

# SUNKIŲJŲ METALŲ EMISIJŲ PASISKIRSTYMAS KOMUNALINIŲ ATLIEKŲ DEGINIMO PROCESĖ

**Eduardas Kamarevcevas**  
Šiaulių valstybinė kolegija  
Lietuva

## **Anotacija**

*Šiame straipsnyje, naudojantis įvairiais literatūros šaltiniais, analizuojami sunkiųjų metalų kiekiai atliekose, sunkiųjų metalų pasiskirstymas tarp fazių (dugno pelenų, lakiųjų pelenų ir dujų fazės) komunalinių atliekų deginimo procese. Pateikiami sunkiųjų metalų emisijų, deginant komunalines atliekas, pasiskirstymo tarp fazių vertinimai.*

**Reikšminiai žodžiai:** komunalinės atliekos, sunkieji metalai, deginimas.

## **Įvadas**

Jau kuris laikas atliekų deginimo išgaunant energiją plėtra Lietuvoje susiduria su dideliu visuomenės pasipriešinimu dėl galimos taršos. Deginant komunalines atliekas, susidaro įvairūs aplinkos oro teršalai, tokie kaip sieros, azoto ir chloro junginiai, įvairūs organiniai junginiai (įskaitant dioksinus ir furanus), sunkieji metalai ir kt. Projektuojant atliekų deginimo įrenginį, būtinas tinkamas išlakų išvalymo nuo pavojingų teršalų lygis, šiam tikslui pritaikant modernias išlakų valymo technologijas. Taip pat labai svarbu nustatyti galimą išmetimų kiekį, dažniausiai priklausantį nuo komunalinių atliekų sudėties ir savybių. Tai susiję ir su sunkiųjų metalų junginių išsiskyrimu ir pasiskirstymu tarp pelenų ir lakios fazės.

## **Atliekų tvarkymo prioritetai**

Įmonės, kurių veikloje susidaro atliekų ir kurios naudoja, šalina ar kitaip tvarko atliekas, privalo imtis visų galimų ir ekonomiškai pateisinamų priemonių jų kiekiui, kenksmingam poveikiui žmonių sveikatai ir aplinkai mažinti. Visos įmonės privalo laikytis šių prioritetų:

- 1) naudoti prevencijos priemones atliekų susidarymui mažinti;
- 2) mažinti susidarančių bei į sąvartynus patenkančių atliekų kiekį ir jų kenksmingumą – kurti ir diegti mažaatliekes technologijas, taupyti gamtos išteklius, gaminti ir tiekti į rinką gaminius, kuriuos būtų galima ilgai ar kartotinai naudoti, o pasibaigus jų naudojimo laikui ir virtus atliekomis jas sunaudoti ir taip sumažinti atliekų kiekį bei pavojų žmonių sveikatai ir aplinkai;
- 3) pagaminti iš susidariusių atliekų gaminius arba antrines žaliavas, tinkančias gaminiams gaminti;
- 4) naudoti atliekas energijai gauti;
- 5) saugiai šalinti susidariusias atliekas į sąvartynus bei kitas specialiai tam skirtas vietas, kad jos nekeltų pavojaus žmonių sveikatai ir aplinkai.

## **Komunalinių atliekų savybės**

Nevienalytės komunalinių atliekų (toliau – KA) sudėtis kelia daug problemų ieškant optimalaus atliekų tvarkymo būdo. Todėl pasirenkant tvarkymo technologiją svarbu, kad ji nebūtų jautri nuolat besikeičiančioms atliekų sudėčiai ir jų savybėms.

Paprastai KA skirstomos į 10 frakcijų:

- Popieriaus ir kartono;
- Plastikų;
- Feromagnetinių metalų;
- Neferomagnetinių metalų;
- Stiklo;
- Biologiškai skaidžių (maisto);
- Žaliųjų atliekų;
- Kitų degių atliekų;
- Kitų nedegių atliekų;
- Pavojingų.

Kiekviena iš šių frakcijų pasižymi skirtingomis savybėmis, kurias svarbu įvertinti atliekant atliekų sudėties ir poveikio aplinkai prognozes.

Cheminė KA sudėtis yra svarbus rodiklis numatant atliekų apdorojimo procesus. Ji nulemia pagrindines KA savybes, pavyzdžiui, biodegradacijos laipsnį, šilumingumą ar toksiškumą.

Svarbiausia atliekų cheminė savybė yra elementinė sudėtis, kurios metu nustatomas anglies (C), vandenilio (H), deguonies (O), azoto (N), chloro (Cl), sieros (S), bei pelenų kiekis bendroje atliekų sudėtyje. Elementinės analizės rezultatai parodo atliekų cheminę sudėtį.

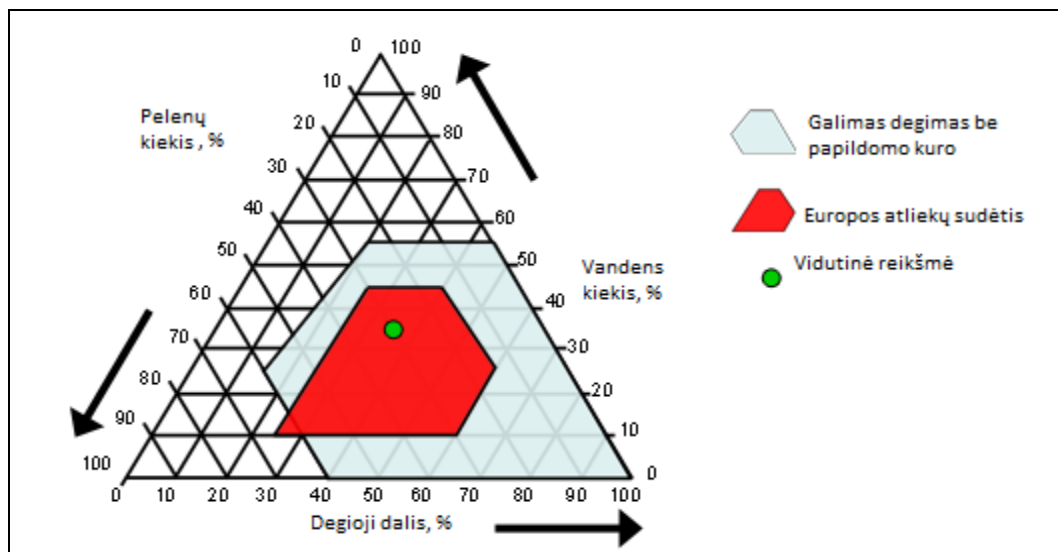
Be paminėtų elementų labai svarbūs yra sunkiųjų metalų kiekiai atliekose. Žinant sunkiųjų metalų (toliau – SM) kiekį atliekose, galima prognozuoti jų kiekius, patenkančius į atliekų deginimo metu susidariusias išlakas. Taip pat jų kiekius, likusius dugno pelenuose ir lakiųjų pelenuose.

### Atliekų deginimas

Atliekas nukreipus nuo sąvartynų, galima rinktis įvairius kitus atliekų tvarkymo būdus, esančius aukščiau hierarchijos pakopose, joms apdoroti, kurie gali būti mažiau kenksmingi aplinkai. Atliekų deginimas yra vienas iš galimų būdų. Atliekų deginimas – vis dar aktualus klausimas ne vien Europoje, bet ir visame pasaulyje. Atliekų deginimas, kaip vienas iš atliekų panaudojimo energijai išgauti būdų, susilaukia didelio visuomenės pasipriešinimo dėl galimai didelio neigiamo poveikio aplinkai. Deginant KA su išlakomis į atmosferą išsiskiria dideli teršalų kiekiai. Vieni iš pavojingiausių yra dioksinais ir furanais. Taip pat deginimo metu išsiskiria nemaži šiltnamio dujų ir kietųjų dalelių kiekiai bei sunkieji metalai. Ne menkesnę problemą sukelia susidarę pelenai, kurie yra užteršti sunkiaisiais metalais.

Dėl didelių atliekų srautų ir riboto žemės ploto atliekų deginimas iš dalies populiarus yra tokiose šalyse kaip Japonija ir Šveicarija. Danija ir Švedija yra pirmaujančios šalys, kuriose iš atliekų deginimo daugiausiai išgaunama energijos vietinėse kogeneracinėse elektrinėse (Heron, Søren, 2004). Taip pat ir kitose šalyse, tokiose kaip Liuksemburgas, Olandija, Vokietija ir Prancūzija, labai pasitikima atliekų deginimu (Nilsson, 2006).

Tyrimai ir patirtis rodo, kad atliekas galima normaliai deginti be papildomo kuro. Kuro trikampis (žr. 1 pav.) nurodo, kokio atliekų drėgumo ir peleningumo ribose įmanomas savaiminis atliekų deginimas, išskiriant Europos šalyse vyraujančią atliekų sudėtį. Pastarosios vidutinė reikšmė yra tokia: 35 % degios dalies, 30 % pelenų, 35 % vandens. Ribinis šilumingumas ~ 6,0 MJ/kg (Bilitewski, Härdtle, Marek, 1997).



1 pav. Kuro trikampis (Habeck-Tropfke, 1985)

KA degimas vykdomas aukštoje temperatūroje, termiškai suardant toksiškus ir nemalonus kvapo junginius (Švenčianas, 1993). Taip pat dabartiniuose atliekų deginimo įrenginiuose įdiegtos modernios ir efektyvios išlakų valymo sistemos. Elektrostatinuose ir / arba rankoviniuose filtruose sugaunamos kietosios dalelės. Tokie teršalai, kaip druskos rūgštis, vandenilio fluoridas, azoto rūgštis, sieros dioksidas, gyvsidabris, švinas ir kiti sunkieji metalai, pašalinami skruberiuose, kuriuose susidariusios nuotekos valomos nuotekų valymo įrenginiuose. Tokiu būdu atliekų deginimas yra ekologiškesnis už energijos gamybą naudojant iškastinį kurą ir už atliekų šalinimą sąvartynuose (Švenčianas, 1993).

Deginimo įrenginiuose susidaro:

- išlacos;
- šlakas (dugno pelenai);
- lakieji pelenai;
- išlakų valymo įrenginių atliekos.

Priklausomai nuo atliekų savybių ir sudėties deginant KA, į išlakas patenka įvairių teršalų, pvz., kietosios dalelės, anglies monoksidas, azoto oksidai, sieros dioksidas, vandenilio chloridas, vandenilio fluoridas, sunkieji metalai, dioksinai ir furanai. Polichlorinti dibenzodioksinai ir polichlorinti dibenzofuranai (PCDD/PCDF) pasižymi bioakumuliacinėmis savybėmis, patvarumu ir ilgalaikiu neigiamu poveikiu. Sunkieji metalai taip pat pasižymi kancerogeninėmis bei mutageninėmis savybėmis, kaupiasi dirvožemyje, augaluose, gyvuose organizmuose (Igyvendinant Stokholmo konvencijos..., 2005).

Kenksmingos medžiagos patenka ne tik į išlakas, didžioji dalis sunkiųjų metalų lieka dugno pelenuose ar lakiuosiuose pelenuose. Sunkieji metalai gali būti išplaunami iš pelenų vandeniu ir taip patekti į aplinką.

### Sunkieji metalai

Sunkiesiems metalams (toliau – SM) paprastai yra priskiriami nuo vario iki švino periodinėje elementų lentelėje esantys elementai, kurių tankis didesnis kaip 5 g/cm<sup>3</sup> (Jarup, 2003). Gyviems organizmams reikalingi labai maži (kobalto, vario, mangano, molibdeno, vanadžio, stroncio ir cinko) SM kiekiai, o dideli šių metalų kiekiai yra žalingi. Kiti SM (gyvsidabris, švinas ir kadmis) neturi žinomo naudingo ar gyvybiškai svarbaus poveikio organizmams, bet jų didesni kiekiai žinduolių organizmuose gali sukelti pavojingas ligas.

SM pagal pavojingumą gyviems organizmams išsidėstę taip: Hg, As, Cu, Cd, Zn, Cr, Fe, Ti, Pb, Co, Ni, Sb. Kancerogeninis ir mutageninis jų poveikis priklauso nuo koncentracijos bei gali pasireikšti po tam tikro laiko (Staniškienė, Garalevičienė, 2004).

Sunkieji metalai pakankamai patvarūs teršalai. Jei dauguma fotooksidantų ar organinių teršalų gamtoje suyra, tai minėtų SM natūrali aplinka suskaidyti negali. Jie gali būti tik praskiedžiami arba įjungiami į nepavojingus kompleksus. Tokiems kompleksams suirus, SM pasklinda aplinkoje bei tampa pavojingi gyvajai aplinkai. Todėl labai svarbu, kad SM visai nepatektų į aplinką. Kitaip jie pasklis ir vienaip ar kitaip pateks į žmogaus organizmą.

SM neigiamas poveikis gana dažnai nepastebimas, nes jų poveikis gali išryškėti po kelių metų, kartais pasireiškia tik kitoms kartoms (Goyer, Cherian, 1995).

### Sunkieji metalai atliekose

Sunkiųjų metalų kiekius atliekose mokslininkai tiria plačiai, pradedant nuo surinktų savo šiukšlių dėžėse, bendruose konteneriuose, perkrovimo stotyse, sąvartynuose, atliekų deginimo stotyse ir baigiant produktų tyrimais.

Remiantis išnagrinėtais literatūros šaltiniais, galima pastebėti skirtingus atliekų kiekius, skirtingą frakcinę sudėtį, skirtingą cheminę sudėtį, priklausomai nuo tiriamo regiono, to regiono infrastruktūros išsivystymo lygio, ekonominės ir socialinės padėties, atliekų tvarkymo lygio, bendruomenės įpročių bei daug kitų veiksnių. Taip pat visi šie veiksniai per laiką keičiasi, atsiranda tam tikrų sezoniškumo požymių, kurie nulemia atliekų kiekius bei sudėtį (įskaitant ir sunkiuosius metalus).

Naudojantis įvairiomis duomenų bazėmis, buvo nustatytas sunkiųjų metalų kiekis atskirose atliekų frakcijose. Duomenys pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

#### Sunkiųjų metalų vidutinis kiekis atskirose komunalinių atliekų frakcijose, mg/kg

	Zn	Pb	Cu	Cd	Hg	Cr	Ni	As	Fe	Co	Sb
Popierius ir kartonas	109,25	21,60	22,52	0,93	0,05	8,79	9,08	1,60	858,00	1,48	0,30
Plastikas	343,14	205,50	18,83	19,20	0,07	58,22	6,97	1,60	99,74	1,58	51,23
Metalai	102,16	176,16	433,00	2,05	0,02	553,14	1110,00	209,67	680000,00	97,00	9,30
Nemagnetiniai metalai	13523,77	2157,58	129699,50	4,16	0,00	73,12	676,00	14,31	4000,00	5,80	18,80
Stiklas	34,82	101,41	23,47	0,55	0,04	126,42	12,00	64,80	4000,00	18,30	17,46
Tetrapakai	10,00	3,44	13,14	0,07	0,06	3,44	2,42	0,14	36,00	0,23	0,05
Maisto atliekos	60,90	17,01	9,90	0,25	0,05	4,49	12,31	0,32	62,39	1,37	1,39
Sodo atliekos	167,62	31,47	71,25	0,96	0,08	20,32	34,42	2,40	518,11	2,40	21,87
Mediena	1177,86	122,22	33,04	1,53	0,19	51,34	3,04	18,98	167,50	2,52	10,75
Kitos degios	926,67	57,41	17,28	5,01	0,09	978,78	14,78	1,29	38,47	1,13	9,30
Kitos nedegios	1602,60	718,91	582,00	4,30	0,20	468,05	41,30	7,93	17000,00	73,30	25,23
Pavojingos	16433,88	5354,36	25652,34	84,23	16,21	764,22	2021,43	133,40	89571,59	58,87	2094,65

### Sunkiųjų metalų pasiskirstymas deginant KA

Komunalinėse atliekose yra įvairaus pobūdžio medžiagų ir cheminių elementų. Vienas iš komunalinių atliekų deginimo tikslų yra suardyti organinius junginius ir stabilizuoti neorganinius junginius. Nors visi cheminiai procesai yra kontroliuojami stochiometriškai, kai kuriais atvejais yra neįmanoma įvykdyti pilnos jų konversijos, kurią gali trukdyti ir šalutinės reakcijos, neretai sukeliančios nepageidaujamų junginių susidarymą.

Degimo kameroje vyksta ganėtinai sudėtingi cheminių junginių transformacijų procesai. Nesant jų kontrolės padidėtų potencialus pavojus aplinkai. Kad taip neįvyktų, reikia tinkamai suprasti visų vykstančių reakcijų prigimtį.

Kiekvienas elementas dėl savo cheminių ir fizikinių savybių skirtingai pasiskirsto tarp fazių: dugno pelenų, lakiųjų pelenų ir dujų.

Sunkiųjų metalų pasiskirstymo tarp fazių deginimo metu tyrimai prasidėjo XX a. viduryje. Šie tyrimai prasidėjo nuo pelenų tyrimų. Norėta išgauti sunkiuosius metalus iš pelenų (Angenend, Trondt, 1990). Tada ir buvo pastebėta, kad metalai deginimo metu skirtingai pasiskirsto tarp fazių.

Morf, Brunner (1998) atliko tyrimus norėdami sužinoti keturių elementų (Cu, Zn, Pb, Cd) masių balansus. 1995–1996 metais šie tyrimai atlikti Austrijoje, Vienos mieste, kietų atliekų deginimo stotyje. Pirmoje dalyje buvo nustatomi į deginimo įrenginį patekusių sunkiųjų metalų kiekiai. Tai buvo atlikta išskaičiuojant iš sunkiųjų metalų koncentracijos pelenuose ir panaudojant pasiskirstymo koeficientą. Antroje tyrimo dalyje buvo nustatomas analizės dažnumas. Pagal pritaikytą skaičiavimo metodiką buvo apskaičiuota, kad metams reikia 240 matavimų. Trečioje dalyje buvo tiriama, kurioje deginimo įrenginio vietoje geriausia vykdyti atliekų sudėties stebėseną. Atlikus tyrimus, buvo pastebėta, kad homogeniškausias deginimo liekanos susidaro elektrostatiiniame filtre.

Vienas iš svarbiausių straipsnių šioje srityje buvo parašytas 2000 metais. Belevi, Moench (2000) atliko tyrimą Šveicarijos atliekų deginimo stotyje, tirdami sunkiųjų metalų (Si, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, P, Al, Ca, Mg, Na, Ba, Li, Ti, K, F, Cu, Mo, Pb, Sn, Zn, Br, Sb, C, S, Cl, As, Cd, Hg) pasiskirstymą tarp skirtingų fazių, visoms medžiagoms, patenkančioms į komunalinių atliekų deginimo įrenginį, kurio degimo temperatūra buvo 820–880 laipsnių. Dėl to yra laikoma, kad vidutinė deginimo temperatūra yra 850 laipsnių. Šis tyrimas buvo atliekamas ištisus metus, imant mėginius kas 10 h. Dėl didelės tiriamų elementų gausos šis tyrimas vis dar išlieka vienu iš svarbiausių atliekų deginimo srityje.

2 lentelė

### Sunkiųjų metalų pasiskirstymo koeficientai deginant komunalines atliekas

Pasiskirstymo koeficientai, m. d.											
	Zn	Pb	Cu	Cd	Hg	Cr	Ni	As	Fe	Co	Sb
Dugno pelenai	0,52	0,59	0,97	0,1	0,0095	0,92	0,981	0,69	0,992	0,9	0,25
Lakieji pelenai	0,471	0,4	0,025	0,89	0,7465	0,077	0,017	0,306	0,008	0,097	0,74
Dujos	0,009	0,01	0,005	0,01	0,244	0,003	0,002	0,004	0	0,003	0,01

Šaltinis: Belevi, Moench (2000)

Išanalizuoti duomenys ir pateikti 2 lentelėje rodo, kurie SM didžiaja dalimi nusėda į dugno pelenus, o kurie yra lakesni ir pereina į lakiuosius pelenus bei dujas. Stabiliausi yra sunkieji metalai, kurie lieka dugno pelenuose: Cu, Cr, Ni, Fe, Co. Lakiausi SM pereina į lakiųjų pelenų fazę ir dujas: Cd, Hg, Sb. Nepaminėti SM pasiskirsto panašiu santykiu tarp dugno pelenų ir lakios fazės.

Hellweg, Hofstetter, Hungerbühler 2001 metais parašė straipsnį, kuriame buvo pasiūlytas matematinis modelis, pritaikant jį gyvenimo ciklo inventorizacijos analizei (*Life-cycle inventory analysis LCA*). Šiame straipsnyje išsamiai išdėstyti matematinio modelio privalumai ir niuansai, kokie veiksniai kaip ir kodėl nulemia metalų pasiskirstymo tarp fazių duomenis.

Abanades, Flamant, Gagnepain, Gauthier 2002 metais atliko tyrimus, siekdami nustatyti sunkiųjų metalų pasiskirstymą tarp fazių bei kitų parametrų įtaką metalų pasiskirstymui. Keičiami parametrai – temperatūra ir dujų sudėtis. Dujų sudėties keitimas buvo paremtas deguonies kiekio keitimu (oksidacinės ir redukcinės savybės). Taip pat nustatyta chloro įtaka sunkiųjų metalų pasiskirstymui tarp fazių.

2007 metais Kuo, Ma, Yang ir kiti pradėjo tyrinėti ne tik metalų pasiskirstymą tarp fazių, bet ir jų išgavimo potencialą iš pelenų. Taip buvo nustatyta, kad kai kuriais atvejais iš pelenų galima išgauti kur kas daugiau metalų nei iš iškasenų. Tokiu atveju pelenai tampa ne atliekomis, o alternatyviu mineralų ištekliu.

2009 metais išleistame straipsnyje (Chang, Wang, Mui ir kiti) aprašytas tyrimas, kuris buvo atliekamas pirmuosius tris 2003 metų mėnesius. Buvo bandoma nustatyti trijų rūšių (komunalinių, pramonės ir biomasės) atliekų deginimo metu išsiskiriančių sunkiųjų metalų toksiškumą. Nustatyta, kokie elementai kuriose atliekose dominuoja.

Ginsberg, Liebig, Modigell, Sundermann 2012 metais pasirodžiusiame straipsnyje jau aprašomi ne tik sunkiųjų metalų pasiskirstymo tarp fazių, bet ir reakcijų kinetikos skirtingo deginimo proceso vietose tyrimai. Naudojant tokį modelį, galima kur kas tiksliau apskaičiuoti sunkiųjų metalų pasiskirstymą tarp fazių, nei anksčiau minėtuose straipsniuose aprašytais atvejais. Bet čia nebuvo iširta tiek daug sunkiųjų metalų, kaip Belevi, Moench (2000) pateikiamuose duomenyse.

### **SM kiekio apskaičiavimas pelenuose ir išlakose**

Sunkiųjų metalų emisijos atliekų deginimo metu buvo pateiktos pagal sunkiųjų metalų kiekio analizę įvairiuose literatūros šaltiniuose (žr. 1 lentelę). Sunkiųjų metalų kiekio pasiskirstymą skirtingose fazėse galima apskaičiuoti pagal 1, 2 ir 3 formules, pritaikant Belevi, Moench (2000) atlikto tyrimo pasiskirstymo koeficientus. Kaip jau minėta, Belevi, Moench (2000) atliekų deginimo stotyje ištyrė sunkiųjų metalų pasiskirstymą tarp fazių visoms medžiagoms, patenkančioms į komunalinių atliekų deginimo įrenginį, kurio degimo temperatūra buvo 820–880 laipsnių. Dėl to yra laikoma, kad vidutinė degimo temperatūra yra 850 laipsnių, kuri pagal Lietuvos atliekų deginimo aplinkosauginius reikalavimus yra atitinkanti minimalius temperatūros reikalavimus (atliekų deginimo aplinkosauginiai..., 2002).

*SM kiekio apskaičiavimas dugno pelenuose.*

$$S_{ijSP} = C_i \times P_{jSP}, t \quad (1)$$

čia:

$S_{ijSP}$  – sunkiųjų metalų kiekis dugno pelenuose, t;

$C_i$  – frakcijos kiekis po apdoravimo, t;

$P_{jSP}$  – j-ojo sunkiojo metalo pasiskirstymo koeficientas į dugno pelenus, m. d.

*SM kiekio apskaičiavimas lakiuosiuose pelenuose.*

$$S_{ijLP} = C_i \times P_{jLP}, t \quad (2)$$

čia:

$S_{ijLP}$  – sunkiųjų metalų kiekis lakiuosiuose pelenuose, t;

$C_i$  – frakcijos kiekis po apdoravimo, t;

$P_{jLP}$  – j-ojo sunkiojo metalo pasiskirstymo koeficientas į lakiuosius pelenus, m. d.

*SM kiekio apskaičiavimas išlakose.*

$$S_{ijIS} = C_i \times P_{jIS}, t \quad (3)$$

čia:

$S_{ijIS}$  – sunkiųjų metalų kiekis išlakose, t;

$C_i$  – frakcijos kiekis po apdoravimo, t;

$P_{jIS}$  – j-ojo sunkiojo metalo pasiskirstymo koeficientas į išlakas, m. d.

Iš įvairių literatūros šaltinių surinkti ir susisteminti duomenys apie SM kiekį skirtingose atliekų frakcijose leidžia preliminariai numatyti SM kiekį atliekose. Kadangi skirtinguose miestuose dėl įvairių skirtingų veiksnių frakcinė KA sudėtis yra skirtinga, tai tuomet sunkiųjų metalų koncentracijos bendrame atliekų kiekyje dėl frakcijų susidarymo sezoniškumo irgi bus kintamos.

Nors atrodytų, kad duomenų apie sunkiuosius metalus yra pakankamai, bet galima pastebėti, kad kai kurių duomenų stoka gali stipriai paveikti duomenų tikslumą. Pavyzdžiui, net ir tokiai plačiai ištyrinėtai KA frakcijai kaip popierius ir kartonas, duomenų stinga. Duomenų apie geležies koncentracijas šioje frakcijoje nėra daug, tokie duomenys aptikti tik dviejuose šaltiniuose.

Plastikai, kaip atliekų frakcija, yra plačiai ištyrinėta, bet ir čia norėtusi daugiau ją skirstyti į subfrakcijas, tokias kaip: polietilenas (PE), polistirenas (PS), polivinilchloridas (PVC), mažo tankio polietilenas (LDPE), didelio tankio polietilenas (HDPE), polietiliterftalatas (PET), polipropilenas (PP). Taip pat norėtusi turėti kuo daugiau duomenų apie šias subfrakcijas, nes kuo tiksliau žinosime SM kiekį atliekų frakcijose, tuo tiksliau bus įvertinama planuojama tarša.

Metalų frakcijos atliekos dažniausiai nepatenka į sąvartynus dėl savo ekonominės vertės, todėl kaip atliekinė žaliava ji yra atskiriama dar prieš atsikratant KA. Dėl šios priežasties duomenų apie atliekinio metalo elementinę sudėtį – Cu, Ni, Co, Sb – duomenų daug nėra.

Stiklo frakcija pakankamai ištyrinėta ir duomenų trūkumo apie šią frakciją nepastebėta, turint omenyje, kad atliekose dažniausiai stiklas randamas kaip stiklo tara, o ne kaip buitinis stiklas, kurį sunkiau perdirbti ir turi didelius kiekius SM.

Nors dėl plataus vartojimo išskiriame atskirą tetrapakų frakciją, duomenų apie jų elementinę sudėtį rasti sunku. Šiuo atveju remiamasi vienu duomenų šaltiniu, o kitas yra tik kaip pagalbinis, su preliminariais SM kiekiais.

Didžiausia pagal susidarymą KA frakcija yra maisto atliekos. Kadangi maistas tiesiogiai turi įtakos žmogaus sveikatai, o kai kurie SM yra ypač toksiški, ši frakcija yra labai plačiai išanalizuota ir nuolatos analizuojama. Ši frakcija galėtų būti sudaryta net iš kelių subfrakcijų, tokių kaip mėsa, žuvis, duona, daržovės, vaisiai ir t. t. Manoma, kad šios subfrakcijos turėtų didelę įtaką SM skaičiavimui bei maisto atliekų sezoniškumo pobūdžiui analizuoti.

Sodo atliekų frakcija taip pat yra plačiai tiriama, nes ši frakcija dažniausiai naudojama komposto gamyboje ir SM kiekis yra stipriai kontroliuojamas dėl jų savybės akumuliuotis.

Medienos frakcija dėl savo plataus panaudojimo taip pat plačiai tiriama, tad duomenų apie šią frakciją yra pakankamai.

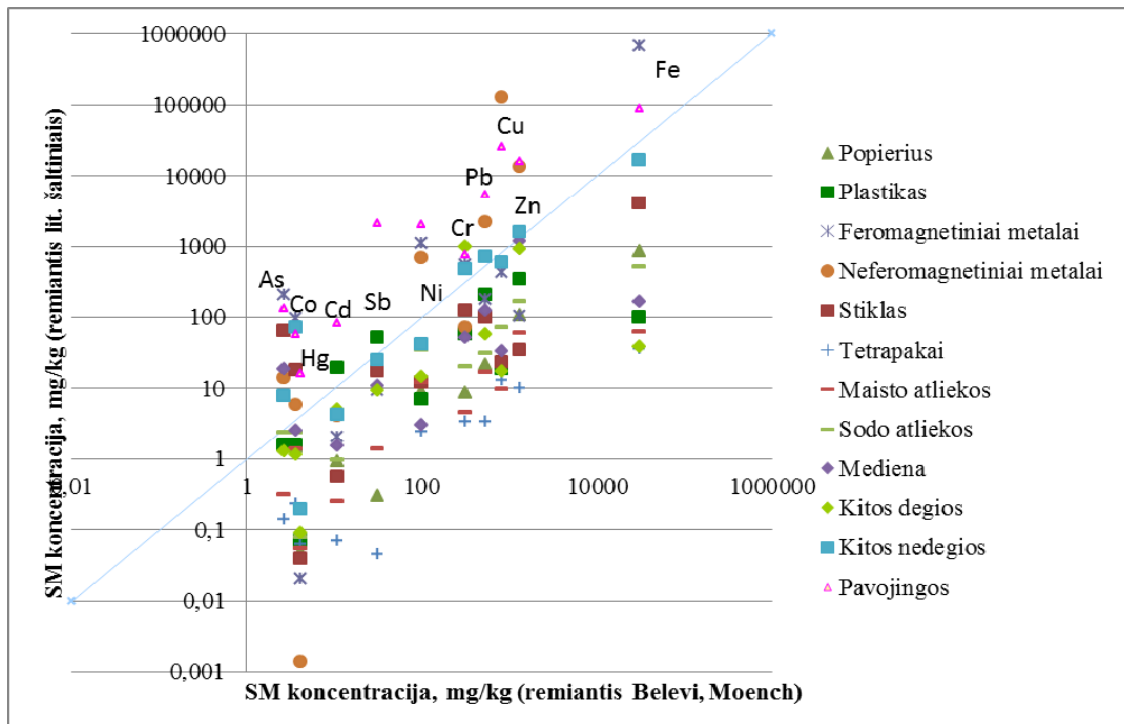
Kitų degių atliekų frakcija yra labai plati, todėl labai svarbu turėti kuo daugiau duomenų apie SM kiekį medžiagų įvairovėje. Šią frakciją taip pat būtų lengviau analizuoti ją suskirsčius į subfrakcijas. Kiekvienos subfrakcijos kiekis atliekose nors ir nedidelis, bet SM kiekio atžvilgiu galėtų turėti labai didelę reikšmę.

Kitų nedegių frakcijoje vyrauja buitje susidarantis purvas, statybinis laužas, tad šių ir panašių medžiagų tolimesnis panaudojimas ar tiesiogiai susiję su žmogaus aplinka yra tiriami siaurai. Kadangi plačiau galima panaudoti statybinį laužą, tai daugiausia duomenų randama šia tema.

Pavojingos atliekos plačiai tyrinėjamos ir privalo būti visiškai atskiriamos iš KA srauto, bet vis dar dažnai pasitaiko baterijų, elektros ir elektroninės įrangos (EEI), padangų ir tepalų. Dėl šios priežasties ir yra plačiai tiriamos šios medžiagos bei modeliuojamas poveikis aplinkai, todėl duomenų apie šią frakciją yra pakankamai.

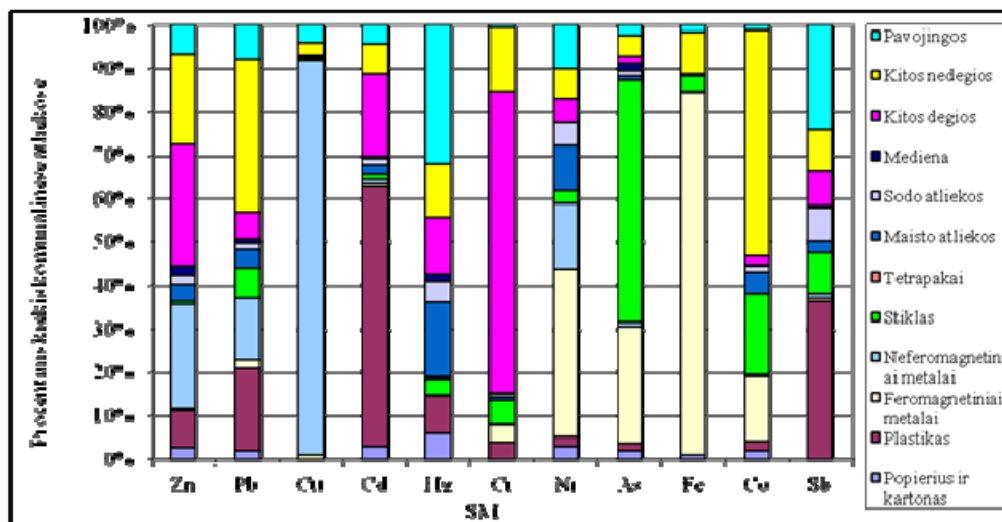
### Išvados

1. Lyginant sunkiųjų metalų koncentracijas atliekose su Belevi, Moench (2000) duomenimis (1 pav.), galima matyti, kaip jose pasiskirsto skirtingų metalų kiekiai. Iš žemiau pateikto grafiko aiškiai matome vyraujančių sunkiųjų metalų didžiausias koncentracijas frakcijose ir mažiausias koncentracijas turinčias frakcijas.



2 pav. Apskaičiuotų SM koncentracijų frakcijose (remiantis literatūros šaltiniais) palyginimas su Belevi, Moench (2000) duomenimis

2. Atsižvelgiant į skirtingą frakcijų kiekį komunalinėse atliekose ir konkrečių SM koncentracijas frakcijose, galima apskaičiuoti kiekvieno SM kiekį atskiroms frakcijoms ir perskaičiuoti į procentinį SM pasiskirstymą bendrame KA sraute.



3 pav. SM procentinis pasiskirstymas KA sraute

3. Cinkas dažniausiai dominuoja kitose degiose atliekose, nes šioje frakcijoje aptinkama daug gumos atliekų ir šios frakcijos kiekis yra pakankamai didelis bendrame KA sraute. Cinkas taip pat dominuoja ir neferomagnetiniuose metaluose. Švinas daugiausiai aptinkamas kitose nedegiose atliekose, nors jo koncentracija nėra pati didžiausia šioje frakcijoje, bet frakcijos kiekis pakankamai didelis, kad švinas dominuotų bendrame atliekų sraute. Varis dažniausiai vyrauja neferomagnetiniuose metaluose, kadmis – plastikuose. Gyvsidabris bet kokiais kiekiais yra pavojingas, todėl yra didžiausia tikimybė, kad jis dominuos pavojingose atliekose. Chromas dažniausiai aptinkamas tekstilės ir odos gaminiuose, todėl randamas tarp kitų degių atliekų. Nikelis bendrame KA sraute dominuoja feromagnetinių metalų frakcijoje, arsenas – stikle. Geležis, žinoma, daugiausiai aptinkama feromagnetiniuose metaluose, kobaltas – kitoje nedegioje frakcijoje dėl pakankamai didelio kiekio keramikos gaminiuose. Stibis vienodai dažnai aptinkamas pavojingose ir plastiko frakcijose.

4. Surinkta ir susisteminta labai vertinga informacija apie sunkiųjų metalų kiekius atskirose komunalinių atliekų frakcijose, kuri gali būti panaudota tolimesnių tyrimų metu, modeliuojant metalų išgavimą iš komunalinių atliekų deginimo liekanų ir dūmų. Stabiliausi sunkieji metalai lieka dugno pelenuose: Cu, Cr, Ni, Fe, Co. Laciausi SM pereina į lakiųjų pelenu fazę ir dujas: Cd, Hg, Sb. Likusieji SM (Zn, Pb, As) pasiskirsto panašiu santykiu tarp dugno pelenu ir lakios fazės.

#### **DISTRIBUTION OF HEAVY METALS EMISSIONS IN MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION PROCESS**

*In this paper was used various literature reviews on amount of heavy metals in MSW (Municipal solid waste) and distribution of heavy metals after MSWI (Municipal solid waste incineration) process. Also is given calculation methodology of possible heavy metals distribution to different phase. Eventually distribution of heavy metals to the environment in municipal solid waste incineration process was evaluated.*

**Key words:** municipal solid waste, heavy metals, incineration.

#### **Literatūra**

1. Abanades S., Flamant G., Gagnepain B., Gauthier D. (2002). *Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration*. Waste Manage Res, 20, 55–68.
2. Belevi H., Moench H. (2000). *Factors determining the element behavior in municipal solid waste incinerators. 1. Field Studies*. Environment Science and Technology, 34, 2501–2506.
3. Bilitewski B., Härdtle G., Marek K. (1997). *Waste Management*. Berlin: Springer.
4. Chang C., Wang C., Mui D. T., Cheng M., Chiang H. (2009). *Characteristics of elements in waste ashes from a solid waste incinerator in Taiwan*. Journal of Hazardous Materials 165, 766–773.
5. Ginsberg T., Liebig D., Modigell M., Sundermann B. (2012). *Multizonal thermochemical modelling of heavy metal transfer in incineration plants*. Process Safety and Environmental Protection, 90, 38–44.

6. Goyer R. A., Cherian M. G. (1995). *Toxicology of metals*. Biochemical Aspects. Vol. 115. Berlin: Springer Verlag.
7. Habeck-Tropfke H. (1985). *Müll- und Abfalltechnik*. Dusseldorf: Werner Verlag.
8. Hellweg S., Hofstetter T. B., Hungerbühler K. (2001). *Modeling waste incineration for life-cycle inventory analysis in Switzerland*. Environmental Modeling and Assessment, 6, p. 219–235.
9. Heron K., Søren D. (2004). *100 Years of Waste Incineration in Denmark*. Virum, P. E. Offset og Reklame.
10. *Igyvendinant Stokholmo konvencijos reikalavimus „Polichlorintų bifenilų nustatymas ir tvarkymas bei dioksinų / furanų išmetimo į aplinką kontrolė“*. (2005). Vilnius.
11. Jarup L. (2003). *Hazards of heavy metal contamination*. Br Med Bull, 68, 167–82.
12. *Lietuvos Respublikos atliekų deginimo aplinkosauginiai reikalavimai*. Valstybės žinios. 2003, Nr. 31-1290 (2003-03-31).
13. Morf L., Brunner P. (1998). *The MSW Incinerator as a Monitoring Tool for Waste Management*. Environ. Sci. Technol., 32, 1825–1831.
14. Nilsson S. (2006). *Waste to Energy in Denmark*. Ramboll.
15. Staniškienė B., Garalevičienė D. (2004). *Sunkieji metalai žuvų mėsoje ir kauluose*. Kaunas: Lietuvos veterinarijos akademija.
16. Švenčianas P. (1993). *Biosferos apsauga šiluminėje energetikoje*. Kaunas: Technologija.

**Įteikta: 2015 m. sausio 28 d.**

**Priimta publikuoti: 2015 m. gegužės 25 d.**