



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

Jolita Mickevičiūtė

**MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ ŠAVARTYNO
TRANSFORMACIJŲ POVEIKIO APLINKAI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

lekt. Inga Radžiūnienė

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
APLINKOSAUGOS TECHNOLOGIJOS KATEDRA

**MIŠRIŲ KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ ŠAVARTYNO
TRANSFORMACIJŲ POVEIKIO APLINKAI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerijos studijų programa (612H17001)

Konsultantas

dokt. Algimantas Bučinskas

Vadovas

lekt. Inga Radžiūnienė

Recenzentas

lekt. Inga Stasiulaitienė

Projektą atliko

Jolita Mickevičiūtė

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Jolita Mickevičiūtė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerijos studijų programa, 612H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Mišrių komunalinių atliekų švartyno transformacijų poveikio aplinkai tyrimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. birželio 8 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Jolitos Mickevičiūtės** baigiamasis projektas tema „**Mišrių komunalinių atliekų švartyno transformacijų poveikio aplinkai tyrimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Mickevičiūtė, J. Mišrių komunalinių atliekų sąvartyno transformacijų poveikio aplinkai tyrimas. *Aplinkosaugos inžinerijos* baigiamasis projektas / vadovas lekt. Inga Radžiūnienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas, Aplinkosaugos technologijos katedra.

Kaunas, 2015. 61 psl.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamas mišrių komunalinių atliekų sąvartyno keliamas poveikis aplinkai prieš sąvartynų kasybą, jos metu ir po kasybos.

Pastaruoju metu ypač išaugo susidomėjimas medžiagų atgavimu iš sąvartynų. Dėl šios priežasties labai svarbu išsiaiškinti kaip pasikeičia poveikis aplinkai po sąvartynų kasybos, koks poveikis aplinkai daromas kasybos metu, kuomet nuimama sąvartyno danga ir metanas bei kiti sąvartyno dujose esantys pavojingi junginiai atsipalaiduoja į aplinką, kaip išteklių gavyba iš sąvartynų įtakoja gruntinių vandenų taršą. Minėtieji klausimai svarbūs siekiant lengviau išspręsti atgautų teritorijų panaudojimo klausimus.

Vienas iš pagrindinių veiksnių, ribojančių sąvartynų kasybą, yra biodujų susidarymas. Prieš sąvartyno kasybą metano gamyba turi baiginėti arba jos gamyba turi būti sumažinta iki minimumo (Jacobs, 2008). Todėl prieš pradėdant sąvartynų kasybos projektą būtina įvertinti metano dujų susidarymą.

Magistro baigiamojo projekto hipotezė – sąvartynų kasybos būdu reikšmingai sumažinamas jų keliamas poveikis aplinkai.

Darbo tikslas yra nustatyti Alytaus regioninio nepavojingų atliekų sąvartyno galimos kasybos pradžią ir įvertinti sąvartyno transformacijų poveikius aplinkai. Darbo tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

1. įvertinti metano susidarymą pasirinktame sąvartyne, siekiant nustatyti galimos kasybos pradžią;
2. palyginti kaip pasikeičia sąvartynų sukeltas poveikis aplinkai po sąvartynų kasybos;
3. įvertinti sąvartynų kasybos rizikos veiksnius.

Darbe sąvartyno metano susidarymas ir emisijos skaičiuotos pagal pirmo laipsnio kinetinę lygtį. Visuotinio atšilimo potencialas įvertintas naudojantis būvio ciklo metodu.

Pagal atliktus skaičiavimus galima teigti, kad Alytaus regioninio atliekų sąvartyno atveju, sename kaupe medžiagų atgavimo projektą galima pradėti vykdyti praėjus 30-čiai metų, naujame – 26 metams po sąvartynų uždarymo. Alytaus regioninio sąvartyno medžiagų atgavimo scenarijaus atveju, bendras susidarantis metano kiekis sename ir naujame kaupe atitinkamai sumažėja po 83,0 proc. Dėl to atitinkamai sumažėja ir visuotinis atšilimo potencialas.

Apibendrintai galima teigti, kad darbo hipotezė pasitvirtino. Sąvartynų kasyba yra naudinga siekiant sumažinti ilgalaikį neigiamą sąvartynų poveikį aplinkai. Tačiau yra būtina sumažinti

trumpalaikius poveikius aplinkai, nes tai yra vienas iš rūpesčių kalbant apie sąvartynų kasybą. Aplinkosauginės problemos susijusios su: dujų emisijomis, kvapais ir dulkėmis, pavojingų ir nežinomų medžiagų buvimu, sąvartyno kaupo stabilumu, susidarančiu filtratu ir lietaus nuotekomis.

Magistro tiriamojo darbo rezultatai pristatyti studentų mokslinėje konferencijoje „Chemija ir cheminė technologija 2015“.

Mickevičiūtė, J. Environmental Impact Assessment of Mixed Municipal Waste Landfill Transformation. Master Work in *Environmental Engineering* / supervisor lek. Inga Radžiūnienė; Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Department of Environmental Technology.

Kaunas, 2015. 61 psl.

SUMMARY

The Master's thesis analyzes environmental impact of mixed municipal waste landfill before, during and after landfill mining activity.

Recently, recovery of materials from landfills has gained growing interest. For this reason, it is important to find out the changes of environmental impact during landfill mining (when landfill cover is removed and methane with other hazardous compounds are released to the atmosphere) and after this activity; also, it is important to determine the possibility of groundwater contamination influenced by resource extraction from landfills. These mentioned issues are important in order to solve reuse question of recovered area easier.

One of the main factors limiting the landfill mining is biogas production. Before landfill mining activities methane production should be completed or at least should be reduced to a minimum. Therefore, it is necessary to evaluate the formation of methane gas prior to landfill mining project.

The hypothesis of master's thesis work – landfill mining method significantly reduces their impacts on the environment.

The aim of thesis is to determine the beginning of landfill mining at Alytus regional non-hazardous waste landfill and evaluate environmental impact of landfill transformation.

Master thesis consists of the following tasks:

1. to evaluate methane formation in the selected landfill in order to determine potential the beginning of landfill mining.
2. to compare the environmental impact before and after excavation to the surrounding area;
3. to evaluate the risks of landfill mining.

Formation and emissions of methane were calculated using first order decay. Environmental impact assessment was performed using the Life Cycle Assessment method. The object discussed in this paper is Alytus regional landfill (old pile and new section).

According to the calculations, landfill mining project can be implemented 30 years after landfill closure in the old section and 26 years after closure in the new section. It is estimated, that in analysed landfill mining scenario, formation of methane is reduced 83,0 %, respectively in the old and the new sections. Therefore, global warming potential is reduced respectively.

Generally, it can be stated, that the hypothesis of work was confirmed. Landfill mining is beneficial to reduce long-term harmful effects on the environment. However, it is necessary to mitigate the short-term impacts because they are one of the main problems related to landfill mining. Environmental concerns include: biogas emissions, odors and dust, storm water and leachate, hazardous waste and stability of landfill.

Master's thesis results were published in the scientific conference "Chemistry and Chemical Technology 2015".

TURINYS

IŽANGA.....	11
1.. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Mišrių komunalinių atliekų susidarymas ir sudėtis	13
1.2. Sąvartyne šalinamų atliekų poveikis aplinkai	16
1.2.1.Filtrato ir dujų susidarymas	16
1.2.2.Poveikis aplinkai.....	20
1.3. Sąvartynų kasyba.....	22
1.3.1.Sąvartynų kasyba – naujas atliekų tvarkymo prioritetas.....	22
1.3.2.Sąvartynų kasybos praktika užsienio šalyse	25
1.4. Kietų atliekų būvio ciklo vertinimas	27
1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	30
2.. TYRIMO METODIKA	32
2.1. Sąvartyno dujų emisijos pagal pirmo laipsnio kinetinę lygtį	32
2.1.1. Metodo pagrindai	32
2.1.2. Metano susidarymas ir emisijos.....	32
2.1.3. Faktoriai ir parametrai.....	34
2.1.4.Neapibrėžtumai	36
2.2. Būvio ciklo vertinimas	37
3.. TYRIMO REZULTATAI.....	39
3.1. Tyrimo objektas	39
3.1.1. Alytaus regioninis sąvartynas	39
3.1.2. Sąvartyne deponuotų atliekų kiekiai ir sudėtis	40
3.1.3. Sąvartynų kasybos pradžios nustatymas	43
3.2. Būvio ciklo vertinimas.....	46
3.2.1. Tikslų ir apimtų nustatymas	46
3.2.2. Metano susidarymas bazinio ir medžiagų atgavimo scenarijų atveju.....	47
3.2.3. Poveikio aplinkai vertinimo rezultatai	48
3.3. Sąvartynų kasybos rizikos veiksniai.....	49
IŠVADOS.....	53
LITERATŪRA.....	54
PRIEDAS	58

PAVEIKSLAI

1 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekis Europoje 1980-2012 metais	13
2 pav. Mišrių komunalinių atliekų sudėtis įvairiuose regionuose	14
3 pav. Mišrių komunalinių atliekų sudėtis Kauno mieste 1996 ir 2009 metais	15
4 pav. Filtrato susidarymas.....	17
5 pav. Švartyno dujų formavimosi ciklai	19
6 pav. Švartynų kasybos operacijų supaprastinta schema	24
7 pav. Stambios frakcijos sudėtis	26
8 pav. Smulkios frakcijos sudėtis.....	27
9 pav. Uždarytas Kudjape švartynas	27
10 pav. Būvio ciklo vertinimo sistema.....	28
11 pav. Alytaus regioninio švartyno teritorija	39
12 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekių dinamika:	41
13 pav. Švartyne pašalintų mišrių komunalinių atliekų sudėtis	42
14 pav. Švartyno dujų susidarymas	44
15 pav. Bendroji švartynų vertinimo schema	46
16 pav. Metano susidarymas skirtingiems scenarijams	47
17 pav. Visuotinio atšilimo potencialas skirtingiems scenarijams.....	48
18 pav. Metano emisijos švartynų kasybos metu	49

LENTELĖS

1 lentelė. Atliekų kiekiai Lietuvoje 1995-2012 m.....	15
2 lentelė. Greitai ir lėtai skaidomos organinės medžiagos MKA sraute	16
3 lentelė. Filtrato sudėtis	18
4 lentelė. Sąvartyno dujų sudėtis.....	18
5 lentelė. DOC vertės mišrioje komunalinėse atliekose	34
6 lentelė. <i>k</i> reikšmės įvairioms klimato zonoms ir organinėms atliekų frakcijoms	34
7 lentelė. Klimato zonų apibrėžimas	35
8 lentelė. MCF vertės pagal sąvartyno tipą.....	35
9 lentelė. Metano oksidacijos faktoriai pagal sąvartyno tipą	36
10 lentelė. GWP vertės skirtingiems junginiams	38
11 lentelė. Sąvartyno sekcijų duomenys	40
12 lentelė. Pasirinktų parametrų vertės	43
13 lentelė. Sezoninės metano emisijos	50
14 lentelė. Sąvartyno filtrato kokybės rodikliai	51

IŽANGA

Atliekos yra aktualus aplinkos, socialinis ir ekonominis klausimas. Dėl sparčiai besivystančių technologijų, pramonės, didėjančių gyventojų poreikių bei visuomenėje sąmoningai skatinamo vartotojiškumo susidaro didžiuliai kiekiai atliekų. Nes visa, kas pagaminama, parduodama, suvartojama, anksčiau ar vėliau tampa jomis.

Daugelyje pasaulio regionų, ypač besivystančiose šalyse, didžiosios atliekų dalies „atsikratoma“ šalinant jas sąvartynuose, kurie jau seniai vertinami kaip pigus būdas tvarkyti aplinkoje susidarančias nereikalingas medžiagas. Vien tik Baltijos regione yra apie 75 000 – 100 000 uždarytų ir vis dar veikiančių sąvartynų (Bahatnagar et. al., 2012).

Tačiau šiandieną yra labai gerai žinoma, kad toks atliekų šalinimas turi eilę neigiamų pasekmių: susidariusios dujos teršia orą, prisideda prie klimato kaitos, susidaro nemalonūs kvapai, yra pažeidžiama augalija, teršiamas dirvožemis, paviršiniai ir požeminiai vandenys. Sąvartynai mažina esančios žemės vertę, trukdo urbanizacijai ir ekosistemų vystymuisi.

Susirūpinimas aplinkos tarša, žemės ir gamtinių išteklių trūkumu lėmė susidomėjimą sąvartynais ir jų kasyba. Sąvartynų kasyba – technologija, kuri apjungia medžiagų perdirbimo ir darnaus atliekų tvarkymo koncepciją (Jones et. al., 2013, Krook et. al., 2012). Tradiciškai sąvartynų kasyba yra apibrėžiama kaip medžiagų atgavimas ir jų apdorojimas iš uždarytų arba aktyvių sąvartynų. Ji įgauna vis didesnę susidomėjimą dėl savo aplinkosauginio ir ekonominio reikšmingumo medžiagų perdirbime, energijos atgavime, dirvožemio rekultivacijoje ir taršos prevencijoje.

Vienas iš pagrindinių veiksnių, ribojančių sąvartynų kasybą, yra biodujų susidarymas. Esant dar aktyviam biodujų susidarymui, sąvartynų kasybos projektas gali atnešti daugiau žalos nei naudos, kadangi vykdant kasybą, yra nuimama viršutinė sąvartyno danga, sujudinami atliekų sluoksniai, dėl to padidėja emisijos į aplinką. Prieš sąvartyno kasybą metano gamyba turi baigintis arba jos gamyba turi būti sumažinta iki minimumo (Jacobs, 2008). Todėl prieš pradėdant sąvartynų kasybos projektą būtina įvertinti metano dujų susidarymą.

Mokslinis naujumas

Ištyrus įvairius mokslinius tiriamojo ir aprašomojo pobūdžio literatūros šaltinius, nustatyta, kad šio darbo tema Lietuvoje ir užsienio šalyse nėra atlikti nei tyrimai, nei parengti panašaus pobūdžio straipsniai ar publikacijos. Publikuojama tik keletas straipsnių, kuriuose nagrinėjamas kasybos proceso ir iškastų atliekų perdirbimo poveikis aplinkai (Danthurebandara et. al., 2015; Frandegard et. al., 2013). Tačiau nėra tyrimų kaip ženkliai sumažinamas neigiamas poveikis aplinkai po kasybos, koks aplinkosauginis poveikis daromas sąvartynų kasybos metu, kuomet nuimama sąvartyno danga ir metanas bei kiti sąvartyno dujose esantys pavojingi junginiai atsipalaiduoja į aplinką, kaip išteklių gavyba iš sąvartynų paveikia gruntinių vandenų taršą. Minėtieji klausimai

aktualūs dabar, kuomet ypač išaugo susidomėjimas medžiagų atgavimu iš sąvartynų. Be to, surasti atsakymai padėtų lengviau išspręsti atgautų teritorijų panaudojimo klausimus.

Darbo hipotezė – sąvartynų kasybos būdu reikšmingai sumažinamas jų keliamas poveikis aplinkai.

Magistro tiriamojo darbo tikslas – nustatyti pasirinkto nepavojingų atliekų sąvartyno galimos kasybos pradžią ir įvertinti sąvartyno transformacijų poveikius aplinkai.

Numatytam tikslui įgyvendinti iškelti uždaviniai:

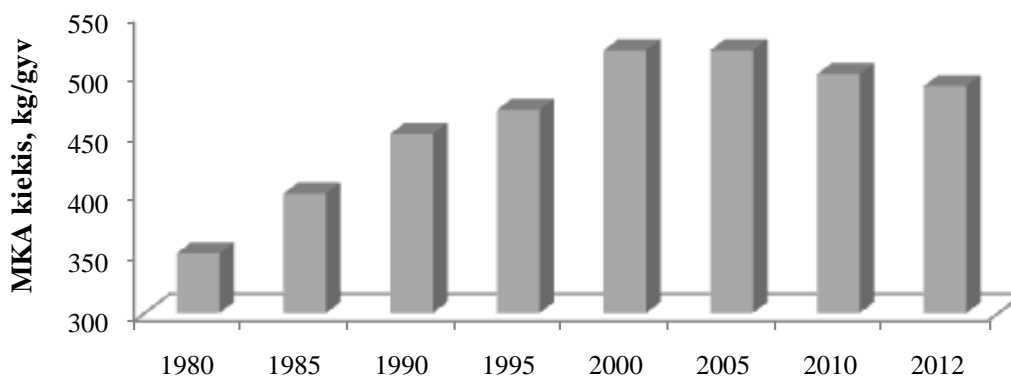
- 1) įvertinti metano susidarymą pasirinktame sąvartyne, siekiant nustatyti galimos kasybos pradžią;
- 2) palyginti sąvartynų keliamą poveikį aplinkai prieš sąvartynų kasybą ir po jos;
- 3) įvertinti sąvartynų kasybos rizikos veiksnius.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Mišrių komunalinių atliekų susidarymas ir sudėtis

Atliekos – viena prioritetinių aplinkos ir subalansuotos plėtros problemų, jos ne tik teršia aplinką, užima daug vietos – didelė jų dalis yra kenksmingos supančiai aplinkai. Nuo pat civilizacijos pradžios žmogus savo kasdieninėje veikloje išmeta daugybę atliekų. Anksčiau atliekos paprastai būdavo sudarytos iš gamtinės kilmės bioskaidžių medžiagų, tad rimtų problemų jos nekėlė. Tokios atliekos būdavo gana greitai suskaidomos gamtoje. Tačiau augant pramonei ir didėjant žmonių skaičiui imta kurti naujas medžiagas. Plačiai paplito sintetinės ir cheminės medžiagos: nailonas, polivinilchloridas, polipropilenas, polietilenas ir daugelis kitų nenatūralių medžiagų, kurios nesuirusios gamtoje išlieka labia ilgai (Staniškis, 2004).

Europos šalyse didžiausias mišrių komunalinių atliekų (MKA) susidarymo augimas vyko 1980-1990 metais (žr. 1 pav.). Kasmet atliekų kiekis, tenkantis vienam gyventojui, išaugdavo po 11 procentinių punktų. Dėl vis augančios populiacijos, greitos urbanizacijos ir intensyvaus pramonės vystymosi, atliekų susidarymas tapo rimta pasauline problema. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (EBPO) duomenimis didžiausias atliekų kiekis užfiksuotas 2000-2007 metais. Nuo 1990 metų buvo imtasi priemonių atliekų srautų mažinimui, daug dėmesio skirta atliekų perdirbimui ir antriniam panaudojimui, tačiau tik po 2005 metų matomas atliekų srautų sumažėjimas. EBPO 2012 metų duomenimis, vidutinis mišrių komunalinių atliekų kiekis, tenkantis vienam europiečiui, yra 502 kg per metus.



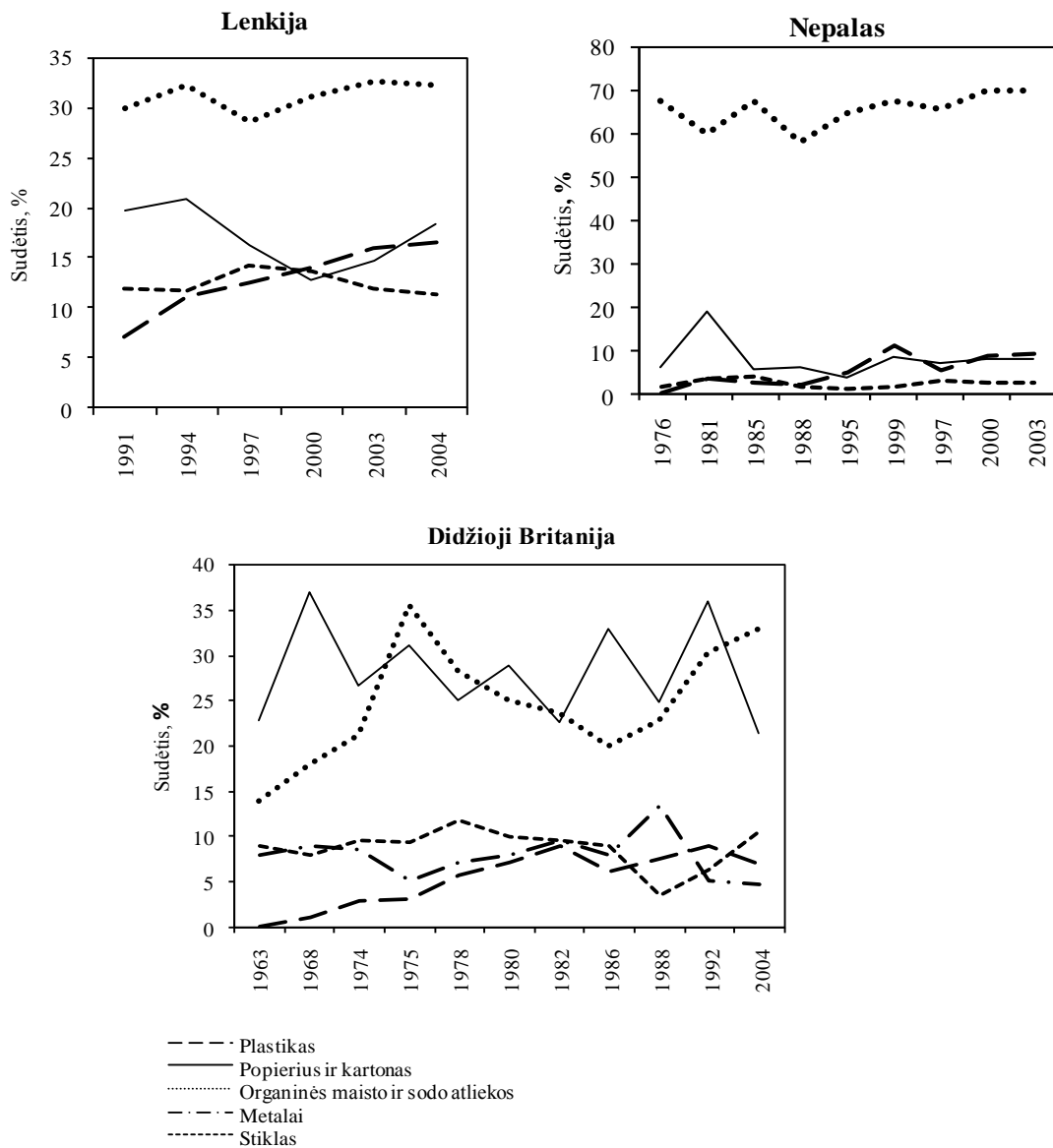
1 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekis Europoje 1980-2012 metais
(Sudaryta pagal OECD duomenis)

Tačiau reikia pastebėti, kad komunalines atliekas sudaro net tik atliekos iš namų ūkių, bet ir kitos atliekos savo pobūdžiu ir sudėtimi panašios į buitines. Dažniausiai jos susidaro tokiuose šaltiniuose, kaip įvairios įstaigos, verslo organizacijos ar parduotuvės (Beigl et. al., 2003).

Mišrios komunalinės atliekos atsižvelgiant į jų cheminę ir fizinę sudėtį yra labai įvairios. Dažniausiai jos yra skirstomos į šias atliekų frakcijas (Beigl et., al., 2003):

1. popierius ir kartonas: laikraščiai, žurnalai ir įvairios kartoninės pakuotės;
2. stiklas: stiklo tara, stiklo duženos;
3. metalai: metaliniai daiktai, metalo laužas;
4. plastikai ir kompozitai: polietileniniai maišai, indai, plastikinė tara ir kiti plastikai;
5. biologinės atliekos: atliekos, kurios susidaro buityje apdorojant maisto produktus, įvairios lupenos, daržovių, maisto ir sodo atliekos;
6. kitos nedegios atliekos: statybinis laužas, žemės;
7. kitos degios atliekos: medžio dirbiniai, tekstilė, oda.

Susidarantys mišrių komunalinių atliekų kiekiai ir sudėtis kinta nuolat (žr. 2 pav.). Jų kitimui daro įtaką įvairūs socialiniai ir ekonominiai faktoriai.



2 pav. Mišrių komunalinių atliekų sudėtis įvairiuose regionuose (Sudaryta pagal Boera, et. al., 2010; Burnley, 2007; Pokhrel et. al., 2005)

Situacija Lietuvoje

Lietuvoje kasmet susidaro daugiau negu vienas milijonas tonų mišrių komunalinių atliekų, kurias daugiausiai sudaro maisto gamybos atliekos, seni rūbai ir baldai, pakuotės, elektros įranga ir prietaisai, soduose ir daržuose susidaranti atliekos.

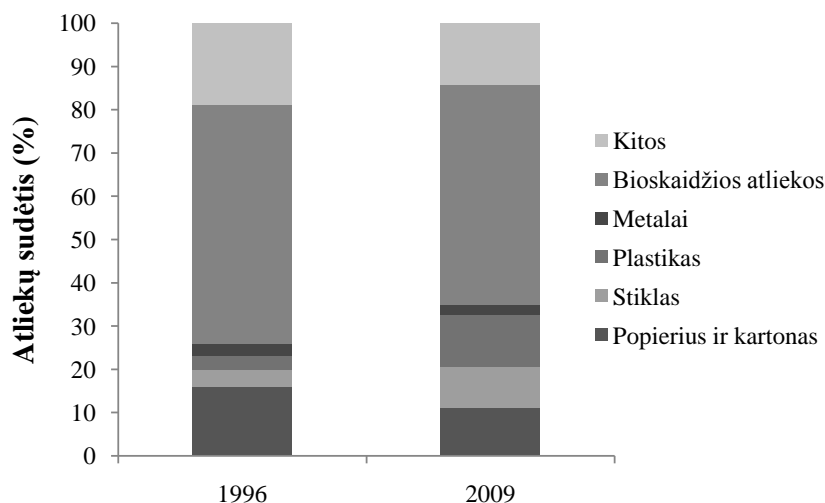
Išsamių duomenų apie mišrių komunalinių atliekų surinkimo ir tvarkymo raidą Lietuvoje iki Nepriklausomybės atkūrimo nėra. Tuo metu apskaitą vykdė komunalinės tarnybos, bet šių duomenų objektyviai vertinti negalima (Valavičienė, 2012). Tik keletas tyrimų buvo atlikta Kauno mieste. Detalesni atliekų sudėties tyrimai pradėti vykdyti kur kas vėliau.

Pagal Eurostat duomenis mišrių komunalinių atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui 1995-2012 metų laikotarpyje svyravo nuo 350-470 kg per metus (žr. 1 lentelę). Iki 2000 metų visos buitinės atliekos buvo šalinamos įvairaus dydžio sąvartynuose.

1 lentelė. Atliekų kiekiai Lietuvoje 1995-2012 m. (Sudaryta pagal Eurostat duomenis)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2006	2008	2011	2012
MKA susidarymas, kg/žm per metus	424	400	421	443	350	363	377	401	389	405	428	442	469
Sąvartyne šalinamas MKA kiekis, kg/žm per metus	424	400	421	443	350	344	335	322	333	370	387	341	361

Nuo 2002 metų Lietuvoje padidėjo antrinių žaliavų perdirbimas, dėl to sumažėjo mišrių komunalinių atliekų srautai į sąvartynus.



3 pav. Mišrių komunalinių atliekų sudėtis Kauno mieste 1996 ir 2009 metais (Sudaryta pagal Beigl et. al., 2003; KTU, 2010)

Lyginant Kauno miesto mišrių komunalinių atliekų sudėtį 1996 ir 2009 metais ženkliai skiriasi plastiko, popieriaus ir stiklo kiekiai bendrame atliekų sraute (žr. 3 pav.). Išaugusį plastiko kiekį galima paaiškinti tuo, kad paskutiniu metu plastiko vartojimas dėl jo gerų savybių išaugo net keletą

kartų. Atitinkamai jo kiekiai padidėjo ir atliekų srautuose. Dėl padidėjusio rūšiavimo ir vis didėjančio žmonių sąmoningumo popieriaus kiekis bendrame mišrių komunalinių atliekų sraute sumažėjo 5 procentiniais punktais.

1.2. Sąvartyne šalinamų atliekų poveikis aplinkai

1.2.1. Filtrato ir dujų susidarymas

Sąvartynas gali būti traktuojamas kaip biocheminis reaktorius, kuriame pagrindinės žaliavos yra atliekos ir vanduo, tuo tarpu produktas – biodujos ir filtratas. Šių produktų susidarymas susijęs su organinių medžiagų irimu (Machado et.al., 2008).

Organinių atliekų biodegradacija ir kiti fizikiniai-cheminiai procesai, vykstantys sąvartyno viduje per visą jo gyvavimo laikotarpį, daro įtaką atliekų savybių kitimui, kurie savo ruožtu daro svarbų poveikį viso sąvartyno veikimui (Machado et. al., 2008).

Mišrių komunalinių atliekų skilimas sąvartynuose priklauso nuo atliekų savybių, drėgmės, maistinių medžiagų kiekio, pH, temperatūros, kuri daro įtaką bakterijų augimui, sąvartyno įrenginio (nuo dujų ir filtrato surinkimo sistemos buvimo) bei nuo to kaip atliekos tvarkomos pačiame sąvartyne t.y. koks atliekų tankinimo laipsnis, tarpinio izoliacinio sluoksnio tipas ir storis. (Tansel et. al., 2011). Į mišrių komunalinių atliekų sąvartynus patenkančias medžiagas pagal savo suirimo laipsnį galima suskirstyti į dvi grupes (Tchobanoglous et. al., 1993; Nammari, 2006):

1. greitai yrančios medžiagos. Irimo procesas trunka nuo 3 mėnesių iki 5 metų;
2. lėtai yrančios medžiagos. Irimo procesas gali užtrukti iki 50 metų arba ilgiau.

2 lentelė. Greitai ir lėtai skaidomos organinės medžiagos MKA sraute (Tchobanoglous et. al., 1993)

Atliekų frakcija	Greitai biodegruojančios	Lėtai biodegruojančios
Maisto atliekos	✓	
Laikraščiai	✓	
Kanceliarinis popierius	✓	
Kartonas	✓	
Plastikas ¹		
Tekstilė		✓
Guma ir oda		✓
Žaliosios atliekos	✓ ²	✓ ³
Mediena		✓

¹Paprastai plastikas laikomas ne bioskaidžiu.

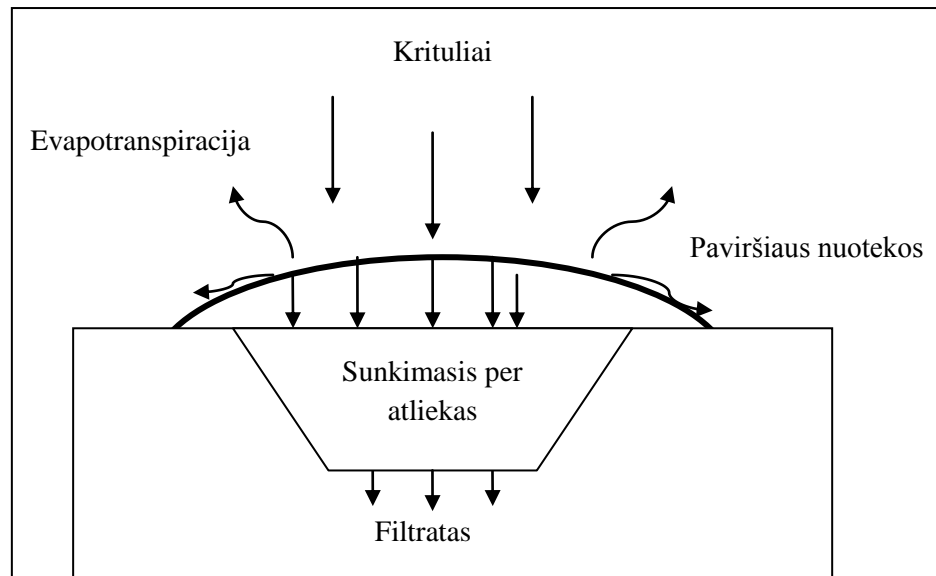
²Žolė ir lapai. Paprastai, 60 proc. žaliųjų atliekų laikomos greitai biodegruojamomis.

³Medienos dalis žaliosiose atliekose

Atliekų irimo greitis priklauso nuo jų sudėties ir savybių, vienos medžiagos biodegraduoja greičiau, kitos lėčiau (žr. 2 lentelę). Žinoma atliekų irimo greitis labai priklauso ir nuo sąlygų, esančių sąvartyno aplinkoje.

Sąvartyno filtratas

Dažniausiai filtratas susidaro iš skysčio, patekusio iš išorinių šaltinių, pavyzdžiui, paviršinio nuotėkio, lietaus ar požeminio vandens (žr. 4 pav.). Taip pat skystis gali susidaryti atliekų transformacijos procese (Kostova, 2006).



4 pav. Filtrato susidarymas (Adaptuota pagal Kostova, 2006)

Filtrato sudėtis gali būti labai įvairi, cheminių medžiagų kiekiai gali kisti plačiose ribose (žr. 3 lentelę). Filtrato sudėtis ir charakteristika priklauso nuo šalinamų atliekų rūšies, kritulių kiekio ir kitų klimato sąlygų, sąvartyno amžiaus, sąvartyno dangos ir konstrukcijos, atliekų sutankinimo laipsnio. Kuo atliekų tankinimo laipsnis didesnis, tuo filtracijos greitis yra mažesnis (Renou et. al., 2008).

Organinių medžiagų skilimas sąvartyne dažniausiai vyksta anaerobinėmis sąlygomis. Jauname mišrių komunalinių atliekų sąvartyne, talpinančiame daug organinių medžiagų, vyksta greitas bioskaidžių junginių skilimas, kurio metu kaip pagrindinis fermentacijos produktas susidaro lakiosios riebiosios rūgštys. Šis bioskaidžių junginių skilimo etapas vadinamas acidogenezės etapu (Renou et. al., 2008). Sąvartynui bręstant toliau seka metanogenezės etapas. Jo metu dėl metanų gaminančių, metanogeninių bakterijų veiklos iš lakiųjų riebalinių rūgščių susidaro biodujos. Tuo tarpu filtrate vyrauja humusinės ir fulvo rūgštys.

Sąvartyno filtrato sudėtis dažniausiai apibūdinama šiais pagrindiniais rodikliais: ChDS, BDS, BDS ir ChDS santykiu, pH, kietųjų dalelių, amonio azoto bei sunkiųjų metalų kiekiais (Renou et. al., 2008).

3 lentelė. Filtrato sudėtis (Renou et. al., 2008)

Sąvartyno amžius	Sąvartyno vieta	ChDS, mg/l	BDS, mg/l	BDS/ChDS	pH	Amonio azotas
Jaunas	Kanada	13800	9660	0,7	5,8	42
Jaunas	Kinija	15700	4200	0,27	7,7	2260
Jaunas	Italija	19900	4000	0,2	8	3917
Vidutinio amžiaus	Kanada	3210-9190	-	-	6,9-9,0	-
Vidutinio amžiaus	Vokietija	3180	1060	0,33	-	884
Vidutinio amžiaus	Graikija	5350	1050	0,2	7,9	-
Vidutinio amžiaus	Lenkija	1180	331	0,28	8	743
Senas	Estija	2170	800	0,37	11,5	-
Senas	Suomija	556	62	0,11	-	159
Senas	Prancuzija	500	7,1	0,01	7,5	430

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad sąvartyno amžius ir organinių atliekų stabilizacijos laipsnis turi reikšmingą poveikį filtrato savybėms. Jauname sąvartyne (<5 metų amžiaus) susidarantis filtratas būna daug labiau koncentruotas nei susidarantis sename sąvartyne. Pagal filtrato sudėtį (Pagal BDS₅ ir ChDS santykį) skiriamos trys sąvartyno amžiaus fazės (Staniškis, 2004):

- Rūgščioji – tai labiausiai užteršto filtrato susidarymo fazė (BDS₅ ir ChDS santykio reikšmė yra 0,4 ir daugiau);
- Pereinamoji (0,2 < BDS₅/ChDS < 0,4);
- Metanogeninė (BDS₅ ir ChDS santykio reikšmė yra 0,2) – paprastai seniai veikiančių sąvartynų filtrato susidarymo fazė.

Sąvartyno dujos

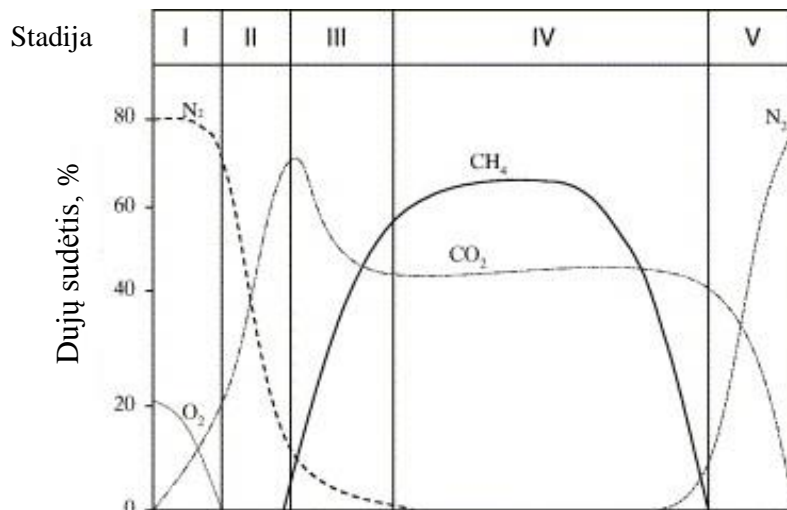
Kaip jau buvo minėta anksčiau sąvartyno dujos susidaro mikroorganizmams skaidant įvairias organines medžiagas. Jų sudėtyje yra apie 99 proc. metano (CH₄) ir anglies dioksido (CO₂), o kitą dalį sudaro nedideli kiekiai, dažniausiai tik procento dalys, kitų cheminių junginių – anglies monoksido, vandenilio, azoto ir deguonies (žr. 4 lentelę).

4 lentelė. Sąvartyno dujų sudėtis (Bove et. al., 2006)

Sudedamoji dalis	Tipinės reikšmės JAV sąvartynuose	Anokos sąvartynas	Malagrotos sąvartynas
Metanas	40-50	52,2	58
Anglies dioksidas	35-50	38,1	41,38
Azotas	0-20	9,1	0,48
Deguonis	-	0,5-1	0,13
Sulfidai	200 ppm	138 ppm	-

Sąvartyno dujų formavimosi ciklą galima suskirstyti į stadijas (Bove et., al., 2003) (žr. 5 pav.):

- Pirmoje stadijoje biologiškai yrančias atliekas ardo aerobinės bakterijos, kurioms palankias sąlygas sudaro atliekų sluoksnio plyšiuose esantis oras ir su gruntu patekęs bakterijų užkratas. Šios stadijos trukmė būna gana trumpa ir priklauso nuo atliekų tankio ir apsauginio sluoksnio savybių.
- Deguonies kiekio mažėjimas sąvartyno viduje žymi anaerobinio skaidymo pradžia. Anaerobinė aplinka sąvartyne yra dominuojanti ir turinti reikšmingą įtaką biodujų susidarymui. Šioje stadijoje medžiagos yra hidrolizuojamos ir verčiamos į amino rūgštis, peptidus, stambiamolekulines riebalines rūgštis, glicerolį ir monosacharidus.
- Trečiojoje stadijoje acetogeninės bakterijos toliau skaido 2-osios stadijos metu susidariusius komponentus į lakias riebalines rūgštis, etanolį, vandenilį ir vandenį. Pirmosios trys organinės medžiagos skaidymo stadijos trunka nuo 3 mėnesių iki 2 metų.
- Ketvirtojoje stadijoje, veikiant metanogeninėms bakterijoms, iš pirmųjų biologinio skaidymo produktų (iš acto ir skruzdžių rūgščių, metanolio, vandenilio) susidaro metanas ir anglies dioksidas. Didžiausia sąvartyno dujų dalis susiformuoja šioje fazėje. Baigiantis organinėms medžiagoms, sulėtėja mikrobiologiniai procesai ir dujų gamyba.
- Penktoje stadijoje metano ir anglies dvideginio susidaro mažiau, o ertmės sąvartyno sluoksnyje palaipsniui užpildo aplinkos oras.



5 pav. Sąvartyno dujų formavimosi ciklai
(Bove et. al., 2006)

Sąvartyno dujų susidarymas ir sudėtis priklauso nuo sąvartyno amžiaus, atliekų sudėties ir struktūros, aplinkos sąlygų sąvartyne. Pavyzdžiui, kai hidrolizės procesas yra per lėtas ir mikroorganizmams trūksta būtinų maistinių medžiagų lengvai įsisavinamomis formomis, metano susidarymo procesas vyksta lėtai. Dėl sumažėjusio sąvartyno dujų susidarymo dažnai klaidingai interpretuojama, kad atliekos esančios sąvartyne yra stabilizuotos. Tačiau iš tikrųjų sąvartyne yra

reikšmingi organinių atliekų kiekiai, kurie ir toliau iš lėto skyla per įvairius transformacijos mechanizmus (Tansel et. al., 2011).

1.2.2. Poveikis aplinkai

Dėl atliekų šalinimo sąvartyne yra neigiamai veikiama mus supanti aplinka. Didžiausias poveikis aplinkai yra susijęs su sąvartyno dujų ir filtrato susidarymu, ypač senuose sąvartynuose, kuriuose nėra specialių inžinerinių priemonių šioms emisijoms kontroliuoti.

1. *Klimato šiltėjimas.* Su sąvartyno dujomis išmestas metanas yra oksiduojamas labai lėtai ir padidėjus koncentracijai yra pastebimas atmosferoje. Tai padidina infraraudonosios spinduliuotės nuo žemės paviršiaus atspindį ir sukelia temperatūros didėjimą. Metanas šiltnamio efektą skatina 21 kartą intensyviau negu anglies dvideginis (Christensen, 2011).

Sąvartynų metanas į aplinka patenka per atvirus sąvartynus, plyšius, esančius sąvartyno dangoje ar per technines angas. Tačiau, metanas gali būti oksiduojamas iki anglies dvideginio, pagal kurį jis praranda savo potencialą kaip šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Tai gali būti atliekama techniškai: surenkant ir sudeginant jas arba panaudojant elektros energijai.

2. *Stratosferos ozono sluoksnio plonėjimas.* Sąvartynų dujų sudėtyje yra chlorintų ir fluorintų angliavandenilių. Jie yra kilę daugiausiai iš tirpiklių, purškiklių, izoliacinių putų ir pan., ypač daug šių junginių yra senų produktų sudėtyje. Minėtieji junginiai yra labai lakūs ir stabilūs ore. Pasiekus stratosferą, chloro ir fluoro atomai atsipalaiduoja ir formuoja radikalus, ardančius ozono sluoksnį (Christensen, 2011).

3. *Paviršinio vandens tarša.* Pagrindiniai poveikiai: deguonies kiekio mažėjimas, pavojus užtrokšti žuvų jaunikliams, dugno floros ir faunos kaita (Christensen, 2011).

4. *Požeminio vandens tarša.* Filtrato susidarymas turi potencialią grėsmę požeminiams vandenims. Kai jis pasiekia sąvartyno dugną ar nepralaidų sluoksnį, esantį sąvartyno viduje, filtratas migruoja ir prasiskverbia pro sąvartyno pagrindą taip patekdamas į požeminius darinius. Filtratas pasižymi didele anglies dioksido koncentracija, kuris dėl savo didelio tirpumo yra reikšmingas požeminio vandens kokybei (El-Fadel et. al., 1997).

Lietuvos geologinė taryba 2006–2012 metais 212 sąvartynų teritorijose atliko ekogeologinius tyrimus, kurių metu ištirtas gruntas ir požeminis vanduo. Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad grunto tarša, viršijanti ribines vertes, nustatyta 28 sąvartynuose. Dažniausiai sąvartynų aplinkos gruntas teršiamas sunkiaisiais metalais – variu, cinku, nikeliu, švinu, chromu ir naftos produktais, rečiau gyvsidabriu ir kadmiu. Tuo tarpu tarša gruntiniame vandenyje nustatyta beveik pusėje tirtų sąvartynų. Tai dažniausiai tarša azoto junginiais ir chloridais, tačiau dažnai stebima tarša ir sunkiaisiais metalais, iš kurių vyrauja nikelis ir švinas, tuo tarpu neleistina tarša naftos produktais nustatoma retai (Arustienė J. et. al., 2011).

5. *Augmenijos pažeidimas.* Dažnai po sąvartynų uždarymo jų teritorijoje yra įrengiami parkai, golfo laukai ir pan. Tačiau augalija šiose vietovėse yra pažeista. Visų pirma šis poveikis susiję su deguonies trūkumu rizosferos dalyje. Sąvartyno dujos migruoja į viršų dėl koncentracijos ir slėgio gradiento, ir išsilaisvina į atmosferą per sąvartyno dangą. Šio proceso metu, deguonis yra pakeičiamas, ir augalų šaknys yra veikiamos metano ir anglies dioksido. Paviršiuje metanas mikroorganizmų yra konvertuojamas į anglies dioksidą ir vandenį. Proceso metu išsiskyrusi šiluma didina dirvožemio temperatūrą dėl ko kyla potenciali augalų „uždusimo“ galimybė. Be to sąvartyno dujose gali būti nedideli kiekiai toksinių junginių, kurie taip pat neigiamai veikia augaliją (El-Fadel et. al., 1997, Christensen 2011).

6. *Gaisro ir sprogimo pavojus.* Sąvartyno dujos, dėl savyje turinčio metano, yra sprogios ir degios. Dėl advekcijos ir difuzijos jos migruoja į sąvartyną supančią aplinką. Priklausomai nuo dirvožemio biodujos gali keliauti ilgus atstumus nuo sąvartyno. Metanas gali kauptis uždaroje patalpose, po rekultivuotų sąvartynų danga ir sudaryti sprogius mišinius su oru. Metano sprogimo intervalas yra 5-15 proc. esant atmosferiniam slėgiui ir aplinkos temperatūrai (Staniškis, 2004; Christensen, 2011).

7. *Pavojingos dujos.* Į atmosferą be pagrindinių sąvartynų dujų komponentų (CO_2 ir CH_4) išsiskiria kiti pavojingi junginiai. Daugiausiai tai įvairūs organiniai junginiai: benzenas, vinilchloridas (El-Fadel et. al., 1997, Christensen 2011).

8. *Nemalonų kvapų susidarymas.* Kvapai susidaro dėl sąvartyno dujose esamų esterių, vandenilio sulfido, alkilbenzenų ir kitų angliavandenilių. Priklausomai nuo dujų sudėties gali vyrėti nuo švelnių iki aštrių ir erzinančių kvapų. Dujose esančių junginių koncentracija priklauso nuo atliekų sudėties ir amžiaus, atliekų biodegradacijos etapo, gyvenančių mikroorganizmų bei kitų veiksnių. Kaip toli nemalonūs kvapai sklinda nuo sąvartyno ribų priklauso nuo meteorologinių sąlygų (El-Fadel et. al., 1997, Christensen 2011).

9. *Triukšmas.* Triukšmas kyla dėl įvairios veiklos sąvartyno aplinkoje. Pagrindiniai triukšmo šaltiniai - sunkvežimiai, keliaujantys pirmyn ir atgal, atliekų šalinimas iš sunkvežimių, kompaktoriai ir kita technika bei mintantys paukščiai (El-Fadel et. al., 1997, Christensen 2011).

10. *Paukščiai, graužikai, vabzdžiai.* Sąvartynai, ypač priimantys didelius kiekius organinių atliekų, privilioja gyvūnus, kurie gali platinti infekcijas, bei sudaro sąlygas daugintis patogeniniams mikroorganizmams. Daugėja paukščių, kurie minta sąvartyne esančiomis atliekomis. Paukščiai, ypač žuvėdros, kelia triukšmą bei pavojų lėktuvams (Staniškis, 2004; Christensen, 2011).

11. *Šiuokšlės ir dulkės.* Vėjo pučiamos šiuokšlės ir dulkės gali būti paskleidžiamos gretimose teritorijose. Dulkės taip pat gali kelti taršos problemą, jei jos kyla iš pelenų ar tvarkant užterštą dirvožemį (Christensen, 2011).

Dauguma galimų poveikių yra gana vietiniai, t.y. per kelis kilometrus nuo sąvartyno. Tačiau du poveikiai – visuotinis atšilimas ir stratosferos ozono plonėjimas – yra pasaulinio pobūdžio ir neturi geografinio ryšio su tikrąją sąvartyno vieta.

1.3. Sąvartynų kasyba

1.3.1. Sąvartynų kasyba – naujas atliekų tvarkymo prioritetas

Integruotas išteklių atkūrimas iš sąvartynų yra tema, kuri įgauna vis daugiau dėmesio. Vis daugiau apie tai kalbama, daugėja atliekamų tyrimų skaičius. Tą puikiai parodo esamų straipsnių gausa.

Iš esmės sąvartynų kasyba gali būti padalinta į dvi pagrindines kategorijas. Pirmiausia, sąvartynų kasyba susijusi su medžiagų atgavimu nekasinėjant pašalintų atliekų (*in-situ*). Ši kasyba apima metano išgavimą ir jo panaudojimą energetiniams tikslams. Ir antroji (*ex-situ*), kurios metu medžiagos atgaunamos iš dalies arba pilnai iškasus jame esančias medžiagas (Jones et. al., 2013).

Sąvartynų kasyba ir žemės regeneravimas yra potencialūs metodai į sąvartyną išmestų atliekų tvarkymui. Tradiciškai sąvartynų kasyba yra apibrėžiama kaip atliekų kasyba ir jų apdorojimas iš uždarytų arba aktyvių sąvartynų (Hogland et. al., 2004). Sąvartynų kasyba apima šiuos procesus: kasybą, sijojimą, medžiagų klasifikavimą į dirvožemį, antrines žaliavas, pavojingas medžiagas ir t.t. (Cossu et. al., 2012).

Antras svarbus faktorius dėl ko paskutiniu metu plačiai paplito sąvartynų kasybos projektai – trūkstantų medžiagų atgavimas. Apskaičiavimai rodo, kad visoje Europos Sąjungoje yra tarp 150.000 ir 500.000 istorinių ir vis dar aktyvių sąvartynų (Jones et. al., 2013), kurie gali duoti didelį srautą antrinių žaliavų ir energijos. Taigi tikėtina, kad ateityje dėl neatsinaujinančių išteklių trūkumo sąvartynų kasyba bus vienas iš pagrindinių svarstytinų klausimų.

Literatūroje yra išskiriami šie sąvartynų kasybos privalumai (Cossu et. al., 2012):

1. *Perdirbamų ir tinkamų vėl naudoti išteklių atgavimas.*
2. *Sąvartyno eksploatacijos prailginimas.* Sąvartynų kasybos metu atgaunama dalis atliekų, dėl to sumažėja likęs atliekų kiekis ir padidėja sąvartyno gyvavimo trukmė bei atsiranda galimybė įrengti pažangius sąvartynų įrenginius su filtrato bei dujų surinkimo sistemomis.
3. *Išsiskiriančios taršos mažinimas.* Pilnas esamo atliekų tūrio iškasimas ir užterštų teritorijų išvalymas visiškai išspręstą taršos problemą sąvartyno teritorijoje.
4. *Teritorijos alternatyviai veiklai atgavimas.* Senieji sąvartynai dažnai yra įkurti teritorijose, kurios trukdo miesto plėtrai. Sėkmingas teritorijų pertvarkymas gali būti vykdomas po sąvartynų kasybos.

Pasak prof. W. Hoglando ir kitų mokslininkų, medžiagų atgavimo požiūriu, komunalinių atliekų sąvartynų kasyba daugelyje Europos sąjungos šalių turėtų vykti sąvartynuose, įrengtuose 1960-1995 m., nes po šio laikotarpio daugelis ES šalių įvedė perdirbimo programas. Taip pat pažymima, kad sąvartynų, kuriuose gausu pramoninių atliekų, kasyba yra priimtinesnė, nes juose esančios medžiagos gali būti labiau vertingos (Ford et. al., 2013).

Šiuo metu yra plėtojama nauja, su aiškiu išteklių atkūrimu, sustiprintos sąvartynų kasybos (Enhanced LFM) koncepcija. Sustiprinta sąvartynų kasyba – tai aplinkai ir žmogui saugi sąvartynų kasyba, kurios pagrindinis tikslas atgauti energiją ir medžiagas, naudojant novatoriškas technologijas ir laikantis griežtų socialinių ir ekologinių kriterijų (Jones et. al., 2013).

Sąvartynų kasybos projektas

Sąvartynų kasynos projektas susideda iš keleto etapų: tyrinėjimo, sąvartyno aeracijos, kasybos, iškastų medžiagų apdorojimo ir sąvartyno teritorijos sutvarkymo (Jacobs, 2008).

Pirmojo etapo metu turi būti įvertina sąvartyno eksploatacijos trukmė, pašalintų atliekų sudėtis. Literatūros šaltiniuose sąvartyne pašalintų atliekų sudėtis minima kaip labai svarbus faktorius lemiantis sąvartynų kasybos projektus (Ford et. al., 2013; Hogland et. al., 2004). Neveltui sąvartynų kasybos tematikoje, daugiausiai dėmesio skiriama deponuotų atliekų sudėčiai iširti. Šiuo klausimu yra atlikta nemažai tyrimų įvairiuose regionuose (Kaartinenet. et. al., 2013; Chantouet. al., 2013; Hogland et. al., 2004).

Tradiciškai mišrių komunalinių atliekų sąvartynus sudaro 50-60 proc. dirvožemio tipo medžiaga (dengiamoji medžiaga ir suirusios bioskaidžios medžiagos), 20-30 proc. – degios medžiagos (plastikas, tekstilė, popierius, mediena), 10 proc. įvairių inertinių medžiagų (akmenys, stiklas) ir keletas procentų metalų (Krook et. al., 2012). Tačiau kiekvienu atveju reikalingi konkretūs tyrimai, t.y. turi būti atlikti bandomieji gręžiniai, nes nežinant pašalintų atliekų sudėties, sąvartynų kasybos projektas gali būti rizikingas. Atliekant bandomuosius gręžinius, rekomenduojama kad šie būtų nuo 50x50 m iki 100x100 m dydžio, ir kaip galima gilesni, geriausia iki pat sąvartyno dugno (Jacobs, 2008).

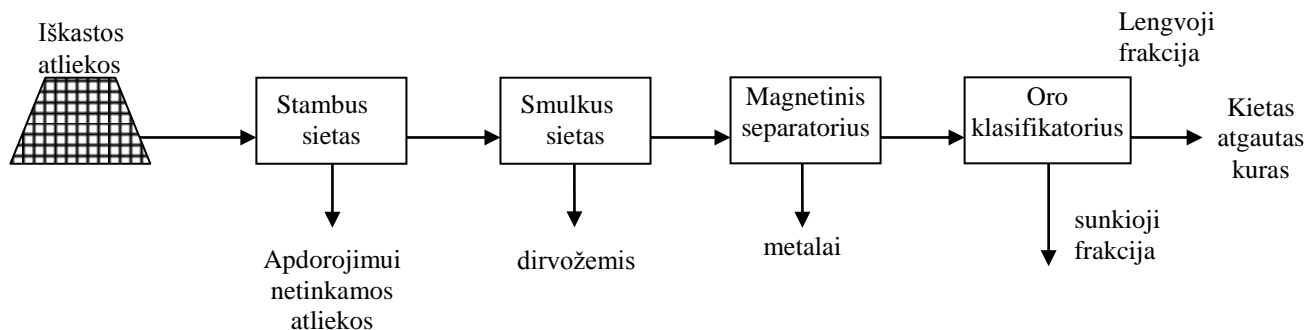
Taip pat pirmojo etapo metu turi būti ištyrinėjamas sąvartyno paviršius, įvertinamas biodujų susidarymo intensyvumas bei atlikti biodujų sudėties matavimai, stengiantis nustatyti „karštuosius taškus“.

Antrajame etape vykdoma sąvartyno aeracija. Jos esmė – anaerobines bakterijas kaip galima greičiau paveikti deguonimi, siekiant jas sunaikinti ir pasiekti, kad sąvartyno viduje prasidėtų aerobiniai procesai.

Atlikus parengiamuosius darbus vykdoma sąvartynų kasyba. Sąvartynų kasybos technologijos yra antra tema, kuri plačiai nagrinėjama straipsniuose. Sąvartynų kasybos metu yra naudojama

įprastinė technika kaip ir atliekų tvarkyme t.y. sietai, magnetiniai separatoriai, įvairūs klasifikatoriai ir t.t. (Cossu et. al., 2012).

Supaprastina sąvartynų kasybos ir atliekų apdorojimo schema pavaizduota 6 paveiksle.



6 pav. Sąvartynų kasybos operacijų supaprastinta schema (Cossu et. al., 2012)

Priklausomai nuo pasirinkto iškastų atliekų rūšiavimo metodo, gali būti atgautos šios medžiagos:

- Frakcija, susidedanti iš popieriaus, kartono, plastiko, medienos ir tekstilės, kuri gali būti panaudojama energijai išgauti. Šie komponentai randami stambioje frakcijoje, ir gali būti lengvai atskirti nuo kitų frakcijų naudojant sietą, kurio akučių skersmuo 40-50 mm.
- Aukščiau minėta frakcija yra charakterizuojama aukšto kaloringumo verte, kuri svyruoja nuo 7-8 MJ/kg iki 11 MJ/kg ir leidžia šią frakciją naudoti energijai išgauti be papildomo kuro.
- Metalai, ypač spalvotieji, kurie gali būti perdirbami. Iš metalų daugiausiai galima rasti geležies, aliuminio ir cinko, tačiau šie metalai yra pasiskirstę visame atliekų tūryje. Retieji žemės elementai atliekose gali būti randami mažomis koncentracijomis. Tokių retųjų metalų kaip praeodimis (Pr), neodimis (Nd), gadolinis (Gd), kurie naudojami elektros prietaisuose, galima aptikti didesnėmis koncentracijomis (Munnich et. al., 2013).
- Smulki frakcija su organinėmis medžiagomis. Šios frakcijos panaudojimas yra problematinis, ypač žemės ūkyje kaip trąšos. Tai susiję su tuo, kad negali būti užtikrinta tinkama komposto, gauto iš sąvartyno kasybos, kokybė. Ši iškasta dalis gali būti panaudojama statyti pylimus sąvartyno teritorijose, ar paprasčiausiai užpildyti žemės įdubimus.
- Smulki frakcija gali būti apdorojama drėgnuoju mechaniniu būdu, kuris susideda iš dviejų fazių: pirmojoje plovimo fazėje, sunkios inertinės medžiagos atskiriamos nuo plūduriuojančios frakcijos (plastiko, medienos); antrame etape iš gautos suspensijos

atskiriama smulki inertinė frakcija bei dumblas, kuriame organinių medžiagų yra daugiau negu neapdorotoje smulkiroje frakcijoje.

- Inertinė frakcija, kurią paprastai sudaro akmenys ir stiklas. Stiklo atskyrimas nuo kitų inertinių medžiagų gali būti vykdomas atliekant apiplovimą ir kombinuotą skaldymą bei smulkinimą, atskiriant gautą dalį per smulkių akučių sietą.
- Likutinė frakcija, kurią reikia pašalinti sąvartyne. Sąvartynai, kuriuose šalinamos likusios frakcijos ar smulki inertinė frakcija, pasižymi atliekų tvarkymo paprastumu ir mažu išmetamų teršalų kiekiu.

Nors sąvartynų kasybos projektai laikomi gera strategija, kurios metu sprendžiama ne tik atliekų „padėjimo“ problema, bet ir atgaunamos perdirbimui tinkamos medžiagos, išvalomos užterštos sąvartynų teritorijos, tačiau sąvartynų kasybos metu susiduriama su nemažais iššūkiais. Visų pirma kaip tiksliai įvertinti pašalintų atliekų sudėtį, kadangi paimti reprezentatyvius mėginius yra nelengva užduotis, nes atliekų sudėtis, jų dydis bei jų pasiskirstymas erdvėje yra heterogeninis (Hogland et. al., 2012). Antra, turi būti numatyta kaip bus tvarkomas lietaus vanduo bei susidaręs filtratas, ypač potvynių metu. Trečia, turi būti numatytos priemonės, kuriomis bus siekiama apsaugoti darbuotojų sveikatą ir kontroliuoti emisijas į aplinką.

1.3.2. Sąvartynų kasybos praktika užsienio šalyse

Sąvartynų kasyba nėra visiškai nauja strategija kaip gali pasirodyti iš pirmo žvilgsnio. Apie sąvartynų kasybos projektus buvo pradėta kalbėti daugiau nei prieš 60 metų. Pirmasis sąvartynų kasybos projektas buvo įgyvendintas 1953 metais Izraelyje, kaip metodas siekiant pagerinti dirvos kokybę soduose (Krook et. al., 2012; Ford et.al.,2013).

Apie sąvartynų kasybos projektus Jungtinėse Amerikos valstijose pradėta kalbėti 1980 m. JAV sąvartynų kasyba buvo vykdoma siekiant atgauti kurą ir jį panaudoti energijos gamybos tikslais (Hogland et. al., 2004). Pirmasis dokumentuotas projektas buvo vykdomas Floridoje 1986-1992 metais. Nuo 1990 m. dar didesnę susidomėjimą sąvartynų kasyba lėmė griežtesni aplinkos apsaugos teisės aktai, įvesti reikalavimai dėl sąvartyno priežiūros ir monitoringo po jo uždarymo. Tuo metu vis dar atliekų šalinimas sąvartyne buvo dažniausiai taikomas metodas. Tam reikėjo naujų sąvartynų, tačiau visuomenė jų įdiegimui stipriai priešinosi. Sąvartynuose šalinamų medžiagų kasimas, perdirbimas, apdorojimas ir utilizavimas atsirado kaip perspektyvi strategija išspręsti plotų, reikalingų sąvartynams, klausimą bei sumažinti ar atidėti išlaidas, susijusias su sąvartyno galutiniu uždarymu ir jo stebėseną (Krook et. al., 2012, Spencer 1991). 1997 metais JAV ir Kanadoje apie 40 sąvartynų kasybos projektų buvo įgyvendinama skirtingose stadijose (Hogland et. al., 2004).

Bandomieji sąvartynų kasybos tyrimai buvo atliekami ir Europoje: Anglijoje, Italijoje, Švedijoje ir Vokietijoje (Hogland et. al., 2004). Pirmasis sąvartynų kasybos projektas Europoje

įvykdytas 1993 m. Burghof sąvartyne Vokietijoje (Hogland et. al., 2004). Šioje šalyje jų buvo vykdyta ir daugiau. Didžiausią patirtį sąvartynų kasybos srityje yra sukaupę Švedijos mokslininkai. Pirmieji tyrimai prasidėjo 1994 m. Helsinborge Pietų Švedijoje. Intensyvūs sąvartynų kasybos tyrimai šioje šalyje vyksta iki šiol (Frandegard et. al., 2013; Krook et. al., 2012; Hogland et. al., 2012).

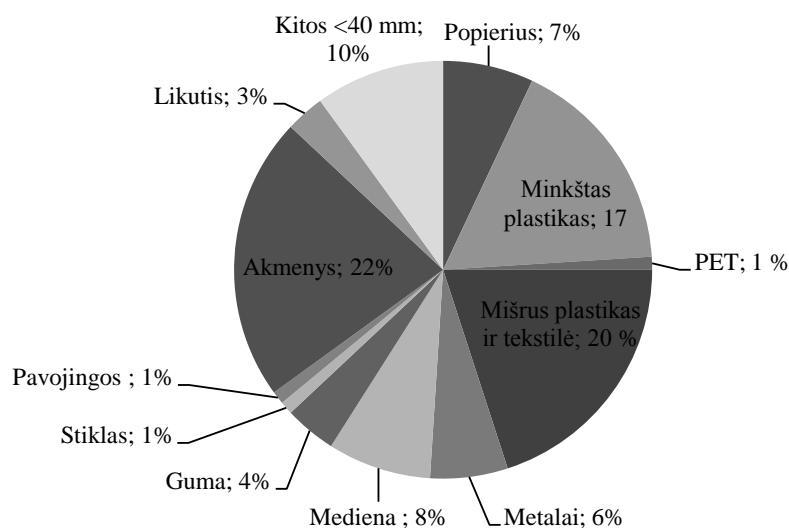
Apie 2000 metus mokslinių tyrimų intensyvumas sąvartynų kasybos tema staigiai sumažėjo. Tokią tendenciją galėjo lemti keletas priežasčių: ekonomikos nuosmukis, dėl atliekų tvarkymo bei rūšiavimo programų sumažėjęs žemės plotų, reikalingų sąvartynams įdiegti, poreikis (Krook et.al., 2012).

Per pastaruosius dešimtmečius sąvartynų kasybos tikslai pasikeitė. Praeityje vykdyti sąvartynų kasybos projektai daugiausiai dėmesio skyrė užterštų teritorijų regeneravimui. Atliekų frakcijų atskyrimas buvo vykdomas retai.

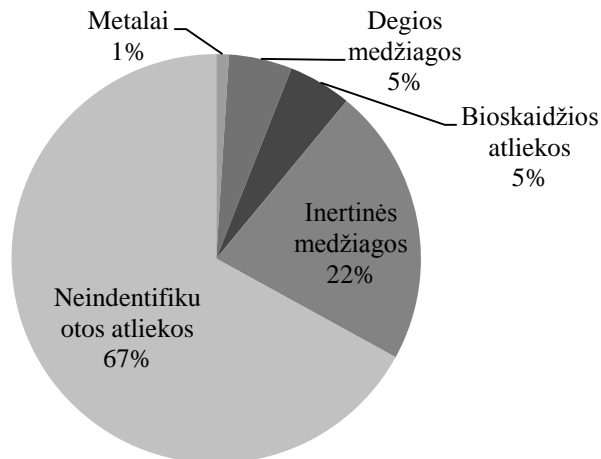
Estijos patirtis

Sėkminga patirtimi sąvartynų kasybos srityje gali pasidalinti Estijos mokslininkai, kurie kasinėjo Kudjape sąvartyną, esantį Saremo saloje. Sąvartynas buvo eksploatuojamas nuo 1970 iki 2009 metų.

Vykdydami sąvartyno kasybą, mokslininkai siekė sumažinti sąvartyno užimamą plotą, gauti medžiagas, tinkančias sąvartyno uždengimui, pašalinti pavojingas atliekas bei išgauti energiją iš plastiko atliekų (Kriipsalu, 2014). Kasybos metu iš sąvartyno buvo iškasta 12 tonų atliekų, jos buvo prasijotos pro sietą, kurio akučių skersmuo 40 mm (Kriipsalu, 2014). Iškastų atliekų sudėtis pateikta 7 ir 8 paveiksluose.



7 pav. Stambios frakcijos sudėtis (Sudaryta pagal Kriipsalu, 2014)



8 pav. Smulkios frakcijos sudėtis (Sudaryta pagal M. Kriipsalu, 2014)

Dėl drėgno Estijos klimato iškastų atliekų drėgnumas siekė 40,3 procentus. Siekiant sumažinti šį procentą, atliekos buvo išplautos ir išdžiovintos. Tokiu būdu jų drėgnumas sumažintas iki 1,9 proc., o kaloringumas nuo 9,6 MJ/kg padidėjo iki 27 MJ/kg (Kriipsalu, 2014).

Ankstesniame skyriuje buvo minėta, kad iškastos atliekos gali būti naudojamos medžiagoms arba energijai atgauti. Estijos atveju iš dalies atliekų buvo pagamintas kietas atgautas kuras, o atgautas plastikas perdirbtas ir panaudotas gaminant naujus produktus – įvairias plokštes, lentas, lauko dangas ir barjerus. Svarbu paminėti, jog be atgautos energijos ir medžiagų, matoma akivaizdi ir socialinė nauda (žr. 9 pav.), t.y. patenkinami socialiniai poreikiai – sutvarkytoje sąvartyno teritorijoje įrengtas visuomeninis parkas (Kriipsalu, 2014).



9 pav. Uždarytas Kudjape sąvartynas

1.4. Kietų atliekų būvio ciklo vertinimas

Būvio ciklo vertinimas yra aplinkos apsaugos vadybos priemonė, įvertinanti produktų, procesų ar kitų veiklų naštą aplinkai, kuri susijusi su energijos, gamtinių medžiagų sunaudojimu, emisijų išsiskyrimu bei atliekų susidarymu (Zbicki et. al., 2006). Vertinimas apima visą produkto ar proceso

gyvavimo laikotarpį, apimančią gamybą, transportavimą, naudojimą, perdirbimą ir galutinį šalinimą. Kitaip tariant vertinamas produktų ar procesų poveikis aplinkai nuo „lopšio iki karsto“ (Zbicinski et.al., 2006, White et. al., 1995).

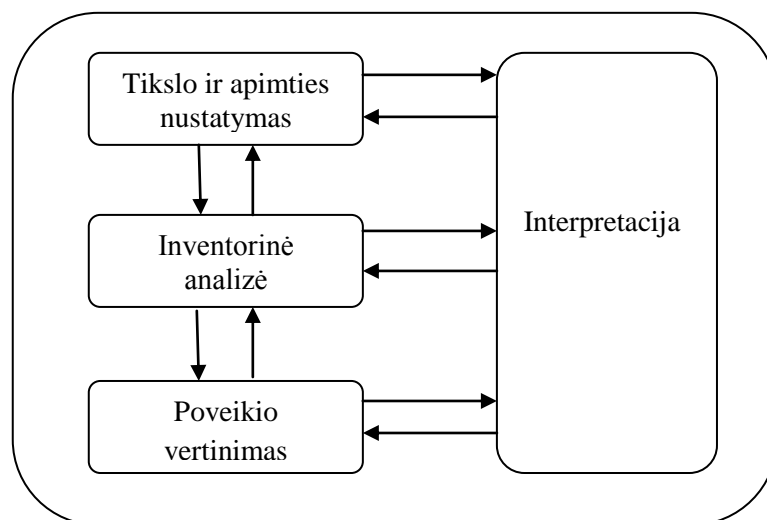
Minėtoji aplinkosauginė analizė tapo aktuali 1980-ųjų metų pradžioje, kuomet vartotojai pradėjo reikalauti informacijos apie aplinkos padarinius, kylančius dėl jų vartojimo (Christensen, 2011).

Paskutiniame dešimtmetyje, būvio ciklo vertinimas pradėtas plačiai taikyti atliekų tvarkymo sistemoje, suteikiant naują požiūrį į aplinkosauginius aspektus, nagrinėjant atliekų tvarkymo problemas. Produkto būvio ciklo vertinimo metu įprastai didžiausias dėmesys sutelkiamas ties produkto gamyba ir jo naudojimu, o produktui tapus atlieka, jo tolimesnis tvarkymas nėra vertinimas t.y. produkto kaip atliekos tvarkymas yra pašalinamas iš būvio ciklo vertinimo sistemos. Tuo tarpu kalbant apie atliekų tvarkymo būvio ciklo vertinimą, pirmiausia dėmesys sutelkiamas į produkto „gyvavimo“ pabaigą (Christensen, 2011).

Būvio ciklo vertinimo principai

Pagal būvio ciklo vertinimo standartą ISO 14040:2007, būvio ciklo vertinimas susideda iš keturių etapų (žr. 10 pav.):

- **Tikslo ir apimties nustatymo:** apibrėžiami tyrimo parametrai.
- **Inventorinės analizės:** išanalizuojami visi įeinantys ir išeinantys srautai.
- **Poveikio aplinkai vertinimo:** naudojant inventorinės analizės rezultatus įvertinamas produkto/proceso poveikis aplinkai ir išteklių naudojimui.
- **Interpretacijos:** atsižvelgiant į tyrimo tikslą ir apimtį analizuojamas poveikis aplinkai bei išteklių suvartojimui, taip pat atliekama pagrindinių vertinimo elementų jautrumo analizė.



10 pav. Būvio ciklo vertinimo sistema (ISO 14040, 2007)

Tikslo ir apimties nustatymas

Produkto/proceso ar atliekų tvarkymo būvio ciklo vertinimo pradžioje turi būti aiškiai ir tiksliai apibrėžtas tyrimo tikslas ir jo apimtis. Nustatant tikslą turi būti atsakyta į keletą klausimų. Kodėl turi būti atliktas tyrimas? Kur bus naudojami galutiniai būvio ciklo vertinimo rezultatai? Ką jais norime pasiekti? (Zbicinski et. al, 2006).

Atliekų tvarkymo kontekste būvio vertinimo ciklo tikslas gali būti – nustatyti konkretų poveikį aplinkai, kylantį iš atliekų tvarkymo technologijų ir naudojant gautus rezultatus pagerinti atliekų tvarkymo metodus. Pavyzdžiui, įvertinti teigiamą ir neigiamą poveikį aplinkai pakuočių tvarkymo sistemoje (Ferreira et. al., 2014). Dažnai išsikeliamas tikslas yra palyginti dvi ar daugiau alternatyvas, pavyzdžiui palyginti du labiausiai paplitusius organinių atliekų tvarkymo metodus Italijoje (Buratti et. al., 2015).

Apimties nustatymo fazėje turi būti aiškiai apibrėžtos sistemos ribos ir nusistatytas tikslus funkcinis vienetas. Pagal ISO 14040, funkcinis vienetas yra produkto ar sistemos kiekybinė charakteristika skirta naudoti kaip palyginamąjį vienetą. Atliekant atliekų tvarkymo sistemos būvio ciklo vertinimą, funkciniam vienete turi būti apibrėžta tvarkomų atliekų kiekis, atliekų sudėtis, atliekų tvarkymo paslaugų trukmė, atliekų tvarkymo sistemos kokybė (Christensen, 2011). Pavyzdžiui, vertinant sąvartyne pašalintų atliekų poveikį aplinkai, kaip funkcinis vienetas pasirinktas – 1 tona drėgnų žinomos sudėties mišrių komunalinių atliekų, pašalintų sąvartyne 10 metrų gylyje (Manfredi etl. al., 2009).

Sistemos ribos laikomos tai pat svarbiu kriterijumi, nagrinėjat būvio ciklą, jų apibrėžimas gali drastiškai paveikti galutinius rezultatus (Gentil et. al., 2010). Labai svarbu tiksliai detalizuoti atliekų tvarkymo sistemą, Atliekų tvarkymo sistema įprastai apima atliekų surinkimą, rūšiavimą, perdirbimą ir šalinimą. Šioje dalyje turi būti nustatomos ribos tarp atliekų tvarkymo sistemos ir aplinkos (Christensen, 2011).

Inventorinė analizė

Sekantis žingsnis po atliekų tvarkymo sistemos apibrėžimo – inventorinė analizė. Inventorinių duomenų rinkimas susijęs su skirtingų procesų įvesties ir išvesties duomenimis, kurie yra renkami pasirinktam tyrimo funkciniam vienetei (ISO 14040, 2007). Šioje dalyje turi būti nustatomos į sistemą patenkančios medžiagos, jų sudėtis ir žinoma iš sistemos išeinantys srautai, emisijos į vandenį, orą ar dirvožemį.

Poveikio vertinimas

Būvio ciklo analizės trečiojo etapo metu yra vertinamas poveikis aplinkai. Dažniausiai yra analizuojamos šios poveikio aplinkai kategorijos (White et. al., 1995; Zbicinski et al., 2006):

- Visuotinis poveikis:

- išteklių suvartojamas: neatsinaujinančių (nafta, gamtinės dujos, geležis, aliuminis), atsinaujinančių (miškų ir žemės ūkio biomasė, požeminis ir gėlas vanduo);
- globalinis atšilimas;
- ozono sluoksnio plonėjimas;
- Regioninis poveikis:
 - toksiškumas žmogui;
 - ekotoksiškumas;
 - fotocheminė oksidacija;
 - rūgštėjimas;
 - eutrofikacija;
- Vietinis poveikis:
 - žemės naudojimas;
 - kita (kvapai, triukšmas, radiacija).

Yra bandymų įtraukti socialinius-ekonominius ir etninius aspektus, tačiau dažniausiai būvio ciklo vertinime nagrinėjamas tik tiesioginis poveikis aplinkai ir išteklių suvartojimui (Christensen, 2011).

Sąvartynų būvio ciklo vertinimas

Aplinkosauginiai aspektai susiję su sąvartynais ir jų keliamomis grėsmėmis turbūt yra labiausiai tyrinėjami iš visos atliekų tvarkymo sistemos. Nepaisant to, kad sąvartynų modeliavimas išlieka sudėtingu dėl netikrumo, kuris susijęs su išmetamų teršalų kiekiu per ilgą laiką. Emisijos iš daugelio atliekų tvarkymo procesų išsiskiria iškart, tuo tarpu šalinant atliekas sąvartyne, filtrato ir dujų susidarymas vyksta labai ilgą laiką, emisijos gali skirtis šimtus ar net tūkstančius metų (Kirkeby et. al., 2007; Christensen 2011), o tai apsunkina šių sistemų būvio ciklo vertinimą. Nepaisant minėtų apribojimų, vertinamas skirtingų sąvartyno tipų, ar sąvartynų su skirtingomis dujų ir filtrato tvarkymo sistemomis poveikis aplinkai (Mafredi et. al., 2009; Kirkeby et. al., 2007).

1.5. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Augant pragyvenimo lygiui bei pramonei neišvengiamai didėja ir mišrių komunalinių bei pramoninių atliekų srautai. 1980-2012 metų laikotarpiu vidutinis atliekų kiekis tenkantis vienam gyventojui Europoje padidėjo daugiau kaip 26 proc. Šiuo metu daugiausiai atliekų susidaro Danijoje, net 673 kg/žm per metus. Tuo tarpu Lietuvoje jų susidaro 1,4 karto mažiau - 469 kg/žm (Eurostat duomenimis).

Nepaisant to, kad šiuo metu stengiamasi sumažinti atliekų srautus į sąvartynus, visgi daugelyje šalių glūdi dideli plotai uždarytų arba vis dar veikiančių sąvartynų. Sąvartynai prisideda prie keletos

aplinkos problemų tokių kaip visuotinis atšilimas, rūgštėjimas, ekosistemos kokybės prastėjimas, paviršinio ir požemio vandens tarša, kurie daugiausiai susiję su metano emisijomis ir filtrato gamyba. Be tiesioginės aplinkos naštos, sąvartynai užima didelius žemės plotus, trukdo visuomenės ir ekosistemų vystymuisi.

Yra daugybė senų, nekontroliuojamų sąvartynų, kuriuose nebuvo imtasi jokių priemonių, sumažinančių emisijas į požeminį vandenį ar orą. Šiuos istorinius sąvartynus galime drąsiai vadinti ekologinėmis katastrofomis, kadangi poveikis aplinkai daromas iki šiol. Dideli užimami žemės plotai negali būti naudojami dėl galimo pavojaus sveikatai ir aplinkai. Susirūpinimas aplinkos tarša, žemės ir išteklių trūkumu lėmė susidomėjimą senais sąvartynais, jų kasyba.

Sąvartynų kasybos metu gali būti atgaunamas dirvožemis, antrinės žaliavos, bei sukuriama naujos vietos „ateities“ atliekomis. Taip pat vietoj senų sąvartynų gali būti įrengiami nauji, aplinkosauginius reikalavimus atitinkantys sąvartynai (Krook, 2012; Cossu, 2012). Be išvardintų privalumų gaunama ir ekonominė nauda, kuri yra susijusi su:

1. regeneruotos žemės vertės padidėjimu ir galimybe ją panaudoti kitiems tikslams;
2. padidėjusia sąvartyno eksploatacijos trukme, jei sąvartynas lieka aktyvus;
3. sumažėjusiomis sąvartyno uždarymo, priežiūros po uždarymo ir monitoringo išlaidomis;
4. pajamų gavimu iš perdirbamų ir pakartotinai panaudojamų medžiagų, pavyzdžiui, spalvotųjų metalų, aliuminio, plastiko, medienos, stiklo;

Teoriškai sąvartynų kasyba atrodo kaip labai perspektyvi strategija, galinti išspręsti minėtas problemas, tačiau, kad sąvartynų kasybos projektas būtų sėkmingas turi būti atsakyta į tokius klausimus kaip: koks kiekis perdirbamų ir pavojingų medžiagų yra sąvartyne? Kiek tų medžiagų gali būti atskirta ir kokios kokybės? Ar projektas įgyvendinamas ekonominiu ir aplinkosauginiu požiūriu? Ir kokie yra kritiniai sėkmės veiksniai? Prieš pradėdant sąvartynų kasybos projektus būtina atlikti išsamius išankstinius tyrimus, visų pirma, siekiant išsiaiškinti kas glūdi sąvartyno gilumoje. Turi būti įvertinta pašalintų atliekų sudėtis ir atliekų frakcijos, kurios gali būti išgautos (Cossu et. al., 2012).

Pasaulyje didėjant susidomėjimui aplinkosaugos problemomis, didelių projektų poveikio aplinkai vertinimas tampa svarbia dalimi. Būvio ciklo vertinimo metu įprastai sutelkiamas dėmesys išteklių suvartojimui, poveikiui žmogaus sveikatai ir mus supančiai aplinkai. Tai apima įvairias poveikio kategorijas nuo klimato kaitos, kuri susijusi su išsiskiriančiomis šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis iki poveikio žmogaus sveikatai, kurį sukelia išsiskiriančios toksinės medžiagos ir poveikiu aplinkai, kuris siejamas su fizikiniais pokyčiais.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Sąvartyno dujų emisijos pagal pirmo laipsnio kinetinę lygtį

2.1.1. Metodo pagrindai

Šis skaičiavimo metodas daro prielaidą, kad bioskaidžios organinės medžiagos (bioskaidi organinė anglis) lėtai yra per kelis dešimtmečius, susidarant metanui ir anglies dioksidui. Jei sąlygos yra pastovios, metano susidarymo greitis priklauso tik nuo anglies likučio, esančio atliekose. Todėl pirmaisiais metais po atliekų pašalinimo sąvartyne, susidarantis metano kiekis yra didžiausias, po to jis laipsniškai mažėja, nes atliekose mažėja anglies kiekis. Bioskaidžią organinę anglį suvartoja heterotrofinės bakterijos (IPPC, 2006).

Bioskaidžių medžiagų transformacija į anglies dioksidą ir metaną yra paremta keliomis grandininėmis ir lygiagrečiais vykstančiomis reakcijomis. Pilnas medžiagų skilimo modelis gali būti labai sudėtingas ir kompleksiškas, tačiau laboratoriniai ir lauko stebėjimo duomenys apie metano susidarymą, rodo, kad bendras skilimas gali būti nustatomas aproksimacijos būdu pagal pirmo laipsnio kinetiką. Pirmo laipsnio kinetinės lygties pagrindas – reakcijos greitis yra proporcingas vienos reaguojančios medžiagos koncentracijai.

Atitinkamai bioskaidžių medžiagų irimas vyksta pagal šią pirmo laipsnio kinetinę lygtį:

$$DDOC_m = DDOC_{m(0)} \cdot e^{-k \cdot t}$$

čia $DDOC_m$ – anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis po laiko t , tonomis; $DDOC_{m(0)}$ – pašalintas anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; k – pirmos eilės greičio konstanta; t – atliekų degradacijos laikotarpis sąvartyne.

2.1.2. Metano susidarymas ir emisijos

Per metus susidarantis metano potencialas gali būti apskaičiuotas remiantis pašalintų atliekų kiekiu ir sudėtimi, bei taikoma atliekų tvarkymo praktika sąvartyno vietoje. Skaičiavimo pagrindas yra – anaerobinėmis sąlygomis yrančios organinės anglies kiekis ($DDOC_m$).

$$DDOC_{m(0)} = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

čia $DDOC_{m(0)}$ – pašalintas anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; W – deponuotų atliekų kiekis, tonomis; DOC – bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; DOC_f – bioskaidžios anglies dalis, kuri gali suirti anaerobinėmis sąlygomis; MCF – metano korekcijos koeficientas.

Biodujomis virsta ši organinės anglies dalis. Atsižvelgiant į anksčiau aprašytas lygtis, suirusi bioskaidžios anglies dalis skaičiuojama:

$$DDOC_{msuirusi} = DDOC_{m(0)} \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

čia $DDOC_{msuirusi}$ – suiręs anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; $DDOC_{m(0)}$ – pašalintas anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; k – pirmos eilės greičio konstanta; t – atliekų degradacijos laikotarpis sąvartyne;

Biodujose esantis metanas apskaičiuojamas iš susidariusių sąvartyno dujų ir CH_4/C molekulinės masės santykio:

$$CH_{4(bendras)} = DDOC_{msuirusi} \cdot F \cdot 16/12$$

čia $CH_{4(bendras)}$ – metano kiekis susidaręs iš bioskaidžių medžiagų, tonomis; $DDOC_{msuirusi}$ – suiręs anaerobinėmis sąlygomis skylančios bioskaidžios organinės anglies kiekis, tonomis; F – metano dalis, susidariusiose biodujose; $16/12$ – molekulinės masės santykis (CH_4/C).

Metanas yra organinių medžiagų skilimo rezultatas, esant anaerobinėms sąlygom. Dalis susidariusio metano yra oksiduojama sąvartyno paviršiuje, arba gali būti panaudojama elektros energijai gaminti, ar tiesiog – sudeginama. Metano emisijos į aplinką yra žymiai mažesnės už susidariusį metaną. Sąvartyno metano emisijos už vienerius metus gali būti apskaičiuotos:

$$CH_{4emisijos} = [\sum_i CH_{4susidariusios, iT} - R_T] \cdot (1 - OX_T)$$

čia: $CH_{4emisijos}$ – į atmosferą patenkantis metano kiekis, tonomis; $CH_{4susidariusios}$ – iš frakcijos i susidariusios metano emisijos per tam tikrą laiką T , tonomis; R_T – atgautas metano kiekis per laiką T , tonomis; OX_T – oksidacijos faktorius.

Metanas naudojamas atgavimui turi būti atimtas iš bendro susidariusio metano kiekio. Sąvartyno paviršiuje oksiduojasi tik ta metano dalis, kuri yra nesurenkama ir nesudeginama.

2.1.3. Faktoriai ir parametrai

Bioskaidžios organinės anglies kiekis DOC

Vienas iš pagrindinių parametru, reikalingu susidarančio metano kiekio skaičiavimui, yra bioskaidžios organinės anglies kiekis (DOC), esantis pašalintose atliekose. Ji yra apskaičiuojama remiantis informacija apie pašalintus atliekų srautus t.y. kokios frakcijos sąvartyne buvo pašalintos. Skaidomos organinės anglies kiekis priklauso nuo atliekų frakcijos, t.y. kiekvienai frakcijai jis yra skirtingas. Apibrėžtos DOC vertės yra pateiktos 5 lentelėje.

5 lentelė. DOC vertės mišriose komunalinėse atliekose (IPPC, 2006)

Atliekų frakcija	Bioskaidi organinė anglis (% nuo drėgnos masės)
Popierius ir kartonas	36-45
Maisto atliekos	8-20
Tekstilė	20-40
Mediena	39-46
Žaliosios atliekos	18-22

Pirmos eilės greičio konstanta

Pagal šią metodiką yra galimybė įvertinti metano susidarymą skirtingiems geografiniams regionams, kadangi yra pateikti greičio skilimo koeficientai priklausomai nuo regionų (sausas ir karštas ar drėgnas ir karštas ir kt.). Jų vertės pateiktos 6 lentelėje.

6 lentelė. *k* reikšmės įvairioms klimato zonoms ir organinėms atliekų frakcijoms (IPCC, 2006)

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

Klimato zona apibrėžiama pagal 7 lentelėje pateiktus parametrus.

7 lentelė. Klimato zonų apibrėžimas (IPCC, 2006)

	MAT¹	MAP²	MAP/PET³
Sausa vidutinių platumų zona	0 - 20°C		<1
Drėgna vidutinių platumų zona	0 - 20°C		>1
Sausa tropikų zona	> 20°C	<1000 mm	
Drėgna tropikų zona	> 20°C	>1000 mm	

¹ MAT – vidutinė metinė temperatūra

² MAP – Vidutinis metinis kritulių kiekis

³ PET – potencialus išgaravimas

Metano korekcijos koeficientas

Atliekų šalinimo metodai skiriasi atliekų tvarkymu sąvartyno vietoje ir sąvartyno kontrole. Metano korekcijos koeficientas įvertina faktą, kad nekontroliuojami sąvartynai gamina mažiau metano, negu tie, kuriuose sudaromos anaerobinės sąlygos. Sąvartynuose, kuriuose atliekų deponavimas nėra gerai organizuotas, didžioji dalis bioskaidžių medžiagų suyra sąvartyno paviršiuje, kur vyrauja aerobinės sąlygos. Metano korekcijos koeficientai pagal atliekų šalinimo organizavimą sąvartyne nurodyti 8 lentelėje.

8 lentelė. MCF vertės pagal sąvartyno tipą (IPPC, 2006)

Sąvartyno tipas	MCF
Anaerobinis. Atliekų šalinimas sąvartyne yra gerai organizuotas: atliekos paskirstomos, išlyginamos ir sutankinamos, uždengiamos gruntu.	1.0
Pusiau aerobinis. Įvedamas oras į atliekų sluoksnį. Naudojama pralaidi dengiamoji medžiaga, yra įrengta filtrato drenažo sistema, dujų ventiliacinės sistemos.	0.5
Neorganizuotas – gilus (> 5 m atliekų) ir/arba didelė drėgmė.	0.8
Neorganizuotas – negilus (< 5 m atliekų).	0.4
Neapibrėžtas. Nepriskiriamas nė vienai iš aukščiau išvardintų kategorijų.	0.6

Oksidacijos faktorius (OX)

Oksidacijos faktorius atspindi metano kiekį, kuris yra oksiduojamas dirvožemyje ar kitoje atliekas dengiančioje medžiagoje.

Metano oksidacija vyksta dėl metaną vartojančių mikroorganizmų, esančių dirvožemio dengiamajame sluoksnyje, veiklos. Dirvožemio sluoksnio storis, fizikinės savybės bei drėgmė

tiesiogiai daro įtaką metano oksidacijai. Šis dydis gali kisti nuo nereikšmingų kelių iki šimto procentinių punktų.

Tyrimų metu nustatyta, kad sąvartynai, kuriuose atliekų šalinimas yra gerai organizuotas, pasižymi didesne oksidacija, nei tuose, kur darbas organizuotas prastai. Oksidacijos koeficientas vietose, kur dirvožemio sluoksnis storas ir prisotintas deguonies gali žymiai skirtis nuo vietų kur nėra jokios dangos arba kur metanas atsipalaiduoja per plyšius. Oksidacijos faktoriai pagal sąvartyno tipą pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Metano oksidacijos faktoriai pagal sąvartyno tipą (IPPC, 2006)

Sąvartyno tipas	OX
Kontroliuojamas, bet atliekos dengiamos medžiaga, kuri nėra prisotinta deguonies; nekontroliuojamas; neapibrėžtas	0
Kontroliuojamas dengiant atliekas metaną oksiduojančiomis medžiagomis, pvz. dirvožemis, kompostas	0.1

Metano atgavimas R

Sąvartyne susidaręs metanas gali būti deginamas fakele arba energiją gaminančiame įrenginyje. Jei atgautos dujos yra naudojamos energijai gaminti, tuomet emisijos, sukeliančios šiltnamio efektą, turi būti žymimos energetikos sektoriuje. Priklausomai nuo pasirinktos dujų technologijos, jų atgavimas gali svyruoti 10-80 proc. (Bove et. al., 2006).

2.1.4. Neapibrėžtumai

Vertinant metano emisijas iš sąvartynų galimi dviejų tipų neapibrėžtumai: 1) neapibrėžtumai priskiriami metodui; 2) neapibrėžtumai susiję su pasirinktais parametrais ir faktoriais.

Neapibrėžtumai priskiriami metodui

Modelio neapibrėžtumai gali būti padalinti į dvi dalis: neapibrėžtumai susiję su bendru metano kiekiu per visą sąvartyno laikotarpį ir neapibrėžtumai paskirstant šitą sumą per visą nagrinėjamą laikotarpį. Pirmasis neapibrėžtumas yra susijęs su pašalintų atliekų kiekiu ir sudėtimi, irimu ir metano korekcijos koeficientu.

Susidariusio metano pasiskirstymas per visą nagrinėjamą laikotarpį labai priklauso nuo konkrečios situacijos. Kai šalinamų atliekų kiekiai ir tvarkymo metodai laikui bėgant kinta labai lėtai, neapibrėžtumas susijęs su modeliu bus mažas. Bet jeigu atliekų kiekis ir sudėtis keičiasi žymiai tuomet klaidos modelyje yra svarbios.

Geriausias būdas įvertinti klaidas susijusias su modeliu konkrečiu atveju, atlikti jautrumo analizę keičiant k vertes per prisiimtus paklaidų intervalus arba naudojant Monte Carlo analizę.

Svarbu pažymėti tai, kad pirmo laipsnio metodas yra paprastas modelis pritaikytas sudėtingai sistemai. Anglies junginių skilimas iki CH₄ apima seriją sudėtingų cheminių reakcijų, kurios gali ne visuomet atitikti pirmos eilės skilimo reakciją. Vykstančios reakcijos priklauso nuo specifinių sąlygų sąvartyne. Tačiau visgi didžiausi neapibrėžtumai susiję su parametru pasirinkimu.

Neapibrėžtumai susiję su pasirinktais parametrais

Šie neapibrėžtumai susiję su kiekvienu pasirinktu parametru. Pirmiausia metano emisijų įvertinimas tiesiogiai yra susijęs su duomenų apie atliekų susidarymą, sudėtį ir tvarkymą prieinamumu ir kokybe. Antra, metano kiekį lemia pasirenkamos faktorių vertės:

- *metano korekcijos faktorius (MCF)*. Neapibrėžtumas atsiranda dėl sąvartyno tipo (anaerobinis, pusiau aerobinis ir kt.), MCF vertės yra nustatytos eksperimentiniais tyrimais, bet ne išmatuotos tiesiogiai.
- *skaidoma organinė anglis (DOC)*. Skirtingų rūšių popierius, mediena ar tekstilė gali turėti labai skirtingas DOC vertes.
- *skaidomos organinės anglies dalis, kuri suyra (DDOC)*. Su šiuo parametru neapibrėžtumas yra ypač didelis, kadangi yra sunku nustatyti realias sąvartyno sąlygas eksperimento metu ir išmatuoti tikslią šio parametro vertę.
- *metano dalis sąvartyno dujose*. Dažniausiai yra imama 0,5, tačiau šis koeficientas gali svyruoti nuo 0,5 iki 0,55. Šio koeficiento neapibrėžtumas santykinai yra nedidelis.
- *metano atgavimas*. Neapibrėžtumas priklauso nuo metodo, naudojamo įvertinti kokia susidariusio metano dalis yra atgaunama.
- *oksidacijos faktorius*. Jo neapibrėžtumas yra gana didelis, kadangi labai skiriasi atliekas dengiančios medžiagos storis, klimato sąlygos, metano emisijos.

2.2. Būvio ciklo vertinimas

Būvio ciklo vertinimas atliktas naudojantis ISO standartu 14040: *Aplinkos vadyba. Būvio ciklo įvertinimas. Principai ir sandara (ISO 14040:2007)*.

Vertinimo kriterijų parinkimas

Būvio ciklo poveikio vertinimas yra fazė, kurioje proceso inventorizacijos duomenys yra toliau apdorojami ir interpretuojami per poveikius aplinkai, tokius kaip klimato kaita ar toksiškumas žmogui.

Vienas svarbiausių kriterijų yra visuotinio atšilimo potencialas (GWP). Visuotinis atšilimo potencialas – tai rodiklis, apibūdinantis šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) sukeliama klimato šiltėjimo potencialo vertę, lyginant su anglies dioksido ekvivalentu. Visuotinis atšilimo potencialas

(GWP) apskaičiuojamas pagal vieno kilogramo dujų sukeliama šiltėjimo potencialą, lyginant su vienu kilogramu CO₂.

Bendras rodiklis gali būti išreikiama taip:

$$KIP_o = \sum_{i=1}^n VAP_i \cdot m_i \text{ (t CO}_2\text{ – ekvivalentų);}$$

čia m_i – medžiagos i masė, tonomis; GWP_i – Visuotinio atšilimo potencialas medžiagai i ; KIP_o – bendras Klimato Pokyčių rodiklis, tonomis CO₂ –ekvivalentų.

Atitinkamos GWP vertės skirtingiems junginiams yra pateiktos 10 lentelėje.

10 lentelė. GWP vertės skirtingiems junginiams (UNFCCC)

Junginys	Cheminė formulė	Visuotinio atšilimo potencialas		
		20 metų	100 metų	500 metų
Anglies dioksidas	CO ₂	1	1	1
Metanas	CH ₄	56	21	6.5
Azoto oksidas	N ₂ O	280	310	170

Iš lentelės duomenų matyti, kad metanas šiltnamio efektą skatina 21 kartą intensyviau (GWP₁₀₀) nei anglies dioksidas.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Tyrimo objektas

3.1.1. Alytaus regioninis sąvartynas

Darbe analizuojami du objektai – Alytaus regioninio nepavojingų atliekų sąvartyno I-oji sekcija ir senasis atliekų kaupas.

Senasis atliekų sąvartynas atidarytas 1985 m. išekspluatuoto smėlio ir žvyro karjero vietoje, jame atliekos buvo kaupiamos dvidešimt trejus metus (iki 2008 m.). Iki 2002 m. į jį daugiausiai buvo vežamos Alytaus miesto buitinės atliekos, vėliau pradėtos vežti atliekos iš Alytaus raj., Prienų raj. bei Birštono savivaldybių (ARATC ataskaitos).

2007 m. gruodžio mėnesį greta buvusio miesto buitinių atliekų sąvartyno, pradėta naujai įrengto, aplinkosauginius reikalavimus atitinkančio Alytaus regioninio atliekų sąvartyno eksploatacija. Naujajame sąvartyne įrengtos filtrato surinkimo ir nuvedimo bei paviršinių nuotekų nuvedimo sistemos (ARATC ataskaitos).



11 pav. Alytaus regioninio sąvartyno teritorija

Alytaus regioniniame sąvartyne šalinamos Alytaus regione susidarančios nepavojingos komunalinės atliekos bei nepavojingos atliekos iš Alytaus apskrities įmonių, kurių perdirbti nėra techninių galimybių bei pajėgumų. Į naująjį sąvartyną vežamos atliekos iš septynių regiono savivaldybių: Alytaus miesto ir rajono, Birštono, Druskininkų bei Lazdijų, Prienų ir Varėnos rajonų savivaldybių (ARATC ataskaitos).

Bendras sąvartyno sklypo plotas – 26,2415 ha. Alytaus regioninį sąvartyną sudaro šios zonos (Sąvartyno techninis reglamentas, 2009).:

- uždarytas senų atliekų kaupas (plotas 43000 m²);
- nauja šalinamų atliekų kaupo zona (67000 m²);
- žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelė (plotas 3000 m²);
- statybinių atliekų aikštelė (plotas 12100 m²);
- aptarnaujančių pastatų ir įrenginių zona (plotas 26763 m²);
- grunto sandėliavimo aikštelė (plotas 9500 m²).

Sąvartyno eksploatavimas suskirstytas etapais. Atliekos šiuo metu pilamos vidurinėje sąvartyno dalyje (2 sekcija), vėliau atliekos bus šalinamos šiaurinėje dalyje (3 sekcija). Pietinė sąvartyno dalis (1 sekcija) yra jau užpildyta. Duomenys apie sekcijas pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Sąvartyno sekcijų duomenys (Sąvartyno techninis reglamentas, 2009)

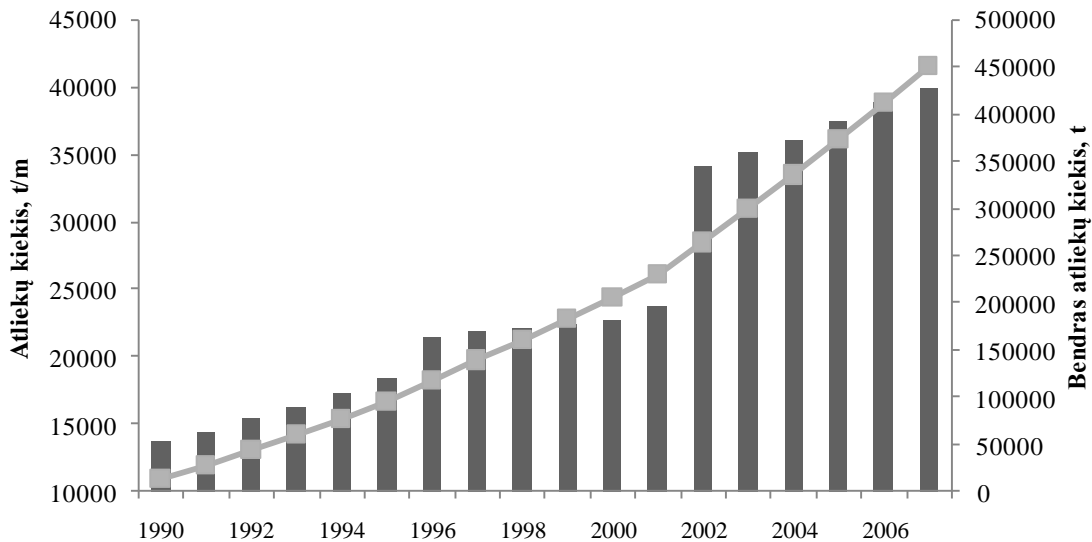
Sekcijos numeris ir plotas	Sekcijos talpa, t	Sekcijos talpa, m³	Eksploatacijos laikas, m.
1 – 3,4 ha	420 000	298 000	7
2 – 1,8 ha	455 000	325 000	8
3 – 1,5 ha	190 000	137000	5
Iš viso:	1 065 000	760 000	20

Šiuo metu siekiant sumažinti bioskaidžių medžiagų patekimą į sąvartynus Alytaus regioniniame sąvartyne yra statomas mechaninio-biologinio atliekų apdorojimo įrenginys. Numatyta eksploatacijos pradžia – 2015 metų pabaiga.

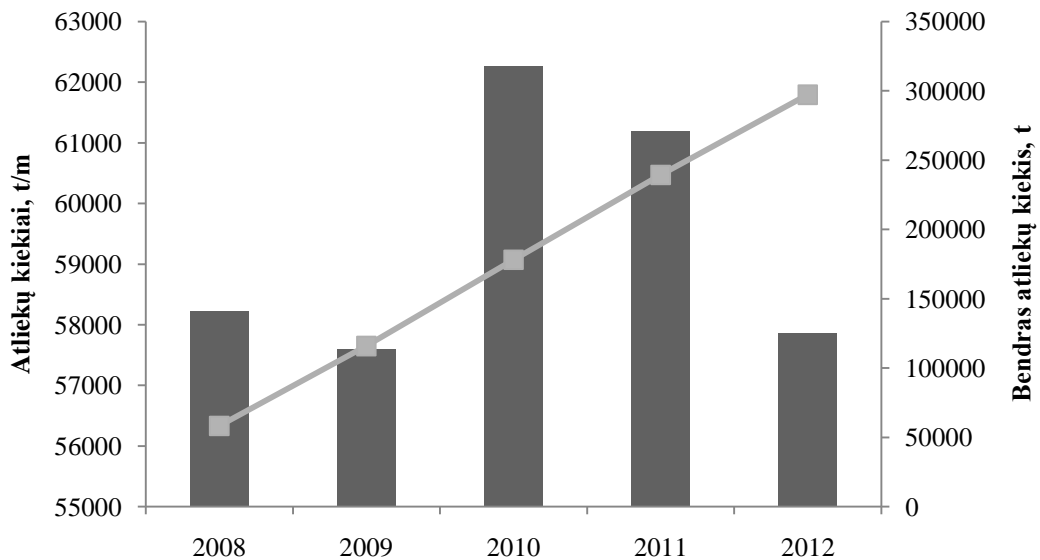
3.1.2. Sąvartyne deponuotų atliekų kiekiai ir sudėtis

Faktinių duomenų apie Alytaus regioniniame sąvartyne deponuotų atliekų kiekius ir sudėtį nėra, todėl tyrime naudojami prognostiniu būdu gauti duomenys (žr. 1 Priedą). Minėtieji duomenys gauti naudojantis *Būvio ciklo vertinimo – integruoto atliekų tvarkymo (LCA-IWM)* prognostiniu modeliu, kuris remiasi atliekų kiekio ir sudėties priklausomybe nuo eilės socialinių-ekonominių faktorių (Boer et. al., 2005)

LCA-IWM modeliu gauti mišrių komunalinių atliekų kiekiai pateikti 12 paveiksle. Į sąvartyną patenkantis mišrių komunalinių atliekų kiekis nagrinėjamu laikotarpiu sename kaupe tendencingai didėjo nuo beveik 14 000 iki 40 000 tonų per metus. Didelius kasmetinius atliekų kiekių skirtumus lėmė istorinės aplinkybės, gerėjanti ekonomika bei vis didėjantis aptarnaujamų savivaldybių skaičius. Bendras mišrių komunalinių atliekų kiekis sename kaupe – apie 450 tūkst. tonų.



a)

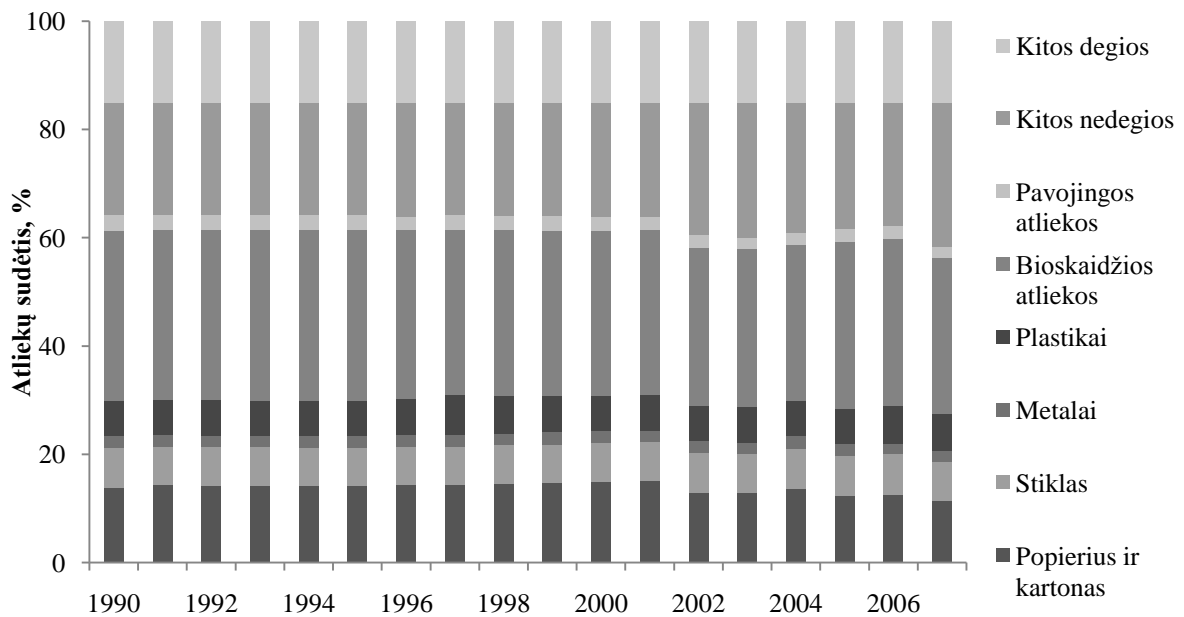


b)

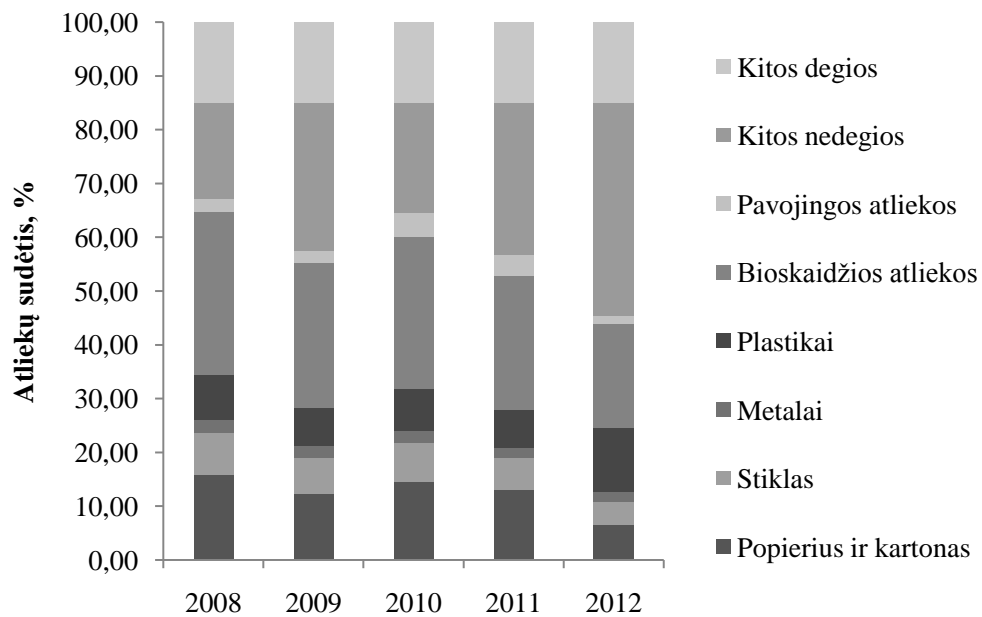
12 pav. Mišrių komunalinių atliekų kiekių dinamika (Kiaulytė, et. al., 2015):
a) sename kaupe 1990-2007; b) naujame kaupe 2008-2012

Tuo tarpu naujame kaupe kasmetinis atliekų kiekių kitimas nėra toks ženklaus, kasmet į sąvartyną patenkantis atliekų kiekis svyravo nuo 57 000 iki beveik 63 000 tonų per metus. Didžiausias atliekų kiekio sumažėjimas pastebimas 2009 ir 2012 metais. Pirmaisiais metais sumažėjusį MKA kiekį galėjo lemti šalyje vyravusi ekonominė krizė, dėl kurios buvo sumažėjęs vartojimas. Tuo tarpu MKA sumažėjimas nuo 2011 metų susijęs su didesniu žmonių rūšiavimu. Ypač mažesnius į sąvartyną patenkančius atliekų kiekius lėmė rajonų ir miestelių gyventojams išdalinti antrinių žaliavų konteineriai (ARATC ataskaitos). Bendras mišrių komunalinių atliekų kiekis Alytaus regioninio sąvartyno pirmojoje sekcijoje siekia beveik 300 000 tonų MKA atliekų.

Prognostiniu būdu gauti atskirų frakcijų kiekiai sename ir naujame kaupe pavaizduoti 13 paveiksle.



a)



b)

13 pav. Sąvartyne pašalintų mišrių komunalinių atliekų sudėtis (Kiaulytė, et. al., 2015):

a) sename kaupe 1990-2007; b) naujame kaupe 2008-2012

Abiem atvejais didžiausią atliekų srauto dalį sudarė bioskaidi organinė atliekų frakcija. Sename kaupe matyti nežymus atliekų frakcijų kitimas bėgant metams (žr. 13 pav. a). Tokius gautus rezultatus galėjo lemti netikslūs socialiniai ir ekonominiai duomenys, taip pat paties prognostinio modelio tikslumas. Dėl minėto didesnio žmonių rūšiavimo pastebimas ženklus popieriaus, stiklo bei bioskaidžių organinių atliekų (žaliųjų bei maisto) mažėjimas mišrių komunalinių atliekų sraute. Pavyzdžiui, popieriaus ir kartono kiekis atliekų sraute sumažėjo nuo beveik 16 iki 6,5 proc. nagrinėjamu periodu. Ženklus bioskaidžių organinių atliekų mažėjimas susijęs su diegiamomis kompostavimo aikštelėmis.

Šioje dalyje aptarti suprognuoti mišrių komunalinių atliekų kiekiai ir sudėtis naudojami tolimesniuose skaičiavimuose.

3.1.3. Sąvartynų kasybos pradžios nustatymas

Prieš pradėdant vykdyti sąvartynų kasybos projektus būtina atkreipti dėmesį į keletą veiksnių, vienas iš jų – biodujų susidarymas. Esant aktyviam metano susidarymui sąvartynų kasybos projektas gali būti pavojingas ir kenksmingas aplinkai. Siekiant, jog kasybos projektas būtų sėkmingas aplinkosaugos požiūriu būtina įvertinti metano dujų susidarymą bėgant laikui.

Tyrimo atveju biodujų susidarymas skaičiuotas pagal pirmo laipsnio kinetinę lygtį (žr. 2.1. poskyrį) iš popieriaus ir kartono, maisto, žaliųjų bei kitų degių atliekų frakcijų, kadangi minėtos frakcijos daugiausiai turi įtakos biodujų susidarymui.

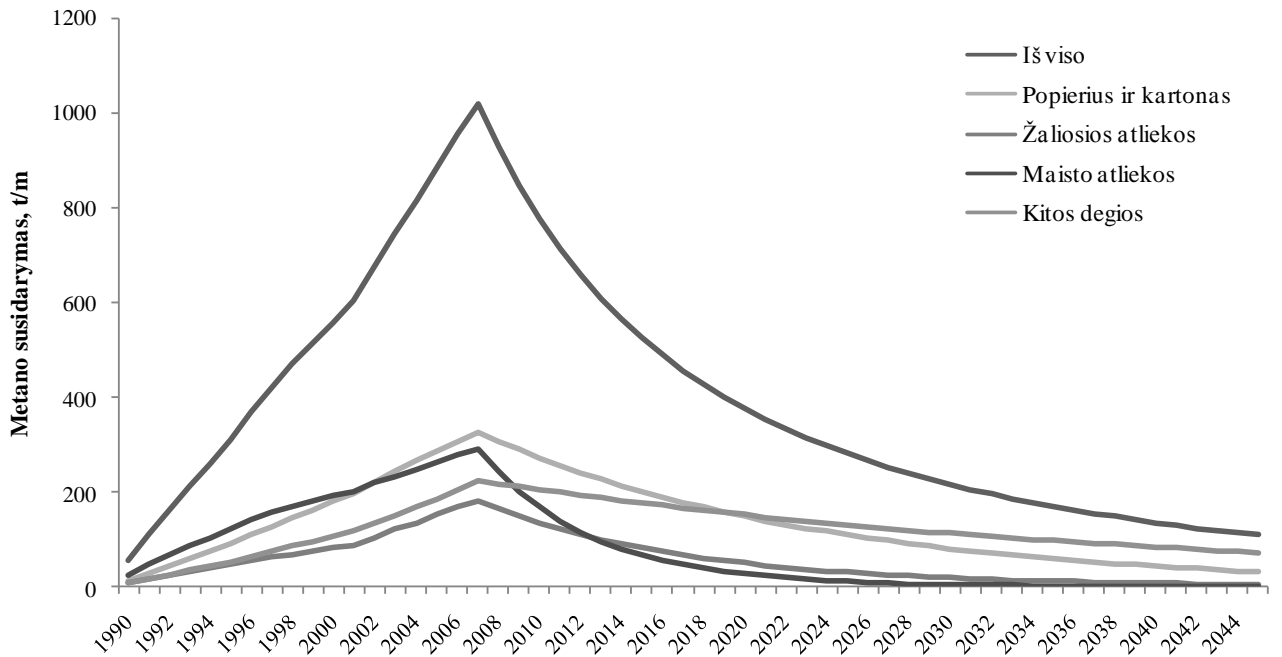
Biodujų skaičiavimui reikalingų parametų (žr. 2.1.3. skyrelį) pasirinktos vertės yra pateiktos 12 lentelėje.

12 lentelė. Pasirinktų parametų vertės (IPPC, 2006)

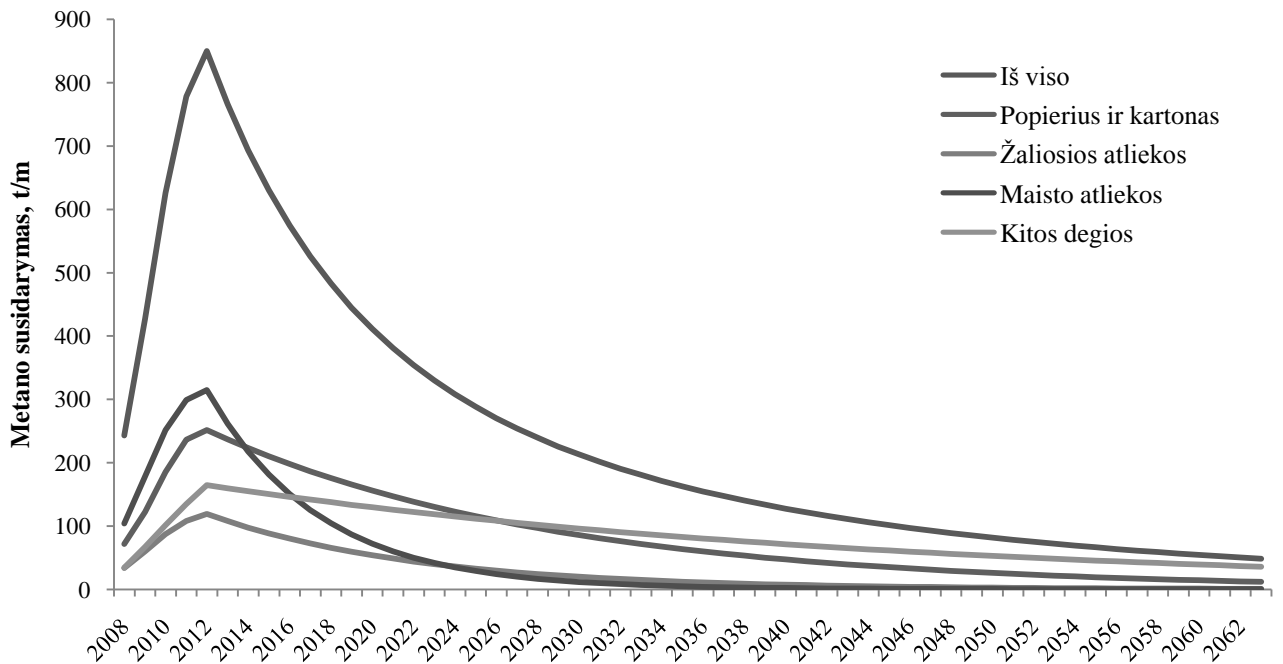
Atliekų frakcija	Bioskaidžios anglies kiekis <i>DOC</i> , % nuo drėgnos masės	Pirmos eilės greičio konstanta <i>k</i>
Popierius ir kartonas	40	0,06
Maisto atliekos	15	0,185
Kitos degios atliekos	40	0,03
Žaliosios atliekos	20	0,1
Anaerobiškai yrančios anglies kiekis <i>DOC_f</i>	0,5	
Metano korekcijos koeficientas <i>MCF</i>	1,0	
Metano dalis sąvartyno dujose <i>F</i>	0,5	

Pirmos eilės greičio konstantos *k* vertės parinktos atsižvelgiant į Lietuvos klimatą. Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos duomenimis Lietuvos vidutinė metinė oro temperatūra yra 6-6,5 °C, vidutinis metinis kritulių kiekis – 600-750 mm, o potencialus išgaravimas – 450-550 mm. Remiantis šia informacija nustatyta, kad Lietuva priklauso drėgnai vidutinių platumų zonai (žr. 6 ir 7 lenteles). Atitinkamai kiekvienai atliekų frakcijai parinktos pirmos eilės greičio konstantos *k* vertės.

Remiantis turima atliekų sudėtimi ir pasirinktų parametų vertėmis apskaičiuotas metano susidarymas Alytaus regioninio sąvartyno sename ir naujame kaupe (žr. 14 pav.).



a)



b)

14 pav. Švartyno dujų susidarymas:

a) sename kaupe 1990-2045; b) naujame kaupe 2008-2063 metais

Skaičiuojant metano susidarymą, atsižvelgiama į kasmet deponuojamą ir likusį iš ankstesnių metų bioskaidžios anglies kiekį. Abiem atvejais švartyno dujų susidarymas skaičiuotas penkiasdešimt penkeriems metams nuo eksploatacijos pradžios.

14 paveiksle matyti, kad didžiausias biodujų kiekis susidaro iš maisto ir popieriaus bei kartono atliekų frakcijų. Gauti biodujų kiekių rezultatai yra gana artimi pateiktiems literatūroje.

Apskaičiuotas dujų susidarymas iš minėtų atliekų frakcijų vidutiniškai siekia $209 \text{ Nm}^3/\text{tonai}$ mišrių komunalinių atliekų. Tuo tarpu literatūroje pateikiama vidutiniška vertė yra $250 \text{ Nm}^3/\text{tonai}$ mišrių komunalinių atliekų (White etl. al., 1995).

Šiuo metu metano dujų susidarymas senajame kaupe siekia 525 t arba 732217 m^3 per metus (1 tona = $1394,7 \text{ Nm}^3$), tuo tarpu naujame kaupe biodujų susidarymas intensyvesnis, siekia 630 t per metus. Biodujų susidarymas priklauso nuo bioskaidžių medžiagų kiekio, kuris senajame kaupe yra 67 proc. didesnis.

14 pav. matome, kad metano dujų gamyba, ypač senuose sąvartynuose, gali tęstis keletą dešimtmečių. Šiuos gautus rezultatus pagrindžia Kudjape sąvartyno (Estija), eksploatuoto trisdešimt devynerius metus ir uždaryto 2009 metais, aplinkos monitoringo tyrimai, kurių metu buvo vertinama sąvartyne esančio oro sudėtis. Nustatyta, jog viršutiniuose sąvartyno sluoksniuose (iki 2 metrų gylio) susikaupęs metano kiekis oro sraute sudarė 23-47 proc. Tyrimo metu buvo rasta ir „karštųjų taškų“, kur metano kiekis oro sraute sudarė – 72 proc.

Prieš sąvartynų kasybą metano susidarymo stadija turi baiginėti arba turi būti sumažėjusi iki minimumo. Siekiant pagreitinti metano gamybą, sąvartynas gali būti traktuojamas kaip biocheminis reaktorius, t.y. susidarantis sąvartyno filtratas yra praleidžiamas per sąvartyną, siekiant padidinti drėgmę, aprūpinti mikroorganizmus maistinėmis medžiagomis ir tokiu būdu sudaryti palankias sąlygas biodujų gamybai. Optimalios sąlygos metanogeninėms bakterijoms yra pasiekiamos, kai yra pakankamas kiekis bioskaidžios anglies, pH – neutralus, o filtratas atnaujinamas gana greitai (Jacobs, 2008). Kitas būdas išvengti didelių metano emisijų į aplinką – sąvartyno aeracija, kurios metu suoksiduojamos metano dujos (Cosu et. al., 2012).

Akivaizdu, kad Alytaus regioniniame sąvartyne (tiek naujame, tiek sename kaupuose) metano dujų susidarymas yra vis dar aktyvus. Dėl to ankstyva sąvartynų kasyba, nesiimant jokių papildomų priemonių, gali būti žalinga aplinkai. Be to dažnai būna, kad mikroorganizmams trūkstant būtinų maistinių medžiagų lengvai įsisavinamomis formomis, metano susidarymo procesas vyksta lėtai. Dėl sumažėjusio sąvartynų dujų susidarymo dažnai klaidingai interpretuojama, kad atliekos esančios sąvartyne yra stabilizuotos. Tačiau iš tikrųjų sąvartyne yra reikšmingi organinių atliekų kiekiai, kurie ir toliau iš lėto skyla per įvairius transformacijos mechanizmus (Tansel et. al., 2011). Todėl siekiant išvengti žalos aplinkai, prieš pradėdama sąvartynų kasybą, būtina atlikti išsamius biodujų susidarymo tyrimus.

Pagal gautus teorinius rezultatus sąvartynų kasybą geriausia pradėti ne anksčiau nei 2038 metais, kadangi tuo metu susidarancio metano kiekis artės prie minimumo.

3.2. Būvio ciklo vertinimas

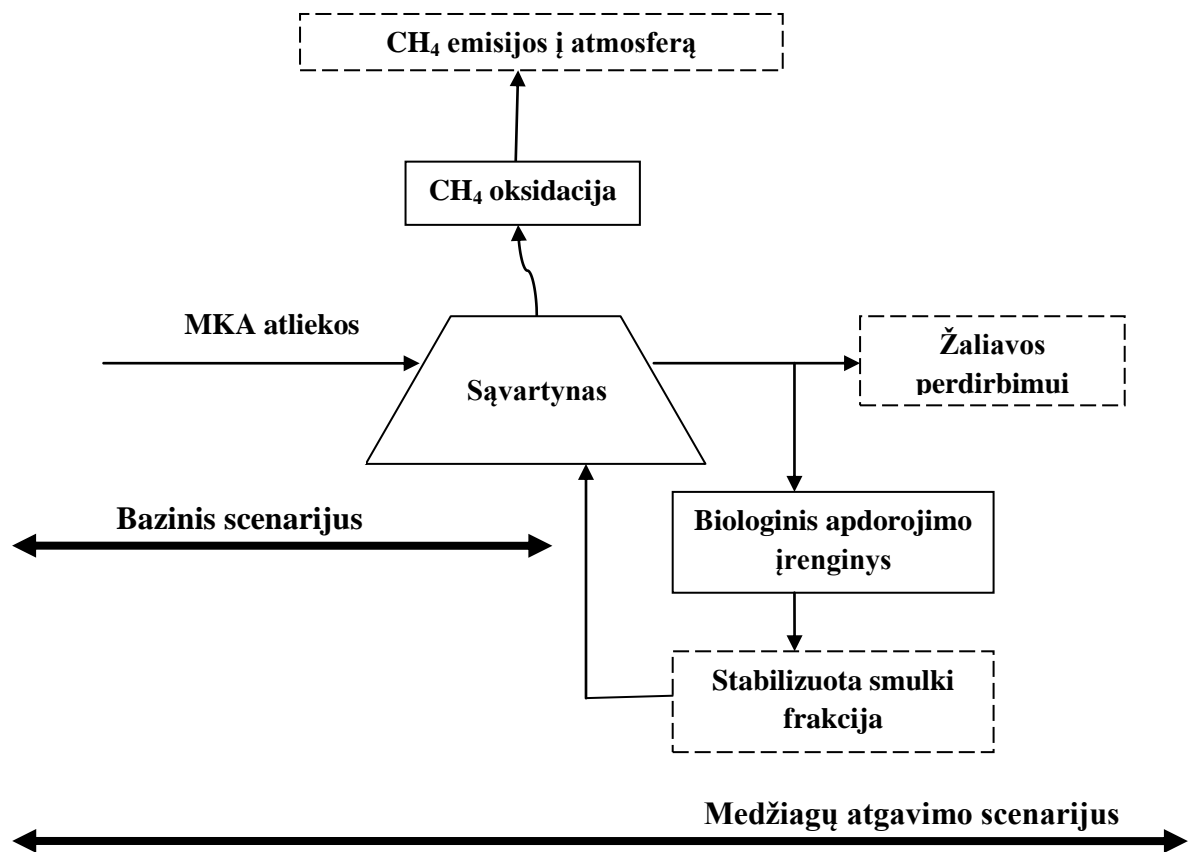
3.2.1. Tikslas ir apimties nustatymas

Būvio ciklo vertinimo tikslas – palyginti sąvartynų poveikį aplinkai dviem scenarijais – kai sąvartynas nėra kasinėjamas (bazinis scenarijus) ir kai vykdoma sąvartynų kasyba (medžiagų atgavimo scenarijus). Bendroji sąvartynų vertinimo schema pateikta 15 paveiksle. Funkcinis vienetas – visos sąvartyno eksploatacijos metu deponuotos mišrios komunalinės atliekos – 451 889 t (sename kaupe) ir 297 140 t (naujame kaupe), kurių sudėtis pateikta priede. Reikia pažymėti, kad naujasis ir senasis atliekų kaupai nagrinėjami atskirai.

Bazinis scenarijus. Šiuo atveju medžiagų atgavimas iš sąvartynų nėra vykdomas. Sąvartynas laikomas galutine atliekų šalinimo vieta.

Medžiagų atgavimo scenarijus. Vykdamas kasybos projektą būtų atgaunama dalis atliekų. Daugiausiai būtų atgaunamos popieriaus, plastiko, stiklo, kitų degių (mediena, tekstilė) atliekų frakcijos. Atskyrus šias frakcijas, jos būtų transportuojamos tolimesniam tvarkymui ir apdorojimui.

Smulkioji ir inertinė atliekų frakcijos būtų panaudojamos sąvartyno užpildymui ir uždengimui. Bet prieš tai smulkioji frakcija būtų patalpinama į biologinio apdorojimo įrenginį, siekiant visiškai stabilizuoti joje esančią bioskaidžią atliekų dalį. Priimama, kad po pūdymo, sąvartyne lieka apie 10 proc. bioskaidžios anglies. Dažniausiai dalis anglies lieka smulkiuose medienos gabaliukuose.

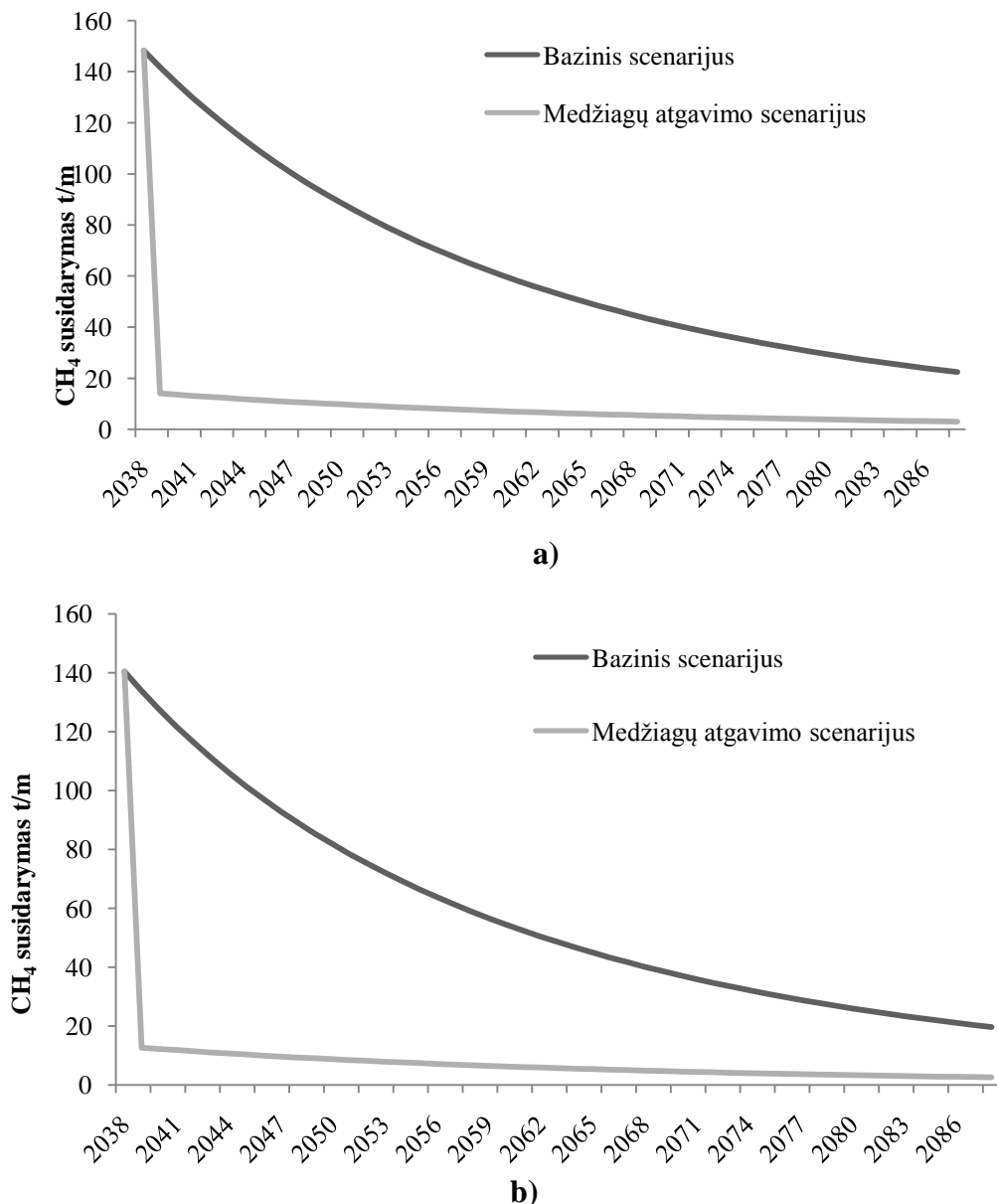


15 pav. Bendroji sąvartynų vertinimo schema

Atliekant būvio ciklą, vertinama deponuotų atliekų sudėtis, jų analizė pateikta ankstesniame skyriuje (žr. 3.1.2. skyrelį) bei susidarančios sąvartyno dujos ir jų emisijos į aplinką. Abiejų scenarijų atveju vertinamos metano emisijos iš sąvartyno 20-čiai metų nuo galimos sąvartynų kasybos pradžios. Vertinant emisijas į aplinką, priimama, kad 20 proc. susidariusio metano oksiduojasi atliekas dengiančiame grunte. Būtina paminėti, kad metano emisijos į aplinką sąvartynų kasybos proceso metu nėra vertinamos.

3.2.2. Metano susidarymas bazinio ir medžiagų atgavimo scenarijų atveju

Šioje tyrimo dalyje pateikiamas metano susidarymas bazinio ir medžiagų atgavimo scenarijų atvejais. 16 paveiksle matyti, kad dėl įvesto papildomo smulkiosios frakcijos apdorojimo sąvartynų kasybos metu sąvartyne reikšmingai sumažėja susidarančio metano kiekis.



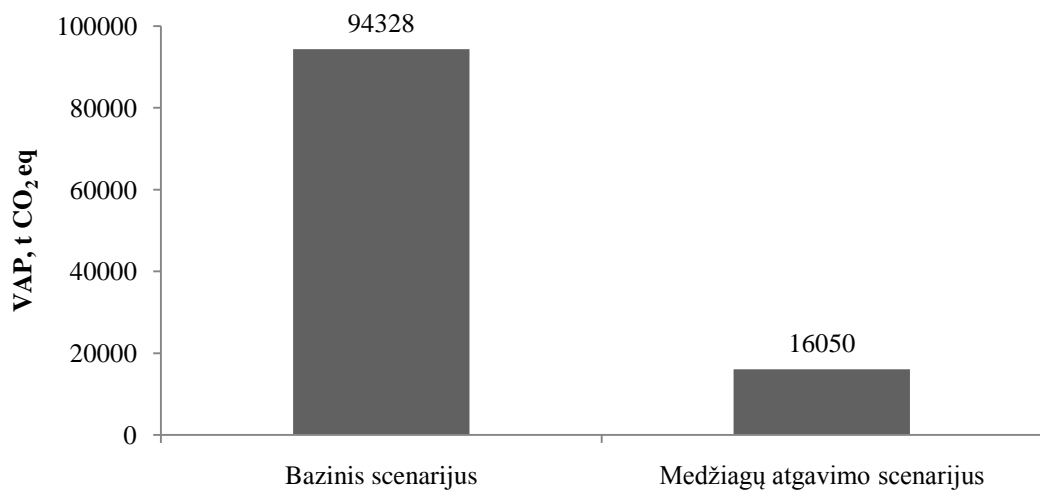
16 pav. Metano susidarymas skirtingiems scenarijams:

a) sename kaupe; b) naujame kaupe

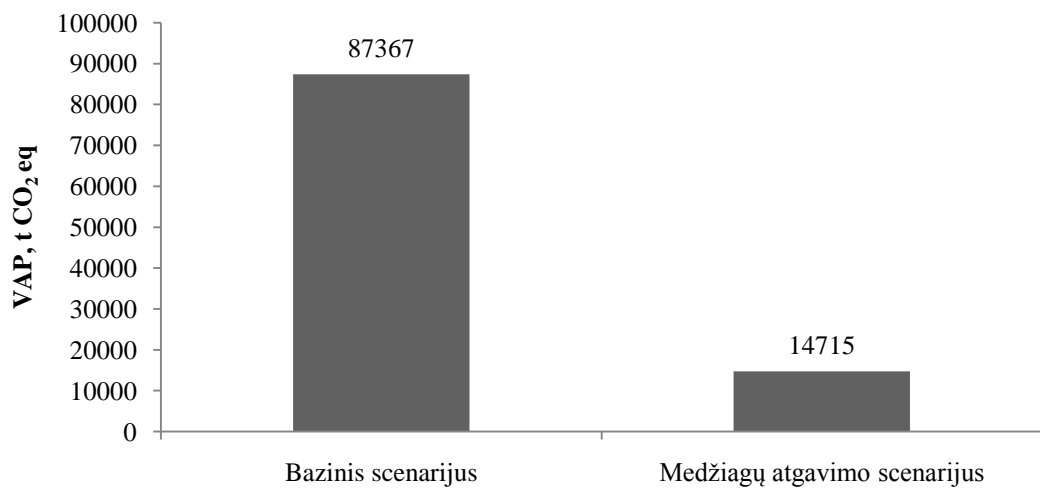
Priimant, jog šiame darbe analizuojamų sąvartynų medžiagų atgavimo scenarijus būtų vykdomas 2038 metais, bendras susidarantis metano kiekis dvidešimties metų laikotarpiu sename ir naujame kaupe sumažėja po 83,0 proc. (žr. 16 pav.), lyginant su baziniu scenarijumi.

3.2.3. Poveikio aplinkai vertinimo rezultatai

Poveikio aplinkai vertinimo dalyje, atsižvelgiant į sąvartyno metano emisijas, vertinimas tik vienas kriterijus – visuotinis atšilimo potencialas. Sąvartynai yra vienas iš daugelio šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo šaltinių. Šiltnamio efektą sukeliančios dujos – tai visos dujos, kurios dėl tam tikros molekulinės struktūros gali absorbuoti infraraudonuosius spindulius (šilumą). Minėtų dujų akumuliacija atmosferoje sukelia visuotinį atšilimą.



a)



b)

17 pav. Visuotinio atšilimo potencialas skirtingiems scenarijams:

a) sename kaupe; b) naujame kaupe

17 paveiksle matyti, kad medžiagų atgavimo iš sąvartyno atveju visuotinis atšilimo potencialas sumažėja nuo 94328 iki 16050 t CO₂ ekvivalentų sename kaupe ir nuo 87367 iki 14715 t CO₂ ekvivalentų naujame kaupe.

Visuotinio atšilimo potencialo sumažėjimą lemia sumažėjusi metano gamyba, kuri priklauso nuo sąvartyne esančios bioskaidžios anglies kiekio. Jeigu būtų atgaunamos tik plastiko, metalo ar stiklo atliekų frakcijos, tokio rezultato nepasiektume. Norint sumažinti poveikį aplinkai turi būti kreipiamas dėmesys į bioskaidžių atliekų apdorojimą.

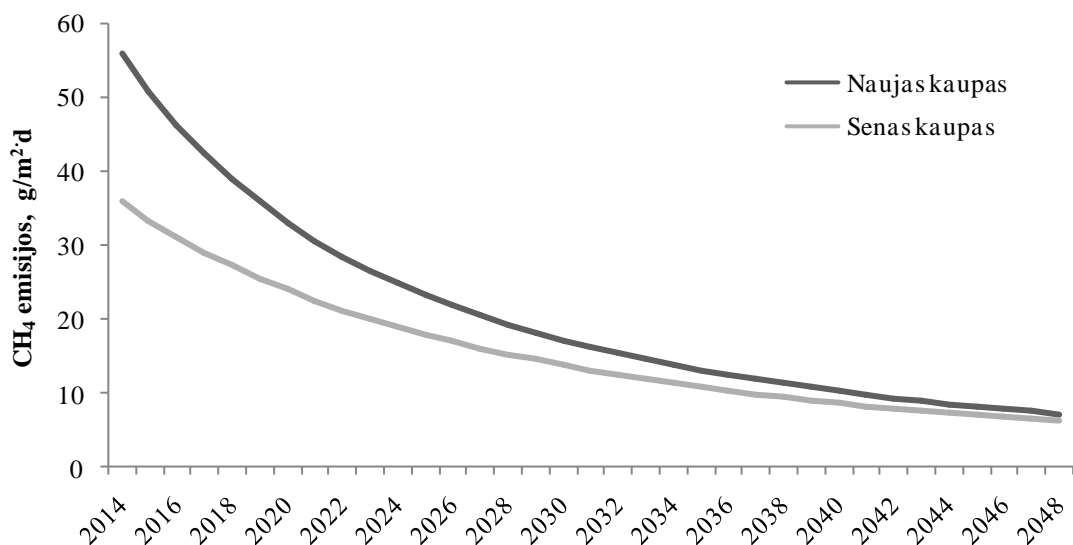
Gautų rezultatų palyginti su kitų autorių darbais negalime, nes šia tema nėra atliktų nei tyrimų nei parengtų panašaus pobūdžio straipsnių ar publikacijų.

3.3. Sąvartynų kasybos rizikos veiksniai

Nors sąvartynų kasyba gali būti naudinga ilgalaikėje perspektyvoje, būtina sušvelninti trumpalaikius poveikius, nes tai yra vienas iš rūpesčių nagrinėjant sąvartynų kasybą. Pagrindiniai rizikos veiksniai, atsirandantys kasybos metu: dujų emisijos ir kvapai, pavojingų ir nežinomų medžiagų buvimas, sąvartyno kaupo stabilumas, susidarantis filtratas ir lietaus nuotekos.

Dujų emisijos. Pirmajame sąvartynų kasybos etape pašalinamas dengiamasis sąvartyno sluoksnis. Pašalinus šį sluoksnį, bei sujudinus atliekų klodus, padidėja biodujų emisijos į mus supančią aplinką. Išsiskiriančios metano dujos gali būti pavojingos aplinkai, tiek dėl cheminės taršos, tiek dėl nemažos gaisro tikimybės, kadangi apatinė metano sprogo riba yra 5 proc. Be to, kasinėjant gali išsiskirti ir toksinės dujos, pvz. vandenilio sulfidas.

Tyrimo metu įvertintos sąvartynų kasybos metu galimos metano emisijos, išsiskiriančios per dieną iš vieno kvadratinio metro ploto (žr. 18 pav.).



18 pav. Metano emisijos sąvartynų kasybos metu

Gautų rezultatų palyginimas yra sudėtingas, kadangi tyrimų apie susidarančias metano emisijas sąvartynų kasybos metu nėra. Todėl gautos CH₄ emisijų vertės lyginamos su emisijomis iš aktyvių ir uždarytų sąvartynų.

13 lentelė. Sezoninės metano emisijos (Chakraborty et. al., 2011)

Sąvartynai	Metano emisijos, mg·m ⁻² ·h ⁻¹			
	Lapkritis-Vasaris	Kovas-Birželis	Liepa-Spalis	Vidurkis
Gazipur	1197±325,4	3617,5±994,4	918,6±199,4	1911,03±506,4
Bhalswa	2201±472,1	3006,2±1021,3	833,7±294,5	2013,63±595,97
Okhila	1411,3±404,4	1154,3±393,8	557,5±128,8	1041,03±309,0

Aukščiau pateiktoje lentelėje yra nurodytos metano emisijos įvairias metų laikais iš skirtingų ir aktyvių (eksploatacijos trukmė 18 metų) Indijos sąvartynų (Chakraborty et. al., 2011). Vidutiniškai metano emisijos siekia ~1655±470 mg·m⁻²·h⁻¹. Alytaus regioninio sąvartyno tyrimo atveju, kalbant apie 2014 m., metano emisijos siekia 2329 mg·m⁻²·h⁻¹ naujame kaupe ir 1498 mg·m⁻²·h⁻¹ sename kaupe. Kito tyrimo atveju metano emisijos uždarytame sąvartyne svyruoja nuo 11,6 iki 908 mg·m⁻²·h⁻¹ (Stern et. al., 2007).

Natūralu, kad sąvartynų kasybos metu metano emisijos gali būti didesnės, nes oksidacijos galimybė labai menka. Be to, reikia atkreipti dėmesį, jog metano emisijos priklauso nuo daugybės faktorių, dėl to duomenų palyginimas, kaip jau buvo minėta, yra sudėtingas.

Priimant, jog šiame darbe vertinamų sąvartynų kasyba būtų vykdoma 2038 metais (beveik 30 metų po uždarymo), metano emisijos į aplinką iš senojo ir naujojo kaupo atitinkamai siektų 9,45 ir 11,31 g·m⁻²·d⁻¹. Vykdam abiejų sąvartynų pilno atliekų tūrio iškasimo projektus į aplinką papildomai būtų išmetama 791 kg (1103 m³) metano. Reikia paminėti, kad metano emisijos įvertintos, neatsižvelgiant į aplinkos sąlygų pasikeitimus nuėmus viršutinę sąvartyno dangą, t.y. kad anaerobinė aplinka tampa pusiau aerobine arba aerobine, pasikeičia drėgmė ir kt. faktoriai, kurie lemia metano emisijas į aplinką.

Metano išsiskyrimas kelia nemažą susirūpinimą. Dėl atliekų heterogeniškumo gali pasitaikyti „karštųjų taškų“, kur metano susidarymas ypač aktyvus. Siekiant kontroliuoti dujų susidarymo intensyvumą, jų sudėties kaitą, migraciją iš sąvartyno kaupo į aplinką, kasybos metu rekomenduojama įtraukti dujų stebėsenos tyrimus. Pasiekus nustatytą metano koncentracijos ribinę vertę darbai turi būti nutraukiami ir turi būti imtasi atitinkamų priemonių.

Filtratas ir lietaus nuotekos. Kasinėjant reikia galvoti ir apie gruntinio bei paviršinio vandens taršą ir stengtis užtikrinti, kad ji būtų kuo mažesnė. Krituliai skverbdamiesi per atliekas formuoja užterštą filtratą. Jam patekus į gruntinį vandenį (vertikaliosios ir horizontaliosios) migracijos keliais, svarbiausiais jį teršiančiais komponentais yra bendrosios cheminės sudėties elementai, organinės medžiagos, azoto junginiai, metalai, taip pat galima tarša ir naftos produktais.

Gruntinis vanduo Alytaus regioninio sąvartyno teritorijoje yra labai nevienodame gylyje. Giliausiai jis aptinkamas centrinėje sąvartyno dalyje –13,2–13,8 m gylyje bei šiaurės vakarinėje teritorijos dalyje – 11,4 m. Arčiausiai žemės paviršiaus – rytinėje (1,0–1,1 m) bei pietvakarinėje (1,8 m) teritorijos dalyse (Poveikio aplinkai monitoringo paslaugos, 2014). Šiose vietose ypač didelis dėmesys turi būti skiriamas filtrato kontrolei.

Filtrato ir lietaus nuotekų kokybė gali būti kvalifikuojama pagal kelis požymius ir normatyvus, kaip aplinkos, požeminio ir paviršinio vandens teršimo šaltinis.

14 lentelė. Sąvartyno filtrato kokybės rodikliai

Rodiklis	Filtrato iš 30 m. sąvartyno, mg/l	Didžiausia leistina koncentracija (DLK)		
		Nuotekų išleidžiamų į gamtinę aplinką ¹ , mg/l	Požeminiame vandenyje ²	Į gamtinę aplinką, mg/l
			Nenaudojamas gėrimo ir buities reikmėms, mg/l	
pH	7,7	6,5-8,5		
BDS ₅	185	34		
ChDS ₅	1160	125		
Amonio azotas	445	5	10	5
Nitratai	9	100	50	100
Nitritai	0,8	1,5	1	1
Chloridai	1025	1000	500	500
Sulfatai	83	300	1000	300
Arsenas	0,01	0,05	0,05	0,05
Kadmis	0	0,04	0,01	
Chromas	0,18	0,5	0,5	0,5
Varis	0,04	0,5	0,1	0,1
Gyvsidabris		0,002	0,001	
Nikelis	0,12	0,2	0,04	0,2
Švinas	0,03	0,1	0,032	0,1
Cinkas	0,54	0,4	3	0,4

¹ Nuotekų tvarkymo reglamentas. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymu Nr.D1-236. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. spalio 8 d. įsakymo Nr.D1-515 redakcija. Valstybės žinios, 2007-10-25, Nr. 110-4522.

² Pavojingų medžiagų išleidimo į požeminį vandenį inventorizavimo ir informacijos rinkimo tvarka (žin., 2003, nr. 17-770).

Vertinant įprastą seniai uždaryto sąvartyno filtrato kokybę (Boer et. al., 2003) pagal nurodytas ribines vertes, pastebimas kai kurių parametru leistinų verčių viršijimas (žr. 14 lentelę). Didžiausią susirūpinimą gali kelti užterštumas organinėmis medžiagomis, taip pat filtrate esantys sunkieji metalai, kurių pagrindinis šaltinis pašalinti elementai ir akumulatoriai, bei amonio azotas ir chloridai.

Pavojingų ir nežinomų medžiagų buvimas. Nemažą susirūpinimą kelia sąvartyne esančios žmogaus sveikatai pavojingos medžiagos. Dažnai nėra tiksliai žinoma, ko galima rasti sąvartyne, dėl to sunku apibūdinti, kokio pavojingumo atliekas galima aptikti. Remiantis sąvartynų kasybos projektais, pavojingos medžiagos sudarydavo nedidelę atliekų srauto dalį. Dažniausiai randami įvairūs elementai ir baterijos, švino-rūgštiniai akumulatoriai, asbestas. Tikėtina, kad Alytaus regioniniame sąvartyne pavojingų atliekų dalis sudaro 3-4 proc. visų atliekų (žr. 3.1.2 skyrelį).

Siekiant išvengti nelaimingų atsitikimų, prieš sąvartynų kasybą, darbuotojai turėtų išklausti kursus apie pavojingas medžiagas, kaip jas atpažinti, kokių priemonių imtis saugiam jų pašalinimui. Kasybos metu turi būti numatyta atskira vieta šiems atliekoms kaupti. Jos negali būti maišomos su kitomis atliekomis.

Dulkės ir kvapai. Apie 40-60 proc. sąvartyno tūrio sudaro smulkioji frakcija. Vykdamas medžiagų klasifikavimą sijoiant neišvengiama pasekmė – dulkių susidarymas. Jų sklaida aplinkos ore priklausys nuo oro sąlygų ir esamos sąvartynų drėgmės. Siekiant išvengti darbuotojų sveikatos sutrikdymo būtina taip pat pasirūpinti asmeninėmis saugos priemonėmis.

Kita problema – išsiskiriantys kvapai. Jų intensyvumas priklauso nuo pašalintų atliekų sudėties ir jų degradacijos laipsnio. Kai kurių sąvartynų kasybos projektų metu kvapai buvo intensyvesni nei eksploatuojamoje dalyje. Daugeliu atvejų kvapų klausimai buvo išspręsti vykdamas kasybą šaltuoju metų laiku. Taip pat, siekiant sumažinti į aplinką sklindančių nemalonaus kvapo medžiagų kiekius, gali būti įdiegta biofiltrų sistema. Pasak sąvartynų kasybos projektų vykdytojų, intensyviausi kvapai yra darbo vietoje, ir toli nuo jos nesklinda (Jacobs, 2008).

IŠVADOS

1. Kasinėjant sąvartynus būtina atkreipti dėmesį į daug veiksnių, vienas iš jų – metano dujų susidarymas. Dėl to biodujų kiekių skaičiavimai, remiantis sąvartyne pašalintų atliekų sudėtimi, gali būti vienas iš pirmųjų teorinių žingsnių, siekiant parinkti tinkamiausią laiką sąvartynų kasybos projektų pradžiai. Alytaus regioninio atliekų sąvartyno atveju, sename kaupe medžiagų atgavimo projektą galima pradėti vykdyti praėjus 30-čiai metų, naujame – 26 metams po sąvartynų uždarymo. Laikas, kuomet sąvartyno negalime kasinėti, priklauso nuo sąvartyno eksploatacijos trukmės bei pašalintų atliekų sudėties. Kuo didesnė trukmė ir kuo daugiau bioskaidžių medžiagų pašalinta, tuo šis laikotarpis yra ilgesnis. Norint medžiagų atgavimo projektą įgyvendinti anksčiau, reikalinga imtis papildomų techninių priemonių metano dujų suoksidavimui ar gamybos pagreitinimui.
2. Sąvartynų kasyba yra naudinga siekiant sumažinti ilgalaikį sąvartynų poveikį aplinkai. Alytaus regioninio sąvartyno medžiagų atgavimo scenarijaus atveju, bendras susidarantis metano kiekis abiejuose kaupuose sumažėja po 83,0 proc., lyginant su baziniu scenarijumi. Atitinkamai tiek pat procentinių punktų sumažėja ir visuotinis atšilimo potencialas. Pagrindinės sąvartynų keliamos taršos problemos kyla dėl sąvartyno dujų ir filtrato gamybos, kurie susiję su bioskaidžių medžiagų irimu. Todėl, norint sumažinti poveikį aplinkai, pirmiausiai didžiausias dėmesys turi būti skiriamas sąvartyne esančiai organinei angliai sutvarkyti.
3. Pagrindiniai rizikos veiksniai kylantys sąvartynų kasybos metu – dujų emisijos ir kvapai, sąvartyno kaupo stabilumas, susidarantis filtratas ir lietaus nuotekos bei pavojingų ir nežinomų medžiagų buvimas. Tikėtina, kad nagrinėjame objekte pavojingų atliekų dalis sudaro 3-4 proc. visų atliekų. Vykdamt Alytaus regioninio sąvartyno abiejų kaupų pilno atliekų tūrio iškasimo projektus 2038 metais, į aplinką būtų papildomai išmetama 791 kg metano. Šis kiekis yra labai mažas, lyginant su metano emisijomis, sumažėjusiomis dėl sąvartynų kasybos. Sąvartynų kasybos metu į aplinką gali išsilieti sąvartyno filtratas, pasižymintis didele tarša organinėmis medžiagomis, sunkiaisiais metalais, amonio azotu ir chloridais. Minėtų medžiagų patekimas į paviršinius ir požeminius vandenis gali stipriai pabloginti jų kokybę.

LITERATŪRA

1. Alytaus regiono atliekų tvarkymo centro metiniai pranešimai (2006-2014). Peržiūrėta 2014 m., gegužės 12, Alytaus regionio atliekų tvarkymo centro tinklalapyje: <http://www.aratc.lt/veiklos-ataskaitos/metiniai-pranesimai/>.
2. Alytaus regioninio nepavojingų atliekų sąvartyno bei inertinių atliekų sąvartyno atliekų naudojimo ir šalinimo techninis reglamentas (2009). Peržiūrėta 2014 m., gegužės 19, Alytaus regionio atliekų tvarkymo centro tinklalapyje: <http://www.aratc.lt/reglamentai/>.
3. Arustienė J., Giedraitienė J. et. al., ats. red. Kadūnas K. (2011) Lietuvos požeminio vandens monitoringas 2005-2010 metais ir kiti hidrogeologiniai darbai. Peržiūrėta 2015, gegužės 18, Lietuvos geologijos tarnybos tinklalapyje: https://www.lgt.lt/uploads/1315485147_monitoringas_online.pdf.
4. Beigl P., Wassermann G., et. al., Deliverable Report on Draft Waste Generation Prognostic Model. The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies, Vien, 2003.
5. Bhatnagar A., Kaczala F., Kriipsalu M. et. al. Closing the Life Cycle of Lanfills – Landfill Mining in the Baltic Sea Region for Future. *XIV International Waste Management and Landfill Symposium*, 30 September – 4 October, 2013, Sardinia.
6. Boer den E., Jędrzackb A., Kowalskic Z. et. al., (2010). A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland. *Waste Management* 30, p. 369-377.
7. Boer den E., Boer den J., Jager J. (2005). *Waste management planning and optimisation*. Kaunas: Technologija, p. 2-11.
8. Boer den E., Boer den J., et. al., Deliverable Report: Environmental Sustainability Criteria and Indicators for waste management. The Use of LifeCycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies, Darmstadt, 2005.
9. Bove R., Lunghi P. (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy Conversion and Management* 47, p.1391-1401.
10. Buratti C., Barbanera M., Testarmata F., et. al. (2015). *Life Cycle Assessment of organic waste management strategies: an Italian case study*. *Journal of Cleaner Production*, Volume 89, p.125-136.
11. Burnley S. (2007). A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. *Waste Management* 27, p.1274-1285.

12. Chakraborty M., Sharma C., Pandey J. et. al. (2011). Methane emission estimation from landfills in Delhi: A comparative assessment of different methodologies. *Atmospheric Environment* 39, p. 7135-7142.
13. Christensen H. T. (2011). *Solid Waste Technology & Management. Volume 2*, p. 695-705.
14. 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.
15. Danthurebandara, M., Van Passel, S., Vanderreydt, I., et. al. (2015). Assessment of environmental and economic feasibility of Enhanced Landfill Mining. *Waste Management*. Available online.
16. Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacijos (angl. OECD) duomenų bazės. Municipal waste, generation and treatment. Peržiūrėta 2014, birželio 15, adresu <http://stats.oecd.org/Index.aspx>.
17. El-Fadel, M., Findikakis, A. N., Leckie, J. O. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management*, 50, p. 1–25.
18. Eurostat duomenų bazė. Peržiūrėta 2014, birželio 11, adresu <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/data/database>.
19. Ferreira S., Cabral M., P. Simoes et. al., (2014). *Life cycle assessment of a packaging waste recycling system in Portugal*. *Waste Management*, Volume 34, p. 1725-1735.
20. Ford S., Warren K. and Read A. An Evaluation of the Feasibility and Viability of Landfill Mining and Reclamation (LFMR) from a UK Perspective. *XIV International Waste Management and Landfill Symposium*, Sardinia 2013.
21. Frändegård P., Krook J., Svensson N. (2013). A novel approach for environmental evaluation of landfill mining (2013). *Journal of Cleaner Production* 55, p. 24-34.
22. Hogland M., Berg B., Hogland W., et. al., (2012). Planning and economic constraints related to a Landfill Mining Project in Norway. *Urban Mining: A global cycle approach to resource recovery from solid waste*, p. 363-373.
23. Hogland W., Marques M., Nimmermark S. (2004). Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas. *Mater Cycle Waste Manag* 6, p. 119-124.
24. IPPC (2006). Intergovernmental panel on climate change: 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventory Program, London, UK.
25. ISO 14040:2007 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
26. Jacobs J. Accelerated methane production prior to mining. *Global Landfill Mining Conference and Exhibition*. October 9, 2008. Royal School of Arts, London. p. 20-26.
27. Jones P.T., Geysen D., Tielemans Y., et. al. (2013). Enhanced Landfill Mining in view of multiple resource recovery: a critical review. *Journal of Cleaner Production* 55, p. 45-55.

28. Kaartinen T., Sormunen K., Rintala J. (2013). Case study on sampling, processing and characterization of landfilled municipal solid waste in the view of landfill mining. *Journal of Cleaner Production* 55, p. 56-66.
29. Kauno technologijos universitetas. Aplinkosaugos technologijos katedra. Komunalinių atliekų susidarymo ir sudėties sezoniškumo tyrimai Kauno mieste. Kaunas, 2009-2010.
30. Kiaulytė A., Bučinskas A., Denafas G. Išteklių atgavimo iš Alytaus regioninio sąvartyno galimybių vertinimas. Studentų mokslinė konferencija „Chemija ir cheminė technologija“, gegužės 8, 2015. Klaipėda.
31. Kirkebey J. T., Birgisdottir H., Bhandar G.S. (2007). Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE. *Waste Management* 7, p. 961-970.
32. Kostova I. Leachate from sanitary landfills – origin, characteristics, treatment. “*Iskar’s Summer School*” – Borovetz, 2006.
33. Kriipsalu M. Landfill mining: new stage in the product life cycle and waste management. *International seminar “Landfill mining in the context of global environmental mitigation”*, Kaunas 2014.
34. Krook J., Svensson N., Eklund M. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management* 32, p. 513-520.
35. Machado S.L., Vilar O.M., Carvalho M.F. (2008). Constitutive model for long term municipal solid waste mechanical behavior. *Computers and Geotechnics* 35, p. 775-790.
36. Manfredi, S., & Christensen, T. H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste Management*, 29(1), 32–43.
37. Nuotekų tvarkymo reglamentas. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymu Nr.D1-236. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. spalio 8 d. įsakymo Nr.D1-515 redakcija. Valstybės žinios, 2007-10-25, Nr. 110-4522.
38. Munnich K., Fricke K., Wanka S., et.al. Landfill Mining – a Contribution to Conservation of Natural Resources? XIV International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2013.
39. Nammari D. R. (2006). *Seasonal and long-term storage of baled municipal solid waste*. Sweden.
40. Pavojingų medžiagų išleidimo į požeminį vandenį inventorizavimo ir informacijos rinkimo tvarka (žin., 2003, nr. 17-770).
41. Pokhrel D., Viraraghavan T. (2005). *Municipal solid waste management in Nepal: practices and challenges*. *Waste Management* 25, p. 555-562.

42. Poveikio aplinkai monitoringo paslaugos. 2014 metų stebėsenos rezultatai (2014). Peržiūrėta 2015 gegužės 12, Alytaus regiono atliekų tvarkymo centro tinklalapyje: <http://www.aratc.lt/wp-content/uploads/2012/11/Savartyno-monitoringo-ataskaita-uz-2014m.pdf>.
43. Renou S., Givaudan J.G., Poulain S., et. al., (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials* 150, p. 468-493.
44. Spencer R. (1991). Mining Landfills for Recyclables. *BioCycle*. Journal Volume: 32:2.
45. Staniškis K. J. (2004). *Integruota atliekų vadyba*. Kaunas: Technologija.
46. Stern J., Chanton J., Abichou T. et. al. (2007). Use of a biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation. *Waste Management* 9, p. 1248-1258.
47. Tansel B., Yildiz B. S. (2011). Goal-based waste management strategy to reduce persistence of contaminants in leachate at municipal solid waste landfill. *Environ Dev Sustain* 13, p. 821-831.
48. Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija (angl. United Nations Framework Convention on Climate Change), Peržiūrėta 2015 gegužės 25, adresu http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php.
49. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: engineering principles and management issues*. Ann Arbor: McGraw-Hill.
50. Valavičienė I. (2012). *Komunalinių atliekų susidarymo sezoninio kitimo įtaka atliekų tvarkymo sistemos rodikliams*. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, aplinkos inžinerija ir kraštotvarka (04T). Kaunas: Kauno technologijos universitetas.
51. White P.R., Franke M., Hindle P. (1995). *Integrated Solid Waste Management a Lifecycle inventory*.
52. Zbicinski I., Stavenuiter J., Kozłowska B., et al. (2006). *Product Design and Life Cycle Assessment*.

Alytaus regioniniame sąvartyne pašalintų atliekų kiekiai ir sudėtis

Lentelėse pateikiami Alytaus regioniniame sąvartyne pašalinti atliekų kiekiai, gauti Būvio ciklo vertinimo – integruoto atliekų tvarkymo (LCA-IWM) prognostiniu modeliu.

1 lentelė. Sename kaupe pašalinti atliekų kiekiai

Atliekų frakcija, t	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Popierius ir kartonas	1900	2065	2187	2317	2454	2600	3100	3161	3239	3318	3400	3583,4	4400	4514	4900	4643	4914	4577
Stiklas	1000	1024	1087	1154	1225	1300	1500	1534	1556	1578	1600	1717	2500	2579	2700	2759	2875	2849
Metalai	300	312	332	353	376	400	500	491	494	497	500	482,5	800	736	800	780	800	800
Plastikai	900	949	1006	1067	1132	1200	1400	1601	1567	1533	1500	1608	2200	2280	2400	2502	2668	2736
Bioskaidžios atliekos	4300	4528	4817	5125	5452	5800	6700	6715	6776	6838	6900	7208	10000	10304	10400	11604	12000	11500
<i>Žaliosios</i>	<i>1290</i>	<i>1359</i>	<i>1445</i>	<i>1537</i>	<i>1636</i>	<i>1740</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2033</i>	<i>2051</i>	<i>2070</i>	<i>2162</i>	<i>4000</i>	<i>4121,6</i>	<i>4160</i>	<i>4641,6</i>	<i>4800</i>	<i>4600</i>
<i>Maisto</i>	<i>3010</i>	<i>3170</i>	<i>3372</i>	<i>3587</i>	<i>3816</i>	<i>4060</i>	<i>4690</i>	<i>4701</i>	<i>4743</i>	<i>4787</i>	<i>4830</i>	<i>5045</i>	<i>6000</i>	<i>6182</i>	<i>6240</i>	<i>6962</i>	<i>7200</i>	<i>6900</i>
Pavojingos	400	394	418	444	471	500	500	575	583	592	600	572	800	665,6	800	855	894	786
Kitos nedegios	2845	3008	3198	3399	3612	3840	4575	4570	4644	4719	4795	5030	8370	8847	8685	8777	8920	10645
Kitos degios	2055	2167	2302	2446	2598	2760	3225	3291	3328	3366	3405	3565	5130	5281	5415	5633	5836	5981
Iš viso:	13700	14447	15347	16304	17320	18400	21500	21938	22187	22441	22700	23766	34200	35206	36100	37553	38907	39875

2 lentelė. Naujame kaupe pašalinti atliekų kiekiai

Atliekų frakcija, t	2008	2009	2010	2011	2012
Popierius ir kartonas	9260	7071	9148	8000	3743
Stiklas	4527	3838	4409	3600	2505
Metalai	1397	1287	1390	1193	1111
Plastikai	4848	4050	4873	4300	6885
Bioskaidžios atliekos	17646	15620	17596	15300	11207
<i>Žaliosios</i>	<i>5294</i>	<i>4686</i>	<i>5279</i>	<i>4590</i>	<i>3362</i>
<i>Maisto</i>	<i>12352</i>	<i>10934</i>	<i>12317</i>	<i>10710</i>	<i>7845</i>
Pavojingos	1424	1239	2781	2393	903
Kitos nedegios	10384	15854	12729	17234	22824
Kitos degios	8733	8640	9340	9180	8678
Iš viso:	58218	57600	62267	61200	57855

4 lentelė. Pašalintų atliekų sudėtis (%) naujame kaupe

Atliekų frakcija, t	2008	2009	2010	2011	2012
Popierius ir kartonas	15,91	12,28	14,69	13,07	6,47
Stiklas	7,78	6,66	7,08	5,88	4,33
Metalai	2,40	2,23	2,23	1,95	1,92
Plastikai	8,33	7,03	7,83	7,03	11,90
Bioskaidžios atliekos	30,31	27,12	28,26	25,00	19,37
Pavojingos	2,45	2,15	4,47	3,91	1,56
Kitos nedegios	17,84	27,52	20,44	28,16	39,45
Kitos degios	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Iš viso:	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00