

NEPAVOJINGŲ ATLIEKŲ PANAUDOJIMAS
ELEKTROS IR ŠILUMOS ENERGIJOS GAMYBAI

Marius Lazauskas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas marius.lazauskas@gmail.com

Santrauka. Nuolatos augančios gyventojų naudojamos elektros ir šilumos energijos kainos verčia ieškoti alternatyvių sprendimų kaip racionaliai panaudoti turimus išteklius, siekiant sumažinti energijos gamybos kaštus. Įvairiose mokslinėse srityse plačiai nagrinėjamos galimybės kaip panaudoti atsinaujinančius išteklius: vėjo, vandens, saulės ir geoterminę energiją. Straipsnyje supažindinama su alternatyviais energijos gamybos būdais, kurių metu užtikrinama susidarantių nepavojingų atliekų kontrolė. Šie būdai yra pagrįsti atliekų deginimo (pirolizė ir deginimas) ir jau sukauptų atliekų išsiskiriančių dujų panaudojimo principais.

Reikšminiai žodžiai: sąvartynai, atliekų deginimas, pirolizė, alternatyvi energija.

Įvadas

Daugelyje besivystančių ir aukštą išsivystymo lygį pasiekusių šalių didėjantis gyventojų gyvenamosios aplinkos kokybės lygio augimas skatina siekti visapusiškos gerovės bei darnios urbanizacijos. Šio progreso metu iškyla problema, kaip tinkamai rinkti, perdirbti, panaudoti, laikyti ir parduoti susikaupiančias atliekas (Cherubini *et al.* 2009). Technologinis ir socialinis augimas formuoja visuomenės prioritetus, kurių pagrindinis tikslas drastiškai sumažinti neatsinaujinančių išteklių ir energijos vartojimą, teršalų emisijos į orą kiekį. Skatinama saugoti požeminius vandenis ir dirvožemį (Morselli *et al.* 2008).

Augant ekonomikai, skatinama gamyba ir vartojimas, o tai įtakoja atliekų kiekio augimą. Sukurtų produktų atliekos tiek buitinėje, tiek statybos srityse natūraliai nepasidalina, todėl būtina sukurti sistemą ir technologijas, kaip tinkamai sunaikinti, saugoti arba ekonomiškai panaudoti susidarantią atlieką (Pavlas, Touš 2008). Geras ir ekonomiškai naudingas būdas spręsti susidariusių atliekų panaudojimą – sumažinti naujos produkcijos gamybos mastus ir iš perdirbamų medžiagų sukurti reikalingus gaminius. Būtina suprasti, kad visos sukuriamos atliekos nėra bevertės šiukšlės. Atliekos – tai išsavinamas energijos šaltinis, kuris yra nuolatos natūraliai kuriamas. Pagrindinė problema yra tinkamas tolimesnių medžiagų panaudojimo galimybių nustatymas ir viso panaudojimo proceso valdymas, apibūdinamas gyvavimo ciklu (Tehrani *et al.* 2009). Atliekų gyvavimo ciklas apima atliekų tvarkymo sistemas, kurios pagrįstos strateginiais prioritetiniais sprendimais, nukreiptais į neatsinaujinančių išteklių išsaugojimą (Cherubini *et al.*

2009). Atliekų gyvavimo ciklas gali būti nagrinėjamas pagal susidarantių buitinių, statybos, bioskaidžių, pavojingų ir kt. atliekų panaudojimo alternatyvas: atliekų deginimą, rūšiuvimą ir kaupimą sąvartynuose. Išvystytas gyvavimo ciklo modelis pagrindžia turimų atliekų tolimesnio panaudojimo alternatyvos pasirinkimą, nustato atliekų valdymo procesų eiliškumą ir padeda įvertinti pakartotinio atliekų panaudojimo efektyvumą ekonominiu, socialiniu ir aplinkosauginiu aspektu (Kaufman *et al.* 2010; Christensen *et al.* 2007). Toks alternatyvios energijos gavimo būdas yra sietinas su darniu prisitaikymu prie esančios aplinkos ir atsinaujinančių išteklių panaudojimu, sureguliuavus atliekų valdymo ir realizavimo procesus (Kothari *et al.* 2010).

Atliekų valdymo koncepcija

Tipiška susidarantių atliekų tvarkymo sistema yra sudaryta iš atliekų surinkimo, gabenimo, pirminio apdorojimo, perdirbimo ir galutinių likutinių medžiagų panaudojimo procesų (Dembiras 2011). Tokia koncepcija sudaryta, siekiant įgyvendinti šiuos tikslus (Kan 2009):

1. Visų pirminio naudojimo medžiagų panaudojimo mažinimas, pakeičiant jas perdirbtomis medžiagomis;
2. Informacijos apie reikalingas perdirbtas medžiagas rinkimas tolimesniam naudojimui;
3. Pakartotinio bio-atliekų naudojimo skatinimas;
4. Po perdirbimo liekančių atliekų sumažinimas ir tinkamas paskirstymas į saugojimo aikšteles;
5. Atliekų valdymo sistema privalo būti lanksti, kad galima būtų lengvai prisitaikyti prie besikeičiančių atliekų kiekių ar jų sudėties.

Atliekų valdymo koncepcija, kurioje numatoma, kaip valdyti atskirus sudėtinius atliekų administravimo procesus, gali būti formuojama, panaudojant jau žinomus mokslininkų metodus. Apjungiant paplitusius ir žinomus procesų valdymo būdus, gaunama pagrindinė sistema, padedanti valdyti atliekų srautus. Jungtinė sistema sudaroma iš tarpusavyje susijusių komponentų ir kelių posistemų, kurių parametrai yra valdomi iš subsistemų (Pires *et al.* 2010). Pagrindinė atliekų valdymo sistema yra skirstoma į dvi pagrindines grupes: inžineriniai sistemų modeliai ir sistemų vertinimo įrankiai (1 lentelė) (Chang *et al.* In press):

1 lentelė. Atliekų valdymo sistemos dalys

Table 1. The purposes of systems engineering and assessment models

Inžineriniai sistemų modeliai	Sistemų vertinimo įrankiai
Ekonominės naudos ir analizės modeliai, įvertinantys teigiamą ir neigiamą procesų rezultata;	Gyvavimo ciklo nagrinėjimas, sudarytas iš atsinaujinančios energijos gamybos bei panaudojimo galimybių įvertinimo (EEA 2003; Buttol <i>et al.</i> 2007).
Optimizacijos modeliai, nagrinėjantys geriausios alternatyvos paiešką tarp daugelio galimų (Nie <i>et al.</i> 2007; Li <i>et al.</i> 2008).	Medžiagų srautų analizė, sistemingai vertinanti atliekų atsargas ir jų srautus laiko ir erdvės skalėse (Brunner and Reichenberger 2003).
Simuliaciniai modeliai, kurie leidžia sukurti virtualią tikrovėje realizuojamą situaciją (Wang <i>et al.</i> 1996).	Poveikio vertinimo procedūros, užtikrinančios pakankamą dėmesį galimai aplinkos žalai (Tukker <i>et al.</i> 2009).
Prognozavimo modeliai, kuriais kiekybiškai ir kokybiškai apibūdinami atliekų srautai ir informacija apie jų formavimąsi (Dyson and Chang 2005).	Socialinis-ekonominis vertinimas, apimantis vartotojų poreikių, mokesčių, gamintojų atsakomybės ir vystymo strategijos įvertinimą (Chang <i>et al.</i> 2005, 2009).
Integruoto modeliavimo sistemos, siekiančios pagerinti sinergetinį ryšį, koncentruojant įvairių modelių bendras funkcijas (Bjorklund <i>et al.</i> 1999).	Rizikos įvertinimas, padedantis nustatyti planuojamo įgyvendinti projekto poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai susidarius avarinėms situacijoms.

Įvertinus atliekų valdymo sistemos modelių ir įrankių posistemius, galima teigti, kad visas šis procesas yra nukreiptas į darnios aplinkos vystymą. Šių posistemų tikslas – įvertinti, optimizuoti ir pritaikyti atliekų tvarkymo alternatyvas prie lokalios bendruomenės poreikių ir galimybių, kad būtų sukurta racionali atliekų tvarkymo sistema.

Atliekų panaudojimo galimybės

Nuolatinis miestų augimas ir socialinis vystymas įtakoja darnios aplinkos kūrimo plėtojimą, kuris yra grindžiamas šiais principais (Newman 2010):

- Atsinaujinančios energijos gamyba;
- Minimalus išskiriamas CO₂ kiekis;
- Atliekų panaudojimas ir gamtos išteklių taupymas;
- Gyventojų socialinių poreikių aplinkos sutelkimas jų gyvenamojoje aplinkoje;
- Išvystytos transporto sistemos įdiegimas.

Kiekvienas gamybinis procesas yra pagrįstas tam tikros energijos sunaudojimu (gavyba, transportavimas, maišymas, terminis ar mechaninis apdorojimas), norint gauti tam tikrą rezultatą. Naudojant tam tikrus išteklius, kurie įvertinami finansiškai, pramonėje sukuriama produktai. Panaudojus baigtinį gaminį, daugeliu atvejų yra sukuriama atliekos, kurių metu atliekomis tampa ir gamybinių investicijų dalis. Paprasčiausias pavyzdys – įvairių gaminių pakuotės. Neįsisavinus visos produkto suteikiamos naudos, paliekant tam tikrą atliekų dalį, yra prarandama dalis pradinių produkto sukūrimo investicijų (Roussat *et al.* 2009). Tokio panaudojimo pavyzdys – 1 tona aliuminio produktų, kurių pagaminimui, naudojant antrines žaliavas, yra sutaupoma 200 GJ energijos. Toks energijos kiekis gamyboje leidžia sutaupyti iki 95 % energijos sąnaudų, kurios būtų reikalingos aliuminio produktus gaminant iš pirminio panaudojimo žaliavų (Thormark 2001).

2 lentelėje pateikiami 2010 metų rodikliai, nusakančius, kokius rezultatus šalys pasiekia integruodamos darnios plėtros principus. Vienas iš pavyzdžių yra Danija, kurioje 1999 m. buvo nagrinėjama, kaip gamybos ir perdirbimo rinkose sukurti vieningą pakuočių administravimo sistemą (Danish EPA), kurios pagrindinis veikimo tikslas – sukurti ekonominę naudą vietos rinkos dalyviams (EEA 2005). Kitas pavyzdys – Švedija, kurioje darnios aplinkos vystymo idėjų plėtra buvo skatinama valstybiniu lygiu.

Italijoje, šalies krizės atliekų tvarkymo srityje metu, buvo skatinamos mokslinės programos, susijusios su atliekų tvarkymo problemos sprendimų paieškoms (Mastellone *et al.* 2009).

Duomenys, pateikti 2 lentelėje, aiškiai įrodo pirmaujančių Europos valstybių energijos bei įvairių rūšių atliekų (komunalinių, statybos, griovimo ir kt.) panaudojimo proceso rimtumą. Energijos gavyba ir medžiagų perdirbimas grindžiamas visų pirma aplinkosauginiu aspektu (Ragossnik *et al.* 2009; Zhang *et al.* 2011), taip pat ekonominių (Coelho and Brito 2010) bei socialinių sąlygų gerinimo galimybėmis, didinant eksportą, kuriant naujas darbo vietas ir pan.

2 lentelė. Europos Sąjungos šalių atliekų panaudojimas 2010 m.

Table 2. The use of waste in the European Union in 2010

Šalis	Elektros energijos gamyba, deginant atsiuvinančias medžiagas ir atliekas, [GWh] (1)*	Komunalinių atliekų kiekis 2010 m., [tūkst. t] (2)*	Gamyba iš antrinio panaudojimo metalo laužo, [Mln. EUR] (3)*	Gamyba iš antrinio panaudojimo nemetalo medžiagų, [Mln. EUR] (4)*	Atliekų deginimo ir energijos gamybos gamyklų skaičius šalyje (Grosso <i>et al.</i> 2010)
Lietuva	89,0	1044,0	145,9	13,5	n.d.
Latvija	43,8	452,7	2,7	0,3	n.d.
Belgija	5004,3	5171,1	1523,2	1136,9	18
Danija	3988,7	4270,2	3226,2	n.d.	34
Austrija	6140,3	4690,9	427,7	182,1	9
Švedija	12771,0	4696,9	6875,5	2251,4	30
Suomija	9202,8	2596,3	578,7	116,4	1
Vokietija	47279,8	48090,3	3668,9	2668,1	68
Italija	8081,0	32921,4	1665,3	1863,0	51

* (1-4) Šaltinis: Euromonitor International from OECD 2010.

Energijos gamybos būdai

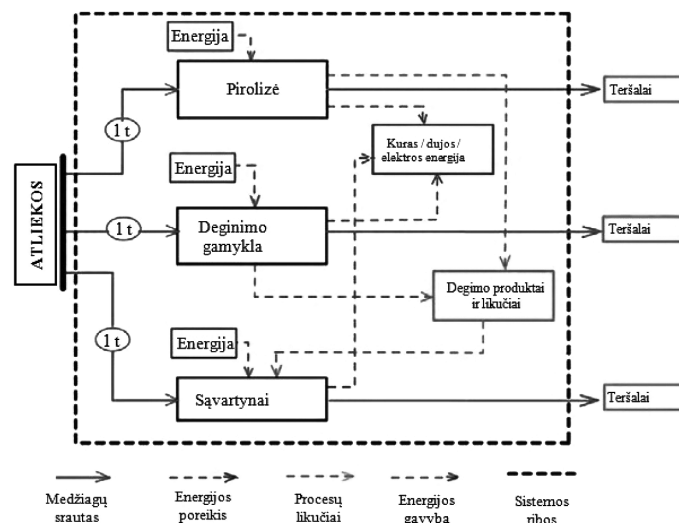
Atliekų tvarkymo technologija dažnai analizuojama, įvertinant galimybes pritaikyti vienokią ar kitokią atliekų panaudojimo sistemą konkrečioje aplinkoje. Nagrinėjant technologinį veiksmingumą, atsižvelgiama į abiotinius veiksnius, eutrofikacijos poveikį, klimato atšilimą, ozono sluoksnio plonėjimą bei poveikį ekosistemoms, vystant atliekų panaudojimo procesus (Zaman 2010).

Luoranen ir kt. (2009) nagrinėjo galimybes kaip tinkamai panaudoti susidaranti atliekas. Šis mokslininkas nustatė, kad ekonominis ir ekologinis efektas yra pasiekiamas, naudojant tokias atliekų tvarkymo metodikas:

- Perdirbimas (plastikai, kompozitinės medžiagos, metalai ir stiklas);

- Energijos gamyba (biologinės atliekos, popierius, kartonas, medienos ir tekstilės atliekos);
- Saugojimas sąvartynuose (dalis neperdirbamų bei nepanaudojamų medžiagų ir deginimo atliekų produktai).

Problemos sprendimas, kaip suvaldyti ir panaudoti atliekų srautus, apima ne tik realiu laiku pagaminamas atliekas, tačiau ir jau sukurtų sąvartynų panaudojimo galimybes. Apibendrinant atliekų panaudojimo technologines galimybes galima apibrėžti tris pagrindines atliekų apyvartumo kryptys, kurios yra pateikiamos 1 pav. (Zaman 2010).

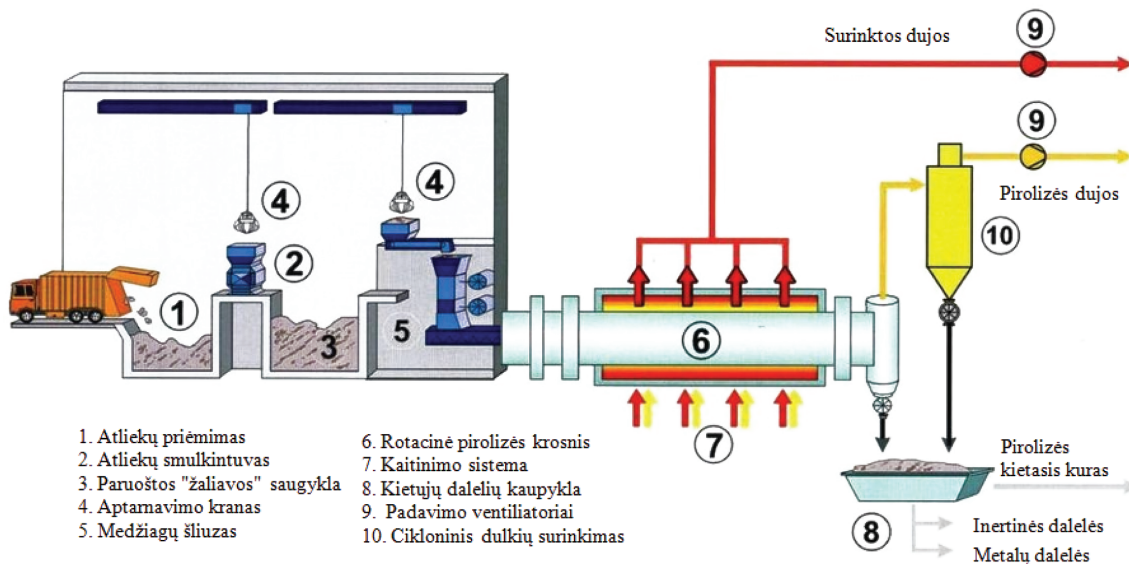


1 pav. Atliekų panaudojimo alternatyvos
Fig. 1. Waste recovery methods

Pirolizė ir dujinimas

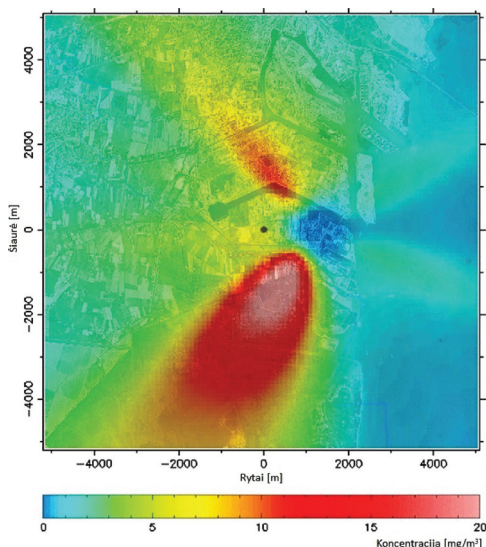
Pirolizė – tai terminio skilimo procesas, kurio metu vyksta kaitinimo procesas su ribotu deguonies kiekiu (Liu *et al.* 2011). Atliekant kietųjų medžiagų pirolizę susidaro kelių agregatinių būsenų medžiagos (dujinės, skystos, kietos ir pan.). Dujinimo proceso metu organinės medžiagos yra paverčiamos sintetinėmis dujomis, kurios panaudojamos elektros bei šilumos energijos gamybai (Sheth, Babu 2009). Pirolizės metodo tikslas – perdirbti ir panaudoti sunkiai sutvarkomas atliekas (plastiko gaminius, sintetines pakuotes, automobilių padangas) bei išvalyti

užterštus gruntuos ar panaudotus automobilių tepalus ir pan. (Demiral, Sensoz 2008). Taip pat šis metodas efektyviai naudojamas organinių medžiagų perdirbimui, kurios susidaro namų ūkiuose. Pirolizės metu atliekų perdirbimo efektyvumas gali siekti iki 90 %. Tai reiškia, kad kietos būsenos medžiagos paverčiamos skysta ir dujine būsenomis ir gaunama 10 % liekamųjų medžiagų (šlakų, pelenų ir nenustatytos sudėties medžiagų) (Lopez *et al.* 2010). Pirolizės gamyklos principinė schema pateikiama 2 pav. (TechTrade GmbH).



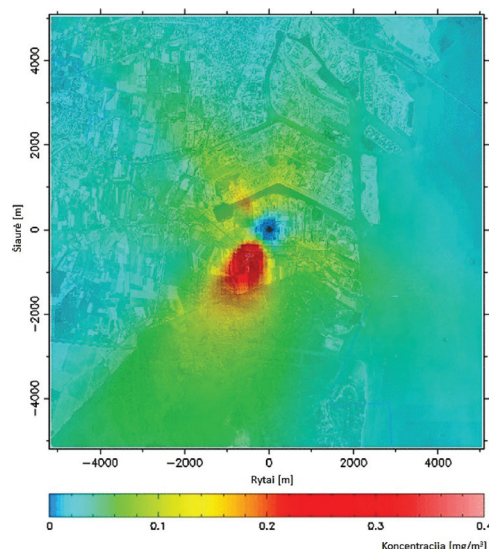
2 pav. Pirolizės gamyklos schema

Fig. 2. A schematic pyrolysis combustion plant



3 pav. CO₂ koncentracija žemės lygyje, kurią sukelia tradicinė kieto kuro jėgainė

Fig. 3. SO₂ concentration in the air at ground level caused by the emissions of the power plant



4 pav. CO₂ koncentracija žemės lygyje, kurią sukelia pirolizės-dujinimo gamykla

Fig. 4. SO₂ concentration in the air at ground level caused by the emissions of the pyrolysis plant

Technologiniu požiūriu pirolizės gamykla gali priimti perdirbimui ir rūšiuotas, ir nerūšiuotas atliekas. Tai priklauso nuo gamyklos pritaikymo lygmens, kur gali būti įrengta rūšiavimo linija pirminėms ar proceso metu apdorotoms atliekoms rūšiuoti. Pirolizės ir dujinimo metu sukauptos dujos ir kietosios dalelės yra panaudojamos tolimesniems elektros ir šilumos energijos gavybos procesams (Voets *et al.* 2011). Iš biomasės atliekų susidariusios alyvos yra potencialus pakaitalas naftos produktams, kurie gali būti panaudojami energijos ir šilumos gavyboje (Fan *et al.* 2011). Apdorojant atliekas mechaniniu būdu ir jas trupinant bei skaidant magnetų pagalba, yra surenkamos metalų dalelės, kurios panaudojamos antrinės žaliavos gamybai.

Pirolizės ir dujinimo pagrindu veikiančios gamyklos apibūdinamos kaip mažą žalą gamtai sukeliančios energijos ir šilumos gamybos sistemos. Baggio ir kt. (2008) moksliniame darbe atliko stebėjimus, kurių metu nustatyta, kokia CO₂ koncentracija išsiskiria tradicinėje kietu kuru kūrenamoje jėgainėje (3 pav.) ir pirolizės-dujinimo gamykloje (4 pav.). Be CO₂, šio proceso metu išsiskiria ir kitos cheminės, aplinkai kenksmingos medžiagos (He *et al.* 2010), kurių surinkimą būtina numatyti tokios gamyklos vystymo procese.

Atliekų deginimas

Atliekų deginimas yra pagrindinis susidarantių atliekų šalinimo būdas visame pasaulyje. Jis ypač populiarus tuose regionuose, kuriuose žemės išteklių kiekiai yra riboti. Atliekų deginimas pasižymi atliekų kiekių stabilizavimo, sanitarijos reguliavimo, atliekų sumažinimo ir energijos gavybos savybėmis (Chen, Lin 2008). Šilumos gamyba, panaudojant įvairias susidariusias atliekas, tampa alternatyvus metodas šilumos energijos gamybai (Chen *et al.* 2005), leidžia panaudoti 90 % susidariusio medžiagų tūrio ir 70 % jų masės (Quina *et al.* 2010).

Nagrinėjant atliekas, kurios gali būti panaudojamos deginimui, yra vertinamas jų kaloringumas. Nustatyta, kad deginimui tinkamų atliekų kaloringumas turi būti nemažesnis nei 6,5 MJ·kg⁻¹ (Rand *et al.* 2000). Rimaitytės ir kt. (2010) mokslinėje publikacijoje pateikiami medžiagų kaloringumo įvertinimai: popierius ir kartonas – 9,3 MJ·kg⁻¹; plastikai ir kompozitai – 20,6 MJ·kg⁻¹; biologinės atliekos – 6,3 MJ·kg⁻¹.

Nagrinėjant Danijos atliekų deginimo technologiją, buvo pasitelktos jau pastatytos deginimo jėgainės, pritaikytos deginti susidarantią atlieką (Fruegaard *et al.* 2010). Fruegaard'as savo mokslinėje publikacijoje pateikia, kokių rezultatų pasiekama, pritaikant atliekų deginimo technologijas (3 lentelė).

3 lentelė. Danijos atliekų deginimo gamyklų pasiekti rezultatai

Table 3. Danish results at waste incineration plants

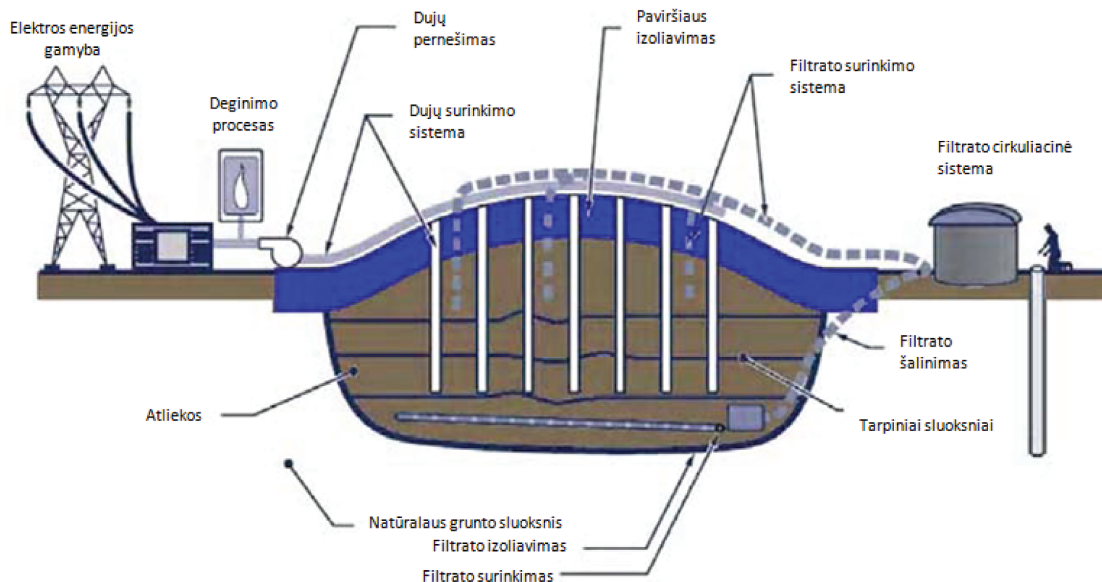
		Deginimo gamyklos tipas	
		Aarhus	Herning
2007 m. pagaminta šilumos energijos (TJ)		10590,0	2650,0
Naudotas kuras		Anglis 91 %, šiaudai 7 %, mazutas 2 %	Medienos drožlės 75 %, gamtinės dujos 22 %, mazutas 3 %
Įvesties duomenys			
Atliekos	kg	1000	1000
Gamtinės dujos	m ³	0	25
Elektros energija	kWh	75	124
Šilumos energija	kWh	6	3
Atliekų deginimo išieitiniai rezultatai			
Pagaminta elektros energija	kWh	587	712
Pagaminta šilumos energija	kWh	2083	2813

Terminis kietųjų atliekų apdorojimas, pagrįstas šilumos ir elektros energijos atgavimu, yra vienas iš efektyviausių atliekų panaudojimo būdų. Atliekos tampa tarsi atsinaujinantis kuras, kurio pastovus susidarymas yra kontroliuojamas, gaunant ekonominę naudą (Pavlas *et al.* 2008). Atliekų deginimas yra neatskiriama visos šalies atliekų rinkos dalis, nes atliekų valdymo sistemos sukūrimas, užtikrinantis atliekų srautų valdymą, yra būtinas. Veikianti sistema turėtų įvertinti atliekų surinkimo, logistikos ir pradinių investicijų į deginimo gamyklas kaštus bei projekcinį rezultatą.

Sąvartynų panaudojimas

Nagrinėjant Lietuvos situaciją, atliekų panaudojimo ar rūšiavimo idėjos pradėtos vystyti tik pastarąjį dešimtmetį, lyginant su aukštesnį išsivystymo lygį pasiekusiomis valstybėmis (pvz.: Danija, Vokietija, Švedija). Vertinant Vilniaus miesto atliekų srautą, 2010 metais į apskrities sąvartyną buvo atvežta 236 tūkst. tonų komunalinių atliekų ir 32,3 tūkst. tonų pramoninių atliekų.

Atliekų saugojimas sąvartynuose yra vienas iš plačiausiai paplitusių technologijų pasaulyje, tačiau dauguma sąvartynų neturi energijos gamybos įrenginių, kurių pagalba yra generuojamos ir panaudojamos medžiagų irimo metu susidarantių dujų (Zaman 2010). Pagrindinė technologinė sąvartynuose susidarantių dujų panaudojimo schema pateikiama 5 pav. (FCM 2004). Tokios sąvartynuose naudojamos technologijos pagrindiniai tikslai:



5 pav. Sąvartynuose susidarantių dujų panaudojimo technologinė schema

Fig. 5. Principal technical elements of a landfill

- Suvaldyti metano dujų išmetimą į atmosferą, nes tai skatina šiltnamio efektą (Staub *et al.* 2011);
- Surinkti susidaranti filtratą, siekiant sumažinti sąvartyno teritorijoje esančio grunto užteršimą, ir užkirsti kelią patekusių teršalų paplitimui gruntiniuose vandenyse (Rove *et al.* 2009).

Tokių sąvartynuose įrengtų sistemų veikimu yra surenkamos biodujos, kurios endoterminių variklių pagalba yra panaudojamos elektros energijos gamybai (Mescia *et al.* 2011). Platesnė informacija ir metodai, kaip biodujos panaudojamos elektros energijos gamybai, pateikiami šią mokslinę sritį vystančių mokslininkų mokslinėse publikacijose (Lunghi *et al.* 2004; Bove, Lunghi 2006; Zappini *et al.* 2010; Zamorano *et al.* 2007).

Išvados

Pristatytos trys nepavojingų atliekų tvarkymo alternatyvos, kurių metu gali būti valdomi susidaranti atliekų srautai ir jau esančių sukauptų atliekų tolimesnis panaudojimas. Pirolizės ir atliekų deginimo alternatyvos yra susijusios su atsinaujinančių atliekų utilizavimu, panaudojant deginimo procesus. Atliekų valdymas, kaupimo sąvartynuose būdu nėra tinkamas metodas, nes tam turi būti panaudojamos didelės teritorijos ir energijos gamybai reikalingos žaliavos susidarymo laikas yra labai ilgas, o pati atliekų kaupimo idėja yra prieštaringa racionalaus vystymo ir darnios urbanizacijos idėjoms. Siekiant įgyvendinti pirolizės ir deginimo alternatyvas, būtina tinkamai įvertinti regiono atliekų sistemą, ekonominius, socialinius, lokalinius ir aplinkosaukinius veiksmus, kad būtų užtikrinama efektyvi elektros ir

šilumos energijos gamyba ir tiekimas. Lietuvoje veikiančių šilumos ir elektros energijos gamyklų naudojamas kietasis kuras gali būti pakeičiamas kaloringomis atliekomis. Tokių technologijų tinkamas vystymas Lietuvoje leistų mažinti priklausomybę nuo importuojamų iškastinių kuro rūšių ir užtikrintų susidaranti atliekų valdymą bei kontrolę.

Literatūra

- Baggio, P.; Baratieri, M.; Gasparella, A.; Longo, G. A. 2008. Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (MSW) pyrolysis and combined cycle, *Thermal Engineering* 28(2-3): 136-144.
- Björklund, A.; Dalemo, M.; Sonesson, U. 1999. Evaluating a municipal waste management plan using ORWARE, *Journal of Cleaner Production* 7(4): 271-280.
- Bove, R.; Lunghi, P. 2006. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies, *Energy Conversion and Management* 47(11-12): 1391-1401. doi:10.1016/j.enconman.2005.08.017
- Brunner, P. H.; Rechberger, H. 2003. Practical Handbook of Material Flow Analysis, *International Journal of Life Cycle Assessment* 9(5): 337-338.
- Buttol, P.; Masoni, P.; Bonoli, A.; Goldoni, S.; Belladonna, V.; Cavazzuti, C. 2007. LCA of integrated MSW management systems: case study of the Bologna District, *Waste Management* 27(8): 1059-1070.
- Chang, N. B.; Chang, Y. H.; Chen, H. W. 2009. Fair fund distribution for a municipal incinerator using GIS-based fuzzy analytic hierarchy process, *Journal of Environmental Management* 90(1): 441-454. doi:10.1016/j.jenvman.2007.11.003
- Chang, N. B.; Davila, E.; Dyson, B.; Brown, R. 2005. Optimal design for sustainable development of a material recovery facility in a fast-growing urban setting, *Waste Management* 25(8): 833-846. doi:10.1016/j.wasman.2004.12.017

- Chang, N. B.; Pires, A.; Martinho, G. (in press). Empowering systems analysis for solid waste management: trends and perspectives, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.
- Chen, J. C.; Chang, N. B.; Davila, E.; Chen, W. H.; Tsai, C. H. 2005. Interactive analysis of waste recycling and energy recovery program in a small-scale incinerator, *Journal of Air and Waste Management Association* 55: 1356–1366.
- Chen, J. Ch.; Lin, K. Y. 2008. Diagnosis for monitoring system of municipal solid waste incineration plant, *Expert Systems with Applications* 34(1): 247–255. doi:10.1016/j.eswa.2006.09.002
- Cherubini, F.; Bargigli, S.; Ulgiati, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration, *Energy* 34(12): 2116–2123. doi:10.1016/j.energy.2008.08.023
- Christensen, T. H.; Bhandar, G.; Lindvall, H.; Larsen, A. W.; Fruergaard, T.; Anders, D.; Manfredi, S.; Boldrin, A.; Riber, C.; Hauschild, M. 2007. Experience with the use of LCAModelling (EASEWASTE) in waste management, *Waste Management and Resources* 25(3): 257–262. doi:10.1177/0734242X07079184
- Coelho, A.; Brito, J. 2010. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal, *Waste Management & Research* 10: 1–11.
- Danish EPA (Danish Environmental Protection Agency) [interaktyvus]. Waste in Denmark [žiūrėta 2010–02–18]. Prieiga per internetą: <http://www.mst.dk/English/>.
- Demiral, I.; Senoz, S. 2008. The effects of different catalysts on the pyrolysis of industrial wastes (olive and hazelnut bagasse), *Bioresource Technology* 99(17): 8002–8007. doi:10.1016/j.biortech.2008.03.053
- Dembiras, A. 2011. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes, *Energy Conversion and Management* 52(2): 1280–1287.
- Dyson, B.; Chang, N. B. 2005. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling, *Waste Management* 25(7): 669–679. doi:10.1016/j.wasman.2004.10.005
- EEA (European Environment Agency) [interaktyvus]. 2003. Assessment of Information Related to Waste and Material Flows: a Catalogue of Methods and Tools, *European Environment Agency*, Copenhagen [žiūrėta 2010–02–18]. Prieiga per internetą: <http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2003_96>.
- EEA (European Environment Agency) [interaktyvus]. 2005. Effectiveness of Packaging Waste Management Systems in Selected Countries: An EEA Pilot Study. European Environment Agency, Luxembourg Copenhagen [žiūrėta 2010–02–18]. Prieiga per internetą: <http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2005_3>.
- Euromonitor International from national statistics/UN/OECD [interaktyvus]. 2010. Production of Recycled Metal Waste and Scrap [žiūrėta 2010–02–12]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Euromonitor International from national statistics/UN/OECD [interaktyvus]. 2010. Production of Recycled Non-Metal Waste and Scrap [žiūrėta 2010–02–12]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Euromonitor International from OECD [interaktyvus]. 2010. Electricity Produced by Combustible Renewables and Waste Generation [žiūrėta 2010–02–12]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Euromonitor International from OECD [interaktyvus]. 2010. Municipal Waste [žiūrėta 2010–02–12]. Prieiga per internetą: <http://www.euromonitor.com>.
- Fan, J.; Kalnes, T.; Alward, M.; Klinger, J.; Sadehvandi, A.; Shonnard, D. 2011. Life cycle assessment of electricity generation using fast pyrolysis bio-oil, *Renewable Energy* 36(2): 632–641. doi:10.1016/j.renene.2010.06.045
- FCM [interaktyvus]. 2004. Solid waste as a resource, review of waste technologies, 111. Federation of Canadian Municipalities [žiūrėta 2010–01–18]. Prieiga per internetą: <www.sustainablecommunities.com>.
- Fruergaard, T.; Christensen, T.H.; Astrup, T. 2010. Energy recovery from waste incineration: Assessing the importance of district heating networks, *Waste Management* 30(7): 1264–1272. doi:10.1016/j.wasman.2010.03.026
- Grosso, M.; Motta, A.; Rigamonti, L. 2010. Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive, *Waste Management* 30(7): 1238–1243. doi:10.1016/j.wasman.2010.02.036
- He, M.; Xiao, B.; Liu, Sh.; Hu, Z.; Guo, X.; Luo, S.; Yang, F. 2010. Syngas production from pyrolysis of municipal solid waste (MSW) with dolomite as downstream catalysts, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 87(2): 181–187. doi:10.1016/j.jaap.2009.11.005
- Kan, A. 2009. General characteristics of waste management: a review, *Energy Education Science Technology* 23: 55–69.
- Kaufman, S.; Krishnan, N.; Themelis, N. 2010. A Screening Life Cycle Metric to Benchmark the Environmental Sustainability of Waste Management Systems, *Environmental Science and Technology* 44(15): 5949–5955. doi:10.1021/es100505u
- Kothari, R.; Tyagi, V.; Pathak, A. 2010. Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9): 3164–3170. doi:10.1016/j.rser.2010.05.005
- Li, Y. P.; Huang, G. H.; Yang, Z.; Nie, S. L. 2008. An integrated two-stage optimization model for the development of long-term waste management strategies, *Science of the Total Environment* 392(2–3): 175–186. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.11.028
- Liu, W. J.; Zeng, F. X.; Jiang, H.; Yu, H. Q. 2011. Total recovery of nitrogen and phosphorus from three wetland plants by fast pyrolysis technology, *Bioresource Technology* 102(3): 3471–3479. doi:10.1016/j.biortech.2010.10.135
- Lopez, A.; Marco, I.; Caballero, B. M.; Laresgoiti, M. F.; Adrados, A. 2010. Pyrolysis of municipal plastic wastes: Influence of raw material composition, *Waste Management* 30(4): 620–627. doi:10.1016/j.wasman.2009.10.014
- Lunghi, P.; Bove, R.; Desideri, U. 2004. Life-cycle-assessment of fuel-cells-based landfill-gas energy conversion technologies, *Journal of Power Sources* 131(1–2): 120–126. doi:10.1016/j.jpowsour.2004.01.006
- Luoranen, M.; Soukka, R.; Denafas, G.; Horttanainen, M. 2009. Comparison of energy and material recovery of household waste management from the environmental point of view – Case Kaunas, Lithuania, *Applied Thermal Engineering* 29(5–6): 938–944. doi:10.1016/j.applthermaleng.2008.05.006
- Mastellone, M. L.; Brunner, P.H.; Arena, U. 2009. Scenarios of waste management for a waste emergency area e a substance

- flow analysis, *Journal of Industrial Ecology* 13(5): 735–757. doi:10.1111/j.1530-9290.2009.00155.x
- Mescia, D.; Hernandez, S. P.; Conoci, A.; Russo, N. 2011. MSW landfill biogas desulfurization, *International Journal of Hydrogen Energy* (in press): 1–7.
- Morselli, L.; Robertis, C.; Luzi, J.; Passarini, F.; Vassura, I. 2008. Environmental impacts of waste incineration in a regional system (Emilia Romagna, Italy) evaluated from a life cycle perspective, *Journal of Hazardous Materials* 159(2–3): 505–511. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.02.047
- Newman, P. 2010. Green Urbanism and its Application to Singapore, *Environment and Urbanization Asia* 1(2): 149–170. doi:10.1177/097542531000100204
- Nie, X.; Huang, G.; Li, Y.; Liu, L. 2007. IFRP: a hybrid interval-parameter fuzzy robust programming approach for waste management planning under uncertainty, *Journal of Environmental Management* 84(1): 1–11. doi:10.1016/j.jenvman.2006.04.006
- Pavlas, M.; Touš, M. 2008. Efficient waste-to-energy system as a contribution to clean technologies, *Clean Technologies Environmental Policy* 11(1): 19–29.
- Pires, A.; Martinho, G.; Chang, N. 2011. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques, *Journal of Environmental Management* 92(4): 1033–1050. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.024
- Quina, M. J.; Bordado, C. M.; Quinta-Ferreira, M. 2010. Chemical stabilization of air pollution control residues from municipal solid waste incineration, *Journal of Hazardous Materials* 179(1–3): 382–392. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.03.016
- Ragossnik, A. M.; Wartha, C.; Pomberger, R. 2009. Climate impact analysis of waste treatment scenarios – thermal treatment of commercial and pretreated waste versus landfilling in Austria, *Waste Management & Research* 27(9): 914–921. doi:10.1177/0734242X09345867
- Rand, T.; Haukohl, J.; Marxen, U. 2000. *Municipal solid waste incineration – requirements for a successful Project*. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development.
- Rimaitytė, I.; Denafas, G.; Martuzevičius, D.; Kavaliauskas, A. 2010. Energy and Environmental Indicators of Municipal Solid Waste Incineration: toward Selection of an Optimal Waste Management System, *Polish Journal of Environmental Studies* 19(5): 989–998.
- Roussat, N.; Mehu, J.; Dujet, Ch. 2009. Indicators to assess the recovery of natural resources contained in demolition waste, *Waste Management & Research* 27(2): 159–166. doi:10.1177/0734242X08089839
- Rowe, R. K.; Rimal, S.; Sangam, H. P. 2009. Ageing of HDPE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures, *Geotextiles and Geomembranes* 27(2): 31–151.
- Sheth, P. and Babu, B. V. 2009. Differential evolution approach for obtaining kinetic parameters in non isothermal pyrolysis of biomass, *Materials and Manufacturing Processes* 24(1): 47–52. doi:10.1080/10426910802540661
- Staub, M.; Marcolina, G.; Gourc, J. P.; Simonin, R. 2011. An incremental model to assess the environmental impact of cap cover systems on MSW landfill emissions, *Geotextiles and Geomembranes* (in press). doi:10.1016/j.geotextmem.2011.01.013
- Tech Trade International, Koln, Germany [interaktyvus], [žiūrėta 2010–01–20]. Prieiga per internetą: <www.ufg.de>.
- Tehrani, S. M.; Karbassi, A. R.; Ghoddosi, J.; Monavvari, S. M.; Mirbagheri, S. A. 2009. Prediction of energy consumption and urban air pollution reduction in e-shopping adoption, *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7(3–4): 898–903.
- Thormark, C. 2001. Conservation of energy and natural resources by recycling building waste, *Resources, Conservation and Recycling* 33(2): 113–130. doi:10.1016/S0921-3449(01)00078-7
- Tukker, A.; Poliakov, E.; Heijungs, R.; Hawkins, T.; Neuwahl, F.; Rueda-Cantuche, J.M.; Giljum, S.; Moll, S.; Oosterhaven, J.; Bouwmeester, M. 2009. Towards a global multi-regional environmentally extended input-output database, *Ecological Economics* 68(7): 1928–1937. doi:10.1016/j.ecolecon.2008.11.010
- Voets, T.; Kuppens, T.; Cornelissen, T.; Thewys, T. 2011. Economics of electricity and heat production by gasification or flash pyrolysis of short rotation coppice in Flanders (Belgium), *Biomass and Bioenergy* (in press):1–13.
- Wang, F.; Richardson, A.; Roddick, F. 1996. SWIM - a computer model for solid waste integrated management, *Computers, Environment and Urban Systems* 20(4–5): 233–246. doi:10.1016/S0198-9715(96)00019-1
- Zaman, A. U. 2010. Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method, *International Journal of Environmental Science and Technology* 7(2): 225–234.
- Zamorano, M.; Perez, J. I.; Pavesc, I.; Ridao, A. R. 2007. Study of the energy potential of the biogas produced by an urban waste landfill in Southern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(5): 909–922. doi:10.1016/j.rser.2005.05.007
- Zappini, G.; Cocca, P.; Rossi, D. 2010. Performance analysis of energy recovery in an Italian municipal solid waste Landfill, *Energy* 35(12): 5063–5069. doi:10.1016/j.energy.2010.08.012
- Zhang, Y.; Li, Q.; Meng, A.; Chen, Ch. 2011. Carbon monoxide formation and emissions during waste incineration in a grate-circulating fluidized bed incinerator, *Waste Management & Research* 29(3): 294–308. the use of Safe waste for the production of electricity and heat

THE USE OF SAFE WASTE FOR THE PRODUCTION OF ELECTRICITY AND HEAT

M. Lazauskas

Abstract

Steadily increasing prices of electricity and heat energy make us look for the options how to use the supply available rationally. The purpose is to cut energy production costs. Different possibilities to use renewable resources such as wind, water, solar and geothermal energy, are widely discussed in different scientific fields. The article introduces the alternative ways of energy production which could ensure the control of safe waste produced in the process of production. The ways introduced in the article are pyrolysis, incineration and the use of landfilling gas.

Keywords: landfilling, incineration, pyrolysis, alternative energy.