



ATLIEKŲ DEGINIMO GAMYKLOS VIETOS PARIKIMAS MOORA IR MULTIMOORA METODU

Marius LAZAUSKAS¹, Liudmila VACHOVIAK²

¹*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakultetas, Statybos technologijos ir vadybos katedra,
adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223, Vilnius, Lietuva.*

²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Mechanikos fakultetas, Poligrafinių mašinų katedra, adresas:
Saulėtekio al. 11, LT-10223, Vilnius, Lietuva.*

El. paštai: ¹marius.lazauskas@gmail.com (corresponding author); ²liudmila.vachoviak@gmail.com

Santrauka. Darnios plėtros idėjų populiarėjimas ir socialiai atsakingo verslo indėlis į gyvenamosios aplinkos būklės gerinimą lemia daugelio sprendimų įgyvendinimą kasdieniniame gyvenime. Neišimtis ir tobulėjanti energetinių išteklių rinka, kurioje yra būtina integruoti sprendimus, padedančius taupyti iškastinį kurą, didinti atsinaujinančios energijos panaudojimo galimybes ir glaudžiai bendradarbiaujant visiems darnios aplinkos dalyviams tobulinti esamą energijos gamybos bei atliekų panaudojimo sistemą. Straipsnyje nagrinėjamas atliekų deginimo gamyklos vietos parinkimas, kad būtų suderinti suinteresuotų grupių poreikiai. Yra vertinamos septynios galimos atliekų deginimo gamyklos statybos vietos alternatyvos, kurios apibūdinamos rodikliais, kur geriausio rezultato paieškai naudojamas kompleksinis MOORA ir MULTIMOORA metodų derinys.

Reikšminiai žodžiai: atliekų deginimas, alternatyvi energija, MOORA, MULTIMOORA, darni plėtra.

Įvadas

Technologinis ir socialinis augimas formuoja visuomenės prioritetus, kurių pagrindinis tikslas sumažinti neatsinaujinančių išteklių ir energijos vartojimą, teršalų emisijos į orą kiekį. Skatinama saugoti požeminius vandenius ir dirvožemį (Morselli *et al.* 2008).

Sukurtų produktų atliekos tiek buityje, tiek statybos srityse savaime nepasišalina, todėl būtina sukurti sistemą ir technologijas, kaip sunaikinti, saugoti arba tinkamai panaudoti susidarancias atliekas (Pavlas, Touš 2008). Būtina suprasti, kad visos sukuriamos atliekos nėra bevertės šiukšlės. Atliekos – tai pasisavinamas energijos šaltinis, kuris yra nuolatos sukuriamas vartotojų (Tehrani *et al.* 2009). Atliekų gyvavimo ciklas apima atliekų tvarkymo sistemas, kurios pagrįstos sprendimais, nukreiptais į neatsinaujinančių išteklių išsaugojimą (Cherubini *et al.* 2009).

Atliekų gyvavimo ciklas gali būti nagrinėjamas pagal susidaranciu nepavojingų atliekų panaudojimo alternatyvas: atliekų deginimą, rūšavimą ir kaupimą sąvartynuose. Atliekų panaudojimo alternatyvos pasirinkimas nustato atliekų valdymo procesų eiliškumą ir padeda įvertinti pakartotinio atliekų panaudojimo efektyvumą ekonominiu, socialiniu ir aplinkosauginiu požiūriais (Kaufman *et al.* 2010, Christensen *et al.* 2007). Pakartotinis atliekų panaudojimo efektyvumas priklauso nuo galutinio vartotojo, t.y. nuo jo savimonės atsisakyti vartojimui nebūtinų pakuočių, o vartojamas prekes būtina tinkamai ir maksimaliai išrūšiuoti ir panaudoti pakartotinai.

Tipiška susidaranciu atliekų tvarkymo sistema yra sudaryta iš atliekų surinkimo, gabenimo, pirminio apdorojimo, perdėbimo ir galutinių likutinių medžiagų panaudojimo procesų (Dembiras 2011). Vertinant aukštą ekonomikos lygį turinčių Europos Sąjungos šalių (Grosso *et al.* 2010) ir Lietuvos technologinę pažangą atliekų deginimo srityje yra susidaręs aiškus atotrūkis, nes Lietuvoje (Klaipėdoje) tik 2011 m. II ketvirtyje pradėta statyti pirmoji atliekų deginimo gamykla, centralizuotai gaminsianti šilumos ir elektros energiją. 2014 metų III ketvirtyje didžiausia statybos šakos rinka (Vilniaus regionas) susidūrė su sudėtinga situacija, kuomet visi statybos rinkos dalyviai buvo priversti žaibiškai išmokyti statybvietės aikštelėje rūšiuoti susidarancias statybines atliekas.

Šiame straipsnyje pristatoma kaip iš galimų atliekų deginimo gamyklos statybos vietų alternatyvų yra atrenkama geriausia vieta sprendžiant daugiakriterį uždavinį. Geriausios alternatyvos parinkimui yra panaudojamas MOORA ir MULTIMOORA metodų derinys.

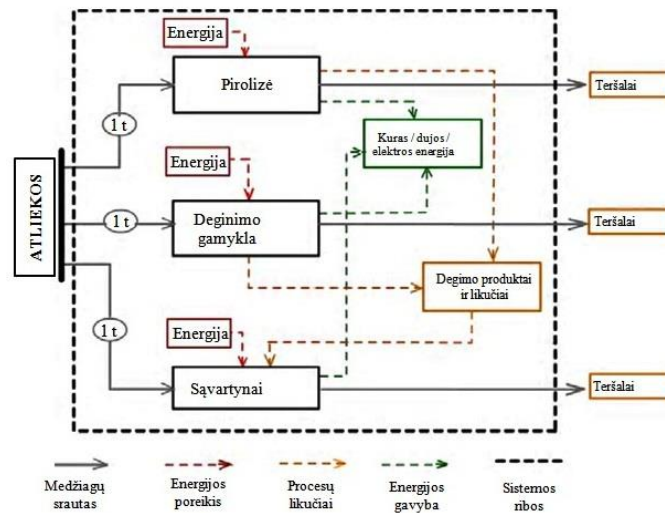
Atliekų tvarkymo technologijos

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

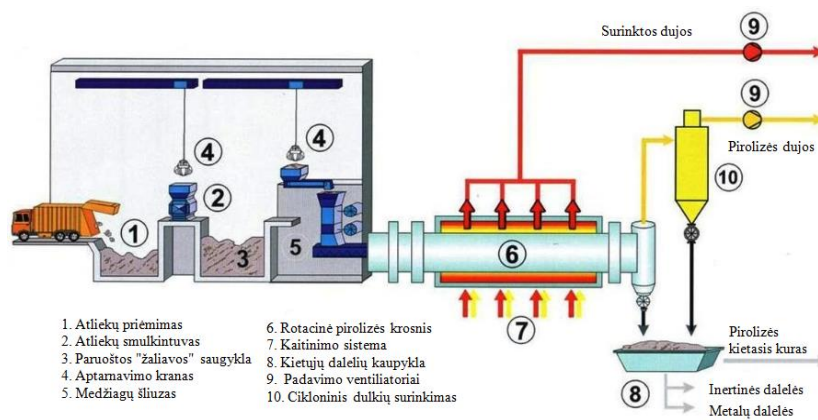
- Perdirbimas (plastikai, kompozitinės medžiagos, metalai ir stiklas);
- Energijos gavyba (biologinės atliekos, popierius, kartonas, medienos ir tekstilės atliekos);
- Saugojimas sąvartynuose (dalis neperdirbamų bei nepanaudojamų medžiagų ir deginimo atliekų produktai).

Problemos sprendimas, kaip suvaldyti ir panaudoti atliekų srautus apima ne tik realiu laiku pagaminamas atliekas, bet ir jau sukurtų sąvartynų panaudojimo galimybes. Būtent su buitinių atliekų ir statybos srityje susidarančių atliekų problemomis yra susiduriama ir Lietuvoje. Apibendrinant atliekų panaudojimo technologines galimybes, kurios gali būti įgyvendinamos Lietuvoje sujungiant technologijų pritaikymą bei statybos darbų įgyvendinimą, galima apibrėžti tris pagrindines atliekų apyvartumo kryptis (1 pav.) (Zaman 2010):



1 pav. Atliekų panaudojimo alternatyvos (Zaman 2010)
Fig. 1. The alternatives of waste usability (Zaman 2010)

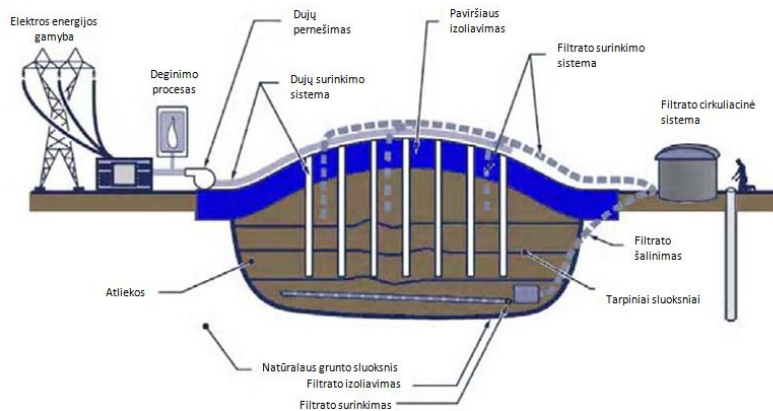
Pirolizė – tai terminio skilimo procesas, kurio metu vyksta kaitinimo procesas su ribotu deguonies kiekiu (Liu *et al.* 2011). Pirolizės metodo tikslas – perdirbti ir panaudoti sunkiai sutvarkomas atliekas (plastiko gaminius, sintetines pakuotes, automobilių padangas) bei išvalyti užterštus gruntuos ar panaudotus automobilių tepalus ir pan. (Demiral, Sensoz 2008). Taip pat šis metodas efektyviai naudojamas perdirbimui organinių medžiagų, 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 % liekiamųjų medžiagų (šlakų, pelenų ir nenustatytos sudėties medžiagų) (Lopez *et al.* 2010). Pirolizės gamyklos principinė schema pateikiama 2 paveiksle (TechTrade GmbH 2010).



2 pav. Pirolizės gamyklos schema (TechTrade GmbH 2010)
Fig. 2. The principal scheme of pyrolysis (TechTrade GmbH 2010)

Vertinant statybinio technologiniu požiūriu pirolizės gamykla turi būti technologiškai efektyvi, kurioje turi būti suprojektuotas atliekų padavimo koridorius, rūšiavimo bazė, pirolizės mechanizmas ir saugus, griežtus aplinkosauginius reikalavimus atitinkantis, atliekų pašalinimas.

Kita technologija, kuri Lietuvoje galėtų būti pritaikoma – esamų sąvartynų panaudojimas. Atliekų saugojimas sąvartynuose yra vienas iš plačiausiai paplitusių technologijų pasaulyje, tačiau dauguma sąvartynų neturi energijos gamybos įrenginių, kuriuos naudojant yra generuojamos ir panaudojamos medžiagų irimo metu susidaranti dujos (Zaman 2010). Pagrindinė technologinė sąvartynuose susidarančių dujų panaudojimo schema pateikiama 3 paveiksle (FCM 2004).



3 pav. Sąvartynuose susidarančių dujų panaudojimo technologinė schema (FCM 2004)
Fig. 3. The principal use scheme of waste gases (FCM 2004)

Tokios sąvartynuose naudojamos technologijos pagrindiniai tikslai:

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

Esminė dabartinė Lietuvos statybos, aplinkos apsaugos ir verslo institucijų problema – susidarančių atliekų šalinimas Vilniaus regione. Vilniaus regionas sukuria didžiausią kiekį buitinių ir statybos atliekų srautą Lietuvoje, todėl šios problemos sprendimas yra ypač svarbus. Pastaraisiais metais yra svarstoma viena iš alternatyvų, statyti atliekų deginimo gamyklą, kurioje būtų utilizuojamos susikaupiančios išrūšiuotos buitinės ir statybinės atliekos.

Atliekų deginimas yra pagrindinis susidarančių 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 gamybos 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 Danijos atliekų deginimo technologiją, buvo pasitelktos jau pastatytos deginimo jėgainės, pritaikytos deginti susidarančias atliekas (Fruegaard *et al.* 2010). Fruegaardas savo mokslinėje publikacijoje pateikia, kokių rezultatų pasiekama, pritaikant atliekų deginimo technologijas (1 lentelė).

1 lentelė. Danijos atliekų deginimo gamyklų pasiekti rezultatai (Fruegaard *et al.* 2010)

Table 1. The achieve results of waste incineration plants in Danish (Fruegaard *et al.* 2010)

	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 [mato vnt.]		
Atliekos	kg	1000
Gamtinės dujos	m ³	0
Elektros energija	kWh	75
Šilumos energija	kWh	6
Deginimo rezultatai		
Pagaminta elektros energija	kWh	587
Pagaminta šilumos energija	kWh	2083
		712
		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. Todėl straipsnyje yra formuluojama problema, kad atsižvelgiant į inžinerinius atliekų deginimo gamyklos parametrus, gyvenamosios teritorijos savybes, būtina nustatyti tinkamą atliekų deginimo gamyklos vietą Vilniaus miesto teritorijoje.

Alternatyvų vietų apibūdinimas

Susidarančių atliekų deginimo sistema nėra vienalytė – ji yra sudaryta iš daugelio atliekų apyvartumo posistemų:

- Atliekų kaupimas ir rūšiavimas;
- Atliekų surinkimas ir transportavimas;
- Surinktų atliekų pakartotinis rūšiavimas;
- Išrūšiuotų atliekų transportavimas perdirbimui, sunaikinimui arba saugojimui sąvartynuose;
- Atliekų deginimas;
- Degimo proceso metu susidarančių dujų ir kitų kenksmingų medžiagų nukenksminimas;
- Degimo produktų tolimesnis panaudojimas arba saugojimas specialiose aikštelėse (sąvartynuose);
- Techninė deginimo gamyklų priežiūra;
- Valstybinė deginimo gamyklų kontrolė.

Deginimo gamyklos yra vertinamos pagal daugelį kriterijų, kurie yra grindžiami aplinkosaugos ir ekologijos reikalavimais, socialiniu nusistatymu, ekonomine nauda, finansinių investicijų poreikiu bei grąža, miesto architektūrinės kultūros normomis ir technologinėmis galimybėmis įgyvendinti projektą. Siekiant nustatyti tinkamą atliekų deginimo gamyklos vietą, būtina įvertinti visų suinteresuotų grupių reikalavimus ir surasti alternatyvų sprendimą. Todėl šis uždavinys yra sprendžiamas vertinant inžinerinius (Vilniaus apskrities..2010), socialinius ir urbanistinius rodiklius (2 lentelė).

2 lentelė. Alternatyvų vertinimo rodikliai

Table 2. The criteria of alternatives evaluation

Inžineriniai rodikliai:	
x_1	Atstumas iki centralizuotų šilumos tinklų trasos ($\varnothing 400$), km;
x_2	Atstumas iki didelio slėgio (12bar) dujotiekio ($\varnothing 150$), km;
x_3	Atstumas iki 110 kW elektros tinklų, km;
x_4	Atstumas iki vandentiekio tinklų ($\varnothing 110$), km;
x_5	Atstumas iki ūkinių-buitinių nuotekų tinklų ($\varnothing 110$), km;
x_6	Atstumas iki lietaus nuotekų tinklų ($\varnothing 110-200$), km;
Urbanistiniai rodikliai:	
x_7	Atstumas iki Vilniaus miesto centro, km;
x_8	Reikalingų privažiavimo kelių užimamas plotas, ha (Vilniaus apskrities..2010);
Socialiniai rodikliai:	
x_9	Teritorijos, kurioje nagrinėjama alternatyva, gyventojų skaičiaus vidurkis 1 km ² ;
x_{10}	Gyventojų pasitenkinimo lygis dėl vietos pasirinkimo, balais (0-labai nepatenkinti, 10-labai patenkinti).
x_{11}	Numatomos projekto įgyvendinimo vietos esantiems gyventojams tenkantis naudingas būsto plotas, m ² .
Techniniai rodikliai:	
x_{12}	Atstumas iki atliekų rūšiavimo bazių komplekso, km.

Inžineriniai rodikliai apima dalį būtinų investicijų projekto vystymui. Be inžinerinių komunikacijų yra neįmanoma eksploatuoti gyvenamųjų, biurų, gamybos, viešojo sektoriaus paskirties pastatų. Nagrinėjant gamybinius statinius, šiuo atžvilgiu šilumos bei elektros gamybą, pagamintą energiją būtina nukreipti į perdavimo tinklus, kad energija pasiektų galutinį vartotoją. Tam yra reikalingi šilumos perdavimo vamzdynai ir elektros linijos. Degimo proceso paleidimui arba palaikymui yra būtinas iškastinis kuras (gamtinės dujos) arba elektros energija (Fruegaard *et al.* 2010). Projektuojant vandentiekio sistemas, lygiagrečiai turi būti projektuojamos panaudoto vandens šalinimo sistemos. Susidarančios krituliai negali būti nukreipiami į miesto kanalizacijos tinklą, nes lietaus vanduo susimaišytų su susidarančiomis nuotekomis, o visas mišinys apsunkintų miesto valymo įrenginių darbą.

Urbanistiniai rodikliai apibūdina deginimo gamyklos poziciją miesto plėtros atžvilgiu. Atstumas iki miesto centro įvertina deginimo gamyklos buvimo vietą kartu nagrinėjant galimą poveikį miesto architektūrai, nes dažniausiai miesto centre ir aplinkiniuose kvartaluose yra susiformavęs kultūrinis architektūros stilius. Derėtų tokio tipo statinius nukreipti nuo kultūrinės miesto architektūros ir dislokuoti juos atokiau nuo gyventojų gyvenamosios aplinkos. Visa tai nulemia energijos gamybos technologija, kuri gali sukelti nepatogumų netoliese įsikūrusiems gyventojams keliamu triukšmu, kvapais, ar estetiniu vaizdu.

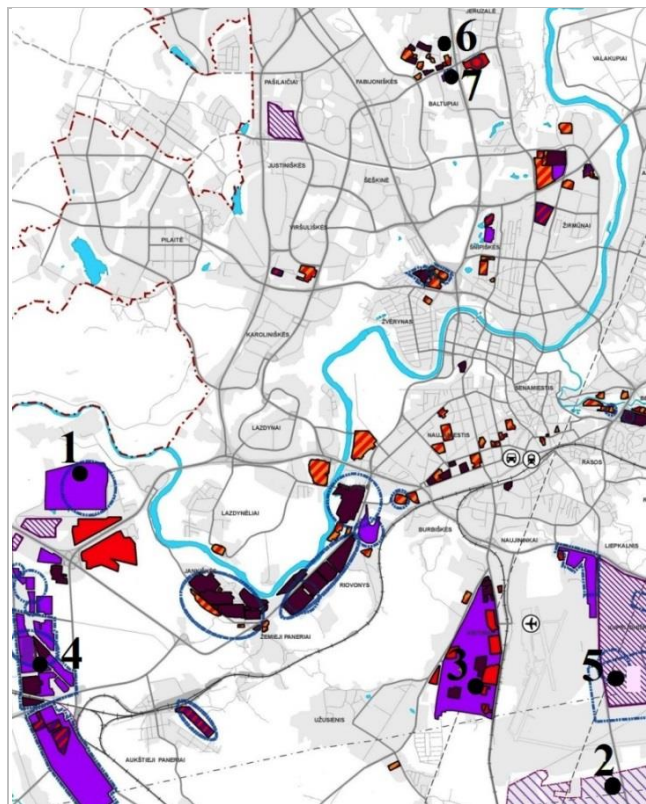
Reikalingų privažiavimo kelių užimamas plotas sukuria poreikį plėsti miesto infrastruktūrą, kurios metu gali būti pritaikomi esami keliai. Siekiant sukurti naujus privažiavimo kelius tenka panaudoti žaliąsias zonas, rekreacijos objektus ar kitus gyventojų poreikiams reikalingus bendrojo naudojimo plotus (pvz., esantį parką ar mišką).

Socialiniai rodikliai privalo atspindėti gyventojų interesų įvertinimą. Gyventojų vidurkio 1 km² įvertinimas teritorijoje, kurioje yra planuojama vykdyti deginimo gamyklos projektą, nagrinėja kiek gyventojų bus įsikūrę šalia atliekų deginimo įmonės. Šiuo rodikliu nusakoma, kad kuo mažiau gyventojų jaustų nepasitenkinimą dėl šios gamyklos buvimo šalia jų gyvenamosios aplinkos. Tinkamai įgyvendinus technologinius sprendimus deginimo gamyklos statybos procese aplinkiniai gyventojai nepajus jokių žalingų veiksnių ar nemalonaus kvapo eksploatuojant gamyklą, tačiau socialinis visuomenės nusistatymas gali užkirsti kelią projekto realizavimui. Vertinant projektą visuomenės poreikių požiūriu, pastebėtina, kad projekto įgyvendinimo vieta turi būti pasirenkama teritorijoje, kurioje yra mažiausias gyventojų tankumas. Vertinant projektą valstybiniu arba privataus investuotojo lygiu, racionalu energijos gamyklą statyti tankiai gyvenamose zonose, kad būtų užtikrinamas energijos poreikis, tačiau šiuo atveju (siekiant kuo mažesnio gyventojų nepasitenkinimo) šis rodiklis yra minimizuojamas.

Gyventojams tenkantis naudingas gyvenamojo būsto plotas nagrinėjamoje teritorijoje nusako, kiek pastatų ploto bus aprūpinama iš būsimo energijos gamybos objekto. Šis rodiklis yra naudingas tiek socialiniu tiek gamyklos projektavimo požiūriu: įvertinus esamą būstų naudingą plotą galima projektuoti gamyklos pajėgumus, kurių reikia aprūpinti visus pasiekiamus vartotojus.

Atstumas nuo atliekų rūšiavimo bazės iki atliekų deginimo gamyklos lemia logistikos problemų sprendimus. Akivaizdu, kad rūšiavimo bazė turi būti išsidėsčiusi atokiau nuo tankiai apgyvendintų teritorijų, nes atliekų rūšiavimo technologija apima atliekų sandėliavimą, o tai dažniausiai vyksta atviro tipo sandėliuose, kurie yra veikiami aplinkos poveikio sukuria nemalonius aplinkinių teritorijų kvapus. Žinoma, atviro tipo atliekų sandėliavimas įtakoja vizualinį apgyvendintų teritorijų užterštumą. Rūšiavimo bazės išsidėstymas yra šalia 1-osios ir 4-osios alternatyvos buvimo vietų.

Atliekų deginimo gamyklos statyba gali būti vykdoma 7 galimose miesto vietose (4 pav.). Alternatyvos pasirenkamos vadovaujantis projekto „Vilniaus apskrities komunalinių atliekų tvarkymo infrastruktūros plėtra“ galimybių studijos duomenimis.



4 pav. Alternatyvų pasiskirstymo Vilniaus mieste planas (Vilnius miesto...2010)
Fig 4. The alternatives of the plant building places (Vilnius city...2010)

Uždavinio sprendimo algoritmas

Atsižvelgiant į 2 lentelėje nustatytus apibūdinimus būtina surinkti informaciją, kuri bus naudojama alternatyvų įvertinimo matematinio algoritmo atlikimui. Formuojant uždavinio sprendimo algoritmą yra susiduriama su problema, kad yra 7 alternatyvos, kurios nusakomos 10-ia rodiklių (3 lentelė), todėl matematinis vertinimas yra

ganėtinai sudėtingas. Tačiau šios rodiklių sistemos vertinimui yra pasirenkamas daugiakriterių uždavinių sprendimo metodas. Pasirenkant daugiakriterius metodus iš mokslinėje literatūroje plačiai žinomų tokio tipo uždaviniams spręsti skirtų metodų yra parenkami metodai, kurie leistų uždavinio duomenis įvertinti kuo mažesnėmis sąnaudomis ir padėtų nustatyti tikslų išeitinį rezultatą.

3 lentelė. Alternatyvas apibūdinančios skaičiuotinės reikšmės

Table 3. The design values of the alternatives

Rodiklis	Rodiklio vertinimo kryptis	Mato vienetai	Alternatyvos						
			a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
x_1	minimizuojama	km	1,50	3,50	0,80	4,80	5,50	0,60	0,30
x_2		km	0,60	1,20	0,50	1,20	1,00	0,70	0,40
x_3		km	2,50	4,50	3,00	1,60	1,60	2,00	2,00
x_4		km	1,37	0,50	0,10	2,00	0,30	0,60	0,60
x_5		km	1,25	0,50	0,10	0,50	0,50	0,60	0,50
x_6		km	1,31	1,00	2,90	1,50	0,50	0,50	0,50
x_7	maksimizuojama	km	9,26	8,64	6,44	11,19	5,90	6,09	5,72
x_8	minimizuojama	hektarai	2,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,20
x_9	minimizuojama	km ²	3188,6	497,5	2484,0	2676,5	3291,0	6490,0	5946,7
x_{10}	maksimizuojama	Bal.	10	9	6	10	8	2	1
x_{11}	maksimizuojama	m ²	55269	9327	50798	56206	66807	132136	123314
x_{12}	minimizuojama	km	1,5	14,5	13,5	6,2	13,1	15,0	14,5

Daugiatikslų MOORA ir MULTIMOORA metodų taikymas apima problemų, sudarytų iš daugelio galimų alternatyvų vertinimo ir sprendimų priėmimo paieškas įvairiose srityse, kurios gali būti nusakomos rodikliais apibūdinamomis alternatyvomis.

Autoriai, atsižvelgdami į tai, kad rodikliai nuo x_1 iki x_6 yra inžineriniai rodikliai, turintys vienodą matavimo dimensiją (kilometrus) nutarė įvesti apibendrintąjį rodiklį x_{1-6} , kuris yra gaunamas susumavus visas 6 skaičiuotines rodiklių reikšmes.

MOORA metodas (*Multi – Objective Optimization On the basis of Ratio Analysis*) pirmą kartą buvo pasiūlytas 2006 m. mokslininkų Brauers ir Zavadsko (2006). Pasak Chakraborty (2011) MOORA metodas yra lengvai perprantamas ir įgyvendinamas metodas. MOORA metodo skaičiavimo principai ir rezultatai pateikiami 4 lentelėje.

MULTIMOORA, tai metodas, kuris buvo sukurtas papildant MOORA metodą papildoma sandaugos forma, apimančia sandauginės naudingumo funkcijos minimizavimą ir maksimizavimą (Brauers, Zavadskas 2010). Pagrindinis MOORA ir MULTIMOORA metodų privalumas yra tas, kad šie metodų pagalba galima vertinti rezultatus, išvengiant duomenų subjektyvumo, nes MOORA ir MULTIMOORA metodo skaičiavimo metu nereikia įvertinti rodiklių reikšmingumo koeficientų.

4 lentelė. MOORA ir MULTIMOORA sprendimo algoritmas

Table 4. Decision algorithm of MOORA and MULTIMOORA methods

MULTIMOORA	MOORA	1 etapas	Alternatyvos ir jų normalizuoti reikšmingumai, gauti pagal formulę : $x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}$						
			a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7
		Rodiklis	x_{1-6}	0,374	0,491	0,325	0,509	0,412	0,219
	x_7	0,446	0,416	0,310	0,539	0,284	0,293	0,275	

	x_8	0,690	0,276	0,276	0,276	0,276	0,331	0,331
	x_9	0,301	0,047	0,235	0,253	0,311	0,613	0,562
	x_{10}	0,509	0,458	0,305	0,509	0,407	0,102	0,051
	x_{11}	0,258	0,043	0,237	0,262	0,311	0,616	0,575
	x_{12}	0,047	0,450	0,419	0,192	0,406	0,465	0,450
2 etapas	Santykio sistema (SS): $y_j^* = \sum_{i=1}^{i=3} x_{ij}^* - \sum_{i=g+1}^{i=4} x_{ij}^*$;							
	-0,200	-0,347	-0,402	-0,080	-0,403	-0,618	-0,630	
	Santykio sistemos skaičiavimo rangas							
	2	3	4	1	5	6	7	
3 etapas	Atskaitos taškas (AT): $\text{Min}_{(j)} \left\{ \max_{(i)} r_i - x_{ij}^* \right\}$							
	0,414	0,573	0,379	0,354	0,360	0,566	0,515	
	Atskaitos taško rangas:							
	4	7	3	1	2	6	5	
4 etapas	Bendrasis i -tosios alternatyvos naudingumas U_i : $U_i = \frac{A_i}{B_i}$; kur $A_i = \prod_{j=1}^g x_{ij}$; $B_i = \prod_{j=g+1}^n x_{ij}$.							
	50,18	8,98	7,91	32,67	7,78	2,76	1,59	
	Bendrasis i -tosios alternatyvos naudingumo rangas:							
	1	3	4	2	5	6	7	

Gautų rezultatų įvertinimas

Apibendrinus MOORA ir MULTIMOORA skaičiavimo metodais gautus rezultatus (5 lentelė) yra nustatyta, kad atsižvelgiant į alternatyvas apibūdinančius veiksnius tinkamiausia vieta įgyvendinti atliekų deginimo gamyklos statybos projektą yra alternatyva a_4 . Šios alternatyvos dominavimą nulėmė geriausiai maksimizuojančias ir minimizuojančias rodiklių reikšmes tenkinantys reikšmingumai.

5 lentelė. Skaičiavimo rezultatai

Table 5. The results of MOORA and MULTIMOORA methods

	MULTIMOORA			Rangų suma	Prioritetiškumas
	MOORA		U_i		
	SS	AT			
a_1	2	4	1	7	2
a_2	3	7	3	13	5
a_3	4	3	4	11	3
a_4	1	1	2	4	1
a_5	5	2	5	12	4
a_6	6	6	6	18	6
a_7	7	5	7	19	7

Žinoma, kad siekiant tiksliau įvertinti šio projekto įgyvendinimo vietos parinkimą būtina skaičiavimus papildyti projekto realizavimo investicijomis, jų atsipirkimą ir pagaminamos energijos kainų dinamiką vietinėje rinkoje, apskaičiuoti kiekvienos atskiros teritorijos generuojamas atliekas ir transportavimui būtinas logistikos išlaidas bei kitus aktualius, galinčius daryti įtaką priimamam sprendimui, rodiklius.

Išvados

Atliekų deginimo gamyklos vietos nustatymas yra sudėtingas procesas, apimantis socialinius, ekonominius ir technologinius veiksnius. Šio projekto realizavime dalyvauja daug skirtingų suinteresuotų visuomenės grupių, kurių poreikių privaloma laikytis, siekiant projekto sėkmės. Todėl racionalu geriausių sprendimų paieškai naudoti mokslininkų sukurtus metodus, kurie sugeba aprėpti ir įvertinti didelį informacijos kiekį.

Geriausios alternatyvos nustatymui buvo panaudotas MOORA ir MULTIMOORA metodų derinys, kuris yra plačiai taikomas statybos ir urbanistikos problemų sprendimų paieškoms.

Remiantis skaičiavimų rezultatais nustatyta, kad tinkamiausia nepavojingų atliekų deginimo gamyklos vieta Vilniaus mieste yra Gariūnų rajone (Pav. 4, Nr. 4).

Literatūra

- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy* 16(1): 5–24.
- Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35(2): 445–469.
- Chakraborty, S. 2011. Applications of the MOORA method for decision making in manufacturing environment, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 54 (9-12): 1155–1166.
- 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(9): 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.
- 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.
- 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.
- Dembiras, A. 2011. Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes, *Energy Conversion and Management* 52(2): 1280–1287.
- 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.
- FCM. 2004. Solid waste as a resource, review of waste technologies, [online], [cited 18 January 2010]. Federation of Canadian Municipalities. Available from Internet: <http://www.sustainablecommunities.gov>.
- 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.
- 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* 30:1238–1243.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Pavlas, M.; Touš, M. 2008. Efficient waste-to-energy system as a contribution to clean technologies, *Clean Technologies Environmental Policy* 11(1): 19–29.
- 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.
- 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.
- 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* 29:298-312.
- Tech Trade International. 2010. Pyrolysis plant technology [online], [cited 20 January 2010]. Available from Internet: <http://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.
- Vilnius Region Waste Management Centre. 2010. Possibility research and development of the financing request for the Project „Vilnius regional waste management infrastructure development“. Prepared by JSC „Sweco Lietuva“.
- 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.

ASSESSMENT OF WASTE INCINERATION PLANT CONSTRUCTION SITE USING MOORA AND MULTIMOORA METHODS

Marius LAZAUSKAS, Liudmila VACHOVIAK

Summary. The growing popularity of sustainable development ideas and the input of socially responsible businesses into the improvement of the living environment determine every-day solutions. The improving energy market is no exception as it needs to integrate solutions that help to economise on fossil fuels. Also, it must widen options for the use of renewable resources and ensure close cooperation between all stakeholders of sustainable environment in the improvement of the existing energy production and waste recycling. The article investigates the selection of a location for a waste incineration facility. The selection process aims to coordinate needs of stakeholders. Seven alternative sites for construction of the waste incineration facility are evaluated. The sites are described using indicators and the best choice is determined using the mix of MOORA and MULTIMOORA methods.

Keywords: waste incineration, alternative energy, MOORA, MULTIMOORA, sustainable development.