



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

**Vita Blažaitytė**

**ENERGIJOS IŠGAVIMO ALTERNATYVŲ VERTINIMAS PO**  
**ALYTAUS REGIONINIO SĄVARTYNO UŽDARYMO**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. Gintaras Denafas

**KAUNAS, 2015**



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

**ENERGIJOS IŠGAVIMO ALTERNATYVŲ VERTINIMAS PO**  
**ALYTAUS REGIONINIO SĄVARTYNO UŽDARYMO**

Baigiamasis magistro projektas

**Aplinkosaugos inžinerija (valstybinis kodas 621H17001)**

**Konsultantai**

Prof. Mika Horttanainen

Dokt. Algimantas Bučinskas

2015-06-08

**Vadovas**

Prof. Gintaras Denafas

**Recenzentas**

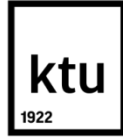
Prof. Linas Kliučininkas

**Projektą atliko**

Vita Blažaitytė

2015-06-08

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Vita Blažaitytė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, 621H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

## AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 8 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Vitos Blažaitytės**, baigiamasis projektas tema „*Energijos išgavimo alternatyvų vertinimas po Alytaus regioninio sąvartyno uždarymo*“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjusi.

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

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

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Blažaitytė, V. Energijos išgavimo alternatyvų vertinimas po Alytaus regioninio sąvartyno uždarymo. *Aplinkos inžinerijos magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. G. Denafas; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas, aplinkosaugos technologijos katedra.

Kaunas, 2015. 51 psl.

## SANTRAUKA

Augantys žmonijos energetiniai poreikiai sąlygoja alternatyvių energijos rūšių paieškas. Pagrindinė to priežastis – senkantys iškastinio kuro resursai.

Šiame darbe nagrinėjamos alternatyvios energijos rūšys tinkamos energijos gamybai yra sąvartynai (metano dujos bei sąvartynų kasybos metu randamas kietasis atgautasis kuras) bei atsinaujinantys energijos ištekliai (vėjo jėgainės, saulės moduliai bei energetinės plantacijos). Minėtos alternatyvos uždarytiems sąvartynams nėra išnagrinėtos Lietuvos mastu, taigi darbo tikslas – apskaičiuoti ir palyginti energetinį jų potencialą.

Baigiamajame darbe nagrinėjamas objektas – Alytaus regioninis sąvartynas (senasis kaupas bei I-oji sekcija). Darbui atlikti naudoti pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis 1990-2012 metais (duomenys gauti naudojantis LCA-IWM prognostiniu modeliu) bei Lietuvos Hidrometeorologijos tarnybos pateikti meteorologiniai duomenys. Turint šiuos duomenis, apskaičiuotas metano dujų (susidarančiam sąvartyno dujų kiekiui nustatyti panaudota programa „Petājā model“), kieto atgautojo kuro (įvertintas atliekų biodegradacijos procesas bei apskaičiuotos iškastų atliekų frakcijų šilumingumo vertės) bei atsinaujinančių energijos išteklių energetinis potencialas ir sudaryti šeši scenarijai, susidedantys iš minėtų komponentų.

Nustatyta, kad išgaunamos energijos kiekis iš metano dujų senojo kaupo atveju siekia 65 GWh vertinamuoju periodu 2007-2050, iš I-osios sekcijos – 62 GWh, kai vertinamas periodas apima 2012-2050 metus; energetinis kieto atgautojo kuro potencialas siekia 144 GWh bei 108 GWh atitinkamai senojo ir naujojo kaupo atžvilgiu, kai sąvartyno kasyba būtų vykdoma 2014 m. bei 2020 m.; atsinaujinančių energijos išteklių potencialas siekia: saulės moduliams - 0,53 GWh/m bei 0,32 GWh/m, vėjo jėgainei – 0,02-0,13 GWh/m bei energetinių augalų plantacijoms – 0,02-0,04 GWh/m.

Remiantis gautais rezultatais, sudaryti šeši scenarijai, iš kurių matyti, jog labiausiai bendrą energetinio potencialo dydį įtakoja energijos išgavimas iš kietojo atgautojo kuro bei metano dujų, o atsinaujinančių energijos išteklių indėlis nėra toks žymus. Efektyviausiu nagrinėtu scenarijumi gali būti laikomas Scenarijus 1, susidedantis iš etapų: energijos išgavimas iš metano dujų 2007-2013 m. ir 2012-2019 m., energijos išgavimo iš kieto atgautojo kuro 2014 ir 2020 m. bei energijos išgavimo iš atsinaujinančių energijos šaltinių 2015-2050 m. ir 2021-2050 m. Energijos išgavimas iš deginimui tinkamų atliekų sudaro 2/3 viso bendro scenarijaus potencialo.

Blažaitytė, V. Alternatives for the energy utilization during aftercare periode at Alytus regional landfill. *Environmental engineering Master's thesis* / supervisor prof. G. Denafas; Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Environmental Technology Departament.

Kaunas, 2015. 51 pg.

## SUMMARY

Considering the increasing energy demand, the research of the alternatives for energy production is of increasing relevance. The main reason is the depletion of fossil fuel resources. The alternatives for energy production discussed in this paper are considered as landfills (extraction of methane and excavation of SRF - solid recovered fuel) and renewable energy sources (wind turbines, solar modules and energy plantations). These energy generation alternatives for closed landfills are not yet investigated in Lithuania and the goal of this study is to calculate and compare the energetic potential of mentioned alternatives.

The object discussed in this paper is Alytus regional landfill (old and new sections). Knowing landfilled waste quantities and composition in 1990-2012 determined using LCA-IWM tool and meteorological data from Hydrometeorological Service, it is possible to evaluate different energy recovery alternatives for landfill. Landfill gas quantities were determined using Petäjä tool; the quantities of solid recovered fuel after biodegradation were determined using first order decay formula and heating values were calculated using Dulong's formula. Finally, energy potential for all the alternatives were calculated and six scenarios combined of mentioned components have been evaluated.

The results showed that energy potential from methane is 65 GWh for the old section in 2007-2050 and 62 GWh for new section in 2012-2050 year; energy potential from solid recovered fuel is 144 GWh for old section and 108 GWh for new section when landfill mining activity is implemented in 2014 and 2020 year respectively; energy potential from renewable resources is: for solar modules – 0,53 GWh/y and 0,32 GWh/y; for wind turbine – 0,02-0,13 GWh/y and for energy plantations – 0,02-0,04 GWh/y respectively for old and new section.

According to this results, the six scenarios were evaluated and it could be stated that solid recovered fuel and methane are the main valuable components for energy production. The most optimal scenario could be Scenario 1 consists of energy production from methane in 2007-2013 and 2012-2019; from SRF in 2014 and in 2020; also from solar and wind turbines in 2015-2050 and in 2021-2050 for old and new section respectively. The energy production from solid recovered fuel consists 2/3 of total energetic scenario potential.

# TURINYS

IVADAS .....	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
1.1. Energetika ir tvari aplinka .....	11
1.2. Sąvartynai – energijos šaltinis .....	12
1.2.1. Sąvartyno dujos.....	12
1.2.2. Sąvartyno kasyba: žaliavų atgavimas.....	16
1.3. Atsinaujinančių energijos šaltinių eksploatacija uždarytuose sąvartynuose .....	21
1.3.1. Faktoriai, įtakojantys atsinaujinančių energijos šaltinių eksploataciją .....	21
1.3.2. Vėjo jėgainės .....	22
1.3.3. Saulės kolektoriai .....	23
1.3.4. Energetinių augalų plantacijos .....	24
1.4. Apibendrinimas .....	25
2. METODOLOGINĖ DALIS.....	26
2.1. Susidarančio sąvartynų dujų kiekio ir energetinio potencialo nustatymas.....	26
2.1.1. Petajė modelis .....	26
2.1.2. Sąvartyno dujų energetinis potencialas .....	27
2.2. Kietojo atgautojo kuro energetinių rodiklių nustatymas .....	27
2.3. Atsinaujinančių energijos išteklių energetinis potencialas.....	30
3. PROJEKTINĖ DALIS .....	32
3.1. Duomenys apie nagrinėjamą objektą.....	32
3.1.1. Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis .....	33
3.1.2. Alytaus regiono meteorologiniai rodikliai .....	34
3.2. Neeksploatuojamo sąvartyno energetinio panaudojimo scenarijai .....	35
3.3. Sąvartyno dujų kiekio ir energetinio potencialo nustatymas.....	36
3.4. Iškastų atliekų energetinio potencialo nustatymas.....	38
3.5. Atsinaujinančių energijos išteklių energetinis potencialas .....	40
3.6. Sudarytų scenarijų efektyvumo palyginimas .....	42
IŠVADOS .....	44
LITERATŪRA .....	45

## LENTELĖS

1 lentelė. Sąvartyno dujų sudėtis (proc.) ir pagrindinės savybės.....	13
2 lentelė. Iškastų atliekų sudėtis (proc.) pagal skirtingus literatūros šaltinius.....	18
3 lentelė. Iškastų atliekų cheminė ir elementinė sudėtis.....	19
4 lentelė. Vidutinė iškastų atliekų energetinė vertė pagal skirtingus literatūros šaltinius .....	19
5 lentelė. Energetinių augalų tipai ir pagrindinės jų savybės .....	24
6 lentelė. Pirmos eilės greičio konstantų vertės .....	28
7 lentelė. Paviršiaus šiurkštumo koeficientai.....	31
8 lentelė. Alytaus regioninio sąvartyno techniniai duomenys .....	32
9 lentelė. Dujų surinkimo ir utilizavimo sistemų techninės charakteristikos ir prielaidos .....	36
10 lentelė. Apskaičiuoti atliekų kiekiai po biodegradacijos Alytaus regioniniame sąvartyne .....	38
11 lentelė. Apskaičiuotos atliekų frakcijų šilumingumo vertės .....	39

## PAVEIKSLAI

1 pav. Švartyno dujų susidarymo fazės.....	13
2 pav. Švartyno dujų išgavimo ir panaudojimo principinė schema .....	15
3 pav. Supaprastinta švartyno kasybos procedūra .....	17
4 pav. Kuro (atliekų) deginimo schema.....	20
5 pav. Alytaus regioninio švartyno senojo kaupo nuotrauka .....	32
6 pav. Alytaus regioninio švartyno I-osios sekcijos nuotrauka .....	32
7 pav. Alytaus regioniniame švartyne pašalintų atliekų kiekiai 1990-2012 m. ....	33
8 pav. Alytaus regioniniame švartyne pašalintų atliekų sudėtis 1990-2012 m. ....	33
9 pav. Vėjo greičio pasiskirstymas Alytaus regione 2013 m.....	34
10 pav. Saulės spinduliuotės metinis intensyvumas Alytaus regione 2013 m.....	34
11 pav. Alytaus regioninio švartyno senajame kaupe susidariusio ir surinkto metano kiekiai ..	37
12 pav. Alytaus regioninio švartyno I-ojoje sekcijoje susidarantys ir surenkami metano kiekiai..	37
13 pav. Iškastų atliekų frakcijų energetinis potencialas .....	40
14 pav. Scenarijų palyginimas energetiniu požiūriu.....	43



## IVADAS

Visame pasaulyje dėl augančių žmonijos energetinių poreikių susiduriama su senkančių iškastinių resursų problema, todėl ieškoma alternatyvų energijos gamybai, kurios sąlygotų mažesnę priklausomybę nuo pastarųjų [Dincer et. al., 2014]. Viena tokių alternatyvų gali būti laikomi sąvartynai dėl dviejų priežasčių: pirma, atliekų irimo metu susidaro dideli kiekiai metano dujų; antra, sąvartynuose glūdi „žaliavų“, tinkamų energijos gamybai ar pakartotiniam panaudojimui (naujų produktų gamybai). Kita alternatyva – atsinaujinančių energijos išteklių (vėjo turbinų, saulės modulių bei energetinių augalų plantacijų) eksploatacija.

Atliekos gali būti apibrėžiamos kaip bet kokios medžiagos, kuriomis jų turėtojas atsikrato dėl netinkamumo vartoti anksčiau numatytiems tikslams [Allen et al., 2001]. Sąvartynų kasyba – būdas atgauti tokias atliekas kaip žaliavas naujų produktų arba energijos gamybai. Paprastai iškastų atliekų sudėtyje randama 50-60 proc. smulkiosios frakcijos (sąvartyno perdengimui naudojama medžiaga bei suirusios bioskaidžios atliekos), 20-30 proc. degių atliekų (plastikas, popierius ir kartonas, tekstilė, guma, mediena), 10 proc. inertinių atliekų (stiklas, akmenys) ir vos keli procentai metalų [Krook J., et. al., 2012; Hogland W., 2004; Van Voosen W.J., 2011; Kaartinen T., et. al., 2013; Maria F., 2013]. Degių atliekų frakcija pasižymi 3,4-27 MJ/kg šilumingumo verte, priklausomai nuo taikomų operacijų sąvartyno kasybos metu [Quaghebeur M., et al., 2013; Bosmans, et. al., 2012; Cossu, et. al., 2012; Hogland et. al., 2004; Kriipsalu M., 2014], todėl yra tinkama energijos gamybai.

Teoriškai sąvartyno dujas sudaro 45-58 proc. metano, 32-45 proc. anglies dioksido bei <1 proc. kitų junginių [Monnet F., et. al., 2003]. Sąvartyno dujų surinkimas leidžia sumažinti ne tik šiltnamio efekto padarinius – sąvartyno dujos 23 kartus labiau sąlygoja šį reiškinį negu anglies dioksido dujos, bet šios dujos yra laikomos ir atsinaujinančios energijos šaltiniu. Jų šilumingumo vertė yra pakankamai didelė, t.y. 18-19 MJ/m<sup>3</sup> (kai metano kiekis sąvartyno dujose yra 50 proc.) Priklausomai nuo įvairių faktorių (sąvartyno amžiaus, atliekų kiekių ir sudėties ir kt.), iš sąvartyno dujų gali būti išgaunami dideli energijos kiekiai.

Kalbant apie atsinaujinančius energijos išteklius, galima teigti, jog ši alternatyva vertinama palankiai dėl to, kad nereikalauja pernelyg didelių investicinių sąnaudų, tačiau minėta alternatyva yra įtakojama klimato sąlygų. Atsinaujinančių energijos išteklių (saulės modulių, vėjo turbinų bei energetinių augalų plantacijų) eksploatavimas didesniu mastu ateityje leistų sušvelninti ir išspręsti eilę ekonominių bei aplinkosauginių problemų. Svarbu ir tai, kad pastarieji gali būti eksploatuojami užterštoje ir ekonomiškai nenaudingoje teritorijoje, pavyzdžiui, sąvartyne, išsprendžiant teritorijos panaudojimo problemą.

Šiame darbe nagrinėjamos anksčiau minėtos uždarytų sąvartynų energetinio panaudojimo alternatyvos.

**Darbo tikslas** – įvertinti ir palyginti uždaryto sąvartyno energetinio panaudojimo alternatyvas.

**Numatytam tikslui įgyvendinti iškelti uždaviniai:**

1. Apskaičiuoti susidarančius sąvartyno dujų kiekius ir jų energetinį potencialą;
2. Apskaičiuoti sąvartyne sukaupto kietojo atgautojo kuro energetinį potencialą, atsižvelgiant į atliekų degradaciją;
3. Išanalizuoti uždaryto sąvartyno teritorijoje atsinaujinančių energijos išteklių rūšių (saulės, vėjo ir energetinių plantacijų) eksploatavimo galimybes ir apskaičiuoti jų energetinį potencialą;
4. Sudaryti ir palyginti kelis alternatyvius uždaryto sąvartyno energetinio panaudojimo scenarijus.

**Darbo hipotezė** – Energijos gamyba iš nagrinėjamų alternatyvų Alytaus regioninio sąvartyno teritorijoje leistų patenkinti penktadalį (20 proc.) Alytaus miesto poreikių.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

### 1.1. Energetika ir tvari aplinka

*Energijos išteklių rūšys ir jų „įnašas“ į bendrą energijos gamybos sistemą.* Pasaulyje neregėtai greitai augančios žmonijos energetiniai poreikiai lemia neatsinaujinančių energijos išteklių (iškastinio kuro: naftos, gamtinių dujų, akmens anglių) mažėjimą ir iššūkis, su kuriuo susiduriama jau dabar – energijos gamybai tinkamų alternatyvų paieška [Chefurka, 2007]. Didelis dėmesys kreipiamas į alternatyvią bei atsinaujinančią energiją, kuri dažnai traktuojama ne tik kaip madingas terminas, bet ir laikoma perspektyvia energijos gavybos sritimi. Atsinaujinančiai alternatyviai energijai priskiriama:

- Bioenergija (biomasė, biodujos, biodegalai)
- Geoterminė energija
- Saulės šviesos energija
- Vėjo energija
- Hidroenergija

Nors dabartiniu metu vis daugiau kalbama apie atsinaujinančią energiją, tačiau iškastinis kuras išlieka pagrindine rūšimi energijos gavybai: visuma žmonijos energetinių poreikių patenkinami naudojant 36 proc. naftos, 24 proc. gamtinių dujų, 28 proc. akmens anglių, 6 proc. branduolinės bei 7 proc. atsinaujinančios energijos išteklių [Menegaki A. N., 2011].

*Atsinaujinantys energijos šaltiniai: situacija Lietuvoje ir Europoje.* Remiantis Europos Sąjungos statistikos agentūros („Eurostat“) duomenimis, 2012 m. Europos sąjungos šalyse energijos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių sudarė apie penktadalį visos pagaminamos energijos [Eurostat, 2012]; daugiausia atsinaujinančios energijos pagaminama Vokietijoje, Ispanijoje, Danijoje bei Italijoje [Hammons T. J., 2008]. Laikoma, kad labiausiai paplitę atsinaujinančios energijos šaltinių rūšys yra biomasė, saulės bei vėjo energija [Gross R., et. al., 2003]. Pagrindiniai faktoriai, lemiantys nevienodą atsinaujinančių energijos išteklių paklausą ir jų panaudojimą yra šalies geografinė padėtis, klimatinės ir meteorologinės bei technologinės ir ekonominės sąlygos [Ediger V. S., et al., 1999]. Pavyzdžiui, Kipre du trečdaliai atsinaujinančios energijos pagaminama iš saulės energijos, o vėjo energijos paklausa kur kas didesnė Airijoje, Portugalijoje, Danijoje ir Ispanijoje [Eurostat, 2012].

*Alternatyvios energijos ištekliai ir tvari aplinka.* Viena pagrindinių priežasčių, skatinančių atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą, yra ta, kad iškastinio kuro ištekliai yra baigtiniai. Prognozuojama, kad dėl šios priežasties kuro, ypač naftos, kainos tendencingai didės ir esant nepalankioms sąlygoms sukels energetikos krizes. Todėl atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas didesniu mastu padėtų sušvelninti tokių energetikos krizių pasekmes, leistų išspręsti eilę aplinkosauginių ir ekonominių problemų: būtų sumažinama energetikos priklausomybė nuo kitų šalių, sukuriama daugiau darbo vietų, sumažinamas energijos gamybos ir transformavimo poveikis aplinkai (iškastinio

kuro deginimo metu į aplinką išskiriami azoto ir sieros oksidai bei kiti junginiai, lemiantys rūgščius lietus, stratosferinio ozono nykimą, šiltnamio efektą ir daugybę kitų aplinkosauginių problemų), sumažinama priklausomybė nuo nuolat brangstančio iškastinio kuro [Hepbasli A., 2008].

## 1.2. Sąvartynai – energijos šaltinis

Sąvartynai laikomi energijos šaltiniais dėl dviejų priežasčių:

- Mišrių komunalinių atliekų irimo metu susidaro sąvartyno dujos, kuriose gausu metano, tinkamo siekiant išgauti energiją ar šilumą [Nickolas J., et. al., 2007]. Sąvartyno dujos pasauliniu mastu laikomos atsinaujinančios energijos šaltiniu.
- Sąvartynuose glūdi nemaži kiekiai vertingų atliekų („žaliavų“), tinkamų pakartotinio panaudojimo bei energijos išgavimo (deginimo) procesams [Cheng H., 2010].

### 1.2.1. Sąvartyno dujos

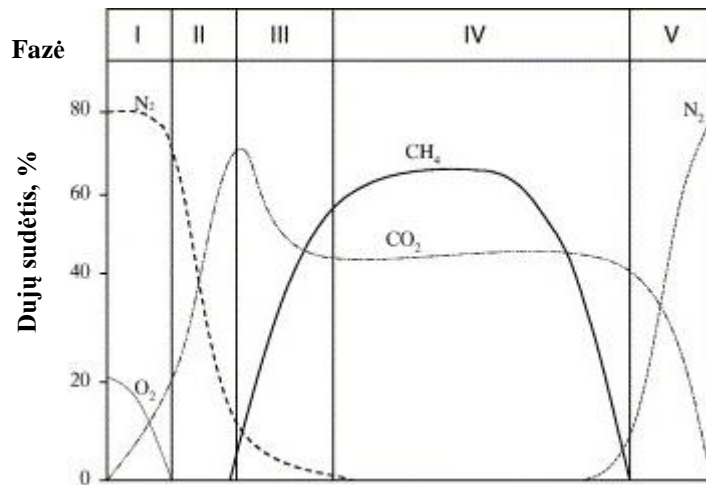
*Faktoriai, įtakojantys sąvartyno dujų susidarymą.* Pagrindiniai faktoriai, sąlygojantys susidarančių sąvartyno dujų kiekį ir jų sudėtį, yra atliekų sudėtis ir jų kiekis sąvartyne, pašalintų atliekų amžius, atliekų sluoksnio storis ir tankis, dangos sluoksnių kiekis, pH, temperatūra, kritulių kiekis sąvartyne [Yucekaya A., 2014].

*Sąvartyno dujų susidarymas ir savybės.* Sąvartyno dujos – metano, anglies dioksido, vandens garų, sieros vandenilio ir kitų junginių (merkaptanų, halogenintų angliavandenilių bei siloksanų) mišinys, kuris susidaro dėl cheminių reakcijų bei mikroorganizmų veiklos. Tokių dujų patekimas į aplinką sąlygoja begalę problemų: iškyla sprogimų ir gaisrų pavojus, suintensyvinami šiltnamio efekto padariniai (laikoma, jog sąvartyno dujos 23 kartus labiau skatina šiltnamio efekto padarinius lyginant su tokiu pačiu anglies dioksido kiekiu [Themelis N., 2007]). Globaliu mastu laikoma, jog 5 proc. visų antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų susidaro būtent atliekų sektoriuje [Bogner J., et. al., 2007], tuo tarpu Europoje šios emisijos siekia net 30 proc. [Haubrichs R., et. al., 2006].

Sąvartyno dujų formavimosi ciklą galima suskirstyti į penkias stadijas [Bove R., et. al., 2006] (žr. 1 pav.):

- I fazė atitinka aerobinį organinių atliekų skaidymą, kurio metu susidaro vanduo ir anglies dioksidas. Šios stadijos trukmė būna gana trumpa ir priklauso nuo atliekų tankio ir apsauginio sluoksnio savybių.
- II fazės metu sąvartyno viduje dėl sumažėjusio deguonies kiekio sudaromos anaerobinės sąlygos. Šioje stadijoje organiniai atliekų komponentai yra hidrolizuojami ir verčiami į amino rūgštis, peptidus, stambiamolekulines riebalines rūgštis, glicerolį ir monosacharidus.

- III fazės metu acetogeninės bakterijos skaido 2-osios stadijos metu susidariusius komponentus į lakias riebalines rūgštis, etanolį, vandenilį ir vandenį. I-III skaidymo stadijos (fazės) trunka nuo 3 mėnesių iki 2 metų.
- IV fazėje, veikiant metanogeninėms bakterijoms, iš pirmųjų biologinio skaidymo produktų (acto ir skruzdžių rūgščių, metanolio, vandenilio) susidaro metanas ir anglies dioksidas. Didžiausia sąvartyno dujų dalis susiformuojama šioje fazėje. Baigiantis organinėms medžiagoms, sulėtėja mikrobiologiniai procesai ir dujų gamyba.
- V fazės metu metano ir anglies dvideginio susidaro mažiau, o ertmės sąvartos sluoksnyje palaipsniui užpildo aplinkos oro azotas ir galiausiai deguonis.



**1 pav.** Sąvartyno dujų susidarymo fazės [Bove R., et. al., 2006]

Sąvartyne susidarančių dujų sudėtis ir pagrindinės savybės pateikiamos žemiau (žr. 1 lentelę):

**1 lentelė.** Sąvartyno dujų sudėtis (proc.) ir pagrindinės savybės [Savickas J., 1997]

Savybė ir matavimo vienetai	Sąvartyno dujų komponentas				Biodujos (60% CH <sub>4</sub> +40% CO <sub>2</sub> )
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	
Teorinis kiekis, %	55-70	30-45	<1	<3	100
Šilumingumas, MJ/m <sup>3</sup>	37,7	-	10,8	22,8	22,6
Pliūpsnio temperatūra, °C	650-750	-	530-590	290-487	650-750
Apatinė sprogumo riba, %	5÷15	-	4÷74	4÷42	4,4-16,5
Tankis, kg/m <sup>3</sup>	0,72	1,98	0,09	1,54	0,94-1,2
Kritinė temperatūra, °C	-82,5	31	-	100	-82,5
Kritinis slėgis, MPa	4,6	7,3	1,3	8,9	7,3-8,9

*Susidarancio sąvartyno dujų kiekio nustatymas: modeliavimo programos.* Dažnai bendras susidarantis sąvartyno dujų kiekis yra nežinomas dydis dėl kelių aspektų: visų pirma, nežinoma, kokia dalis susidariusių sąvartyno dujų yra oksiduojama pačiame sąvartyno viduje; antra, dėl sąvartyno dujų surinkimo sistemos neefektyvumo, tiksliai neaišku, kokia dalis dujų lieka nesurinkta. Remiantis Jungtinių Amerikos Valstijų (JAV) Aplinkos apsaugos agentūros (EPA) pateiktais duomenimis, nustatyta, jog viena bioskaidžių atliekų tona lemia 400-500 m<sup>3</sup> dujų kiekio susidarymą, tuo tarpu viena komunalinių atliekų tona – 160-250 m<sup>3</sup> dujų (metano kiekis išsiskyrusių sąvartynų dujų sraute gali siekti apie 88-138 m<sup>3</sup>: vidutiniškai iš vienos atliekų tonos gali susidaryti 125 m<sup>3</sup> metano dujų [Lino F., et. al., 2011; IPCC, 2007]). Pagal minėtus skaičius bei žinant tikslus pašalintų atliekų kiekius ir sudėtį, galima apsiskaičiuoti orientacinį susidarantį sąvartyno dujų kiekį. Visgi dažnai dėl sąvartyne vykstančių procesų ir juos veikiančių įvairių sąlygų (pH, temperatūra, slėgis, drėgmės kiekis), minėtas dydis gerokai skiriasi.

Siekiant nustatyti susidarantį dujų kiekį, dažnai, kaip pagalbinė priemonė naudojamos modeliavimo operacijos: IPCC, TNO, GasSim Lite, LandGEM, Afvalzorg, French E-PRTR, Finnish E-PRTR (Petājā) modeliai [Oonk H., et.al., 2010]. Priklausomai nuo parinkto modelio sudėtingumo, sąvartyne esančios atliekos dažnai išskiriamos pagal bioskaidumo laipsnį: greitai, vidutiniškai bei lėtai yrančios [Lamborn J., 2009]. Bendras minėtų modeliavimo programų bruožas yra tas, jog modeliai paremti pirmojo laipsnio irimo reakcija arba šios reakcijos pokyčiu, tuo tarpu pagrindinis jų skirtumas – sąvartyno dujų sudėties (metano, anglies dioksido ir kitų dujų) bei kitų koeficientų vertės, skirtingas atliekų klasifikavimo įvedimas, modelio pritaikymas tam tikrai šaliai ar klimato zonai.

*Sąvartyno dujų išgavimas ir panaudojimas.* Pasak Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos (angl. Intergovernmental Panel on Climate Change), sąvartyno dujų išgavimas ir utilizavimas yra vienas iš sprendimo būdų atliekų tvarkymo sektoriuje, siekiant sumažinti šiltnamio efekto padarinius bei sprogimo tikimybę, o taipogi tai vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Siekiant išvengti neigiamo sąvartyno dujų poveikio aplinkos komponentams, vis dažniau sąvartynuose įrengiamos dujų surinkimo sistemos, o surinktos dujos panaudojamos įvairiais tikslais [Corti A., et. al., 2007]. Remiantis literatūros duomenimis, minimalus metano kiekis sąvartyno dujose turėtų būti 35-40 proc., kad būtų galima pastarąsias panaudoti energijos išgavimo tikslais [Stachowitz W. H., 2003], o bendras sąvartynų dujų kiekis, siekiantis 30-50 m<sup>3</sup>/h, laikomas techniškai ir ekonomiškai nepakankamu energijos gavybai [Haubrichs R., et. al., 2006]. Priklausomai nuo sąvartyno dujų išvalymo laipsnio, jų panaudojimo tikslai gali būti šie [Dzenajavičienė E., et. al., 2011]:

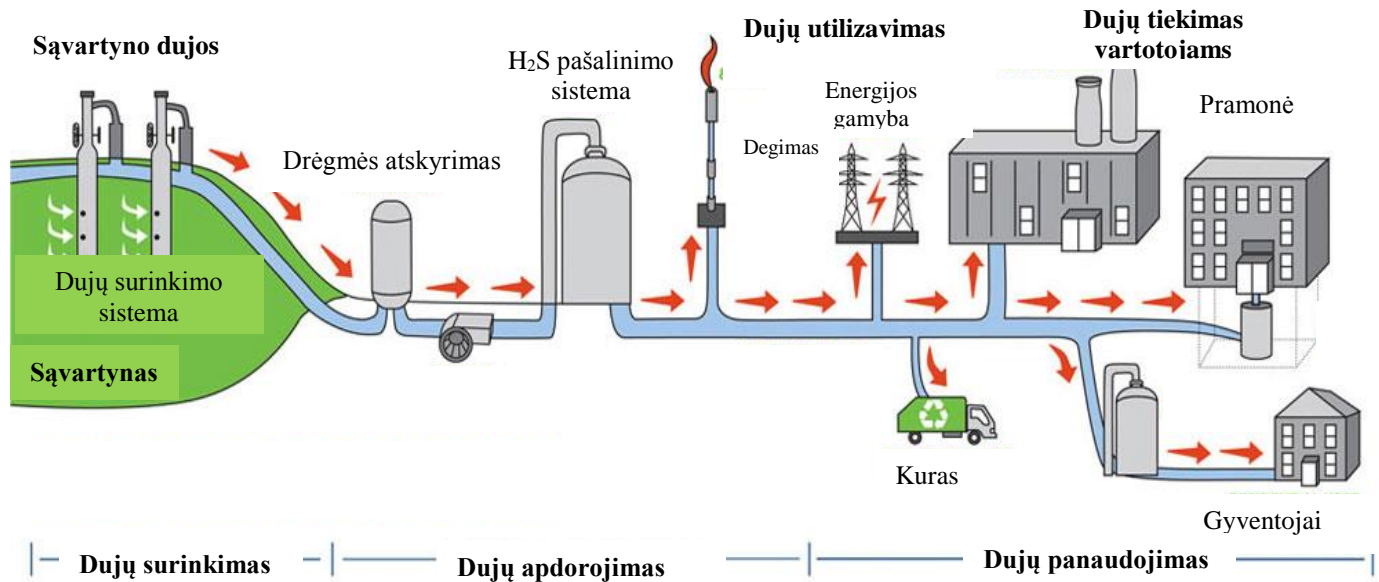
- minimaliai išvalytos sąvartyno dujos gali būti tiesiogiai sudeginamos katiluose, plytų degimo krosnyse, džiovyklų pakurose;
- vidutinio išvalymo dujos gali būti panaudojamos šilumos, elektros arba elektros ir šilumos gamybai, kaip autotransporto kuras. Pasak Jungtinių Amerikos Valstijų Aplinkos

Apsaugos Agentūros, sąvartyno dujose metano turėtų būti apie 28-65%, kad būtų įmanoma energijos gamyba. Esant mažesniai metano kiekiui dujose, pastarosios netinkamos naudoti kaip kuras, todėl pravartu tokias dujas sudeginti. (Sąvartyno dujas rekomenduojama deginti 1000-1200 °C temperatūroje, siekiant pašalinti kitas dujų sudedamąsias dalis);

- aukšto išvalymo laipsnio dujos arba grynas metanas gali būti tiekiamos į gamtinių dujų tinklą, naudojamos kaip autotransporto kuras ar kaip žaliava chemijos pramonei.

Sąvartyno dujos dažniausiai surenkamos vertikaliais ar horizontaliais perforuotais vamzdžiais, išsiurbiamos siurbliu ar kompresoriumi. Priklausomai nuo to, ar sąvartynas tebėra eksploatuojamas, ar jis yra uždarytas (uždengtas apsauginiais sluoksniais pagal numatytas taisykles ir techninius reglamentus), sąvartyno dujų surinkimo sistemos efektyvumas gali būti atitinkamai nuo 30 proc. iki 90 proc. [Gentil E., et. al., 2010; Spokas K., 2006]. Surinktos dujos, pasižyminčios 15-22 MJ/m<sup>3</sup> šilumingumo verte, tiekiamos į deginimo sistemą: kogeneracinę elektrinę, katilinę, krosnį [Willumsen H., 2003; Spokas K., et. al., 2006]. Visgi viena iš efektyviausių sąvartyno dujų panaudojimo sistemų laikoma kogeneracinė elektrinė, kuri pasižymi 50-90 proc. efektyvumu.

Sąvartyno dujų išgavimo ir utilizavimo sistemos principinė schema pavaizduota žemiau (žr. 2 pav.):



**2 pav.** Sąvartyno dujų išgavimo ir panaudojimo principinė schema [78]

*Praktika Lietuvoje ir užsienio šalyse.* Lietuvoje sąvartyno dujų surinkimas vykdomas Kauno, Vilniaus, Marijampolės, Šiaulių, Klaipėdos sąvartynuose, tačiau surenkami kiekiai nėra dideli, todėl surinktas dujas, šildymo ir ir elektros gavybos tikslais, stengiamasi panaudoti netoli sąvartynų įsikūrusių gyvenviečių poreikiams tenkinti. Pavyzdžiui, iš Kauno rajone esančio Lapių sąvartyno surinktos dujos tiekiamos į kogeneracinę elektrinę, iš kurios pagaminta energija „pasiekia“ Domeikavos gyvenvietę:

vasarą išgaunamos energijos miestelio gyventojų poreikiams patenkinti pakanka, tuo tarpu žiemą patenkinama apie 50 proc. [Levickaitė R., 2013]. Kalbant apie sąvartynų dujų išgavimo ir panaudojimo praktiką pasaulyje, galima teigti, kad energijos išgavimo paklausa iš šio „šaltinio“ auga (2001 m. sąvartyno dujų utilizavimo įmonių skaičius buvo 955, tuo tarpu 2014 m. – daugiau nei 1100) [Willumsen H., 2003; Yucekaya A., 2014]. Pavyzdžiui, Graikijoje iš sąvartyno dujų pagaminama 110 GWh/m elektros, kas leidžia aprūpinti daugiau nei 15 000 gyventojų [Skodras G., et. al., 2003], tuo tarpu kitose ES šalyse (ataskaitoje pateiktos 27 šalys), 2007 metų duomenimis, pagaminta apie 11 400 GWh (4677 GWh Anglijoje, 1127 GWh Italijoje, 1008 Vokietijoje ir t.t) [Solagro, 2010].

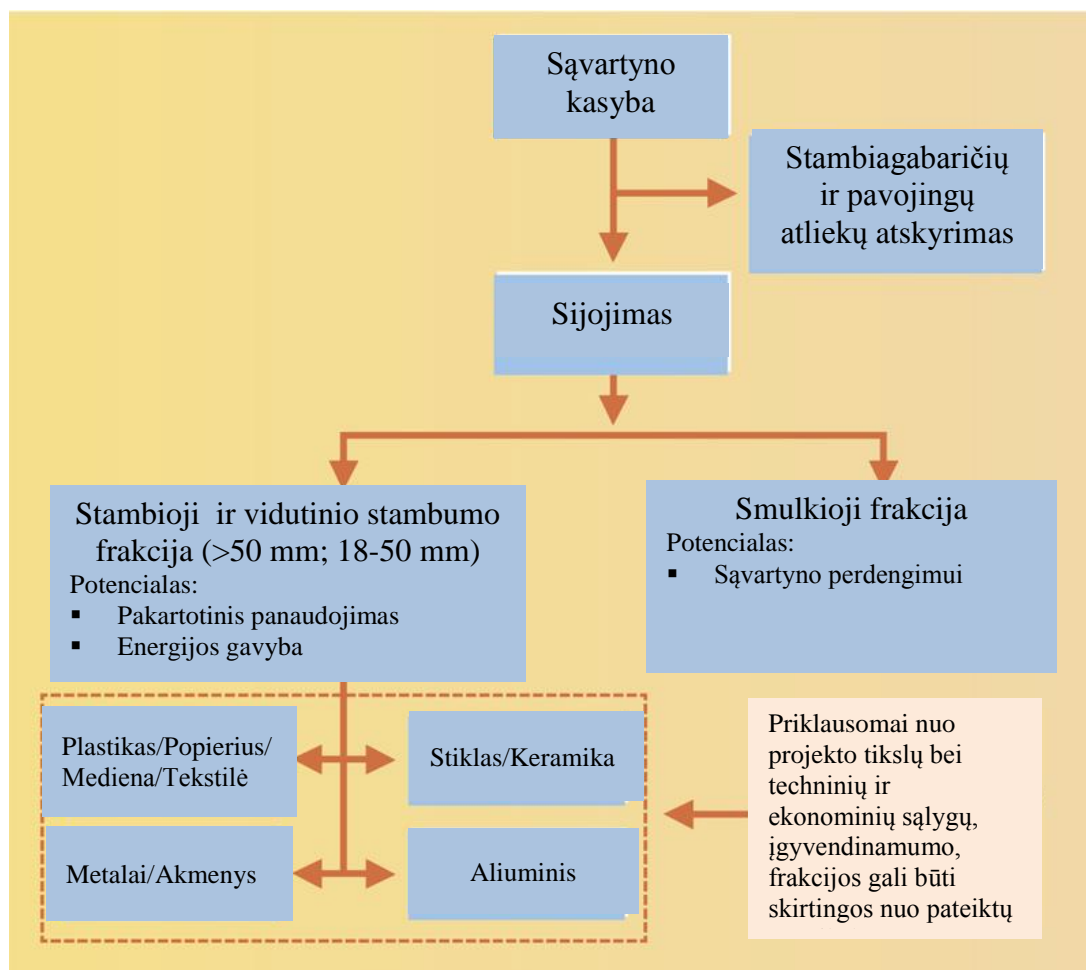
### **1.2.2. Sąvartyno kasyba: žaliavų atgavimas**

*Sąvartynų kasybos istorija ir tikslai.* Sąvartynų kasybos tematika pradėta vystyti 1953 metais Tel Avivo mieste, Izraelyje, siekiant pagerinti dirvos kokybę vaisių soduose [Krook J., et. al., 2012]. Per daugiau nei 60 metų sąvartynų kasybos projektai buvo vykdomi tiek JAV, tiek ir Europoje: Švedijoje, Italijoje, Vokietijoje, Olandijoje, Estijoje, Danijoje. Pagrindiniai sąvartynų kasybos projektų vykdymo tikslai yra:

- žaliavų atgavimas (antrinės žaliavos, metalai);
- energijos išgavimas iš atliekų;
- naujų vietų sukūrimas atliekų šalinimui [Cossu R., et. al., 2012; Bosmans A., et. al., 2012].

*Taikomos operacijos.* Dažniausiai siekiant atgauti perdirbamas žaliavas ar degiąją frakciją taikomos mechaninės operacijos: iškasimas, transportavimas, smulkinimas, atskyrimas pagal frakciją siojimo būdu, magnetų taikymas procese, plovimas [Rosendal R. M., et.al, 2013]. Supaprastinta tokio proceso schema pateikta žemiau (žr. 3 pav.):





**3 pav.** Supaprastinta sąvartyno kasybos procedūra

Kaip matyti iš pateiktos schemos, vienas svarbiausių etapų atgaunant atliekas kaip žaliavas yra jų atskyrimas pagal dalelių dydį į stambiają, vidutinio stambumo bei smulkiąją frakciją, kadangi stambioji ir vidutinio stambumo frakcija gali būti panaudojama energijos ar naujų produktų gamybai, tuo tarpu smulkioji frakcija dėl didelio peleningumo ir mažo šilumingumo, nėra tam tinkama. Dėl atliekų irimo proceso, sąvartynų kasybos darbams naudojamų įrenginių, dalis atliekų gali būti susmulkinama, būtent dėl to tinkamų tolimesniam panaudojimui atliekų atgavimas tampa komplikuoatas.

*Iškastų atliekų sudėtis.* Sąvartyne pašalintų atliekų sudėtis yra vienas svarbiausių faktorių, lemiančių sąvartyno kasybos projekto įgyvendinamumą ir sėkmę. Paprastai iškastų atliekų sudėtyje randama 50-60 proc. smulkiosios frakcijos (sąvartyno perdengimui naudojama medžiaga bei suirusios bioskaidžios atliekos), 20-30 proc. degiųjų atliekų (plastikas, popierius ir kartonas, tekstilė, guma, mediena), 10 proc. inertinių atliekų (stiklas, akmenys) ir vos keli procentai metalų [Krook J., et. al., 2012; Van Voosen W.J., 2011; Kaartinen T., et. al., 2013; Maria F., 2013].

Detali iškastų atliekų sudėtis, pasak literatūros šaltinių, pateikiama žemiau (žr. 2 lent.):

**2 lentelė.** Iškastų atliekų sudėtis (proc.) pagal skirtingus literatūros šaltinius

<b>Iškastų atliekų sudėtis, %</b>					
<b>Frakcija</b>	<b>Kinija</b> (14 m. amžius) [Yujiang Y., et. al., 2009]	<b>Belgija</b> (14-29 m. amžius) [Quaghebeur M., et.al., 2013; Jones P., et. al., 2013; Spooren J., et. al., 2012]	<b>Švedija</b> (17-25 m. amžius) [Hogland W., et. al., 2004] Frandegard P., 2013]	<b>Tailandas</b> (3-5 m. amžius) [Prechthai, et. al., 2008]	<b>JAV</b> (30 m. amžius) [Pradeep J., et. al., 2014]
Stiklas	3,5	0,5 – 1,3	0,5	6,5	10
Metalai	1,0	2,2 – 2,8	1,6 – 4,2	6,4	10
Popierius ir kartonas	–	14 – 7,5	7,2 – 7,9	3,3	9
Plastikas	25,5	25 – 17	4,4 – 8,1	31	5
Kitos degios atliekos (tekstilė, mediena, guma)	8,9	7,2 – 13,5	9,0 – 10,7	15,6	10
Inertinė frakcija (akmenys)	10,9	2 – 10	16 – 9,7	3,3	3
Smulkioji frakcija	50,2	50 – 44	60 – 56,3	34	52

Kaip matyti iš pateiktų duomenų, sąvartynuose dažniausiai vyraujanti tinkama energijos išgavimui atliekų frakcija (plastikai, popierius bei kitos degios atliekos), kaip ir minėta anksčiau, sudaro apie trečdalį iškastų atliekų kiekio.

*Iškastų atliekų savybės: kietas atgautasis kuras.* Pagrindinės savybės, lemiančios tolimesnį jų panaudojimą, yra temperatūra, drėgmės kiekis, užterštumas. Visgi, temperatūra yra vienas tų faktorių, kurie turi didelę įtaką daugeliui fizikinių, cheminių bei mikrobiologinių procesų, pavyzdžiui, lakių junginių emisijoms, slėgio sąlygoms sąvartyne, atliekų suirimo laipsniui bei įvairių medžiagų tirpumui sąvartoje. Remiantis praktiniais duomenimis, nustatyta, jog iškastų atliekų temperatūra svyruoja nuo 22 °C (kai kasyba vykdyta 3 m gylyje) iki 68 °C (kasyba vykdyta 27,4 m gylyje), priklausomai nuo atliekų sluoksnio gylis [Hull R. M., et. al., 2005].

Taip pat labai svarbi charakteristika yra drėgmės kiekis. Remiantis atliktais tyrimais, vidutinis drėgmės kiekis iškastose atliekose dažniausiai yra 20-40 proc. (35,3 proc. [Ham R. K., et. al., 1993], 23,9 proc. [Zanetti M. C., et. al., 1997], 24 proc. [Baumler R., et. al., 2001], 40 proc. [Kriipsalu M., 2014], 28,3 proc. [Hull R. M, et. al., 2005]), tačiau gali siekti ir iki 60 proc. [Sormunen K., et. al., 2008]. Kalbant apie degiąją frakciją (plastikas, mediena, tekstilė, oda), svarbu paminėti, jog vidutinis drėgmės kiekis dėl šių atliekų savybių, bus kiek mažesnis, t.y. 12-35 %. [Jones P., et al., 2013; Bosmans A., et. al., 2012; Hull R. M., et. al., 2005].

Iškastų atliekų panaudojimui įtakos turi ir tokie veiksniai kaip atliekų užteršimas kitomis medžiagomis bei dalelių dydis. Užteršimas kitomis medžiagomis (drėgmė, prilipę kietosios dalelės ar neatpažintos atliekos) gali siekti iki 60-80 proc. [Hull R. M., et. al., 2005]. Todėl prieš įvertinant atgautų

atliekų („žaliavų“) energetinį potencialą, reikia įvykdyti eilę apdorojimo procesų (plovimas, džiovinimas, dalelių atskyrimas pagal dydį ir kt).

Viena svarbiausių charakteristikų, apsprendžianti atliekų tinkamumą energijos gavybai, yra atliekų šilumingumas, t.y. šilumos kiekis, kuris gaunamas sudeginus 1 kg kuro (atliekų frakcijos). Remiantis literatūros šaltiniais, atliekų šilumingumas teoriškai gali būti nustatomas (apskaičiuojamas remiantis Dulongo formule ar įvairiomis tos formulės modifikacijomis) pagal atliekų cheminę sudėtį (anglies (C), vandenilio (H), deguonies (O), sieros (S), azoto (N) kiekį atliekose (cheminiai elementai, kurių degimo metu išsiskiria šiluma)), kuri pateikiama žemiau (žr. 3 lent.):

**3 lentelė.** Iškastų atliekų cheminė ir elementinė sudėtis

Frakcija	Elementinė sudėtis, proc. sausos medžiagos svorio [Tchobanoglous G., 1993]					Cheminė sudėtis [Dehoust G., et. al., 2002]	
	C	H	O	N	S	SM, <sup>1</sup> %	OSM <sup>2</sup> , % SM
<b>Popierius</b>	43,7	6	44,3	0,3	0,2	94	87
<b>Plastikas</b>	60	7,2	22,8	-	-	85	5
<b>Tekstilė</b>	55	6,6	31,2	4,6	0,15	80	85
<b>Guma</b>	78	10	-	2	-	80	85
<b>Oda</b>	60	8	11,6	10	0,4	80	85
<b>Mediena</b>	49,5	6	42,7	0,2	0,1	80	50

Eksperimentiškai nustatytos ir literatūroje pateikiamos vidutinės iškastų atliekų šilumingumo reikšmės pateikiamos žemiau (žr. 4 lent.):

**4 lentelė.** Vidutinė iškastų atliekų energetinė vertė pagal skirtingus literatūros šaltinius

Šalis	Vidutinė energetinė iškastų atliekų vertė, MJ/kg
Belgija	18-22 [Quaghebeur M., et al., 2013; Bosmans A., et. al., 2012]
Italija	3,4-8,7 [Cossu R., 1996]
Švedija	6,9-7,9 [Hogland W., 2004]
Tailandas	29,5 MJ/kg [Prechthai T., et. al., 2008]
Estija	Iki 27 [Kriipsalu M., 2014]

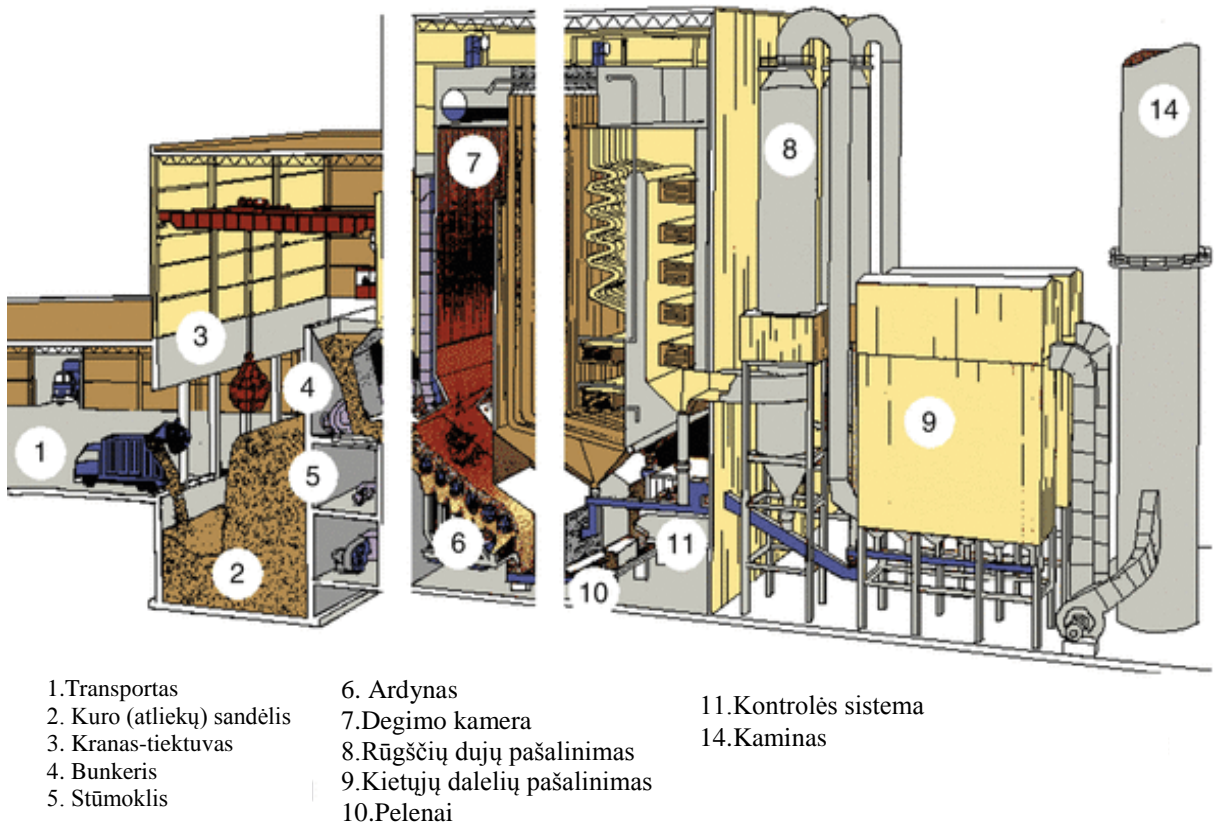
Kaip matyti iš 4 lentelės, atliekų šilumingumas svyruoja nuo kelių iki keliolikos ar net keliasdešimties MJ/kg. Toks svyravimas gali būti paaiškinamas tuo, jog skirtingais tikslais vykdytam

<sup>1</sup> Sausoji medžiaga;

<sup>2</sup> Organinė sausoji medžiaga.

atliekų atgavimui iš sąvartynų buvo taikomos skirtingos operacijos (plovimas, frakcijų atskyrimas, džiovinimas ir pan.). Visgi reikėtų nepamiršti, jog aukščiau nurodytos vertės yra vidutinės visų iškastų atliekų atžvilgiu, o tokios atliekų frakcijos kaip plastikas, mediena, tekstilė, guma pasižymi kur kas aukštesnėmis kalingumo (šilumingumo) vertėmis. Literatūroje pateikiama popieriaus šilumingumo vertė yra 7-14 MJ/kg, plastiko 18-25 MJ/kg, tekstilės 19,5 MJ/kg, gumos 20,8 MJ/kg, medienos 13,7 MJ/kg [Quaghebeur M., et. al., 2013; Dace E., et. al., 2012].

*Energijos išgavimas iš degiosios atliekų frakcijos.* Priklausomai ne tik nuo atliekų šilumingumo, bet ir nuo jų fizikinių bei terminių charakteristikų, gali būti taikomos skirtingos atliekų deginimo technologijos: deginimas ant ardyno (850-1100 °C), besisukanti degimo krosnis (850-1300 °C) bei verdančio sluoksnio technologija (850-950 °C) [Bosmans A., et. al., 2012; Rand T., et. al., 2000]. Dažniausiai atliekų deginimui taikoma technologija yra deginimas ant ardyno (žr. 4 pav.):



**4 pav.** Kuro (atliekų) deginimo schema [Swithenbank J., et. al., 2012]

Ant ardyno vykstantys procesai [Vares, et. al., 2007]:

- Kurui (atliekoms) patekus ant ardyno temperatūra pradeda kilti ir prasideda džiovimo procesas;
- Kuro temperatūrai pakilus iki 100-105 °C, išsiskiria lakūs junginiai;
- Priklausomai nuo rūšies, kuras užsidega esant 220-300 °C ;
- Degimo procesas baigiasi esant 800-900 °C.

### 1.3. Atsinaujinančių energijos šaltinių eksploatacija uždarytuose sąvartynuose

Atsinaujinančių energijos išteklių (AEŠ) eksploatacija sąvartyne vertinama teigiamai dėl kelių aspektų: visų pirma, siekiama, kad sąvartyno teritorija taptų draugiškesne aplinkai erdve dėl neigiamo sąvartyno dujų emisijų poveikio; antra, įrengus AEŠ, sąvartynas labiau apsaugomas nuo pažeidžiamumo: audrų, vandens infiltracijos ir kitų veiksnių [Bachiri K., et. al., 2010]. Tokios energijos alternatyvos kaip vėjo jėgainės, saulės kolektoriai ar energetinių augalų sodinimo technologijos gali būti eksploatuojamos uždarytų sąvartynų teritorijose, kadangi sąvartynai dažnai įsikūrę netoli ypatingos svarbos infrastruktūros objektų, įskaitant elektros perdavimo linijas bei kelius; srityse, reikalaujančiose didelio energijos poreikio. Svarbu ir tai, jog uždaryto sąvartyno teritorijoje nėra pageidaujama žemėtvarka ir kitos veiklos, todėl tai suteikia galimybę vystyti AEŠ eksploatacijos projektus bei derinti šią veiklą su kitais, minėtais anksčiau, energijos išgavimo būdais iš sąvartynų.

#### 1.3.1. Faktoriai, įtakoiantys atsinaujinančių energijos šaltinių eksploataciją

Pagrindiniai faktoriai, lemiantys atsinaujinančių energijos išteklių eksploatavimo galimybes yra ne tik klimatinės bei meteorologinės sąlygos, bet ir procesai vykstantys sąvartyno viduje. Šie faktoriai apžvelgiami žemiau.

Sąvartyno sėdimo procesas – vienas iš ribojančių veiksnių alternatyvių energijos šaltinių (ypač saulės ir vėjo jėgainių atveju) eksploatacijai, kuris turi būti įvertintas prieš pradedant projektą. Sąvartyno sėdimas tęsiasi keletą metų, kol pasiekiami visiška organinių atliekų biodegradacija [Machado S. L., et. al., 2008]. Šį procesą įtakoja atliekų sutankinimo laipsnis, apatinių sluoksnių storis ir kiekis, atliekų sudėtis ir savybės, homogeniškumas [Fowmes G. J., et al., 2013]. Tikėtina sėdimo proceso vertė yra 20-50 proc. [Simoes F., et. al., 2013]. Visgi vienas pagrindinių faktorių, nuo kurio priklauso sąvartyno nusėdimo vertė, yra atliekų sutankinimo laipsnis: jeigu atliekų tankinimo laipsnis yra  $0,5 \text{ t/m}^3$ , tuomet galima tikėtis, kad nusėdimas sieks 50 proc., o jei pirminis tankis buvo  $0,8 \text{ t/m}^3$ , nusėdimas gali siekti tik 20 proc [Staniškis J., 2004]. Nereikšmingu sąvartyno sėdimu gali būti laikoma tokia vertė, kai metinis nusėdimas siekia  $<5$  proc. [Morris J. W., et. al., 2013].

Sąvartyno sėdimas dažniausiai yra išskiriamas į kelis etapus [Ouvry J.F., et. al., 2005]:

- Mechaninis sėdimas (deformacijos dėl sutankinimo ir pan.);
- Vakuomo/tuščių plyšių užpildymas smulkios frakcijos dalelėmis;
- Fizikinis-cheminis sėdimas (korozija, oksidacija);
- Biocheminis sėdimas (organinių atliekų irimas).

Dėl sąvartyne vykstančių biologinių procesų ir jų metu susidarantių pavojingų sąlygų (dėl didelio slėgio ar aukštos temperatūros iškyla nelaimingų atvejų – sprogimų ar gaisrų – pavojus), taip pat turi būti įvertinama rizika AEŠ eksploatacijos metu.

Kalbant apie vėjo jėgainių įrengimą sąvartynuose, galima teigti, jog šios energijos rūšies eksploataciją riboja faktas, kad šis būdas tinkamas toms teritorijoms, kurios yra pakankamai vėjuotos. Svarbu paminėti ir tai, jog vėjo jėgainės bokšto aukštis įtakoja sistemos efektyvumą (vėjo greitis kylant aukštyne didėja, ko pasekoje pagaminama daugiau energijos), tačiau kuo aukštesnė konstrukcija, tuo didesnis jos svoris. Tad siekiant didžiausio ekonominio efektyvumo, svarbu parinkti tinkamą vietą bei tinkamų charakteristikų vėjo jėgainę pasirinktai vietai [Adomavičius V., et. al., 2004].

Prieš pradėdant eksploatuoti saulės kolektorius, svarbu atkreipti dėmesį į šios technologijos atsipirkimo laiką bei meteorologinius rodiklius (bendrą metinį saulės spinduliuotės kiekį, spindulių kritimo kampą, šviesos atsispindėjimą bei šešėlio efektą, vėjo poveikį, kritulių kiekį), o taip pat ir sistemos svorį (įtakojančią sąvartyno stabilumą), kadangi būtent šie faktoriai sąlygoja saulės kolektorių efektyvumą (saulės kolektorių eksploatacijos laikas siekia 20-25 metus) [Mohapatra P., et.al., 2012; Sampson G., 2009]. Žinoma, svarbus faktorius yra ir pačio sąvartyno būklė, t.y. ar jis tebėra aktyvus bei kiek laiko praėjo nuo sąvartyno uždarymo [Bachiri K., et. al., 2010].

Biomasės (energetinių plantacijų) eksploatacijos atžvilgiu, derėtų atkreipti dėmesį į augalų rūšį ir savybes, nuo kurių priklauso bendras produktyvumas: dirvos tipą ir savybes, temperatūros poveikį augalui, aeracijos ir irigacijos poveikį [Nixon D. J., 2001]

### **1.3.2. Vėjo jėgainės**

*Vėjo jėgainių tipai.* Vėjo jėgainės gali būti išskiriamos į du tipus – horizontalios ašies bei vertikalios ašies. Dėl didelio efektyvumo, kurį lemia menčių statmena padėtis vėjo kryptčiai, labiau priimtiniomis laikomos horizontalios ašies vėjo jėgainės. Pastarųjų vėjo jėgainių įrengimas nėra sudėtingas; taipogi horizontalios ašies vėjo jėgainės yra lengvesnės nei vertikalios ašies.

Visos vėjo jėgainės taip pat gali būti išskiriamos į pramonines, vidutinio galingumo ir mažo galingumo (asmenines) vėjo jėgaines. Pramoninių vėjo jėgainių galingumas dažniausiai viršija 250 kW, vidutinės galios jėgainių apie 50-250 kW, o asmeninio naudojimo jėgainių – 0,1-50 kW. Teritorijose, kuriose vėjo greitis nėra didelis, ekonomiškai apsimoka statyti nedidelės galios vėjo jėgaines, kadangi didžiųjų jėgainių potencialas tokiu atveju nėra išnaudojamas.

*Vėjo jėgainių diegimo praktika sąvartynuose.* Vėjo jėgainių eksploatavimo sąvartynuose praktika išvystyta Ispanijoje, Turkijoje, Anglijoje, Danijoje [Toth M., et. al., 2013].

Remiantis Anglijos praktika, sąvartyne buvo įrengta 18 m aukščio 3 tonų svorio vėjo turbina (tuo tarpu Turkijos sąvartyne įrengta 87 m. aukščio vėjo jėgainė [Trotti J., 2011]). Įrengus vėjo jėgainę Anglijoje, stebėtas sąvartyno sėdimo mąstas. Tyrimų rezultatai – per du mėnesius sąvartynas nusėdo apie 3 mm, tuo tarpu keturių mėnesių laikotarpyje – ~20 mm [Fowmes G. J., et al., 2013]. Remiantis šiuo tyrimu, galima teigti, kad įdiegus aukštesnę vėjo turbiną sąvartyne, atitinkamai atliekų masė bus

slegiama didesnio svorio, kas gali sąlygoti didesnius sąvartyno sėdimo mastus, o tuo pačiu didesnę riziką šios konstrukcijos eksploatavimui.

Taigi, priklausomai nuo siekiamo efektyvumo, sąvartyno teritorijoje vėjo jėginių eksploatacijos galimybės yra priimtinos, tačiau kaip minėta, būtina atsižvelgti į kitus anksčiau išvardytus aspektus.

### **1.3.3. Saulės kolektoriai**

*Saulės kolektorių rūšys.* Kalbant apie saulės kolektorių įrengimą sąvartynuose, reikia paminėti, jog tam gali būti taikomos dvi technologijos: įtvirtinti bei vienos arba dviejų ašių (fotoelektros moduliai orientuojami azimuto kryptimis) saulės kolektoriai [Salasovich J., et. al., 2011]. Pagrindiniai orientuojamų fotoelektros modulių trūkumai yra tie, jog jų įdiegimas reikalauja daug vietos, priežiūros bei didelių įsigijimo sąnaudų, taip pat sąvartyno sėdimo metu gali būti pakeičiamas saulės spindulių kritimo kampas, ko pasekoje saulės energijos išgavimas tampa neefektyvus. Būtent dėl to, dažniausiai sąvartynų teritorijoje įrengiami įtvirtinami saulės kolektoriai [Sampson G., et. al., 2009].

Labiausiai paplitusios įtvirtinamų saulės kolektorių rūšys yra monokristaliniai (efektyviausi, tačiau brangūs ir sunkūs), polikristaliniai bei plonasluoksniiai (mažiausiai efektyvūs, tačiau lankstūs, lengvi) saulės moduliai. Paprastai kristalinių saulės modulių bendras efektyvumas siekia 12-18 proc., tuo tarpu plonasluoksnių – vos 6-12 proc. [Tyagi V., et al., 2013; Sampson G., et. al., 2009]

*Saulės kolektorių diegimo sąvartynuose praktika.* Kalbant apie saulės kolektorių diegimą sąvartynuose, pastebima, jog ši alternatyva pasauliniu mastu nors ir tebelaikoma nauja [Toth M., et. al., 2013], tačiau labiausiai paplitusi Jungtinėse Amerikos Valstijose [Sampson G., et. al., 2009]. Priklausomai nuo įvairių faktorių (meteorologinių sąlygų, sąvartyno stabilumo, siekiamo efektyvumo, klimatinė sąlygų), sąvartyno teritorijoje gali būti eksploatuojamos visos anksčiau minėtos saulės modulių rūšys. Visgi remiantis literatūros duomenimis, yra skirtingų nuomonių, kurie iš kolektorių yra tinkamesni eksploatuoti sąvartynuose.

Pavyzdžiui, Teksaso Tessman Road (kaip ir Gruzijos Hickory Ridge sąvartyne) buvo įrengta plonasluoksnių saulės modulių sistema, atsižvelgiant į anksčiau minėtus šios sistemos privalumus: sąvartyne įrengti plonasluoksniiai saulės moduliai: lengvos bei lanksčios laminatės, įtvirtintos geomembranos dangoje [Sampson G., et. al., 2009; Waste Management World, 2011]. Šie moduliai pasirinkti siekiant išvengti per didelės apkrovos (esant sunkiems įtvirtinimams bei dideliame kritulių kiekiui) sąvartyno stabilumui. Tuo tarpu kitos šalys renkasi efektyvesnius saulės modulius, t.y. kristalinio tipo, atsižvelgiant į sistemos poveikį sąvartyno pagrindui. Naujosios Anglijos (Amerika) Methuen bei Ludlow (Amerika) sąvartyne įrengta kristalinių saulės modulių sistema: saulės moduliai įtvirtinti dirvožemio sluoksnyje, paliekant tarpus tarp modulių eilių [76].

### 1.3.4. Energetinių augalų plantacijos

*Energetinių augalų pagrindinės savybės ir rūšys.* Pastaraisiais dešimtmečiais energetinių plantacijų eksploatavimas sąvartynuose tampa vis dažnesniu reiškiniu, kadangi tokie augalai laikomi ne tik draugiškais aplinkai, tačiau ir ekonomiškai naudingais: tokiais želdiniais apsodinta teritorija suteikia ne tik ekonominę naudą, t.y. leidžia išgauti energiją (elektra ir/ar šiluma), tačiau teritorijai suteikiama ir estetinė vertė. Ekonominiu požiūriu šie augalai laikomi vertingais, kadangi jų gyvavimo ciklas siekia 20-25 metus.

Pagrindinės charakteristikos, lemiančios energetinių augalų eksploataciją bei priimtinos tokių augalų rūšys, pateikiamos žemiau (žr. 5 lent.) [22] [McKendry P., 2002<sub>a</sub>]:

**5 lentelė.** Energetinių augalų tipai ir pagrindinės jų savybės

<b>Augalo rūšis</b>	<b>Biomasės kiekis</b> ( $t_{\text{sausos\_medžiagos/ha}}$ )	<b>Drėgnis</b> (%)	<b>Žemesnioji šilumingumo vertė</b> ( $\text{MJ/kg}_{\text{sausos\_medžiagos}}$ )
<b>Tuopos</b>	9-17	50-60	17,7-19,1
<b>Karklai</b>	10-15	50-60	17,8-19,2
<b>Baltažiedė robinija</b>	5,6-17,1	50-60	17,7-17,8
<b>Eukaliptai</b>	8-12	50	16-19
<b>Spygliuočių miškelis</b>	35-60	40-50	18,8-19,8
<b>Lapuočių miškelis</b>	36-60	40-50	18,5-19,2

Visgi, dažniausiai sąvartynuose sutinkamos energetinių augalų rūšys yra tuopos ir karklai, kadangi šie augalai geba greitai augti, juos lengva prižiūrėti, o taip pat jie nėra laikomi hiperakumuliuojančiais metalų ir kitų pavojingų medžiagų atžvilgiu [Baum C., et. al., 2009].

Energetinių augalų eksploatacijos nauda siejama ne tik su energijos išgavimu, bet ir su galimybe apdoroti filtratą ir nuotekų dumblą. Atlikti bandymai, kuriuose nustatyta, jog sąvartynų filtratu drėkinami augalai pasižymi didesne šaknų biomase, dėl to išsikerojusios šaknys daro dirvožemio sluoksnį labiau prieinamą mikroorganizmams, suteikiant galimybę geriau skaidyti teršalus, o taip pat užtikrinamas aukštas teršalų pašalinimo laipsnis, dėl pastarųjų įsisavinimo (įsisavinamas azotas, kalis, fosforas). Taipogi įrodyta, kad sąvartyno filtratu drėkinamas biomasės derlius yra 2-3 kartus didesnis



lyginant su situacija, kai laukai nėra tręšiami [Leigue M. A., et. al., 2013; Borjesson P., et. al. 1999; Duggan J., et. al., 2005; Dimitriou I., 2011].

*Taikomos technologijos ir praktika užsienio šalyse.* Švedija – viena iš lyderiaujančių šalių, eksploatuojančių energetines plantacijas: karklų plantacijų, auginamų sąvartynuose, pirmasis derlius nuimamas kas 3-5 metus šaltuoju periodu, naudojant specialią techniką. Gauta biomasė susmulkinama vietoje ir saugoma [Dimitriou I., 2011] arba transportuojama į įmones, kuriose šis kuras yra paverčiamas energija, taikant įvairias technologijas – tiesioginį biomasės deginimą, pirolizę, gazifikaciją (dujofikacija) ir kt. [McKendry P., 2002<sub>b</sub>]. Kai energetinių augalų drėgmės kiekis yra didesnis nei 50 proc., patariama prieš vykdant energijos išgavimo procesus (prieš deginimą) iš anksto išdžiovinti pastaruosius, ko pasekoje gaunama didesnė šilumingumo vertė. Siekiant išgauti elektrą, šilumą ar mechaninę energiją, dažniausiai naudojami įrenginiai: džiovyklos, krosnys, katilai, garo turbinos ir t.t.

Taigi, jei susiduriama su tokia situacija, kai sąvartyno dujų eksploatacija nebegalima arba uždarytas sąvartynas buvo iškastas tikslu išgauti energiją arba žaliavas, pravartu buvusioje sąvartyno teritorijoje eksploatuoti atsinaujinančius energijos šaltinius, iš kurių gali būti gauta visokeriopa nauda – energija, teršalų apdorojimas, tvarkingo kraštovaizdžio klausimo išsprendimas.

#### **1.4. Apibendrinimas**

Kaip buvo minėta anksčiau, augantys žmonijos energetiniai poreikiai sąlygoja iškastinio kuro resursų mažėjimą. Siekiant išspręsti arba sumažinti šios problemos sukeltas pasekmes, skatinamas alternatyvių energijos išteklių vartojimas.

Šiame darbe nagrinėjami ir alternatyvios energijos resursais laikomi sąvartynai ir atsinaujinantys energijos šaltiniai (saulės, vėjo jėgainės bei energetiniai augalai). Sąvartynai kaip šaltinis pasirinkti dėl dviejų priežasčių: pirma, pašalintų atliekų irimo metu susidaro sąvartyno dujos, kurios ne tik lemia šiltnamio efekto padarinius, bet tuo pačiu pasižymi didele šilumingumo verte; antra, didelės atliekų („žaliavų“) atsargos yra „palaidotos“ sąvartynuose: energijos gamybai tinkamos atliekų frakcijos sudaro apie trečdalį sąvartyno sudėties. Kalbant apie atsinaujinančių energijos išteklių eksploataciją, reikia pripažinti, kad ši alternatyvi energijos rūšis, tinkama eksploatuoti ir sąvartyno teritorijoje, leidžia išspręsti daugelį ekonominių ir aplinkosauginių problemų.

Toliau šiame darbe vertinamos Alytaus regioninio sąvartyno energetinio panaudojimo alternatyvos.

## 2. METODOLOGINĖ DALIS

### 2.1. Susidarančio sąvartynų dujų kiekio ir energetinio potencialo nustatymas

Siekiant įvertinti sąvartyno dujų susidarymą, gali būti naudojamos lygtys arba daugybė modelių, tokių kaip IPCC, LandGEM, Petājā ir kiti. Visi minėti modeliai remiasi pirmojo laipsnio irimo reakcijos lygtimi. Šiame darbe susidarančio sąvartyno dujų kiekio nustatymui naudojamas suomiškas modelis – Petājā.

#### 2.1.1. Petājā modelis

Kaip buvo minėta anksčiau, modelio veikimas pagrįstas pirmojo laipsnio irimo lygtimi, kuri apibūdina skaidžios organinės dalies frakcijos skilimą, susidarant CH<sub>4</sub> ir CO<sub>2</sub> dujoms [Quaghebeur M., et. al., 2013]:

$$C_x = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (t); \quad (1)$$

Čia:  $C_x$  – atliekų kiekis po degradacijos  $x$  metais,  $t$ ;

$C_0$  – pradinis pašalintų atliekų kiekis;

$k$  – reakcijos konstanta.

Susidarantis metano kiekis, naudojantis minėtu modeliu, apskaičiuojamas pagal formulę [Petājā J., et. al., 2012]:

$$Q_{CH_4} = \sum_x SW_x \cdot L_{0x} \cdot e^{-k(t-x)} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (t); \quad (2)$$

Čia:  $SW_x$  – pašalintų atliekų kiekis  $x$  metais,  $t$ ;

$L_{0x}$  – metano susidarymo potencialas  $x$  metais,  $t$ ;

$(1 - e^{-k})$  – normalizacijos faktorius (koeficientas);

$x$  – atliekų pašalinimo metai;

$k$  – reakcijos konstanta (naudojamame modelyje siūlomos reakcijos greičio konstantų vertės yra: lėtai yrančioms atliekos – 0,03; vidutiniškai yrančioms atliekoms – 0,05 bei greitai yrančioms atliekoms – 0,2).

Kaip matyti iš pateiktų formulių, metano dujų susidarymui svarbiausi faktoriai yra bioskaidžios organinės anglies kiekis atliekose, metano dalis sąvartyno dujų sraute bei reakcijos konstantos dydis. Petājā modelis naudotojui siūlo vidutinę 0,197 bioskaidžios organinės anglies dalies vertę mišrioms komunalinėms atliekoms (priklausomai nuo atliekų sudėties ir nuo atliekų frakcijų ši vertė skiriasi: popieriui, kartonui, tekstilei ši vertė lygi 0,4; medienai – 0,3; tuo tarpu maisto ir žaliosioms atliekoms – 0,16). Metano dalis sąvartyno dujų sraute yra priimama kaip 50 proc. Esant dujų surinkimo sistemoms, sąvartyne dažniausiai yra fiksuojami atgauto (surinkto) metano kiekiai. Žinant šiuos duomenis, apskaičiuojamos emisijos į aplinką. Tačiau prieš tai reikia nepamiršti įvertinti fakto, jog dalis

susidariusio metano yra suoksiduojama sąvartyno viduje – Petajė modelyje siūloma oksidacijos faktoriaus vertė yra 0,1.

Supaprastina modelio naudojimo procedūra:

- Naudotojas įveda faktinius atliekų kiekius per metus bei atliekų kodus, pateiktus Europos atliekų kataloge (2002);
- Naudotojas įveda sąvartyno eksploatacijos metus;
- Naudotojui leidžiama įvesti mišrių komunalinių atliekų sudėtį pagal frakcijas (popierius, kartonas, mediena, tekstilė, maisto atliekos, žaliosios atliekos, plastikas, kitos degios atliekos, stiklas, metalai, elektros ir elektroninės įrangos atliekos, kitos nedegios atliekos);
- Pagal įvestus duomenis, modelis apskaičiuoja susidariusius metano dujų kiekius;
- Siekiant apskaičiuoti emisijas į aplinką, naudotojas turėtų įvesti faktinius surinktų sąvartyno dujų kiekius.

### 2.1.2. Sąvartyno dujų energetinis potencialas

Priklausomai nuo naudojamos technologijos, išgaunamas sąvartyno dujų energijos kiekis gali skirtis. Tam įtakos turi sistemos efektyvumas, tikslas, kuriuo norima panaudoti energiją. Šiame darbe skaičiuojant energetinį metano dujų potencialą priimama, kad dujos bus deginamos kogeneraciniame įrenginyje, siekiant išgauti kuo maksimalesnį energijos kiekį.

Išgautos energijos kiekis  $E_d$  apskaičiuojamas naudojantis formule:

$$E_d = Q_{CH_4} \cdot CV \cdot \eta \cdot 0,278 / 1000000 \text{ (GWh)}; \quad (3)$$

Čia:  $Q_{CH_4}$  – metano dujų kiekis per metus,  $m^3$ ;

$CV$  – metano dujų šilumingumas ( $35,88 \text{ MJ/m}^3$ );

$\eta_{kog}$  – kogeneracinio įrenginio efektyvumas (literatūroje nurodomos vertės 0,55-0,9);

0,278 – perskaičiavimo koeficientas ( $1 \text{ MJ}=0,278 \text{ kWh}$ ), išreikštas kWh/MJ.

### 2.2. Kietojo atgautojo kuro energetinių rodiklių nustatymas

Siekiant nustatyti energijos kiekį, gaunamą deginant iškastas atliekas, pirmiausia reikia įvertinti atliekų biodegradaciją, t.y. apskaičiuoti, koks kiekis atliekų, tinkamų deginti, išliks po biologinių procesų. Taip pat svarbu nustatyti, kokia dalis atliekų yra tinkamos deginti bei koks tų atliekų šilumingumas.

*Atliekų suirimo (biodegradacijos) įvertinimas*

Atliekų kiekiams vertinamaisiais metais nustatyti gali būti naudojama pirmojo laipsnio irimo reakcija (žr. formulę 1).

Siekiant įvertinti atliekų suirimą, drėgnų atliekų kiekiai perskaičiuojami į sausos medžiagos kiekį (žr. formulę 4):

$$SM_i = \frac{m_i \cdot SM_i}{100} (t); \quad (4)$$

čia:  $m_i$  – atliekų i-osios frakcijos kiekis, t;

$SM_i$  – sausos medžiagos kiekis i-ojoje frakcijoje (reikšmės nurodytos 3 lentelėje), proc.

Toliau, remiantis pirmojo laipsnio kinetine lygtimi, apskaičiuojama atliekų degradacija sąvartyne pagal formulę:

$$SM_{i\_likusi} = SM_i \cdot e^{-kt} (t); \quad (5)$$

čia:  $SM_{i\_likusi}$  – atliekų frakcijos (i) kiekis sausame pavidale po laiko t, tonomis;

$k$  – pirmos eilės greičio konstanta atliekų frakcijai i (žr. 6 lent.);

$t$  – atliekų degradacijos laikotarpis sąvartyne, metais.

**6 lentelė.** Pirmos eilės greičio konstantų vertės [IPCC, 2006]

Atliekų klasifikavimas	Vidutinių platumų		Tropikų	
	Sausas	Drėgnas	Sausas	Drėgnas
<b>Lėtai biodegrazuojančios</b>				
• 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
<b>Vidutiniškai biodegrazuojančios</b>	0,04–0,06	0,06–0,1	0,05–0,08	0,15–0,2
• Kiemo ir sodo atliekos				
<b>Greitai biodegrazuojančios</b>	0,05–0,08	0,1–0,2	0,07–0,1	0,17–0,7
• Maisto atliekos				

Nustačius, koks atliekų kiekis lieka po degradacijos sąvartyne, toliau apskaičiuojama po degradacijos atsilaisvinusi mineralinė atliekų dalis:

$$MSM_i = \frac{(SM_i - SM_{i\_likusi}) \cdot (100 - OSM_i)}{100} (t); \quad (6)$$

čia:  $OSM_i$  – organinės sausos medžiagos kiekis i-oje atliekų frakcijoje (reikšmės nurodytos 3 lentelėje), proc.

#### *Kieto atgauto kuro šilumingumo nustatymas*

Nustačius pašalintų atliekų kiekius po biodegradacijos, kitas svarbus žingsnis – įvertinti atliekų tinkamumą deginti. Kaip buvo minėta anksčiau, šią atliekų savybę apsprendžia atliekų šilumingumas, kuris priklauso nuo tokių faktorių kaip elementinė atliekų sudėtis, drėgmės kiekis iškastose atliekose bei atliekų peleningumas. Atliekų šiluminė vertė gali būti išskiriama į aukštesniąją šiluminę vertę (angl. higher heating value) bei žemesniąją šiluminę vertę ( angl. lower heating value).

Šios vertės apskaičiuojamos naudojantis žemiau esančiomis formulėmis [Rudramoorthy R., et. al., 2003; Raiko R., et. al., 2002]:

$$HHV_{daf} = 338 \cdot C + 1443 \cdot \left( H - \frac{O}{8} \right) + 94 \cdot S \quad (kJ/kg) \quad (7)$$

Čia:  $HHV_{daf}$  – aukštesnioji šilumingumo vertė, kJ/kg;

$C$  – anglies dalis atliekose, %;

$H$  – vandenilio dalis atliekose, %;

$S$  – sieros dalis atliekose, %;

$O$  – deguonies dalis atliekose, %.

Žemesnioji kaloringumo vertė  $LHV_{daf}$  apskaičiuojama:

$$LHV_{daf} = HHV_{daf} \cdot \left( \frac{24,41 \cdot 18,015}{2,016} \right) \cdot H \quad (kJ/kg) \quad (8)$$

Čia: 24,41 (2441/100) – vertė, paremta vandens garavimo šiluma ( $l=2441$  kJ/kg) 25°C temperatūroje;

18,015 – vandens molinė masė, g/mol;

2,016 – vandenilio molinė masė, g/mol.

Žemesnioji šilumingumo vertė  $LHV$ , įvertinant medžiagos peleningumą, apskaičiuojama:

$$LHV = LHV_{daf} \cdot \left( \frac{1 - w_a}{100} \right) \quad (kJ/kg) \quad (9)$$

Čia:  $LHV$  – žemesnioji kaloringumo vertė, įvertinus medžiagos peleningumą;

$w_a$  – peleningumas, %.

Žemesnioji šilumingumo vertė drėgnai bepelenei medžiagai  $LHV_{ar}$  apskaičiuojama:

$$LHV_{ar} = LHV \cdot \left( \frac{1 - w_m}{100} \right) - l \cdot \left( \frac{1 - w_m}{100} \right) \quad (kJ/kg) \quad (10)$$

Čia:  $w_m$  – drėgmės kiekis, %.

Nustačius atliekų šilumingumą, apskaičiuojamas energijos kiekis  $E_{at}$ , kurį išskiria deginamos atliekos:

$$E_{at} = \sum (LHV_{ar\_frakcijos} \cdot Q_{frakcijos}) \cdot \eta \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \quad (GWh); \quad (11)$$

Čia:  $Q_{frakcijos}$  – deginamų atliekų frakcijos kiekis, kg;

0,278 – perskaičiavimo koeficientas (1 MJ=0,278 kWh), išreikštas kWh/MJ;

$LHV_{ar\_frakcijos}$  – atliekų frakcijos šilumingumas, MJ/kg;

$\eta$  – deginimo įrenginio efektyvumas.

### 2.3. Atsinaujančių energijos išteklių energetinis potencialas

*Vėjo jėgainės*

Vėjo jėgainėje pagaminamos energijos kiekis, įvertinant tokios jėgainės galią, apskaičiuojamas žemiau esančiomis formulėmis [RWE npower, 2010].

Bendra vėjo jėgainės galia  $P_v$  apskaičiuojama naudojantis formule:

$$P_v = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3}{2} \quad (W); \quad (12)$$

Čia:  $A$  – vėjo jėgainės menčių sukimosi metu užimamas plotas ( $A = \pi r^2$ ),  $m^2$ ;

$\rho$  – oro tankis,  $kg/m^3$ ;

$V$  – vėjo greitis,  $m/s$ .

Elektros energijos kiekis  $E_{el}$ , įvertinus sistemos efektyvumą, nustatomas:

$$E_{el} = C_{tot} \cdot P_v \quad (W); \quad (13)$$

Čia:  $C_{tot}$  – bendras sistemos efektyvumas lygus 0,3-0,5 ( $C_{tot} = C_p \cdot C_t \cdot C_g$ , kur  $C_p$  – vėjo jėgainės naudingumo koeficientas (0,25-0,3);  $C_t$  – perdavimo naudingumo koeficientas,  $C_g$  – generatoriaus naudingumo koeficientas).

Vėjo jėgainėje pagaminamas energijos kiekis per metus  $E_v$  apskaičiuojamas:

$$E_v = E_{el} \cdot t \quad (kWh); \quad (14)$$

Čia:  $E_{el}$  – vėjo jėgainės elektrinė galia, kW;

$t$  – jėgainės darbo laikas per metus (dažniausiai vėjo jėgainės per metus dirba 6000 valandų).

Vėjo greitis, priklausomai nuo nagrinėjamo aukščio, perskaičiuojamas pagal formulę [Kubik M. L., et. al., 2011]:

$$V = V_1 \cdot \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^\beta \quad (m/s); \quad (15)$$

Čia:  $V_1$  – žinomas vėjo greitis (m/s) išmatuotas aukštyje  $Z_1$  (m);

$V$  – skaičiuojamas vėjo greitis (m/s) aukštyje  $Z$  (m);

$\beta$  – paviršiaus šiurkštumo koeficientas, priklausantis nuo žemės paviršiaus pobūdžio (žr. 7 lent.):

**7 lentelė.** Paviršiaus šiurkštumo koeficientai [63]

<b>Paviršiaus tipas</b>	<b>B</b>
Vandens paviršius	0,01
Visiškai atvira vietovė su lygiu paviršiumi, pvz. keliai, aerodromai, ganyklos ir kt.	0,077
Atvira, retomis kalvomis apsupta žemės ūkio vietovė, be tvorų ir medžių su retai pasitaikančiais pastatais.	0,12
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti ~ 0,125 km <sup>2</sup> plotą.	0,145
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti ~ 0,25 km <sup>2</sup> plotą.	0,16
Tarp laukų įsiterpusi kaimo vietovė su namais ir sodais, užimanti ~ 1 km <sup>2</sup> plotą.	0,2
Kaimo gyvenvietė, nedideli miesteliai, sodai ir miškai.	0,28
Dideli miestai su aukštais pastatais.	0,375
Dideli miestai su aukštais pastatais ir dangoraižiais.	0,46

*Saulės kolektoriai*

Saulės kolektorių pagaminamam elektros energijos kiekiui ( $E_s$ ) apskaičiuoti naudojama žemiau esanti formulė [Yadav S., 2015]:

$$E_s = A \cdot r \cdot H \cdot PR \text{ (kWh)}; \quad (16)$$

Čia:  $A$  – bendras saulės modulių užimamas plotas, m<sup>2</sup>;

$r$  – saulės modulio produktyvumo koeficientas (nominalus efektyvumas) (dažniausiai 0,11-0,13);

$H$  – vidutinis metinis saulės spinduliuotės kiekis, kWh/m<sup>2</sup>;

$PR$  – efektyvumo koeficientas (pagaminamos energijos kiekio santykis su „įeinančiu“ saulės energijos kiekiu) (0,5-0,9).

*Energetiniai augalai*

Energetinių augalų potencialas  $E_{en}$  gali būti apskaičiuojamas naudojantis formule:

$$E_{en} = S \cdot B_{pr} \cdot CV \cdot \eta \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \text{ (GWh)}; \quad (17)$$

Čia:  $S$  – auginamų energetinių augalų užimamas plotas, ha;

$B_{pr}$  – biomasės produkcija, t<sub>dm</sub>/ha [žr. 5 lent.];

$CV$  – žemesnioji energetinių augalų šilumingumo vertė, MJ/kg<sub>dm</sub> [žr. 5 lent.];

$\eta$  – deginimo įrenginio efektyvumas;

0,278 – perskaičiavimo koeficientas (1 MJ=0,278 kWh), išreikštas kWh/MJ.

### 3. PROJEKTINĖ DALIS

#### 3.1. Duomenys apie nagrinėjamą objektą

Darbe nagrinėjamas objektas yra Alytaus regioninis sąvartynas, esantis Takniškių kaime, Alytaus rajone, kurį sudaro senasis kaupas bei I-oji naujojo sąvartyno sekcija (žr. 6 ir 7 pav.). Pagrindiniai techniniai duomenys apie Alytaus regioninį sąvartyną pateikiami žemiau (žr. 8 lent.) [ARATC, 2012]:

**8 lentelė.** Alytaus regioninio sąvartyno techniniai duomenys

Sekcija	Atliekų šalinimo laikotarpis	Sąvartyno aukštis, m	Sąvartyno plotas, m <sup>2</sup>
Senas kaupas	1985 – 2007	20	43000
I-oji sekcija	2008 – 2012	-	34000



**5 pav.** Alytaus regioninio sąvartyno senojo kaupo nuotrauka

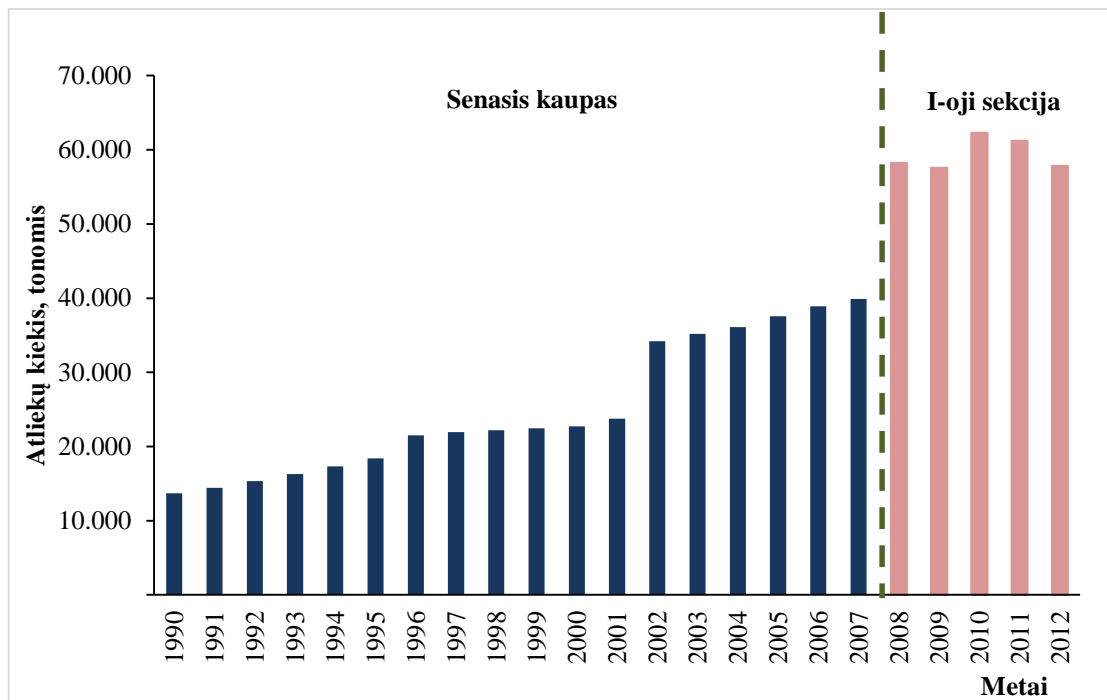


**6 pav.** Alytaus regioninio sąvartyno I-osios sekcijos nuotrauka

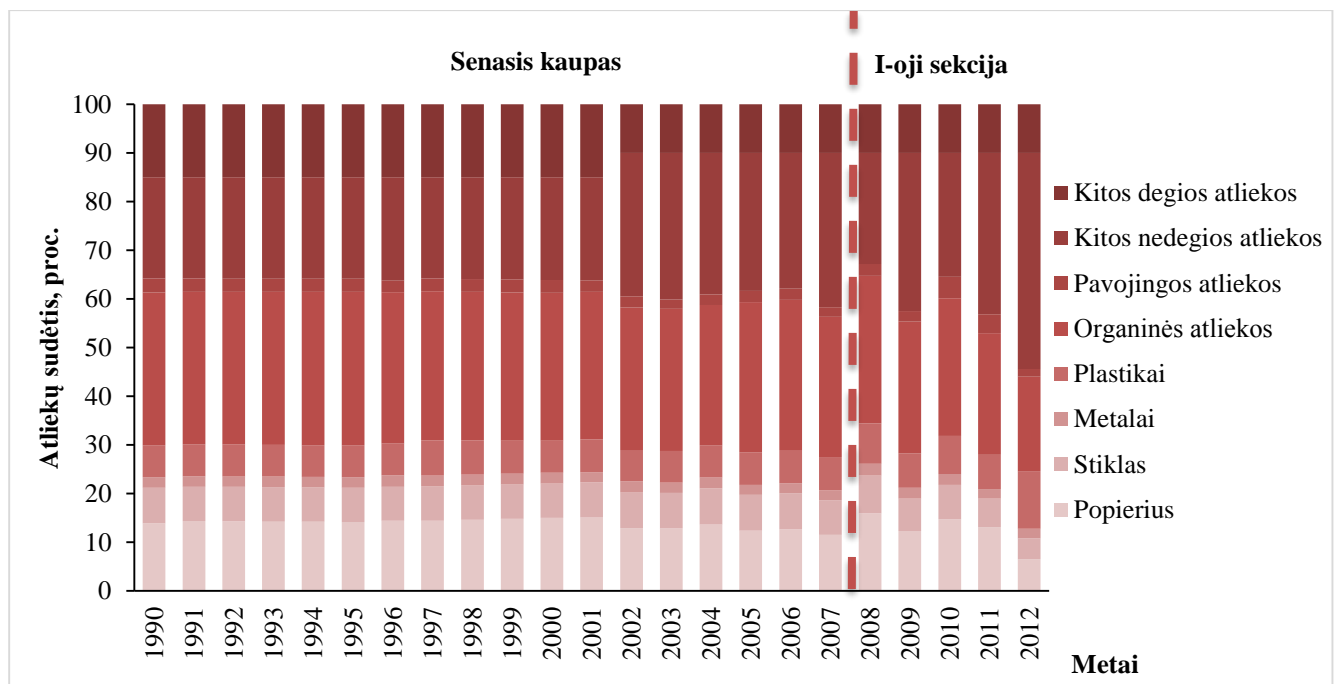


### 3.1.1. Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis

Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis (1990-2012 m.) (gauti naudojantis GCV-IAT (angl. LCA-IWM) prognostiniu modeliu) pateikti žemiau (žr. 7 ir 8 pav.):



7 pav. Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai 1990-2012 m.



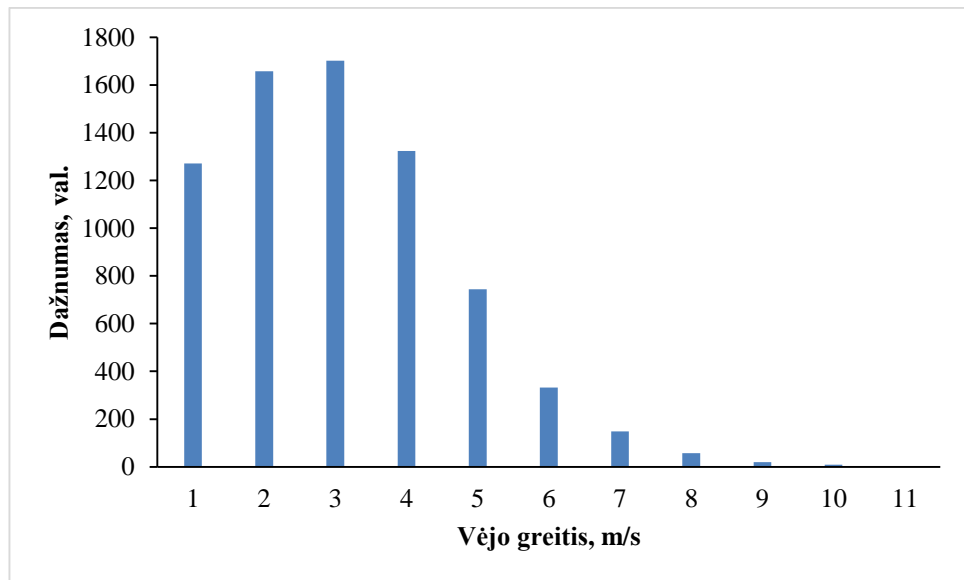
8 pav. Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų sudėtis 1990-2012 m.

Kaip matyti iš pateiktų paveikslų, senajame sąvartyne atliekų kiekis didėjo (to priežastis – atliekų surinkimas iš didesnio skaičiaus gyventojų), tuo tarpu I-ojoje sekcijoje šiek tiek svyravo (priežastis – atliekų frakcijų-stiklo, popieriaus ir kartono bei plastikų-surinkimas). Kalbant apie sudėtį matyti, jog senajame kaupe organinė frakcija sudarė bene pusę visų atliekų, tuo tarpu naujosios sekcijos atžvilgiu –

smarkiai sumažėjęs organinių atliekų kiekis (ši reiškinį lemia atliekų direktyvos nuostatos, jog turi būti apribotas organinių atliekų patekimas į sąvartyną).

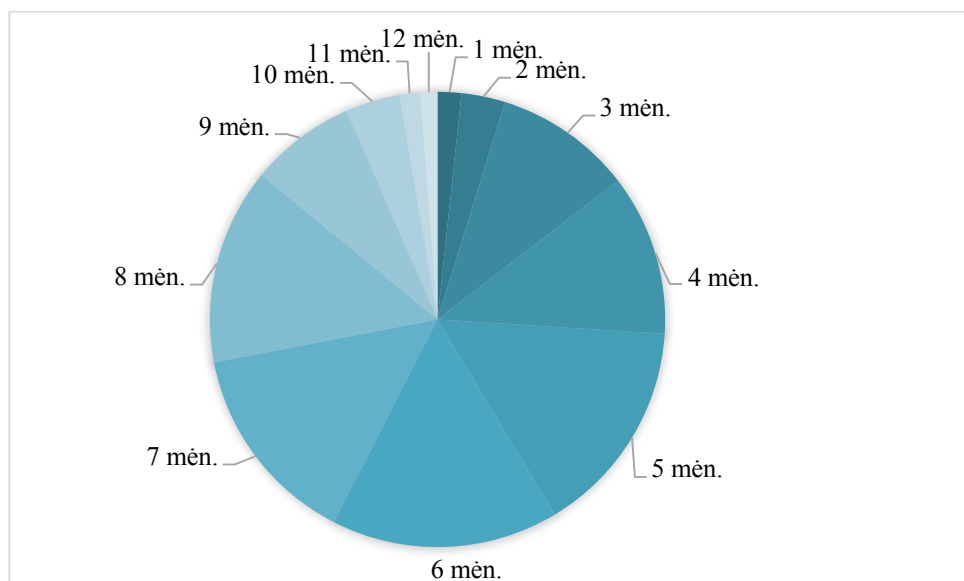
### 3.1.2. Alytaus regiono meteorologiniai rodikliai

Darbe tolimesniems skaičiavimams (atsinaujinančių energijos išteklių potencialui apskaičiuoti) reikalingi meteorologiniai duomenys (2013 m. duomenys) gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Remiantis šiais duomenimis, sudarytas vėjo greičio dažnumas Alytaus teritorijoje, parodantis, kiek tam tikras greitis valandų per metus vyravo pasirinktoje teritorijoje bei bendrosios saulės spinduliuotės kiekis, parodantis kuriais mėnesiais saulės spinduliuotė buvo didžiausia (žr. 9 ir 10 pav.)



**9 pav.** Vėjo greičio pasiskirstymas Alytaus regione 2013 m.

Kaip matyti iš pateikto paveikslo, dažniausiai Alytaus regione vyrauja 2-4 m/s vėjo greitis, tuo tarpu 9-11 m/s vėjo greitis pasitaiko labai retai.



**10 pav.** Saulės spinduliuotės metinis intensyvumas Alytaus regione 2013 m.

Kaip matyti iš pateikto paveikslo, intensyviausia saulės spinduliuotė pastebima balandžio (4 mėn.), gegužės (5 mėn.), birželio (6 mėn.), liepos (7 mėn.) bei rugpjūčio (8 mėn.) mėnesiais, tuo tarpu mažiausias saulės spinduliuotės intensyvumas – sausio (1 mėn.) bei gruodžio (12 mėn.) mėnesiais. Bendra metinė Alytaus regiono saulės spinduliuotė yra 3935 MJ/m<sup>2</sup> (kitais tariant 1094 kWh/m<sup>2</sup>). Šie duomenys toliau bus naudojami skaičiavimuose.

### **3.2. Neeksploatuojamo sąvartyno energetinio panaudojimo scenarijai**

Kaip buvo minėta anksčiau, neeksploatuojami sąvartynai gali būti laikomi energijos šaltiniu (metano dujų išgavimas bei sąvartynų kasybos proceso metu atgaunamos žaliavos). Taipogi, dėl neigiamo požiūrio į sąvartyno teritorijoje plėtojamas veiklas, kaip vieną iš energetinio panaudojimo alternatyvų galima paminėti atsinaujinančių išteklių (vėjo, saulės, biomasės energija) diegimą. Scenarijai, nagrinėjami šiame darbe susideda iš šių minėtų komponentų:

*Scenarijus 1.* Sąvartyno dujų surinkimas ir panaudojimas; sąvartyno kasyba, atgaunant kietąjį atgautąjį kurą; saulės modulių ir vėjo jėgainių įdiegimas sąvartyno teritorijoje.

Scenarijuje vertinami šie etapai: 2007-2013 metais surenkamų senojo sąvartyno ir 2012-2019 metais surenkamų regioninio sąvartyno pirmosios sekcijos dujų panaudojimas energijos tikslais. 2014 metai ir 2020 metai laikomi vertinamaisiais metais analogiškai senajam sąvartynui ir naujai sekcijai, kadangi priimama, kad būtent tais metais sąvartynų kasyba bus vykdoma, siekiant išgauti kietąjį atgautąjį kurą. Įvykdžius minėtas veiklas, trunkančias metus laiko, iškastoje sąvartyno teritorijoje vertinamas vėjo turbinų ir saulės modulių įdiegimas, nustatant, kokį energijos kiekį pastarieji pagamins 2015-2050 bei 2021-2050 atitinkamai.

*Scenarijus 2.* Sąvartyno dujų surinkimas ir panaudojimas; sąvartyno kasyba, atgaunant kietąjį atgautąjį kurą; energetinių plantacijų sodinimas sąvartyno teritorijoje.

Scenarijuje 2 vertinami etapai ir periodai yra analogiški Scenarijui 1, tačiau vietoje saulės modulių ir vėjo jėgainių įdiegimo sąvartyno teritorijoje, 2015-2050 m. ir 2021-2050 m. senojo ir naujojo kaupo atžvilgiu, pastarajame vertinamos energetinių plantacijų sodinimo galimybės ir energetinė nauda.

*Scenarijus 3.* Sąvartyno dujų surinkimas ir panaudojimas bei vėjo jėgainės ir saulės modulių įdiegimas.

Scenarijuje vertinami žingsniai: 2007-2050 metais metano dujų surinkimas iš senojo sąvartyno ir 2014-2050 metais saulės modulių ir vėjo jėgainių generuojamos energijos nustatymas bei analogiškai 2012-2050 naujosios sekcijos sąvartyno dujų surinkimas ir panaudojimas bei 2020-2050 metais saulės modulių generuojamos energijos nustatymas. Vėjo jėgainės naujai sekcijai nevertinamos dėl sąvartoje vykstančių procesų ir dėl nepakankamo sekcijos aukščio. Nevertinama sąvartyno kasyba.

*Scenarijus 4.* Sąvartyno dujų surinkimas ir panaudojimas bei energetinių plantacijų sodinimas.

Scenarijus 4 yra analogiškas Scenarijui 3, tačiau pagrindinis jų skirtumas, kad vietoje vėjo jėgainių ir saulės modulių, 2012-2050 bei 2020-2050 m. vertinama alternatyva – energetinių plantacijų generuojama energija. Nevertinama sąvartyno kasyba.

*Scenarijus 5. Sąvartyno kasyba bei vėjo ir saulės energijos gavyba.*

2014 m. bei 2020 m. atitinkamai senajam ir naujajam kaupui vykdoma kasybos veikla, o nukasus kaupus 2015-2050 bei 2021-2050 m. vėjo ir saulės energijos eksploatacija. Nevertinama sąvartyno dujų nauda.

*Scenarijus 6. Sąvartyno kasyba bei energetinių plantacijų sodinimas.*

2014 m. bei 2020 m. atitinkamai senajam ir naujajam kaupui vykdoma kasybos veikla, o nukasus kaupus 2015-2050 bei 2021-2050 m. vėjo ir saulės energetinių augalų eksploatacija, nuimant derlių kas trejus metus. Nevertinama sąvartyno dujų nauda.

### 3.3. Sąvartyno dujų kiekio ir energetinio potencialo nustatymas

Susidarančio sąvartyno dujų kiekio nustatymui baigiamajame darbe naudojamas Petājā modelis. Prielaidos: senojo sąvartyno eksploatavimo laikas 1990-2007 metai (dėl duomenų stygiaus 1985-1990 m. priimta, kad senojo kaupo eksploatacijos pradžia yra 1990), regioninio sąvartyno naujosios sekcijos – 2008-2012 metai. Modelis apskaičiuoja susidarančius metano dujų kiekius tonomis, dėl to papildomi skaičiavimai atliekami perskaičiuojant tonas į kubinius metrus (m<sup>3</sup>). Priimamas metano dujų tankis – 0,718 kg/m<sup>3</sup>. Energetinio potencialo apskaičiavimui priimtose prielaidose pateiktos žemiau (žr. 9 lent.):

**9 lentelė.** Dujų surinkimo ir utilizavimo sistemų techninės charakteristikos ir prielaidos

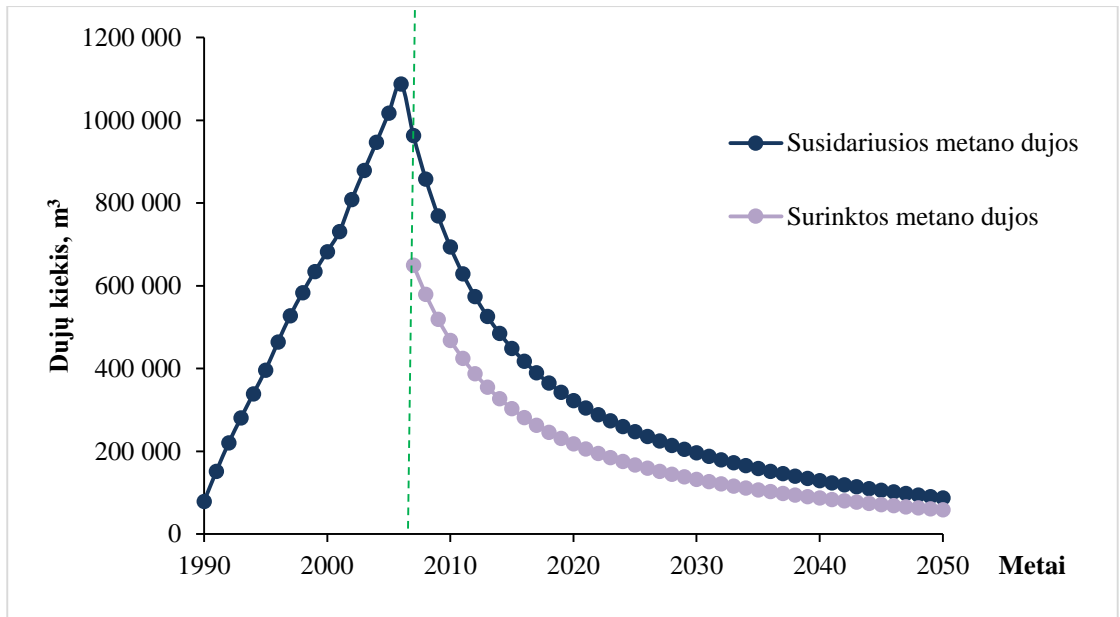
Dujų surinkimo sistemos efektyvumas, %	Kogeneracinės sistemos efektyvumas, %	Prielaidos
35-90 <sup>3</sup>	55-90 <sup>4</sup>	Dujų surinkimo sistemos efektyvumas – 75% Kogeneracinės sistemos efektyvumas – 75%

*Sąvartyno dujų susidarymas ir surinkimas*

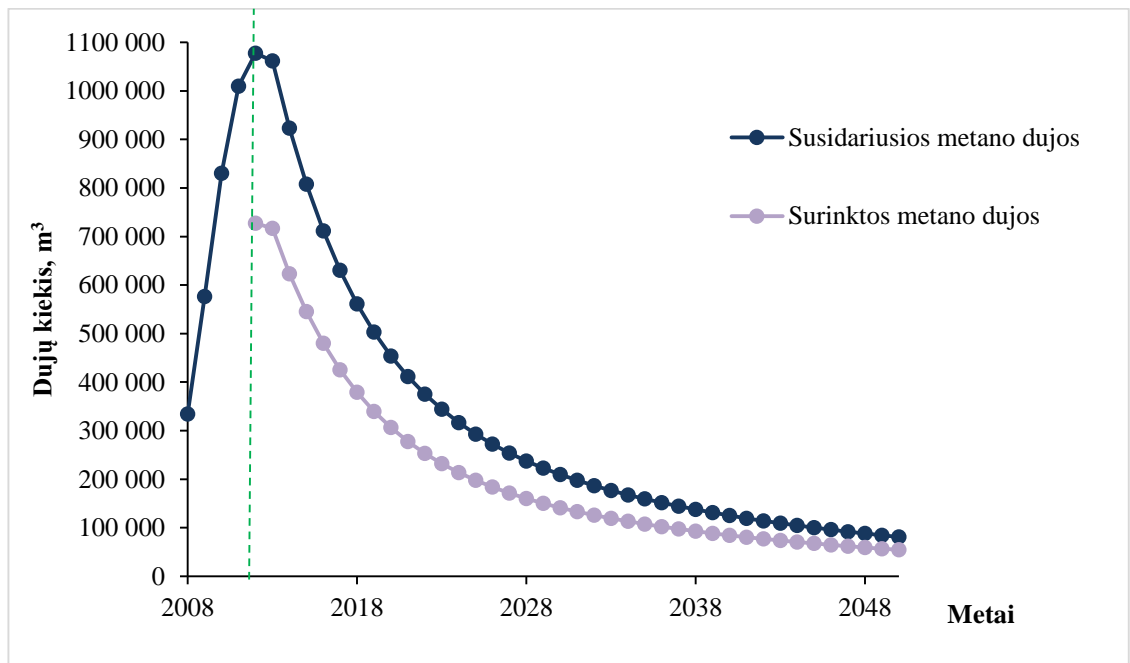
Metano dujų susidarymo ir surinkimo rezultatai pateikti 11-12 paveiksle. Priimta, jog sąvartyno dujos senajame kaupe pradėtos rinkti 2007 metais, kai sąvartynas buvo uždarytas, o naujojoje sekcijoje 2012 m. Rezultatai pateikti iki 2050 metų, kadangi naudota modeliavimo programa pateikia rezultatus būtent tokiam laikotarpiui.

<sup>3</sup> Spokas K., 2006

<sup>4</sup> EPA, 2006



**11 pav.** Alytaus regioninio sąvartyno senajame kaupe susidariusio ir surinkto metano kiekiai



**12 pav.** Alytaus regioninio sąvartyno I-ojoje sekcijoje susidarantys ir surenkami metano kiekiai

Senajame kaupe didžiausias susidarantį metano kiekis stebimas 2006 metais. Vertinant naujojoje sekcijoje susidarantį sąvartyno dujų (metano) kiekį, iš pateikto paveikslo matyti, kad didžiausias susidarantis metano kiekis buvo 2012-2013 metais.

#### *Energetinis metano potencialas*

Siekiant apskaičiuoti sąvartyno dujų potencialą, darbe priimama metano šilumingumo vertė  $35,88 \text{ MJ/m}^3$  (minėta reikšmė yra lygi  $9,97 \text{ kWh/m}^3$ ). Bendras metano dujų potencialas apskaičiuojamas naudojantis formule (3), priimant kogeneracinio dujų deginimo įrenginio efektyvumą 75 proc. Senajam sąvartynui vertinamas energijos išgavimo periodas yra 2007-2050 metai, naujajai sekcijai: 2012-2050 metai.

*Senajam kaupui:*

$$E_d = 8676981,2 \cdot 35,88 \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 = 65,1 \text{ (GWh)};$$

*Regioninio sąvartyno I-ajai sekcijai:*

$$E_d = 8259981,07 \cdot 35,88 \cdot 0,278 \cdot 10^{-6} \cdot 0,75 = 62 \text{ (GWh)}$$

Priimama, kad 30 proc. bendro energetinio potencialo sudarys elektros energija, likę 45 proc. – šiluminė energija [43]. Vadinasi, iš senojo kaupo galima išgauti 20 GWh elektros bei 45 GWh šiluminės energijos 2007-2050 metais, tuo tarpu iš I-osios sekcijos – 18,6 GWh elektros bei 43,4 GWh šiluminės energijos 2012-2050 metais.

### 3.4. Iškastų atliekų energetinio potencialo nustatymas

*Atliekų kiekiai po suirimo (biodegradacijos)*

Atliekų kiekiai po biodegradacijos nustatyti naudojantis pirmojo laipsnio irimo lygtimi (1) ir perskaičiuoti, naudojantis formule (4-6). Biodegradacija skaičiuota popieriaus bei kitų degių atliekų frakcijoms, plastiko frakcijai degradacija neskaičiuota, tačiau remiantis literatūros šaltiniais, priimta, jog nagrinėjamu laikotarpiu plastiko atliekų suirimas sieks 5 proc. nuo bendro jų kiekio. Senajame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiams po biodegradacijos apskaičiuoti buvo priimta, jog vertinamieji metai yra 2014, naujajai sekcijai vertinamieji metai – 2020 metai. Darbe priimama, jog sąvartynų kasybos veiklos bus vykdomos nurodytais vertinamaisiais metais ir truks metus laiko.

Atliekų kiekiai po biodegradacijos, kurie bus naudojami energetinio potencialo skaičiavimams, pateikti žemiau (žr. 10 lent.):

**10 lentelė.** Apskaičiuoti atliekų kiekiai po biodegradacijos Alytaus regioniniame sąvartyne

Atliekų frakcija	Atliekų kiekis po biodegradacijos, tonomis	
	Senasis kaupas	I-oji sekcija
<b>Popierius ir kartonas</b>	25 996	18 986
<b>Plastikai</b>	28 736	23 708
<b>Kitos degios atliekos</b>	24 183	15 215

*Kietojo atgautojo kuro šiluminė vertė*

Kaip buvo minėta anksčiau, atliekų šilumingumo skaičiavimui reikalingi duomenys yra: frakcijos elementinė sudėtis (žr. 3 lent.) bei peleningumas ir drėgnumas.

Naudojantis 7-10 formulėmis, apskaičiuojamas šilumingumas. Priimama, kad iškastų atliekų frakcijų drėgnumas yra: plastiko atliekoms 12 proc., popieriaus ir kartono, medienos bei tekstilės atliekoms 30 proc., odai bei gumai – 20 proc. [Jones P., et al., 2013], tuo tarpu peleningumas plastiko

frakcijai yra 20 proc., popieriaus ir kartono frakcijai – 40 proc., o kitoms frakcijos (odai, tekstilei, medienai) – 25 proc. [Quaghebeur M., 2013; Bosmans A., et. al., 2012].

Gauti rezultatai, išreikšti MJ/kg, pateikiami lentelėje (žr. 11 lent.):

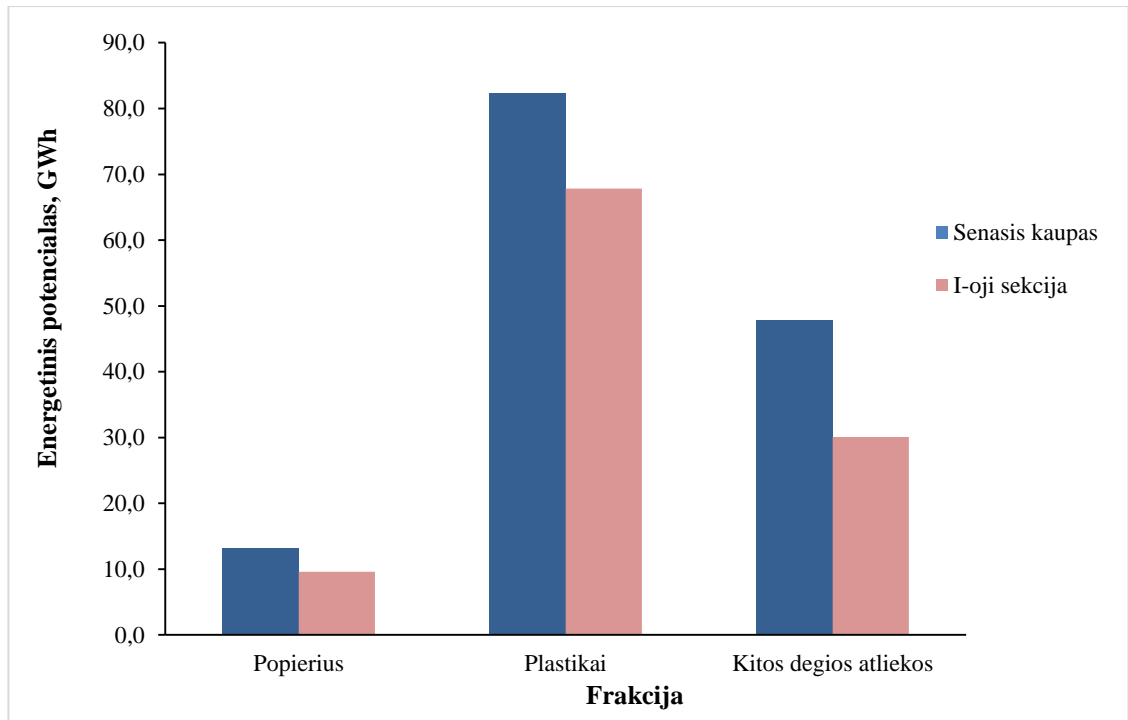
**11 lentelė.** Apskaičiuotos atliekų frakcijų šilumingumo vertės

Atliekų tipas	HHV <sub>daf</sub> , MJ/kg	LHV <sub>daf</sub> , MJ/kg	LHV, MJ/kg	LHV <sub>ar</sub> , MJ/kg
<b>Popierius</b>	15,5	14,1	8,4	5,2
<b>Plastikas</b>	26,6	25,2	20,2	17,5
<b>Tekstilė</b>	22,5	20,9	15,7	11,2
<b>Guma</b>	40,8	39,4	29,5	23,1
<b>Oda</b>	29,8	27,6	20,7	16,1
<b>Mediena</b>	17,7	16,0	12,0	7,6
<b>Vidurkis kitų degių atliekų</b> (Oda, mediena, guma, tekstilė)	27,7	26,0	19,5	14,5

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, didžiausiu šilumingumu pasižymi guma, oda bei plastikas, tuo tarpu mažiausiu – popierius. Vidutinis atliekų šilumingumas odos, medienos, gumos bei tekstilės atliekoms skaičiuojamas dėl to, kad prognozuojant atliekų kiekius, buvo pateiktas toks klasifikavimas.

Gautos šilumingumo vertės toliau naudojamos apskaičiuoti iškastų atliekų energetinį potencialą. Priimama, kad 85 proc. iškastų plastiko [Prechtai T., et. al., 2008], 70 proc. kitų degių atliekų bei 50 proc. iškastų popieriaus ir kartono atliekų bus tinkamos deginti [Rosendal, 2009]. Priimama, kad atliekų deginimo įrenginio (kogeneracinio įrenginio) efektyvumas yra 70 proc. [43].

Iškastų atliekų frakcijų energetinio potencialo, apskaičiuoto naudojantis formule (9), palyginimas pateikiamas žemiau (žr. 13 pav.):



**13 pav.** Iškastų atliekų frakcijų energetinis potencialas

Atsižvelgiant į aukščiau nurodytas apskaičiuotas šilumingumo vertes bei atliekų kiekius po biodegradacijos proceso, matyti, kad didžiausias energetinis potencialas gaunamas būtent iš plastikų atliekų, o bendras energetinis potencialas, apskaičiuojamas pagal formulę (11), gaunamas iš šių frakcijų yra: senajam kaupui – 144 GWh, o I-ajai sekcijai – 108 GWh.

Priimama, kad 30 proc. bendro potencialo sudaro elektros, o likę 40 proc. šiluminė energija [43]. Todėl, iš senojo kaupo galima išgauti 44 GWh elektros bei 100 GWh šiluminės energijos, o iš I-osios sekcijos – atitinkamai 33 GWh bei 75 GWh vertinamuoju periodu.

### 3.5. Atsinaujinančių energijos išteklių energetinis potencialas

#### *Vėjo jėgainės*

Atsižvelgiant į faktą, kad Alytaus regione dažniausiai vyrauja vos kelių m/s vėjo greitis, galima konstatuoti, jog statyti didelės galios vėjo jėgainės Alytaus regione neapsimoka, nes bus neišnaudojamas visas pajėgumas. Būtent dėl to darbe nuspręsta vertinti mažo galingumo vėjo jėgainę, kuri būtų statoma ant senojo sąvartyno kaupo.

Darbe priimama, kad vėjo turbinos ašmens ilgis yra 10 m, stebulės aukštis 25 m, paviršiaus šiurkštumo koeficientas (žr. 7 lent.) yra 0,12, vidutinis vėjo greitis yra 3 m/s. Alytaus regioninio atliekų tvarkymo centro pateiktais duomenimis, 2012 metais senojo kaupo aukštis buvo 18 m, taigi šis aukštis ir bus vertinamas toliau. Prieš vertinant vėjo jėgainės galią, reikia apskaičiuoti vėjo greitį nagrinėjamame aukštyje pagal formulę (15):

$$V=3\cdot((25+18)/10)^{0,12}=3,56 \text{ m/s};$$



Žinant vėjo greitį tam tikrame aukštyje, bendra vėjo jėgainės galia apskaičiuojama pagal formulę (12):

$$P_v = \frac{1,23 \cdot (3,14 \cdot 10^2) \cdot 3,56^3}{2} = 8787 \text{ (W)};$$

Elektros energijos kiekis  $E_{el}$ , įvertinus sistemos efektyvumą (darbe priimamas koeficientas 0,4), nustatomas pagal formulę (13):

$$E_{el} = (0,4 \cdot 8787) / 1000 = 3,514 \text{ (kW)};$$

Vėjo jėgainės pagaminamas elektros energijos kiekis per metus  $E_v$ , priėmus, jog vėjo jėgainės eksploatacijos laikas per metus yra 6000 valandų, apskaičiuojamas pagal formulę (14):

$$E_v = (3,514 \cdot 6000) / 1000000 = 0,021 \text{ (GWh)};$$

Vertinant vėjo jėgainių statybą ant nukasto kaupo, t.y. po sąvartyno kasybos veiklos, reikia atsižvelgti į tai, jog vėjo jėgainės svoris nebeturi tokios didelės įtakos kaip vėjo jėgainės statybos ant sąvartyno kaupo, kuriame vis dar vyksta eilė biologinių procesų, ko pasekoje stebimas sąvartyno sėdimas ir kurį reiktų įvertinti. Taigi vėjo jėgainės pagaminama energija, kai kaupas yra nukastas yra apskaičiuojama analogiškai. Šiuo atveju darbe daromos prielaidos, kad tokia vėjo jėgainė bus 50 m stebulės aukščio, vėjo jėgainės ašmens ilgis 25 m. Vėjo greitis 50 m aukštyje apskaičiuojamas:

$$V = 3 \cdot ((50) / 10)^{0,12} = 3,6 \text{ m/s};$$

Žinant vėjo greitį tam tikrame aukštyje, bendra vėjo jėgainės galia apskaičiuojama pagal formulę (10):

$$P = \frac{1,23 \cdot (3,14 \cdot 25^2) \cdot 3,6^3}{2} = 56310 \text{ (W)};$$

Elektros energijos kiekis  $E_{el}$ , įvertinus sistemos efektyvumą (darbe priimamas koeficientas 0,4), nustatomas pagal formulę (13):

$$E_{el} = (0,4 \cdot 56310) / 1000 = 22,5 \text{ (kW)};$$

Elektros energijos kiekis per metus:

$$E_v = (22,5 \cdot 6000) / 1000000 = 0,13 \text{ (GWh)};$$

#### *Saulės moduliai*

Apskaičiuota, kad senojo sąvartyno kaupo viršūnės plotas yra apie 30 000 m<sup>2</sup>, naujosios sekcijos – apie 20 000 m<sup>2</sup>. Priimama, kad ant sąvartynų viršūnės bus įrengiamos saulės modulių sistemos, sudarytos iš modulių, kurių vieno matmenys yra 1m x 1m. Senojo kaupo atveju priimama, kad saulės

modulių užimamas bendras plotas bus 5000 m<sup>2</sup>, o tarp sustatytų modulių sistemų bus paliekami 5 m tarpai, siekiant išvengti šešėlio efekto. Naujosios sekcijos atveju bus įrengiama 3000 saulės modulių, išlaikant tokius pačius tarpus tarp modulių eilių, kaip ir senojo kaupo atveju. Taigi, saulės modulių pagaminama elektros energija apskaičiuojama naudojantis formule (16). Daromos prielaidos šiems skaičiavimams: sistemos efektyvumo koeficientas yra 0,75; saulės modulio nominalaus efektyvumo koeficientas 0,13. Metinė saulės radiacija į paviršiaus ploto vienetą, remiantis Lietuvos Hidrometeorologijos tarnybos pateiktais duomenimis yra 1094 kWh/m<sup>2</sup>.

$$E_{s\_senasis\ kaupas} = (5000 \cdot 1094 \cdot 0,75 \cdot 0,13) / 1000000 = 0,53 \text{ (GWh)};$$

$$E_{s\_I-oji\ sekcija} = (3000 \cdot 1094 \cdot 0,75 \cdot 0,13) / 1000000 = 0,32 \text{ (GWh)};$$

### *Energetinės plantacijos*

Remiantis 5 lentele, dažniausiai sutinkamos energetinių augalų rūšys sąvartyno teritorijose yra karklai, tuopos, spygliuočių ir lapuočių miškeliai bei eukaliptai. Šiame darbe pasirinkta nagrinėti rūšis – karklai. Remiantis lentelėje pateikta informacija, priimama, kad iš 1 ha sąvartyno ploto gali būti gaunama 12,5 tonų<sub>sausos medžiagos</sub> karklų. Priimama vidutinė žemesnioji šilumingumo vertė 18,45 MJ/kg<sub>sausos medžiagos</sub>.

Priėmus, kad senojo kaupo viršūnės plote (30 000 m<sup>2</sup>) bus apsodinama 2,5 ha plotas, tuo tarpu naujosios sekcijos – 1,5 ha plotas, gaunamas energetinis potencialas kas trejus metus, įvertinus deginimo įmonės (kogeneracinės) efektyvumą 0,75, apskaičiuojamas pagal formulę (17):

$$E_{senasis\ kaupas} = 2,5 \cdot 12,5 \cdot 1000 \cdot 18,45 \cdot 0,75 \cdot 0,278 / 1000000 = 0,13 \text{ (GWh)};$$

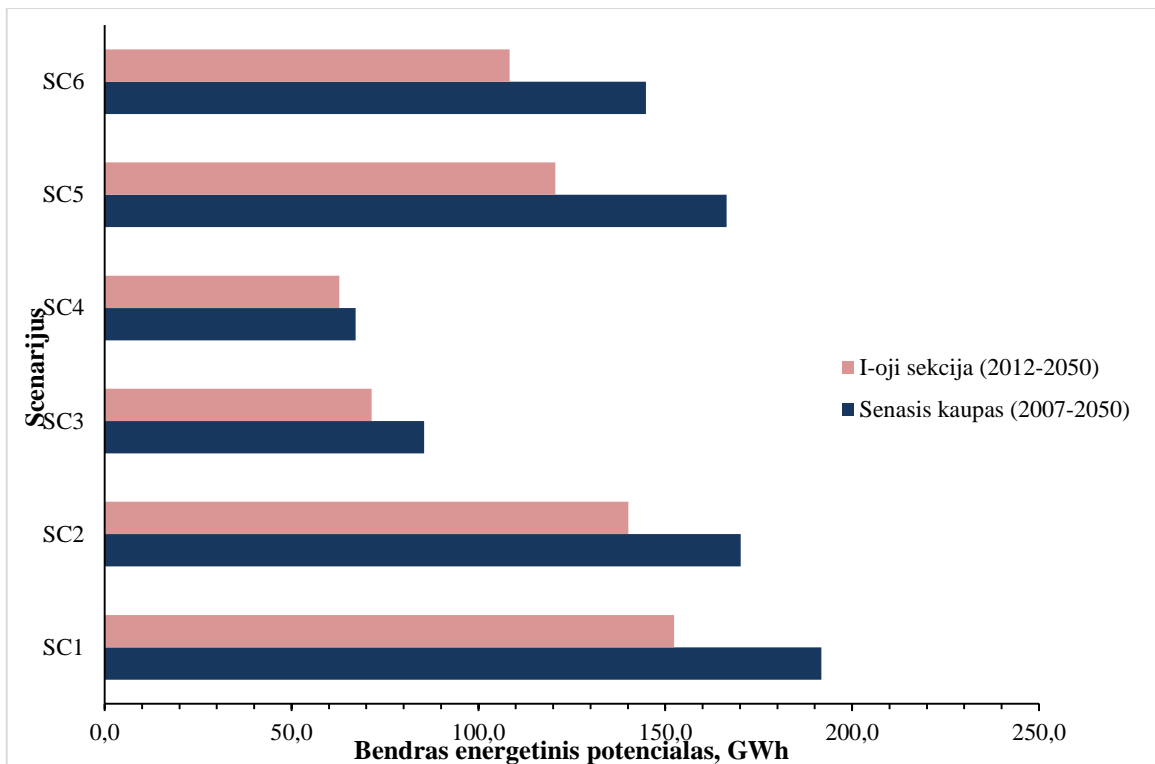
$$E_{naujoji\ sekcija} = 1,5 \cdot 12,5 \cdot 1000 \cdot 18,45 \cdot 0,75 \cdot 0,278 / 1000000 = 0,08 \text{ (GWh)}.$$

Priimama, kad 30 proc. bendro potencialo sudaro elektros ir 45 proc. šiluminės energijos [43], taigi iš senojo kaupo galima išgauti 0,04 GWh/3m elektros bei 0,09 GWh/3m šiluminės, o iš I-osios sekcijos atitinkamai – 0,024 GWh/3m ir 0,056 GWh/3m energijos.

### **3.6. Sudarytų scenarijų efektyvumo palyginimas**

Apskaičiavus metano dujų, kieto atgautojo kuro bei atsinaujinančių energijos šaltinių (saulės, vėjo jėgainių bei energetinių plantacijų) energetinius potencialus, buvo apskaičiuoti 3.2 skyrelyje išvardintų scenarijų bendri energetiniai potencialai, siekiant pavaizduoti optimaliausią scenarijų bei svarbiausias sudedamąsias dalis.

Scenarijų palyginimas energetiniu požiūriu pavaizduotas žemiau (žr. 14 pav.):



**14 pav.** Scenarijų palyginimas energetiniu požiūriu

Kaip matyti iš pateikto paveikslo, efektyviausiu energetiniu požiūriu gali būti laikomas Scenarijus 1, kuomet vertinamuoju periodu vykdomos visos trys anksčiau nagrinėtos alternatyvos (dujų išgavimas, sąvartyno kasyba bei saulės ir vėjo jėgainių instaliacija). Galima teigti, kad labiausiai bendrą energetinio potencialo dydį įtakoja energijos išgavimas iš kieto atgautojo kuro bei metano dujų, tuo tarpu atsinaujinančių energijos šaltinių indėlis į bendrą apskaičiuotą potencialą nėra toks žymus.

**Hipotezės paneigimas:** priėmus, jog vidutiniškai vienas namų ūkis Alytuje suvartoja 150 kWh/mėn., gauta, kad sąnaudos per metus siekia apie 1800 kWh. Alytaus miesto namų ūkio skaičius – 24 300. Vadinasi, Alytaus mieste vidutiniškai sunaudojama apie 50 GWh/m.

Remiantis 2011 m. Alytaus miesto ataskaitoje pateiktais duomenimis, matyti, kad šilumos energija sudaro apie 230 GWh/m. Vadinasi, vidutiniškai metiniai Alytaus miesto energetiniai poreikiai yra 280 GWh/m. Galima daryti išvadą, kad iš senojo kaupo iškastų atliekų gaunamos bendros energijos užtektų patenkinti apie 4 proc., iš naujosios sekcijos – apie 3 proc. visų energetinių poreikių vertinamuoju periodu. Priėmus, kad iš sąvartyno dujų vidutiniškai galima išgauti apie 2 GWh/m energijos, matyti, kad pastarosios patenkintų vos kelis proc. bendro metinio poreikių kiekio, o metinis AĖŠ „indėlis“ į energetinę sistemą išvis nereikšmingas.

## IŠVADOS

1. Įvertinti šeši galimi Alytaus regioninio sąvartyno (senojo kaupo ir 1-osios naujojo kaupo sekcijos) energetinio panaudojimo scenarijai, apimantys komponentus: sąvartyno dujų išgavimą, kuro iš atliekų atgavimą sąvartyno kasybos būdu ir atsinaujinančios energijos gamybą, instaliuojant Saulės ir vėjo jėgaines bei įrengiant energetines biomasės plantacijas.
2. Nustatytas bendras metano dujų energetinis potencialas: 2007-2050 m. senajam sąvartynui – 65 GWh (20 GWh elektros ir 45 GWh šiluminės energijos), 2012-2050 m. naujai sekcijai – 62 GWh (18,6 GWh elektros ir 43,4 GWh šiluminės energijos). Atsižvelgiant į apskaičiuotas vertes, galima teigti, jog vidutiniškai kasmet Alytaus mieste būtų patenkinami vos 1 proc. elektros bei beveik 1 proc. šiluminės energijos poreikių.
3. Nustatytas bendras kietojo atgautojo kuro energetinis potencialas: senajam kaupui – 144 GWh (44 GWh elektros bei 100 GWh šiluminės energijos), naujai sekcijai – 108 GWh (atitinkamai 33 GWh bei 75 GWh). Šis kiekis leistų kasmet vertinamuoju periodu patenkinti 3 proc. elektros bei 1 proc. šiluminės energijos senojo kaupo atveju ir 2 proc. bei 1 proc. atitinkamai naujosios sekcijos atveju.
4. Įvertintas AEŠ potencialas: nustatyta, kad saulės modulių pagaminamos elektros energijos kiekis yra 0,32-0,53GWh/m, vėjo jėgainės – 0,02-0,13 GWh/m bei biomasės – 0,04 ir 0,02 GWh/m. AEŠ indėlis į energetinę sistemą nesudarytų nė 1 proc. Alytaus miesto energetinių poreikių, todėl pagaminta energija galėtų būti panaudojama šalia sąvartyno esančių infrastruktūros objektų poreikiams tenkinti.
5. Nustatyta, kad bendrą energetinio potencialo dydį labiausiai įtakoja energijos išgavimas iš kieto atgautojo kuro bei metano dujų, o atsinaujinančių energijos šaltinių energetinis potencialas nėra reikšmingas visais atvejais. Remiantis gautais rezultatais galima konstatuoti, kad efektyviausia energetiniu požiūriu laiko bėgyje būtų vykdyti visas tris veiklas: sąvartyno dujų išgavimą, sąvartyno kasybą, iškasant kietąjį atgautąjį kurą bei įrengti vėjo ir saulės jėgaines.

## LITERATŪRA

1. Adomavičius V., et. al. (2004). Vėjo elektrinių parinkimas. *Elektros energetika ir technologijos : konferencijos pranešimų medžiaga / Kauno technologijos universitetas*.
2. Allen A. (2001). Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology*, p. 3-19.
3. ARATC. (2012) Aplinkos monitoringo ataskaita.
4. Bachiri K., Bodenhagen A. (2010) Sustainable landfill – case study on solar landfill covers. *Hazardous Waste Management, B4.1*
5. Baum C., et. al. (2009). Effects of short rotation coppice with willows and poplar on soil ecology. *Agriculture and Forestry Research 3 (59)*, p. 183-196.
6. Bäuml R., Lindel S., Knicker H. et. al., (2001). Stability of organic matter in an old landfill site-A case study in northern Bavaria Germany. *Proceedings 8th International Landfill Symposium, Italy*.
7. Bogner J., Ahmed M. A., Diaz C., Faaij A. (2007). *Report: Climate Change 2007: Mitigation. Working Group III Contribution of to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
8. Borjesson P., et. al. (1999). Environmental effects of energy crops cultivation in Sweden: Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy*, p. 137-154.
9. Bosmans A., Vanderreydt I., Geysen D., Helsen L. (2012). The crucial role of Waste-to-energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. *Journal of Cleaner Production 55*, p. 10-23.
10. Bove R., Lunghi P. (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management 47*, p.1391-1401.
11. Chefurka P. (2007) World energy and Population trends to 2100. *Prieiga per internetą adresu: <http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>* Peržiūrėta 2015 m., gegužės 30 dieną.
12. Cheng H. (2010). Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. *Bioresource Technology Volume 101, Issue 11*, p. 3816-3824.
13. Corti A. et. al.(2007) Landfill gas recovery: economic and environmental evaluation for a study case. *Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Italy*.
14. Cossu R., Hogland, W. (1996). Landfill Mining in Europe and USA. *ISWA Year Book, International Solid Waste Association (ed)*, p. 107–114.
15. Cossu R., Raga R. (2012). Theory and perspectives of Landfill Mining. *Urban Mining: A global cycle approach to resource recovery from solid waste*, p. 355-362.

16. Dace E., et. al. (2012). An assessment of the potential of refuse-derived fuel in Latvia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Vol. 23 Issue 5, p. 503 – 516.
17. Dehoust, G., Gebhardt, P., Gaertner, S. (2002). Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung, Oeko-Institut, Darmstadt.
18. Dimitriou I. (2011) Willow short rotation coppice for energy and environmental benefits in Sweden. *Aspects of Applied Biology* 112, p. 329-330.
19. Dincer I., Zamfirescu C. (2014). *Advanced Power Generation Systems*. Chapter 3, p. 95-141.
20. Duggan J. (2005) The potential for landfill leachate treatment using willows in UK-a critical review. *2005 Resources, Conservation and Recycling Volume 45, Issue 2*, p. 97–113.
21. Dzenajavičienė E., Pedišius N., Škėma R. (2011). Bioenergy promotion: Darni bioenergetika. Lietuvos energetikos institutas, Kaunas. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.lei.lt/\\_img/\\_up/File/atvir/bioenerlt/index\\_files/Darni\\_bioenergetika-S.pdf](http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Darni_bioenergetika-S.pdf)*  
Peržiūrėta 2015 m., gegužės 30 dieną.
22. Ediger V. S., Kentel E. (1999) Renewable energy potential as an alternative to fossil fuel in Turkey. *Energy Conversion and Management. Volume 40, Issue 7*, p. 743-755.
23. Energetinių augalų tipai ir pagrindinės jų savybės. *Energy efficiency and Renewables-Supporting Policies in Local level for energy*, p. 28.
24. EPA. (2006) *The Clean Energy-Environment Guide to Action: Policies, Best Practices, and Action Steps for States*, Appendix c.
25. Eurostat duomenų bazė (2012). *Prieiga per internetą adresu: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics)* .  
Peržiūrėta 2015 m., birželio 4 dieną.
26. Fowmes G. J., Markham S. (2013). Construction of microwind turbines on MSW. *Proceedings Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Italy*.
27. Frandegard P., et. al. (2013). A novel approach for environmental evaluation of landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, p. 24-34.
28. Gentil E., et. al. (2010) Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions. *Waste Management Volume 30, Issue 12*, p. 2636-2648.
29. Gross R., Leach M., Bauen A. (2003) Progress in renewable energy. *Environment International Volume 29, Issue 1*, p. 105-122.
30. Ham R. K., Norman M. R., Fritschel P. R. (1993). Chemical characterization of Fresh Kills landfill refuse and extracts. *Journal Environmental Engineering*, p. 1176–1195.
31. Hammons T. J. (2008). Integrating renewable energy sources into European grids. *International Journal of Electrical Power and Energy systems, Volume 30, Issue 3*, p. 462-475.

32. Haubrichs R., Widmann R. (2006). Evaluation of aerated biofilter systems for microbial methane oxidation of poor landfill gas. *Waste Management, Volume 26, Issue 4*, p. 408-416.
33. Hepbasli A. (2008) A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. *Renewable and Sustainable energy Reviews. Volume 12, Issue 3*, p. 593-661.
34. Hogland W., Marques M., Nimmermark S. (2004). Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. *Journal of Material Cycle and Waste Management 6*, p. 119-124.
35. Hull R. M., et. al. (2005). Composition and Characteristics of excavated waste materials from a New Jersey landfill. *Journal of environmental engineering; ASCE*.
36. IPCC (2006). Intergovernmental panel on climate change: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program, London, UK.
37. IPCC (2007). Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
38. Yadav S. (2015) Calculations of solar energy output. *Prieiga per internetą adresu: [https://www.academia.edu/9005661/CALCULATIONS\\_OF\\_SOLAR\\_ENERGY\\_OUTPUT](https://www.academia.edu/9005661/CALCULATIONS_OF_SOLAR_ENERGY_OUTPUT)* Peržiūrėta 2015 m., gegužės 27 dieną.
39. Yucekaya A. (2014) Landfill Gas to Energy in Turkey: Current and Future. *Journal of Science and Technology, Volume 2, Number 1, ISSN 2233 – 0054*.
40. Yujiang Y. (2007) Research on Composition and Recycle Value of Aged Refuse at Shanghai Refuse Landfill. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.paper.edu.cn/index.php/default/en\\_releasepaper/content/10933](http://www.paper.edu.cn/index.php/default/en_releasepaper/content/10933)* Peržiūrėta 2015 m., gegužės 30 dieną.
41. Jones P., et al. (2013) Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. *Journal of Cleaner Production Volume 55*, p. 45–55.
42. Kaartinen T., Sormunen K., Rintala J. (2013) Studies on material composition of closed Finnish landfills – potencial for landfill mining? *2nd International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining*
43. Kogeneracinio įrenginio efektyvumas. *Prieiga per internetą adresu: [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch4s4-3-5.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch4s4-3-5.html)* Peržiūrėta 2015 m., gegužės 29 dieną.
44. Kriipsalu M. (2014). Landfill mining: new stage in the product life cycle and waste management. *International seminar “Landfill mining in the context of global environmental mitigation”*, Kaunas

45. Krook J. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management Volume 32, Issue 3, March 2012*, p. 513–520
46. Kubik M. L., Coker P. J., Hunt C. (2011) Using meteorological wind data to estimate turbine generation output: a sensitivity analysis. *World renewable energy congress – Sweden*.
47. Lamborn J. (2009). Characterisation of municipal solid waste composition into model inputs. *Third International Workshop „Hydro-Physico-Mechanics of Landfills“, Germany*
48. Leigue M. A. (2013) Leachate irrigation of energy crops. *Proceedings Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy*.
49. Levickaitė R. (2013) Kiek Lietuvos miestų šildosi šiuokšlynu dujomis? *Prieiga per internetą adresu: <http://grynas.delfi.lt/aplinka/kiek-lietuvos-miestu-sildosi-siuokšlynu-dujomis.d?id=60599549>* . Peržiūrėta 2015 m., birželio 3 dieną.
50. Lino F., Ismail K., (2011). Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. *Energy Policy*, p. 3496-3502
51. Machado S.L. (2008) Constitutive model for long term municipal solid waste mechanical behaviour. *Computers and Geotechnics Volume 35, Issue 5*, p. 775–790
52. Maria F., Micale C., Sordi A. (2013). Mining: quality and quantity of recyclable and recoverable material mechanically and physically extractable from residual waste. *Waste management*, p. 2594-2599
53. McKendry P. (2002<sub>a</sub>) Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology Volume 83, Issue 1*, p. 37–46
54. McKendry P. (2002<sub>b</sub>) Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology, Volume 83, Issue 1*, p. 47-54.
55. Menegaki A. N. (2011) Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy economics, Volume 33, Issue 2*, p. 257-263.
56. Mohapatra P., Ali S. M., Mishra S., Pradhan A. (2012) Future aspects solar panel installation on closed landfills, *International Journal of Advances in Engineering and Technology, ISSN: 2231-1963*
57. Monnet F. (2003) An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.biogasmax.co.uk/media/introanaerobicdigestion\\_\\_073323000\\_1011\\_24042007.pdf](http://www.biogasmax.co.uk/media/introanaerobicdigestion__073323000_1011_24042007.pdf)* Peržiūrėta 2015 m., balandžio 3 dieną.
58. Morris J. W. F., Caldwell M. D., Bull L. P. (2013) Functional stability and completion of post-closure care at municipal landfills: findings from application of a performance-based methodology. *Proceedings Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy*.



59. Nickolas J., (2007) Methane generation in landfills. *Renewable energy, Volume 32, Issue 7*, p. 1243-1257.
60. Nixon D. J., et. al. (2001) The potential for short rotation energy forestry on restored landfill caps. *Bioresource Technology* 77, p. 237-245.
61. Oonk H. (2010). Literature review: Methane from landfills. Methods to quantify generation, oxidation and emissions.
62. Ouvry F. (2005) Settlement of waste packaged in chafts in a domestic waste disposal. *International Workshop „Hydro-Physico-Mechanics of landfills“*, Grenoble University, France
63. Paviršiaus šiuurkštumo koeficientų vertės. *Prieiga per internetą adresu: [www.meteo.lt/skaiciuokles.php?s=vejo\\_greitis\\_auks](http://www.meteo.lt/skaiciuokles.php?s=vejo_greitis_auks)* . Peržiūrėta 2015 m., gegužės 30 dieną.
64. Petäjä J., Mattinen M., Hilden M. (2012) Calculations of greenhouse gas emissions of waste sector and F-gases for policy scenarios in Finland. *Finnish Environment Institute (SYKE)*. Model available on demand via J. Petäjä: [jouko.petaja@ymparisto.fi](mailto:jouko.petaja@ymparisto.fi).
65. Pradeep J., Powell J., Smith J., Townsend G. (2014) Life-cycle inventory and impact evaluation of mining municipal solid waste landfills. *Environmental Science and Technology*, p. 2920-2927
66. Prechthai T., et. al. (2008) Quality assessment of mined MSW from an open dumpsite for recycling potential. *Resource, Conservation and Recycling* 53, p. 70-78.
67. Quaghebeur M., Laenen B., Geysen D., Nielsen P. (2013) Characterization of landfilled materials: screening of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production Volume 55*, p. 72–83.
68. Raiko R., Saastamoinen J., Hupa M., Kurki-Suonio I. (2002) *Poltto ja palaminen*.
69. Rand T., et. al. (2000). Municipal Solid Waste Incineration. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.worldbank.org/urban/solid\\_wm/erm/CWG\\_folder/Waste\\_Incineration.pdf](http://www.worldbank.org/urban/solid_wm/erm/CWG_folder/Waste_Incineration.pdf)* \_Peržiūrėta 2015 m., gegužės 27 dieną.
70. Rosendal R. M. (2009). Landfill mining: process, feasibility, economy, benefits and limitations. *RenoSam*. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.danskaffaldsforening.dk/documents/21355/45957/2009\\_deponering\\_landfillmining.pdf/e29469b7-4e47-4d25-a654-626d7a5ac728](http://www.danskaffaldsforening.dk/documents/21355/45957/2009_deponering_landfillmining.pdf/e29469b7-4e47-4d25-a654-626d7a5ac728)* . Peržiūrėta 2015 m., baladžio 15 dieną.
71. Rosendal R.M. (2013) Landfill mining – waste for re-use and incineration with energy recovery – Gerringe landfill, Denmark. *Proceedings Sardinia 2013, 14th International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy*
72. Rudramoorthy R. (2003). *Thermal engineering*, p. 208.
73. RWE npower. (2010) Wind Turbine Power Calculations. *Prieiga per internetą adresu: [www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine](http://www.raeng.org.uk/publications/other/23-wind-turbine)* . Peržiūrėta 2014 m., spalio 30 dieną.

74. Salasovich J., Mosey G. (2011). Feasibility Study of Solar Photovoltaics on Landfills in Puerto Rico, *Report: National renewable energy laboratory*
75. Sampson G., et. al. (2009). Solar Power Installations on Closed Landfills: Technical and Regulatory Considerations. *Prieiga per internetą adresu: [http://www.chilmarkma.gov/Pages/ChilmarkMA\\_ExecSec/IFB%20or%20RFP/Sampson\\_Solar%20Power\\_Sept2009.pdf](http://www.chilmarkma.gov/Pages/ChilmarkMA_ExecSec/IFB%20or%20RFP/Sampson_Solar%20Power_Sept2009.pdf)* Peržiūrėta 2015 m., balandžio 20 dieną
76. Saulės modulių diegimo praktika Amerikos sąvartynuose. *Prieiga per internetą adresu: <http://borregosolar.com/solar-projects/landfills-and-brownfields/ludlow-landfill/>* Peržiūrėta 2014 m., lapkričio 20 dieną
77. Savickas J., Vrubliauskas S. *Feasibility of biogas production and use in Lithuanian (Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybės Lietuvoje)*. *Technologija*, 1997, 38, p. 11-13.
78. Sąvartyno dujų išgavimo ir panaudojimo principinė schema. *Prieiga per internetą adresu: <http://beginwiththebin.org/innovation/landfill-gas-renewable-energy>* Peržiūrėta 2015 m., gegužės 5 dieną
79. Simoes F., Catapreta C. A. (2013). Monitoring and modeling of long-term settlements of an experimental landfill in Brazil. *Waste Management* 33, p. 420-430.
80. Skodras G., et. al. (2003) Utilisation of Landfill gas for Energy Production – Operational Experience from a 13.8 MWe Power Plant. *Energy Engineering, Issue 5*, p. 46-48.
81. Solagro. (2010) Report: Waste landfilling in Europe. Sustainable Landfill Foundation Energy recovery and GHG mitigation.
82. Sormunen K., et. al. (2008) Detailed internal characterisation of two Finnish landfills by waste sampling. *Waste Management, Volume 28, Issue 1*, p. 151-163.
83. Spokas K. (2006) Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?. *Waste Management, Volume 26, Issue 5*, p. 516-525.
84. Spooren J., et. al. (2012) Characterization study of landfilled materials with particular focus on the fines and their potential in enhanced landfill mining. *In: GIN2012 conference proceedings, 2012*
85. Stachowitz W.H. (2003) Overview of methane oxidization at (old) landfills – global CO<sub>2</sub> consideration, Trade with CO<sub>2</sub> – certificates. *Proceedings International Conference Ninth ILS*
86. Staniškis J.K. (2004) *Integruota atliekų vadyba*. Kaunas: Technologija
87. Swithenbank J., Sharifi V. N. (2012) Incinerator Grate Combustion Phenomena. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, p. 5296-5315.
88. Tchobanoglous G. (1993) *Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues*, p. 80-81.

89. Themelis N., Ulloa P. A. (2007) Methane gas generation in landfills. *Renewable energy*, p. 1243-1257.
90. Tyagi V.V., Rahim N. (2013). Progress in solar PV technology: Research and achievement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p.443–461. *Prieiga per internetą adresu: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032112005291>* Peržiūrėta 2015 m., sausio 22 dieną.
91. Toth M. (2013) Converting landfill sites into sustainable energy. *Proceedings Sardinia 2013, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy*.
92. Trotti. (2011) *Landfill as Energy Farms An Idea Whose Time has Come?* MSW Management.
93. Van Voosen W.J. (2011) *Feasibility study – Sustainable material and energy recovery from landfills in Europe. Proceedings of the Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia*.
94. Vares V., Kask U., Muiste P., Pihu T., Soosaar S. (2007) *Biokuro naudotojo žinynas*. Vilnius
95. Waste Management World. (2011) *Solar Landfills: the Future?* Waste Management World
96. Willumsen H. C. (2003) Energy recovery from landfill gas in Denmark and worldwide. *Tarptautinis seminaras „Sąvartynų dujų naudojimas energijos gamybai“*
97. Zanetti M. C., Marchese F., Genon G. (1997). Investigation on quality of landfilled MSW. *Proceedings 6th International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Italy: Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, Italy*, p. 155–162.