo prioritetas.

Pagrindinis šiuolaikinio šalinimo sąvartyne uždavinys – sveikatos ir aplinkosaugos požiūriu saugus ir ilgalaikis atliekų šalinimas. Tačiau ir šiame procese susidaro emisijos (sąvartyno dujos ir sunka), kurias taip pat reikia kontroliuoti ir mažinti. Šiuolaikinės atliekų tvarkymo sistemos uždavinys – sumažinti sąvartyne šalinamų atliekų kiekį.

Sąvartyno dujos ir sunka – pagrindiniai emisijų iš sąvartyno šaltiniai. Dujos iš kaupimo lauko turi būti surenkamos nuo jo eksploatavimo pradžios iki 10 metų po jo uždarymo. Surinktos dujos gali būti panaudotos energijos gamybai arba sudeginamos. Sunka turi būti renkama iš kaupimo lauko ir tvarkoma nuo jo eksploatavimo pradžios iki 50 metų po jo uždarymo.

1.6. Komunalinių atliekų savybės

Daugiausia problemų sukelia didžiausias KA srautas – mišrios komunalinės atliekos. MKA – komunalinės atliekos susidaranti po pirminio rūšiavimo, t.y. atskyrus perdirbti tinkančias frakcijas. Svarbiausia šių atliekų savybė –

heterogeniškumas. Tokios atliekos gali būti sudarytos iš maisto atliekų, tekstilės, popieriaus, gumos, plastikų, metalų, stiklo, medienos ir pan. Jose gali būti ir stambiagabaritės atliekos, elektros ir elektroninės įrangos atliekos, baldai ir pan. Nevienalytė MKA sudėtis sukelia daug problemų ieškant optimalaus jų tvarkymo būdo. Todėl pasirenkant tvarkymo technologiją svarbu, kad ji nebūtų jautri nuolat besikeičiančiai atliekų sudėčiai.

Paprastai MKA sudėtis skirstoma į 8 frakcijas (Beigl et al., 2003):

- biologinės (virtuvinės) atliekos: atliekos, kurios susidaro buityje apdirbant maisto produktus, lupenos, daržovių atliekos, maisto atliekos;
- popierius ir kartonas: laikraščiai, žurnalai, įvairios kartoninės pakuotės;
- plastikai ir kompozitai: polietileningi maišai, indai, plastikinė tara ir kiti plastikai;
- stiklas: stiklinė tara, stiklo duženos;
- metalai: metaliniai daiktai, metalo laužas;
- kitos nedegios atliekos: statybinis laužas, žemės;
- kitos degios atliekos: sodo atliekos, medžio dirbiniai, tekstilė, oda.

1.6.1. Fizinės mišrių komunalinių atliekų savybės

Svarbiausios fizinės atliekų savybės: tankis, drėgnumas, dalelių granulimetrinė sudėtis, drėgmės absorbcijos rodiklis, atliekų laidumas.

Atliekų tankis gali smarkiai skirtis priklausomai nuo atliekų sudėties. Dažniausiai MKA tankis didesnis vietovėse, kur susidaro daugiau biologinių atliekų ir mažesnis vietovėse, kuriose susidaro daugiau popieriaus ir kartono (daugiau komercinių įmonių) arba susidaro daugiau pakuočių atliekų (Guidelines, 2001) (1.8 lent.). Žinios apie atliekų tankį svarbios pasirenkant atliekų apdorojimo technologiją, pvz. tankintuvą.

1.8 lentelė. Dažniausiai pasitaikantis mišrių komunalinių atliekų tankis skirtingo gerbūvio šalyse (Guidelines, 2001)

Šalis, kurioje:	Atliekų tankis (kg/m ³)
gyventojai gauna dideles pajamas	100 – 175
gyventojai gauna vidutines pajamas	175 – 330
gyventojai gauna mažas pajamas	330 - 600

Atliekų drėgnumas dažniausiai išreiškiamas dviem būdais: drėgmės dalimi arba sausos liekanos dalimi. Atliekų drėgmė gali įtakoti atliekų deginimą (drėgmė mažina MKA šilumingumą, deginant 6,5 MJ/kg ir mažesnio šilumingumo atliekas reikalingas papildomas kuras) ir biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo technologijas. Ji priklauso nuo vandens kiekio ir biologiškai skaidžių atliekų dalies bendrame MKA sraute.

Atliekų granulimetrinė sudėtis charakterizuojama pagal atliekų dalelių didžiausią matmenį ir sieto, pro kurį atliekos gali būti prasijojamos, akutės išmatavimais. Šie duomenys reikalingi projektuojant atliekų rūšiavimo procesų įrangą, pvz., mechaninį sijotuvą.

Atliekų drėgmės absorbcijos rodiklis, arba drėgmės kiekis, kurį savyje gali sulaikyti atliekos, veikiamos tik gravitacijos jėgos, naudingas projektuojant sąvartynus ir nustatant iš atliekų išsiskyrusį filtratą.

Atliekų laidumas, arba atliekų hidraulinis pasipriešinimas, savybė, kuri lemia dujų ir skysčių judėjimą atliekų sąvartynuose.

1.6.2. Cheminės mišrių komunalinių atliekų sudėtis

Cheminė MKA sudėtis – svarbus rodiklis modeliuojant atliekų apdorojimo procesus. Ji nulemia pagrindines MKA savybes, pvz. bioskaidumo laipsnį ar šilumingumą.

Svarbiausių atskirų frakcijų cheminės sudėties duomenys pateikti 1.9 lent. Taip pat pateikiami duomenys apie metalus esančius atliekų frakcijose 1.10 lent.

1.9 lentelė. Atliekų frakcijų cheminė sudėtis (Fricke et al., 2002; Dehoust et al., 2002)

Atliekų frakcija	SM, %	OSM, % SM	Biogeninė* OSM, % OSM	C, % OSM	Biogeninė* C, C%	H, % OSM	O, % OSM	N, % OSM	Cl, % OSM	S, % OSM
Popierius	62,5	87	98	49	99	6,4	44	0,2	0,3	0,2
Stiklas	95	0	0	47	98	10	40	3	0	0
Geležis	90	0	0	48	98	6,3	44	0,5	0,7	0,1
Aliuminis	90	0	0	48	98	6,3	44	0,5	0,7	0,1
Varis	90	0	0	48	98					
Plastikas	85	95	5	83	5	13,3	4	0,1	0,1	0
Pakuotės - kompozitai	75	91	78	59	60	6,7	39	2,7	0,7	0,5
Kompozitai	85	80	58	58	20	6,7	39	2,7	0,7	0,5
Biologinės	45	87	100	51	100	6,2	44	0,5	0,1	0,1
Sodų atliekos	4	84	100	50	100	7,9	32	0	0,7	0
Medis	80	90	50	49	100	7,6	33	0,5	1,5	0,1
Vystyklai	50	50	25	57	90	7,7	31	3,6	0,8	0,3
Inertinės medžiagos	90	0	0	48	98	6,3	44	0,5	0,7	0,1
Tekstilė	70	85	60	51	65	6,9	37	4,3	0,4	0,4
Oda	70	85	50	47	90	6,4	40	2	0,7	0,3
Vidutinio dydžio frakcijos	56	49	88	47	65	6,5	40	2,5	0,5	0,6
Mažo dydžio frakcijos	66	39	88	49	100	7	33	13	0	0
Pavoingos	75	50	25	70	0	9,9	19	0,4	0,7	0,1

SM – sausoji medžiaga; OSM – organinė sausoji medžiaga.

*Biogeninė – organinės kilmės.

1.10 lentelė. Metalų kiekis atskirose mišrių komunalinių atliekų frakcijose (Morf et al., 1999)

Atliekų frakcija	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	mg/kg SM							
Popierius	5	0,7	9,8	44,8	0,2	6,8	23	295
Stiklas	0	0	1,3	0	0	0	329	82
Geležis	20	21	156	265		68,3	582	507
Aliuminis	20	21	156	265		68,3	582	507
Varis	20	21	156	1,0E+06		68,3	582	507
Plastikas	5	66	28,6	60,4	0,2	4,3	50	627
Pakuotės - kompozitai	5	1	36	68	0,2	7,4	30	388
Kompozitai	5	1	7,3	37,5	0,2	9	14	90
Biologinės atliekos	30	1	55	153	0,5	28	90	500
Medis	5	0,4	5,5	17,9	0,1	3,8	21	158
Vystyklai	5	0,5	27	23,2	0,2	11,3	10	313
Inertinės medžiagos	10	0,5	80	35	0,1	45	50	70
Tekstilė	5	1	16,8	55	0,1	7,3	35	170
Oda	5	3	900	43	0,1	5,1	112	4438
Mažo dydžio frakcijos	35	2	75	715	1,1	43,8	190	780
Pavoingos	12	53	17,5	1690	127	347	10800	106000

1.7. Literatūros apžvalgos išvada

Nors KA sudaro maždaug 15% visų Europoje susidarančių atliekų, tačiau dėl jų heterogeniškumo ir atliekų gamintojų geografinio pasiskirstymo šių atliekų valdymas (ATS planavimas ir eksploatavimas) yra labai sudėtingas procesas. Atliekos turi būti tvarkomos taip, kad nekeltų pavojaus žmonių sveikatai ir aplinkai, kad būtų racionaliai naudojami atliekų medžiaginiai ir energetiniai išteklių. Planuojant optimalią ATS reikalingi aiškūs sprendimai, pagrįsti inžineriniais skaičiavimais. Tačiau nuolat kintanti situacija atliekų tvarkymo sektoriuje smarkiai įtakoja susidarančius KA kiekius ir taip apsunkina ATS planavimą.

Pradinis ATS planavimo žingsnis – KA susidarymo prognozavimas. Neteisingi prognozavimo rezultatai gali tapti papildomų išlaidų priežastimi, pvz. pastatyti per dideli atliekų tvarkymo įrenginiai, suplanuotas per mažas plotas sąvartyno įrengimui.

KA prognozavimo metodas parenkamas pagal turimų duomenų kiekį ir kokybę, tipą, žinias apie koreliacinius ryšius ir norimą gauti rezultatą.

Jei prognozuojamas ne tik susidarančių KA atliekų kiekis, bet ir didėjantis jų rūšiavimo laipsnis, atsižvelgiama į šių atliekų susidarymo priklausomybę nuo ekonominių – socialinių rodiklių, tokių kaip BVP, vartojimas ir pan., jų prognozes ir

kitų šalių patirtį. Tokiai prognozei tinka regresinės, koreliacinės lygtys, galima naudoti kintančių ar pastovių koeficientų modelius.

Vienas iš populiariausių prognozavimo būdų KA kiekio ir BVP koreliaciniai ryšiai, kuriuos mokslininkai papildė ir kitais ekonominiais socialiniais rodikliais. Tačiau šiam prognozavimui reikia ne tik surinkti daug socialinių, ekonominių ir aplinkosauginių rodiklių, bet ir atlikti išsamią jų analizę. Tuo labiau, kad literatūroje galima rasti teiginių, kad toks prognozavimas ne visuomet tinkamas dėl ne visada aiškiai pasireiškiančios koreliacijos. Praktikoje, ypač Lietuvoje, regresiniai metodai naudojami retai dėl nepakankamų lėšų ir pajėgumų kaupti ilgalaikę tokių duomenų bazę.

Šio trūkumo galima išvengti naudojant laiko eilučių prognozavimą. Toks prognozavimas yra nepakeičiamas norint įvertinti sezoninius KA kiekio pokyčius. Tam gali būti naudojami įprasti matematiniai metodai, tokie kaip slenkančio vidurkio arba sezoninio eksponentinio glodinimo metodai. Tačiau tokios prognozės tikslumas labai priklauso nuo naudojamų duomenų kiekio. Kuo daugiau nepertraukiamo matavimo rezultatų įvertinama, tuo didesnis gaunamas tikslumas. Taip pat literatūroje minima, kad šie metodai geriausiai tinka trumpalaikiai ir vidutinio ilgumo prognozei. Literatūroje įvardinamas šios prognozės trūkumas – analizuojant tik MKA susidarymo duomenis nėra galimybės įvertinti padidėjusį rūšiavimo laipsnį.

Siekiant išskelti darbo tikslų, įvertinus Lietuvos teisės aktų reikalavimus ir atsižvelgus į literatūros šaltiniuose pateikiamus teiginius, nuspręsta atlikti kiekio susidarymo prognozę atlikti dvejais būdais: remiantis ekonominių socialinių rodiklių ir surenkamų atliekų kiekio priklausomybe ir naudojant laiko eilučių prognozavimo metodus.

Apibendrinant Lietuvoje renkamus duomenis apie KA susidarymą galima teigti, kad Kauno miestas iš kitų Lietuvos miestų išsiskiria tuo, kad atliekų kiekio registravimas čia vykdomas nuo 2000 m. Taip pat analizuojama MKA sudėtis, nors ir nepakankamai dažnai, kad būtų galima užfiksuoti sezoninius atliekų sudėties pokyčius. Įvertinus turimus duomenis ir atsižvelgus į literatūros šaltiniuose siūlomų atliekų kiekio prognozavimo metodų poreikius ir galimybes, darbe analizuota ir ATS prognozuota Kauno mieste surenkamų atliekų duomenų pagrindu.

2. TYRIMŲ METODIKA

2.1. Komunalinių atliekų charakteristikų nustatymo metodika

2.1.1. Komunalinių atliekų kiekio tenkančio vienam gyventojui nustatymo metodika

KA kiekių, susidarančių miestuose ar šalyse, įvertinimui naudojamas dydis – atliekų kiekis, susidarantis vienam gyventojui per metus. Atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui apskaičiuojamas KA kiekį padalinus iš pasirinkto regiono gyventojų skaičiaus.

$$Fr_{ix} = (B / G) \quad (2.1)$$

čia Fr_{ix} – atliekų i frakcijos kiekis, tenkantis vienam gyventojui x metais (kg/gyv./metus);

B – bendras frakcijos kiekis susidaręs pasirinktame regione x metais (kg/metus);

G – gyventojų skaičius x metais.

Darbe naudojami Kauno mieste surinktų MKA duomenys, kurie registruojami kompiuterinėje duomenų bazėje. Duomenys atnaujinami kas dieną. Darbe naudoti duomenys apie MKA kiekį, susidarantį per savaitę (iš viso 52 duomenys per metus).

Kadangi analizuojamu laikotarpiu atskirų frakcijų surinkimas sudarė tik nedidelę visų surenkamų KA dalį (be to šiam kiekiui nėra tikslios kas savaitę surenkamo kiekio statistikos), priimama, kad surinktas MKA kiekis yra tolygus KA kiekiui.

Darbe naudojamas Statistikos departamento duomenų bazėje nurodomas gyventojų skaičius Kauno m. Nėra galimybės tiksliai įvertinti gyventojų emigracijos/imigracijos laipsnio, todėl duomenys apie gyventojų skaičių gali būti didesni negu realiai atliekomis atsikratančių gyventojų skaičius. Daroma prielaida, kad gyventojų skaičius per visus metus kinta tolygiai.

2.1.2. Komunalinių atliekų susidarymo kitimo laiko bėgyje nustatymo metodika

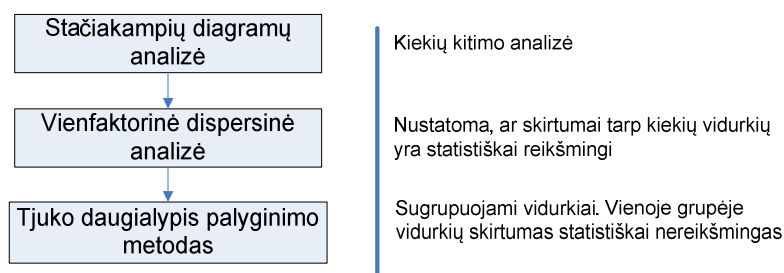
KA susidarymo laiko bėgyje kitimui nustatyti buvo naudojama aprašomoji statistika. Aprašomosios statistikos pagrindu atliekamas pirminis kiekybinis duomenų apdorojimas, parengiama bazė išsamesniems skaičiavimams (2.1 pav.).

Buvo daroma prielaida, jog atliekos surenkamos griežtai fiksuotais laiko momentais, ir įvykiai, susiję su vienos savaitės atliekų surinkimu (ar nesurinkimu), niekaip neįtakoja kitą savaitę stebėto surinktų atliekų kiekio.

Duomenų apie atliekų kiekių pasiskirstymą analizei buvo panaudotas aprašomosios statistikos metodas – stačiakampė diagrama.

Vienfaktorinės ranginės dispersinės analizės metodu buvo iširta ar skirtumai tarp surinktų KA kiekių vidurkių skirtingais metais yra statistiškai reikšmingi. Tai Stjudento kriterijaus apibendrinimas keletui nepriklausomų imčių. Ji naudojama tada, kai imtys viena nuo kitos skiriasi tik pagal vieną požymį, šiuo atveju – KA kiekį.

Taikant Tjukio daugialypio palyginimo metodą, metai, mėnesiai, sezonai ir savaitės pagal atliekų kiekių vidurkius buvo suskirstyti į homogenines grupes: prie skirtingų naudojamo faktoriaus lygmenų tarpusavyje palyginami stebimi atsitiktinio dydžio (atliekų kiekio) vidurkiai. Vienoje homogeninėje grupėje esantys surinktų atliekų vidutinių kiekių duomenys statistiškai reikšmingai nesiskiria.



2.1 pav. Mišrių komunalinių atliekų susidarymo kitimo laiko bėgyje matematinės analizės schema

2.2 Komunalinių atliekų kiekio ir sudėties prognozavimo metodika

2.2.1. Komunalinių atliekų kiekio ir sudėties prognozavimas naudojant miesto socialinio – ekonominio gerbūvio lygio ir atliekų susidarymo priklausomybę

Kaip minėta, komunalinių atliekų susidarymas labai priklauso nuo gyventojų vartojimo lygio, t. y. nuo produktų, kuriuos jie perka, nuo perkamų prekių kiekio ir pan. Tuo pačiu, gyventojų galimybę ir norą pirkti tam tikrus produktus atitinkamai įtakoja jų socialinė – ekonominė padėtis. Taigi, atliekų susidarymas smarkiai priklauso nuo gyventojų, arba kitaip tariant, nuo miesto socialinio – ekonominio gerbūvio.

Christiansen et al. (1999) suformulavo apytikslių regresijos lygtį (modelį), kurios pagrindas yra prielaida, kad egzistuoja nuo laiko priklausomas ryšys tarp atliekų susidarymo ir ekonominio aktyvumo:

$$\log(W_i^t) = a_0 + a_1 \cdot \log(Y_i^t) + a_2 \cdot T^t \quad (2.2)$$

čia a_0 , a_1 , a_2 – koeficientai (a_0 – pastovusis koeficientas, a_1 – proporcingumo koeficientas tarp susidariusio atliekų kiekio ir svarbaus ekonominio rodiklio apimties, a_2 – trendas, beveik lygus metiniam, procentais išreikštam, atliekų koeficiento pokyčiui);

W_i^t - atliekų kiekis t periodu;

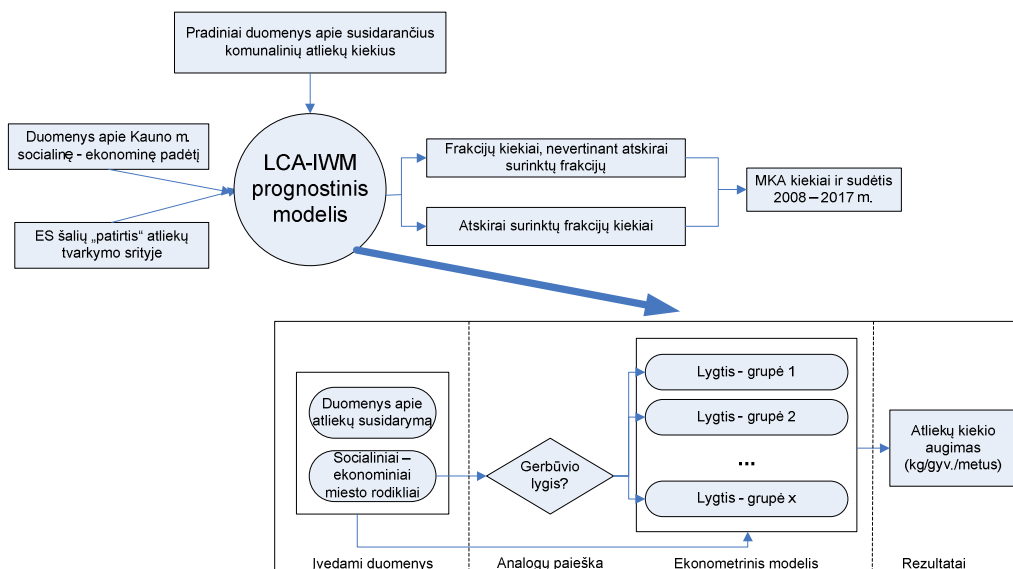
Y_i^t - ekonominis duomenys;

T^t - laikas.

2002–2005 m. vykusio tarptautinio projekto „Gyvavimo ciklo vertinimo priemonių panaudojimas kompleksinėje atliekų tvarkymo strategijoje miestuose ir regionuose su greitai augančia ekonomika“ (kuriame dalyvavo disertacijos autorė) metu ši formulė buvo patobulinta įtraukiant papildomus veiksnius, kurie įtakoja atliekų susidarymą (Beigl et al., 2003). Projekto metu sudarytos duomenų bazės apie atliekų susidarymo priklausomybę nuo socialinių – ekonominių sąlygų ir pagal istorinius duomenis išvestų formulų pagrindu buvo sukurtas prognostinis modelis LCA-IWM (Life Cycle Assessment of Integrated Waste Management). Tokio modeliavimo esmė – pagal socialinius – ekonominius rodiklius (BVP, gyventojų dirbančių žemės ūkyje dalis, kūdikių mirtingumas ir pan.) suskirstyti miestus į grupes su panašiu gerbūvio lygiu, priimančią, kad grupėje galioja vienodos komunalinių atliekų susidarymo tendencijos.

2.2 pav. pateikiamas algoritmas, pagal kurį veikia modelis. Į modelį įvedami dviejų rūšių duomenys: atliekų susidarymo pradiniai duomenys ir miesto socialiniai ekonominiai pradiniai ir prognozuojami duomenys. Priklausomai nuo socialinių – ekonominių duomenų, miestas priskiriamas regionų grupei su panašiu gerbūvio lygiu (toliau – RG).

Miesto priskyrimas RG remiasi istorine duomenų baze. Pagrindinė prielaida – visų regionų atitinkami rodikliai RG viduje yra vienodi. Pagal sudarytą įvairių Europos miestų skirtingų metų duomenų bazę buvo nustatyti atliekų susidarymo, sudėties ir rūšiavimo rodikliai skirtingoms RG.



2.2 pav. Prognozavimo LCA-IWM prognostiniu modeliu algoritmas

Regiono priskyrimui prie konkrečios RG buvo pasirinkti visi svarbesni miesto augimo rodikliai, turintys ilgalaikę prognozę: bendrasis šalies vidaus produktas (BVP) vienam gyventojui JAV doleriais pagal 1995 metų perkamosios galios paritetą, kūdikių mirtingumo laipsnis ir darbuotojų, dirbančių žemės ūkio sektoriuje, procentas. Priskyrimui buvo naudota principinė komponentų analizė („Kaiser kriterijai“), kuri šiuos rodiklius sujungė į vieną gerbūvio reikšmę.

$$RG = -1,119 - 0,0000711 * (BVP) + 2,496 * \log(KML) + 0,05306 * (DŽŪ) \quad (2.3)$$

čia RG – regiono gerbūvio vertė;

BVP – bendrasis šalies vidaus produktas;

KML – kūdikių mirtingumo laipsnis;

DŽŪ – darbuotojų, dirbančių žemės ūkio sektoriuje, procentas.

Gautos gerbūvio vertės (žemiausia riba (mažo gerbūvio miestai) 3,90 ir aukščiausia riba (labai didelio gerbūvio miestai) –2,3) atitinkamai buvo perskaičiuotos į skalę nuo 1 (žemiausias gerbūvio lygis) iki 4,99 (aukščiausias gerbūvio lygis).

Pagal šią skalę, priskyrus miestus į RG, apskaičiuojamas KA didėjimo, palyginus su pradiniais duomenimis, procentas.

Atsižvelgiant į projekto metu sudarytą duomenų bazę ir apskaičiuotą RG, nustatomi galimi atskirai surinkti KA frakcijų kiekiai (rūšiavimo namų ūkiuose laipsnis).

Prognozuojant 5–10 metų laikotarpiu, metodo vidutinė santykinė paklaida 5,3%. Prognozuojant 11–22 metų laikotarpiu – paklaida padidėja iki 7,7%.

2.2.2. Komunalinių atliekų savaitinio kiekio prognozavimas naudojant laiko eilučių analizę

Turint nepertraukiamų stebėjimų duomenis, prognozavimui gali būti panaudotas prognozavimas laiko eilute. Laiko eilutė – tai duomenų seka, gauta matuojant kintamojo reikšmes reguliariais laiko intervalais. Vienu iš pagrindinių laiko eilučių analizės tikslų yra atrasti duomenų kaitos dėsningumus (tame tarpe didelius atliekų kiekių svyravimus sąlygojantį sezoniškumo efektą) ir jų aprašymui pritaikyti matematinius modelius. Šie matematiniai modeliai leidžia prognozuoti būsimas laiko eilutes, šiuo atveju KA kiekio, tenkančio vienam Kauno miesto gyventojui per savaitę, reikšmes.

2.3 pav. pateikiamas algoritmas, pagal kurį veikia modelis. Laiko eilučių analizė susideda iš:

- atpažinimo, kurio metu pasirenkamas preliminarus analizės modelis. Šiame etape nubraižomi pačios laiko eilutės grafikas bei įvairių koreliacijos funkcijų (autokoreliacijos, kros-koreliacijos) grafikai ir išsiaiškinamas tendencijos (trendo) pobūdis bei sezoniškumo efekto pasireiškimas.

- įvertinimo, kurio metu nustatomi pasirinktą modelį apibūdinantys parametrai. Tam yra naudojami duomenų išlyginimas, regresiniai metodai, Box'o-Jenkins'o ir ARIMA analizės metodai.

- galutinio įvertinimo. Remiantis statistiniais kriterijais nustatomas modelio tinkamumas konkrečios laiko eilutės analizei.

Laiko eilutės
2000 - 2007

I. Metodų tyrimas

Metodai:

- Paprastas eksponentinis glodinimas
- Dvigubas (Brown) eksponentinis glodinimas
- Linijinis (Holt) eksponentinis glodinimas
- Išlyginamojo trendo linijinis eksponentinis glodinimas
- Winters adityvusis metodas
- Winters besišakojantysis metodas
- Autoregresinis integruotas slenkančio vidurkio metodas
- Sezoninis eksponentinis glodinimas

II. Metodų tikslumo tikrinimas

Tikslumo kriterijai:

- Determinacijos koeficientas (r^2)
- Atsitiktinis žingsnis r^2
- Amemiya pataisytasis r^2
- Amemiya prognozavimo kriterijus
- Vidutinė absoliutinė procentinė paklaida (MAPE)
- Vidutinė absoliutinė paklaida
- Vidutinė kvadratinė paklaida

III. Metodų pasirinkimas

Tiksliausi metodai:

- Autoregresinis integruotas slenkančio vidurkio metodas
- Sezoninis eksponentinis glodinimas

IV. Validacija (2008-2009 m. duomenų pagalba)

Tikslumo kriterijai:

- Determinacijos koeficientas (r^2)
- Atsitiktinis žingsnis r^2
- Amemiya pataisytasis r^2
- Amemiya prognozavimo kriterijus
- Vidutinė absoliutinė procentinė paklaida (MAPE)
- Vidutinė absoliutinė paklaida
- Vidutinė kvadratinė paklaida

2.3 pav. Prognozavimo laiko eilutėmis algoritmas

Pagal nubraižytą laiko eilutės grafiką yra nustatomas laiko eilutės stacionarumas. Procesas yra stacionarus, kai proceso vidurkis bei dispersija nesikeičia keičiantis laikui. Paaiškėjus, kad procesas nestacionarus, naudojama transformacija, kuri suveda modelį į stacionarų pavidalą. Labiausiai paplitęs transformacijos metodas – proceso diferencijavimas, kada kiekviena eilutės reikšmė yra pakeičiama šios reikšmės ir ankstesnės reikšmės skirtumu.

Toliau analizuotas atliekų susidarymo kitimas dėl sezoninių priežasčių. Paaiškėjus, kad atliekų susidarymas kinta sezoniškai, trendui panaikinti atliktas pirmos eilės diferencijavimas.

Naudojant SAS 9.1.3 programinę įrangą, skirtą duomenų analizei ir prognozavimui, apskaičiuojami tokie metodai kaip paprastas eksponentinis glodinimas (*Simple Exponential Smoothing*), dvigubas (Brown) eksponentinis glodinimas (*Double (Brown) Exponential Smoothing*), linijinis (Holt) eksponentinis glodinimas (*Linear (Holt) Exponential Smoothing*), išlyginamojo trendo linijinis

eksponentinis glodinimas (*Damped-Trend Linear Exponential Smoothing*), Winters adityvusis metodas (*Winters Additive Method*), Winters besišakojantysis metodas (*Winters Multiplicative Method*) apibūdinantys parametrai.

Laiko eilučių prognozavimo modelio parinkimui naudojama diagnostinė apibrėžtumo koeficiento statistika:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)^2} \quad (2.4)$$

čia Y_t – laiko eilutės reikšmė t momentu (atliekų kiekis kg/sav.);

\hat{Y}_t – laiko eilutės prognozuota reikšmė t momentu (atliekų kiekis kg/sav.);

\bar{Y}_t – laiko eilutės vidurkis (atliekų kiekis kg/sav.).

Apskaičiuoti r^2 palyginti tarpusavyje ir pasirinkti didžiausias reikšmes turintys modeliai: autoregresinio slenkančio vidurkio ir sezoninio eksponentinio glodinimo metodai.

Autoregresinis integruotas slenkančio vidurkio metodas (AutoRegressive Integrated Moving Average) – ARIMA yra plačiai naudojamas laiko eilučių analizei. Jo esmė – sujungti autoregresijos, diferencijavimo ir slenkančiųjų vidurkių metodo galimybes. Visos trys sudėtinės dalys yra paremtos atsitiktinio reikšmių išsibarstymo („triukšmo“), iškreipiančio laiko eilutės sisteminę komponentę, samprata ir turi savo būdingą reakcijos į šį atsitiktinį išsibarstymą aprašymo būdą.

Bendriausias ARIMA modelis apima visas tris paminėtas dalis ir yra užrašomas taip:

$$\text{ARIMA}(p, d, q) \quad (2.5)$$

čia p — autoregresijos eilė (prieš tai buvusios reikšmės (atliekų kiekio) eilė (($t - 1$), ($t - 2$) ir t.t.), kuri yra laiko eilutės reikšmės t momentu funkcija),

d — diferencijavimo eilė (pritaikytų diferencijavimo procedūrų skaičius, reikalingo proceso suvedimui į stacionarųjį pavidalą),

q — slenkančiųjų vidurkių narių skaičius (prieš tai buvusios „triukšmo“ reikšmės eilė (($t - 1$), ($t - 2$) ir t.t.), kuri yra laiko eilutės „triukšmo“ reikšmės t momentu vidurkis).

Pirmas žingsnis taikant ARIMA modelį, yra procesų, apsprendžiančių laiko eilučių pobūdį, nustatymas. Turi būti nustatytos modelio ARIMA(p, d, q) parametrų p , d , q reikšmių įvertinimas.

Suvedus procesą į stacionarųjį pavidalą, tuo pačiu nustatoma ir parametro d reikšmė, kuri lygi pritaikytų diferencijavimo procedūrų skaičiui.

Teisingas p ir q parametrų reikšmes padeda nustatyti autokoreliacijos ir dalinės autokoreliacijos funkcijos, naudojant autokoreliacijų ir dalinių autokoreliacijų diagramas.

Autokoreliacijos funkcija pateikia pradinių duomenų ir pastumtų per tam tikrą narių skaičių ($k=1, 2, 3$ ir t. t.) duomenų koreliacijos koeficiento reikšmių seką. Autokoreliacijos funkcijos reikšmė postūmiui k yra skaičiuojama pagal formulę:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (y_i - \bar{y})(y_{i+k} - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.6)$$

čia \bar{y} — laiko eilutės reikšmių (atliekų kiekio, kg/sav.) vidurkis,

y_i — atliekų kiekis [kg/sav.],

n — laiko eilutės reikšmių skaičius.

Dalinės autokoreliacijos funkcija prie postūmio k yra skaičiuojama pašalinant tarpinių postūmių (1, 2, ..., $k - 1$) įtaką. Funkcijos reikšmėms apskaičiuoti yra naudojami rekursiniai (atkartojantys) metodai. Dalinės autokoreliacijos funkcijos reikšmė postūmiui k yra apibrėžiama kaip regresijos lygties koeficientas ϕ_{kk} :

$$y_t = \phi_{k1} \cdot y_{t-1} + \phi_{k2} \cdot y_{t-2} + \dots + \phi_{kk} \cdot y_{t-k} + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

čia ε_t — prognozės per vieną žingsnį paklaida laiko momentu t .

Jei nagrinėjama laiko eilutė kinta sezoniškai, modelis užrašomas ARIMA(p,d,q)(P,D,Q), kur antra parametrų grupė aprašo sezoninę modelio komponentę. Darbe naudota bendra sezoninio ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s modelio išraiška:

$$\phi(B)\Phi(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D(y_t - \mu) = \theta(B)\Theta(B^s)\varepsilon_t \quad (2.8)$$

čia $\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$ ir $\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$ - Box-Jenkins modelio daugianariai;

$\Phi(B^s) = 1 - \Phi_1 B^s - \Phi_2 B^{2s} - \dots - \Phi_p B^{ps}$ - sezoninis autoregresijos (AR) komponentas;

$\Theta(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_Q B^{Qs}$ - sezoninis slenkančio vidurkio (MA) komponentas;

s – sezono (ciklo) ilgis (52 savaitės),

y_t – kintamojo (atliekų kiekio) reikšmė laiko momentu t ,

μ – laiko eilutės vidurkis,

B – poslinkio atgal per vieną laiko vienetą operatorius: $By_t = y_{t-1}$.

Atliekant prognozavimą į ateitį stebėtos reikšmės (atliekų kiekis t savaitę) y_t keičiamos jų įverčiais \hat{y}_t , t.y. $B\hat{y}_t = \hat{y}_{t-1}$. Prognozuojama laiko eilutė ir jos pasikliautinas intervalas su 0,95 pasiklovimo lygmeniu.

Sezoninis eksponentinis glodinimas (SES). Sudaromas neparametrinis laiko eilučių sezoninio eksponentinio išlyginimo modelis. Tai toks prognozavimo metodas, kai prognozuojamai reikšmei artimesnės praeities reikšmės turi daugiau įtakos negu tolimesnės. Paprastai eksponentinio glodinimo prognozei atlikti naudojama išraiška

$$\hat{Y}_{t+1} = \omega Y_t + \omega(1-\omega)Y_{t-1} + \omega(1-\omega)^2 Y_{t-2} + \dots \quad (2.9)$$

Tačiau analizuojant susidarančio atliekų kiekio kitimą paaiškėjo, kad laiko eilutė kinta sezoniškai, todėl lygtį būtina papildyti sezoniškumo komponentu.

Bendra sezoninio eksponentinio išlyginimo modelio, prognozuojant per k žingsnių į priekį (savaitės, $k=1, \dots, n$), išraiška yra:

$$\hat{Y}_{t+k} = L_t + S_{t-p+k} \quad (2.10)$$

čia $L_t = \omega(Y_t - S_{t-p}) + (1-\omega)L_{t-1}$ – lygmens komponentas, išreiškiantis laiko eilutės vidurkį,

$S_t = \delta(Y_t - L_t) + (1-\delta)S_{t-p}$ – sezoniškumo komponentas,

ω – lygmens glodinimo svoris (ω kinta nuo 0 iki 1),

δ – sezoninio glodinimo svoris (δ kinta nuo 0 iki 1),

p – sezoniškumo faktorių skaičius (52 savaitės).

Toks sezoninis eksponentinio išlyginimo modelis neturi trendo komponentės.

Prognozei atlikti pirmiausiai vertinamos praeities reikšmės, taip apskaičiuojami dydžiai L_t ir S_t . ω ir δ priimami pagal laiko eilutės pobūdį. Jei laiko eilutė labai keičiasi, svyruoja, tai pageidautina maža reikšmė. Reikšmės parenkamos minimizuojant vidutinę kvadratinę paklaidą.

Prognozuojama laiko eilutė ir jos pasikliautinis intervalas su 0,95 pasiklovimo lygmeniu.

Modelių derinimas. Priėmus kad, $\hat{Y}_t^{(ARIMA)}$ yra anksčiau sudaryto ARIMA modelio įvertis laiko momentu t , o $\hat{Y}_t^{(SES)}$ yra sezoninio eksponentinio glodinimo modelio įvertis tuo pačiu laiko momentu t , tuomet įvertį

$$\hat{Y}_t = \alpha \hat{Y}_t^{(ARIMA)} + (1-\alpha) \hat{Y}_t^{(SES)} \quad (2.11)$$

laikysime šių modelių įverčių deriniu. Prognozuojama laiko eilutė ir jos pasikliautinis intervalas su 0,95 pasiklovimo lygmeniu.

2.2.3. Mišrių komunalinių atliekų sudėties apskaičiavimas įvertinant sezoniškumą

Kaip minėta literatūros apžvalgoje, iki parengiant šią disertaciją Lietuvoje dar nebuvo atliekami sezoniniai MKA sudėties tyrimai. Analizės atliekamos vieną kartą per metus ir negali atspindėti kaip MKA sudėtis kinta sezoniškai.

Priimant prielaidą, kad Donecko MKA atliekų sudėtis (žr. 1.7 pav.) metų bėgyje kinta panašiai kaip Kauno mieste ir naudojant Kauno miesto MKA sudėties tyrimus kaip pradinius vidutinius metinius duomenis, apskaičiuojama MKA sudėtis skirtingais metų sezonais.

Frakcijos kitimas skirtingais metų sezonais Donecke įvertintas lyginant su vidurkiu. Tam apskaičiuojamas kiekvienos frakcijos i vidurkis:

$$Fr_{i,vid,D} = (Fr_{i,pD} + Fr_{i,vD} + Fr_{i,rD} + Fr_{i,zD}) / 4 \quad (2.12)$$

čia $Fr_{i\text{vid.D}}$ – frakcijos i vidutinė metinė reikšmė Donecke, %;
 $Fr_{i\text{pD}}$ – frakcijos i reikšmė pavasarį Donecke, %;
 $Fr_{i\text{vD}}$ – frakcijos i reikšmė vasarą Donecke, %;
 $Fr_{i\text{rD}}$ – frakcijos i reikšmė rudenį Donecke, %;
 $Fr_{i\text{zD}}$ – frakcijos i reikšmė žiemą Donecke, %.

Pagal 2.12 lygtį apskaičiuotas vidurkis prilygintas vienetui ($Fr_{i\text{vid.D}}=1$) ir pagal tai apskaičiuotas kiekvienos frakcijos sezoninės reikšmės ir vidurkio santykis – daugiklis D_{ix} .

$$D_{ix} = Fr_{i\text{vid.D}}/Fr_{ixD} \quad (2.13)$$

čia D_{ix} – daugiklis nusakantis reikšmės ir vidurkio santykį;
 $Fr_{i\text{vid.D}}$ – frakcijos i metinė reikšmė Donecke, %;
 Fr_{ixD} – frakcijos i reikšmė x sezonu Donecke, %.

Sezoninės reikšmės ir vidurkio santykis pritaikomas Kauno miesto duomenims: padauginus D_{ix} iš frakcijos i metinės reikšmės Kauno mieste gaunama frakcijos i reikšmė sezonu x Kauno mieste.

$$Fr_{ix} = Fr_{i\text{vid}} \cdot D_{ix} \quad (2.14)$$

čia Fr_{ix} – frakcijos i reikšmė x sezonu %;
 $Fr_{i\text{vid}}$ – frakcijos i metinė reikšmė, %;

Vertinant MKA sudėtį skirtingais sezonais, daroma prielaida, kad atskirai surenkamų frakcijų kiekis procentais skirtingais metų laikais pasiskirsto atitinkamai kaip ir šių frakcijų procentas MKA.

2.3. Mišrių komunalinių atliekų tvarkymo technologijų pasirinkimas

Tyrėjai išskiria 12 veiksnių, kurie turi įtakos planuojant subalansuotą ATS išsivysčiusiose šalyse: vyriausybės politika, finansinė situacija, atliekų charakteristika, atliekų surinkimas ir rūšiavimas, gyventojų išsilavinimas, gyventojų finansinė padėtis, ATS administravimas, ATS dirbančių žmonių išsilavinimas, ATS įrenginiai, šalyje egzistuojanti antrinių žaliavų rinka, technologiniai ir žmogiškieji išteklių ir laisvos žemės plotas (Troschinetz et al., 2009).

2002 - 2005 m. tarptautinio projekto „Gyvavimo ciklo vertinimo priemonių panaudojimas kompleksinėje atliekų tvarkymo strategijoje miestuose ir regionuose su greitai augančia ekonomika“ metu buvo sukurtas modelis gyvavimo ciklo vertinimo analizei atlikti (Boer, 2005), kuriuo buvo atliktos scenarijų analizė. Gyvavimo ciklo vertinimo analizė – vienas populiariausių ATS planavimo būdų (Bergsdal et al., 2005; Winkler et al., 2007; Scipioni et al., 2009;)

Minėtu modeliu įvertinti keturi galimi atliekų tvarkymo variantai Kauno mieste:

K_0 – dabartinė situacija (atskaitos taškas);

K_1 – atliekų tvarkymo sistema K_0 + veiksmingesnio atliekų rūšiavimo įdiegimas;

K_2 – atliekų tvarkymo sistema K_1 + mechaninio – biologinio apdorojimo įdiegimas;

K_3 – atliekų tvarkymo sistema K_2 + DŠF deginimo įdiegimas.

Variantai buvo vertinami trijuose atliekų tvarkymo sistemos lygiuose: laikino saugojimo, surinkimo ir transporto bei tvarkymo, šalinimo ir perdirbimo. Atliekų tvarkymo sistemos tvarumui tinkamai įvertinti, atsižvelgta į tris aspektus: aplinkosaugą, ekonomiką ir socialinę aplinką (Morrissey, 2004). Minėto projekto metu sukurtas modelis sudaro galimybes įvertinti visų scenarijų aplinkosauginį, ekonominį ir socialinį poveikius.

Vertinti aplinkosauginiai indėliai:

- Abiotinių išteklių išsekvojimas;
- Klimato kaita;
- Toksiškumas žmogui;
- Fotooksidantų susidarymas;
- Rūgštėjimas;
- Eutrofikacija.

Darbe vertintos atliekų tvarkymo sistemos technologijos pasirinktos remiantis aplinkosauginio vertinimo rezultatais.

2.4 Mišrių komunalinių atliekų konversijos į didelio šilumingumo frakciją po mechaninio – biologinio apdorojimo skaičiavimas

Kaip minėta literatūros apžvalgoje, DŠF kiekis ir sudėtis labai priklauso nuo pasirinkto MKA apdorojimo būdo. VSATP nenurodoma, kaip turi būti apdorojamos iš gyventojų surinktos MKA.

Darbe pasirinktas mechaninis-biologinis MKA apdorojimo būdas aprašytas 1.3 skyriuje. Pasirinkta technologija paremta Vokietijoje naudojamų MBA technologijų apibendrinimu (Soyez et al. 2000).

Priimta, kad iš gyventojų surinktos mišrios atliekos atvežamos į MBA įmonę ir rūšiuojamos pusiau rankiniu būdu, t.y. magnetu atskiriami metalai, išrenkamas stiklas ir kitos nedegios atliekos. Priimama, kad tokiu rūšiavimu atskiriama 50% stiklo, 41% metalų ir 50% nedegių atliekų (Fricke et al., 2003).

Po pirminio rūšiavimo priimama, kad atliekos smulkinamos smulkintuve ir po to sijojamos. Sieto akučių dydis pasirenkamas pagal norimą gauti didelio šilumingumo frakcijos kiekį ir savybes. Dažniausiai naudojamas 100 mm sietas, tačiau tuomet gaunamas mažesnis DŠF kiekis. Darbe skaičiavimai atlikti priimant, kad sieto akučių dydis – 80 mm.

2.1 lentelė. Atskirų frakcijų kiekis, likęs DŠF po sijojimo (80 mm dydžio akutės) (Fricke et al, 1999)

Popierius	13,0%
Stiklas	0,0%
Metalas	30,0%
Plastikas	34,0%
Biologinės atliekos	5,0%
Kitos nedegios atliekos	15,0%
Kitos degios atliekos	36,0%

Toliau atsijota frakcija nukreipiama į orinį separatorių, papildomai atskiriant didesnę metalų ir kitų nedegių sunkiųjų frakcijų dalį (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Orinio separatoriaus efektyvumas (Fricke et al, 2003)

Popierius	97,2%
Stiklas	56,3%
Metalas	4,87%
Plastikas	88,1%
Biologinės atliekos	95,9%
Degios atliekos	85,3%
Nedegios atliekos	56,3%

2.5. Komunalinių atliekų deginimui reikalingų energetinių ir aplinkosauginių rodiklių nustatymas

2.5.1. Energetinių rodiklių nustatymas

Pagrindinis požymis nusakantis atliekų tinkamumą deginti yra šilumingumas. MKA frakcijos šilumingumas skaičiuojamas pagal frakcijos cheminę sudėtį (Cerbe et al., 1994):

$$H_U = 0,34 \cdot C + 1,016 \cdot H + 0,063 \cdot N + 0,191 \cdot S - 0,098 \cdot O - 0,025W \quad (2.15)$$

čia H_u – atliekų šilumingumas (MJ/kg);

C – anglies dalis atliekose, masės %;

H – vandenilio dalis atliekose, masės %;

N – azoto dalis atliekose, masės %;

O – deguonies dalis atliekose, masės %;

W – vandens dalis atliekose, masės %.

Bendras MKA šilumingumas apskaičiuojamas atsižvelgiant į frakcijų kiekių procentinį pasiskirstymą bendroje masėje.

$$H_{ubendras} = H_{ubio} \cdot \text{Bio} + H_{upop} \cdot \text{Pop} + H_{upl} \cdot \text{Pl} + H_{umet} \cdot \text{Met} + H_{ust} \cdot \text{St} + H_{uned} \cdot \text{Ned} + H_{udeg} \cdot \text{Deg} \quad (2.16)$$

čia $H_{ubendras}$ – Bendras MKA šilumingumas (MJ/kg);

H_{ubio} – Biologinių atliekų frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Bio – Biologinių atliekų frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{upop} – Popieriaus ir kartono frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Pop – Popieriaus ir kartono frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{upl} – Plastikų ir kompozitų frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Pl – Plastikų ir kompozitų frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{umet} – Metalų frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Met – Metalų frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{ust} – Stiklo frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

St – Stiklo frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{uned} – Kitų nedegusių atliekų frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Ned – Kitų nedegusių atliekų frakcijos dalis atliekose, masės %;

H_{udeg} – Kitų degusių atliekų frakcijos šilumingumas (MJ/kg);

Deg – Kitų degusių atliekų frakcijos dalis atliekose, masės %.

Energijos kiekis, kurį išskiria deginamos atliekos apskaičiuojamos pagal formulę:

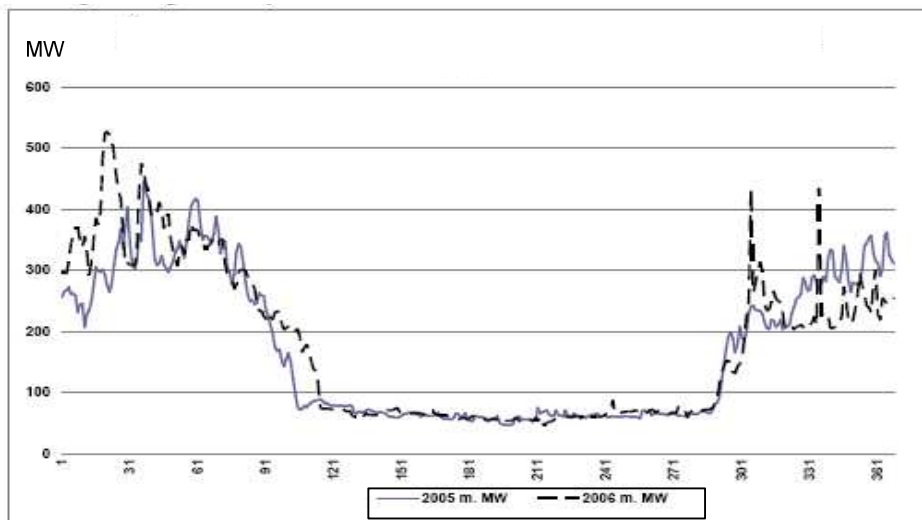
$$E = H_{ubendras} * W * 1000 * 0,278 / 1000000 \quad (2.17)$$

čia E – išsiskiriančios energijos kiekis (GWh/metus);

W – sudeginamų atliekų kiekis (t/metus).

Darbe nagrinėjamos MKA deginimo galimybės skirtingais scenarijais vertinamos atsižvelgiant į Kauno technologijos universiteto Šilumos ir atomo energetikos katedros atliktos galimybių studijos pasiūlytus Kauno atliekų deginimo stoties rodiklius (KTU, 2007), kuri būtų įrengta šalia Kauno termofikacinės elektrinės. Kad atliekų deginimą kaip papildomą energijos šaltinį galima integruoti į jau esančią energetinę miesto struktūrą nurodo ir tyrėjai kitose šalyse (Luoranen et al., 2008; Lo Mastro et al., 2004). Priimama, kad tokios stoties maksimalus galimas terminis galingumas (pirminė energija) gali būti 65,1 MW_{ter} (arba 433,4 GWh/metus). Kauno termofikacinės elektrinės visas šiluminės energijos integruotas tinklo poreikis 1607 GWh/metus (Lietuvos energetika, 2005) (2.4 pav.).

Vertinant metinius šilumos energijos poreikius priimama, kad nešildymo sezono metu, vidutinė šiluminė galia yra 60 MW, šildymo sezono metu – 289 MW. Priimama, kad šildymo sezono trukmė Kauno mieste – 197 paros, šiltojo sezono – 168 paros (Statybinė klimatologija, 2002). Tuomet integruotas šiluminės energijos poreikis yra 241 GWh šiltojo sezono metu ir 1366 GWh – šildymo sezono metu.



2.4 pav. Šilumos tiekimo į Kauno miesto integruotą šilumos tinklą galia 2005 ir 2006 m. (KTU, 2007)

2.5.2. Aplinkosauginių rodiklių nustatymas

Pagrindinių teršalų kiekis, išsiskiriantis sudegus 1 tonai MKA, atsižvelgiant į deginamų atliekų savybes, t.y. sudėtį, buvo apskaičiuotas pagal metodiką pateiktą ifu and ifeu (2001). Ši metodika sukurta Aplinkos informatikos instituto (Institut für Umweltinformatik, Hamburgas) ir Energetikos ir aplinkos tyrimų instituto (Institut für

Energie- und Umweltforschung, Heidelbergas) 2001 m. Remiantis metodika sukurta programinė įranga srautų valdymui. Atlikta literatūros apžvalga parodė, kad šia metodika naudojasi ir pripažįsta daug tyrėjų. Be to, ši metodika naudojasi ir vykdant tarptautinį mokslinį projektą LCA-IWM.

Išmetamų dujų kiekis 1 tonai atliekų apskaičiuojamas atsižvelgiant į deginamų atliekų sudėtį (priklausomai nuo C, H, O ir S kiekio, apskaičiuojamas minimalus oro kiekis reikalingas visam sudegimui):

CO₂ emisijos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$X_{CO_2i} = K * (C_i * OSM_i) * Fr_i \quad (2.18)$$

čia X_{CO_2i} – CO₂ emisija į orą, m³ CO₂/ t atliekų frakcijai i

Fr_i - frakcijos dalis MKA, kg/t;

C_i – anglies dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje (1.9 lent.), %;

OSM_i – frakcijos i organinė sausa medžiaga (1.9 lent.), %;

K – CO₂ specifinė išmetamųjų dujų konstanta (2.3 lent.).

2.3 lentelė. Specifinės išmetamųjų dujų konstantos (Reimann et al., 1995):

CO ₂	1,855	m ³ CO ₂ /kgC
H ₂ O	11,2	m ³ H ₂ O/kgH
N ₂	0,8	m ³ N ₂ /kgN

Bendras MKA išskiriamas CO₂ kiekis m³/t atliekų (S_{CO_2}) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_{CO_2} = X_{CO_2} / V_o * M / 1000 \quad (2.19)$$

čia V_o - idealiųjų dujų molio tūris normaliosiomis sąlygomis, m³/mol;

M - CO₂ molinė masė, g/mol.

X_{CO_2} – bendras CO₂ kiekis išskiriamas visų frakcijų, m³ CO₂/ t MKA.

H₂O emisijos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$X_{H_2O_i} = K * (H_i * OSM_i) * Fr_i \quad (2.20)$$

čia $X_{H_2O_i}$ – H₂O emisija į orą, m³ H₂O/ t atliekų frakcijai i

H_i – vandenilio dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje (1.9 lent.), %;

K – H₂O specifinė išmetamųjų dujų konstanta (2.4 lent.).

Bendras MKA išskiriamas H₂O kiekis m³/t atliekų (S_{H_2O}) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_{H_2O} = X_{H_2O} / V_o * M / 1000 \quad (2.21)$$

čia M - H₂O molinė masė, g/mol.

X_{H_2O} – bendras H₂O kiekis išskiriamas visų frakcijų, m³ H₂O/ t MKA.

N₂ emisijos apskaičiuojamos pagal formulę:

$$X_{N_2i} = K * (N_i * OSM_i) * Fr_i \quad (2.22)$$

čia X_{N_2i} – N₂ emisija į orą, m³ N₂/ t atliekų frakcijai i;

N_i – azoto dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje (1.9 lent.), %;

K – N₂ specifinė išmetamųjų dujų konstanta (2.3 lent.).

Bendras MKA išskiriamas N₂ kiekis m³/t atliekų (S_{N2}) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_{N2} = X_{N2} / V_0 * M / 1000 \quad (2.23)$$

čia M – N₂ molinė masė, g/mol.

X_{N2} – bendras N₂ kiekis išskiriamas visų frakcijų, m³ N₂/ t MKA.

Minimalus deguonies poreikis apskaičiuojamas:

C sudeginimui:

$$O_{minCi} = K1 * (C_i * OSM_i) \quad (2.24)$$

čia O_{minCi} – minimalus deguonies poreikis C sudeginimui, m³ O₂/ kg atliekų frakcijai i;

K – C specifinis minimalus deguonies poreikis (2.4 lent.).

2.4 lentelė. Minimalus deguonies poreikis deginimui

OC _{min}	1,865833333	m ³ O ₂ /kg C
OS _{min}	0,6996875	m ³ O ₂ /kg S
OH _{min}	5,5975	m ³ O ₂ /kg H
OO _{min}	-0,6996875	m ³ O ₂ /kg O

Įvertinus minimalų deguonies poreikį, apskaičiuojamas minimalus oro poreikis:

$$O_{ro_{minCi}} = O_{minCi} * (1 + (0,79/0,21)) \quad (2.25)$$

S sudeginimui:

$$O_{minSi} = K1 * (S_i * OSM_i) \quad (2.26)$$

čia O_{minSi} – minimalus deguonies poreikis S sudeginimui, m³ O₂/ kg atliekų frakcijai i;

S_i – sieros dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje, %;

K – S specifinis deguonies poreikis (2.5 lent.).

Įvertinus minimalų deguonies poreikį, apskaičiuojamas minimalus oro poreikis:

$$O_{ro_{minSi}} = O_{minSi} * (1 + (0,79/0,21)) \quad (2.27)$$

H sudeginimui:

$$O_{minHi} = K1 * (H_i * OSM_i) \quad (2.28)$$

čia O_{minHi} – minimalus deguonies poreikis H sudeginimui, m³ O₂/ kg atliekų frakcijai i;

H_i – sieros dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje, %;

K – H specifinis minimalus deguonies poreikis (2.5 lent.).

Įvertinus minimalų deguonies poreikį, apskaičiuojamas minimalus oro poreikis:

$$O_{ro_{minHi}} = O_{minHi} * (1 + (0,79/0,21)) \quad (2.29)$$

Įvertinamas deguonies kiekis esantis atliekose pagal formulę:

$$O_{\min O_i} = K1 \cdot (O_i \cdot OSM_i) \quad (2.30)$$

čia $O_{\min O_i}$ – atliekose esančio deguonies degimas, $m^3 O_2 / kg$ atliekų frakcijai i ;
 O_i – deguonies dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje, %;
 K – O specifinis minimalus deguonies poreikis.

Įvertinus minimalų deguonies kiekį, apskaičiuojamas minimalus oro poreikis:

$$O_{ro_{\min O_i}} = O_{\min O_i} \cdot (1 + (0,79/0,21)) \quad (2.31)$$

Apskaičiuojamos emisijos (degimo oro tūris).

Likęs degimo oro deguonis ($m^3 O_2 /$ frakcijoje):

$$V(O_2)_i = \lambda \cdot 0,21 (\Sigma O_{ro_{\min C}} + \Sigma O_{ro_{\min S}} + \Sigma O_{ro_{\min H}} + \Sigma O_{ro_{\min O}}) \quad (2.32)$$

čia λ – oro pertekliaus koeficientas (priimam, kad $\lambda = 1,5$) (if and ifeu, 2002);

$\Sigma O_{ro_{\min C}}$, $\Sigma O_{ro_{\min S}}$, $\Sigma O_{ro_{\min H}}$, $\Sigma O_{ro_{\min O}}$ – minimalaus oro poreikio, reikalingo C, S, H ir O sudeginimui visose frakcijose, suma.

Azoto išsiskyrimas iš oro degimo metu ($m^3 N_2 /$ frakcijoje):

$$V(N_2)_i = \lambda \cdot K_{N_2} (\Sigma O_{ro_{\min C}} + \Sigma O_{ro_{\min S}} + \Sigma O_{ro_{\min H}} + \Sigma O_{ro_{\min O}}) \quad (2.33)$$

čia λ – oro pertekliaus koeficientas (priimam, kad $\lambda = 1,5$) (if&ifeu, 2002).

Vandens išsiskyrimas iš oro degimo metu ($m^3 H_2O /$ frakcijoje):

$$V(H_2O)_i = \lambda \cdot W_{H_2O} (\Sigma O_{ro_{\min C}} + \Sigma O_{ro_{\min S}} + \Sigma O_{ro_{\min H}} + \Sigma O_{ro_{\min O}}) \quad (2.34)$$

čia W_{H_2O} – H_2O dalis esanti degimo ore (priimam $0,01 m^3 H_2O / m^3$ oro).

Bendras išmetamų dujų tūris (CO_2 , O_2 , N_2 , H_2O) (m^3 / t atliekų):

$$E = X_{CO_2} + X_{H_2O} + X_{N_2} + V(O_2) + V(N_2) + V(H_2O) \quad (2.35)$$

Korekcija dėl deguonies koncentracijos (papildomas reikalingas deguonies kiekis):

$$E1 = 0,11 \cdot E - V(O_2) \quad (m^3 / t \text{ atliekų}) \quad (2.36)$$

SO_2 emisijos į orą apskaičiuojamos pagal deginamų atliekų savybes:

$$X_{SO_2i} = (S_i \cdot 64) \cdot OSM_i / 32 \quad (2.37)$$

Bendras MKA išskiriamas SO_2 kiekis apskaičiuojamas susumavus visų frakcijų X_{SO_2i} :

$$X_{\text{bend.}} = \Sigma X_{SO_2i} \quad (2.38)$$

HCl emisijos į orą apskaičiuojamos pagal deginamų atliekų savybes:

$$X_i = (Cl_i \cdot 36,5) \cdot OSM_i / 35,5 \quad (2.39)$$

čia Cl_i – chloro dalis frakcijos i organinėje sausoje medžiagoje, % (1.9 lent.).

Bendras MKA išskiriamas HCl kiekis apskaičiuojamas susumavus visų frakcijų $X_{HCl i}$:

$$X_{\text{bend.}} = \Sigma X_{HCl i} \quad (2.40)$$

3. TYRIMŲ REZULTATAI

3.1. Komunalinių atliekų susidarymo kitimo laiko bėgyje dėsningumų nustatymas

Buvo analizuojamas Kauno miesto kassavaitinis surenkamų KA kiekis. Viso analizuoti 364 duomenys (2000 – 2007 m.), kurie buvo paskaičiuoti vienam gyventojui (pagal Statistikos departamento duomenis apie Kauno mieste gyvenančius gyventojus).

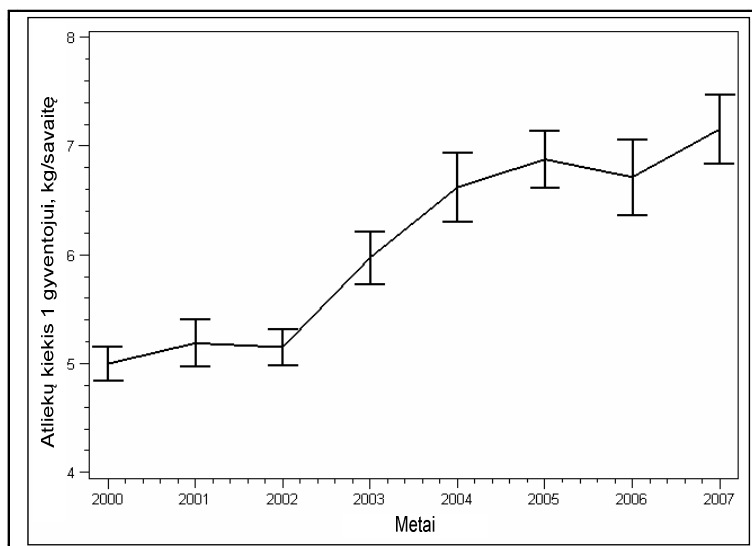
Kassavaitinio KA susidarymo analizė atlikta panaudojant aprašomosios statistikos metodus.

3.1.1. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo metinė kaita

Buvo analizuojamas kassavaitinio KA susidarymo 2000-2007 metais dėsningumas. Nagrinėjant susidarančių atliekų kiekių vidurkius ir jų pasikliautinuosius intervalus su pasikliovimo lygmeniu 0,95 skirtingais metais, nustatyta, jog pagal didžiausią surinktų atliekų vidutinį savaitės kiekį labiausiai išsiskiria 2007 metai.

Metai pagal atliekų kiekių vidurkius suskirstyti į homogenines grupes naudojant Tjuko daugialypio palyginimo metodą. Metus grupuojant į homogenines grupes buvo naudotas reikšmingumo lygmuo 0,05.

Pirmajai grupei priklausytų 2000, 2001 ir 2002 metai, antrajai – 2003 metai, trečiajai – 2004, 2005 metai, ketvirtajai – 2006, 2007 metai.



3.1 pav. Susidarančių atliekų kiekio metinis kitimas

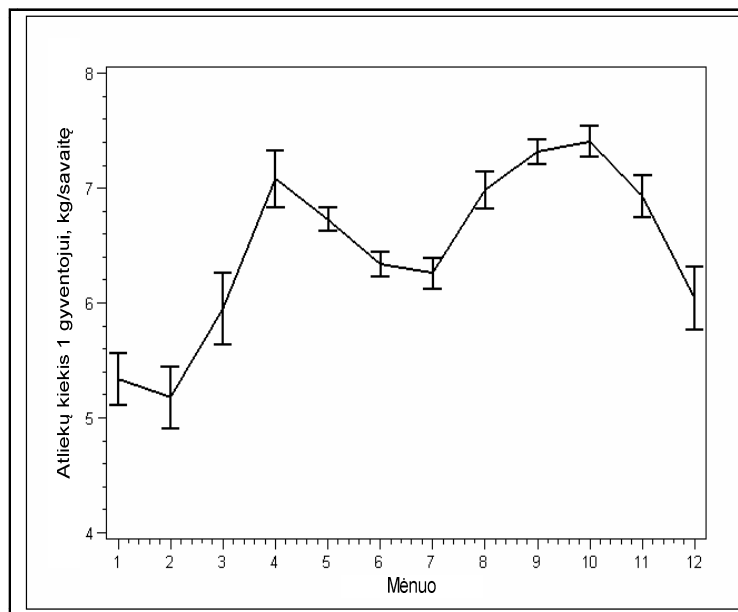
3.1.2. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo kaita mėnesiais

Buvo analizuojama kassavaitinio MKA susidarymo kaita 12-os mėnesių laikotarpyje. Tyrimas atliekamas pašalinus metų įtaką, t.y. analizuoti visi tam tikrą mėnesį susidarę kassavaitiniai atliekų kiekiai neatsižvelgiant į metus, kuriais jie

susidarė. Nagrinėjant susidarančių atliekų vidurkius bei jų pasikliautuosius intervalus su pasiklivimo lygmeniu 0,95 skirtingais mėnesiais nustatyta, jog pagal didžiausią surinktų atliekų vidutinį savaitės kiekį labiausiai išsiskiria balandžio, rugsėjo ir spalio mėnesiai; vidutiniškai mažiausias atliekų kiekis per savaitę surenkamas sausio ir vasario mėnesiais.

Mėnesiai pagal atliekų kiekių vidurkius suskirstyti į 4 homogenines grupes naudojant Tjukio daugialypio palyginimo metodą. Vienoje homogeninėje grupėje esančių mėnesių surinktų atliekų vidutiniai kiekiai statistiškai reikšmingai nesiskiria. Mėnesius grupuojant į homogenines grupes buvo naudotas reikšmingumo lygmuo 0,05.

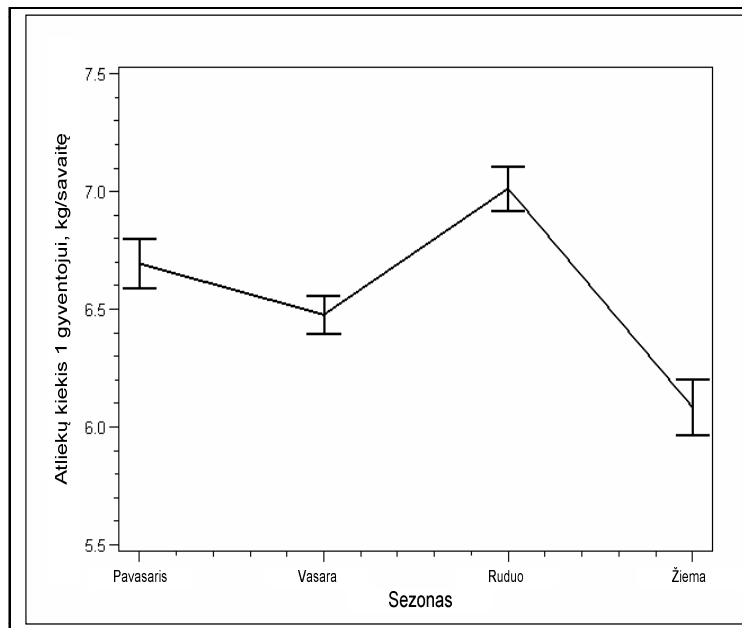
Pirmajai grupei priklausytų sausio ir vasario mėnesiai, antrajai – kovo, birželio, liepos ir gruodžio mėnesiai, trečiajai – rugpjūčio, lapkričio ir gegužės mėnesiai, ketvirtajai – balandžio, rugsėjo ir spalio mėnesiai.



3.2 pav. Susidarančių atliekų kiekio kitimas mėnesiais

3.1.3. Mišrių komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo sezoninė kaita

Buvo analizuojamas kassavaitinio atliekų kiekio kitimas sezonais. Tyrimas atliekamas eliminavus metų įtaką. Nagrinėjant susidarančių atliekų vidurkius bei jų pasikliautuosius intervalus su pasiklivimo lygmeniu 0,95 skirtingais sezonais nustatyta, jog pagal didžiausią surinktų atliekų vidutinį savaitės kiekį labiausiai išsiskiria rudens sezonas, o vidutiniškai mažiausias atliekų kiekis per savaitę surenkamas žiemos sezono laikotarpiu.



3.3 pav. Susidarančių atliekų kiekio kitimas sezonais

Sezonai pagal atliekų kiekių vidurkius suskirstyti į 3 homogenines grupes naudojant Tjukio daugialypio palyginimo metodą. Vienoje homogeninėje grupėje esančių sezonų surinktų atliekų vidutiniai kiekiai statistiškai reikšmingai nesiskiria. Sezonus grupuojant į homogenines grupes buvo naudotas reikšmingumo lygmuo 0,05.

Pirmajai grupei priklausytų žiema, antrajai – pavasaris ir vasara, trečiajai – ruduo.

3.1.4. Komunalinių atliekų kassavaitinio susidarymo kaita savaitėmis

Buvo analizuojama kassavaitinio KA susidarymo kaita savaitės laikotarpyje. Tyrimas atliekamas eliminavus metų įtaką. Nagrinėjant susidarančių atliekų vidurkius bei jų pasikliautuosius intervalus su pasiklivimo lygmeniu 0,95 skirtingomis savaitėmis nustatyta, jog pagal didžiausią surinktų atliekų kiekį labiausiai išsiskiria 43, 41, 40, 35 savaitės, o vidutiniškai mažiausias atliekų kiekis per savaitę surenkamas 9, 7 ir 1 savaitėmis.

Savaites sunku suskirstyti į homogenines grupes naudojant Tjukio daugialypio palyginimo metodą. Galima išskirti net 17 tokių grupių. Savaites grupuojant į homogenines grupes buvo naudotas reikšmingumo lygmuo 0,05.

Išvada: Analizuojant KA susidarymo didėjimą, matyti, kad iki 2002 m. atliekų kiekis kito nežymiai (apie 0,5 kg/gyv. per metus), o 2003 m. būdingas jau didesnis KA susidarymo padidėjimas (apie 1 kg/gyv. per metus). Tai gali būti ne tik socialinio – ekonominio gerbūvio augimo, bet ir geresnės atliekų surinkimo paslaugos rezultatas. Vėlesniais metais atliekų kiekio kitimas nusistovi ir svyruoja nežymiai.

Nustatyta, jog atliekų susidarymo metų bėgyje kitimui būdingas sezoniškumas. Tačiau metų kalendoriniai sezonai nesutampa su KA susidarymo pokyčiais. Vertinant

kiekvieno mėnesio vidutinį kasavaitinį KA susidarymą, matyti, kad daugiausia KA susidaro balandžio, rugsėjo ir spalio mėnesiais. Galima teigti, kad tam įtakos turi sodų, parkų tvarkymo darbai. KA susidarymo padidėjimą rudens laikotarpiu galima sieti su derliaus apdorojimu. Be to, biologinių atliekų padidėjimas taip pat įtakoja bendrą KA masę. Tai patvirtina ir KA susidarymo Donecko mieste analizės duomenys, kurie parodė, kad rudenį padaugėja biologinių atliekų (santykinai „sunkių“ atliekų dėl jose esančio vandens kiekio). Žiemos laikotarpiu atliekų susidarymas sumažėja, kai individualių namų gyventojai KA (arba tik degias KA frakcijas) pradeda deginti namų katilinėse ir, atsižvelgiant į Donecko miesto duomenis, mažėja biologinių atliekų kiekis.

Apibendrinus gautus rezultatus, išskirti keturi KA susidarymo sezonai, kurie nesutampa su kalendoriniais sezonais:

1. žiemos sezonas – gruodžio, sausio, vasario ir kovo mėn.
2. pavasario sezonas – balandžio ir gegužės mėn.
3. vasaros sezonas – birželio ir liepos mėn.
4. rudens sezonas – rugpjūčio, rugsėjo, spalio ir lapkričio mėn.

3.2. Komunalinių atliekų susidarymo ir sudėties prognozės

Prognozė buvo atlikta dešimčiai metų (2008 – 2017 m.). Pasirinktas laikotarpis – pirmieji dešimt metų nuo 2007 metų, t.y. nuo vėliausiai tyrimams paimtų duomenų metų.

3.2.1. Komunalinių atliekų kiekio prognozė remiantis socialinių –ekonominių rodiklių ir atliekų susidarymo priklausomybe

Naudojant 2.2.1 skyriuje aprašytą metodiką, pagal miesto socialinio – ekonominio gerbūvio lygio ir susidarančių atliekų kiekio priklausomybę, buvo prognozuojami KA susidarymas ir sudėtis Kauno mieste. (žr. 3.5 pav.)

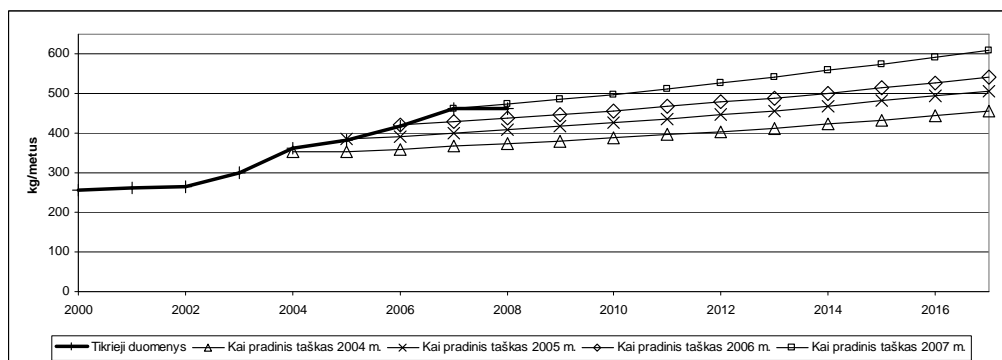
Prognozės pradiniais (įvesties) duomenimis buvo naudojami 2004, 2005, 2006 ir 2007 m. KA susidarymo duomenys. Prognozuojant neįvertinami galimi pokyčiai atliekų tvarkymo srityje ir priimama, kad KA susidarymo neįtakos antrinių žaliavų rūšiavimo didėjimas namų ūkiuose.

Prognozė atlikta priimant, kad metų bėgyje BVP augs 6 proc. Prognozės atliktos neatsižvelgiant į darbo rašymo metu vyraujančią ekonomikos nuosmukį priimant, kad tai trumpalaikis KA susidarymą įtakojantis veiksnys. Kaip minėta literatūros apžvalgoje, BVP augimas/mažėjimas nebūtinai įtakoja KA susidarymą, o gali įtakoti pvz., būsto pirkimą, taupymą ir pan.

Pagal Kauno miesto socialinius – ekonominius duomenis Kauno miestas buvo priskirtas aukšto RG (gerbūvio veiksnys 0,85 – (-0,17)) per visą prognozuojamą laikotarpį (2008-2017 m.). Pagal šį priskyrimą pasirinktas ekonometrinis modelis (KA augimo procentas) komunalinių atliekų prognozei.

Šio metodo vidutinė santykinė paklaida prognozuojant 5-10 metų laikotarpiu yra 5,3%, tačiau būtina atkreipti dėmesį, kad atskiriems miestams paklaida gali siekti ir 20% (pvz. Milanui 1996-2001 m. prognozei, Krokuvai 1994-2001m.) (Beigl et al., 2003). Prognozės labai jautrios pasirinktam pradiniam taškui. Skirtumas tarp Kauno mieste prognozuojamų ir realiai surinktų kiekių svyruoja nuo 2% (kai pradiniais

duomenimis naudojami 2007 m.), 7,2% (kai pradiniais duomenimis naudojami 2006 m.) iki 26% (kai pradiniais duomenimis naudojami 2004 m.).



3.4 pav. Prognozės pagal miesto socialinio – ekonominio gerbūvio lygio ir susidarančių atliekų kiekio priklausomybę rezultatai

Tai galima paaiškinti tuo, kad šis metodas įvertina KA padidėjimo laipsnį dėl socialinio – ekonominio miesto gerbūvio gerėjimo, bet neatsižvelgia į KA surinkimo augimo tendencijas (augimo kampa). Toks modelis gerai atspindi KA augimo tendencijas pradiniais duomenimis naudojant 2007 m. duomenis.

Pastebėjus tokius netikslumus, nuspręsta patikrinti prognozavimo rezultatus naudojant kitus atliekų kiekio prognozavimo metodus.

3.2.2. Komunalinių atliekų kiekio prognozė naudojant laiko eilutę.

Taikant sudarytus dispersinės analizės metodus paaiškėjo, jog egzistuoja statistinis atliekų kiekio augimas laike. Be to, nustatyti pasikartojantys atliekų susidarymo svyravimai tarp mėnesių. Pagal šiuos rezultatus galima sudaryti laiko eilutės modelį, kuris leistų prognozuoti kas savaitinio mišrių komunalinių atliekų kiekio vienam Kauno m. gyventojui vidutinį kitimą metų bėgyje, skirtingai negu taikant prognozę socialinių – ekonominių rodiklių ir susidarančio atliekų kiekio priklausomybės pagrindu.

Autoregresinis slenkančio vidurkio metodas. Naudojant 2.6 ir 2.7 lygtis, nubraižytos autokoreliacijos ir dalinės autokoreliacijos diagramos, kurios parodė kaip stipriai kiekviena laiko eilutės reikšmė (atliekų kiekis tam tikrą savaitę) priklauso nuo prieš tai buvusių reikšmių ir padeda pasirinkti autoregresijos eilę ir slenkančiųjų vidurkių narių skaičių. Sudarytas sezoninis autoregresijos ir slenkančio vidurkio modelis: $ARIMA(1,1,1)(3,1,0)_{52}$, t.y. pasirinkta pirmos eilės regresijos lygtis, pritaikyta viena diferencijavimo procedūra ir naudojama (t-1) „triukšmo“ reikšmė apskaičiuojant „triukšmo“ reikšmę t momentu. Sezoninė ARIMA modelio komponentė: pasirinkta trečios eilės regresijos lygtis ir pritaikyta viena diferencijavimo procedūra.

Apskaičiuoti ARIMA modelio (2.8 lygtis) parametrai pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. ARIMA modelio parametrai

Modelio parametrai	Parametro reikšmė	Standartinė paklaida	t reikšmė	Statistinis reikšmingumas, p	Poslinkio atgal per laiko vienetą operatorius, B
Slenkančio vidurkio (MA1,1) komponentas	0.90488	0.02744	32.98	<.0001	1
Autoregresijos (AR1,1) komponentas	0.37147	0.05913	6.28	<.0001	1
Sezoninės autoregresijos (AR2,1) komponentas	-0.52262	0.05912	-8.84	<.0001	52
Sezoninės autoregresijos (AR2,2) komponentas	-0.35652	0.07213	-4.94	<.0001	104
Sezoninės autoregresijos (AR2,3) komponentas	-0.24147	0.07354	-3.28	0.0010	156

Visi įvertinti laiko eilutės koeficientai (nurodyti 3.1 lent.) yra statistiškai reikšmingi (p -reikšmė<0,05), o ieškomas modelis yra:

$$(1 - 0,37147B)(1 + 0,52262B^{52} + 0,35652B^{104} + 0,24147B^{156})(1 - B)(1 - B^{52})Y_t = (1 - 0,90488B)\varepsilon_t \quad (3.1)$$

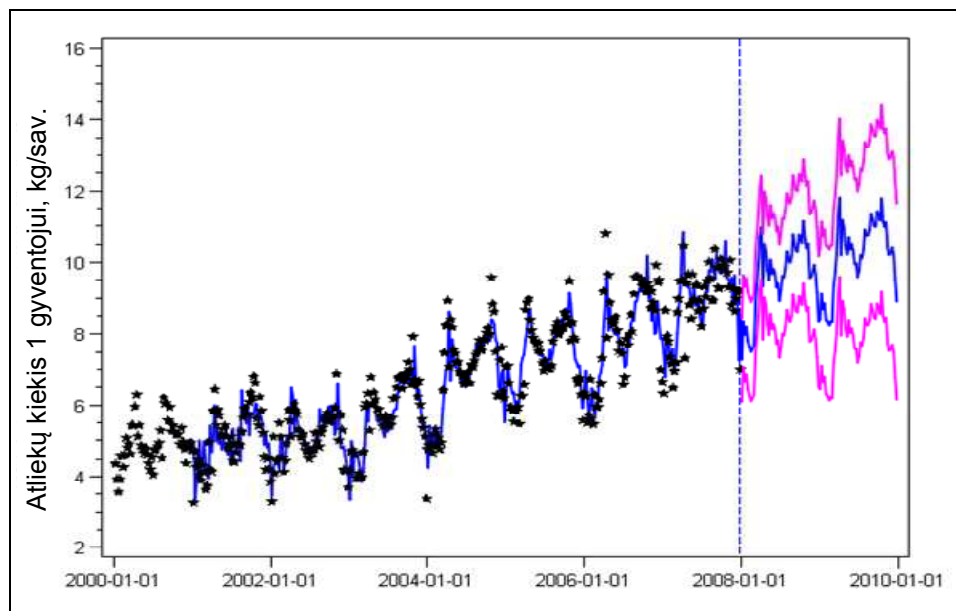
arba kitaip:

$$(1 - 0,37147Y_{t-1})(1 + 0,52262Y_{t-52} + 0,35652Y_{t-104} + 0,24147Y_{t-156})(1 - Y_{t-1})(1 - Y_{t-52})Y_t = (1 - 0,90488\varepsilon_{t-1})\varepsilon_t \quad (3.2)$$

kur, Y_t – atliekų kiekis surinktas t savaitę.

Modelio vertinimo tikslumą nusakančio apibrėžtumo koeficiento reikšmė $r^2=0,874$, t.y., 87,4% visos sklaidos galima paaiškinti sudarytu laiko eilutės modeliu. Vidutinė santykinė paklaida – 7,12%.

3.5 pav. pateikta MKA susidarymo statistika (iki 2008 metų pradžios) ir jos prognostiniai tęsiniai dviem metams į priekį (nuo 2008 metų pradžios) – trys laiko eilutės, gautos naudojant sezoninį ARIMA modelį su trimis skirtingais pasiklovimo intervalais, ir jų pasiklovimo lygmeniu.



3.5 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo ARIMA metodu rezultatai

Sezoninis eksponentinis glodinimas. Atlikus praeities reikšmių analizę ir prognozavimą nparametriniu laiko eilučių sezoninių eksponentinių išlyginimo metodu gauname rekurentinių lygčių (grįžtamųjų lygčių, kai kiekvienas narys reiškiamas prieš tai esančiu nariu) sistemos komponentių pradinis įverčius (apskaičiuotas reikšmes).

Pagal tai pasirenkami modelio glodinimo svoriai: $\omega=0,26108$, $\delta=0,22442$, lygmens komponentas $L_0=8,95427$, o rekurentinių lygčių sistemos komponentių pradiniai įverčiai pateikti 3.2 lent.

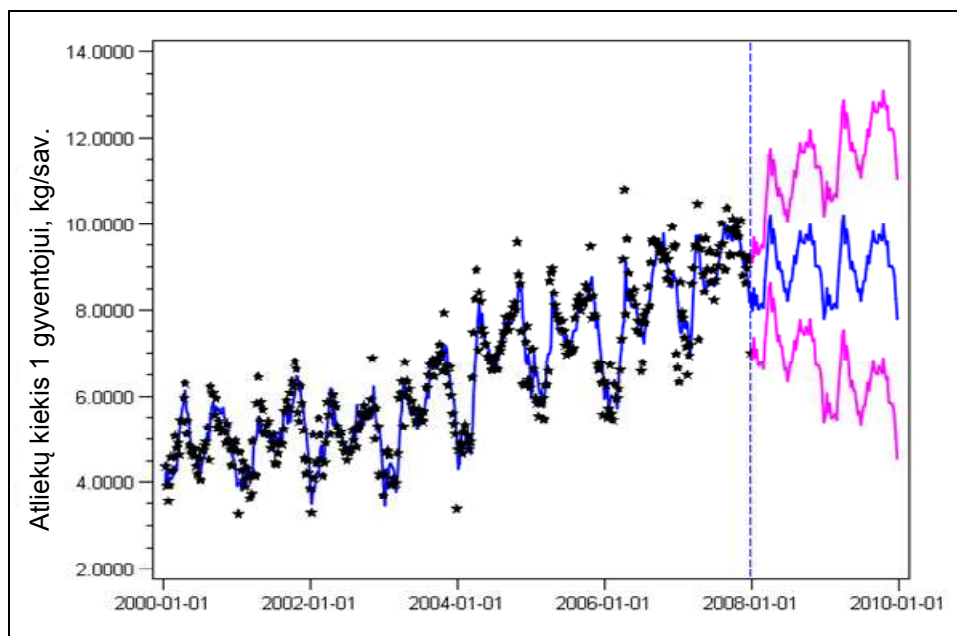
3.2 lentelė. Rekurentinių lygčių sistemos komponentių pradiniai įverčiai

Faktorius p	Sezoniškumo komponentas S	Faktorius p	Sezoniškumo komponentas S
1 faktorius	-1.16391	27 faktorius	-0.75318
2 faktorius	-0.97946	28 faktorius	-0.54541
3 faktorius	-0.43477	29 faktorius	-0.28444
4 faktorius	-0.85167	30 faktorius	-0.26661
5 faktorius	-0.62268	31 faktorius	0.00145
6 faktorius	-0.94221	32 faktorius	0.30645
7 faktorius	-0.92928	33 faktorius	0.12718
8 faktorius	-0.82496	34 faktorius	0.41275
9 faktorius	-0.81093	35 faktorius	0.62475
10 faktorius	-0.91774	36 faktorius	0.87213
11 faktorius	-0.26474	37 faktorius	0.64394
12 faktorius	0.15749	38 faktorius	0.60800
13 faktorius	0.55159	39 faktorius	0.58793
14 faktorius	1.10393	40 faktorius	0.79882
15 faktorius	1.24479	41 faktorius	0.74845

Faktorius p	Sezoniškumo komponentas S	Faktorius p	Sezoniškumo komponentas S
16 faktorius	0.58601	42 faktorius	0.65801
17 faktorius	0.91843	43 faktorius	1.02956
18 faktorius	0.71565	44 faktorius	0.74321
19 faktorius	0.28816	45 faktorius	0.56539
20 faktorius	0.00753	46 faktorius	0.63769
21 faktorius	0.16816	47 faktorius	0.06378
22 faktorius	-0.04600	48 faktorius	0.05594
23 faktorius	-0.03489	49 faktorius	0.07273
24 faktorius	-0.29401	50 faktorius	0.01409
25 faktorius	-0.53969	51 faktorius	-0.16161
26 faktorius	-0.45298	52 faktorius	-0.69974

Įstačius šias reikšmes į 2.9 lygtį gausime prognozuojamą atliekų susidarymo reikšmę, t.y. \hat{Y}_{t+k} . Modelio vertinimo tikslumą nusakančio apibrėžtumo koeficiento reikšmė $r^2=0,889$, t.y., 88,9% visos sklaidos galima paaiškinti sudarytu sezoniniu eksponentinio glodinimo modeliu. Vidutinė santykinė paklaida – 6,59%.

Prognozuojama laiko eilutė ir jos pasikliautinis intervalas su 0,95 pasiklovimo lygmeniu dviem metams į priekį atrodo taip, kaip pateikta (3.6 pav.).

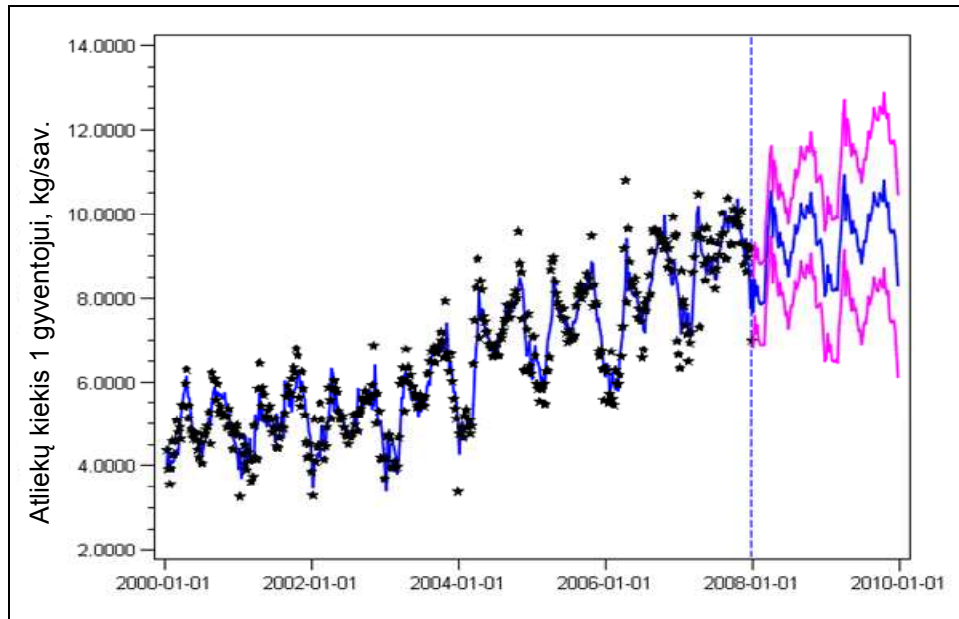


3.6 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo SES metodu rezultatai

Modelių derinimas. Įvertinus ARIMA modelio pranašumą laiko eilutės „balto triukšmo“ (atsitiktinių reikšmių) srityse ir neparimetrinio metodo geresniu panaudojimu srityse, kur ši sąlyga netenkinama, buvo atliktas ARIMA ir SES modelių derinimas pagal 2.10 lygtį.

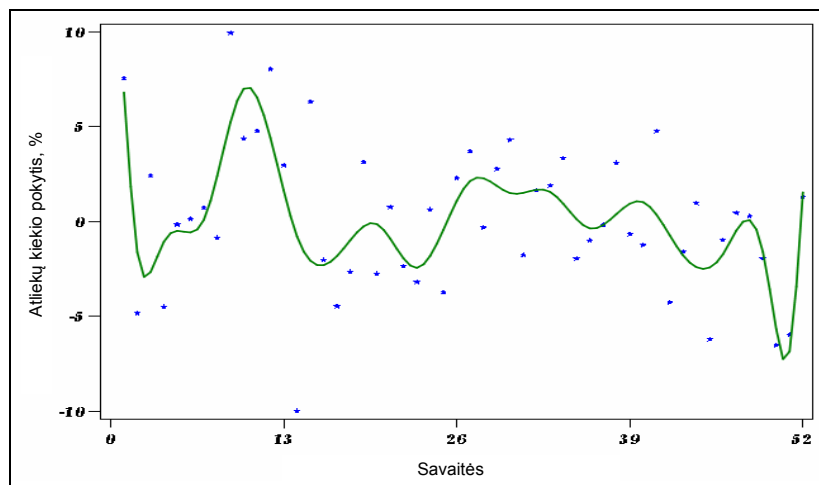
Svorio koeficientas $\alpha=0,4477$ parinktas vertinant tiesinės regresijos tarp stebėtų ir modeliais prognozuotų laiko eilučių reikšmių koeficientus.

Modelių derinio apibrėžtumo koeficiento reikšmė $r^2=0,897$. Vidutinė santykinė paklaida – 6,5%. Tai yra mažesnė už ARIMA ir SES modelių paklaidas.



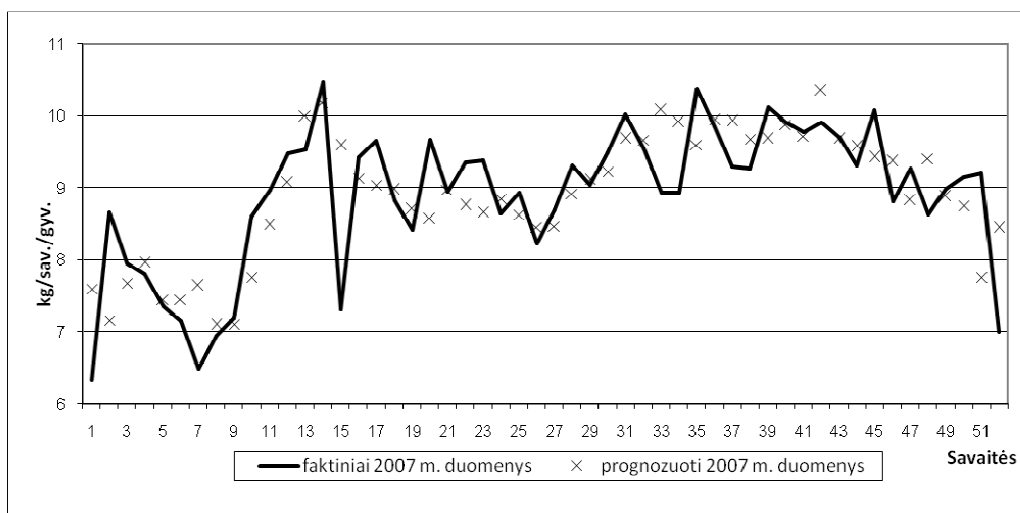
3.7 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekių prognozavimo ARIMA+SES metodu rezultatai

Duomenų vaizdingumui padidinti, nubraižomas ARIMA+SES metodu atliktos prognozės splinas 2007 m. (panašūs rezultatai gaunami ir kitiems metams). Kreivė parodo kaip kinta (didėja ar mažėja) atliekų kiekis metų bėgyje (procentais per savaitę gyventojui). 3.8 pav. nurodyto splaino apibrėžtumo koeficientas yra $r^2=0,4591$.



3.8 pav. ARIMA+SES metodu atliktos prognozės splinas su 15 mazgų

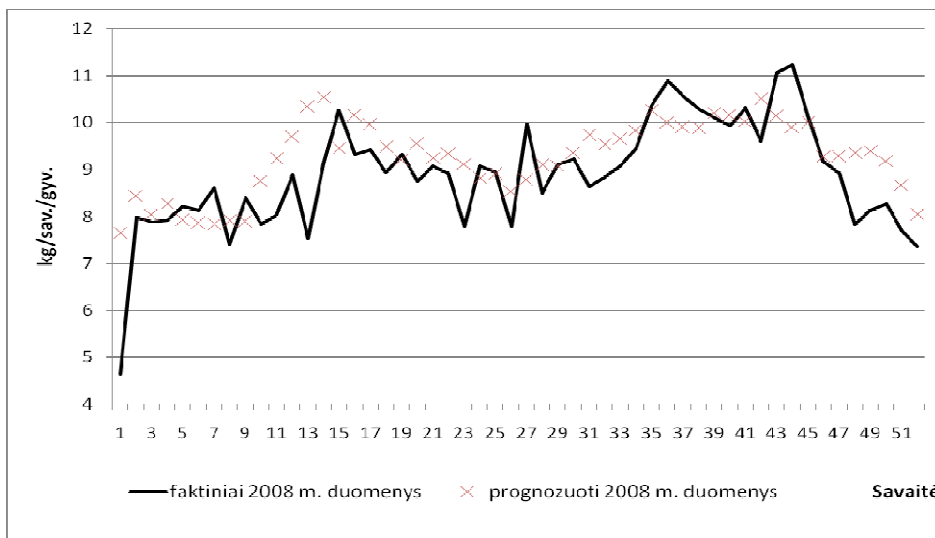
3.9 pav. pateiktas 2007 m. prognozuotų ir realių reikšmių palyginimas.



3.9 pav. ARIMA+SES metodų derinimo pagalba gautų prognostinių duomenų ir realių 2007 m. surinktų atliekų kiekių palyginimas

Bendro kiekio (per metus surenkamo atliekų kiekio vienam gyventojui) skirtumas nesiekia 1 kg. Metų bėgyje prognozės vidutinė paklaida 6% (svyruoja nuo 20% (1 ir 52 sav.) iki 0% (21, 40, 43 sav.). 14 sav. gauta 38% paklaida, tačiau realiuose duomenyse matyti, kad šią savaitę (balandžio mėn.) surenkamas kiekis neįprastai mažas.

3.10 pav. pateikiami realūs, 2008 m. susidariusių atliekų kiekiai. Šie kiekiai nebuvo įtraukti į laiko eilutę, kai buvo kuriamas ARIMA+SES metodas. Matyti, kad realios atliekų kitimo tendencijos atspindi prognozuojamas. Didžiausia paklaida yra 1 sav. (3 kg arba 65%), tačiau pagal atliekų kitimo tendencijas matyti, kad reali šios savaitės vertė yra mažesnė nei tikėtina. Vidutinė metinė paklaida yra 7,6% (sudarant modelį buvo apskaičiuota, kad paklaida yra 6,5%). Paklaida svyruoja nuo 37% (13 sav., kai faktiškai surinktas kiekis akivaizdžiai mažesnis už tuo laikotarpiu surenkamą kiekį) iki mažiau kaip 1% (25, 29 ir 39 sav.). Bendro metinio kiekio skirtumas –18 kg vienam gyventojui per metus prognozuota daugiau, negu surinkta realiai.



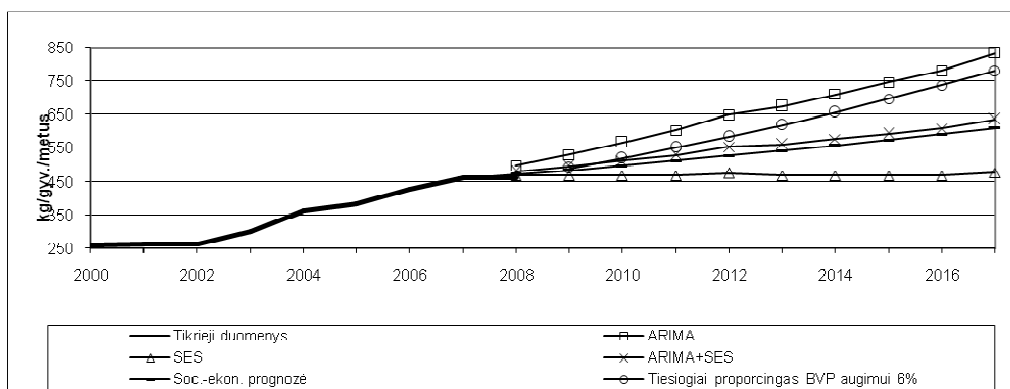
3.10 pav. ARIMA+SES modelių derinimo pagalba gautų duomenų ir realių 2008 m. surinktų atliekų kiekių palyginimas

1 priede pateikta vėlesnių metų (iki 2011 m.) faktinių ir prognozuotų duomenų palyginimas.

3.11 pav. pateikiama visų metinių prognozių rezultatas. Matyti, kad ARIMA metodu atliktos prognozės gauti metiniai atliekų kiekiai yra patys didžiausi. Prognozuojama, kad 2017 m. Kauno m. vienam gyventojui susidarys 833 kg MKA per metus. Tai mažai tikėtini kiekiai net smarkiai išsivysčiusiuose miestuose. Galime teigti, kad laiko eilučių modelį įtakojo MKA kiekio padidėjimo 2002-2004 m. reikšmės.

Prognozė atlikta SES metodu neturi augimo tendencijos. Tačiau akivaizdu, kad susidarantis KA kiekis vienam gyventojui per metus didės.

Derinant ARIMA ir SES metodus buvo išvengta atsitiktinių reikšmių įtakos (SES modelio nejautra atsitiktinėms reikšmėms) ir įvertinta augimo tendencija (ARIMA modelio pranašumas).



3.11 pav. Prognozuoto ir tikrojo metinio atliekų kiekio susidarymo 1 gyventojui palyginimas

3.11 pav. pateiktos socialinių – ekonominių rodiklių ir atliekų susidarymo priklausomybe paremtos prognozės (kai pradiniais duomenimis naudojami 2007 m. duomenys) ir laiko eilučių pagalba atlikta prognozė. ARIMA metodu atliktos prognozės duomenimis (ir įvertinus paklaidą) Kauno mieste 2017 m. susidarys 774-892 kg MKA vienam gyventojui, SES metodu – 445-507 kg, ARIMA+SES – 595-677 kg. Prognozuojant pagal socialinių – ekonominių rodiklių ir komunalinių atliekų susidarymo priklausomybę, 2017 m. Kauno m. turėtų susidaryti 578-642 kg MKA. Nustatyta, kad pagal socialinius-ekonominius rodiklius atliktos prognozės rezultatai patenka į ARIMA+SES metodu atliktos prognozės vidutinės santykinės paklaidos ribas.

Taip pat pateikiama prognozė paremta BVP ir atliekų kiekių augimo tiesine priklausomybe. Tokiu būdu gauti rezultatai atitinka ARIMA metodu prognozuojamo MKA augimo procento dydį.

Išvada: Nustatyta, kad atliekų prognozė naudojantis socialinių-ekonominių ir atliekų kiekio augimo priklausomybe labai priklauso nuo pradinių duomenų pasirinkimo. Rekomenduojama šį metodą naudoti tik miestams, kurių surenkamų atliekų kiekis auga nežymiai.

Laiko eilutės ARIMA, SES ir ARIMA+SES metodais prognozuojamos kasavaitinio atliekų kiekio susidarymo reikšmės istorines (tikrąsias) reikšmes atkartojo daugiau kaip 80% tikslumu. Tačiau įvertinus šių prognozių suminius rezultatus ir palyginus metinius atliekų istorinius susidarymo duomenis, matyti, kad rezultatai smarkiai skiriasi. Toks prognozavimo metodas yra nepakeičiamas vertinant kasavaitinius atliekų kiekių kitimo svyravimus, tačiau atliekų kiekių metinio augimo procentą būtina „patikrinti“ naudojant kitus prognozavimo metodus, pvz. prognozė pagal socialinius – ekonominius rodiklius.

Atliktus gautų rezultatų palyginimą nustatyta, kad ARIMA+SES metodu atlikta atliekų kiekio prognozė pasiteisino ne tik dėl didesnio už kitus laiko eilutės prognozavimo metodus tikslumo, bet ir atitikimo prognozės pagal socialinius – ekonominius rodiklius gautiems rezultatams.

Prognozuojant mieste susidarantiems KA kiekiams rekomenduojama įvertinti keliais metodais atliktų prognozių rezultatus.

3.3 Komunalinių atliekų surinkimo scenarijai

Kaip minėta literatūros apžvalgoje, atliekų kiekis gali būti prognozuojamas neįvertinant atskiro surinkimo laipsnio arba atsižvelgiant į atskirai surenkamus antrinių žaliavų kiekius.

Tačiau MKA tvarkymo technologijų įvertinimui būtina atsižvelgti į MKA sudėties kitimą dėl padidėjusio atliekų rūšiavimo namų ūkiuose. Tikėtina, kad MKA sudėtis ir kiekis keisis, nes bus atrenkami papildomi antrinių žaliavų frakcijų kiekiai, t.y. sumažės perdirbimui tinkančių frakcijų kiekis MKA.

Prognozuojant KA sudėtį 2008-2017 m. vertinti trys scenarijai. Scenarijai skiriasi antrinių žaliavų surinkimo laipsnio padidėjimu. Atskaitos tašku priimama 2006 m. Kauno mieste buvusi MKA procentinė sudėtis. Kadangi išsamios statistikos apie antrinių žaliavų susidarymą metų bėgyje nėra, analizuojamas metinis antrinių žaliavų susidarymas.

1 scenarijus – realiausias scenarijus. Priimama, kad atskirai surenkamų frakcijų kiekis didės nežymiai. Atsižvelgiant į antrinių žaliavų surinkimo padidėjimą kituose ES miestuose, kurie priklauso tai pačiai RG (Beigl et al., 2003), priimame, kad atskirai surenkamų frakcijų kiekis per metus palaipsniui didėja nuo 4 kg/metus 2008 m. (palyginus su 2007 m. atskirai surenkamu kiekiu) iki 6,3 kg/metus 2017 m. (palyginus su 2016 m. atskirai surenkamu kiekiu). Atskirai frakcijoms šis kiekis apskaičiuojamas atsižvelgiant į prognozuojamus socialinius – ekonominius rodiklius ir nurodomas 3.3 lent.

3.3 lentelė. Frakcijų atskiro surinkimo padidėjimas per metus (kg/gyv.) 1 scenarijaus atveju

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Popierius ir kartonas, kg/gyv.	2,2	2,7	2,7	2,9	3,0	3,3	3,2	3,2	3,3	3,3
Stiklas, kg/gyv.	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1	0,8
Metalas, kg/gyv.	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,3	0,2	0,4	0,0	0,6
Plastikai ir kompozitai, kg/gyv.	0,2	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7
Biologinės, kg/gyv.	0,8	0,6	0,8	0,4	0,7	0,8	0,8	1,0	0,9	1,0
Viso per metus padidėja, kg/gyv:	4,1	4,7	4,9	4,8	5,1	5,8	5,8	6,3	6,0	6,3

2 scenarijus – optimistinis scenarijus. Pagal šį scenarijų atliekų bus išrūšiuojama tiek, kiek ES miestuose, turinčiuose gerai išvystytą atskiro surinkimo sistemą (Beigl et al., 2003). Kasmet išrūšiuotų antrinių žaliavų kiekis palyginus su 2006 m. Kauno m. padidėtų dydžiais, nurodytais 3.4 lent.

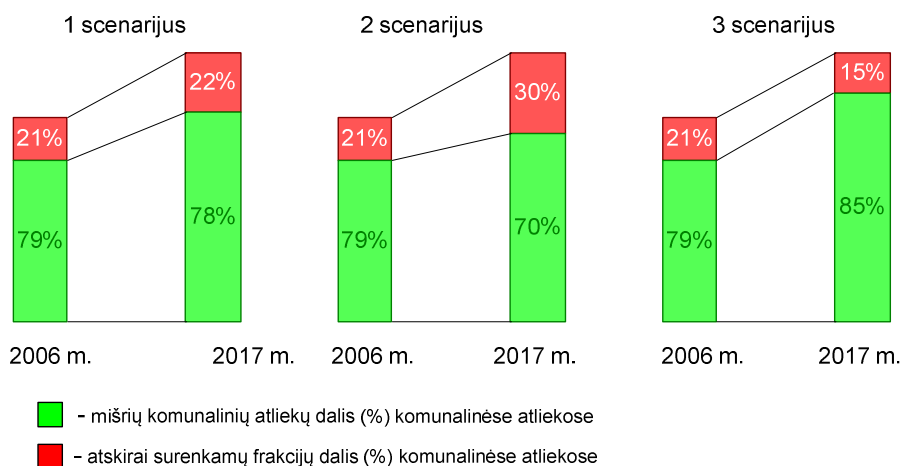
3.4 lentelė. Frakcijų atskiro surinkimo padidėjimas per metus (kg/gyv.) 2 scenarijaus atveju

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Popierius ir kartonas, kg/gyv.	14,4	17,1	19,8	22,7	25,7	29,0	32,2	35,4	38,8	42,1
Stiklas, kg/gyv.	9,1	9,7	10,2	11,0	11,8	12,6	13,3	14,2	15,3	16,1
Metalas, kg/gyv.	2,7	2,9	3,2	3,3	3,3	3,7	3,9	4,3	4,3	4,9
Plastikai ir kompozitai, kg/gyv.	9,1	9,8	10,3	10,9	11,6	12,1	12,9	13,7	14,3	15,0
Biologinės, kg/gyv.	29,8	30,3	31,1	31,5	32,2	33,0	33,8	34,8	35,7	36,7
Viso, kg/gyv:	65,1	69,8	74,7	79,4	84,5	90,3	96,1	102,4	108,4	114,8

3 scenarijus – pesimistinis scenarijus (ribinis). Priimame, kad Kauno m. atliekų tvarkymo sistema išliks tokia pati kaip ir 2006 m., t.y. MKA surenkamo kiekio neįtakos didėjantis atliekų rūšiavimas, tuo pačiu MKA sudėtis išliks nepakitusi.

3.12 pav. darbe analizuojami scenarijai pavaizduoti grafiškai. Pateikiamas mišrių komunalinių atliekų ir atskirai surenkamų frakcijų procentinis santykis.

Išvada. Pasirinkti scenarijai skiriasi rūšiavimo namuose laipsniu (nuo minimalaus iki maksimalaus) ir leidžia įvertinti gerėjančio rūšiavimo namų ūkiuose įtaką MKA tvarkymo technologijoms: atliekų sudėčiai po MBA, deginimo energetiniams ir aplinkosauuginiams aspektams.



3.12 pav. Pasirinktų scenarijų, besiskiriančių rūšiavimo namuose laipsniu, grafinis vaizdas

3.4. Mišrių komunalinių atliekų tvarkymo sistemos sudėties (technologijų) parinkimas

2002-2005 m. atlikta būvio ciklo vertinimo analizė (metodika aprašyta 2.3 skyriuje) Kauno m. parodė, kad įgyvendinti teisės aktų reikalavimus galima įdiegus didelio laipsnio MKA rūšiavimą jų susidarymo vietoje (namų ūkiuose) ir MBA. Tokiu būdu būtų įgyvendinti ne tik Direktyvose numatyti atliekų tvarkymo tikslai, bet ir

sumažintas poveikis klimato kaitai. Be to, padidinus rūšiovimą atliekų susidarymo vietoje (pas gyventojus), sumažėtų poreikis transportui ir poveikis aplinkai dėl mažesnio poreikio antriniam rūšiovimui.

Tačiau, vertinant Kauno m. susidarančius MKA kiekius manytina, kad tik MBA taikymas Kauno m. gali nepasiteisinti dėl didelio MKA kiekio (daugiau kaip 140 tūkst. tonų).

Papildomai įdiegus deginimą, išskiriami teršalai darytų didžiausių bendrą neigiamą poveikį palyginus su kitais atliekų apdorojimo būdais (įdiegus veiksmingą MKA rūšiovimą namų ūkiuose, atliekų šalinimu sąvartyne, apdorojant atliekas MBA). Ypač „Toksiškumas žmogui“ kategorijoje.

Atliekų deginimo įdiegimo ATS nauda, palyginus su ATS, kurioje eksploatuojamas tik sąvartynas, minima ir kitų tyrėjų darbuose (Miliūtė et al., 2009).

Tačiau, atsižvelgiant į Valstybinio strateginio plano reikalavimus, darbe priimta, kad prieš deginimą MKA apdorojamos mechaniniu-biologiniu būdu, atskiriant perdirbimui tinkamas medžiagas ir biologines atliekas. Tik likusios atliekos, netinkamos perdirbimui, nukreipiamos deginimui.

Išvada: Atlikus būvio ciklo vertinimą (išsamesnė informacija pateikiama Rimaitytė et al., 2006), Kauno m. siūloma įdiegti MBA, kuris padidintų išrūšiuotų, tinkamų perdirbimui, atliekų kiekį. Tačiau dėl didelio mieste susidarančio atliekų kiekio, tai gali būti komplikuota. Šios problemos galima išvengti įdiegus atliekų deginimo įrenginius, tačiau teisės aktų reikalavimai nustato, kad tokiuose įrenginiuose gali būti deginamos tik perdirbti netinkančios atliekos.

3.5 Mišrių komunalinių atliekų tvarkymas mechaniniu-biologiniu būdu

Darbe vertintos MBA mechaninio apdorojimo operacijos – atliekų rūšiovimas mechaniniu būdu, kuomet atskiriama dalis metalų, stiklas ir kitos nedegios atliekos.

Po to atliekos smulkinamos ir prasijojamos pro sietą, kurio akučių dydis 80 mm. Likusi atliekų dalis nukreipama į metalo separatorių ir kitos nedegios atliekos papildomai atskiriamos oro separatoriumi. Tokio rūšiovimo efektyvumas aprašytas 2.4 skyriuje. Pasirinkta technologija remiasi Vokietijoje naudojamų MBA technologijų apibendrinimu (Soyez et al. 2000)

Atlikta atliekų kiekio savaitinė (sezoninė) prognozė laiko eilučių pagalba, leidžia analizuoti MKA kiekio ir sudėties sezoninio kitimo įtaką MBA. Pasirinkti scenarijai leidžia stebėti rūšiovimo namų ūkiuose įtaką po MBA likusioms atliekoms.

3.5 – 3.7 lent. pateikiamas MKA ir atliekų, likusių po mechaninio apdorojimo sudėties palyginimas pradiniais (2008 m.) ir 2017 m.

3 scenarijaus atveju atskiriamų perdirbimui tinkančių ir netinkančių atliekų santykis išlieka toks pats visais metais, nes priimama, kad šiuo atveju rūšiovimo namuose laipsnis nekis. Pradinė MKA sudėtis skirtingais scenarijais, atsižvelgiant į rūšiovimo laipsnį nurodytą 3.3 – 3.4 lent., pateikta stulpelyje „Pirminė sudėtis“. Toliau išrūšiovimo laipsnis apskaičiuojamas atsižvelgiant į 2.2 – 2.3 lent. nurodytus mechaninių procesų efektyvumus.

Priimama, kad apdorojus MKA mechaniškai, atskirtos biologinės atliekos, nukreipiamos į kompostavimą arba pūdymą. Po tokio atskyrimo sumažėja deginimui

skirtų atliekų drėgmė, praktiškai nebelieka stiklo ir metalo. Padidėja plastikų, popieriaus ir degių atliekų dalis. Taigi, padidėja deginamų atliekų šilumingumas, gaunama DŠF.

Kaip minėta literatūros apžvalgoje, MBA gali skirtis pagaminamo DŠF sudėtimi. Ankstesnių tyrimų metu buvo vertinta MBA technologija (Scholz et al. 2001) priimant, kad iš 1 t MKA gaunama 397 kg DŠF, kurią sudarytų plastikai (10%), tekstilė, popierius, kartonas, oda, guma ir kitos degios atliekos (39%), medžio ir sodo atliekos, biologinės atliekos (51%). Kauno m. MKA apdorojus šiuo metodu DŠF šilumingumas gali siekti 10,9 MJ/kg, būtų gaunama 216 GWh energijos kiekio (2002 m. duomenimis apie susidarančius MKA kiekius). Tačiau Valstybiniame strateginiame atliekų tvarkymo plane (patvirtintame 2007 m., t.y. po tyrimų paskelbimo) deginimas neminimas kaip komunalinių biologinių atliekų tvarkymo sistemos prioritetas. Taigi, darbe vertinamos MBA technologijos pasirinkimą lėmė galimybė atskirti didesnį perdirbimui tinkančių frakcijų kiekį.

Išvada: Darbe pasirinkta technologija paremta Vokietijoje naudojamų MBA technologijų apibendrinimu (Soyez et al. 2000). Išskiriamas palyginti nedidelis DŠF kiekis, tačiau taip siekiama pasiekti pagrindinį VSATP tikslą – didesnis atliekų perdirbimo ar kitokio panaudojimo laipsnis. Tačiau siekiant padidinti energijos kiekį, kurį išskiria degančios atliekos, gali būti parinktas kitas MKA apdorojimo būdas, kurio metu susidarys didesnis DŠF kiekis.

Apdorojant 1000 kg MKA pasirinktu būdu, gaunamas DŠF kiekis visais scenarijais praktiškai nesiskiria. Vėlesniais metais tokiose atliekose mažės popieriaus ir kartono, plastikų ir kompozitų frakcijos, tačiau didės biologinių ir kitų degių atliekų frakcijų procentinė dalis.

Nustatyta, kad geriau išrūšiuotus MKA namų ūkiuose, likusiose po mechaninio apdorojimo atliekose taip pat bus mažesnė procentinė popieriaus ir kartono, plastikų ir kompozitų dalis, didesnė kitų degių frakcijų dalis.

3.5 lentelė. Atliekų, nukreiptų į MBA, sudėties kitimas 1 scenarijaus atveju

Metai, sezonas	Pirminė sudėtis				Po pirminio rūšiavimo				Po sijojimo 80 mm sietu				Po rūšiavimo oro srautu ir metalų atskyrimo			
	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r
Popierius ir kartonas, kg	116	100	99	112	116	100	99	112	15	13	13	15	15	13	12	14
Stiklas, kg	71	88	102	59	36	44	51	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalas, kg	20	25	24	15	12	15	14	9	4	4	4	3	0	0	0	0
Plastikai ir kompozitai, kg	110	91	94	70	110	91	94	70	38	31	32	24	33	27	28	21
Biologinės atliekos, kg	406	372	428	522	406	372	428	522	20	19	21	26	19	18	21	25
Kitos degios atliekos, kg	113	132	101	91	113	132	101	91	41	48	37	33	35	41	31	28
Kitos nedegios atliekos, kg	164	192	152	131	82	96	76	65	12	14	11	10	7	8	6	6
Viso, kg:	1000	1000	1000	1000	874	849	863	899	130	129	118	110	109	107	99	94
Metai, sezonas	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r
Popierius ir kartonas, kg	84	40	44	86	84	40	44	86	11	5	6	11	11	5	6	11
Stiklas, kg	68	79	92	57	34	39	46	28	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalas, kg	19	22	20	14	11	13	12	8	3	4	4	2	0	0	0	0
Plastikai ir kompozitai, kg	108	86	89	68	108	86	89	68	37	29	30	23	32	26	27	20
Biologinės atliekos, kg	426	406	468	541	426	406	468	541	21	20	23	27	20	19	22	26
Kitos degios atliekos, kg	121	149	115	96	121	149	115	96	44	54	42	35	37	46	36	30
Kitos nedegios atliekos, kg	176	218	173	138	88	109	86	69	13	16	13	10	7	9	7	6
Viso, kg:	1000	1000	1000	1000	871	842	860	897	129	129	118	109	108	106	98	93

3.6 lentelė. Atliekų, nukreiptų į MBA, sudėties kitimas 2 scenarijaus atveju

Metai, sezonas	Pirminė sudėtis				Po pirminio rūšiavimo				Po sijojimo 80 mm sietu				Po rūšiavimo oro srautu ir metalų atskyrimo			
	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r	2008ž	2008p	2008v	2008r
Popierius ir kartonas, kg	104	77	78	104	104	77	78	104	13	10	10	13	13	10	10	13
Stiklas, kg	65	74	85	56	33	37	43	28	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalas, kg	17	20	17	13	10	12	10	8	3	4	3	2	0	0	0	0
Plastikai ir kompozitai, kg	102	78	81	66	102	78	81	66	35	26	27	22	31	23	24	20
Biologinės atliekos, kg	401	356	422	518	401	356	422	518	20	18	21	26	19	17	20	25
Kitos degios atliekos, kg	126	161	126	99	126	161	126	99	46	58	46	36	39	50	39	31
Kitos nedegios atliekos, kg	184	235	190	144	92	118	95	72	14	18	14	11	8	10	8	6
Viso, kg:	1000	1000	1000	1000	868	837	855	895	131	134	122	111	110	110	102	95
Metai, sezonas	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r	2017ž	2017p	2017v	2017r
Popierius ir kartonas, kg	71	7	15	76	71	7	15	76	9	1	2	10	9	1	2	10
Stiklas, kg	63	65	76	53	31	32	38	27	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalas, kg	17	16	13	13	10	10	7	7	3	3	2	2	0	0	0	0
Plastikai ir kompozitai, kg	102	74	78	65	102	74	78	65	35	25	27	22	30	22	23	19
Biologinės atliekos, kg	424	398	471	540	424	398	471	540	21	20	24	27	20	19	23	26
Kitos degios atliekos, kg	132	178	139	103	132	178	139	103	48	65	50	37	41	55	43	32
Kitos nedegios atliekos, kg	192	261	208	149	96	130	104	75	14	20	16	11	8	11	9	6
Viso, kg:	1000	1000	1000	1000	866	831	853	894	130	133	120	110	109	109	100	93

3.7 lentelė. Atliekų, nukreiptų į MBA, sudėties kitimas 3 scenarijaus atveju

Sezonas	Pirminė sudėtis				Po pirminio rūšiavimo				Po sijojimo 80 mm sietu				Po rūšiavimo oro srautu ir metalų atskyrimo			
	ž	p	v	r	ž	p	v	R	ž	p	v	r	ž	p	v	r
Popierius ir kartonas, kg	119	105	104	115	119	105	104	115	15	14	14	15	15	13	13	15
Stiklas, kg	72	90	104	60	36	45	52	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Metalas, kg	20	25	24	15	12	15	14	9	4	4	4	3	0	0	0	0
Plastikai ir kompozitai, kg	110	90	93	70	110	90	93	70	37	31	32	24	33	27	28	21
Biologinės atliekos, kg	404	370	425	520	404	370	425	520	20	19	21	26	19	18	20	25
Kitos degios atliekos, kg	112	130	100	90	112	130	100	90	41	47	36	33	35	40	31	28
Kitos nedegios atliekos, kg	163	190	150	130	82	95	75	65	12	14	11	10	7	8	6	5
Viso, kg:	1000	1000	1000	1000	874	850	863	899	129	129	118	110	109	106	99	94

3.6. Mišrių komunalinių atliekų deginimo energetinių rodiklių apskaičiavimas

Darbe priimama, kad po mechaninio apdorojimo likusios frakcijos (DŠF) nukreipiamos deginimui, siekiant deginimo metu gautą šiluminę energiją panaudoti miesto aprūpinimui šiluma.

Svarbiausia deginamo kuro (šiuo atveju DŠF) savybė – šilumingumas. Atskirų frakcijų šilumingumas apskaičiuojamas pagal 2.5 skyriuje nurodytą metodiką. Skaičiuojant šilumingumus priimama, kad „Plastikų ir kompozitų“ frakciją sudaro plastikai, pakuočių kompozitai ir kompozitai; biologinių atliekų frakciją – virtuvinės ir sodo atliekos, kitų degių atliekų frakciją – tekstilė, sauskelnės, medis ir oda. Gautas frakcijų šilumingumas (MJ/kg) nurodytas 3.8 lent.

3.8 lentelė. Apskaičiuotas atliekų frakcijų šilumingumas

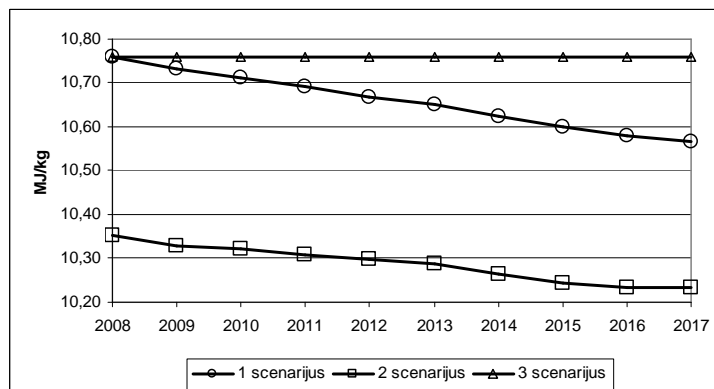
Frakcija	MJ/kg
Popierius ir kartonas	9,3
Stiklas	-0,1
Metalas	-0,3
Plastikai ir kompozitai	20,6
Biologinės	6,3
Kitos degios	8,5
Kitos nedegios	-0,3

Palyginus su literatūros šaltiniuose nurodomomis frakcijų šilumingumo verčių intervalais (1.5 lent.), darbe apskaičiuotos vertės yra apie apatinės ribos.

Kaip akcentuota, VSATP nustatytas reikalavimas nedeginti nerūšiuotų MKA. Energijai gauti turi būti naudojamos po MKA išrūšavimo likusios netinkamos perdirbti, turinčios energetinę vertę frakcijos. Taigi, prieš deginimą atliekos turi būti apdorotos mechaniškai, atskiriant perdirbimui tinkamas medžiagas ir biologines atliekas (kaip analizuojama 3.6 skyriuje). Likusios frakcijos nukreipiamos deginimui.

Darbe aprašomos trys alternatyvios ATS, kuriose įdiegta atliekų deginimo technologija. Taip pat atsižvelgiama į aukščiau aprašytus scenarijus, kai vertinama rūšiovimo namų ūkiuose įtaka. Šios analizės tikslas – pasirinkti patraukliausią energetiniu požiūriu alternatyvą. Pateikiami apibendrinti metų duomenys.

1 alternatyva: deginamos Kauno mieste susidarantios MKA po mechaninio apdorojimo. Šiuo atveju deginimo įmonėje būtų deginamas po MBA likęs DŠF. Apskaičiuotas bendras DŠF šilumingumo kitimas skirtingų scenarijų atvejais pavaizduotas 3.14 pav.



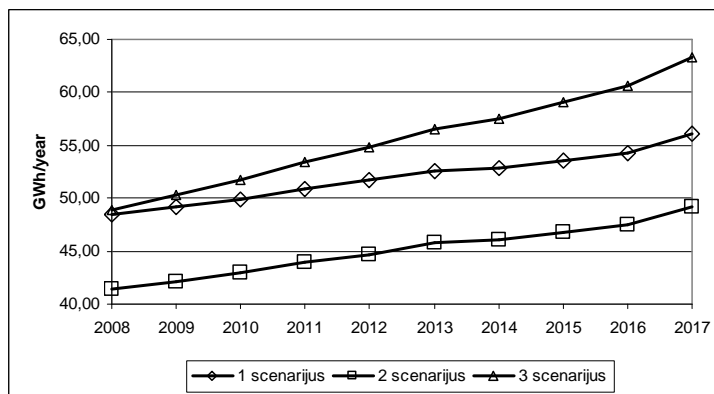
3.13 pav. Bendras didelio šilumingumo frakcijos šilumingumo kitimas skirtingais scenarijais

Matyti, kad deginamų atliekų šilumingumas ateityje mažės dėl didžiausią šilumingumą turinčių frakcijų (popieriaus ir kartono, plastiko ir kompozitų) procentinės dalies mažėjimo. Nors frakcijos „kitos degios atliekos“ dalis bendrame sraute didės, tačiau dėl mažesnio šios frakcijos šilumingumo, ji nekompensuos šilumingumo sumažėjimo. 3 scenarijaus atveju, nekintant MKA sudėčiai, po mechaninio apdorojimo likusių atliekų šilumingumas išliks pastovus.

Visais scenarijais, netgi palaipsniui mažėjant didelį šilumingumą turinčių frakcijų daliai, bendras deginamų atliekų šilumingumas bus didesnis už minimalų šilumingumą (6,5 MJ/kg). Tokios atliekos (DŠF) degs be papildomo kuro.

Apdorojus MKA pagal aprašytą technologiją, deginamų atliekų kiekis sumažėja beveik 90%. Pagal deginamų atliekų kiekį apskaičiuotas išskiriamas energijos kiekis (neįvertinus efektyvumo, kuris gali kisti nuo pasirinktos deginimo technologijos, eksploataavimo sąlygų ir pan.) pateiktas 3.14 pav.

Deginant tik Kauno mieste surinktas ir mechaniškai apdorotas atliekas, būtų patenkinta 3,0-4,0% viso KT elektrinės integruoto tinklo poreikio (žr. 2.5 skyrių) 1 scenarijaus atveju, 2,6-3,0% ir 3,0-3,5% 2 ir 3 scenarijų atvejais atitinkamai.



3.14 pav. Susidaręs energijos kiekis 1 alternatyvos atveju

2 alternatyva: deginamos Kauno ir aplinkiniuose regionuose (Kauno regiono (be Kauno m.), Alytaus ir Marijampolės regionuose) susidaranti DŠF po

mechaninio MKA apdorojimo. Vadovaujantis Buitinių atliekų deginimo galimybių studija (KTU, 2007a), Kaune siūloma deginti ne tik Kauno mieste, bet ir Kauno rajone bei Alytaus ir Marijampolės regionuose (toliau – papildomi regionai) susidarantį atliekas. Šis pasiūlymas studijos rengėjų buvo pateiktas dėl nedidelių susidarantį atliekų kiekių.

Tačiau būtina pastebėti, kad transportuoti mechaniškai neapdorotas MKA gali būti ekonomiškai nenaudinga. Todėl atsižvelgus į galimas dideles atliekų transportavimo sąnaudas, papildomuose regionuose MKA siūloma prieš tai apdoroti mechaniškai ir taip sumažinant jų kiekių.

Kadangi išsamių duomenų apie MKA kiekių kitimą papildomuose regionuose nėra ir atlikti laiko eilutės prognozės ARIMA+SES metodu nėra galimybės, MKA prognozuojamas atsižvelgiant į regionų socialinius – ekonominius rodiklius (pagal metodiką aprašytą 2.2.1 skyriuje). Priimta, kad visas papildomuose regionuose susidaręs MKA kiekis apdorojamas mechaniškai-biologiškai, naudojant anksčiau aprašytą MBA technologiją, ir gautas DŠF transportuojamas į Kauno atliekų deginimo stotį. Prognozuojami DŠF kiekiai regionuose nurodyti 3.9 lent.

3.9 lentelė. Papildomuose regionuose susidarantys didelio šilumingumo frakcijos kiekiai

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Alytaus regionas, t/metus	4195	4315	4483	4627	4764	4906	5079	5242	5413	5715
Marijampolės regionas, t/metus	3171	3280	3339	3452	3570	3679	3830	3957	4101	4307
Kauno regionas (be Kauno m.), t/metus	6867	7026	7201	7433	7669	7917	8123	8641	9006	9268
Viso, t/metus:	14234	14621	15024	15512	16003	16502	17032	17840	18519	19289

Apskaičiuotas iš papildomų regionų surinktų DŠF šilumingumas pateiktas 3.10 lent.

3.10 lentelė. Papildomuose regionuose susidarantį didelio šilumingumo frakcijos šilumingumas

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Alytaus regionas, MJ/kg	10,5	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6	10,7	10,7	10,8	10,8
Marijampolės regionas, MJ/kg	10,7	10,8	10,8	10,9	10,9	11,0	11,1	11,2	11,3	11,3
Kauno regionas (be Kauno m.), MJ/kg	9,5	9,5	9,6	9,6	9,6	9,6	9,7	9,7	9,7	9,7
Bendras, MJ/kg	10,0	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,4	10,4

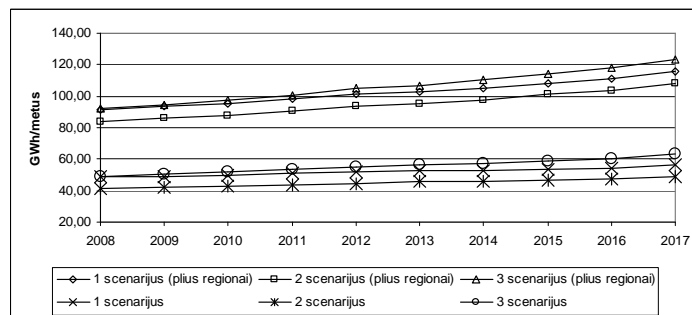
Įvertinus deginimų atliekų iš Kauno ir papildomų regionų masės dalis ir šilumingumą, gaunamas bendras šilumingumas pateiktas 3.11 lent.:

3.11 lentelė. Bendras deginamo kuro šilumingumas 2 alternatyvos atveju

Šilumingumas, MJ/kg	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 scenarijus	10,44	10,44	10,42	10,45	10,46	10,43	10,47	10,48	10,48	10,49
2 scenarijus	10,20	10,21	10,20	10,24	10,25	10,23	10,28	10,29	10,31	10,33
3 scenarijus	10,44	10,46	10,45	10,49	10,51	10,50	10,55	10,57	10,58	10,60

Apskaičiuojamas metinis energijos kiekis sudeginus visų trijų regionų atliekas, likusias po mechaninio apdorojimo. Pateikiamas grafikas (3.16 pav.), kuriame matyti, kaip padidėja energijos kiekis papildomai deginant po mechaninio apdorojimo atliekas iš kitų regionų.

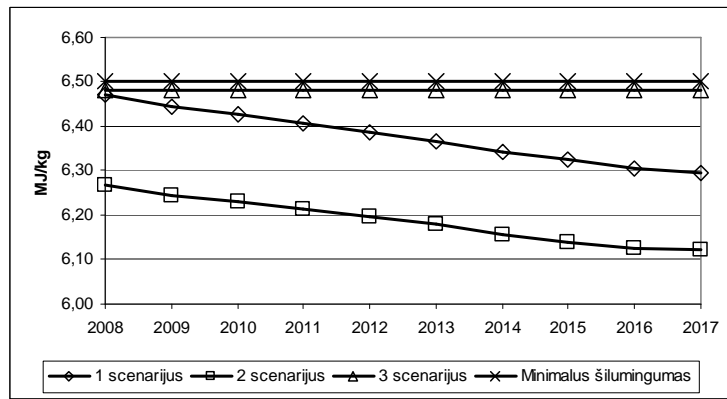
Tačiau matyti, kad nors gautas energijos kiekis padidės, tačiau vis tiek bus per mažas, kad visiškai aprūpintų Kauno miestą šilumine energija. Šiluminio tinklo poreikio padengimas padidės nuo 5,6 iki 7,2% viso KT elektrinės šiluminio tinklo 1 scenarijaus atveju, 5,3-6,8% ir 5,6-7,8% 2 ir 3 scenarijų atvejais atitinkamai.



3.15 pav. 1 ir 2 alternatyvų atvejais susidariusios energijos kiekių palyginimas

3 alternatyva: Deginamos Kauno mieste susidarancios MKA neapdorojant jų papildomai ir Kauno rajone, Alytaus ir Marijampolės regionuose susidarancios DŠF po mechaninio MKA apdorojimo. Analizuojant anksčiau aprašytas alternatyvas, stebimas per mažas energijos kiekis dėl nedidelio deginamų atliekų kiekio. Dėl šios priežasties darbe analizuojama alternatyva, kai padidinamas deginamų atliekų kiekis: Kauno mieste surenkamos MKA būtų deginamos tik po rūšiavimo namų ūkiuose.

Apskaičiuotas MKA šilumingumas atskirais scenarijais pateiktas 3.17 pav. Taip pat nurodomas minimalus atliekų deginimo šilumingumas reikalingas deginti atliekas be papildomo kuro. Matyti, kad deginamų atliekų šilumingumas yra mažesnis negu minimalus reikalingas ir mažėja gerėjant rūšiavimui namuose, t. y. atrenkant papildomus antrinių žaliavų kiekius (1 ir 2 scenarijai). Net ir išliekant šiuo metu esančiam, palyginus mažam antrinių žaliavų rūšiavimui (3 scenarijus), dėl mažo tokių atliekų šilumingumo, MKA be papildomo kuro deginti nerekomenduotina.



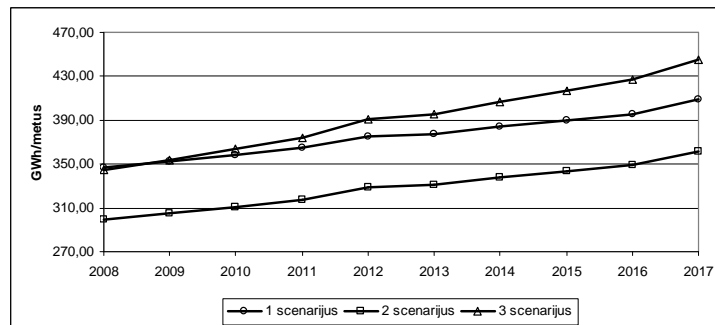
3.16 pav. Kauno m. susidarančių mišrių komunalinių atliekų šilumingumas po pirminio rūšiavimo namuose

Kaip buvo analizuota 2 alternatyvoje, atliekų deginimo įmonėje gali būti deginama DŠF susidariusi kaimyniniuose regionuose. Tuomet, įvertinus Kauno regione (be Kauno m.), Alytaus ir Marijampolės regionuose susidarantį DŠF kiekį, bendras visų deginamų atliekų (MKA+DŠF) šilumingumas padidėja apie 4% ir viršija minimalų reikalingą.

3.12 lentelė. Bendras deginamo kuro šilumingumas 3 alternatyvos atveju.

Šilumingumas, MJ/kg	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 scenarijus	6,74	6,73	6,71	6,70	6,69	6,68	6,67	6,66	6,66	6,66
2 scenarijus	6,60	6,58	6,57	6,57	6,55	6,54	6,54	6,54	6,53	6,54
3 scenarijus	6,64	6,64	6,64	6,65	6,65	6,65	6,66	6,66	6,67	6,67

Apskaičiuotas bendras energijos kiekis gautas deginant MKA ir DŠF pateikiamas 3.17 pav.



3.17 pav. Susidaręs energijos kiekis 3 alternatyvos atveju

Perskaičiavus energijos kiekį matyti, kad jis padidėja iki 408 GWh 1 scenarijaus atveju, 362 GWh 2 scenarijaus atveju ir 445 GWh 3 scenarijaus atveju (2017 m.). Padengiamas šiluminės energijos tinklo poreikis padidės iki 21,5 – 25,4% 1 scenarijaus atveju, 18,7-22,5% ir 21,5-27,7% 2 ir 3 scenarijų atvejais atitinkamai.

Galima pastebėti, kad kituose miestuose atliktų tyrimų autoriai taip pat teigia, kad atliekų deginimas gali padengti tik nedidelę dalį miesto energijos poreikio ir yra labiau naudotinas kaip atliekų tvarkymo būdas, o ne energijos gamybos objektas (Liamsanguan et al., 2007; Brannlund et al., 2004).

Išvada: 1 alternatyvos atveju mieste reikėtų įrengti dvejų rūšių atliekų tvarkymo įrenginius. Po MBA deginamos DŠF šilumingumas būtų pakankamas, kad nereikėtų deginti papildomo kuro. Apdorojant atliekas pasirinkta MBA technologija MKA kiekis sumažėtų apie 90%, todėl deginimui būtų nukreipti nedideli (17300 t 1 scenarijaus atveju, 15300 t 2 scenarijaus atveju ir 17500 t 3 scenarijaus atveju) atliekų kiekiai. Tokiu būdu būtų padengiama tik labai maža dalis integruoto šiluminio tinklo poreikio.

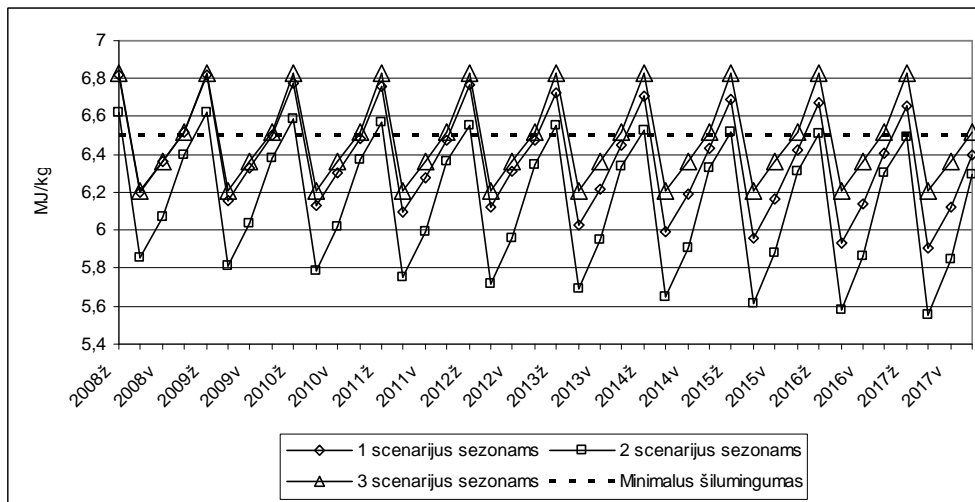
2 alternatyvos atveju Kauno m. atliekų deginimo įrenginiuose deginamo DŠF šilumingumas būtų pakankamas, kad nereikėtų deginti papildomo kuro. Deginimui būtų nukreipti didesni atliekų kiekiai negu 1 alternatyvos atveju, tačiau vis tiek būtų padengiamas maža dalis integruoto šiluminio tinklo poreikio.

3 alternatyvos atveju dėl didelio Kauno mieste susidarančių atliekų kiekio ir DŠF iš papildomų regionų kaip papildomo kuro Kauno mieste susidarančioms MKA, gali būti padengiamas beveik ketvirtadalis viso integruoto šiluminio tinklo poreikio. Taikant šią alternatyvą šalia atliekų deginimo stoties reikėtų įrengti papildomas kuro saugyklas, kuriose būtų saugomas DŠF iš papildomų regionų. Apibendrinant galima teigti, kad ši alternatyva atrodo patraukliausia energetiniu požiūriu, todėl ji bus analizuojama išsamiau.

3.7. Optimalios atliekų tvarkymo sistemos struktūros sudarymas

Kaip aptarta ankstesniuose skyriuose, didelę įtaką atliekų deginimui turi deginamo kuro šilumingumas. Išvadose teigta, kad papildomai neapdorotų Kauno miesto MKA bendras šilumingumas yra nepakankamas, kad būtų galima deginti atliekas be papildomo kuro, todėl 3.7 skyriuje, pasiūlyta kaip papildomą kurą naudoti DŠF iš kaimyninių regionų. Šiame skyriuje analizuojama kaip atliekų šilumingumas kinta sezonais ir išskirti sezonai, kuomet reikalingas papildomas kuras deginamų atliekų šilumingumo padidinimui.

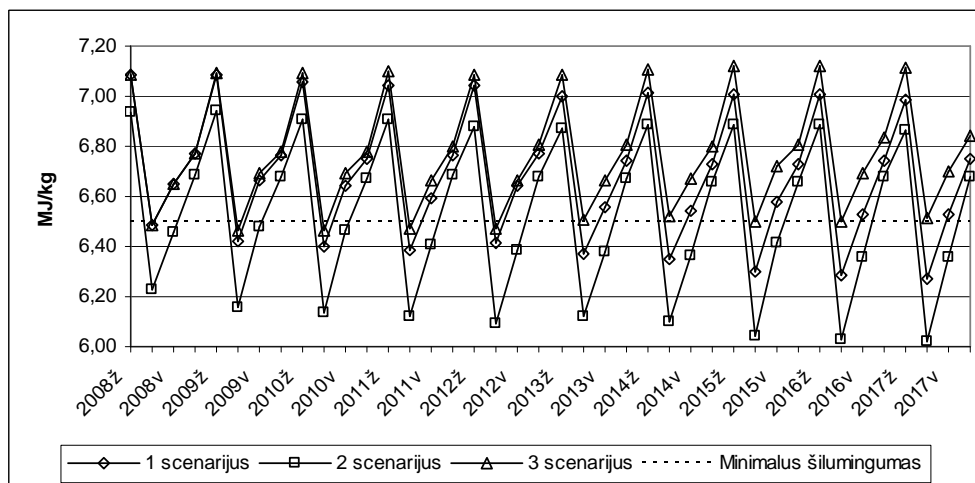
Pagal 2.2.4 skyriuje pateiktą metodiką apskaičiuojama Kauno m. susidarančių atliekų sudėtis skirtingais sezonais (priimama, kad darbe analizuojami sezonai nesutampa su kalendoriniais sezonais) ir pagal tai apskaičiuotas Kauno m. MKA šilumingumas skirtingais sezonais pateiktas 3.18 pav.



3.18 pav. Kauno m. susidarančių mišrių komunalinių atliekų šilumingumas skirtingais sezonais

Matyti, kad tik žiemos sezonu šilumingumas didesnis už minimalų (3 scenarijaus atveju ir rudens sezonu). Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, tam įtakos turi padidėjęs didelio šilumingumo frakcijų kiekis. Pats mažiausias šilumingumas yra pavasario ir vasaros sezonais. Bendras atliekų šilumingumas palaipsniui mažės gerėjant rūšiavimui namų ūkiuose.

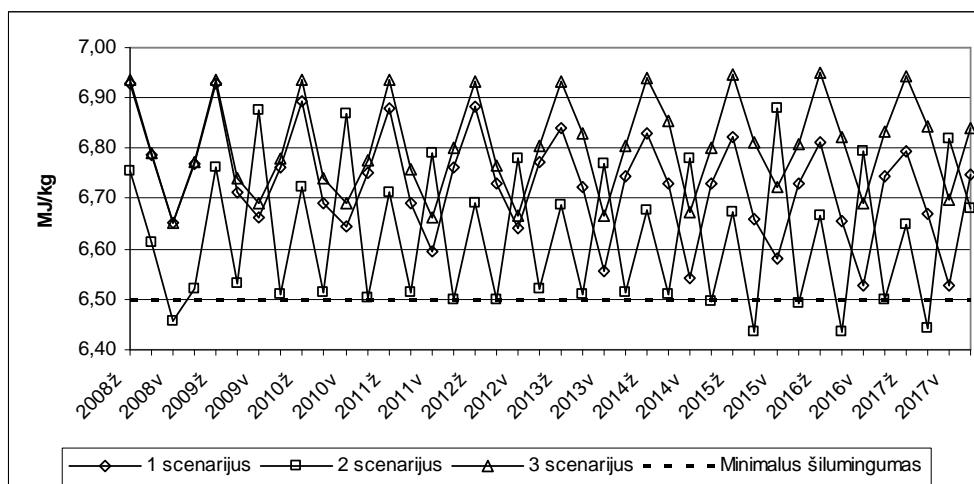
Jei kartu su nerūšiuotomis MKA degintume DŠF iš papildomų regionų, gautas bendras šilumingumas padidėtų taip, kaip parodyta 3.19 pav.



3.19 pav. Bendras atliekų šilumingumas skirtingais sezonais 3 alternatyvos atveju

Žiemos periodu deginamų atliekų šilumingumas yra didžiausias, ir net nenaudojant papildomo kuro pasiekama minimalaus šilumingumo riba. Todėl siūloma žiemos laikotarpiu susidariusias didelio šilumingumo frakcijas iš kitų regionų deginti pavasario (1 ir 2 scenarijų atvejais) ir vasaros laikotarpiu (2

scenarijaus atveju). Tokiu atveju šilumingumo padidėjimo laipsnis pateiktas 3.20 pav.



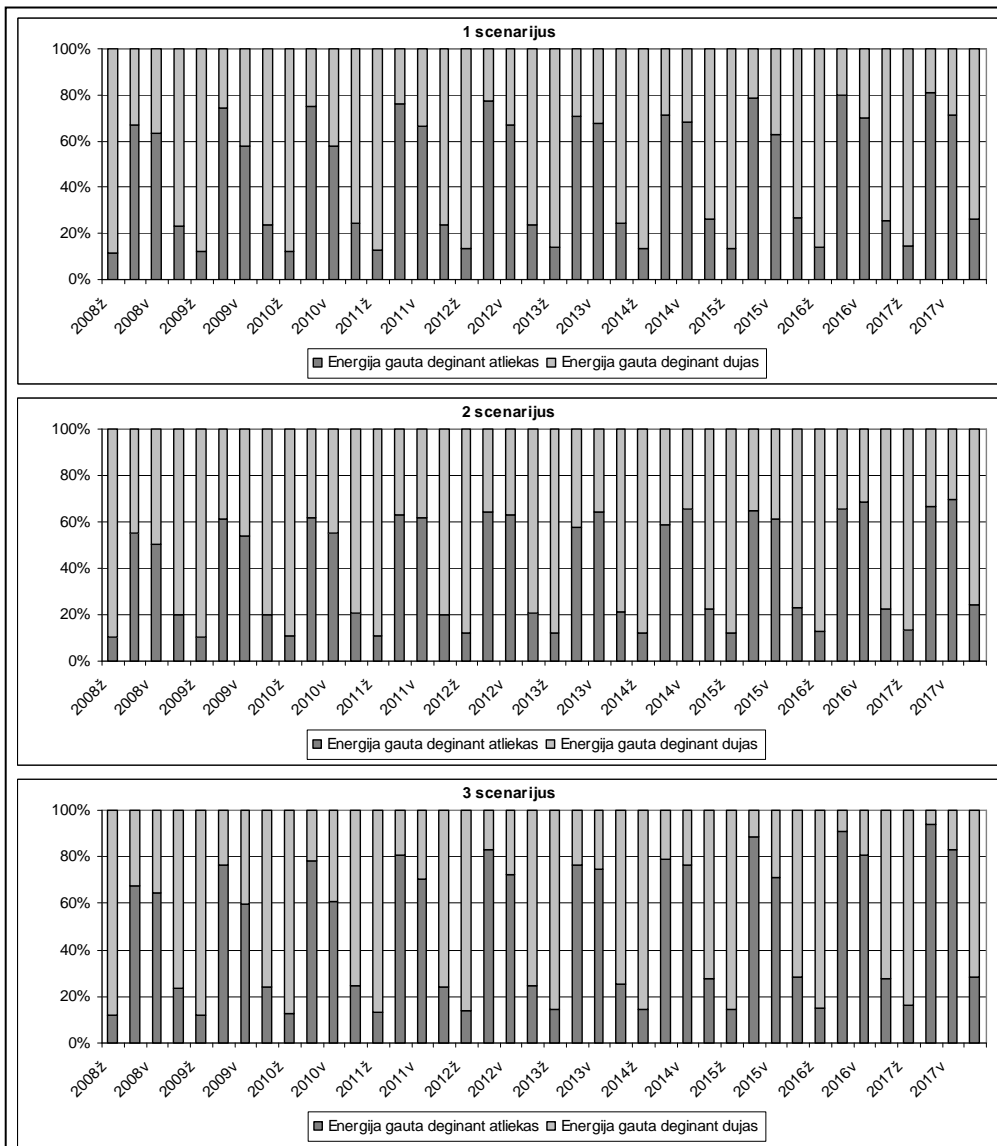
3.20 pav. Bendras atliekų šilumingumas skirtingais sezonais didelio šilumingumo frakciją deginant pavasario ir vasaros sezonais

Tokiu būdu gautos energijos kiekio dalis, kuri padengtų reikalingą viso integruoto šilumos tinklo poreikį skirtingais sezonais pateikta 3.21 pav.

Pavasario ir vasaros sezonais, kai reikalinga šiluminės energijos galia vidutiniškai siekia 60 MW, iš atliekų gauta energija galima padengti virš 50% reikalingo kiekio.

Išvada: Sezoninio komunalinių atliekų šilumingumo kitimo analizės rezultatai rodo, kad žiemos laikotarpiu atliekų šilumingumas yra didesnis už minimalų (3 scenarijaus atveju ir rudenį). Kaip minėta ankstesniuose skyriuose, tam įtakos turi padidėjęs DŠF kiekis. Taigi, žiemos laikotarpiu MKA būtų galima deginti be papildomo kuro. Rudens sezonu MKA šilumingumas artimas minimaliam reikalingam šilumingumui. Pats mažiausias šilumingumas yra pavasarį ir vasarą. Bendras atliekų šilumingumas palaipsniui mažės gerėjant rūšiavimui namų ūkiuose.

Įvertinus rezultatus, energetiniu požiūriu tikslingiausia diegti tarpregioninę ATS su komunalinių atliekų deginimo įmone, kaip papildomą kurą pavasario ir vasaros sezonais naudojant iš gretimų didmiesčių regionų gaunamą DŠF. Tinkamai paskirstant šio papildomo kuro panaudojimą, iš atliekų gauta energija galima padengti virš 50% reikalingo šiluminės energijos kiekio reikalingo pavasario ir vasaros sezonais (kai šiluminės energijos galia vidutiniškai siekia 60 MW).



3.21 pav. Energijos kiekis gautas deginant atliekas

3.8. Mišrių komunalinių atliekų deginimo aplinkosauginių rodiklių apskaičiavimo rezultatai

Vienas svarbiausių aspektų, į kurį atsižvelgiama renkantis ATS – poveikis aplinkai. Atliekų deginimas kone labiausiai teršianti technologija, tačiau tokio atliekų nukenksminimo būdo privalumas – taškinis taršos šaltinis. Taigi, išskiriami teršalai gali būti sumažinami pritaikius tinkamą nukenksminimo technologiją.

Darbe vertinami tik tokie teršalai, kurių susidarymą mažai įtakoja pavojingųjų atliekų (pvz., baterijų, elektros ir elektroninės įrangos atliekų), kurių neturėtų būti

MKA sraute, buvimas atliekose. Priimtas susidarančių teršalų išvalymo efektyvumas pateikiamas 1.7 lent.

Taip pat vertinamas VSATP reikalavimo deginti tik MBA apdorotas atliekas įtaka aplinkosauginiams rodikliams. Buvo apskaičiuotas bendras išsiskiriančių dujų tūris (m³) tonai atliekų ir teršalų, priklausančių nuo deginamų atliekų sudėties (SO₂ ir HCl), kiekiai. Aplinkosauginiai rodikliai apskaičiuoti pagal 2.4 skyriuje aprašytą metodiką.

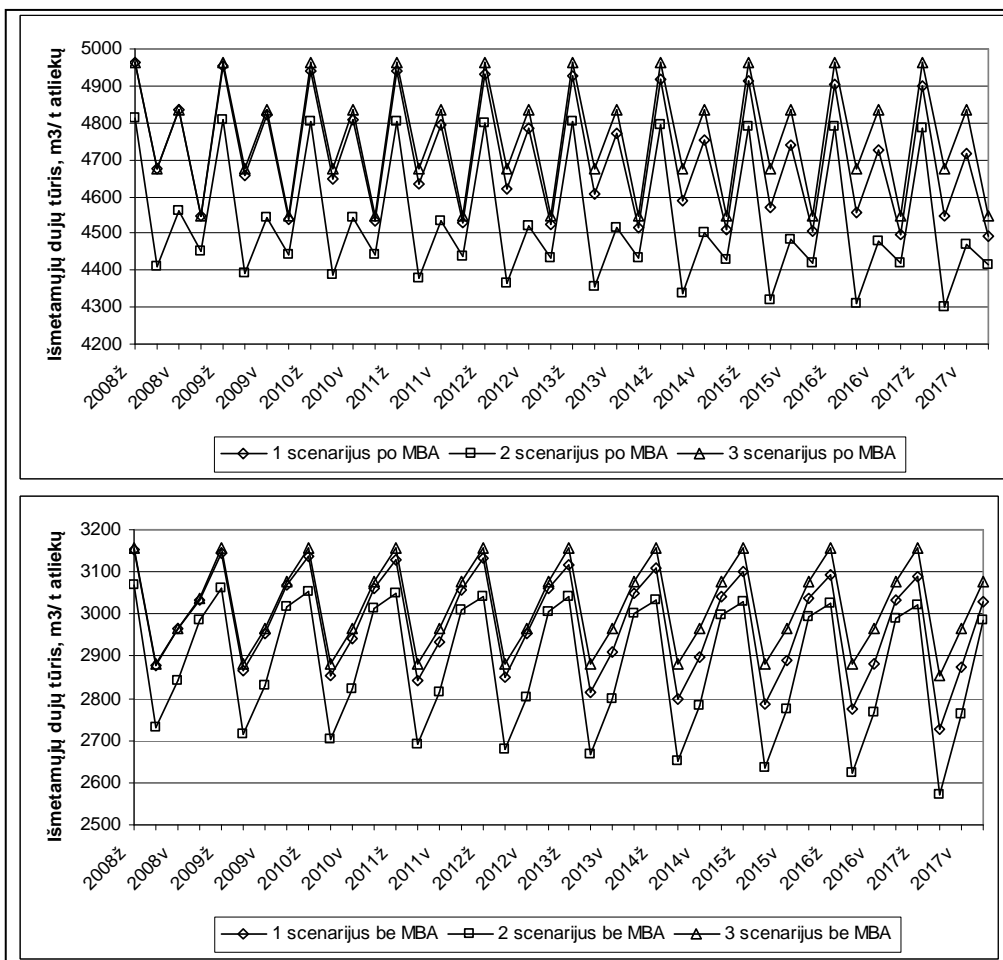
Pažymėtina, kad mechaninis – biologinis MKA apdorojimas pakeistų ne tik jų sudėtį, bet tuo pačiu įtakotų ir išsiskiriančių išlakų sudėtį. Susikongravus daugiau teršiančių medžiagų išskiriančioms atliekoms (po MBA), išmetamųjų dujų tūris tenkantis 1 tonai atliekų padidėja (3.13 lent.). Taip pat atkreipiamas dėmesys, kad išmetamųjų dujų tūris mažėja geriau išrūšiuotus atliekas namų ūkiuose.

Jei atliekų rūšiavimas namų ūkiuose didės nežymiai (1 scenarijus), išmetamųjų dujų tūris galimai sumažės apie 2% per 10 metų. Prieš deginimą atliekas nukreipus į MBA, dujų tūris gerėjant pirminiam rūšiavimui mažės lėčiau.

3.13 lentelė. Išmetamųjų dujų tūris (m³) tonai atliekų

Metai	Išmetamųjų dujų tūris m ³ /t					
	1 scenarijus po MBA	1 scenarijus be MBA	2 scenarijus po MBA	2 scenarijus be MBA	3 scenarijus po MBA	3 scenarijus be MBA
2008	4745	3017	4577	2930	4745	3019
2009	4733	3007	4558	2922	4745	3019
2010	4725	2999	4565	2916	4745	3019
2011	4717	2992	4559	2910	4745	3019
2012	4708	2984	4556	2903	4745	3019
2013	4701	2976	4551	2897	4745	3019
2014	4690	2967	4541	2888	4745	3019
2015	4680	2960	4533	2882	4745	3019
2016	4672	2953	4530	2877	4745	3019
2017	4667	2949	4530	2875	4745	3019

Analizuojant išmetamųjų dujų tūrį skirtingais sezonais, matyti, kad didžiausias jų kiekis išsiskiria žiemos laikotarpiu (5% daugiau palyginus su vidurkiu), kai bendrame sraute padaugėja plastikų. Mažiausias kiekis neapdorotus MKA išsiskiria pavasarį, kuomet sraute vyrauja biologinės atliekos (5-7% palyginus su vidurkiu). Deginant atliekas po MBA, mažiausias kiekis išsiskiria pavasarį 2 scenarijaus atveju (4% mažiau palyginus su vidurkiu). 1 ir 3 scenarijais mažiausias kiekis išsiskiria rudenį. Tai galima paaiškinti plastikų ir biologinių atliekų kiekių kitimais. Apibendrinant galima teigti, kad išmetamųjų dujų tūriui, tenkančiam 1 tonai atliekų, sezonai didelės įtakos nedaro (3.23 pav.).



3.22 pav. Išmetamųjų dujų tūris sezonais

Tačiau, analizuojant išmetamųjų dujų turį tenkantį energijos vienetui (m³/kWh), matyti, kad deginant neapdorotas atliekas, susidaro didesnis išmetamųjų dujų tūris (3.14 lent.).

Deginant atliekas po MBA, HCl kiekis išmetamose dujose (kg/ tonai atliekų) padidėja 63% palyginus su atliekų deginimu be papildomo apdorojimo (3.14 lent.). Gerėjant rūšiavimui namų ūkiuose po MBA deginamos atliekos išskirs vis daugiau HCl, nors šis padidėjimas nesieks 1% per 10 metų (1 scenarijaus atveju). Tačiau deginant prieš tai neapdorotas atliekas ir gerėjant pirminiam rūšiavimui, išsiskiriantis HCl kiekis mažės. Nors vertinant HCl koncentraciją išmetamose dujose matyti, kad didėjant atliekų rūšiavimui tiek prieš deginimą atliekas apdorojus MBA, tiek deginant neapdorotas atliekas, didės nežymiai: apie 2% per 10 metų. Pažymėtina, kad geriau rūšiuojant MKA namų ūkiuose, HCl koncentracija didės lėčiau.

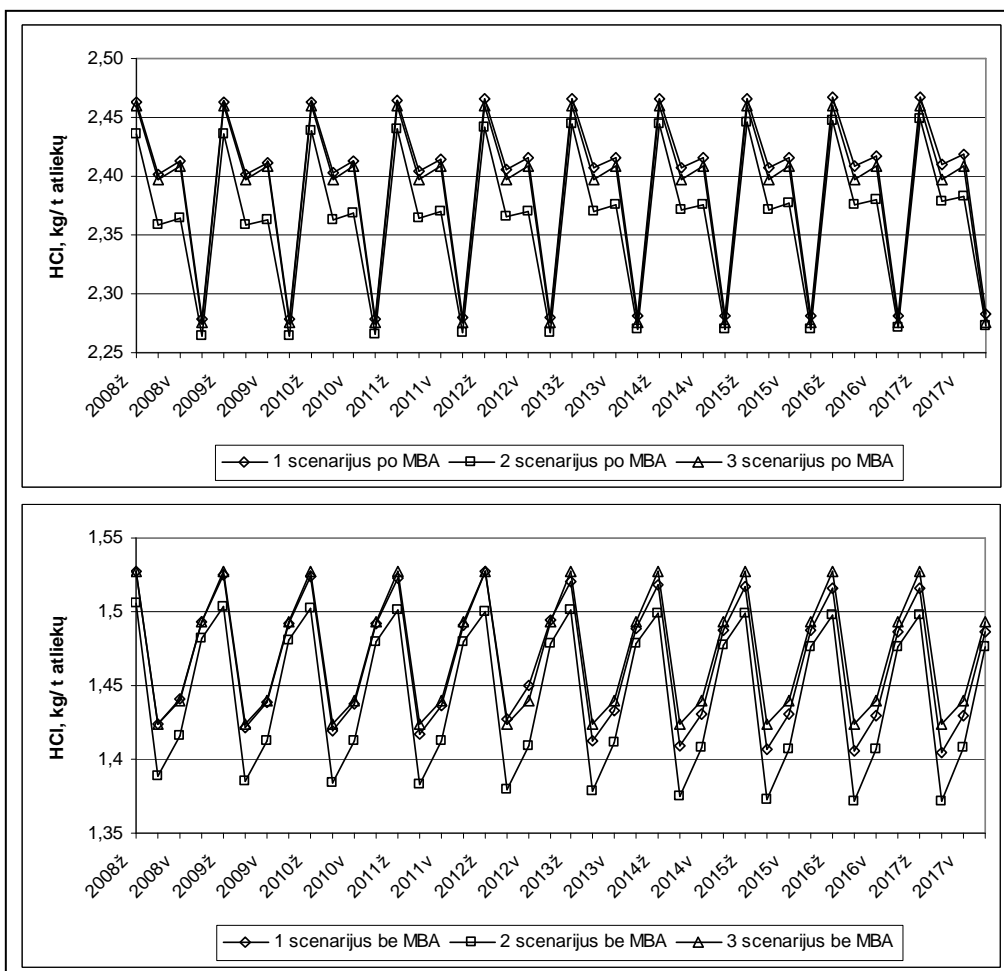
3.14 lentelė. Išmetamųjų dujų tūris (m³) energijos kiekiui (kWh)

Metai	Išmetamųjų dujų tūris, m ³ /kWh					
	1 sc. po MBA	1 sc. be MBA	2 sc. po MBA	2 sc. be MBA	3 sc. po MBA	3 sc. be MBA
2008	198,29	209,65	198,78	210,21	198,29	209,46
2009	197,48	209,78	198,44	210,36	198,29	209,46
2010	198,36	209,88	198,84	210,45	198,29	209,46
2011	198,40	210,00	198,87	210,58	198,29	209,46
2012	198,43	210,11	198,89	210,68	198,29	209,46
2013	198,46	210,22	198,91	210,80	198,29	209,46
2014	198,50	210,35	198,95	210,93	198,29	209,46
2015	198,54	210,46	198,98	211,05	198,29	209,46
2016	198,57	210,57	199,00	211,15	198,29	209,46
2017	198,59	210,64	199,00	211,21	198,29	209,46

3.15 lentelė. HCl kiekis išmetamose dujose (kg) tonai atliekų ir energijos kiekiui (kWh) (2008-2017 m.)

	1 sc. po MBA	1 sc. be MBA	2 sc. po MBA	2 sc. be MBA	3 sc. po MBA	3 sc. be MBA
kg/t atliekų	2,39	1,47	2,36	1,45	2,39	1,47
mg/m³	504–513	488–496	516–524	496–503	503	488
kg/kWh	0,080–0,082	0,082–0,084	0,082–0,083	0,083–0,085	0,080	0,082

HCl atveju, teršalų kiekiui tenkančiam 1 tonai atliekų, sezoniškumas neturės didelės įtakos (rudenį teršalų kiekis sumažės 5%, o žiemą padidės 3% palyginus su metiniu vidurkiu) prieš tai apdorojus atliekas MBA. Deginant neapdorotas MKA, kiekis 3-4% sumažės rudenį ir 3% padidės žiemą palyginus su metiniu vidurkiu.



3.24 pav. HCl kiekis sezonais

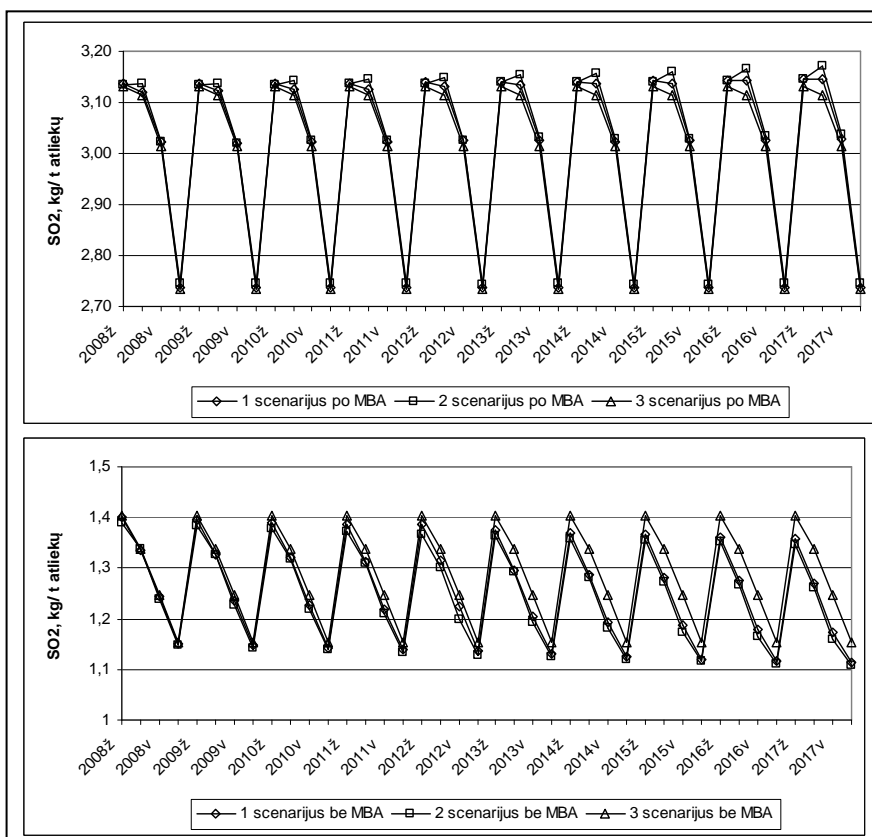
Taip pat 3.15 lent. pateikiami duomenys apie HCl kiekį tenkantį energijos vienetui.

SO₂ kiekis išmetamose dujose (kg) tonai atliekų prieš deginimą apdorojus jas MBA padidėja daugiau kaip dvigubai palyginus su MKA deginimu be papildomo apdorojimo (3.16 lent.). Kaip ir HCl atveju, SO₂ kiekis gerėjant rūšiavimui deginant atliekas po MBA didės iki 1% per 10 metų. Deginant MKA be papildomo apdorojimo gerėjant rūšiavimui išskiriamas SO₂ kiekis mažes. Šio teršalo koncentracija gerėjant rūšiavimui, per 10 metų didės nežymiai, tačiau kitaip nei HCl atveju, deginant geriau išrūšiuotas atliekos teršalų koncentracija didės.

3.16 lentelė. SO₂ kiekis išmetamose dujose (kg) tonai atliekų ir energijos kiekiui (kWh) (2008-2017 m.)

	1 sc. po MBA	1 sc. be MBA	2 sc. po MBA	2 sc. be MBA	3 sc. po MBA	3 sc. be MBA
kg/t atliekų	3,01	1,29	3,02	1,28	3,01	1,29
mg/m ³	635-647	426-420	660-669	438-428	634	427
kg/kWh	0,101-0,103	0,072-0,071	0,105-0,106	0,074-0,072	0,101	0,071

Analizuojant sezoniškumo įtaką, kaip ir bendro išmetamųjų dujų tūrio atveju, SO₂ atveju, SO₂ kiekiui tenkančiam 1 tonai atliekų, sezoniškumas neturės didelės įtakos (rudenį teršalų kiekis sumažės 9%, o žiemą padidės 4% palyginus su metiniu vidurkiu) prieš tai apdorojus atliekas MBA. Deginant neapdorotas MKA, įtaka padidės iki 11% sumažėjimo rudenį ir 9% padidėjimu žiemą palyginus su metiniu vidurkiu.



3.25 pav. SO₂ kiekis sezonais

Tai, kad atliekų apdorojimas MBA prieš deginimą ne tik smarkiai sumažina pagaminamos energijos kiekį (palyginus su MKA deginimu), bet ir išskiria daugiau teršalų, teigia ir kiti tyrėjai atlikę analizę gyvavimo ciklo vertinimo modeliu (Consonni, 2005a,b; Giugliano, 2008).

Prieš išleidžiant dūmus į aplinką, jie turi būti išvalyti iki leistinų ribų. Darbe įvertintos ES teisės aktuose nurodomos leistinos deginimo ribos. Priimame, kad išvalymas pasiekia 1.7 lent. pateiktas vertes. Į aplinką išsiskiriančių teršalų vertės pateikiamos 3.17 lent. HCl atveju išvalytų teršalų koncentracijos beveik nepriklauso nuo atliekų rūšiavimo efektyvumo (nuo scenarijų).

Palyginimui kaip apskaičiuotos vertės atspindi realiai veikiančios atliekų deginimo įmonės išmetamas teršalų koncentracijas, 3.17 lent. pateikiamos realiai veikiančios atliekų deginimo įmonės išskiriamų teršalų koncentracijos.

Vertinama Darmštado mieste (Vokietija) veikiančių komunalinių atliekų deginimo įmonė. Įmonė veikia nuo 1967 m. Trijose deginimo linijose per metus sudeginama apie 212 000 t komunalinių, didelio gabaritų ir komercinėse įmonėse susidarantių atliekų. Integruotas šiluminės energijos tinklo poreikis – 63 GWh per metus. Šios įmonės išlakų valymo sistemą sudaro ciklonas, elektrostatinis nusodintuvas, trijų pakopų skruberis ir DeNOx (SCR) sistema.

Vertinant atliekų deginimo įmonės vidutines metines išsiskiriančių teršalų vertes ir palyginus su darbe apskaičiuotomis vertėmis (įvertinus siūlomą valymo efektyvumą) matyti, kad gauti rezultatai yra mažesni negu Darmštado mieste išmetamų teršalų koncentracijos. Galima daryti išvadą, kad realiai veikiančioms įmonėms nepavyksta pasiekti 1.7 lent. nurodyto išvalymo efektyvumo.

3.17 lentelė. Į aplinką po dujų išvalymo išsiskiriantys teršalai

Teršalas	Darbe apskaičiuotos vertės po išvalymo, mg/m ³	Darmštado m. atliekų deginimo įmonės vidutinė dienos vertė, mg/m ³	ES Direktyvoje nustatyta atliekų deginimo ribinė vidutinė dienos vertė, mg/m ³
HCl			
Po MBA	0,25 – 0,26	0,64	10
Be MBA	0,24 – 0,25		
SO₂			
1 sc. po MBA	0,82 – 0,84	27	50
1 sc. be MBA	0,56 – 0,57		
2 sc. po MBA	0,86 – 0,87		
2 sc. be MBA	0,57 – 0,58		
3 sc. po MBA	0,82		
3 sc. be MBA	0,56		

Priimant, kad atliekų deginimo įmonei būtų nustatyta paros ribinės vertės iki 10 mg/m³ HCl ir 50 mg/m³ SO₂ galima teigti, kad darbe apskaičiuoti aplinkosauginiai rodikliai neviršytų nustatytų normų, jei HCl valymo efektyvumas siektų 98%, o SO₂ – 93% deginant atliekas po MBA ir 89% deginant atliekas be MBA.

Išvada: Analizuojant teršalų išsiskyrimą deginant DŠF (apdorotas atliekas) ir deginant MKA (neapdorotas atliekas), nustatyta, kad deginant DŠF išmetamųjų dūmų tūris tenkantis 1 tonai atliekų didesnis 1,6 karto negu deginant MKA.

Išmetamųjų dūmų tūris mažėja, kai atliekos geriau išrūšiuojamos namų ūkiuose (apie 2% per 10 metų 1 ir 2 scenarijais).

Deginant DŠF HCl kiekis išmetamosiose dujose (kg/ tonai atliekų) padidėja 63% palyginus su MKA deginimu. Gerėjant rūšiavimui namų ūkiuose deginamos MKA išskirs vis daugiau HCl. Gerėjant atliekų rūšiavimui tiek deginant DŠF, tiek deginant MKA, HCl koncentracija išmetamuose dūmuose didės nežymiai. Tačiau pažymėtina, kad geriau rūšiuojant MKA namų ūkiuose, HCl koncentracija didės lėčiau.

SO₂ kiekis išmetamuose dūmuose (kg/ tonai atliekų) deginant DŠF padidėja daugiau kaip dvigubai (2,4 karto) palyginus su MKA deginimu. Gerėjant rūšiavimui deginant DŠF SO₂ kiekis didės iki 1% per 10 metų. Deginant MKA, gerėjant rūšiavimui išskiriamas SO₂ kiekis mažės. Šio teršalo koncentracija gerėjant rūšiavimui, nors ir nežymiai (iki 1%), didės.

Nustatyta, kad sezoniškumas didelės įtakos išsiskiriantiems teršalams nedarys.

Atsižvelgiant į Direktyvoje nustatytas paros ribinės vertės iki 10 mg/m³ HCl ir 50 mg/m³ SO₂ galima teigti, kad darbe apskaičiuoti aplinkosauginiai rodikliai neviršytų nustatytų normų, jei HCl valymo efektyvumas siektų 98%, o SO₂ – 93% deginant DŠF ir 89% deginant MKA.

3.9 Prognozės ekstremumų analizė

Prognozės ekstremumai analizuojami, kad parodytų, kaip vienu ar kitu analizuojamų elementų nukrypimai paveiktų darbe pateiktus rezultatus. Nagrinėjama, kaip pasikeistų deginamų atliekų kiekis, jei būtų netiksliai prognozuoti MKA kiekis ir sudėtis.

Darbe naudojami atliekų kiekių prognozės, kurios paklaida 6,5%, rezultatai. Iš to išplaukia, kad komunalinis atliekų kiekis gali būti 6,5% didesnis arba tiek pat mažesnis. Tuomet gauti rezultatai pateikiami 3.17 lent.

3.18 lentelė. Atliekų kiekiai po mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% didesni negu prognozuota

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 sc., t/metus	18500	18800	19100	19451	20100	20100	20400	20700	20900	21600
2 sc., t/metus	16300	16600	17000	17313	18000	18000	18300	18600	18800	19500
3 sc., t/metus	18600	19100	19700	20250	21200	21400	21900	22400	23000	23900

3.19 lentelė. Atliekų kiekiai be mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% didesni negu prognozuota

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 sc., t/metus	182000	185100	188400	192100	197900	199100	202300	205200	207900	214600
2 sc., t/metus	158700	162000	165400	168900	175500	176300	179700	182600	185100	191500
3 sc., t/metus	183500	188400	193700	199300	208300	210300	215600	220800	225900	235200

Priimama, kad Kauno mieste būtų statomas deginimo įrenginys vadovaujantis atliktos Komunalinių atliekų deginimo Kaune studijos rezultatais (KTU, 2007), tuomet jos deginimo našumas būtų 200 000 t/metus ir ji turėtų tik vieną atliekų deginimo katilą (liniją). Matyti, kad realiai susidarius daugiau atliekų negu buvo prognozuota, problemų neiškiltų deginant atliekas po MBA. Deginimo stoties našumo rezervas liktų. Tačiau deginant neapdorotas atliekas, deginimo stoties našumo nebeužtektų nuo 2014 m. 1 scenarijaus atveju ir nuo 2012 m. 3 scenarijaus atveju.

Jei realiai būtų surinkta 6,5% mažiau atliekų negu prognozuota (3.19 lent.), dar labiau sumažėtų išskiriamas energijos kiekis. Deginant neapdorotas atliekas projektuojamo deginimo stoties našumo nebeužtektų nuo 2017 m. 3 scenarijaus atveju.

3.20 lentelė. Atliekų kiekiai po mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% mažesni negu prognozuota

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 sc., t/metus	16200	16500	16800	17100	17700	17700	17900	18100	18400	19000
2 sc., t/metus	14300	14600	14900	15200	15800	15800	16000	16300	16500	17100
3 sc., t/metus	16300	16800	17300	17800	18600	18800	19200	19700	20100	21000

3.21 lentelė. Atliekų kiekiai be mechaninio biologinio apdorojimo, jei realūs atliekų kiekiai būtų 6,5% mažesni negu prognozuota

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1 sc., t/metus	159800	162500	165400	168700	173700	174800	177600	180200	182500	188400
2 sc., t/metus	139300	142200	145200	148300	154100	154800	157700	160300	162500	168100
3 sc., t/metus	161100	165400	170100	175000	182800	184600	189300	193800	198300	206500

Atsižvelgiant į galimus netikslumus prognozavime, taip pat įvertinant katilo gedimo tikimybę, siūloma įrengti antrą deginimo liniją, kuri būtų mažesnio galingumo nei pirmoji (pvz., 75% pirmosios našumo). Tokiu atveju antroji linija būtų įjungžiama laikinai sustabdžius pirmąją remontui ir pradėtų nuolat veikti padidėjus deginamų atliekų kiekiui daugiau kaip 200 000 t/metus. Jei atliekų kiekis didėtų ir toliau, siūloma įrengti trečiąją deginimo liniją.

IŠVADOS

1. Didžiausias komunalinių atliekų susidarymas vienam gyventojui būdingas balandžio, rugsėjo ir spalio mėnesiais (6,8-7,6 kg/sav.), mažiausias – sausio ir vasario mėnesiais (4,9-5,6 kg/sav.).

2. Komunalinių atliekų susidarymo prognozei sukurta atliekų kiekio prognozavimo metodika, derinant laiko eilučių analizės autoregresinio integruoto slenkančio vidurkio (ARIMA) ir sezoninio eksponentinio glodinimo (SES) modelius, pakankamai tiksliai ($r^2=0,897$) atkartoja sezoninius atliekų kiekio

svyravimo dėsninumus, todėl ja galima remtis planuojant atliekų tvarkymo sistemą. Derinant ARIMA ir SES prognostinius modelius, ARIMA modelio dėka galima įvertinti augimo tendenciją ($r^2=0,874$), o SES modeliu įvertinami sezoniniai svyravimai ($r^2=0,889$), efektyviai išvengiant atsitiktinių verčių įtakos.

3. Vidutinis metinis mišrių komunalinių atliekų (MKA) šilumingumas (6,12-6,48 MJ/kg) nėra objektyvi šilumingumo charakteristika, apsunkinanti atliekų deginimo proceso optimizavimą. Rudens ir žiemos metu surenkamų atliekų šilumingumas (6,50-6,82 MJ/kg) yra pakankamas atliekų deginimui be papildomo kuro, o vasarą (5,85-6,36 MJ/kg) ir pavasarį (5,86-6,21 MJ/kg) jis turi būti padidintas 4-6%, kartu papildomai deginant didelio iš gretimų regionų gaunamą didelio šilumingumo frakciją (DŠF) arba kietą kurą.

4. Miesto atliekų tvarkymo sistemoje deginant tik po mechaninio biologinio apdorojimo (MBA) susidarančią DŠF, būtų galima padengti 2,6-4,0% miesto metinio šilumos poreikio. Papildomai deginant iš miestui kaimyninių regionų gautą DŠF (pvz., darbe analizuojama galimybė Kaune deginti ne tik Kauno regione susidariusią DŠF, bet ir Alytaus ir Marijampolės regionuose susidariusią DŠF), padengiamą šilumos poreikį galima būtų padidinti iki 5,3-7,8%.

5. Deginant neapdorotas mieste susidarančias MKA ir iš kaimyninių regionų gaunamą DŠF (darbe analizuojamu atveju), galima padengti 18,7-27,7% šiluminės energijos poreikio. Atliekų šilumingumo sezoninį kitimą amortizuojant DŠF iš kaimyninių regionų (darbe analizuojamu atveju), galima patenkinti 50-90% miesto šilumos poreikio ne šildymo sezono metu (vasaros ir pavasario laikotarpiu).

6. Išmetamųjų dūmų tūris, tenkantis 1 tonai atliekų, yra 1,6 karto didesnis DŠF deginimo atveju. Atitinkamai tiek pat kartų didesnis yra HCl susidarymas (kg/1 tonai atliekų). Tačiau 1-2% mažiau HCl išsiskiria 1 kWh. SO₂ susidarymas (kg/1 tonai atliekų) yra didesnis 2,4 karto ir 40-47% didesnis pagamintai 1 kWh.

7. Sezoniško įtaka teršalų išsiskyrimui komunalinių atliekų deginimo metu nežymi. Deginant DŠF sezoniniai išmetamųjų dūmų tūrio, tenkančio 1 tonai atliekų, svyravimai sudaro 1-5%, o deginant MKA - 5-7%. 1 tonai atliekų tenkantis sezoninis HCl susidarymas DŠF atveju svyruoja 1-5%, MKA atveju - 1-4%. Atitinkamas SO₂ susidarymas DŠF atveju svyruoja 1-9%, o MKA atveju - 9-13%.

REKOMENDACIJOS

Planuojant optimalią komunalinių atliekų tvarkymo sistemą rekomenduojama:

1. Regionams, turintiems ilgalaikius ir kokybiškus duomenis apie komunalinių atliekų susidarymą, atliekų kiekio prognozę atlikti laiko eilučių metodu keliais būdais ar derinti pasirinktus metodus, ieškant tiksliausio modelio. Autoregresinio integruoto slenkančio vidurkio (ARIMA) ir Sezoninio eksponentinio glodinimo (SES) metodų derinys yra tiksliausias vertinant Kauno m. duomenis.

2. Socialinių-ekonominių ir atliekų kiekio augimo priklausomybe paremtą atliekų susidarymo prognozę naudoti miestams, kuriuose atliekų susidarymą įtakoja išimtinai miesto gerbūvio pokyčiai. Naudojant regresijos metodą vienas pradinis (įvesties) taškas neįvertina mišrių komunalinių atliekų susidarymo tendencijų, todėl būtina žinoti galimas mišrių komunalinių atliekų susidarymo didėjimo priežastis,

pvz., ar susidarymo neįtakoja sinergetinis trumpalaikių ir ilgalaikių veiksnių poveikis. Siekiant įsitikinti, ar įvesties taškas yra parinktas tinkamai, gautus prognozės rezultatus rekomenduojama palyginti su laiko eilučių analizės metodais gautais prognozavimo rezultatais.

3. Diegiant naujas atliekų tvarkymo technologijas, atsižvelgti į nustatytus sezoninius atliekų kiekio ir šilumingumo svyravimus, bei įvertinti kaimyninių regionų didelio šilumingumo frakcijų ar kitų didelio šilumingumo atliekų ir kieto kuro papildomo deginimo galimybes.

4. Planuojant Lietuvoje statyti komunalinių atliekų deginimo įrenginius kaip energijos gamybos objektus, įvertinti riziką, jog Valstybinio strateginio atliekų tvarkymo plano reikalavimas deginti tik po rūšiavimo likusias atliekas (didelio šilumingumo frakcijas) mažai patenkintų miesto šilumos poreikius. Rekomenduojama papildomai atlikti ekonominį didelio šilumingumo frakcijų deginimo įvertinimą.

GAUTŲ REZULTATŲ TAIKYMO GALIMYBĖS

Atlikus išsamią Kauno miesto duomenų analizę paaiškėjo, kaip MKA surinkimas kinta metų bėgyje. Paaiškėjo, kad didžiausi MKA kiekiai susidaro balandžio, rugsėjo ir spalio mėnesiais, o mažiausi – sausio ir vasario mėnesiais. Atsižvelgus į metinius tokių kitimų pasikartojimus ARIMA+SES modelio pagalba prognozuotas Kauno miesto atliekų kiekis dešimčiai metų gali būti naudojamas planuojant Kauno miesto ATS. Šie duomenys ypač vertingi dėl to, kad prognozuojamos savaitinės vertės. Taip galima numatyti konteinerių prisipildymo laipsnį skirtingais metų sezonais. Nors kol kas, kai vienintelis MKA tvarkymo būdas Kauno mieste – šalinimas sąvartyne, ši informacija labiausiai naudinga planuojant konteinerių ištuštinimo dažnumą ir pan. Tačiau įdiegus papildomas atliekų tvarkymo technologijas, ši prognozė taps nepakeičiama skaičiuojant technologijų parametrus. Paskaičiuota modelio paklaida 6,5%. Papildomai ištyrus MKA sudėtį ir jos kitimą metų bėgyje, atliekų naudojimą galima dar labiau optimizuoti. Pvz., galima numatyti MBA ir atliekų deginimo įmonių darbo režimus.

2007 m. atliktoje studijoje apie galimybę Kauno m. surenkamas MKA deginti (KTU, 2007), pasiūlyta įrengti Kauno atliekų deginimo įmonę, kurios galia būtų 200.000 t atliekų/metus. Tačiau disertacijos darbe atlikus papildomus skaičiavimus, įvertinus teisės aktų reikalavimus paaiškėjo, kad deginant MKA apdorotas MBA, susidarytų labai nedideli atliekų kiekiai, kurie padengtų tik nežymią dalį šiluminės energijos poreikio. Tačiau deginant neapdorotas MKA, išrūšiavimo namų ūkiuose nepakaktų, ir šiuo metu susidarančių MKA šilumingumas būtų per mažas. Tokios atliekos nedegtų be papildomo kuro. Darbe pasiūlyta išeitis – kaip papildomą kurą naudoti kaimyniniuose regionuose susidarantį DŠF. Taip būtų sutaupomos išlaidos atliekų gabenimui iš regionų ir į Kauno m. atliekų deginimo įmonę patektų didelio šilumingumo kuras.

Lietuvoje iki šiol nebuvo atlikta nei viena galimybių studija, kuri įvertintų kaip ATS įtakoja sezoniškai kintantys komunalinių atliekų kiekis ir sudėtis. Įvertinus darbe gautus duomenis paaiškėjo, kad norint optimaliai eksploatuoti atliekų deginimo įmonę, būtina sukaupti duomenis tiek apie sezoniškai kintantį

atliekų kiekį, tiek apie jų sudėtį. Darytina išvada, kad planuojant optimalią ATS būtina nuolat stebėti MKA sudėties kitimą metų bėgyje.

Analizuojant ir vertinant tik vidutines metines atliekų kiekio ir sudėties reikšmes, prarandama galimybė planuoti atliekų tvarkymo įrenginių (pvz. deginimo) režimą.

Atlikti skaičiavimai parodė, kad žiemos laikotarpiu MKA šilumingumas yra daug didesnis nei rudenį. Taigi, apskaičiavus būtiną šilumingumą degimui palaikyti, DŠF frakcijas galima būtų sandėliuoti ir jas panaudoti pvz. rudens sezonu, kai MKA šilumingumas smarkiai sumažėja dėl didelės biologinių atliekų dalies.

Šitai paskirsčius deginamas atliekas nešildymo sezono metu galima padengti daugiau kaip pusę viso šiluminės energijos poreikio. Tuo tarpu šildymo sezono metu ši energija galėtų padengti tik iki 20%.

Tačiau deginti neapdorotų atliekų (t.y. „neatskyrus perdirbti tinkančių frakcijų“) neleidžia Lietuvos teisės aktai. Tokia atliekų tvarkymo sistema gali pareikalauti politinio sprendimo.

Pažymėtina, kad planuojant ATS būtinas ir ekonominis atliekų tvarkymo technologijų įvertinimas, kuris šiame darbe nebuvo atliktas.

Daugelis rytų Europos šalių šiuo metu planuoja ar tobulina savo ATS nuo atliekų šalinimo sąvartyne pereidami prie MBA ar kitų, atliekų tvarkymo prioritetų eilėje aukščiau esančių atliekų tvarkymo technologijų. Planavimo etape būtina tinkamai įvertinti susidarančių atliekų kiekį.

Kauno miesto duomenų pagrindu sukurta MKA susidarymo prognozavimo metodika gali būti taikoma ir kitiems miestams, turintiems ilgalaikius ir kokybiškus duomenis apie atliekų susidarymą. Rekomenduojama naudoti darbe aprašytą prognozavimo metodiką prieš tai atnaujintus matematinės formules turimais analizuojamo miesto duomenimis. Be to, atlikus prognozavimo tyrimus Kauno miesto duomenų pagrindu paaiškėjo, kad MKA susidarymo prognozavimui svarbu naudoti kelis metodus ir taip patikrinti gautų rezultatų patikimumą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Aplinkos apsaugos agentūros (AAA) duomenų bazė. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/cms/index>
2. Armstrong, J. S. Principles of forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners, 2001.
3. Arrow K., Boling B., Costanza R., Dasgupta P., Folke, C., Holling S., Jansson B.-O., Levin S., Mäler K.-G., Perrings C., Pimentel D. Economic growth, carrying capacity and the environment // Science. N 268. p.p.520-521, 1995.
4. Bach H, Mild A, Natter M, Weber A. Combining socio-demographic and logistic factors to explain the generation and collection of waste paper. Resources Conservation and Recycling. Volume: 41, No. 1, 65-73, 2004.
5. Bandara N. J. G. J, Hettiaratchi J. P. A, Wirasinghe S. C, Pilapiiya S. Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. Environmental Monitoring and Assessment. Volume: 135, No. 1-3, 31-39, 2007.
6. Beckmann M., Horeni M., Scholz R. Schnittstelle und Aufbereitungstiefe von Ersatzbrennstoffen für die energetische Verwertung. Wiemer, K., Kern, M., (ed.). Bio- und Restabfallbehandlung IX (biologisch – mechanisch – thermisch), Witzenhausen, 231-251, 2005.
7. Beigl P., Lebersorger, S., Salhofer, S., 2008. Modelling municipal solid waste generation: a review. Waste Management 28, 200-214, 2008
8. Beigl P., Wassermann G., etc. Deliverable Report on Draft Waste Generation Prognostic Model. The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies, Vien, 2003.
9. Bergsdal, H., Stromman, A.H., Hertwich, E.G. Environmental assessment of two waste incineration strategies for central Norway. International Journal of Life Cycle Assessment. Volume 10, No. 4, 263-272, 2005.
10. den Boer E., den Boer J., etc. Deliverable Report: Environmental Sustainability Criteria and Indicators for waste management The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies, Darmstadt, 2005.
11. Brannlund, R., Lundgren, T. A dynamic analysis of interfuel substitution for Swedish heating plants. Energy Economics. Volume: 26, No. 6, 961-976, 2004.
12. Bruvoll A., Spurkland, G. Waste in Norway up to 2010, reports 95/8, Statistics Norway, 1995.
13. Burnley S.J., Ellis, J.C., Flowerdew, R., Poll, A.J., Prosser, H. Assessing the composition of municipal solid waste in Wales. Resources, Conservation and Recycling 49 (2007) 264-283, 2007.
14. Cerbe G., Hoffmann H.-J., Einführung in die Thermodynamik, 10th ed., Carl Hanser Verlag, Munich/Vienna, 1994.
15. Chang N.-B., Lin Y.T. An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 19, 2001, pp. 165-186.
16. Chao, Y.-L. Time series analysis of the effects of refuse collection on recycling: Taiwan's "Keep Trash Off the Ground" measure Waste Management, Volume 28, Issue 5, 859-869, 2008.

17. Chen, H. W., Chang, N. B. Prediction of Solid Waste Generation via Grey Fuzzy Dynamic Modeling. *Resources Conservation and Recycling*, Vol. 29, 2000, pp. 1-18.
18. Cheshire Local Government Association. Household waste composition report, 2001.
19. Christiansen K.M., Fischer, C. Baseline projections of selected waste streams: Developments of a methodology. European Environmental Agency, Technical Report No. 28, Copenhagen, 1999. Prieiga per internetą: <http://reports.eea.europa.eu/TEC28/en/tech28.pdf>
20. Consonni S, Giugliano M, Grosso M. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste - Part A: Mass and energy balances. *Waste Management*. Volume: 25, No. 2, 123-135, 2005a.
21. Consonni, S., Giugliano, M., Grosso, M.. Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: Emission and cost estimates. *Waste Management* 25, No. 2, 137-148, 2005b.
22. Coopers & Lybrand. Cost-Benefit Analysis of the Different Municipal Solid Waste Management Systems: Objectives and Instruments for the Year 2000, final report, Report for the European Commission DG XI, Brussels, 1996.
23. Černevičiūtė, J. Vartojimas, identitetas ir gyvenimo stilius, *Filosofija. Sociologija* 34/2006, 20-24, 2006.
24. Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S. D. Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and United States of America. *Resources, Conservation and Recycling* 24 (1), 155-166, 1998.
25. Dehoust, G., Gebhardt, P., Gaertner, S. Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, Oeko-Institut, Darmstadt, 2002.
26. Dennison, G. J., Dodd, V. A., Whelan, B. A socio-economic based survey of household waste characteristics in the city of Dublin, Ireland, I. Waste composition. *Resources, Conservation and Recycling* 17 (3), 227-244, 1996.
27. Diaz, L.F., Savage, G.M. Approaches to mechanical – biological treatment of solid waste. Sustainable landfilling. International Seminar and Workshop, Abbey of Praglia (Padua), CISA, Sanitary Environmental Engineering Centre, Italy, June 13–15, 2005.
28. Dyson B., Chang N.-B., Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, Vol. 25, 669–679 2005.
29. Dinda S. A theoretical basis for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics* 53, 403–413. 2005.
30. EEA, Europe's Environment: The Second Assessment, European Environment Agency, Copenhagen. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1998a.
31. Environmental Protection Encouragement Agency. Neue Ersatzbrennstoff-Anlagen – kein Ersatz für intelligentes Stoffstrommanagement, Vokietija, 2007.
32. European Commission. Cost-benefit analysis of the different municipal solid waste management systems: objectives and instruments for the year 2000, 1996.
33. European Commission. Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration. 2006.
34. European Environment Agency EEA. EEA multilingual environmental glossary, Prieiga per internetą: http://glossary.eea.eu.int/EEAglossary/H/household_waste, 2003.
35. European Environmental Agency EEA. Municipal Waste Generation (CSI 016). Assessment Published Jan 2008. Prieiga per internetą: <http://themes.eea.europa.eu/>, 2009.

36. Europos Bendrijų statistikos tarnybos (EUROSTAT) duomenų bazė. Prieiga per internetą: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>.
37. Fabricino, M. An integrated programme for municipal solid waste management. *Waste Management and Research*. Vol. 19, 368–379, 2001.
38. Ferber K., Interim storage of high calorific waste in bales using the example of the waste treatment plant Aßlar – Treatment of residual waste in a MBT-plant in Aßlar (in German). Wiemer, K., Kern, M., (ed.). *Bio- und Restabfallbehandlung II (biologisch – mechanisch – thermisch)*, Witzhausen, 831–855, 1998.
39. Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., Moberg, A. Life cycle assessment of energy from solid waste – Part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*. Volume 13, No. 3, 213–229, 2005.
40. François D., Jullien A. A framework of analysis for field experiments with alternative materials in road construction. *Waste Management*, Volume 29, 374–382, 2009a.
41. François D., Jullien A., Kerzreho J.P., Chateau L. Full-scale experimentations on alternative materials in roads: Analysis of study practices. *Waste Management*, Volume 29, 1076–1083, 2009b.
42. Fricke K., Hake J., Huttner A., Müller W., Santen H., Wallmann R., Turk T. *Aufbereitungstechnologien für Anlagen der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung*. Müll Handbuch, Band 5. No. 5615; MuALfg. 4/03, Berlin 2003.
43. Fricke K., Müller, W. Stabilisierung von Restmüll durch mechanisch-biologisch Behandlung und Auswirkungen auf die Deponierung, Verbundvorhaben. *Mechanisch-Biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen*. Witzhausen, 1999.
44. Fricke K., Müller, W., Santen, H., Wallmann, R., Ziehm, G. Stabilitätskriterien für biologisch behandelten Restmüll, Konsequenzen für den Betrieb von MBA-Anlagen und Deponien; No: 5614; MuA Lfg. 11/02 in Müll Handbuch, Band 5; Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002.
45. Garg A., et al. An integrated appraisal of energy recovery options in the United Kingdom using solid recovered fuel derived from municipal solid waste. *Waste Management*. Volume 29, No. 8, 2289-2297, 2009.
46. Garg, A. Smith, R. Hill, D. Simms, N. Pollard, S. Wastes as co-fuels: The policy framework for solid recovered fuel (SRF) in Europe, with UK implications. *Environmental Science and Technology*. Volume: 41, No. 14, 4868-4874, 2007.
47. Gentil E., Clavreul J., Christensen T. H. Global warming factor of municipal solid waste management in Europe. *Waste Management & Research*. Volume 27, 850-860, 2009.
48. Giannouli, M., de Haan, P. Keller, M., Samaras, Z. Waste from road transport: Development of a model to predict waste from end-of-life and operation phases of road vehicles in Europe. *Journal of Cleaner Production*. Volume: 15, No. 11-12, 1169-1182, 2007.
49. Giannouli M, Samaras Z, Keller M, deHaan P, Kallivoda M, Sorenson S, Georgakaki A. Development of a database system for the calculation of indicators of environmental pressure caused by transport. *Science of the total Environment*. Volume: 357, No. 1-3, 247-270, 2006.
50. Gyventojų nuomonių apie atliekų tvarkymą Kauno, Šiaulių ir Jonavos miestuose sociologinio tyrimo ataskaita, VDU, p.54, 2001.
51. Giugliano, M., Grosso, M., Rigamonti, L. Energy recovery from municipal waste: A case study for a middle-sized Italian district. *Waste Management*. Volume 28, No. 1, 39–50, 2008.
52. Gottman, J.M. *Time-Series Analysis: A Comprehensive Introduction for Social Scientists*. Cambridge University Press, New York, 1981.

53. Grammelis P., Basinas P., Malliopoulou A., Sakellariopoulos G., Pyrolysis kinetics and combustion characteristics of waste recovered fuels. *Fuel*, Volume 88, 195–205, 2009.
54. Grossman, D., Hudson, J.F., Mark, D.H. Waste generation methods for solid waste collection. *J. Environ. Eng. ASCE* 6, 1219 – 1230, 1974.
55. Guidelines for Municipal Solid Waste Management in the Mediterranean Area. Mediterranean Technical Assistance Programme (METAP) oficialus tinklalapis. Prieiga per internetą: <http://www.medcities.org/english/documentos.cfm?categoria=5>, 2001
56. Hellweg, S., Hofstetter, T.B., Hungerbühler, K. Modelling waste incineration life cycle-inventory analysis in Switzerland, in *Environmental Modelling and Assessment 6*: Kluwer Academic Publishers (Eds.), Netherlands, 2001.
57. Hellweg, S. Time- and Site- Dependent Life cycle Assessment of Thermal waste Treatment Processes. Disertation in Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2000.
58. Hogland K.H.W., Marques M., Nimmermark S., Nammari D., Moutavtchi V. Seasonal and long-term storage of waste fuels with baling technique. Report No.112, University of Kalmar, 2001.
59. Hsu, E., Kuo, C.-M. Recycling rates of waste home appliances in Taiwan. *Waste Management* 25, 53–65, 2005.
60. ifu and ifeu. Umberto, Software fuer das betriebliche Stoffstrommanagement. Institut fur Umweltinformatik Hamburg GmbH and Institut fur Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Vokietija, 2001.
61. Jalili, G. Z. M., Noori, R. Prediction of municipal solid waste generation by use of artificial neural network: A case study of Mashhad, *International Journal of Environmental Research*. Volume: 2, No. 1, 13-22, 2008.
62. Jeroen C.J.M. van den Bergh. Environmental regulation of households: An empirical review of economic and psychological factors. *Ecological Economics*, Volume 66, No. 4, 559-574, 2008.
63. Johnke, B. Emissions from Waste Incineration, in: *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Institute for Global Environmental Strategies. Prieiga per internetą: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_3_Waste_Incineration.pdf, 2003.
64. Juniper. MBT: a guide for decision makers – processes, policies and markets. Prieiga per internetą <http://www.assure.org/downloads/archive/5c29aa6e-0470-4375-a2ad-fab143a06d14.pdf>, 2005.
65. Kallunki H., Wilen C., Hyvönen S., Hänninen K., Impola U., Koivula N., Linnainmaa M., Veijanen A., Liesivuori J. Dustiness of waste and worker's exposure to dust during manufacturing recovered fuel (REF). Final report. 2002.
66. Kauno Švara, UAB 2000 – 2007 m. duomenys. Anksčiau nepublikuoti.
67. Katsamaki, A, Willems, S, Diamadopoulos, E. Time series analysis of municipal solid waste generation rates. *Journal of Environmental Engineering-ASCE* 124 (2), 178-183, 1998.
68. Kauno technologijos universitetas. Inžinerinės ekologijos katedra. Buitinių atliekų deginimo galimybių projekto dokumentų parengimas. ES Sanglaudos fondo projektas. Vilnius, 2007a.
69. Kauno technologijos universitetas. Šilumos ir atomo energetikos katedra. Komunalinių atliekų deginimas Kaune. Galimybių studija. 2007b.
70. Kern, M. Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlagen in Deutschland MuA Lfg. 7/01 in *Mull Handbuch*, Band 5; Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2001.

71. Kern, M. Stand und Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. Bio- und Restabfallbehandlung III. M.I.C. Baeza-Verlag, Witzenhausen, 293-321, Vokietija, 1999.
72. Koufodimos, G., Samaras, Z. Waste management options in southern Europe using field and experimental data. *Waste Management* 22 (2002) 47-59, 2002.
73. Lahl, U. Entscheidungshilfen durch stoffstromanalytische Betrachtungen bei der Bewertung von abfallwirtschaftlichen Massnahmen, Habilitationsschrift (nepublikuota), Technische Universitaet Darmstadt, Institut WAR, Darmstadt, 2001.
74. Leao, S., Bishop, I., Evans, D. Assessing the demand of solid waste disposal in urban region by urban dynamics modelling in a gis environment. *Resources, Conservation and Recycling* 33 (4), 289-313, 2001.
75. Liamsanguan, C., Gheewala, S. Environmental assessment of energy production from municipal solid waste incineration. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Volume: 12, No. 7, 529-536, 2007.
76. Lietuvos energetikos institutas. Lietuvos energetika. Kaunas, 18, 2005.
77. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 1999 m. liepos 14 d. įsakymo Nr. 217 „Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo“ pakeitimo, Valstybės žinios, Nr. 68-2381, 2004.
78. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas dėl Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2002 m. balandžio 12 d. nutarimo Nr. 519 „Dėl Valstybinio strateginio atliekų tvarkymo plano patvirtinimo“ pakeitimo, Valstybės žinios, Nr. 122-5003, 2007.
79. Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas. Aktuali redakcija, Valstybės žinios, Nr. 72-3016, 2002.
80. Lin, J. Feasibility study on prediction of properties of municipal solid waste with time series models. *Journal of Hazardous Material* 58, 47-57, 1998.
81. Lo Mastro, F., Mistretta, M. Co-generation from thermal treatment of selected municipal solid wastes. A stoichiometric model building for the case study on Palermo. *Waste Management*. Volume 24, No. 3, 309-317, 2004.
82. Ludwig C., Hellweg S., Stucki S. *Municipal Solid Waste Management*, Springer, Berlin Heidelberg, 2003.
83. Luoranen, M., Horttanainen, M. Co-generation based energy recovery from municipal solid waste integrated with the existing energy supply system. *Waste Management*. Volume: 28, No. 1, 30-38, 2008.
84. Market and Opinion Research International (MORI). *Recycling Used Packaging from the Domestic Waste Stream: Consumer Awareness and Education*. Research Study Conducted for Packaging Consumer Awareness and Education Steering Group, Londonas, 1999.
85. Marquez MY, Ojeda S, Hidalgo H. Identification of behavior patterns in household solid waste generation in Mexicali's city: Study case. *Resources, Conservation and Recycling*. Volume: 52, No. 11, 1299-1306, 2008.
86. Matsuto, T., Tanaka, N. Data analysis of daily collection tonnage of residential solid waste in Japan. *Waste Management and Research* 11, 333-343, 1993.
87. Mazzanti, M. Is waste generation de-linking from economic growth? Empirical evidence for Europe *Applied Economics Letters*. Volume: 15, No. 4, 287-291, 2008.
88. Mazzanti M., Montini A., Zoboli R. Municipal waste generation and the EKC hypothesis new evidence exploiting province-based panel data. *Applied Economics Letters*, Volume 16, No. 7, 719-725, 2009.
89. McDougall, F., White, P., Franke, M., Hindle, P. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*, Blackwell Science Ltd, Oxford, 2001.

90. Menikpura S.N.M., Basnayake B.F.A. New applications of 'Hess Law' and comparisons with models for determining calorific values of municipal solid wastes in the Sri Lankan context. *Renewable Energy*, Volume 34, 1587–1594, 2009.
91. Miliūte, J. Integruotas komunalinių atliekų tvarkymo sistemos sprendimų priėmimo modelis. *Daktaro disertacija. Kauno technologijos universitetas*, 2009.
92. Miliūtė, J., Staniškis, J.K. Case study: Application of life-cycle assessment in optimisation of municipal waste management systems: the case of Lithuania. *Waste Management and Research*. 1-11, 2009.
93. Morf L.S., Brunner P.H. Methoden zur indirekten Bestimmung der Zusammensetzung von Siedlungsabfällen; No 1755; MuA Lfg. 7/99 in *Mull Handbuch*, Band 3; Erich Schmidt Verlag; Berlin, 1999.
94. Morris, J. Comparative LCAs for curbside recycling versus either landfilling or incineration with energy recovery. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Volume: 10, No. 4, 273-284, 2005.
95. Morrissey AJ, Browne J. Waste management models and their application to sustainable waste management. *Waste Management*. Volume: 24, No. 3, 297-308, 2004.
96. Morselli, L., Bartoli, M., Bertacchini, M., Brighetti, A., Luzi, J., Passarini, F., Masoni, P. Tools for evaluating of impact associated with MSW incineration: LCA and integrated environmental monitoring system. *Waste Management*. Volume 25, No. 2, 191–196, 2005.
97. MSW Sorting Study 2007-2008, Estonian Institute of Sustainable Development, Talin, 2008.
98. Müller W., Wallmann R., Hake J., Turk T. Stand der Technik und Entwicklungspotenziale der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung, in *Bio- und Restabfallbeh. V*, Witzhausen-Institut (eds), Witzhausen, 2001.
99. *Municipal Waste Management in Accession Countries*, Eurostat, European Commission, Luxembourg, p. 92, 2002.
100. Nagelhout, D., Joosten, M., Wierenga K. Future waste disposal in the Netherlands, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 4, 1990.
101. Navarro-Esbri, J., Diamadopoulos, E., Ginestar, D. Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling* 35 (3), 201-214, 2002.
102. Niebaum A., Döhler H. Modellanlagen. *Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung*. eds. Agency of Renewable Resources (FNR), 117–136, Leipzig, 2004.
103. Noori R, Abdoli MA, Jalili Ghazizade M, Samieifard R Comparison of neural network and principal component-regression analysis to predict the solid waste generation in Tehran. *Iranian Journal of Public Health*. Volume 38. No. 1, 74–84, 2009.
104. NRCs, Responses from National Reference Centres to questionnaires from European Topic Centre on Waste, 1998a.
105. NRCs, Comments to the European Environment Agency from National Reference Centres on Waste to draft figures for the waste chapter , July-October, 1998b.
106. OECD, *Environmental data compendium*. Paris, 1997a.
107. OECD, *National Accounts*, Vol. II, 1997b.
108. Pasaulinė sveikatos organizacija. *Atliekų deginimas*. Regioninis Europos biuras. Vilnius, 1995.
109. Rand T., Haukohl J., Marxen U. *Municipal solid waste incineration– requirements for a successful project*. World Bank Publications, 103 psl. 2000
110. RDC-Env. & Pira Int. Evaluation of costs and benefits for the achievement of reuse and recycling targets for the different packaging materials in the frame of the packaging

- waste directive 94/62/EC, 2003. Prieiga per internetą: <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/studies/>
111. Reimann D.O., Hämmerli H. Verbrennungstechnik von Abfällen in Theorie und Praxis. 1995, Vokietija
 112. Respublikinės statybos normos RSN 156-94 „Statybinė klimatologija“ (Žin., 1994, Nr. 24–394; 2002, Nr. 96–4230).
 113. Rigamonti, L., Grosso, M., Giugliano, M. Life cycle assessment for optimising the level of separated collection in integrated MSW management systems. *Waste Management*. Volume: 29. No. 2, 934-944, 2009.
 114. Schimmoller V.E., Hotz K., Eighmy T.T., Wiles C., Smith M., Malasheskie G., Rohrbach G.J., Schaftein S., Helms G., Campbell R.D., van Deusen C.H., Ford B., Almborg J.A. Recycled Materials in European Highway Environments: Uses, Technologies and Policies. FHWA-PL-00-025. FHWA, JAV, 2000.
 115. SEB AB Vilniaus banko Prezidento patarėjų grupė. Prasidėjęs pavasaris infliacijos atoslūgio neatnešė. Makrokomentaras (2007-04-11). Prieiga per internetą: http://www.seb.lt/pdf/lt/VKI_20070411.pdf
 116. Seeger H., Urban A. I. Getrennte Sammlung zur Gewinnung einer heizwertreichen Abfallfraktion aus Hausmüll. *Thermische Abfallbehandlung*. 7 Fachtagung. Vokietija, 138-145, 2002.
 117. Schanne L. Deliverable Report on Policy recommendations for waste reduction measures and their expected quantified impact. The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies, Vien, 2003.
 118. Shmelev, S. E., Powell, J. R. Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems. *Ecological Economics*. Volume: 59, No. 1, 115-130, 2006.
 119. Scholz R., Beckmann M. & Schulenbur F. *Abfallbehandlung in thermischen Verfahren*. Teubner Reihe Umwelt. Teubner Verlagsgesellschaft; Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden. 2001.
 120. Scipioni A., Mazzi A., Niero M., Boatto T. LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new Italian incineration line. *Waste Management*. Volume 29, No. 9, 2462–2474, 2009.
 121. Sircar, R., Ewert, F., Bohn, U. Ganzheitliche Prognose von Siedlungsabfällen. *Müll und Abfall* 1, 7-11, 2003.
 122. Skovgaard M., Heddal N., Villanueva A. Municipal waste management and greenhouse gases. European Topic Centre on Resource and Waste Management, 2008.
 123. Soyez K. et al. Gesamtdarstellung der Wissenschaftlichen Ergebnisse des Verbundsvorhabens, Verbundsvorhaben „Mechanische – Biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen. Vokietija, 2000.
 124. Soyez K., Thrän D., Hermann T., Koller M., Plickert S. Ergebnisse des BMBF Verbundsvorhabens mechanisch-biologische Abfallbehandlung, MuA Lfg. 4/01 in Müll. Handbuch, Band 5; Erich Schmidt Verlag; Berlin, 2001.
 125. Statybinė klimatologija. RSN 156-94. Valstybės žinios Nr. 24–394, 23–33, 1994.
 126. Strategy Unit. Waste not, want not. Annex G: Treatment and disposal of residual waste – MBT in context. Prieiga per internetą: <http://www.strategy.gov.uk/downloads/su/waste/downloads/ag.pdf>, 2002.
 127. Sufiana, M.A., Balab, B.K. Modelling of electrical energy recovery from urban solid waste system: The case of Dhaka city. *Renewable Energy*. Volume 31, No. 10, 1573–1580, 2006.
 128. Sustainable consumption and production in South East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia - Joint UNEP-EEA report on the opportunities and lessons

- learned. EEA Report No 3/2007, 2007. Prieiga per internetą: http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2007_3/en
129. Tariq Bin, Y., Mostafizur R. Monitoring quantity and characteristics of municipal solid waste in Dhaka City. *Environmental Monitoring Assessment*, Volume 135, No. 1-3, 3-11, 2007.
 130. Themelis N.J. Developments in Thermal Treatment Technologies. 16th annual North American Waste to Energy Conference Nawtec16, 85-92, 2008.
 131. Thiel S., Thomé-Kozmiensky K. J. Mechanical-Biological Pre-Treatment of Waste – Hope and Reality. *Urban Development and Sustainability – a Major Challenge for Waste Management in the 21st Century*. ISWA World Congress, Hamburg, 2010. Prieiga per internetą: <http://www.iswa.org/fileadmin/galleries/General%20Assembly%20and%20WC%202010%2011%20Hamburg/Presentations/Thiel.pdf>
 132. Trang T.T. Dong, Byeong-Kyu Lee. Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea. *Waste Management*, Volume 29, 1725–1731, 2009.
 133. Troschinetz, A. M., Mihelcic J. R. Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries. *Waste Management*. Volume 29, No. 2, 915–923, 2009.
 134. Vares V., Kask U., Muiste P., Pihu T., Soosaar S. *Biokuro naudotojo žinynas*. Vilnius, 2007.
 135. Varpu Savolainen, H. B. *Wood Fuels*. 2000, Jyvaskyla, p. 192.
 136. Vogt, R., Knappe, F., Giegrich, J., Detzel, A. *Ökobilanz Bioabfallverwertung, Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen*. Erich Schmidt Verlag, Berlin, 2002.
 137. Wagner J., Bilitewski B. The temporary storage of municipal solid waste – Recommendations for a safe operation of interim storage facilities. *Waste Management*. Volume 29, 1693–1701, 2009.
 138. Wang P., Bohara A.K., Berrens R.P, Gawande K. A risk based environmental Kuznets curve for hazardous waste sites.” *Application of Economics Letters* 5, 761-763. 1998.
 139. Waste Watch, What people think about waste? Waste Watch/NOP Research, London, 1999. Prieiga per internetą: http://www.wasteguide.org.uk/issues/mn_public_mresearch_public.stm
 140. Winkler, J., Bilitewski, B. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *Waste management*. Volume 27. No. 8, 1021–1031, 2007.
 141. Winkler J. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Volume: 10, No. 2, 156-157, 2005.
 142. Zeschmar-Lahl, B., Jager, J. (Eds.) *Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung in Europa*, Parey Buchverlag Berlin (eds.) Berlin, 2000.
 143. Александровской, З. И. Санитарная очистка городов от твердых бытовых отходов. Москва, 1977, p. 24-31
 144. Рекомендации по определению норм накопления твердых бытовых отходов для городов РСФСР. Москва, 1982.
 145. Шевченко, Ю. Л., Дмитренко, Т. Д. Справочник по санитарной очистке городов и поселков. Киев, 1984, p. 26-32.

MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS

Mokslinės informacijos instituto (ISI) pagrindinio sąrašo leidiniuose

1. Wade A., Denafas G., Račys V., **Rimaitytė I.**, Povilaitytė R. An assessment of the current and future options for domestic waste management in Kaunas, Lithuania // Waste Management & Research 24 (1). ISSN: 0734-242X. Kopenhaga 2006, p. 27-36
2. **Rimaitytė I.**, Jager J., Denafas G., Environmental assessment of Darmstadt (Germany) municipal waste incineration plant // Waste Management & Research 25. ISSN: 0734-242X. Kopenhaga 2007, p. 177-182
3. **Rimaitytė I.**, Denafas G., Martuzevičius D., Kavaliauskas A., Energy and environmental Indicators of municipal solid waste incineration: toward selection of an optimal waste management system // Polish Journal of Environmental Studies 19 (5). ISSN: 1230-1485. Olsztyn 2010, p. 989-998
4. **Rimaitytė I.**, Ruzgas T., Denafas G., Račys V., Martuzevičius D. Application and evaluation of forecasting methods for municipal solid waste generation in an eastern-European city // Waste Management & Research 30. ISSN: 0734-242X. Kopenhaga 2012, p. 89-98

Tarptautinių duomenų bazių referuojamuose leidiniuose

1. **Rimaitytė I.**, Denafas G., Račys V., Life cycle assessment tools implementation for evaluation of municipal waste management scenarios // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba 2 (36). ISSN 1392-1649. Kaunas 2006, p. 68-76

Konferencijų pranešimų medžiagoje

1. Denafas, G.; **Rimaitytė, I.**; Seeger, H.; Urban, A; Potential Contribution of Combustible Domestic Waste to the Energy Supply of Lithuania. Tarptautinė mokslinė konferencija Environment.Technology.Resources. Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference. P.60-66. Rezekne (Latvija), 2003 m. birželio mėn.
2. Denafas G., **Rimaitytė I.**, Račys V. ir kt. New Waste Prognostic and Waste Management System Assessment Tools: Examples of Implementation for Municipalities in the Countries with Rapid Growing Economies. Tarptautinės mokslinės konferencijos „Kalmar. ECO-TECH’05. Waste to Energy, Bioremediation and Leachate Treatment“ straipsnių rinkinys. Kalmar (Švedija), 2005, p. 479-492.
3. **Rimaitytė I.**, Denafas G., Venckus A. The Development of Municipal Waste Management Systems in Lithuania with Respect to Biodegradable Waste Landfilling in Accordance to EU Landfill Directive. Tarptautinės mokslinės konferencijos „ISWA World Congress 2007. Challenging the future“ straipsnių rinkinys. Amsterdam (Olandija), 2007, p. 64.

Konferencijų tezės

1. Denafas, G.; **Rimaitytė, I.**; Seeger, H.; Urban, A. Potential Contribution of Combustible Domestic Waste to the Energy Supply of Lithuania. Tarptautinė konferencija

- Sustainable Waste Management, Proceedings of the International Symposium. P. 321-330. Dundee (Škotija), 2003m. rugsėjo mėn.
2. Denafas, G.; **Rimaitytė, I.** Būvio ciklo įvertinimo taikymas atliekų tvarkymo planavimo srityje. Seminaras Europos Sąjungos integruota produktų politika: naujos tendencijos aplinkos apsaugos politikoje ir praktikoje. Vilnius (Lietuva), 2004 m. gegužės mėn.
 3. **Rimaitytė, I.** Domestic waste treatment management in Kaunas. Current situation. Possible scenarios. Tarptautiniai kursai International post-graduate course Solid Waste Management in Nordic countries and St. Petersburg, Lapenranta (Suomija), 2004 m. rugsėjo mėn.
 4. **Rimaitytė, I.** Buitinės atliekos – atsinaujinantis energijos šaltinis. Doktorantų ir jaunųjų mokslininkų metinė konferencija „Jaunoji energetika 2006“. Kaunas (Lietuva), 2006 m. birželio mėn.

PADĖKA

Šį darbą skiriu **Tėvams**, kuriems esu dėkinga už tai, kad visą laiką buvo su manim, kurie suteikė drąsos ir galimybes pasiekti tai, ką dabar turiu.

Noriu padėkoti **vyrui Irmantui** už kantrybę, palaikymą ir supratimą.

Dėkoju **prof. dr. (HP) Gintarui Denafui** už patarimus ir pagalbą, už ilgą mokslinį kelią nuo pirmo kurso iki doktorantūros.

AČIŪ **doc. dr. Dainiui Martuzevičiui, doc. dr. Viktorui Račiui ir dr. Tomui Ruzgui** už klausimus, puikias idėjas ir patarimus.

Dėkoju **Sesutei Linai ir visiems draugams** už smagias akimirkas praleistas kartu.

Taip pat, ačiū universiteto draugams **Ingai, Ingutei, Aurelijai, Irmantui, Dainai, Jolitai ir Daliai**. P.S. Pasiilgsiu kartu praleisto laiko 402 kab.

Ypatinga padėka gyd. **Ginai Emilijai Butkuvienei**, kuri neleido nuleisti rankų.

Dėkoju **Deutsche Bundesstiftung Umwelt** fondui, suteikusiam galimybę stažuotis Vokietijoje.

Ačiū visiems, vienaip ar kitaip prisidėjusiems prie šios disertacijos rengimo.

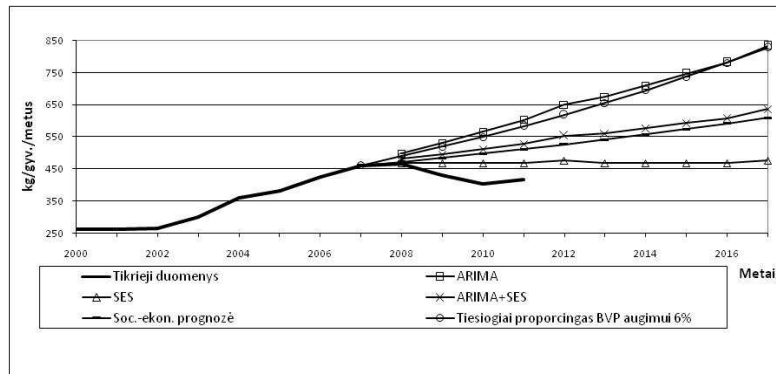
Ingrida Valavičienė

2012 m. lapkričio 9 d.

PRIEDAS

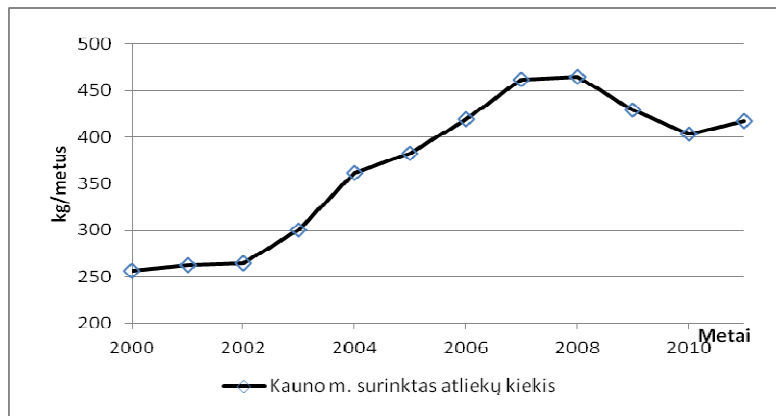
2009-2011 m. faktiškai Kauno m. surinkto ir prognozuoto atliekų kiekio palyginimas

Disertacijoje (3.11 pav.) pateikti darbo rengimo metu (2007-2008 m.) žinomi duomenys. Atsižvelgiant į šiuo metu turimus duomenis pateikiamas papildytas disertacijos 3.11 pav. paveikslas. Jame pateikti socialinių – ekonominių rodiklių ir atliekų susidarymo priklausomybė paremtos prognozės (kai pradiniais duomenimis naudojami 2007 m. duomenys) ir laiko eilučių pagalba atliktos prognozės duomenys. Matyti, kad faktiniai duomenys yra mažesni už prognozuojamus.



1 pav. Prognozuoto ir tikrojo metinio atliekų kiekio susidarymo 1 gyventojui Kauno mieste palyginimas

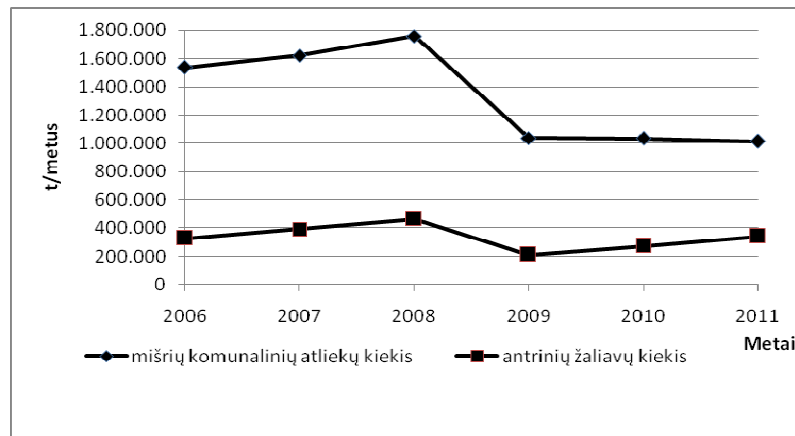
Analizuojant 2009-2011 m. duomenis, matyti, kad Kauno m. pasikeitė surenkamų atliekų kiekio (kg/gyv. per metus) kitimo tendencija (ypač 2008-2009 m.). Surenkamų atliekų kiekis nustojo augti ir netgi sumažėjo apie 8% (2 pav.).



2 pav. 2000-2011 m. Kauno m. surinktas mišrių komunalinių atliekų kiekis

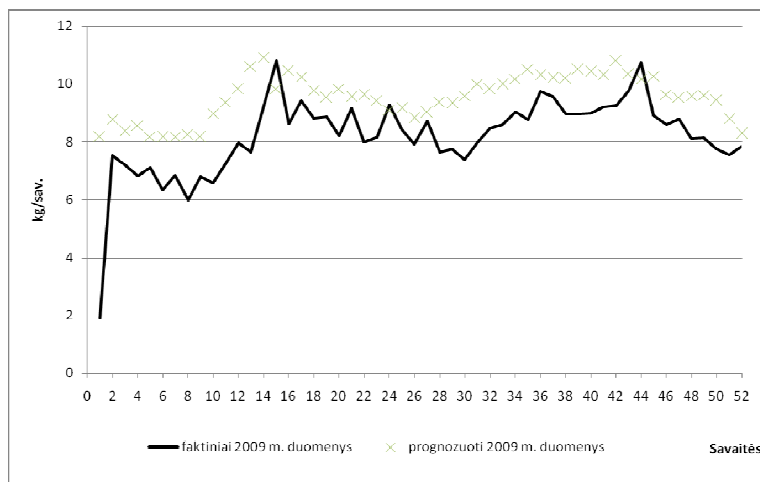
Panaši situacija matyti ir visoje Lietuvoje surenkamą mišrių komunalinių atliekų statistikoje. 2009 m., palyginus su 2008 m., surenkamas atliekų kiekis sumažėjo daugiau kaip 40% (3 pav.). Atkreiptinas dėmesys, kad šio kiekio sumažėjimo neįtakojė padidėjęs rūšiavimo namuose laipsnis, nes šiuo laikotarpiu surenkamų antrinių žaliavų (popieriaus ir kartono, plastiko, stiklo ir metalo) surinkimas taip pat sumažėjo daugiau kaip 50%.

Tokių atliekų susidarymą galėjo įtakoti 2008 m. Lietuvą ištikusi ekonominė krizė, kurios įtaka šiame darbe neanalizuojama. Tai galėtų būti tolimesnių tyrimų objektas.



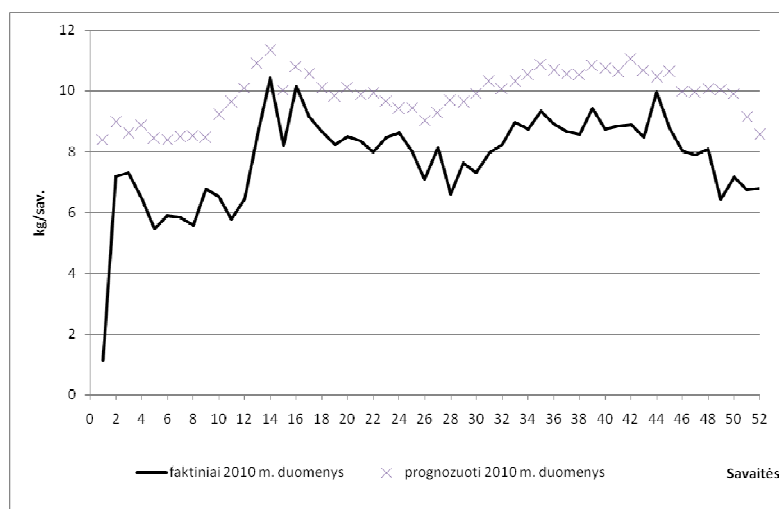
3 pav. 2006-2011 m. Lietuvoje surinktas mišrių komunalinių atliekų ir antrinių žaliavų kiekis

Analizuojant 2009-2011 m. Kauno miesto faktinius ir prognostinius komunalinių atliekų savaitinių kiekių kitimus, matyti, kad ARIMA+SES metodu atlikta prognozė atkartoja faktiškai surenkamo atliekų kiekio tendencijas (padidėjimą ir sumažėjimą).



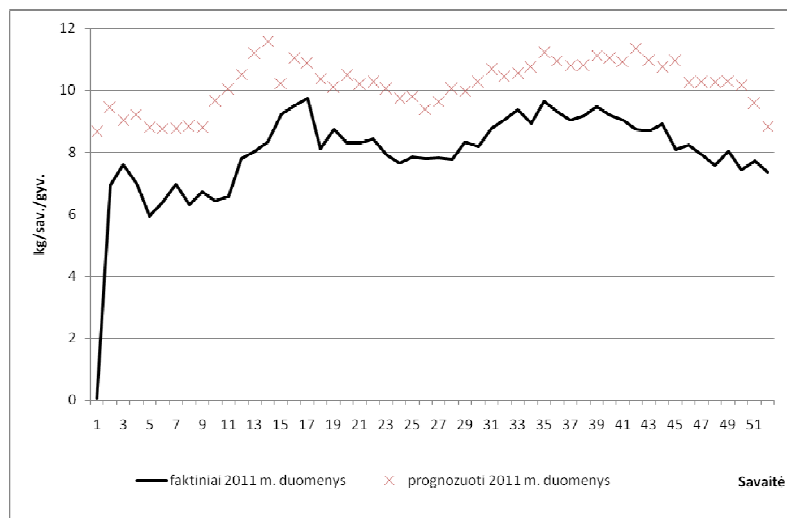
4 pav. ARIMA+SES metodų derinimo pagalba gautų prognostinių duomenų ir realių 2009 m. surinktų atliekų kiekių palyginimas

4 pav. pateikiamas realus, 2009 m. surinktas, atliekų kiekis. Didžiausia paklaida yra 1 sav. (6 kg), tačiau pagal atliekų kitimo tendencijas matyti, kad reali šios savaitės vertė yra mažesnė nei tikėtina, be to 2009 m. 1-ąją savaitę sudarė tik 4 dienos. Vidutinė metinė paklaida (nevertinant 1 savaitės) yra 16,6% (2008 m. paklaida – 7,6%). Didžiausios paklaidos yra 6-13 ir 28-31 savaitėmis (daugiau kaip 20%). Mažiausios paklaidos – 14-27 savaitėmis (vidutiniškai 11,5%). Bendro metinio kiekio skirtumas –70 kg vienam gyventojui per metus prognozuota daugiau, negu surinkta realiai.



5 pav. ARIMA+SES metodų derinimo pagalba gautų prognostinių duomenų ir faktinių 2010 m. surinktų komunalinių atliekų savaitinių kiekių Kauno mieste palyginimas

5 pav. pateikiamas realus, 2010 m. surinktas, atliekų kiekis. Didžiausia paklaida yra 1 sav. (7 kg), tačiau pagal atliekų kitimo tendencijas matyti, kad reali šios savaitės vertė yra mažesnė nei tikėtina. Kaip ir 2009 m. atveju, 1-ąją 2010 m. savaitę sudarė tik 3 dienos. Vidutinė metinė paklaida (nevertinant 1 savaitės) padidėja iki 26,8%. Didžiausios paklaidos, kaip ir 2009 m. atveju yra 5-12 savaitėmis (vidutiniškai 48%). Mažiausios paklaidos – 14-27 savaitėmis (vidutiniškai 16,5%). Bendro metinio kiekio skirtumas – 108 kg vienam gyventojui per metus prognozuota daugiau, negu surinkta realiai.



6 pav. ARIMA+SES metodų derinimo pagalba gautų prognostinių duomenų ir realių 2011 m. surinktų komunalinių atliekų savaitinių kiekių Kauno mieste palyginimas

6 pav. pateikiamas realus, 2011 m. surinktas, atliekų kiekis. Didžiausia paklaida, kaip ir ankstesniais metais, yra 1 sav. (7 kg), dėl anksčiau minėtų priežasčių. Vidutinė metinė paklaida (nevertinant 1 savaitės), kaip ir 2010 m. – 26%. Bendro metinio kiekio skirtumas – 114 kg vienam gyventojui per metus prognozuota daugiau, negu surinkta realiai.

Apibendrinant galima teigti, kad nors ARIMA+SES metodu atlikta prognozė netiksliai atspindėjo netikėtai dėl ekonominio sunkmečio sumažėjusį surenkamų atliekų kiekį, tačiau gerai atkartėjo sezoninius kitimus metų bėgyje. Tiksliai ekonominių pokyčių (ypač ekonominių rodiklių mažėjimo) įtakai atliekų susidarymui, tuo pačiu ir jų surinkimui, įvertinti būtini papildomi tyrimai.