

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Aistė Kiaulytė

**IŠTEKLIŲ ATGAVIMO IŠ ALYTAUS REGIONINIO SĄVARTYNO
GALIMYBIŲ VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. Gintaras Denafas

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
APLINKOSAUGOS TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

IŠTEKLIŲ ATGAVIMO IŠ ALYTAUS REGIONINIO SĄVARTYNO
GALIMYBIŲ VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

Konsultantai (-s)

Dokt. Algimantas Bučinskas

Vadovas

Prof. Gintaras Denafas

Recenzentas

Doc. Dalia Jankūnaitė

Projektą atliko

Aistė Kiaulytė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Aistė Kiaulytė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, kodas 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Išteklių atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybių vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Aistės Kiaulytės** baigiamasis projektas tema „Išteklių atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybių vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Kiaulytė, A. Išteklių atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybių vertinimas. *Aplinkosaugos inžinerijos* baigiamasis projektas / vadovas prof. Gintaras Denafas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas, Aplinkosaugos inžinerijos katedra.

Kaunas, 2015. 60 psl.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamas perdirbimui ir energijos gamybai tinkamų išteklių potencialas Alytaus regioniniame sąvartyne.

Dėl ribotų žaliavų atsargų būtina atkreipti dėmesį į didžiulius sąvartynuose esančius medžiagų kiekius. Mokslininkų teigimu, pasauliniu mastu maždaug 300 milijonų tonų vario yra pašalinta sąvartynuose, o tai atitinka daugiau nei 30% nuo žinomų likusių rūdų atsargų (Bhatnagar et.al., 2013).

Sąvartynų kasybos metodas leidžia ne tik sumažinti netinkamų eksploatuoti sąvartynų keliamą neigiamą poveikį aplinkai, bet ir užtikrinti tvarų žaliavų tiekimą iš vietinių šaltinių, taip sumažinant žaliavų poreikius, bei atliekų kiekius sąvartynuose.

Darbo tikslas yra įvertinti išteklių atgavimo galimybes iš Alytaus regioninio atliekų sąvartyno. Tikslas pasiektas išsprendus šiuos uždavinius:

1. Atbulinės prognozės būdu nustatyti Alytaus sąvartyne pašalintų MKA kiekius ir sudėtį;
2. Įvertinti sąvartyne pašalintų atliekų frakcijų dūlėjimo laipsnį;
3. Įvertinti ir palyginti Alytaus regioninio sąvartyno senajame ir naujajame kaupuose pašalintų išteklių atgavimo potencialą.

Tyrimo metu išsikelta hipotezė: perdirbimui ir energijos gamybai tinkamų išteklių dalis sudaro apie ketvirtį Alytaus sąvartyno turinio.

Darbe naudojantis LCA-IWM prognostiniu modeliu buvo parengtos sąvartyne pašalintų atliekų kiekių ir sudėties atbulinės prognozės. Taip pat įvertintas grunto kiekis reikalingas atliekų perdengimui ir atliekų irimas sąvartyne naudojantis pirmojo laipsnio kinetine lygtimi. Galiausiai įvertintas išteklių potencialas senajame ir naujajame sąvartyno kaupuose. Bei atliktas gautų teorinių rezultatų palyginimas su praktiniais tyrimo rezultatais.

Remiantis atbulinėmis prognozėmis buvo gauta, kad senajame sąvartyno kaupe pašalinta 451889 t atliekų, o naujojo sąvartyno kaupe 297140 t. Didžiąją dalį į sąvartyną patekusių atliekų sudaro organinės atliekos, popierius ir kartonas, stiklas, plastikas bei kitos degios atliekos. Bendras atliekų kiekis po degradacijos senajame sąvartyno kaupe sumažėjo 35 proc., o naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje 20 proc. Išteklių potencialą senajame sąvartyno kaupe sudaro: 27556 t popieriaus ir kartono, 32535 t stiklo, 9754 t metalų, 30248 t plastikų, bei 43640 t kitų degių atliekų, o naujajame sąvartyno kaupe: 28815 t popieriaus ir kartono, 18879 t stiklo, 6378 t metalų, 24956 t plastikų, bei 38008 t kitų degių atliekų. Gauti teoriniai naujojo sąvartyno 1-ios sekcijos rezultatai skiriasi nuo praktinių,

praktinių tyrimų metu stiklo rasta žymiai mažiau nei prognozuota, tikėtina kad jis yra smulkiojoje frakcijoje, tačiau galimas didesnis potencialas metalų, plastikų, bei kitų degių atliekų.

Tyrimo metu iškelta hipotezė pasitvirtino: perdirbimui ir energijos gamybai tinkamų išteklių dalis sudaro daugiau nei ketvirtį Alytaus sąvartyno turinio. Tačiau reikia pažymėti, kad įprastai sąvartynų kasyba vykdoma praėjus 20–30 metų po sąvartynų uždarymo, dėl to, popieriaus ir kartono bei kitų degių atliekų kiekiai bus žymiai mažesni dėl gana greitos minėtų atliekų frakcijų degradacijos, lyginant su kitomis.

Tiriamąjį darbo rezultatai buvo panaudoti mokslinių tyrimų paslaugų sutarties 31V211/14 „Medžiagų atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybės“ ataskaitoje, bei pristatyti studentų mokslinėje konferencijoje „Chemija ir cheminė technologija 2015“.

Kiaulytė A. „Feasibility assesment for resource recovery at Alytus regional landfill“. *Environmental eningering* / supervisor prof. Gintaras Denafas. Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Environmental Technology Department.

Kaunas, 2015. 60 p.

SUMMARY

The Master's thesis analyzes the resource potential in Alytus regional landfill (in the old landfill and in the first section of new landfill).

Due to the limited stocks of raw materials it is necessary to draw attention to the large quantities of materials in landfills. According to the researchers, worldwide about 300 million tons of copper are disposed of in landfills corresponding to more than 30 % of the remaining reserves in known ores.

Landfill mining method allows not only reduce inappropriate operated by landfill posed a negative impact on the environment but also ensure a sustainable supply of raw materials from local sources, thus reducing the demand for raw materials, and the amount of waste in the landfills.

The aim of the paper is to evaluate the feasibilities for resources recovering from Alytus landfill. Master thesis goal was achieved by resolving the following tasks:

1. To determine the composition and quantities of landfilled waste using reverse forecasting;
2. To evaluate degradation of landfilled waste;
3. To evaluate and compare the potential of landfilled resources in closed section of old waste and in the new section.

Hypothesis: the share of materials to suitable for recycling and energy production is about one quarter of Lithuanian landfills content.

In the work using LCA-IWM prognostic model was prepared landfilled waste quantities and composition of reverse forecasting. Also was estimated soil for waste overlay and waste degradation using first order decay. Finally the resource potential in the landfill was estimated and theoretical and practical composition of the waste was compared.

It was estimated that in the old landfill was disposed 451889 tons of waste and in the new landfill 297140 tons. The major part of the landfilled waste consists of organic waste, paper and cardboard, glass, plastic and other burnable waste. The total amount of waste after degradation in old landfill decreased by 35 percent, while the new landfill of 20 percent. It was obtained that resource potential in the old landfill consist of: 27556 tons of paper and cardboard, 32535 tons of glass, 9754 tons of metals, 30248 tons of plastic, and 43640 tons of other burnable waste and in the new landfill resource potential consist of: 28815 tons of paper and cardboard, 18879 tons of glass, 6378 tons of metals, 24956 tons of plastic, and 38008 t other burnable waste. Theoretical and practical data differs,

in the practical trials of glass found much less than expected it is likely that it is in the fine fraction, but bigger potential of metals, plastics and other burnable waste.

The hypothesis was confirmed: the share of materials suitable for recycling and energy production is more than one quarter of Lithuanian landfills content. But it should be noted that normally landfill mining takes place 20-30 years after the closure of landfills therefore paper and cardboard and other burnable waste quantities will be significantly lower due to the rather rapid degradation of the waste fractions compared to other.

The results of the research work were used for the research service contract 31V211/14 "Materials recovery from Alytus regional landfill options" report. The results also were presented in the students scientific conference "Chemistry and chemical technology 2015".

TURINYS

| | |
|---|----|
| ĮVADAS | 11 |
| 1. LITERATŪROS APŽVALGA..... | 13 |
| 1.1. Komunalinių atliekų kiekį ir sudėtį įtakoiantys veiksniai | 13 |
| 1.2. Atliekų šalinimas į sąvartynus | 17 |
| 1.2.1. Atliekų biodegradacija sąvartyno aplinkoje..... | 18 |
| 1.3. Išteklių atgavimas iš sąvartynų | 20 |
| 1.3.1. Sąvartynų kasybos teorija | 21 |
| 1.3.2. Atgaunamų medžiagų potencialo vertinimas | 24 |
| 1.3.3. Atgautų medžiagų sudėtis ir savybės | 26 |
| 1.3.4. Atgautų medžiagų panaudojimo praktika | 30 |
| 1.4. Apibendrinimas | 32 |
| 2. METODOLOGINĖ DALIS | 33 |
| 2.1. LCA-IWM prognostinis modelis..... | 33 |
| 2.2. Atliekų perdengimui sunaudotas grunto kiekis | 36 |
| 2.3. Atliekų biodegradacijos procesas | 37 |
| 3. TYRIMO REZULTATAI..... | 39 |
| 3.1. Faktiniai atliekų kiekiai ir sudėtis Alytaus sąvartyne..... | 39 |
| 3.2. Sąvartyne pašalintų atliekų kiekio ir sudėties nustatymas..... | 40 |
| 3.3. Grunto kiekis atliekų perdengimui | 43 |
| 3.4. Atliekų suirimo įvertinimas | 45 |
| 3.5. Išteklių potencialo vertinimas ir palyginimas senajame ir naujajame sąvartyno kaupe..... | 48 |
| IŠVADOS | 53 |
| LITERATŪRA | 54 |
| PRIEDAI..... | 57 |

LENTELĖS

| | |
|--|----|
| 1 lentelė. Surinktos/susidariusios komunalinės atliekos 2009-2013 metais | 17 |
| 2 lentelė. MKA santykinis patvarumas sąvartyno aplinkoje | 18 |
| 3 lentelė. Greitai ir lėtai biodegraduojančios organinės atliekos MKA..... | 18 |
| 4 lentelė. Operatyvi procedūra vertinant sąvartynų kasybos projektą | 24 |
| 5 lentelė. Atliekų sudėtis sąvartynuose (%) pagal skirtingus literatūros šaltinius..... | 27 |
| 6 lentelė. Atliekų tankio priklausomybė nuo atliekų sudėties | 29 |
| 7 lentelė. Plastiko atliekų savybės pagal skirtingus literatūros šaltinius | 30 |
| 8 lentelė. Modelyje naudojami susidarančių atliekų tipai..... | 34 |
| 9 lentelė. Modelio socialiniai–ekonominiai parametrai..... | 35 |
| 10 lentelė. Pirmos eilės greičio konstantos | 38 |
| 11 lentelė. Klimato zonos parinkimo parametrai..... | 38 |
| 12 lentelė. Regione susidarantys faktiniai atliekų kiekiai..... | 39 |
| 13 lentelė. MKA sudėtis Alytaus atliekų tvarkymo regione..... | 40 |
| 14 lentelė. Alytaus sąvartyno techniniai duomenys..... | 40 |
| 15 lentelė. Atliekų fizinės savybės | 46 |
| 16 lentelė. Pirmos eilės greičio konstantos (k) vertės, kiekvienai frakcijai..... | 46 |
| 17 lentelė. Senajame ir naujajame sąvartyne po degradacijos esančių atliekų kiekiai ir sudėtis . | 48 |
| 18 lentelė. Atliekų frakcijų vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai | 49 |

PAVEIKSLAI

| | |
|--|----|
| 1 pav. Komunalinių atliekų sudėtis 1996 m. Kauno mieste | 13 |
| 2 pav. Komunalinių atliekų sudėtis Kauno mieste 2010 m. | 13 |
| 3 pav. MKA susidarymas skirtingo pragyvenimo lygio šalyse ir miestuose..... | 14 |
| 4 pav. Popieriaus ir kartono dalis (%) MKA sraute..... | 15 |
| 5 pav. Bioskaidžių atliekų dalis (%) MKA sraute | 15 |
| 6 pav. Stiklo atliekų dalis (%) MKA sraute..... | 16 |
| 7 pav. Plastikų ir kompozitų dalis (%) MKA sraute..... | 16 |
| 8 pav. Metalų dalis (%) mišrių komunalinių atliekų sraute | 16 |
| 9 pav. Organinių atliekų biodegradacija priklausomai nuo sąvartyno amžiaus | 19 |
| 10 pav. Sąvartynų kasybos technologinė schema | 23 |
| 11 pav. Žemės laidumas nustatytas elektromagnetiniu metodu | 26 |
| 12 pav. Stambiosios atliekų frakcijos sudėtis Kudjape sąvartyne | 31 |
| 13 pav. Atgautų plastiko atliekų iš sąvartyno panaudojimo praktika | 32 |
| 14 pav. Tyrimo metodika..... | 33 |
| 15 pav. LCA-IWM prognostinio modelio veikimas pagal algoritmą..... | 35 |
| 16 pav. Prognozės būdu nustatyti sąvartyne pašalinti atliekų kiekiai..... | 42 |
| 17 pav. Senajame Alytaus sąvartyno kaupe pašalintų atliekų sudėtis | 42 |
| 18 pav. Alytaus regioninio sąvartyno 1 – oje sekcijoje pašalintų atliekų sudėtis..... | 43 |
| 19 pav. Atliekų sudėtis senajame ir naujajame sąvartyno kaupe su gruntu..... | 45 |
| 20 pav. Atliekų sudėtis pagal frakcijas prieš ir po degradacijos senajame (<i>a</i>) ir naujajame sąvartyno kaupe (<i>b</i>) 2014 metais | 47 |
| 21 pav. Išteklių potencialas senajame sąvartyno kaupe..... | 50 |
| 22 pav. Išteklių potencialas naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje..... | 50 |
| 23 pav. Teorinės ir praktinės atliekų sudėties palyginimas | 52 |

IVADAS

Žmogaus veikla susijusi su atliekų susidarymu. Kuo labiau urbanizuota visuomenė, tuo didesni susidarančių atliekų kiekiai ir didesnės problemos, susijusios su jų tvarkymu. Dabartinė atliekų tvarkymo patirtis ir toliau nepakankamai išnaudoja įvairias medžiagas rastas komunalinėse atliekose, įvairiose miestų infrastruktūrose, kurios gali būti pelningai pakartotinai panaudotos kaip antrinės žaliavos ar atgautos kaip energija.

Pasaulinėje praktikoje tvarkant surinktas atliekas naudojami trys pagrindiniai būdai: atliekų perdirbimas arba kompostavimas, atliekų deginimas ir atliekų šalinimas į sąvartynus. Atliekų šalinimas į sąvartynus yra vienas pigiausių ir dažniausiai taikomų metodų. Toks atliekų šalinimas kelia didelę grėsmę aplinkai ir žmonių sveikatai, taip pat didelės žaliavų atsargos vis dar patenka į sąvartynus.

Sąvartynų kasybos metodas leidžia ne tik sumažinti netinkamų eksploatuoti sąvartynų keliamą neigiamą poveikį aplinkai, bet ir užtikrinti tvarų žaliavų tiekimą iš vietinių šaltinių, taip sumažinant žaliavų poreikius bei atliekų kiekius sąvartynuose.

Darbo aktualumas. Dėl ribotų žaliavų atsargų būtina atkreipti dėmesį į didžiulius sąvartynuose esančius medžiagų kiekius. Mokslininkų teigimu, pasauliniu mastu maždaug 300 milijonų tonų vario yra pašalinta sąvartynuose, o tai atitinka daugiau nei 30% nuo žinomų likusių rūdų atsargų (Frändegård et al., 2012; Bhatnagar et.al., 2013). Manoma, kad yra tarp 150 000 ir 500 000 senų ir vis dar aktyvių sąvartynų visoje Europos Sąjungoje, vidutiniškai sudarydami nuo 30 iki 50 milijardų m³ atliekų (Bhatnagar et.al., 2013). Toks didžiulis pašalintų atliekų kiekis patvirtina, antrinių žaliavų ir energijos atgavimo potencialą ilgalaikėje perspektyvoje per sąvartynų kasybos projektų įgyvendinimą.

Tobulėjant atliekų valdymo sistemai Lietuvoje, vis daugiau dėmesio skiriama atliekų susidarymo mažinimui, antriniam panaudojimui ir perdirbimui. Vis dėlto, didžioji atliekų dalis vis dar šalinama sąvartynuose. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis 2013 m. susidarė 1,3 mln. tonų atliekų, iš kurių 62 % pašalinta į sąvartyną.

Darbo mokslinis naujumas. Siekiant įvertinti išteklių atgavimo galimybes iš Alytaus regioninio atliekų sąvartyno darbe buvo naudojamas LCA-IWM prognostinis modelis. Šio modelio pagalba buvo parengtos sąvartyne pašalintų atliekų kiekių ir sudėties atbulinės prognozės. Kadangi duomenų apie praeityje pašalintų atliekų kiekius yra labai mažai arba jų išviso nėra, tai remiantis pašalintų atliekų kiekių ir sudėties atbulinių prognozių rezultatais bei atliekų dūlėjimą lemiančiomis jų savybėmis, buvo galima įvertinti išteklių potencialą sąvartyne.

Darbo tikslas – įvertinti išteklių atgavimo galimybes iš Alytaus regioninio sąvartyno.

Darbo uždaviniai:

1. Atbulinės prognozės būdu nustatyti Alytaus sąvartyne pašalintų MKA kiekius ir sudėtį;
2. Įvertinti sąvartyne pašalintų atliekų frakcijų dūlėjimo laipsnį;
3. Įvertinti ir palyginti Alytaus regioninio sąvartyno senajame ir naujajame kaupuose pašalintų išteklių atgavimo potencialą.

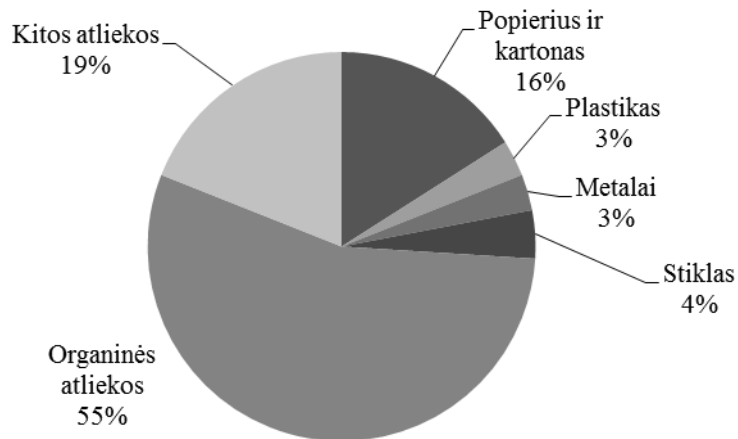
Hipotezė: perdirbimui ir energijos gamybai tinkamų išteklių dalis sudaro apie ketvirtį Alytaus sąvartyno turinio.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

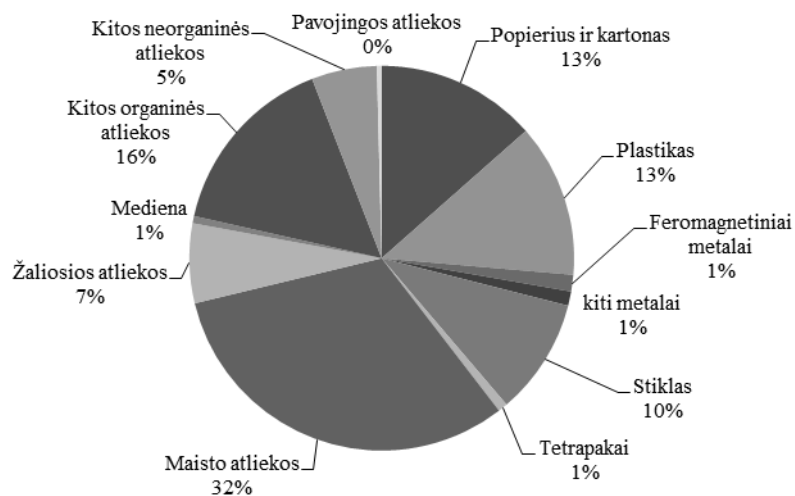
1.1. Komunalinių atliekų kiekį ir sudėtį įtakojančios veiksniai

Komunalinių atliekų srautas yra apibūdinamas kaip bendras gyvenamųjų namų, verslo įstaigų, gamyklų ir organizacijų kietų atliekų srautas ar atskiri to srauto komponentai, kurie yra perdirbami ar atiduodami saugoti į sąvartynus (Aplinkos apsaugos agentūra [AAA]).

Keičiantis gyventojų įpročiams, augant ekonomikai, rinkai keičiasi ir atliekų sudėtis. Tai aiškiai atsispindi lyginant atliekų sudėtį Kauno mieste 1996 ir 2010 metais (žr. 1 ir 2 pav.). Remiantis Kauno technologijos universiteto duomenimis nustatyta, kad komunalinių atliekų sraute didžiąją dalį sudaro maisto atliekos 31,7 proc., taip pat plastikų atliekos 12,9 proc, stiklas 10 proc., popieriaus ir kartono atliekos 13,5 proc, kai tuo tarpu plastikų atliekos 1996 metais sudarė tik 3 proc., o stiklas 4 proc.

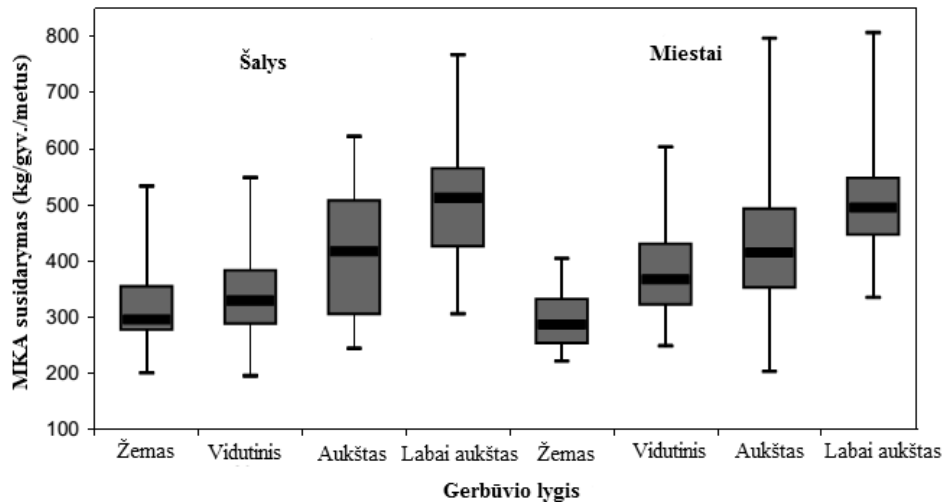


1 pav. Komunalinių atliekų sudėtis 1996 m. Kauno mieste (Beigl et.al., 2003)



2 pav. Komunalinių atliekų sudėtis Kauno mieste 2010 m. (KTU, 2010)

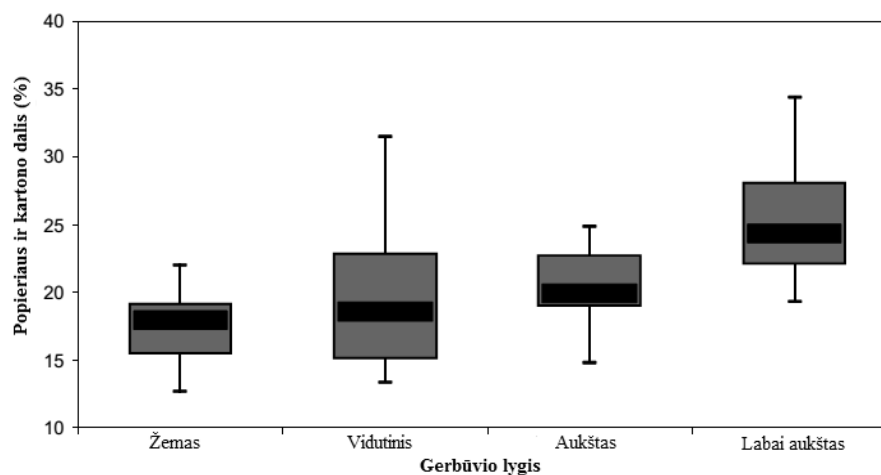
Jau seniai pastebėta, kad susidarančių mišrių komunalinių atliekų (MKA) kiekiai bei sudėtis labai priklauso nuo socialinių–ekonominių sąlygų (Bandara et. al., 2007). Tai įrodo ženklūs mišrių komunalinių atliekų susidarymo Europos miestuose ir šalyse skirtumai (žr. 3 pav.). Paveiksle matyti, kad labai aukšto ir aukšto pragyvenimo bei socialinio lygio šalyse vidutinis atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui yra žymiai didesnis nei šalyse ar miestuose su prasta ekonomine ir socialine padėtimi.



3 pav. MKA susidarymas skirtingo pragyvenimo lygio šalyse ir miestuose (Beigl et. al., 2003)

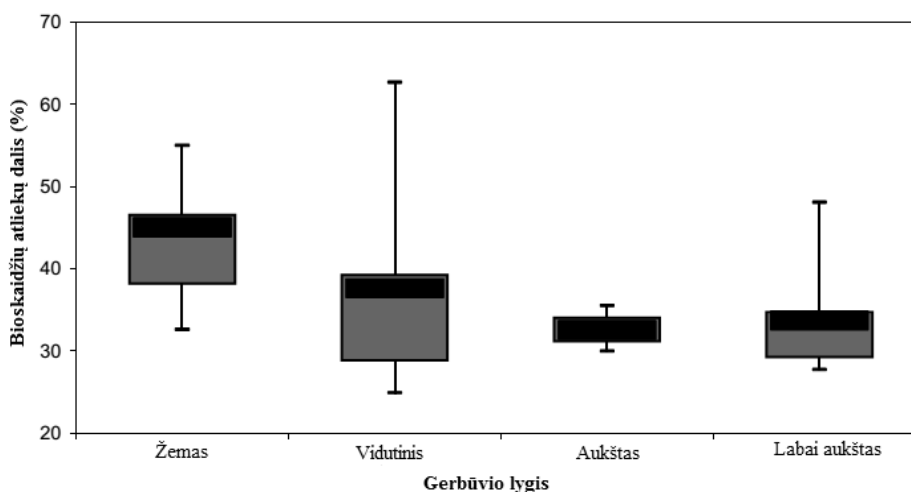
Literatūroje yra išskiriami keturi socialiniai–ekonominiai gerovės lygiai. Šalys ar miestai į šiuos lygius skirstomi pagal įvairius faktorius: BVP, jo augimą; žmonių, dirbančių žemės ūkyje, skaičių; kūdikių mirtingumo laipsnį bei tikėtiną gyvavimo trukmę, kurie atspindi sveikatos apsaugos lygį ir kitus panašius faktorius (Valavičienė, 2012). Tokiose šalyse kaip Nyderlandai, ar Norvegija, kur pragyvenimo ir socialinis lygis išties labai aukštas, susidarantis atliekų kiekis yra 540-640 kg/gyv./metus. Tuo tarpu ekonomiškai silpnose šalyse, kaip Lenkija ar Graikija, atliekų kiekis ženkliai mažesnis – 290-310 kg/gyv./metus (Eurostat duomenimis).

Atskirų frakcijų procentinė dalis MKA sraute taip pat priklauso nuo šalies ekonominio–socialinio lygio. Pavyzdžiui, popieriaus ir kartono procentinė dalis MKA sraute reikšmingai skiriasi skirtingo pragyvenimo šalyse. Kuo šis lygis aukštesnis, tuo didesnė popieriaus ir kartono frakcijos dalis yra mišrių komunalinių atliekų sraute (Valavičienė, 2012) (žr. 4 pav.).



4 pav. Popieriaus ir kartono dalis (%) MKA sraute (Beigl et. al., 2003)

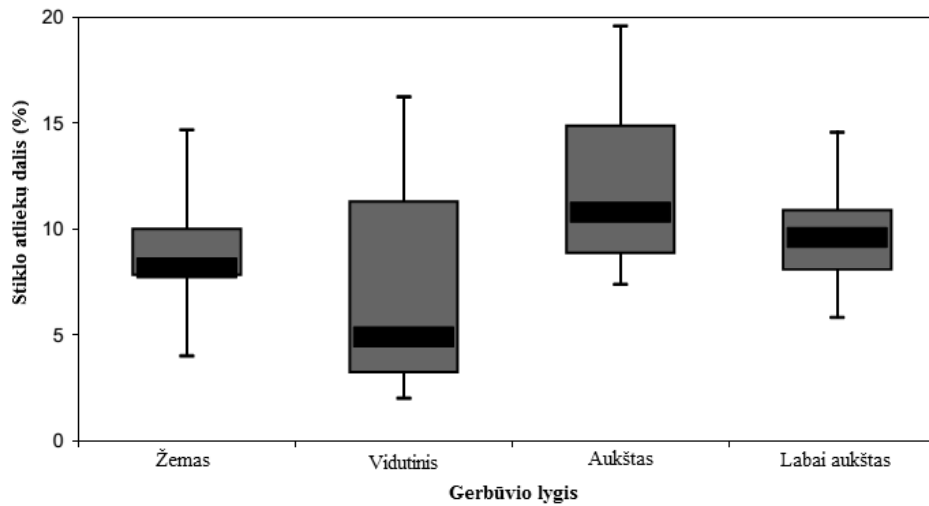
Bioskaidžių atliekų procentinis kiekis mišrių komunalinių atliekų sraute skiriasi ne taip ženkliai, tačiau skirtumų yra. Kaip matyti paveiksle (žr. 5 pav.) akivaizdžiai skiriasi biologiškai skaidžių atliekų dalis žemo lygio šalyse – vidutiniškai jos sudaro apie 47 proc. visų MKA. Tuo tarpu vidutinio, aukšto ir labai aukšto lygio šalyse bioskaidžių atliekų dalis, esanti MKA sraute, yra gana panaši (sudaro apie 35 proc.) (Beigl et.al., 2003).



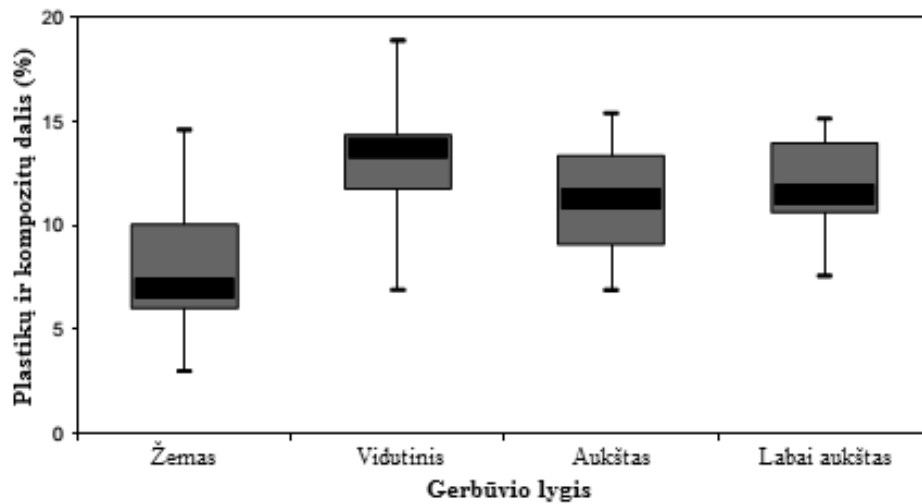
5 pav. Bioskaidžių atliekų dalis (%) MKA sraute (Beigl et.al., 2003)

Apskritai, biologiškai skaidžios maisto ir sodo atliekos sudaro didžiausią mišrių komunalinių atliekų srauto dalį.

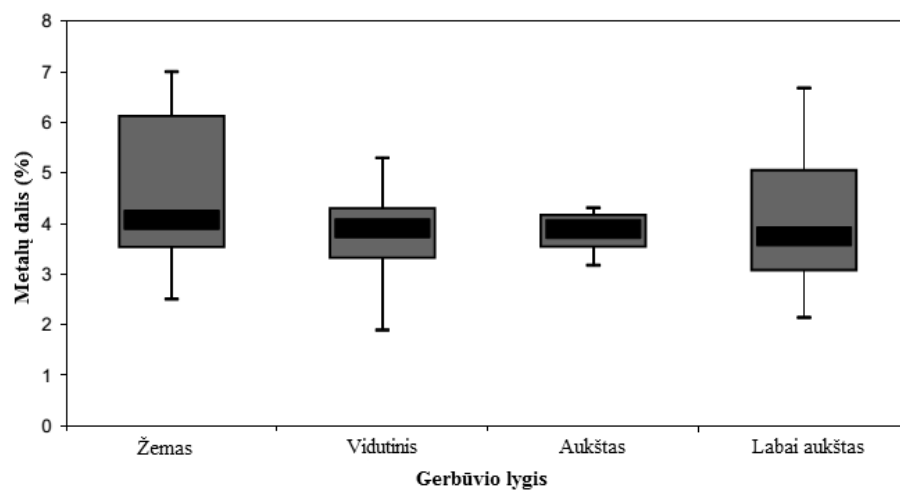
Kalbant apie kitas antrines žaliavas – stiklą, plastiką, metalus – nėra jokių reikšmingų tendencijų, jog susidarantis atliekų kiekis eina koja kojon su socialine ir ekonomine plėtra (Beigl et. al., 2003) (žr. 6, 7, 8 pav.). Šių atliekų kiekiai priklauso nuo žmonių vartojimo įpročių.



6 pav. Stiklo atliekų dalis (%) MKA sraute (Beigl et. al., 2003)



7 pav. Plastikų ir kompozitų dalis (%) MKA sraute (Beigl et. al., 2003)



8 pav. Metalų dalis (%) MKA sraute (Beigl et. al., 2003)

Akivaizdu, kad susidarantis atliekų kiekis yra proporcingas gyventojų skaičiui, jų pragyvenimo lygiui. Tačiau be šių pagrindinių faktorių, bendrą susidarantį atliekų kiekį bei sudėtį dar įtakoja kiti

faktoriai, tokie kaip klimatas, gyvenimo įpročiai, religiniai ir kultūriniai įsitikinimai, išsilavinimas, visuomenės požiūris (Bandara et. al., 2007).

1.2. Atliekų šalinimas į sąvartynus

„Pagrindinė sąvartyno paskirtis – ilgalaikis ir tiek aplinkai tiek žmogaus sveikatai saugus, į jį pašalintų atliekų saugojimas. Europos valstybėse dažnai vartojamas kitoks terminas – *“sanitary landfill”* (sanitarinis sąvartynas), kuriuo pabrėžiama, kad atliekos šalinamos ir saugomos sąvartynuose ypač saugia“ (Staniškis, 2004, p. 160).

Daugelyje pasaulio regionų, sąvartynai jau senai buvo vertinami kaip galutinis atliekų saugojimo būdas už mažiausią kainą. Šiuo metu, gerai žinomas faktas, kad tokie veiksmai turi pasekmių:

- „Atliekų šalinimas į sąvartynus, sukelia dirvos ir gruntinių vandenų užteršimą. Visada išlieka galimybė, kad šie sąvartynai nebus tinkamai prižiūrimi, gali įvykti nenumatytų išsiliejimų, ir tada jų keliama tarša ypač padidėja“ (Staniškis, 2004, p. 160);
- „Iš sąvartynų sklinda nemalonūs kvapai“ (Staniškis, 2004, p. 161);
- Sąvartynuose daugėja paukščių, besimaitinančių sąvartynuose laikomomis atliekomis;
- Daugėja žiurkių ir kitų gyvūnų, platinančių įvairias ligas, kurių židiniai yra patys sąvartynai;
- Organinių atliekų degradacija sąvartyne generuoja ilgalaikes metano emisijas, skatinančios globalinį atšilimą (Krook et.al., 2012; Staniškis, 2004).

Nors paskutiniuoju metu daug dėmesio skiriama atliekų kiekio mažinimui, antriam panaudojimui bei perdirbimui, atliekų šalinimas sąvartyne išlieka svarbia atliekų tvarkymo dalimi. Lietuvoje didžioji dalis atliekų vis dar patenka į sąvartynus. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis 2013 m. susidarė 1,3 mln. tonų atliekų, iš kurių 62 proc. pateko į sąvartyną (žr. 1 lentelę) (AAA).

1 lentelė. Surinktos/susidariusios komunalinės atliekos 2009-2013 metais (AAA)

| Metai | Susidaręs komunalinių atliekų kiekis, tūks.tonų | Šalinimas į sąvartynus (nuo surinkto kiekio), % |
|-------|---|---|
| 2009 | 1205 | 90,65 |
| 2010 | 1253 | 86,12 |
| 2011 | 1315 | 77,12 |
| 2012 | 1330 | 72,97 |
| 2013 | 1280 | 62,37 |

Tačiau lyginant su ankstesniais metais atliekų šalinimas sąvartyne žymiai pagerėjo. Daugelyje regionų (tarp jų ir Lietuvoje) yra įrengti kontroliuojami sąvartynai, kurių paskirtis ilgalaikis ir tiek aplinkai, tiek žmogaus sveikatai saugus atliekų saugojimas. Mišrios komunalinės atliekos yra laikomos kontroliuojamame sąvartyne su specialiomis paviršinio ir požeminio drenažo sistemomis, dviguba

membrana, stebimų gręžinių tinklu ir kitais inžineriniais įrenginiais, kurių paskirtis – kuo daugiau sumažinti teršalų prasiskverbimo į aplinką pavojų ir taip minimizuoti sąvartynų daromą poveikį aplinkai (Staniškis, 2004).

1.2.1. Atliekų biodegradacija sąvartyno aplinkoje

Sąvartyne vyksta biocheminės reakcijos, kuomet organinė frakcija yra skaidoma. Todėl sąvartynas gali būti traktuojamas kaip biocheminis reaktorius, kurio žaliavomis tarnauja atliekos ir vanduo, o produktas yra filtratas ir dujos (Tchobanoglous et.al., 1993).

Mišrių komunalinių atliekų irimo intervalas sąvartyne priklauso nuo atliekų savybių, atliekų sudėties (atliekos gali būti suskirstytos į dvi grupes: 1) greitai yrančios medžiagos (irimo procesas trunka nuo 3 mėnesių iki 5 metų) ir 2) lėtai yrančios medžiagos (irimo procesas gali užtrukti ir iki 50 metų arba dar ilgiau) (žr. 2 ir 3 lentelę), atliekų amžiaus, drėgmės, maistinių medžiagų kiekio, pH ir temperatūros kuri įtakoja bakterijų augimą; sąvartyno savybių (dujų ir filtrato tvarkymas) ir sąvartyno eksploatavimo (tankinimo laipsnis, atliekų sluoksnio storis, sąvartyno dangos rūšis ir storis, patenkantis drėgmės kiekis ir filtrato tvarkymas) (Tansel et.al., 2011; Staniškis, 2004).

2 lentelė. MKA santykinis patvarumas sąvartyno aplinkoje (Tanselet.al., 2011)

| Patvarumas, metais | Mišrių komunalinių atliekų frakcijos |
|--------------------|--|
| 0-10 metų | Celiuliozės atliekos (banano/apelsino žievelė) |
| 10-20 metų | Mišrios atliekos (pvz: vienkartinės sauskelnės) |
| 20 ir daugiau metų | Plastikai (plastikiniai buteliai) Metalai (alavo/aliuminio skardinės) Stiklas (pvz: buteliai) Celiuliozės atliekos (pvz: medžių šakos, telefonų knygos, apdorota mediena) |

3 lentelė. Greitai ir lėtai biodegraduojančios organinės atliekos MKA
(Tchobanoglous et al., 1993)

| Organinių atliekų frakcija | Greitai biodegraduojančios | Lėtai biodegraduojančios |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Maisto atliekos | + | |
| Laikraščiai | + | |
| Įstaigų popierius | + | |
| Kartonas | + | |
| Plastikai ^a | | |
| Tekstilė | | + |
| Guma | | + |

3 lentelės tęsinys kitame puslapyje

| | | |
|----------------------------|----------------|----------------|
| Oda | | + |
| Sodo atliekos | + ^b | + |
| Mediena | | + |
| Mišrios organinės atliekos | - | + ^c |

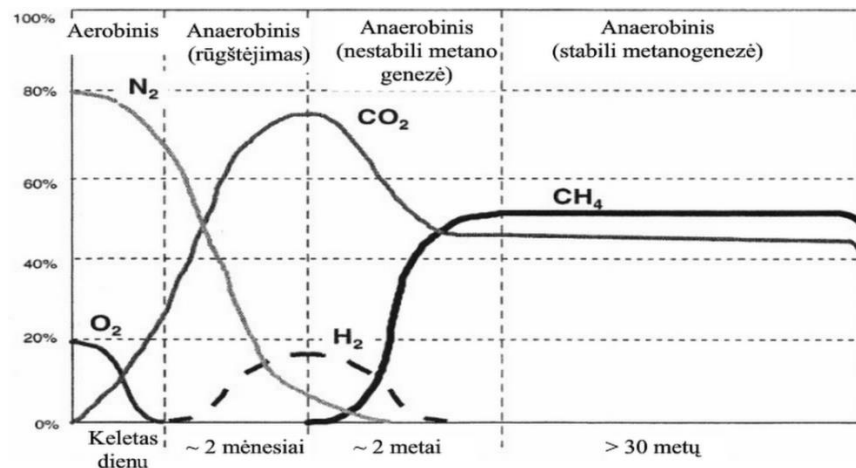
a – plastikas paprastai laikomas biologiškai neskaidus

b – lapai ir žolė. Paprastai 60 proc. sodo atliekų laikomos greitai biodegraduojančiomis.

c – medienos dalis sodo atliekose.

Celiuliozė ir hemiceliuliozė yra pagrindiniai biologiškai skaidomi komponentai mišriose komunalinėse atliekose ir jų skaidymo procesas iki CH_4 , CO_2 aprašomas toliau (Morton et.al., 2006).

Kompleksas cheminių reakcijų yra susiję su atliekomis sąvartyne (žr. 9 pav.). *Pirmajame skilimo etape* vyksta aerobinė organinių medžiagų oksidacija, kurios metu susidaro vanduo ir anglies dvideginis. Šiuo metu sunaudojamas atliekų sluoksnyje esantis oro deguonis ir formuojasi anaerobinės sąlygos (Staniškis, 2004). *Antrajame etape* anaerobinėmis sąlygomis, veikiant hidrolitinėms bakterijoms ir mikrobu išskirtiems fermentams, organiniai atliekų komponentai hidrolizunami į amino rūgštis, peptidus, stambiamolekulines riebalines rūgštis, glicerolį ir monosacharidus. Rūgštis fermentaciją sustiprina didelis drėgmės arba vandens kiekis atliekose. Ši ankstyva sąvartyno stadija vadinama *acitogenezės faze*. Kadangi šios rūgštys yra biologiškai skaidžios, didžiausios *BDS* ir *ChDS* koncentracijos filtrate bus išmatuojamos šiame etape. Metano gamyba prasideda *trečiajame skilimo etape*, tai *metanogenezės fazė*. Karboksirūgščių koncentracija sumažėja, atitinkamai sumažėjant *BDS* ir *ChDS* koncentracijai filtrate, padidėja pH. Šiame etape prasideda intensyvus celiuliozės ir hemiceliuliozės skilimas. *Ketvirtame skilimo etape*, karboksirūgščių akumuliacija išsikvojama ir metano susidarymo greitis priklauso nuo celiuliozės ir hemiceliuliozės hidrolizės greičio. Šiame etape *BDS/ChDS* yra ganas mažas, nes ištirpusi organinė medžiaga, kuri yra suskaidoma, yra vartojama taip greitai kaip ji gaminama (Renou et.al., 2007; Morton et.al., 2006).



9 pav. Organinių atliekų biodegradacija priklausomai nuo sąvartyno amžiaus (Staniškis, 2004)

Mišrių komunalinių atliekų sraute didžiąją atliekų dalį sudaro plastikų atliekos. Šių atliekų irimo greitis yra labai lėtas, skirtingai nei kitų organinių atliekų, pavyzdžiui maisto atliekų.

Taip yra todėl, kad plastmasės kurias mes naudojame šiandien yra pagamintos iš organinių (polimerinių) ir neorganinių žaliavų. Pagrindinės plastikų gamybai naudojamos organinės medžiagos yra išgautos iš naftos, anglių ir gamtinių dujų. Vienos svarbiausių plastikų savybių tai stabilumas ir ilgaamžiškumas. Todėl netinkamai išmestos plastikų medžiagos tampa reikšmingu taršos šaltiniu aplinkai (Shah et.al., 2008).

Yra trys galimi plastikų skilimo mechanizmai aplinkoje: biodegradacija, fotodegradacija ir terminė oksidacija (Webb et. al., 2013). Tačiau sąvartyne dėl esančių sąlygų (neprisiskverbiamos saulės spinduliai, nėra deguonies, vyrauja anaerobinės sąlygos) fotodegradacija ir terminė degradacija nevyksta. Iš esmės vyksta tik skaidymas mikroorganizmais, o jis yra lėtas, be to daugelio medžiagų, esančių plastikuose, mikroorganizmai nepripažįsta kaip maisto šaltinio (Shah et. al., 2008).

Pavyzdžiui, medienos ir jos produktų grybelinis skilimas vyksta tik esant deguoniui. Sąvartyno aplinkoje vyrauja anaerobinės sąlygos, todėl medienos ir popieriaus skilimas yra susijęs su bakterijų veikla, tačiau šis skaidymas vyksta žymiai lėčiau negu grybelinis (Barlaz, 2006). Tą akivaizdžiai parodo ir mokslininkų tyrimai atlikti Sidnėjuje (Ximenes et. al., 2008), kuomet dauguma medienos gaminių, atkastų praėjus 19–46 metams po pašalinimo, nerodė jokių akivaizdžių irimo požymių. Pjovimo lentos, baldų komponentai ir kiti gaminiai buvo lengvai atpažįstami tarp medienos gaminių, rastų sąvartyne. Lengvai buvo atpažįstami ir popieriaus gaminiai: laikraščiai, žurnalai, telefonų knygos.

1.3. Išteklių atgavimas iš sąvartynų

Jau darbo pradžioje paminėta, kad Lietuvoje didžioji dalis atliekų buvo ir vis dar šalinama į sąvartynus. Komunalinių atliekų sraute plastikų atliekos sudaro 9%, popierius/kartonas 14%, stiklas 9%, metalai 3% it t.t. (Židonytė, 2009). Su komunalinių atliekų srautu į sąvartyną patenka didžiuliai kiekiai antrinių žaliavų. Todėl dėl ribotų žaliavų atsargų būtina atkreipti dėmesį į didžiules medžiagų atsargas įtrauktas į sąvartynus. Šios atsargos sudaro didelį išteklių potencialą:

- Plastikai – tai vieną didžiausių atgavimo potencialą turinčių iškastų atliekų, kadangi plastiko atliekų irimas sąvartyno aplinkoje yra labai ilgas ir lėtas procesas (Shah et.al., 2008). Iškastos plastikų atliekos gali būti plaunamos taip padidinant jų šiluminę vertę ir panaudojant kaip kurą (Kriipsalu, 2014). Taip pat perdirbus vieną PET butelį, sutaupoma tiek energijos, kad 60 W lemputė galėtų šviesti net 3 valandas. Gaminant polietileninius pirkimo maišelius iš atliekų, energijos suvartojamas sumažėja dviem trečdaliais, vandens – 90 proc., o anglies dioksido patekimas į atmosferą – 2,5 karto (Aplinkosaugos informacijos centras [AIC], 2007).

- „Antrinis popierius turi daug pranašumų prieš medieną ir celiuliozę – jis yra žymiai pigesnis, nes taupo energiją ir vandenį, sumažina atliekų kiekį bei CO₂ emisiją, jo gamyboje nenaudojami jokie chemikalai, sustabdomas intensyvus medžių kirtimas“ (AIC, 2007). Nors tikėtina, kad iš sąvartynų atgautos popieriaus žaliavos nebūtų tinkamos antriniam panaudojimui, dėl minėtos (žr. 1.2.1 skyrelį) atliekų degradacijos, tačiau ši atliekų frakcija pasižymi aukšta šilumine verte, kas leistų panaudoti ją kaip kurą, energijos gamybai.

- Iš sąvartyno atgautos metalinės pakuotės gali būti ištirpdytos ir vėl panaudotos. „Aluminio perdirbimas ypač svarbus, nes jo žaliava gamtoje yra uoliena boksitas (norint ją išgauti masiškai kertami atogrąžų miškai). Tuo tarpu 1 t perlydyto plieno sutaupo apie 1,5 t geležies rūdos. Perdirbant aliuminio atliekas kiekvienai tonai šio metalo sutaupoma 4 t boksitų ir net 95 proc. energijos“ (AIC, 2007).

1.3.1. Sąvartynų kasybos teorija

Sąvartynų kasybos koncepcija. Literatūroje sąvartynų kasyba apibūdinama kaip atliekų tvarkymo metodas, skirtas medžiagoms ir kitiems gamtiniams ištekliams išgauti iš atliekų, kurios anksčiau buvo pašalintos ir užkastos po žeme (Jones et.al., 2012; Martinho et.al.; Zhou et.al., 2014; Gaitanarou et.al; Cossu et.al. 2012). Tačiau pačioje pradžioje sąvartynų kasybos metodas nebuvo vykdomas daugiausiai dėmesio skiriant išteklių atgavimui (Jones et.al.,2012). Sąvartynų kasyba buvo vykdoma siekiant sumažinti požeminio vandens taršą, taip pat sąvartyno tūrio atgavimui. Tačiau bėgant laikui vis didesnis dėmesys buvo skiriamas išteklių atgavimui. Didelės žaliavų atsargos yra įtrauktos ne tik į miestų infrastruktūros, bet ir į sąvartynus. Šios atsargos sudaro didelį išteklių potencialą, todėl laikui bėgant sąvartynų kasybos metodas įgijo naują vertę ir pavadinimą: „Patobulinta Sąvartynų Kasyba (angliškai „Enhanced Landfill Mining“ – ELMF)“. ELMF koncepcija pradėta kurti nuo 2008 metų. Pagrindinė šios sąvokos idėja yra medžiagų atgavimo metodas iš naujų, senų sąvartyno vietų ar šiukšlynų ir pakartotinai panaudojant tam tikru tikslu, įvedant dar kartą į medžiagų grandinę. Metodas leidžia gauti svarbius išteklius: medžiagas, energetinius išteklius, geriamąjį vandenį ir laisvas vietas. Antrinė nauda yra ta, kad šis metodas taip pat tinka dirvožemio atkūrimo tikslams. Taigi, ELMF apibūdinamas kaip saugus kondicionavimas, kasimas ir integruotas sąvartyne pašalintų atliekų panaudojimas kaip medžiagos ar energija, naudojant inovatyvias technologijas ir atsižvelgiant į griežčiausius socialinius ir ekologinius kriterijus (Jones et.al.,2012; Behets et.al., 2013).

Istorija. Sąvartynų kasyba literatūroje pirmą kartą paminėta 1953 metais kaip technika naudojama Izraelyje išgauti kompostą vynuogynams tręšti ir kitoms žemės ūkio veikloms. Kasimui buvo naudojamas frontalinis krautuvas. Atliekų atskyrimo įrangą sudarė bugninis sietas ir atliekų transportavimo konvejeriai. Iškastos atliekos buvo sijojamos pro būgninį sietą. Smulkioji frakcija atskirta sijojimo metu buvo panaudota kaip dengimo medžiaga, o stambioji atliekų frakcija buvo

išrūšiuota rankiniu būdu antrinėms žaliavoms atgauti. Vėliau šis metodas buvo taikomas JAV gauti kuro deginimui ir energijos išgavimui. 1987-1993 metų laikotarpiu buvo iškasinti šeši sąvartynai.

Europoje pirmoji sąvartynų kasybos patirtis įgyta Vokietijoje 1993 metais, kasinėjant Burghof sąvartyną. Tikslas buvo gauti daugiau laisvos vietos atliekų šalinimui bei įvertinti jų techninį ir ekonominį įgyvendinamumą. Šis ir kiti tyrimai buvo atliekami pirmiausia siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, atsiradusias dėl senų sąvartynų netinkamo eksploatavimo, ir įrengti naujus sąvartynus naudojant modernias technologijas.

1994 metais Švedijoje įvykdyta pirmoji sąvartynų kasyba, siekiant įvertinti smulkiosios frakcijos panaudojimą kaip dengiamąją sąvartyno medžiagą, vietoj natūralių medžiagų, galimybes. Austrijoje sąvartynų kasybos projektas atliktas 1995 metais, pramoniniame ir mišrių komunalinių atliekų sąvartyne, to priežastis buvo intensyvios biodujų gamybos mažinimas ir siekimas išspręsti požeminio vandens problemas (Martinho et.al.).

Per paskutinius šešis dešimtmečius sąvartynų kasybos projektai išplito po visą pasaulį, bet didžiausias susidomėjimas šios technologijos galimybėmis pastebimas būtent šiandien. Šiuo metu įvairūs kasinėjimo projektai vykdomi Skandinavijos šalyse, Belgijoje, Italijoje, Turkijoje ir kitur (Simonaitytė, 2014). Tačiau pasak mokslininkų mišrių komunalinių sąvartynų kasyba daugelyje ES šalių turėtų būti susitelkusi į tuos sąvartynus, kurie buvo įkurti tarp 1960 ir 1995m., nes po šio laikotarpio dauguma Europos Sąjungos šalių įvedė atliekų perdirbimo programas (Ford et.al., 2013).

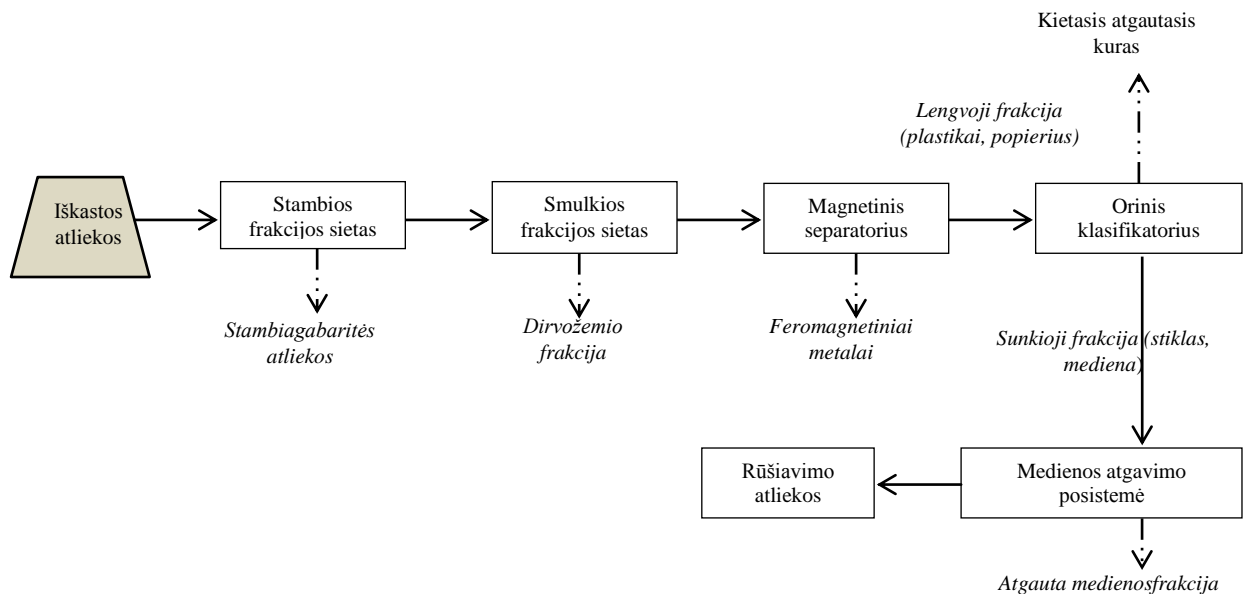
Skaičiuojama, jog vien Baltijos jūros regione yra apie 75-100 tūkst. sąvartynų, dauguma jų jau uždengti ir nebenaudojami. Visoje Europos Sąjungoje yra nuo 150 iki 500 tūkst. sąvartynų (Jones et.al., 2012; Gaitanarou et.al.). Žvelgiant iš Lietuvos pusės, pasinaudojant ES lėšomis buvo įkurti 11 naujų regioninių sąvartynų, o daugiau nei 800 senųjų, neatitinkančių ES reikalavimų – uždaryti ir rekultivuoti. Nors šiuose sąvartynuose penkerius metus po uždarymo neleidžiama vykdyti jokios veiklos, tačiau tikimasi ateityje atlikti sąvartynų kasybos darbus (Simonaitytė, 2014).

Sąvartynų kasybos privalumai. Literatūroje sąvartynų kasybos privalumai apibūdinami kaip (Pires et.al., 2007; Cossu et.al. 2012):

- *Išteklų atgavimas* – galimybė perdirbti tam tikras medžiagas, kurios kitu atveju taptu potencialiu taršos šaltiniu aplinkoje, ypač senuose sąvartynuose, kuriuose nėra izoliacinio sluoksnio;
- *Sąvartyno eksploatacijos trukmės prailginimas* – sąvartynų kasybos metu atgaunama dalis atliekų, todėl sumažėja atliekų kiekis sąvartyne, o tai lemia ilgesnį sąvartyno eksploatavimo laiką arba tų vietų panaudojimą įrengiant parkus ar naujus aplinkosauginius reikalavimus atitinkančius sąvartynus;
- *Išsiskiriančios taršos mažinimas* – visiškas atliekų iškasimas ir taršos šaltinio pašalinimas, visiškai ir galutinai išspręstų sąvartynų taršos problemą;

- *Teritorijų atgavimas* – seni sąvartynai dažnai yra įsikūrę vietose, kuri trukdo urbanistiniai plėtrai. Vietos pertvarkymas gali būti vykdomas po sąvartynų kasybos, įkuriant parkus, golfo laukus ir pan.

Sąvartynų kasybos technologija. Sąvartynų kasyboje taikoma technologija visų pirma priklauso nuo kasybos tikslų ir konkrečios vietos savybių (Prechta et. al., 2008). Apskritai, iškastų atliekų rūšiavimui ir apdorojimui naudojama technika yra labai panaši į tą, kuri naudojama antrinių žaliavų apdorojimui (žr. 10 pav.), t.y. naudojami sietai, magnetiniai separatoriai, oriniai klasifikatoriai ir t.t. (Cossu et.al., 2012).



10 pav. Sąvartynų kasybos technologinė schema (Cossu et.al., 2012)

Paprastai procesas susideda iš kasimo, sijojimo ar dirvožemio atskyrimo ir perdirbamų medžiagų apdorojimo. Atliekos yra iškasamos iš stabilaus sąvartyno ir tuomet atliekamas atskyrimo procesas. Būgninis arba vibruojantis sietas naudojamas atskirti dirvožemį nuo kietųjų atliekų iš iškastų atliekų srauto. Naudojamo sieto dydis ir tipas priklauso nuo galutinio atgautos medžiagos panaudojimo (Prechta et.al., 2008).

Sąvartynų kasybos atvejai, išteklių atgavimui skirstoma į dvi grupes: pirma, tai išteklių atgavimas vietoje (sąvartyno viduje, angliškai vadinama „in-situ“) – metano išgavimas, kuris vykdomas neiškasant atliekų iš sąvartyno. Antra, (angliškai vadinama „ex-situ“) sąvartyno kasyba apima išteklių atgavimą dalinai arba pilnai iškasant sąvartyne pašalintas medžiagas tolimesniam apdorojimui. Ši strategija priklauso nuo esminių parametrų, tokių kaip, sąvartyno dydis, vieta, amžius, sudėtis (Jones et.al., 2012)..

Pavyzdžiui, sąvartynai sudaryti iš didelių frakcijų pramoninių atliekų (įskaitant metalus, šlaką) linkę būti tinkamesni „ex-situ“ metodui, o mišrių komunalinių atliekų sąvartynai yra tinkamesni

bioreaktorių sąvokai t.y dujų išgavimui. Tačiau mišrių komunalinių atliekų sąvartynams taip pat gali būti taikomi abu metodai: „in-situ“ ir „ex-situ“ (Jones et.al., 2012).

1.3.2. Atgaunamų medžiagų potencialo vertinimas

Literatūroje nurodama, kad planuojant sąvartynų kasybą visų pirma labai svarbu yra įvertinti sąvartyne esančių atliekų sudėtį. Todėl norint įvertinti sąvartyne pašalintų išteklių potencialą kokybinę ir kiekybinę atliekų analizė yra būtina (Prechthai et.al., 2008). Kai tai nėra pilnai įvertinama, projektas gali būti pernelyg rizikingas ir išlaidos negali būti tinkamai apskaičiuotos. Atliekų sudėties detalus supratimas, paprastai reikalauja didelių pastangų tyrimams, be to tokie tyrimai yra gana brangūs ir to gali neužtekti, kad būtų patikimai apibūdinta atliekų sudėtis (Ford et.al.,2013). Tačiau bet koku atveju atliekų sudėties įvertinimas yra vienas iš pasiruošimo žingsnių, kuris privalo būti atliekamas, siekiant įvertinti išteklių atgavimo galimybes iš sąvartyno (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Operatyvi procedūra vertinant sąvartynų kasybos projektą (Winterstetter et.al., 2015)

| <i>Vertinimo etapai</i> | <i>Tikslai</i> | <i>Metodai sprendimo radimui</i> | <i>Preliminarūs klasifikavimo rodikliai</i> |
|-------------------------|--|--|---|
| <i>Žvalgymas</i> | Pirmieji vertinimai dėl išteklių potencialo: projekto pasirinkimas | Sąvartynų statistikos ir literatūrinių duomenų apie atliekų sudėtį analizė ir vertinimas | 1) Sąvartyno tipas; 2) sąvartyno eksploatavimo periodas; 3) sąvartyno tūris; 4) atstumas iki kitų sąvartynų ir kt. |
| <i>Tyrinėjimas</i> | Sąvartyno bendras išteklių potencialas | Specifinių sąvartynų detalūs tyrimai: duomenys iš atliekų šalinimo ataskaitų, atliekų mėginių ir analizės. Atgavimo galimybė ir vertinamas dėl kiekio ir kokybės: kiekis kurį galima išgauti ir potencialiai tinkami išteklių: Atgavimo efektyvumas ir technologinės modeliavimo alternatyvos | Sąvartyno turinys ir neaiškumai apie jį; Neapibrėžtumai dėl projekto įgyvendinimo; Technologijos (medžiagų išgavimui ir atgavimui). |
| <i>Vertinimas</i> | Socialinis ir ekonominis vertinimas, įskaitant tiesioginį finansinį poveikį ir nepiniginius modifikuojančius veiksnius | Analizė | Grynoji dabartinė vertė: a) $GDV > 0$ rezervas; b) $GDV < 0$ išteklių ar ne? |
| <i>Klasifikavimas</i> | Kombinacija visų kriterijų ir klasifikavimo | | |

Taigi, sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis gali būti nustatomi pasitelkus keletą metodų:

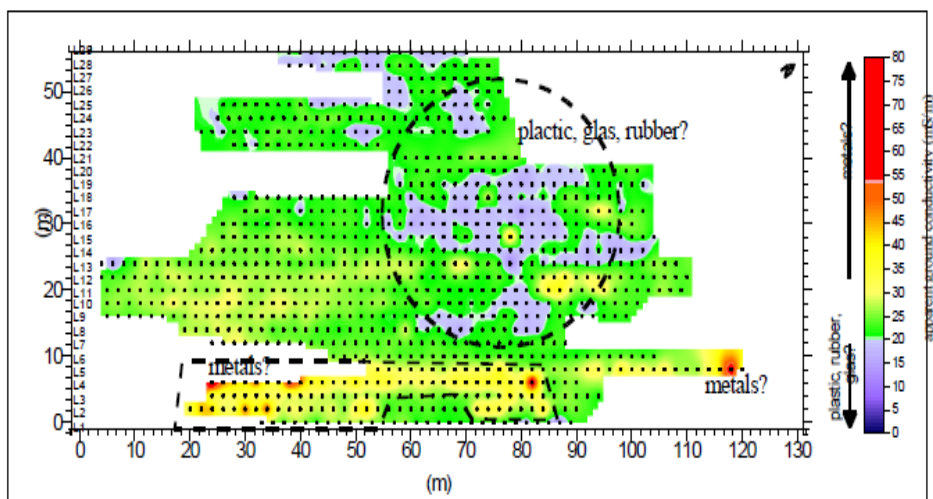
1. *Duomenų analizė ir prognozavimas.* Turimų duomenų apie atliekų kiekius ir jų sudėtį analizė. Statistinių duomenų, regioninio atliekų tvarkymo centro metinių ataskaitų nagrinėjimas. Jei nėra pakankamai duomenų apie atliekų kiekius ir sudėtį, vienas iš papildomų metodų atliekų kiekiui ir sudėčiai nustatyti yra prognozavimas. Dažniausiai tradiciniai mišrių komunalinių atliekų prognozavimo metodai remiasi socialiniais ir ekonominiais veiksniais, tenkančiais vienam gyventojui (Dyson et al., 2005).

LCA–IWM prognostinis modelis padeda įvertinti kietųjų komunalinių atliekų Europos miestuose susidarymo galimybes. Prognostinis modelis taikomas sparčiai ekonomiškai besivystantiems miestams Pietų ir Rytų Europos šalyse. Tai leidžia pateikti pagrįstus atliekų susidarymo prognozės rodiklius bei atliekų sudėties pokyčius. Tai ilgalaikių demografinių, socialinių ir ekonominių regiono pokyčių nagrinėjimas – žymiai didesnio nei įprastinių vertinimų prognozės tikslumo pagrindas (Beigl et. al., 2003).

2. *Mėginių ėmimas ir analizė* – Vienas iš labiausių paplitusių metodų atliekų sudėčiai nustatyti yra mėginių ėmimas iš sąvartynų. Yra daug studijų, kurios pasitelkusios šį metodą įvertino sąvartyne pašalintų atliekų sudėtį (Hull et.al., 2005; Quaghebeur et.al.,2012, Prechthai et al., 2008). Vienas iš didžiausių šio metodo privalumų yra tai, kad galima atlikti atliekų savybių tyrimus ir nustatyti fizines ir chemines atliekų savybes, įvertinti atliekų šilumingumą. Mėginių ėmimas atliekamas pasirinktose sąvartyno vietose darant gręžinius ir imant atliekų bandinius tolimesnei analizei, kuri atliekama laboratorijose.

3. *Geofizinis metodas.* Tai itin brangus metodas, pasitelkus specialią įrangą, kuri pagrįsta elektromagnetiniu laidumu, leidžiama įvertinti sąvartyne pašalintų metalų kiekius. Įrenginiui rodant aukštą elektromagnetinį laidumą, galima priimti, kad sąvartyne yra metalų. Šis metodas taikytas Belgijoje, vertinant sąvartyne pašalintų atliekų kiekius (Wille et.al., 2013). Geofizinis metodas gali būti atliekamas keliais būdais: elektromagnetiniu profiliavimu, žemės radaru (GPR), geo-elektrine tomografija.

Elektromagnetinis indukcinis metodas. Žemės laidumas gali būti išmatuotas naudojant elektromagnetinį indukcinį metodą (EM). Išmatuotos vertės EM metodu atvaizduojamos žemėlapyje. Pokyčiai žemėlapyje su didelėmis arba mažomis laidumo zonomis, gali būti siejami su feromagnetinių ar spalvotųjų metalų buvimu (žr. 11 pav.).



11 pav. Žemės laidumas nustatytas elektromagnetiniu metodu (Wille et.al., 2013)

1.3.3. Atgautų medžiagų sudėtis ir savybės

Kiekvienas sąvartynas pasižymi tam tikru potencialu, atsižvelgiant į sąvartyno kasybą. Tokie veiksniai, kaip sąvartyno amžius, tipas, šalis ir regionas įtakoja sąvartyno atliekų sudėtį ir išteklių atgavimo galimybes (Quaghebeur et.al. 2012). Todėl priklausomai nuo šių veiksnių kiekvieno sąvartyno atliekų sudėtis yra skirtinga ir tai lemia skirtingas atgautų atliekų panaudojimo galimybes.

Literatūroje nurodama, kad įprastai mišrių komunalinių atliekų sąvartynai sudaryti iš 50-60 proc. dirvožemio tipo medžiagos (dengiamosios medžiagos ir suirusių bioskaidžių atliekų), 20-30 proc. degių atliekų (pvz: plastiko, popieriaus, medienos), 10 proc. inertinių medžiagų (betono, akmenų, stiklo) ir nedidelio procento metalų (daugiausia feromagnetinių) (Krook et.al., 2012; Zhou et.al., 2014; Bockreis et.al., 2011).

Todėl teoriškai atgautų atliekų sudėtį ir jų panaudojimo galimybes galima išskirti taip (Cossu et. al., 2012):

- Atliekų frakcija, sudaryta iš *popieriaus, kartono, plastikų, medienos, tekstilės*, gali būti atgauta ir panaudota energijos gamybai. Šie komponentai įprastai randami stambiojoje frakcijoje ir gali būti atskirti nuo kitų atliekų kaip stambiagabaritės atliekos (nuo 40-50 mm).

Profesoriaus W. Hoglando nuomone, ši atliekų frakcija pasižymi dideliu šilumingumu (7÷8 MJ/kg) ir gali būti naudojama kaip kuras, nenaudojant papildomų kuro šaltinių (Cossu et. al., 2012). Taip pat įvertinama galimybė, kad plastikų atliekos tam tikrais atvejais, gali būti atskirtos nuo kitų komponentų, plaunamos, apdorojamos ir perdirbamos į naujus produktus (Kriipsalu, 2014);

- *Metalai*, ypač feromagnetiniai, gali būti perdirbti į naujus produktus;
- *Smulkioji frakcija*, su didesniu organinių medžiagų kiekiu. Šios frakcijos panaudojimas kaip trąšos žemės ūkyje yra šiek tiek problematiškas dėl galimai mažos tokio „komposto“ paklausos

rinkoje ir dėl kokybės. Tokiu atveju, smulkioji frakcija gali būti naudojama užpildyti žemės įdubimus, statant pylimus, užtvaras;

- *Inertinė frakcija*, pavyzdžiui akmenys, stiklas, kurie sudaro didžiąją dalį sunkiosios frakcijos. Atgautas stiklas gali būti perdirbamas, o kita inertinė frakcija kaip akmenys, betonas gali būti panaudojami kelių tiesime;
- *Likutinė frakcija*, kuri vėliau gražinama atgal į sąvartyną.

Taigi, paprastai, plastikas, popierius, mediena, tekstilė formuoja šiluminę frakciją ir yra randama stambiojoje atliekų frakcijoje. Pavyzdžiui, atgauta stambioji organinė frakcija (>50 mm) iš sąvartyno gali būti tiesiogiai deginama, o kartais ir vidutinė frakcija (18-50mm) gali būti deginama naudojant papildomą kurą. Tačiau smulkioji frakcija (<18mm), įprastai nėra deginama, dėl mažos šiluminės vertės ir labai didelio peleningumo (Bockreis et.al., 2011). Geležis, cinkas, aliuminis yra metalai, kurie paprastai gali būti randami didžiausiomis koncentracijomis atliekose ir yra pasiskirstę visame atliekų sraute pagal dydį. Taip pat retieji žemės metalai gali būti randami mažomis koncentracijomis (Munnich et.al., 2013).

Studijų metu įvertinta iškastų atliekų sudėtis pateikiama 5 lentelėje. Skirtingų studijų pavyzdžiai leidžia pamatyti, kad sąvartynuose visais atvejais vyrauja plastikų, popieriaus ir medienos atliekos.

5 lentelė. Atliekų sudėtis sąvartynuose (%) pagal skirtingus literatūros šaltinius

| Atliekų frakcija | Tailandas (3-5 metų senumo) Prechthai et. al. (2008) | Švedija (17-25 metų senumo) Hogland et. al. (2004) | Belgija (14-29 metų senumo) Quaghebeur et. al. (2012) | Mažiausia reikšmė | Vidutinė reikšmė | Didžiausia reikšmė |
|-----------------------|--|--|---|-------------------|------------------|--------------------|
| Popierius ir kartonas | 3,3 | 7,2 | 7,5 | 3,3 | 5,33 | 7,5 |
| Plastikas | 31 | 4,4 | 17 | 4,4 | 14,20 | 31 |
| Tekstilė | 7,6 | 1,8 | 6,8 | 1,8 | 4,50 | 7,6 |
| Metalai | 6,4 | 1,6 | 2,8 | 1,6 | 3,10 | 6,4 |
| Mediena | 8 | 7,2 | 6,7 | 6,7 | 7,15 | 8 |
| Stiklas | 6,5 | 0,5 | 1,3 | 0,5 | 2,20 | 6,5 |
| Akmenys | 3,3 | 16 | 10 | 3,3 | 8,15 | 16 |
| Dirvožemis | 34 | 60 | 44 | 34 | 43,00 | 60 |

Atgautų atliekų savybės. Žinios apie iškastų atliekų sudėtį ir savybes yra reikalingos nustatyti techninį ir ekonominį sąvartyno regeneravimo įgyvendinamumą. Dėmesys atliekų savybėms yra kaip parametras, leidžiantis įvertinti aplinkos sąlygas sąvartyne (temperatūrą, drėgmę), degradacijos laipsnį,

iškastų frakcijų kokybę, kurios yra svarbios parenkant perdirbimo, apdorojimo ir šalinimo būdus (užterštumas, piltinis tankis, dalelių pasiskirstymas pagal dydį, šilumingumas) (Hull et.al., 2005).

Temperatūra. Temperatūra aktyviuose sąvartynuose paprastai yra didesnė nei aplinkos temperatūra dėl to, kad vykstant kietųjų atliekų biologiniam skilimui generuojama šiluma ir, dėl izoliacinių medžiagų savybių, dangos medžiagų ir žemės gelmių turime santykinai mažus šilumos nuostolius. Dauguma sąvartyne vykstančių fizinių, cheminių ir mikrobiologinių procesų yra įtakojami temperatūros, pvz., medžiagų tirpumas, lakiųjų medžiagų emisijos ir slėgio sąlygos sąvartyne.

Drėgmės kiekis. Drėgmės kiekis yra svarbi charakteristika, kuri nustato aplinkos sąlygas sąvartyne ir taip pat vaidina svarbų vaidmenį svarstant tolimesnį iškastų atliekų apdorojimą, pvz., biologinį ar terminį apdorojimą. Drėgmės kiekis sąvartynuose labai priklauso nuo daugelio tarpusavyje susijusių veiksnių, įskaitant atliekų sudėtį, atliekų rūšis, atliekų savybes, vietos klimato sąlygas, dujų ir filtrato surinkimo sistemas ir t.t. Literatūroje nurodama, kad vidutinis iškastų plastiko atliekų drėgnis vienu atveju buvo 19,96 proc., kitu atveju drėgmės kiekis buvo 50.6 proc. (žr. 7 lentelę) (Zhou et.al.,2014; Prechthai et.al., 2008). Taip pat nurodama, kad iškastų atliekų frakcijos, kurios gali absorbuoti drėgmę, pvz., popierius ir kartonas, mediena, tekstilė ir smulkioji frakcija turi daug didesnį drėgmės kiekį, nei ta atliekų dalis, kuri nesugeria drėgmės (Hull et.al., 2005). Optimaliai biologiniai veiklai sąvartyne, rekomenduojamas drėgmės kiekis 40-70 proc. (Tchobanoglous et.al. 1993).

Organinių medžiagų degradacija. Bioskaidžių medžiagų kaip popieriaus ir kartono, maisto atliekų ir žaliųjų atliekų kiekiai mažėja su atliekų amžiumi.

Organinių atliekų irimas yra viena iš atliekų savybių, kurios gali turėti įtakos atliekų lauko pajėgumui (sulaiko vandenį) ir todėl didesnis drėgmės kiekis yra tikėtinas sąvartyne esant didesniam organinių medžiagų kiekiui. Todėl sąvartyno eksploatacijos metu, dėl organinių medžiagų irimo, deponuota sausa atliekų masė sąvartyne yra sumažėjusi.

Organinių atliekų degradacija plačiau aprašoma 1.2.1 skyrelyje.

Užterštumas. Žymiai mažiau medžiagų atgaunama sąvartynų kasybos metu, jei yra didelis drėgmės kiekis, prilipusios kietosios dalelės ar netinkamai išrūšiuojamos atliekos. Užterštumo laipsnis (drėgmės kiekis, prilipusios kietosios medžiagos) taip pat padeda įvertinti atgautų atliekų perdirbimo galimybes, kadangi nuo užterštumo laipsnio priklauso atgautų medžiagų tolimesnis panaudojimas. Kuo labiau užterštos atliekos, tuo daugiau apdorojimo operacijų reikalinga tam, kad atliekos įgautų tinkamą formą perdirbimui, antriniam panaudojimui ir t.t (Hull et.al., 2005):.

Yra daugybė fizinių ir cheminių atliekų savybių, kurios būtų naudingos projektuojant sąvartyno regeneracijos darbus. Tačiau dėl laiko ir finansinių suvaržymų tyrinėjamos tik tos atliekų savybės, kurios gali suteikti daugiausiai svarbios informacijos tiek apie sąvartyno aplinką, tiek apie tolimesnes atliekų panaudojimo galimybes.

Fizinės iškastų atliekų savybės (Hull et.al., 2005):

- *Atliekų tankis*. Iškastų atliekų piltinis tankis yra svarbus projektuojant sistemas atliekų pervežimui, apdorojimui, perdirbimui, pakartotiniam naudojimui ir šalinimui. Atliekų tankis parodo, kiek sveria atliekų tūrio vienetas. Jis gali smarkiai skirtis priklausomai nuo atliekų sudėties (žr. 6 lentelė). Sąvartynuose atliekos yra susimaišiusios dar prieš jas suspaudžiant, tad tarp stambesnių atliekų esantys tarpai užpildomi smulkesnėmis atliekomis. Dėl šios priežasties, tikrasis atliekų mišinio tankis yra didesnis negu suminis atskirų atliekų komponentų tankis. Sąvartyne atliekų tankis svyruoja nuo 200 iki 400 kg/m³ (Staniškis, 2004).

6 lentelė. Atliekų tankio priklausomybė nuo atliekų sudėties (Staniškis, 2004)

| Atliekos | Tankis (kg/m ³) |
|-----------------------|-----------------------------|
| | Vidutinis |
| Maisto atliekos | 290 |
| Popieriaus ir kartono | 70 |
| Plastikų atliekos | 60 |
| Stiklo atliekos | 200 |
| Metalų atliekos | 200 |
| Tekstilės atliekos | 60 |
| Pelenai ir dulkės | 500 |

- *Atliekų granuliometrinė sudėtis* charakterizuojama pagal atliekų dalelių didžiausią matmenį ir sieto, pro kurį atliekos gali būti prasijojamos, akutės išmatavimais. Aktualu projektuojant iškastų atliekų rūšiavimo įrenginius – sietus, magnetinius separatorius ir t.t. (Valavičienė, 2012).

- *Atliekų drėgnumas* dažniausiai išreiškiamas dviem būdais: drėgmės dalimi arba sausos liekanos dalimi. Atliekų drėgnumas įtakoja degių atliekų naudingumą panaudojant jas kaip kurą energijos gamybai (Valavičienė, 2012).

- *Drėgmės absorbcijos rodiklis*. Atliekų drėgmės absorbcijos rodiklis rodo drėgmės kiekį, kurį gali sulaikyti atliekos. Jeigu vandens kiekis viršija šį rodiklį, tai visas vandens perteklius laisvai prateka pro visas atliekas (Staniškis, 2004).

- *Magnetinės atliekų savybės*. Svarbu vykdant iškastų atliekų atskyrimą, siekiant atgauti feromagnetinius metalus iš iškastų atliekų srauto;

Cheminės iškastų atliekų savybės:

- *Atliekų elementinė sudėtis* yra svarbi ruošiant atliekas deginimui. Todėl svarbu įvertinti kokių priemaišų yra atliekose, galinčių pakenkti procesui ar patekti į aplinką, ar labai pavojingų teršalų yra atliekų sudėtyje (Staniškis, 2004).

- *Šilumingumas* paprastai vertinamas tokių atliekų kaip popieriaus ir kartono, plastiko, tekstilės ir medienos. Esant aukštai šiluminei vertei, tokios atliekos gali būti panaudojamos kaip kuras. 7 lentelėje nurodomos skirtingų studijų iškastų plastiko atliekų šiluminės vertės, lyginant su literatūroje nurodyta plastiko atliekų šilumine verte (28–37 MJ kg⁻¹) (Tchobanoglous et.al. 1993). Matyti, kad iškastos plastikų atliekos pasižymi aukštomis šiluminėmis vertėmis, tinkamomis deginimui.

- *Peleningumas*. Susidarančių pelenų kiekį nurodo medžiagos savybė peleningumas. Peleningumas neretai yra savybė, lemianti kuro panaudojimo galimybes. Kuo daugiau pelenų, tuo prastesnis kuras.

- *Lakioji atliekų dalis (angliškai „Volatile Substance“ – VS)*. Tai dalis, kurios netenkama deginant uždaroje sistemoje;

- *Bendra organinė anglis (angliškai „Total organic carbon“ – TOC)*. Degi liekana, likusi po kaitinimo;

7 lentelė. Plastiko atliekų savybės pagal skirtingus literatūros šaltinius

| <i>Parametras</i> | <i>Vertės</i> | | |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|
| | Tchobanoglous et.al. 1993 | Zhou et.al., 2014 | Prechthai et.al., 2008 |
| VS (% sausos medžiagos) | - | 87.09 ± 0.55 | 41.3 ± 19.9 |
| Peleningumas (% sausos medžiagos) | 10 | 10.84 ± 1.19 | 32.8 |
| TOC* (% sausos medžiagos) | - | 2.07 ± 0.85 | 14.6 ± 3.9 |
| Šilumingumas (MJ kg ⁻¹) | 28–37 | 43.18 ± 1.49 | 36 |
| Drėgmės kiekis, % | 2 | 19.96 ± 4.65 | 50.6 ± 6.8 |

Vertinant atgautų atliekų perdirbimo galimybes ar galimybę panaudoti atliekas kaip kurą energijos gamybai, paprastai atgautų atliekų savybės lyginamos su standartinėmis atliekų vertėmis (žr. 7 lentelę) (Prechthai et.al., 2008).

1.3.4. Atgautų medžiagų panaudojimo praktika

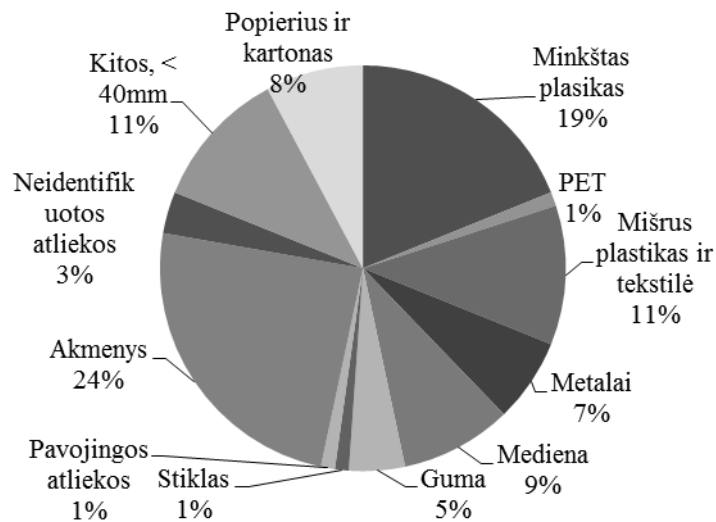
Vieną iš sėkmingų sąvartynų kasybos projektų galima išskirti Estijos patirtį kasinėjant Kudjape sąvartyną Saremos saloje, Estijoje. Sąvartyno eksploatacija buvo vykdyta nuo 1970–2009 metų. Vėliau Estijoje, kaip ir Lietuvoje, buvo priimtas sprendimas uždaryti visus senuosius savivaldybių sąvartynus, neatitinkančius europinių reikalavimų.

Sąvartyną buvo nuspręsta uždengti 1,5 m. storio dirvos sluoksniu, tačiau surasti, nupirkti ir atvežti uždengimui reikalingus 60 tūkst. kubinių metrų žemės būtų buvę itin brangu, ypač Saremos

saloje, kur dirvos sluoksnis yra labai plonas. Mokslininkų komanda tuomet pasiūlė šį dirvos kiekį paimti iš paties sąvartyno – tereikėjo dirvą padaryti nepralaidžią metano dujoms (Simonaitytė, 2014).

Taigi sąvartynų kasybos tikslas buvo – sumažinti sąvartyno užimama plotą, gauti uždengimo medžiagas iš paties sąvartyno, pašalinti pavojingas atliekas bei pabandyti išgauti energiją iš gausių plastmasės atliekų.

Visų pirma buvo atlikti atliekų sudėties nustatymo darbai. Buvo gauta, kad smulkioji frakcija sudarė 54 proc., o stambioji 46 proc. visų atliekų (Bhatnagar et.al., 2013). Taip pat buvo nustatyta, jog pusė visos sąvartyno masės – tai popieriaus, plastmasės, tekstilės, gumos ir medienos atliekos, kurios gali būti deginamos ir iš jų išgaunama energija. Įvairūs akmenys ir žvyras sudarė apie ketvirtadalį sąvartyno, tuo tarpu metalai – apie 7 proc. (žr. 12 pav.) (Kriipsalu, 2014).



12 pav. Stambiosios atliekų frakcijos sudėtis Kudjape sąvartyne (Kriipsalu, 2014)

Kadangi pusė visos sąvartynų masės sudarė degioji frakcija, buvo nuspręsta dalį atliekų panaudoti į deginimui tinkamą kurą, tačiau buvo susidurta su problema – gautas kuras buvo labai šlapias, kuro drėgmės lygis siekė 40 proc. Išplovus atliekas šiluminė kuro vertė išaugo 3 kartus (šiluminė vertė prieš plovimą 9,6 MJ/kg, po plovimo 27 MJ/kg, drėgmės kiekis sumažėjo iki 1,9 proc. (Kriipsalu, 2014) Tačiau galiausiai buvo nuspręsta atgautą plastiką panaudoti ne energijos gamybai, o naujų produktų gamybai – gaminant įvairias plokštes, lentas, lauko dangas, barjerus.



13 pav. Atgautų plastiko atliekų iš sąvartyno panaudojimo praktika (Kriipsalu, 2014)

Sąvartyno kraštovaizdis buvo sutvarkytas pertvarkant jį į laisvalaikio zoną, įrengiant slidinėjimo trasą, įrengti laipteliai, stolas, suolai pagaminti taip pat iš perdirbto plastiko (žr. 13 pav.).

1.4. Apibendrinimas

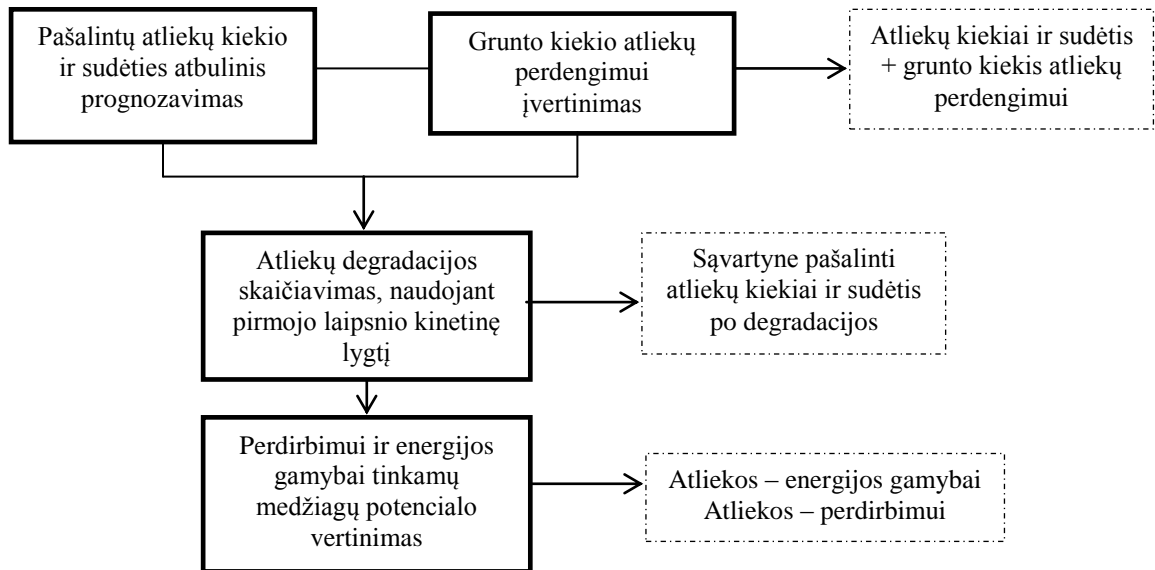
Didelės žaliavų atsargos yra įtrauktos į sąvartynus. Dėl ribotų žaliavų atsargų, bei didėjančio atliekų kiekio sąvartynuose, bei jų užimamo ploto būtina įvertinti žaliavų atgavimo galimybes iš sąvartynų, panaudojant šias atliekas kaip žaliavas naujų produktų gamybai ar panaudojant energijos gamybai.

Produktų ir energijos gamybai tinkamų išteklių atgavimas iš sąvartynų priklauso nuo: sąvartyno kasybos projekto tikslų, fizikinių–cheminių atliekų savybių, proceso projektavimo ir efektyvumo.

Lietuvoje didžioji dalis atliekų buvo ir yra vis dar šalinama į sąvartynus, todėl labai svarbu įvertinti žaliavų atgavimo galimybes iš uždarytų sąvartynų. Todėl pirmoje darbo dalyje nagrinėjama sąvartynų kasyba, jos istorija, taip pat atliekų irimas sąvartyne, atliekų savybės bei jų panaudojimo praktika užsienio šalyse.

Toliau darbe, vertinant išteklių atgavimo galimybes iš sąvartynų, analizuojamas Alytaus senasis sąvartynas ir naujojo sąvartyno 1-oji sekcija.

2. METODOLOGINĖ DALIS



14 pav. Tyrimo metodika

Tyrimo metodikos žingsniai (žr. 14 pav.):

1. Tyrimo metodika visų pirma pradedama nustatant Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintus atliekų kiekius ir sudėtį. Naudojamas prognostinis modelis *LCA-IWM*;
2. Lygiagrečiai atbuliniam prognozavimui, įvertinamas ir atliekų sluoksnių perdengimas gruntu;
3. Sekančiame etape, įvertinamas atliekų irimas sąvartyne naudojantis pirmojo laipsnio kinetine lygtimi;
4. Atlikus šiuos tris etapus, gaunami galutiniai sąvartyne pašalinti atliekų kiekiai ir sudėtis. Todėl toliau atliekamas perdirbimui ir energijos gamybai tinkamų medžiagų potencialo vertinimas t.y. nurodant galimą išteklių potencialą sąvartyne.

2.1. LCA-IWM prognostinis modelis

Kaip minėta darbo pradžioje (žr. 1.1. poskyrį), komunalinių atliekų susidarymą lemia gyventojų pajamos ir jų vartojimo lygis, t. y. kuo daugiau produktų vartojame tuo daugiau atliekų susidaro. Taip pat, gyventojų galimybę ir norą pirkti tam tikrus produktus atitinkamai lemia jų socialinė–ekonominė padėtis. Taigi, atliekų susidarymas smarkiai priklauso nuo miesto socialinio–ekonominio gerovės lygio (Valavičienė, 2012).

LCA–IWM prognostinis modelis pirmiausia skirtas komunalinių ir panašių į komunalines atliekas tvarkymui (Boer et. al., 2005). Komunalinės atliekos – buitinės (buityje susidarančios) ir kitokios atliekos, kurios savo pobūdžiu ar sudėtimi yra panašios į buitines atliekas.

LCA–IWM prognostinis modelis įprastai yra naudojamas būsimo atliekų kiekio ir jų frakcinės sudėties prognozavimui (Boer et. al., 2005). 8 lentelėje pateikiami svarbiausi prognostiniame modelyje naudojami susidarančių komunalinių atliekų tipai:

8 lentelė. Modelyje naudojami susidarančių atliekų tipai (Boer et. al., 2005)

| Atliekų frakcija | Apibrėžiami atliekų tipai |
|---------------------------------|---|
| Perdirbamos frakcijos | Popierius ir kartonas Stiklas Metalas Plastmasės ir kompozitai |
| Biologiškai suyrančios atliekos | Virtuvių ir valgyklų atliekos Sodų ir parkų atliekos |
| Pavojingos atliekos | Pavojingos atliekos Elektros ir elektroninės įrangos atliekos (EEĮA) |
| Kitos atliekos | Mišrios atliekos arba rūšiavimo liekanos Stambiagabaritinės atliekos |

LCA–IWM projekto rezultatai – tai atliekų prognostinis ir atliekų tvarkymo sistemos įvertinimo modeliai. Prognostinio modelio pagalba pagal apibrėžtus įeities duomenis galima parengti kiekybines atliekų susidarymo prognozes ateičiai (Boer et. al., 2005):.

Atliekų susidarymo ateityje prognozės remiasi priklausomybės tarp socialinių–ekonominių sąlygų ir susidarančių atliekų kiekio analize. Atskirų frakcijų surinkimo laipsnis (pvz. surinkto popieriaus procentinė dalis nuo viso susidariusio popieriaus) priklauso nuo piliečių elgesio ir savivaldybės galimybių skatinti frakcijų rinkimą.

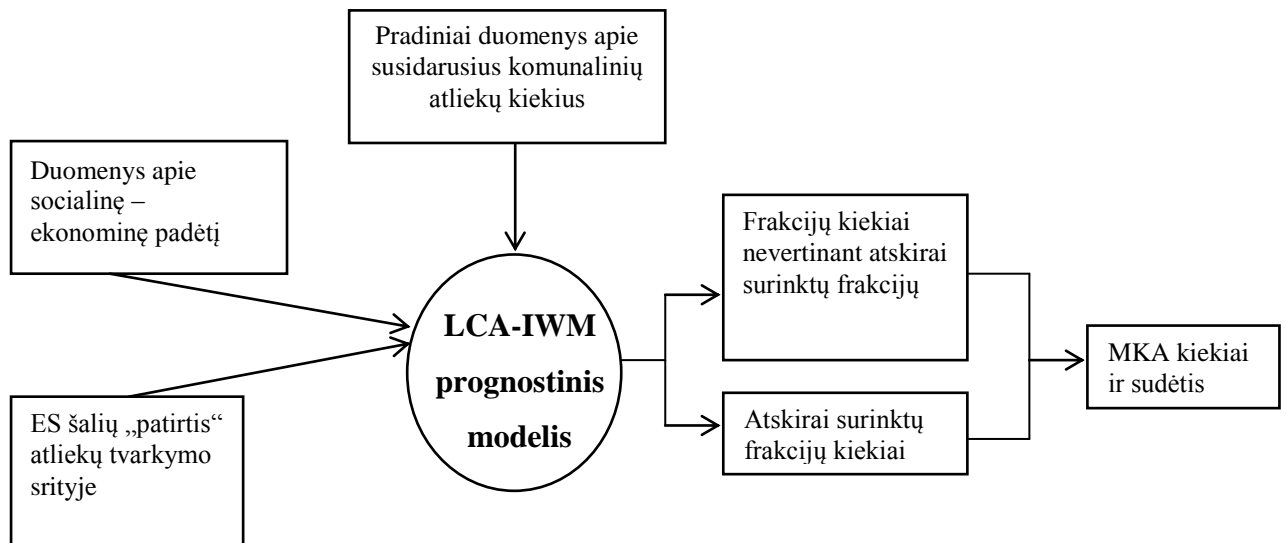
Modelyje labai svarbu įvertinti keletą veiksnių, kurie ženkliai įtakoja mišrių komunalinių atliekų susidarymą ir tokiu būdu yra naudojami kaip modelio parametrai (žr. 9 lentelę) (Boer et. al., 2005):

- Bendras vidaus produktas;
- Socialiniai rodikliai. Šiame modelyje tokie rodikliai kaip kūdikių mirtingumas, vidutinė gyvenimo trukmė ir gyventojų užimtumo dalis žemės ūkyje suteikia prognozėms tikslumo.
- Amžius;
- Namų ūkio dydis.

9 lentelė. Modelio socialiniai–ekonominiai parametrai (Boer et. al., 2005)

| Veiksny | Vienetas | Įtaka |
|--|---|-------|
| Bendras vidaus produktas vienam gyventojui | JAV dolerio PGP 1995 metų kainomis | + |
| Kūdikių mirtingumas | Vnt. 1000 gimimų | - |
| 15-59 metų amžiaus gyventojų dalis | Procentinė dalis nuo bendro gyventojų skaičiaus | + |
| Namų ūkio dydis | Gyventojų skaičius namų ūkyje | - |
| Vidutinė gyvenimo trukmė | Metai | + |
| Dirbančių dalis žemės ūkyje | Procentinė dalis nuo bendro dirbančių skaičiaus | - |

LCA-IWM prognostinis modelis veikia pagal algoritmą (žr. 15 pav.). Į modelį įvedami dviejų rūšių duomenys: atliekų susidarymo pradiniai duomenys ir miesto/regiono socialiniai–ekonominiai pradiniai ir prognozuojami duomenys.

**15 pav.** LCA-IWM prognostinio modelio veikimas pagal algoritmą (Valavičienė, 2012)

Prognozuojant 5–10 metų laikotarpiu, metodo vidutinė santykinė paklaida 5,3%. Prognozuojant 11–22 metų laikotarpiu – paklaida padidėja iki 7,7% (Boer et. al., 2005).

Darbe prognostinis modelis yra naudojamas praecityje susidariusių atliekų kiekio ir jų frakcinės sudėties prognozavimui.

2.2. Atliekų perdengimui sunaudotas grunto kiekis

Vertinant pašalintų atliekų kiekius ir sudėtį sąvartyne, taip pat svarbu įvertinti grunto kiekį sunaudotą atliekų perdengimui. Atliekų perdengimas gruntu vykdomas dėl šių priežasčių:

- grunto perdengimai mažina sąvartyno tūrį;
- atliekų sluoksnių perdengimas gruntu ar kita panašia medžiaga, siekiama sumažinti nemalonius kvapus ir atliekų išnešiojamą po sąvartyno teritoriją.

Atliekų tūris sąvartyne apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{atliekų} = \frac{m_{sav.}}{\rho_{atliekų}} (m^3); \quad (2.1)$$

Čia $m_{sav.}$ – pašalintų atliekų kiekis per savaitę, t;

$\rho_{atliekų}$ – atliekų tankinimo laipsnis (1,2-1,3 t/m³), t/m³.

Atliekų užimamas plotas sąvartyne apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S_{atliekų} = \frac{V_{atliekų}}{d} (m^2); \quad (2.2)$$

Čia $V_{atliekų}$ – pašalintų atliekų tūris, m³;

d – atliekų sluoksnio storis, m.

Grunto tūris skaičiuojamas pagal formulę:

$$V_{grunto} = S_{atliekų} \cdot d_{grunto} (m^3); \quad (2.3)$$

Čia $S_{atliekų}$ – atliekų užimamas plotas sąvartyne, m²;

d – grunto sluoksnio storis, m.

Perdengimui sunaudotas grunto kiekis savaitiniam atliekų kiekiui uždengti, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$m_{grunto} = V_{grunto} \cdot \rho_{grunto} (t); \quad (2.4)$$

Čia V_{grunto} – grunto užimamas tūris sąvartyne, m³;

ρ_{grunto} – grunto tankis, t/m³.

Apskaičiuojamas sunaudoto grunto kiekis per metus:

$$m_{grunto\ metus} = m_{grunto} \cdot 26 (t); \quad (2.5)$$

Čia m_{grunto} – sunaudotas grunto kiekis savaitiniam atliekų kiekiui uždengti, t.

2.3. Atliekų biodegradacijos procesas

Vertinant išteklių atgavimo iš sąvartyno galimybes labai svarbu įvertinti atliekų sudėties ir savybių kitimą sąvartyne. Todėl atitinkamai darbe įvertinamas ir atliekų irimas sąvartyno aplinkoje.

Atliekų irimo procesas įvertinamas naudojantis pirmojo laipsnio kinetine lygtimi. Šios lygties pagrindas – reakcijos greitis yra proporcingas vienos reaguojančios medžiagos koncentracijai. Naudojantis šia lygtimi galima apskaičiuoti po tam tikro laiko likusį medžiagos kiekį. Ši lygtis dažnai išreiškiama taip:

$$C_A = C_{A0} e^{-k_A t} \quad (\text{Quaghebeur et.al., 2012}); \quad (2.6)$$

Čia C_A – medžiagos A koncentracija po laiko t;

C_{A0} – pradinė medžiagos A koncentracija;

k_A – greičio konstanta;

t – laikas.

Tačiau norint įvertinti atliekų irimą, visų pirma atliekamas pašalintų atliekų kiekio perskaičiavimas į sausos medžiagos kiekį:

$$DM_i = \frac{m_i \cdot A_i}{100} (t); \quad (2.7)$$

Čia DM_i – pradinis atliekų frakcijos i kiekis sausos medžiagos pavidale, tonomis;

m_i – atliekų i -osios frakcijos kiekis, t;

A_i – sausos medžiagos kiekis procentais i -ojoje frakcijoje.

Toliau, pagal pirmojo laipsnio kinetinę lygtį skaičiuojama atliekų degradacija sąvartyne:

$$DM_{ilikusi} = DM_i \cdot e^{-kt} (t) \quad (2.8)$$

Čia $DM_{ilikusi}$ – atliekų frakcijos i kiekis sausame pavidale po laiko t, tonomis;

k – pirmos eilės greičio konstanta atliekų frakcijos i (reikšmės nurodytos 10 lentelėje);

t – atliekų degradacijos laikotarpis sąvartyne, metais.

10 lentelė. Pirmos eilės greičio konstantos (IPCC, 2006)

| | Vidutinių platumų | | Tropikų | |
|---------------------------------|-------------------|-----------|-----------|------------|
| | Sausas | Drėgnas | Sausas | Drėgnas |
| Lėtai biodegraduojančios | | | | |
| • Popierius ir tekstilė | 0.03-0.05 | 0.05–0.07 | 0.04–0.06 | 0.06–0.085 |
| • Mediena, šiaudai, guma | 0.01–0.03 | 0.02–0.04 | 0.02–0.04 | 0.03–0.05 |
| Vidutiniškai biodegraduojančios | | | | |
| • Kiemo ir sodo atliekos | 0.04–0.06 | 0.06–0.1 | 0.05–0.08 | 0.15–0.2 |
| Greitai biodegraduojančios | | | | |
| • Maisto atliekos | 0.05–0.08 | 0.1–0.2 | 0.07–0.1 | 0.17–0.7 |

Tam, kad nustatyti kurią klimato zoną pasirinkti, skaičiuojant atliekų degradaciją naudojama 11 lentelė. Klimato zonos nustatymas priklauso nuo trijų parametru: tai vidutinės metinės temperatūros, vidutinio metinio kritulių kiekio bei potencialaus garavimo.

11 lentelė. Klimato zonos parinkimo parametrai (IPCC, 2006)

| | MAT | MAP | MAP/PET |
|--|------------|------------|----------------|
| Sausos vidutinės klimato zonos temperatūra | 0 - 20°C | | <1 |
| Drėgnos vidutinės klimato zonos temperatūra | 0 - 20°C | | >1 |
| Sausos tropikų klimato zonos temperatūra | > 20°C | <1000 mm | |
| Drėgnos tropikų klimato zonos temperatūra | > 20°C | >1000 mm | |

Apskaičiavus kokia atliekų dalis lieka po degradacijos sąvartyne, toliau skaičiuojama po degradacijos atsilaisvinusi mineralinė atliekų dalis:

$$MDM_i = \frac{(DM_i - DM_{ilikus}) \cdot (100 - ODM_i)}{100} t; \quad (2.9)$$

Čia MDM_i – iš atliekų frakcijos i atsilaisvinusi sausa mineralinė dalis, t;

ODM_i – organinės sausos medžiagos kiekis procentais i -oje atliekų frakcijoje.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Faktiniai atliekų kiekiai ir sudėtis Alytaus sąvartyne

Siekiant įvertinti Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekius ir sudėtį visų pirma būtina išanalizuoti faktinius duomenis apie susidarančius atliekų srautus (žr. 12 ir 13 lenteles). 12 lentelėje pateikti surinkti MKA ir atskirai surenkamų medžiagų kiekiai. Mišrios komunalinės atliekos šalinamos Alytaus regioniniame sąvartyne. Būtina paminėti, kad jį sudaro du kaupai – senasis ir naujasis.

12 lentelė. Regione susidarantys faktiniai atliekų kiekiai (Denafas et.al., 2015)

| Atliekų frakcija | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------------------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| MKA | 37553 | 38807 | 39877 | 53974 | 57600 | 62267 | 61183 | 57855 |
| Popierius ir kartonas | | | 1623,036 | 1315 | 2429 | 1852 | 2115 | 2631 |
| Stiklas | | | 250,647 | 503 | 662 | 691 | 869 | 684 |
| Metalai | | | 0,19 | 4,9 | 12,6 | 10 | 7,1 | 6,9 |
| Plastikas | | | 264,479 | 305,4 | 549,8 | 427 | 531,7 | 522,5 |
| Bioskaidžios medžiagos | | | 0 | 1740,7 | 1979,5 | 1804 | 1807,7 | 1762,9 |
| Stambiagabaritės | | 75,6 | 275,433 | 1244,8 | 1151,7 | 1695 | 1769,0 | 1960,7 |
| Pavojingos | | | 2,16 | 6,7767 | 9,589 | 7 | 6,575 | 8 |
| EEĪA | | | 11,358 | 80,058 | 125,209 | 112 | 88,5895 | 82 |
| Viso atliekų: | | | 42302 | 59175 | 64519 | 68864 | 68378 | 65513 |

Alytaus regioninis sąvartynas, esantis Takniškių kaime Alovės seniūnijoje Alytaus rajone, įrengtas greta buvusio miesto buitinių atliekų sąvartyno, kuris dar 1985 m. atidarytas išekspluatuoto smėlio ir žvyro karjero vietoje. Atliekos šiame sąvartyne buvo kaupiamos beveik 23 metus (iki 2007m. gruodžio). Iki 2002 m. į jį pagrinde buvo vežamos Alytaus miesto buitinės atliekos, vėliau pradėtos vežti atliekos ir iš kitų regionų. Naujasis regioninis sąvartynas baigtas įrengti ir pradėtas eksploatuoti 2008 metais. Alytaus regioniniame nepavojingų atliekų sąvartyne šalinamos Alytaus regione susidarančios nepavojingos komunalinės atliekos ir nepavojingos gamybinės atliekos iš įmonių, kurių perdirbti nėra techninių galimybių bei pajėgumų. Į naująjį sąvartyną vežamos atliekos iš septynių regiono savivaldybių: Alytaus miesto ir rajono, Birštono, Druskininkų bei Lazdijų, Prienų ir Varėnos rajonų savivaldybių (ARATC, 2012). Apie sename sąvartyno kaupe pašalintus atliekų kiekius informacijos praktiškai nėra, kadangi tuo laikotarpiu atliekų apskaita nebuvo vykdoma.

Apie sąvartyne pašalintų MKA sudėtį daug informacijos taip pat nėra (žr. 13 lentelę). Išsamūs ir tikslūs duomenys yra tik nuo 2012 metų, kuomet pradėti atliekų sudėties tyrimai skirtingais metų laikais.

13 lentelė. MKA sudėtis Alytaus atliekų tvarkymo regione (Denafas et.al., 2015)

| MKA sudėtis, % | Alytaus atliekų tvarkymo regionas | | |
|-----------------------|-----------------------------------|-------|-------|
| | 2011 | 2012 | 2013 |
| Popierius ir kartonas | 13 | 6,47 | 4,4 |
| Stiklas | 6 | 4,33 | 4,25 |
| Metalai | 2 | 1,92 | 1,41 |
| Plastikai | 7 | 11,9 | 9,46 |
| Bioskaidžios atliekos | 25 | 19,37 | 15,5 |
| Pavojingos atliekos | 2 | 0,37 | 0,6 |
| EEĮ | 3 | 1,19 | 0,2 |
| Kitos atliekos | 42 | 54,45 | 64,18 |

Darbe analizuojamas uždarytas senasis sąvartyno kaupas ir regioninio sąvartyno 1-oji sekcija. 14 lentelėje nurodami sąvartyno techniniai duomenys.

14 lentelė. Alytaus sąvartyno techniniai duomenys

| Sąvartyno sekcija | Atliekų šalinimo laikotarpis, metais | Atliekų tipas | Atliekų apibūdinimas | Sąvartyno aukštis, m | Sąvartyno plotas, m ² |
|---------------------------------|--------------------------------------|---------------|---|----------------------|----------------------------------|
| Senasis sąvartynas | 1985 – 2008 | MKA | Mišrios komunalinės atliekos susidariusios buityje ir įmonėse | 20 | 43000 |
| Naujojo sąvartyno 1-oji sekcija | 2008 – 2012 | MKA | Mišrios komunalinės atliekos susidariusios buityje ir įmonėse | – | 34000 |

3.2. Sąvartyne pašalintų atliekų kiekio ir sudėties nustatymas

Siekiant įvertinti praeityje susidariusių atliekų kiekius ir jų sudėtį, darbe buvo naudotas LCA-IWM prognostinis modelis.

Nors šis modelis skirtas ateityje susidarysiančių atliekų kiekių miestuose ir regionuose su greitai augančia ekonomika prognozėms, tačiau jį galima pritaikyti ir atbuliniam prognozavimui, kadangi jo pagrindą sudaro įvedami regiono socialiniai ir ekonominiai duomenys. Reikalingi įvesties duomenys buvo paimti iš Lietuvos statistikos departamento bei Alytaus regioninio atliekų tvarkymo centro metinių ataskaitų. Remiantis šiais duomenimis ir naudojantis prognostiniu modeliu LCA-IWM buvo nustatytos sąvartyne pašalintų atliekų kiekių ir sudėties atbulinės prognozės 2011–1990 metams.

Atbulinis atliekų sudėties ir kiekio prognozavimas atliktas visą prognozuojamą laikotarpį 2011–1990 metams – suskirstant į tris stambius periodus:

1. **2011–2008 m.** Įrengus Alytaus regioninę sąvartyną atliekos į naująjį sąvartyno kaupą buvo vežamos iš 7 savivaldybių: Alytaus miesto, Alytaus r., Birštono, Prienų, Varėnos, Lazdijų ir Druskininkų (žr. 16 pav.).

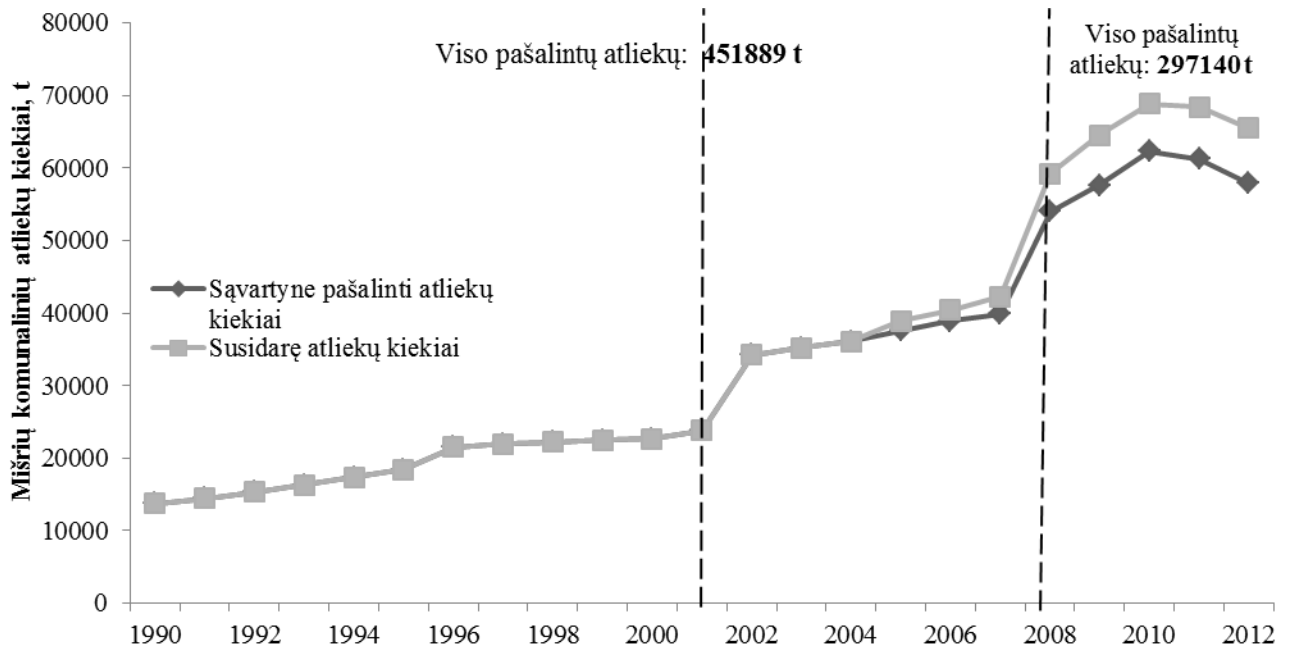
2. **2008–2002 m.** Šiuo laikotarpiu atliekų šalinimas buvo vykdomas senajame Takniškių sąvartyno kaupe. Buvo priimta, kad atliekos į sąvartyną patekdavo iš 4 savivaldybių: Alytaus miesto, Alytaus r., Birštono ir Prienų (žr. 16 pav.).

3. **2002–1990 m.** Prognozavimas buvo atliekamas priimant, kad atliekos į senąjį Takniškių sąvartyno kaupą pateko tik iš Alytaus miesto, atsižvelgiant į tai, kad šiuo laikotarpiu kaimuose ir miestuose vyravo nelegalūs sąvartynai ar šiukšlynai. Todėl atžvelgiant į šiuos faktus, buvo priimta, kad atliekos į sąvartyną patekdavo tik iš Alytaus miesto (žr. 16 pav.).

Būtina paminėti, kad atliekų kiekio ir sudėties atbulinis prognozavimas nebuvo atliktas iki sąvartyno eksploatacijos pradžios t.y. iki 1985, bet tik iki 1990 metų, kadangi apie ankstesnius metus nėra išsamių socialinių–ekonominių rodiklių. Taip pat prognozavimas nebuvo atliktas 2011–2013 metams, kadangi Alytaus regiono atliekų centro metinėse ataskaitose pateikti išsamūs duomenys apie atliekų kiekius ir sudėtį.

Atbulinis prognozavimas buvo atliekamas į modelį įvedus atliekų susidarymo pradinius duomenis ir miesto/regiono socialinius–ekonominius rodiklius būdingus prognozuojamam laikotarpiui (žr. 2 pr. lentelę).

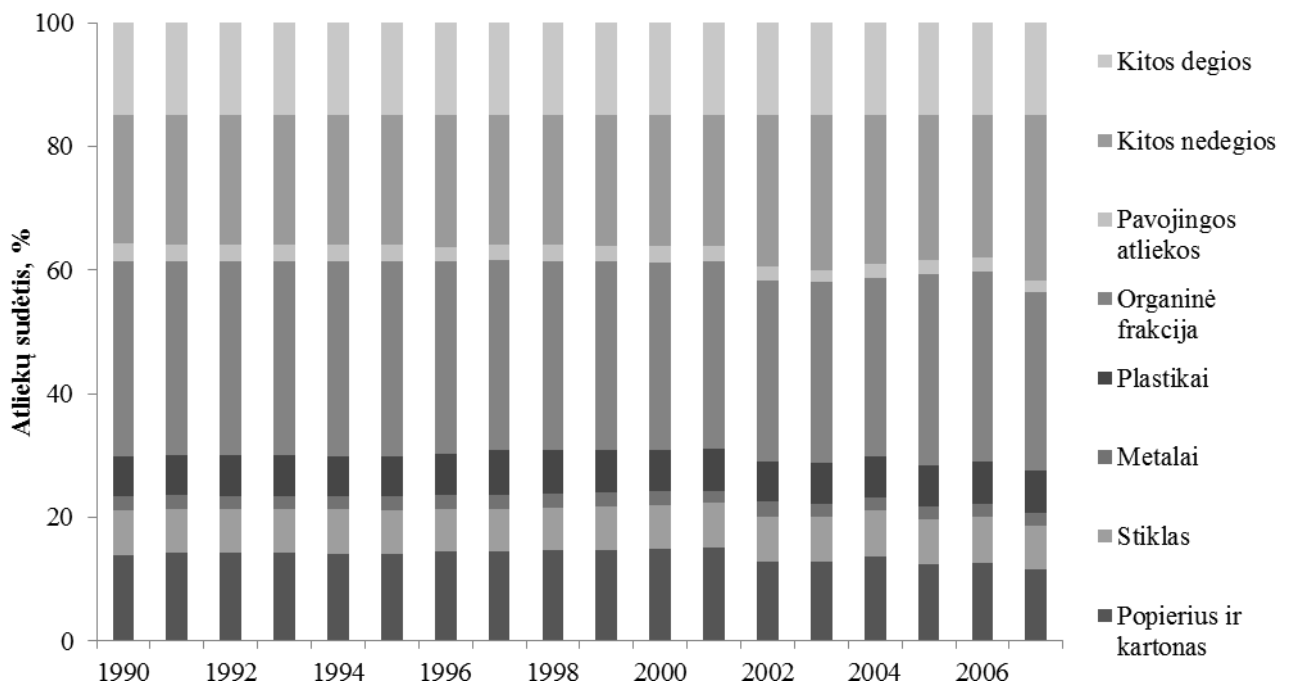
Remiantis šiais duomenimis ir naudojantis prognostiniu modeliu LCA-IWM gauti atskirų susidarančių frakcijų kiekiai regione nepriklausomai nuo to, ar jie surenkami atskirai, ar kartu. Todėl siekiant įvertinti srautus patenkančius į sąvartyną buvo įvertinti atskirai surenkamų popieriaus ir kartono, stiklo, metalų, plastikų, stambiagabaričių atliekų ir pavojingų atliekų kiekiai. 2004 metais pradėjus vykdyti antrinių žaliavų atskirą surinkimą, surinkimo laipsnis buvo ypač mažas, taip pat Alytaus regione vyrauja kaimai, kuriuose antrinių žaliavų surinkimas pačioje pradžioje dar nebuvo išvis vykdomas, todėl prognozavimo metu nuo 2004 iki 1990 metų atskirai surinktų frakcijų laipsnis prilyginamas 0.



16 pav. Prognozės būdu nustatyti sąvartyne pašalinti atliekų kiekiai

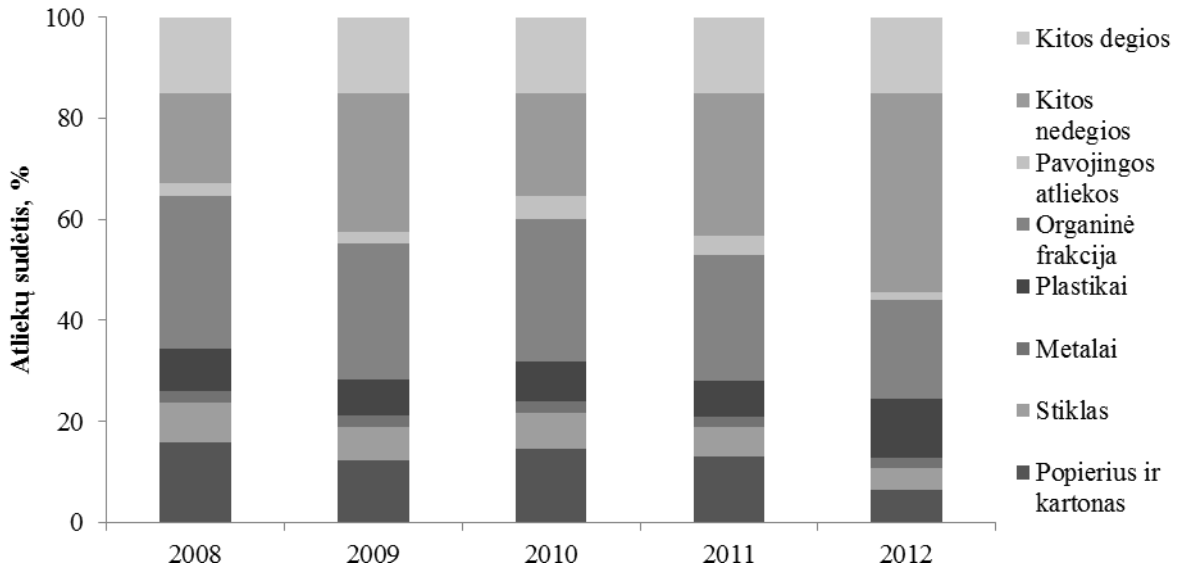
Į senąjį sąvartyno kaupą patekusių atliekų kiekiai svyruoja nuo 14 000 iki 40 000 tonų per metus, tuo tarpu naujame – nuo 57000 iki beveik 63000 tonų per metus. Bendras atliekų kiekis senajame sąvartyno kaupe yra šiek tiek daugiau nei 450 tūkst. tonų, o naujajame sąvartyno kaupe apie 300 tūkst. tonų mišrių komunalinių atliekų.

Nustačius į sąvartyną patekusių atliekų kiekius, toliau pateikiama galima sąvartyne pašalintų atliekų sudėtis pagal frakcijas (žr. 17 – 18 pav) (žr. 1 priedą):



17 pav. Senajame Alytaus sąvartyno kaupe pašalintų atliekų sudėtis

Iš paveikslo matyti (žr. 17 pav.), kad senajame sąvartyno kaupe didžiąją pašalintų atliekų dalį sudarė organinės, popieriaus ir kartono atliekos, taip pat kitos nedegios atliekos. Mažiausia atliekų dalis tenka pavojingoms ir metalų atliekoms. Pavojingų atliekų frakciją sudaro pavojingos atliekos kartu su elektronikos atliekomis. Senojo sąvartyno atliekų sudėties svyravimai nėra ryškūs, tokius rezultatus galėjo įtakoti socialinių–ekonominių rodiklių stoka, bei modeliavimo tikslumas.



18 pav. Alytaus regioninio sąvartyno 1 – oje sekcijoje pašalintų atliekų sudėtis

18 paveiksle matyti, kad sąvartyno kaupe didžiąją pašalintų atliekų dalį sudaro organinės atliekos. Tačiau dėl galimo didesnio žmonių sąmoningumo, rūšiavimo atžvilgiu, pastebimas popieriaus, stiklo bei organinių atliekų mažėjimas mišrių komunalinių atliekų sraute. Organinių atliekų mažėjimą galėjo įtakoti kompostavimų aikštelių diegimas bei padidėjęs atliekų kompostavimas namų ūkiuose. Tuo tarpu popieriaus ir kartono kiekis nagrinėjimu laikotarpiu sumažėjo nuo beveik 16 iki 6,5 proc., o stiklo nuo 7,8 iki 4,3 proc.

3.3. Grunto kiekis atliekų perdengimui

Siekiant sumažinti nemalonius kvapus, atliekų išnešiojimą po sąvartyną, bei sumažinti sąvartyno tūrį, sąvartyne vykdomas atliekų perdengimas gruntu. Atliekų sluoksnio perdengimas gruntu vykdomas, tik esant aplinkos oro temperatūrai aukštesnei už 0 °C, t.y nuo balandžio iki rugsėjo mėnesio imtinai. Atliekų šalinimo sąvartyne techniniai parametrai nurodyti 3 priedų lentelėje.

Sunaudotas grunto kiekis atliekų perdengimui skaičiuojamas senajam sąvartyno kaupui ir naujojo sąvartyno 1–ajai sekcijai. Priimama, kad senajame sąvartyne atliekų perdengimas gruntu pradėtas vykdyti nuo 1995 m. Grunto kiekis skaičiuojamas kiekvienais metais. Kaip skaičiavimo pavyzdys pateikiamas sunaudoto grunto kiekio skaičiavimas 2008 metams.

Atliekų tūris sąvartyne apskaičiuojamas pagal 2.1 formulę. Priimama, kad atliekų tankinimo laipsnis $1,2 \text{ t/m}^3$.

$$V_{\text{atliekų}} = \frac{1120}{1,2} = 933 \text{ (m}^3\text{)};$$

Atliekų užimamas plotas sąvartyne apskaičiuojamas pagal 2.2 formulę. Baigus užpildyti savaitinį plotą atliekomis ir sutankinus jas į ne storesnį kaip 2 m sluoksnį, plotas uždengiamas užpilamo grunto tarp sluoksniu.

$$S_{\text{atliekų}} = \frac{933}{2} = 466 \text{ (m}^2\text{)};$$

Grunto tūris skaičiuojamas pagal 2.3 formulę. Priimama, kad kiekvienas pilnai supiltas savaitinis sutankintų atliekų plotas uždengiamas 0,2 m vietinio grunto sluoksniu.

$$V_{\text{grunto}} = 466 \cdot 0,2 = 93 \text{ (m}^3\text{)};$$

Perdengimui sunaudotas grunto kiekis savaitiniam atliekų kiekiui uždengti, apskaičiuojamas pagal 2.4 formulę. Priimama, kad grunto tankis yra $2,6 \text{ t/m}^3$.

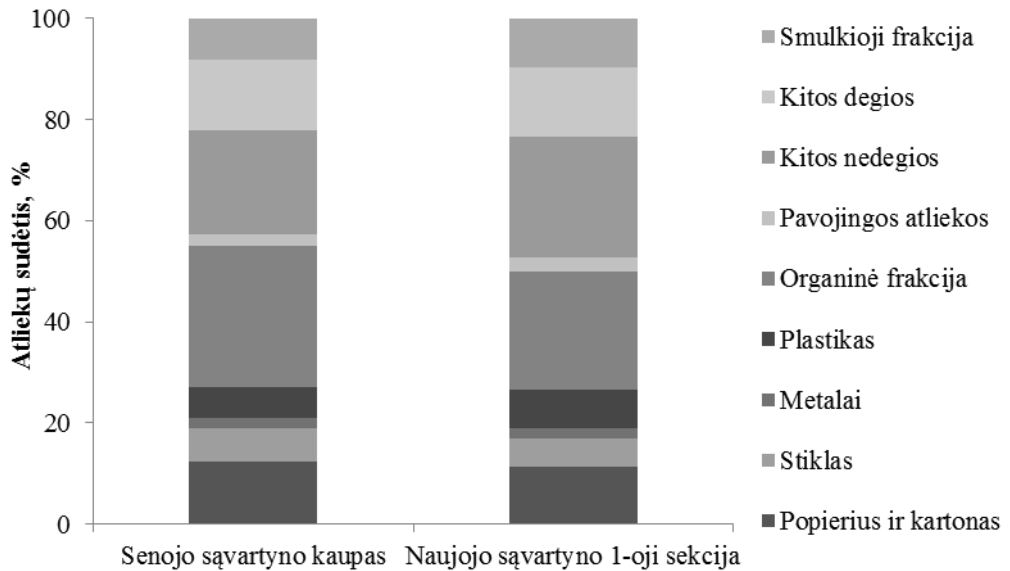
$$m_{\text{grunto}} = 93 \cdot 2,6 = 243 \text{ (t)};$$

Apskaičiuojamas sunaudoto grunto kiekis per metus, pagal 2.5 formulę. Kadangi atliekų perdengimas vykdomas tik šiltuoju laikotarpiu. Tai remiantis ARATC techniniu reglamentu priimama, kad atliekų perdengimas gruntu vykdomas 26 savaites per metus, t.y. nuo balandžio iki rugsėjo mėnesio imtinai.

$$m_{\text{grunto/metus}} = 243 \cdot 26 = 6307 \text{ (t)};$$

Taigi, apskaičiavus sunaudoto grunto kiekius kiekvienais metais, gauname, kad senajame sąvartyne atliekų perdengimui sunaudota 393150 t grunto, naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje sunaudoto grunto kiekis yra 32190 t.

Atitinkamai perskaičiuojama bendra sąvartyne pašalintų atliekų sudėtis su gruntu senajame ir naujajame sąvartyno kaupe (žr. 19 pav.).



19 pav. Atliekų sudėtis senajame ir naujajame sąvartyno kaupe su gruntu

19 paveiksle pateikiama, senojo ir naujojo sąvartyno atliekų sudėtis kartu su gruntu (smulkioji frakcija) atliekų perdengimui. Perskaičiavus į procentinę sudėtį gavome, kad gruntas senojo sąvartyno kaupe sudaro 8,24 %, naujajame sąvartyno kaupe 9,77 %.

3.4. Atliekų suirimo įvertinimas

Atliekų degradacijai įvertinti naudojama pirmos eilės kinetinė lygtis. Vertinamas šių atliekų irimas: maisto, žaliųjų, popieriaus ir kartono bei kitų degiųjų atliekų. Plastiko atliekų irimas tyrimo metu nebuvo vertintas dėl labai ilgos ir lėtos degradacijos sąvartyno aplinkoje. Atliekų degradacijos skaičiavimai atlikti iki 2014 metų, siekiant palyginti gautus teorinius rezultatus su praktiniais rezultatais (Denafas et.al., 2015).

Atitinkamai kiekvienos frakcijos irimo skaičiavimui naudojami skirtingi koeficientai k , nurodyti 16 lentelėje.

Skaičiavimai atliekami sausoms atliekoms, todėl pirmiausia apskaičiuojama pašalintų maisto atliekų kiekis sausame pavidale, pagal 2.7 formulę. Priimama, kad sausos medžiagos koeficientas maisto atliekoms lygus 30 (žr. 15 lentelę). Atitinkamai suskaičiuojamos popieriaus ir kartono, žaliųjų atliekų, degiųjų atliekų (tekstilė, mediena ir kt.) frakcijos.

15 lentelė. Atliekų fizinės savybės

| Atliekų frakcija | DM_{koef}^a | ODM^b, % DM |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Popierius ir kartonas | 94 | 87 |
| Maisto atliekos | 30 | 87 |
| Žaliosios atliekos | 40 | 84 |
| Degiosios atliekos | 80 | 85 |

^a Sausos medžiagos dalis

^b Organinės sausos medžiagos dalis

$$DM = 3010 \cdot 30 = 903 \text{ (t);}$$

Žinant atliekų kiekį sausame pavidale, toliau apskaičiuojama atliekų degradacija, pagal 2.8 formulę. Pirmos eilės greičio konstantos (k) nustatymas priklauso nuo klimato zonos. Todėl naudojantis 11 lentele (žr. 2.3 poskyrį) nustatoma klimato zona, pagal kurią toliau bus atliekami skaičiavimai. Klimato zonos nustatymas priklauso nuo: vidutinės metinės temperatūros, vidutinio metinio kritulių kiekio ir galimo suminio garavimo.

Remiantis Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenimis vidutinė metinė temperatūra Lietuvoje yra 6,5 – 7,9 °C, vidutinis metinis kritulių kiekis 600 – 750 mm, potencialus išgaravimas 450 – 550 mm. Atsižvelgiant į tai, nustatyta, kad Lietuva priklauso drėgnai vidutinių platumų klimato zonai (žr. 10 ir 11 lenteles). Atitinkamai kiekvienai frakcijai parinktos pirmos eilės greičio konstantos k . Šios vertės pateikiamos 16 lentelėje.

$$DM_{likusi} = 903 \cdot 2,71^{-0,185 \cdot (2014-1990)} = 11 \text{ (t);}$$

16 lentelė. Pirmos eilės greičio konstantos (k) vertės kiekvienai frakcijai (IPCC, 2006)

| Atliekų frakcija | Pirmos eilės greičio konstanta (k) |
|-------------------------|---|
| Popierius/tekstilė | 0,06 |
| Mediena | 0,03 |
| Sodų ir parkų atliekos | 0,1 |
| Maisto atliekos | 0,185 |
| Mišrios atliekos | 0,09 |

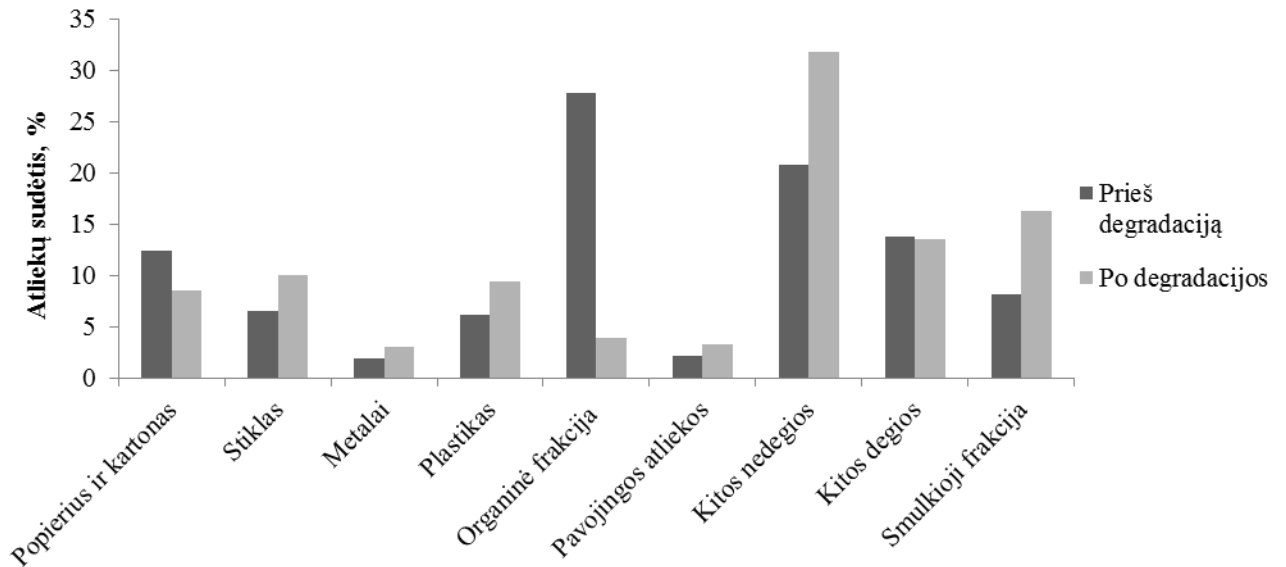
Apskaičiavę gavome, kad iš 1990 m. pašalintų 3010 t maisto atliekų iki 2014 metų sąvartyne suyro 892 t atliekų, tačiau dalis dar liko nesuyrusios per šį laikotarpį, t.y. 11 t maisto atliekų dar nėra biodegradavę. Atitinkamai skaičiuojama kiekvienais metais.

Vykstant mišrių komunalinių atliekų irimui atsilaisvina sausa mineralinė dalis, kurią taip pat būtina įvertinti. Skaičiuojama pagal 2.9 formulę:

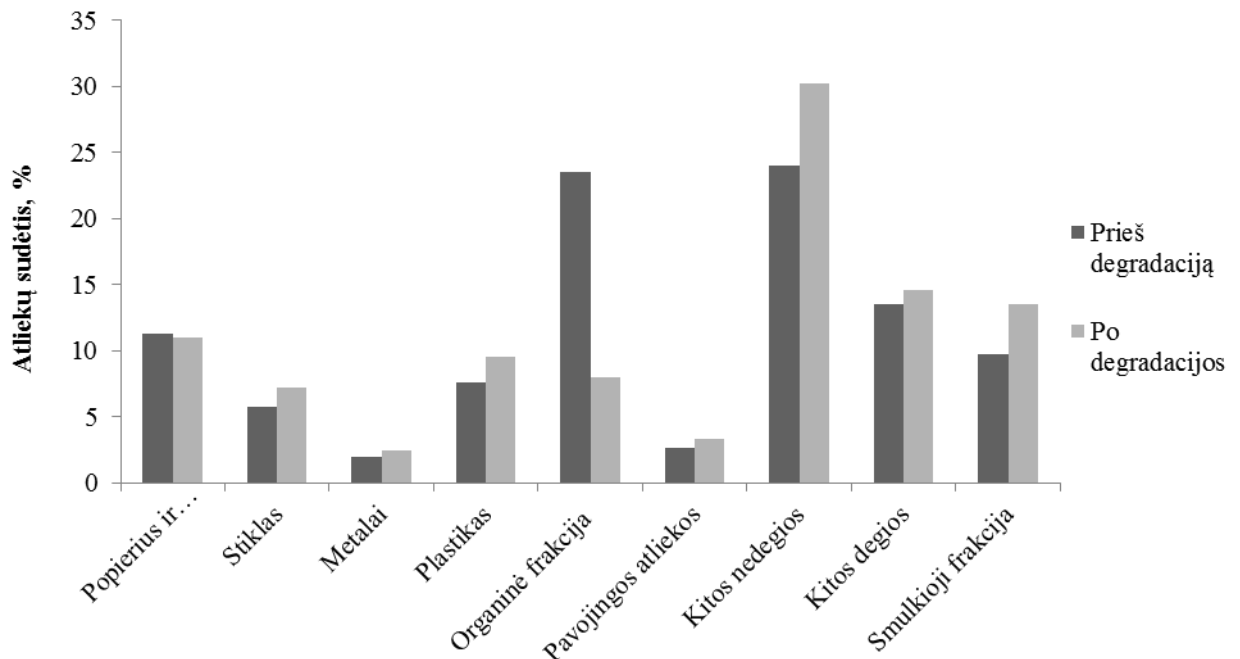
$$MDM = \frac{(903 - 11) \cdot (100 - 87)}{100} = 116 \text{ (t)};$$

Priimama, kad organinės sausos medžiagos kiekis, sausoje medžiagoje yra 87 % (žr. 15 lentelę).

Gauti atliekų degradacijos rezultatai pateikiami grafike (žr. 20 pav).



a



b

20 pav. Atliekų sudėtis pagal frakcijas prieš ir po degradacijos senajame (a) ir naujajame sąvartyno kaupe (b) 2014 metais

Kaip matyti (žr. 20 pav.), didžiausias atliekų sudėties pasikeitimas yra susijęs su organine atliekų dalimi, nes šios atliekų frakcijos greičio koeficientas yra didesnis, lyginant su kitomis frakcijomis. Bendras atliekų kiekis po degradacijos senajame sąvartyno kaupe sumažėjo 35 %, o naujajame sąvartyno kaupe 20 %. Sumažėjus bendram atliekų kiekiui, padidėjo ne yrančių atliekų frakcijų tokių kaip metalai, stiklas, plastikai kiekis. Atitinkamai jie sudaro 3,02, 10,09 ir 9,38 proc. bendro atliekų srauto senajame sąvartyno kaupe ir 2,44, 7,23 ir 9,56 proc. bendro atliekų srauto naujajame sąvartyno kaupe.

Šiuo atveju smulkiają frakciją sudaro sąvartyno sekcijos eksploatacijos metu atliekų perdengimui sunaudotas gruntas ir biodegraduojant organinėms medžiagos atsilaisvinusi mineralinė dalis.

Taip pat, būtina paminėti, kad tokia tiek senojo tiek naujojo sąvartyno sudėtis galima tik esant optimaliom sąlygom sąvartyne, kadangi atliekų degradacija sąvartyne yra labai sudėtingas procesas, kuris priklauso nuo daugelio veiksnių.

3.5. Išteklių potencialo vertinimas ir palyginimas senajame ir naujajame sąvartyno kaupe

Įvertinus atliekų kiekius atbulinės prognozės būdu, gruntą reikalingą atliekų perdengimui, bei atliekų degradaciją sąvartyne, gauti galutiniai sąvartyne esantys atliekų kiekiai ir sudėtis (žr. 17 lentelę).

17 lentelė. Senajame ir naujajame sąvartyne po degradacijos esančių atliekų kiekiai ir sudėtis

| Atliekų frakcija | Senasis sąvartyno kaupas | | Naujojo sąvartyno 1-oji sekcija | |
|-----------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------|
| | Atliekų kiekiai, t | Atliekų sudėtis, % | Atliekų kiekiai, t | Atliekų sudėtis, % |
| Popierius ir kartonas | 27556 | 8,54 | 28815 | 11,03 |
| Stiklas | 32535 | 10,09 | 18879 | 7,23 |
| Metalai | 9754 | 3,02 | 6378 | 2,44 |
| Plastikai | 30248 | 9,38 | 24956 | 9,56 |
| Organinė frakcija | 12817 | 3,97 | 20932 | 8,02 |
| Pavojingos atliekos | 10850 | 3,36 | 8740 | 3,35 |
| Kitos nedegios | 102478 | 31,77 | 79025 | 30,26 |
| Kitos degios | 43640 | 13,53 | 38008 | 14,55 |
| Smulkioji frakcija | 52639 | 16,32 | 35400 | 13,56 |
| Viso: | 322518 | 100 | 261134 | 100 |

Literatūros šaltiniuose nurodama, kad mišrių komunalinių atliekų sąvartynai įprastai sudaryti iš sudaryti iš 50-60 proc. dirvožemio tipo medžiagos, 20-30 proc. sudaro degios atliekos (pvz: plastikas, popierius, mediena, tekstilė), 10 proc. inertinės medžiagos (betonas, akmenys, stiklas) ir nedidelis procentas metalų (daugiausia feromagnetiniai) (Krook et.al., 2012; Zhou et.al., 2014; Bockreis et.al., 2011). Taigi, literatūroje pateikiama atliekų sudėtis nežymiai skiriasi nuo atliekų sudėties nustatytos

Alytaus regioniniame atliekų sąvartyne. Gauta, kad degios atliekos (popierius ir kartonas bei kitos degios atliekos) sąvartyne sudaro apie 31 proc, apie 10 proc. sudaro inertinės medžiagos (stiklas) ir nedidelis procentas metalų – apie 3 proc. Didžiausias skirtumas pastebimas tik dėl smulkiosios frakcijos, kadangi teorinio vertinimo metu smulkią frakciją sudaro tik sąvartyno eksploatacijos metu atliekų perdengimui sunaudotas gruntas ir biodegraduojant organinėms medžiagos atsilaisvinusi mineralinė dalis, kai tuo tarpu kitų tyrimu metu smulkiojoje frakcijoje gali būti stiklo ir kitų smulkių dalelių t.y. popieriaus ir kartono, nedegių atliekų ir kita.

Toliau pateikiamas galimas išteklių potencialas sąvartyne. Tačiau reikia pažymėti, kad vertinamos tik tos frakcijos, kurios yra tinkamos energijos gamybai arba perdirbimui, t.y. popierius ir kartonas, stiklas, metalai, plastikas bei kitos degios atliekos (žr. 21 ir 22 pav.).

Kadangi būtų per daug drąsu teigti, kad sąvartyne yra nemažiau ir nedaugiau medžiagų tinkamų energijos gamybai ir perdirbimui, todėl būtina įvertinti ribas, kuriose gali kisti gauti atliekų kiekiai.

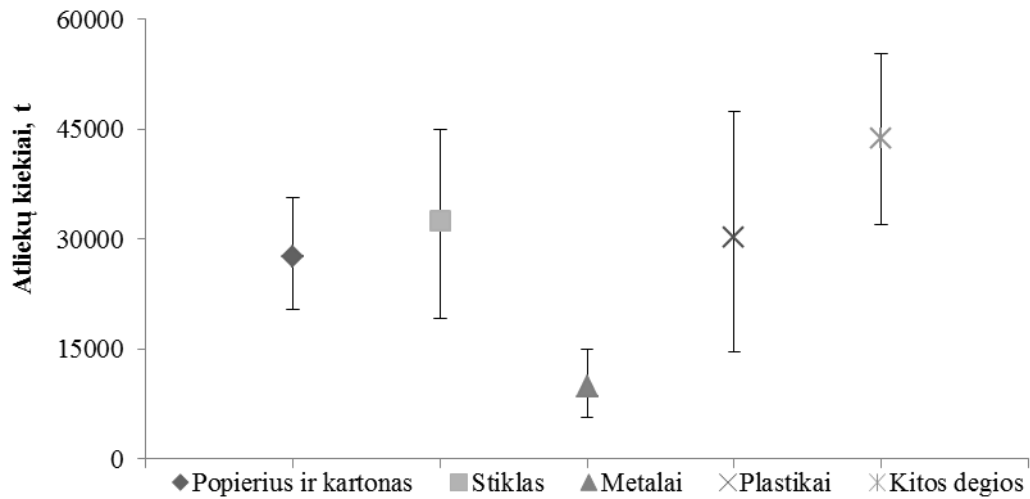
Susidarantys atliekų kiekiai priklauso ne tik nuo socialinių–ekonominių faktorių, bet ir nuo palyginamaisiais metais įvestos atliekų sudėties. Nagrinėjamu atveju vidutinė atliekų sudėtis buvo paimta iš ARATC ataskaitų. Tačiau reikia pažymėti, kad atliekų sudėtis labai svyruoja, kadangi atliekos į sąvartyną buvo vežamos iš keletos savivaldybių, t.y atliekos į sąvartynus patekdavo ir iš miesto, ir iš kaimų. Todėl siekiant įvertinti atliekų frakcijų svyravimą buvo atlikta atliekų sudėties analizė, kiekvienoje savivaldybėje visais metų laikais, remiantis 2012 m. atliekų sudėties duomenimis.

Toliau, remiantis ARATC ataskaitų duomenimis suskaičiuoti vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (žr. 18 lentelę) ir naudojant viršutines ir apatines ribas dar kartą modeliu perskaičiuoti susidarantys atliekų kiekiai.

18 lentelė. Atliekų frakcijų vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (ARATC)

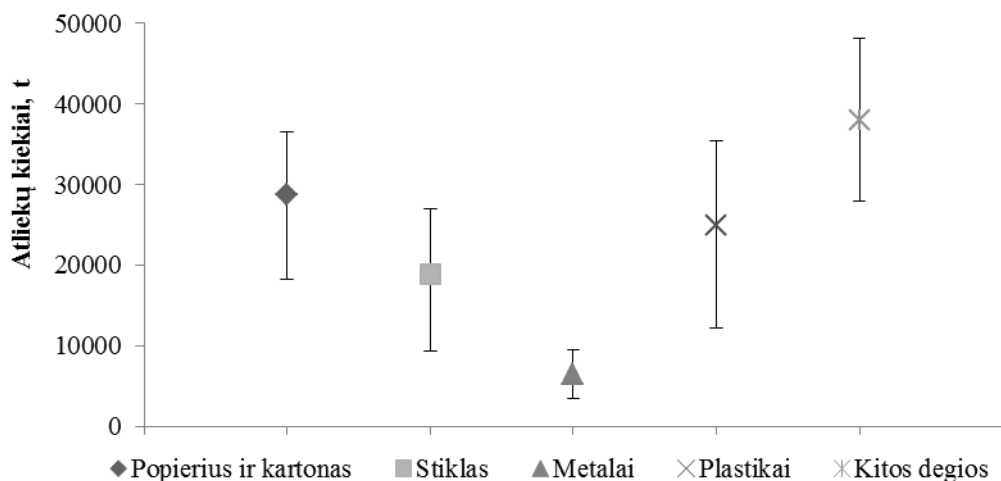
| Atliekų frakcija | Vidurkis, % | Standartinis nuokrypis |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------|
| Popierius ir kartonas | 6,19 | 3,8 |
| Stiklas | 4,61 | 2,9 |
| Metalai | 2,09 | 1,0 |
| Plastikai | 12,31 | 3,7 |
| Kitos degios | 18,58 | 4,0 |

Tokiu būdu gautos viršutinės (didžiausios) ir apatinės (mažiausios) galimos atliekų frakcijų vertės. Tačiau reikia pažymėti, kad bioskaidžių atliekų frakcijų vertės (popierius ir kartonas bei kitos degios atliekos) yra pateiktos įvertinus atliekų irimą sąvartyne.



21 pav. Išteklių potencialas senajame sąvartyno kaube

Vertinat išteklių potencialą senajame sąvartyno kaube, energijos gamybai, panaudojant atliekas kaip kurą, tinkamos šios frakcijos: popierius ir kartonas, kurio potencialas sąvartyne yra 27556 t, tačiau didžiausias šios frakcijos kiekis gali būti 34795, o mažiausias 19402 t, taip kitos degios atliekos, kurių vidutinis kiekis sąvartyne yra 43640 t, tikėtina, kad didžiausias kiekis sąvartyne gali siekti 55277 t, o mažiausias 32003 t. Perdirbimui tinkamų frakcijų potencialas sąvartyne yra: stiklo – 32535 t, metalų – 9754 t. Tuo tarpu, plastikų panaudojimas priklauso nuo jo savybių ir užterštumo, todėl arba gali būti panaudojamas energijos gamybai arba perdirbimui, jo potencialas sąvartyne – 30248 t.



22 pav. Išteklių potencialas naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje

Remiantis gautais rezultatais Alytaus regioniniame sąvartyne išteklių potencialą sudaro: 18879 t stiklo, 6378 t metalo, 37222 t popieriaus, 24956 t plastikų ir 38008 t degių medžiagų. Mažiausias atliekų kiekio svyravimas pastebimas metalų frakcijos, vidutinis metalų kiekis yra 6378 t, didžiausias

galimas metalų kiekis 9467 t, o mažiausias 3486 t. Tuo tarpu didžiausias atliekų kiekio svyravimas yra plastikų frakcijos, čia vidutinis plastikų kiekis yra 24956 t, galimas didžiausias kiekis – 35407 t, o mažiausias – 12197 t.

Tačiau, kaip matyti 21 ir 22 pav., atliekų frakcijų neapibrėžtumai yra gana dideli, todėl norint gauti išsamesnę būtina atlikti detalesnius tyrimus.

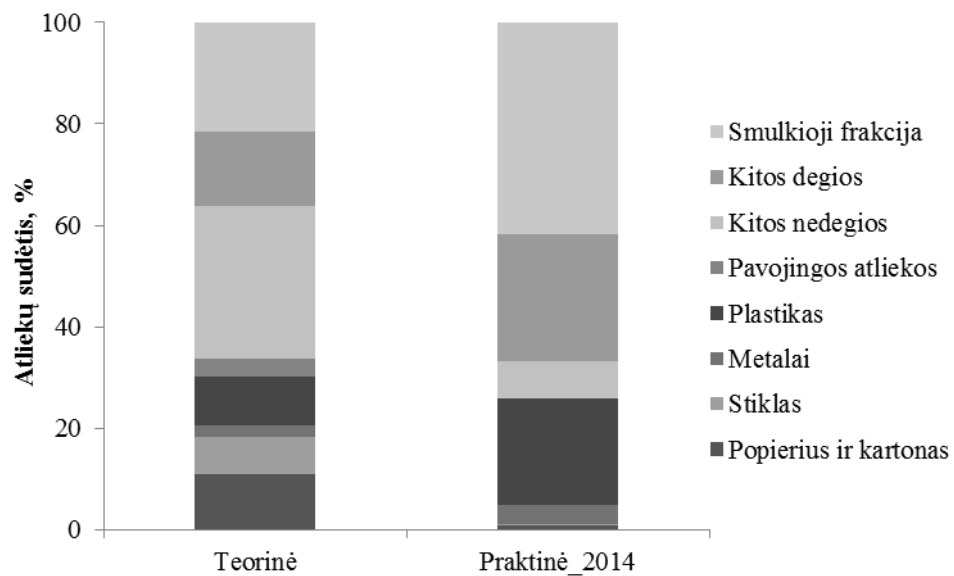
Įvertinus senojo ir naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje pašalintų atliekų kiekius ir jų sudėtį, gautos galimos išteklių vertės yra gana panašios (žr. 17 lentelę). Kadangi senojo sąvartyno eksploatacijos laikotarpis apie 4 kartus ilgesnis nei naujojo sąvartyno 1-mos sekcijos, tai atitinkamai senajame sąvartyne pašalintų atliekų kiekis didesnis.

Atsižvelgiant į tai, kad senajame atliekų sąvartyne atliekų šalinimas nebuvo vykdomas remiantis griežtais aplinkosauginiais reikalavimais, į sąvartyną galėjo patekti daug pavojingų atliekų, tokiu atveju atliekų atgavimo galimybė gali sumažėti dėl didelio atliekų užterštumo bei didesnės atliekų degradacijos per visą laikotarpį. Tuo tarpu naujojo sąvartyno 1-oji sekcija įrengta remiantis aplinkosauginiais reikalavimais, todėl tikėtinas mažesnis atliekų užterštumas. Į sąvartyną atliekos buvo šalinamos ir saugojamos laikantis griežtų sąvartyno eksploatacijos taisyklių. Be to, dėl trumpesnio eksploatacijos laikotarpio, tikėtina, kad atliekos yra mažiau degradavusios.

Tačiau literatūroje nurodama, kad mišrių komunalinių sąvartynų kasyba daugelyje ES šalių turėtų būti susitelkusi į tuos sąvartynus, kurie buvo įkurti tarp 1960 ir 1995m., nes po šio laikotarpio dauguma Europos Sąjungos šalių įvedė atliekų perdirbimo programas. Mažėjant atliekų susidarymui ir didėjant atskiro surinkimo, perdirbimo ir apdorojimo laipsniui, naujesni sąvartynai tampa mažiau tinkami kasybai (Ford et.al., 2013). Tačiau kalbant apie Lietuvą ir kitas naujas ES nares sąvartynų kasybai tinkami ir naujesni sąvartynai, kadangi naujoms ES šalims perdirbimo programos buvo įvestos kur kas vėliau.

Teorinio ir praktinio išteklių potencialo palyginimas.

Atbulinės prognozės būdu gauti Alytaus regioniniame sąvartyne esančių atliekų sudėties vertinimo rezultatai buvo palyginti su kito magistrinio (ir užsakomojo) darbo rėmuose (Denafas et. al., 2015) praktiškai (naudojant gręžinius) nustatyta atliekų sudėtimi (žr. 23 pav.).



23 pav. Teorinės ir praktinės atliekų sudėties palyginimas (Denafas et.al., 2015)

Paveiksle matyti, kad praktinių tyrimų metu stiklo rasta žymiai mažiau nei prognozuota (0,25% vietoje prognozuotų 7%) tikėtina, kad jis yra smulkiojoje frakcijoje, rasta šiek tiek daugiau metalų (3,6% vietoje prognozuotų 2%), plastmasių (21,36% vietoje prognozuotų 10%), tačiau žymiai mažiau popieriaus ir kartono (0,96% vietoje prognozuotų 11%).

Prognostinių ir praktinių duomenų neatitikimus galėjo įtakoti keletas veiksnių. Visų pirma per mažas atliktų gręžinių skaičius neparodo tikrosios sąvartyno sudėties. Antra, kasmet į sąvartyną be mišrių komunalinių atliekų patekdavo 10-15 proc. kitų atliekų iš įvairių įmonių, kurių su LCA-IWM modeliu įvertinti nebuvo galima. Galiausiai, reikia turėti omenyje, kad bioskaidžių atliekų degradacija sąvartyne priklauso nuo eilės veiksnių: temperatūros, drėgmės, pH, maistinių medžiagų kiekio ir kt. Esant palankioms sąlygoms atliekų irimas galėjo būti greitesnis.

IŠVADOS

1. Naudojant LCA-IWM modelį, atbulinės prognozės būdu įvertinti Alytaus regioniniame nepavojingų atliekų sąvartyne pašalinti atliekų kiekiai ir sudėtis 1990-2011 m. Gavome, kad senajame sąvartyno kaupe pašalinta 451889 t atliekų, o naujojo sąvartyno kaupe 297140 t. Didžiąją dalį į sąvartyną patekusių atliekų sudaro organinės atliekos, popierius ir kartonas, stiklas, plastikas bei kitos degios atliekos.
2. Įvertinus maisto, žaliųjų, popieriaus ir kartono bei kitų degių atliekų irimą sąvartyno aplinkoje buvo gauta, kad bendras atliekų kiekis po degradacijos senajame sąvartyno kaupe sumažėjo 35 %, o naujajame sąvartyno kaupe 20 %.
3. Nepaisant to, kad senasis MKA sąvartynas buvo eksploatuojamas kur kas ilgesnį laiką, išteklių potencialas senajame sąvartyne ir naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje yra panašus. Bendras atliekų kiekis tik 19 proc. didesnis senajame sąvartyne nei naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje. Remiantis gautais rezultatais senajame sąvartyno kaupe ir naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje perdirbimui ir energijos gamybai tinkanti atliekų dalis sudaro apie 45 proc. visų atliekų, atitinkamai plastikas, metalai, stiklas ir popierius ir kartonas bei kitos degios atliekos sudaro 9,38., 3,02, 10,09, 8,54 ir 13,53 proc. senajame sąvartyno kaupe ir 9,56, 2,44, 7,23, 11,03 ir 14,55 proc. naujojo sąvartyno 1-oje sekcijoje. Lyginant šiame darbe gautus teorinius ir vėliau kitų darbų rėmuose gautus praktinius tyrimų duomenis, akivaizdu, kad faktiškai stiklo yra žymiai mažiau nei prognozuota, tikėtina kad jis yra smulkiojoje frakcijoje, tačiau praktiškai yra galimas didesnis metalų, plastikų, bei kitų degių atliekų potencialas. Didžiausią vertę turi iš sąvartyno atgauti plastikai. Juos perdirbant kartu su atskirai surinktais plastikais galima gaminti naujus produktus (pvz. apdailos lentas).

LITERATŪRA

1. Alytaus atliekų tvarkymo centras (ARATC). Metiniai pranešimai;
2. Aplinkos apsaugos agentūra. Komunalinių atliekų kiekiai Lietuvoje. Paskutinį kartą žiūrėta 2015-06-02, adresu: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=e4055918-4f56-4aee-8c10620b407cc6f1>
3. Aplinkosaugos informacijos centras. Paskutinį kartą žiūrėta 2015-06-02, adresu: <http://www.apicentras.lt/?pid=52>
4. Bandara N. J. G. J., Hettiaratchi J. P. A., Wirasinghe S. Et. al. (2007). Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*.
5. Barlaz A. (2006). Forest products decomposition in municipal solid waste landfills. *Waste Management*, p. 26 321-333.
6. Behets T., Umans L., Wille E., et. al. (2013). Landfill Mining in Flanders: methodology for prioritization;
7. Beigl P., Wassermann G., Schneider F., et.al., (2003). The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies LCA-IWM. *Report*;
8. Bhatnagar A., Kaczala F., Kriipsalu M., Hogland M., Hogland W. (2013). Closing The Life Cycle Of Landfills - Landfill Mining In The Baltic Sea Region For Future. *International Waste Management and Landfill Symposium*
9. Bockreis A., Knapp J. (2011). Recoverable waste and resources in old landfills.
10. Boer E., Boer J., Jager J., Waste management planning and optimisation. *Kaunas: 2005*
11. Cossu R., Salieri V., Bisinella V., (2012). Urban mining: a global cycle approach to resource recovery from solid waste;
12. Denafas G., Daugėlaitė V., Bučinskas A., et.al. Mokslinių tyrimų paslaugų sutarties 31V211/14 „Medžiagų atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybės“, Kaunas, KTU, 2015
13. Dyson B., Chang N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*;
14. EUROSTAT, duomenų bazė. Komunalinių atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui per metus;
15. Ford S., Warren K. and Read A., (2013). An evaluation of the feasibility and viability of landfill mining and reclamation (LFMR) from a UK perspective;

16. Frändegård, P., Krook, J., Svensson, N., et.al., (2012). A novel approach for environmental evaluation of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*
17. Gaitanarou Z., Tentes G., Katselis Y., Landfill Mining: An empirical review on past and state-of-the-art applications;
18. Hogland W., Marques M., Nimmermark S., (2003). Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas;
19. Hull R. M., Krogmann U., M.ASCE, et.al., (2005). Composition and Characteristics of Excavated Materials from a New Jersey Landfill;
20. IPCC (2006). Intergovernmental panel on climate change: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program, London, UK.
21. Jones P.T., Geysen D., Tielemans Y., et. al. (2012). Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. *Journal of Cleaner Production*
22. Jones P.T., Geysen D., Tielemans Y., et.al., (2012). Closing the material loops: the enhanced landfill mining concept;
23. Kauno technologijos universitetas. Aplinkosaugos technologijos katedra. Komunalinių atliekų susidarymo ir sudėties sezoniškumo tyrimai Kauno mieste. *Kaunas: 2010m.*;
24. Komunalinių atliekų apibrėžimas. Paskutinį kartą žiūrėtas 2015-05-28, adresu: <https://aplinka.lt/komunalines-atliekos>;
25. Kriipsalu M., Landfill mining in the context of global environmental mitigation. *International seminar. Kaunas university of Technology. Kaunas: 2014*
26. Krook J., Svensson N., Eklund M., (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste management*;
27. Martinho G., Pires A., Anacleto S., A possibility of landfill mining in Portugal: waste characterization;
28. Morton A. B., (2006). Forest products decomposition in municipal solid waste landfills. *Waste management*;
29. Munnich K., Fricke K., Wanka S., et.al., (2013). Landfill mining – a contribution to conservation of natural resources. *International Waste Management and Landfill Symposium*
30. Pires A., Martinho G., (2007) Potential of landfill mining in Portugal;
31. Poveikio aplinkai monitoringo paslaugos“ 2012 metų stebėsenos rezultatai. (2012). Alytus: UAB Alytaus regiono atliekų tvarkymo centras;
32. Prechthai T., Padmasri M., Visvanathan Ch., (2008). Quality assessment of mined MSW from an open dumpsite for recycling potential. *Resources, Conservation and Recycling*;
33. Quaghebeur M., Laenen B., Geysen D., et.al., (2012). Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production*;

34. Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., et.al., (2007). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials*
35. Shah A. A., Hasan F., Hameed A., et.al., (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*
36. Simonaitytė K. (2014, balandžio 9). Kaip iš šiukšlių išspausti pinigus turėsime pasimokyti iš estų. Paskutinį kartą peržiūrėta 2015-06-02, adresu: <http://grynas.delfi.lt/aplinka/kaip-is-siuksliau-isspausti-pinigus-turesime-pasimokyti-is-estu.d?id=64494666>
37. Staniškis J. K (2004) *Integruota atliekų vadyba*. KTU leidykla "Technologija".
38. Tansel B., Yildiz B. S. (2011). Goal-based waste management strategy to reduce persistence of contaminants in leachate at municipal solid waste landfills;
39. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1993). Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues. Ann Arbor: McGraw-Hill
40. Valavičienė I., (2012). *Komunalinių atliekų susidarymo sezoninio kitimo įtaka atliekų tvarkymo sistemos rodikliams*. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka. Kaunas: Kauno Technologijos universitetas;
41. Wille E., Martens K., Behets T., et.al., (2013). Exploring the anthropocene: mapping and surveying of landfills in Flanders (Belgium);
42. Winterstetter A., Laner D., Rechberger H., et. al., (2015). Framework for the evaluation of anthropogenic resources: A landfillmining case study – Resource or reserve? *Resources, Conservation and Recycling*.
43. Ximene F.A., Gardner W.D. , Cowie A.L., (2008). The decomposition of wood products in landfills in Sydney, Australia. *Waste management*;
44. Zhou Ch., Fang W., Xu W., et.al., (2014). Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. *Journal of Cleaner Production*;
45. Židonytė D., (2007). Valstybinis strateginis atliekų tvarkymo planas: biologiškai skaidžių atliekų tvarkymas.

2 PRIEDAS

Socialiniai – ekonominiai faktoriai (Lietuvos statistikos departamentas)

| Rodiklis | Alytaus m. | | | | | | | Alytaus m., Alytaus raj., Birštonas, Prienai | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| Gyventojų skaičius regione | - | 74560 | 73721 | 72946 | 72352 | 71753 | 71361 | 143702 | 142314 | 140356 | 137749 | 135306 | 133325 |
| 15-59 amžiaus populiacija, vnt | - | - | - | - | - | - | 47367 | 86735 | 86489 | 85535 | 84607 | 82911 | 82426 |
| 15-59 amžiaus populiacija regione, % | - | - | - | - | - | - | - | 60,13 | 60,77 | 60,46 | 61,42 | 61,28 | 59,93 |
| Vidutinis namų ūkio dydis | 3 | - | - | - | - | - | 2,7 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2 | 2 |
| Kūdikių mirtingumo rodiklis | 12,3 | 8,7 | 9 | 4,8 | 5,8 | 14,4 | 9,1 | 7,15 | 5,4 | 8,5 | 8,2 | 8,2 | 12,3 |
| Vidutinė tikėtina gyvenimo trukmė | - | - | - | - | - | 73,33 | 71,72 | 71,9 | 72,6 | 72,27 | 70,81 | 70,56 | 70,6 |
| BVP vienam gyv. 1995 USD PGP | 6280 | 5510 | 5580 | 5800 | 5790 | 6170 | 6630 | 7220 | 8180 | 9189 | 9712 | 10176 | 11100 |

| Rodiklis | Alytaus RATC regionas | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Gyventojų skaičius regione | 205374 | 202166 | 196717 | 190905 | 187249 |
| 15-59 amžiaus populiacija, vnt | 124895 | 123538 | 121312 | 116457 | 113296 |
| 15-59 amžiaus populiacija regione, % | 60,81 | 61,11 | 61,67 | 61,00 | 60,51 |
| Vidutinis namų ūkio dydis | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2,1 |
| Kūdikių mirtingumo rodiklis | 9,1 | 10,3 | 4,4 | 9,3 | 4,2 |
| Vidutinė tikėtina gyvenimo trukmė | 71,32 | 72,67 | 73,43 | 73,72 | 73,83 |
| BVP vienam gyv. 1995 USD PGP | 10735 | 9646 | 9896 | 10390 | 10823 |

3 PRIEDAS

Atliekų šalinimo sąvartyne techniniai parametrai (ARATC)

| | |
|---|-----|
| Atliekų tankinimo laipsnis, t/m ³ | 1,2 |
| Grunto tankis-smėlio tankis, t/m ³ | 2,6 |
| Atliekų sluoksnio storis, m | 2 |
| Grunto sluoksnio storis, m | 0,2 |