

## AMONIAKO IR METANO DUJŲ, IŠSISKIRIANČIŲ KOMPOSTUOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ, TYRIMAI

Eglė Zuokaitė<sup>1</sup>, Aušra Zigmontienė<sup>2</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: <sup>1</sup>egle.zuokaite@ap.vgtu.lt; <sup>2</sup>ausra.zigmontiene@ap.vgtu.lt

**Anotacija.** Nuotekų dumblas, jo apdorojimas ir saugojimas yra susijęs su klimato kaita. Yrant organinėms medžiagoms išsiskiria ne tik nemalonus kvapo dujų, bet ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ). Biodegradacijos procesai vyksta ir natūraliai gamtoje ir dirbtinai – kompostuojant. Sudarant optimalias kompostavimo sąlygas (C:N, aeravimas, pH ir drėgmė) bei naudojant priedus (ceolitas, durpės ir kt.) galima mažinti dujinių teršalų emisijas į aplinką. Straipsnyje nagrinėjami kompostuojant nuotekų dumblą gautų eksperimentų rezultatai, tiriant  $\text{CH}_4$  ir  $\text{NH}_3$ . Eksperimentui naudotas Vilniaus miesto komunalinių nuotekų valymo įrenginių perteklinis nuotekų dumblas, nusausintas centrifugomis. Kaip papildomos medžiagos naudotos ceolitas ir durpės. Kompostuota kompostavimo aikštelę imituojančiuose „įrenginiuose“.

**Reikšminiai žodžiai:** nuotekų dumblas, kompostavimas,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , ceolitas, durpės.

### Įvadas

Nuotekų valymo dumblas sandėliuojamas nuotekų valyklose, įrengtose dumblo saugojimo aikštelėse. Tam reikalingos didelės teritorijos. Dumblo skaidymo produktais teršiamas oras, dirvožemis, vanduo. Lietuvoje kasmet susidaro apie 6,5 mln.  $\text{m}^3$  dumblo, kuriame yra 65 700 t sausųjų medžiagų. Dar apie 1,6 mln.  $\text{m}^3$  dumblo susidaro pramonės įmonių ir mažųjų gyvenviečių nuotekų valyklose.

Nuotekų dumblui (organinėms medžiagoms) yrant ir biodegrazuojant, susiduriama su šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir nemalonių kvapų problema. Dideli amoniako ( $\text{NH}_3$ ) ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) kiekiai gali būti skleidžiami ir dumblo saugojimo metu. Tinkamas biologiškai skaidžių atliekų tvarkymas pastaruoju metu ypač svarbus, nes jų irimo produktai daro didžiulį poveikį klimato kaitai (Composting Council 2008; Jackel *et al.* 2005).

Kompostavimas – tai prižiūrimas natūralus, o kartu ir valdomas procesas, kai organinės atliekos paverčiamos dirvožemiui bei augalams lengvai pasisavinamų maistingų medžiagų šaltiniu, vadinamu kompostu. Šis procesas natūraliai vyksta dėl užaugusių mikroorganizmų. Procesas nuolat vyksta gamtoje: negrėbti lapai pūva, maistinės medžiagos vėl grįžta į žemę ir taip pamaitina medžius. Smėlėtoje dirvoje kompostas veikia kaip kempinė, padėdamas vandeniui išsilaikyti dirvoje ir pasiekti augalo šaknis, tokiu būdu apsaugo šaknis nuo perdziūvimo. Molingoje dirvoje kompostas suteikia žemei purumo ir lai-

dumo, padidina jos galimybes absorbuoti orą ir vandenį, mažina eroziją. Dirvožemis, tręštas kompostu, yra atsparesnis vėjo ir vandens erozijai. Be to, žemė, kartu su kompostu gauna ir naudingų mikroorganizmų, kurie sugeba pasisavinti maistingąsias medžiagas iš mineralinės dirvos dalies ir perduoti jas augalams, todėl mažėja neorganinių trąšų poreikis. Taip netiesiogiai mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas dėl trąšų gamybai nesuvaldytos energijos (Spellman 1996).

Tačiau didžiausia kompostavimo nauda – tai išsiskiriančio metano, šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kiekio sumažinimas. Kompostavimas ir komposto naudojimas mažina šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį, tiesiogiai izoliuojant anglies dioksidą bei netiesiogiai gerinant dirvožemio savybes ir sudėtį (Brown *et al.* 2008; Composting Council 2008).

Visose organinėse medžiagose yra anglies. Kai ji suyra natūraliai aerobinėmis sąlygomis, išsiskiria  $\text{CO}_2$ . Tačiau kai organinės medžiagos skaidomos anaerobinėje aplinkoje, anglis išsiskiria kaip metanas ir kiti lakieji organiniai junginiai (Ashbolt, Line 1982).

Anglies dioksidas ( $\text{CO}_2$ ), metanas ( $\text{CH}_4$ ) ir azoto oksidai ( $\text{NO}_x$ ) yra šalutiniai kompostavimo proceso produktai. Šios trys šiltnamio efektą sukeliančios dujos prisideda prie visuotinio atšilimo, absorbuodami skleidžiamą spinduliuotę į žemę (Hellebrand 1998; Composting Council 2008).

Norint įvertinti komposto poveikį pasaulinio klimato kaitai, svarbūs trys komponentai: kompostuojamos medžiagos, kompostavimo procesas ir komposto naudo-

jimas. Kompostavimo poveikis priklauso nuo to, kas būtų, jei kompostuojamos medžiagos būtų kitaip apdorojamos (ar neapdorojamos). Teigiamas poveikis apima dujinių teršalų išsiskyrimo mažinimą ir anglies izoliavimą (Composting Council 2008; Brown *et al.* 2008).

Optimalus komposto anglies ir azoto santykis, pH, pakankamas aeravimas ir drėgmė – tai veiksniai, darantys įtaką išmetamų dujinių teršalų kiekiams (Turovskiy, Westbrook 2002; Baltrėnas *et al.* 2005).

Aerobinio kompostavimo sistemos išmeta mažiau bendrą šiltnamio efektą sukeliančių dujų nei anaerobinio kompostavimo sistemos.

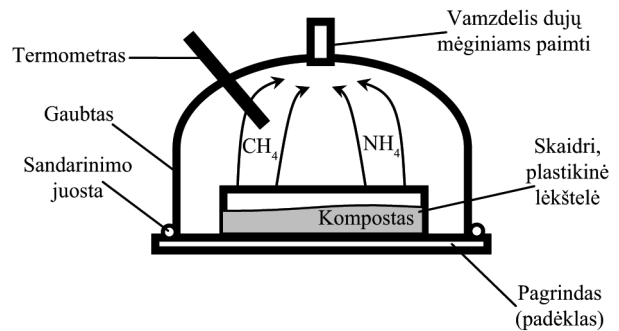
Kompostavimas – tai biologinio stabilizavimo procesas, skirtas dumblui, iš kurio pašalintas vanduo. Kompostavimas paprastai yra aerobinis procesas. Natūraliai aeracijai pagerinti į dumblą pridedama priedų (medienos pjuvenų, skiedrų ir kt.) (Zuokaitė, Ščupakas 2007).

Lietuvoje atlikti laboratorinio ir lauko tyrimo rezultatai rodo (Eitminavičiūtė 2005), kad ceolitas naudotinas miestų nuotekų dumblo kvapui sumažinti. Sorbentu ZeoVit mulčiuojant žalią dumblą, po dviejų savaičių sorbentas akumuliuoja iki 54,4 % bendro azoto, o mulčiuojant perteklinį dumblą – net iki 80,7 %. Tiriant žalio ir perteklinio dumblo mišinį, azoto lygis po savaitės ryškiausiai sumažėja dumblą sumaišius su sorbentu ir mulčiavus. Mulčiavimas sulaiko ir amoniakinio azoto garavimą ir pasklidimą ore iš gilesnių dumblo sluoksnių (Eitminavičiūtė 2005), todėl galima teigti, kad kartu sulaiko ir amoniako kiekius, išsiskiriančius iš nuotekų dumblo. Siekiant sumažinti amoniakinio azoto lygį dumblo masėje, tikslingiausia būtų maišyti dumblą su sorbentu. I. Eitminavičiūtė (2005) nustatė, kad sorbento sumaišymas su dumbliu ir dar mulčiavimas duoda geriausių rezultatų, tačiau tai reikalauja didžiausio sorbento kiekio – 120–130 kg/t dumblo, o nemulčiavus užtektų 50 kg/t.

Tyrimų tikslas – ištirti dujinius teršalus ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ), išsiskiriančius kompostuojant nuotekų dumblą, ir įvertinti būdus, kuriais galima mažinti išsiskiriančių dujų kiekius.

### Dujinių teršalų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą, tyrimų metodika

Tiriant dujinių teršalų ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ) išsiskyrimą kompostuojant, naudojamas perteklinis nuotekų dumblas, nusaustas centrifugomis, ceolitas, durpės. Kompostuojama kompostavimo aikštelę imituojančiuose „įrenginiuose“ (1 pav.). Dumblo kompostavimo įrenginį sudaro: pagrindas, gaubtas, sandarinimo juosta, skaidri plastikinė lėkštelė, vamzdelis dujų mėginiams paimti, termometras.



1 pav. Dumblo kompostavimo įrenginys

Fig 1. Sludge composting bin

Kompostuojamos medžiagos talpinamos ant 0,5 l talpos plastikinio pagrindo, kuris uždengiamas 4 l sandariais (hermetiškais) gaubtais. Lėkštelės užpildomos:

- nuotekų dumbliu (500 g);
- nuotekų dumbliu (500 g), mulčiuotu (padengtu) ceolitu (150 g); ceolito sluoksnio storis – 10–15 mm;
- nuotekų dumbliu (500 g), mulčiuotu (padengtu) durpėmis (50 g); durpių sluoksnio storis – 10–15 mm.

Kiekviename kompostavimą imituojančio įrenginio gaubte įrengti vamzdeliai dujinių medžiagų mėginiams paimti:

- traukiamas oro mišinys per sugertuvą amoniako ( $\text{NH}_3$ ) koncentracijai nustatyti;
- nešiojamojo dujų matuoklio davikliu traukiamas oro mišinys metano ( $\text{CH}_4$ ) koncentracijai;
- fiksuojama aplinkos oro ir susidariusių dujų temperatūra.

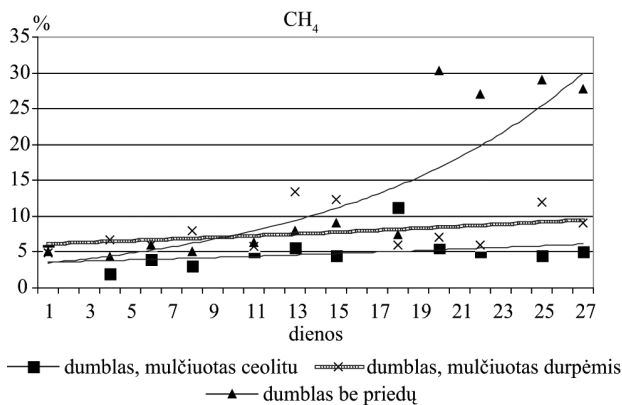
Taikant šią metodiką nustatoma: metanas ( $\text{CH}_4$ ), amoniakas ( $\text{NH}_3$ ), atliekų drėgnis, pH. Elektrocheminiu metodu nustatomas metanas ( $\text{CH}_4$ ). Fotometriniu metodu nustatomas amoniakas ( $\text{NH}_3$ ). Atliekų drėgnis nustatomas džiovinant dumblą  $105 \pm 3$  °C temperatūroje iki pastovios masės ir apskaičiuojamas žinant jo svorį prieš džiovinimą ir po to. Kiekybiškai pH įvertinamas pH-metru „MultiCal 538 WTW“ su stiklo elektrodu.

### Dujinių teršalų, išsiskiriančių kompostuojant nuotekų dumblą, eksperimentinių tyrimų rezultatų analizė

Eksperimentui naudotas Vilniaus miesto komunalinių nuotekų valymo įrenginių perteklinis nuotekų dumblas, nusaustas centrifugomis. Kaip papildomos medžiagos naudojamas ceolitas ir durpės. Eksperimentas atliktas darant mėginių pakartojimus tris kartus.

Anaerobinėmis sąlygomis veikiant bakterijoms iš kompostuojamo nuotekų dumblo išsiskiria metanas. Procesas, kai organinės rūgštys skaidomos iki CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub>, vadinamas metanogenezės procesu. Lokieji organiniai junginiai viso proceso metu yra kaip tarpiniai vykstančių reakcijų produktas.

Ištyrus metano kiekius, išsiskiriančius kompostuojant nuotekų dumblą, pastebimos skirtingos tendencijos mėginiuose su dumblu ir dumblu, mulčiuotu ceolitu ar durpėmis. Didžiausi kiekiai metano išsiskiria nemulčiuotame nuotekų dumble. Išsiskiriančio metano dujų kiekis procentais pateiktas 2 pav.



2 pav. Išsiskiriančių metano dujų kiekis kompostuojant nuotekų dumblą

Fig 2. Methane emissions from composting sewage sludge

Gauti rezultatai rodo, kad dumblas, mulčiuotas durpėmis, išskiria mažiau metano. Dar mažesni kiekiai metano išsiskiria iš dumblo, mulčiuoto ceolitu. Išanalizavus gautus rezultatus, galima daryti prielaidą, kad ceolitas yra tinkama priemonė kompostuojamo dumblo išskiriamų dujų teršalų (metano) kiekiui mažinti. Ceolitams būdingos jonų kaitos ir adsorbcinės savybės. Ceolitų gardelėje yra atvirais kanalais susijungusių ertmių. Kanalu skersmuo svyruoja nuo 2,8 iki 8,0 angstromų. Todėl į juos gali laisvai patekti vandens bei kitų molekulių (CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, ir pan).

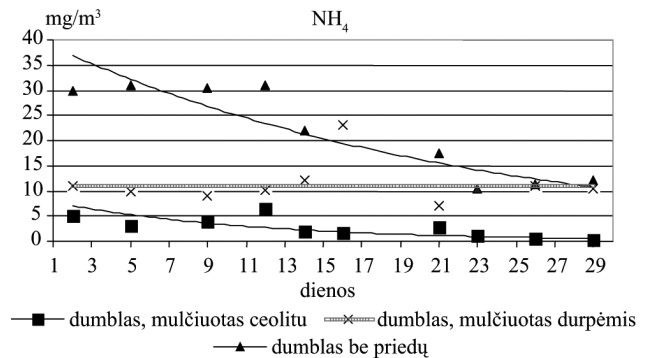
Dėl specifinės struktūros ceolitai turi nemažai naudingų savybių: adsorbcinių – efektyviai adsorbuoja įvairias medžiagas iš dujų mišinių ir tirpalų; molekulinė sietų – sorbuoja tik atitinkamo dydžio molekules; katijoninių – silpnai prijungti katijonai vidiniuose porų ir atvirų kanalų paviršiuose gali būti pakeičiami kitais katijonais; katalitinių – kristalinės gardelės porose esančių molekulių aktyvacijos energija kai kuriuose reakcijose sumažėja. Ceolitai – ekologiškai švari, inertinė ir netoksiška me-

džiaga, tinkama naudoti dujiniais teršalais mažinti (Nepageidaujamos... 2004).

Naudoto ceolito parametrai: frakcijos dydis – 6 mm, tankis – 2370 kg/m<sup>3</sup>, poringumas – 4,0 %, sąlyginis paviršiaus plotas – 144 m<sup>2</sup>/g.

Vienas pagrindinių dujų teršalų, išsiskiriančių apdorojant nuotekų dumblą, sukeliančių nemalonų kvapą, yra amoniakas (NH<sub>3</sub>).

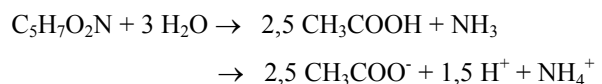
Amoniakas, kaip šalutinis produktas, išsiskiria kompostuojant nuotekų dumblą. Išanalizavus anaerobinio skaidymo schemas, galima teigti, kad amoniakas išsiskiria acetogenezės etapu. Jo susidarymo ir išsiskyrimo kiekiai buvo tiriami 30 dienų. Iš gautų rezultatų matyti, kad ir metano, ir amoniako didžiausi kiekiai išsiskiria mėginiuose su nuotekų dumblu (nemulčiuota). Gauti rezultatai rodo, kad ceolitas – tinkama priemonė į aplinką išsiskiriančio amoniako kiekiui mažinti (3 pav.).



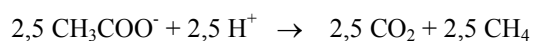
3 pav. Išsiskiriančio amoniako dujų kiekis kompostuojant nuotekų dumblą

Fig 3. Ammonia emissions from composting sewage sludge

Analizuojant amoniako išsiskyrimą, pastebima, kad 11–15 eksperimento dieną prasideda acetogenezės procesas:



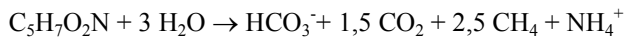
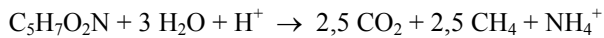
Organinės medžiagos skaidomos iki organinių rūgščių ir amoniako. Pasibaigus šiai fazei, prasideda metanogenezės procesas:



Metanogenezės proceso metu organinės rūgštys skaidomos iki CO<sub>2</sub> ir CH<sub>4</sub>. Lakūs organiniai junginiai

viso proceso metu yra kaip tarpinis vykstančių reakcijų produktas.

Anaerobinis skaidymas aprašomas taip:



Šiems procesams vykti įtaką daro ir aplinkos temperatūra. Vidutinė aplinkos temperatūra eksperimento metu svyravo nuo 13 iki 20 °C.

## Išvados

1. Sudarius optimalias kompostavimo sąlygas (C:N, aeravimas, pH ir drėgmė) bei naudojant natūralius priedus (durpės, ceolitas), galima mažinti dujinių teršalų emisijas.

2. Ištyrus amoniako ir metano kiekius, išsiskiriančius kompostuojant nuotekų dumblą, paaiškėjo, kad dumblas, mulčiuotas durpėmis, išskiria mažesnes dujinių teršalų emisijas, nes durpės turi sorbcinių savybių.

3. Išanalizavus gautus rezultatus, galima daryti prielaidą, kad ceolitas yra tinkama priemonė kompostuojamo dumblo išskiriamų dujinių teršalų (CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>) kiekiui mažinti, nes dujinių teršalų kiekiai sumažėjo iki šešių kartų.

## Literatūra

- Ashbolt, N. J.; Line, M. A. 1982. A bench-scale system to study the composting of organic wastes, *Journal of Environmental Quality* 11(3): 405–408.
- Baltrėnas, P.; Jankaitė, A.; Raistenskis, E. 2005. Natūralių biodegradacijos procesų, vykstančių maisto atliekose, eksperimentiniai tyrimai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(4): 167–176.
- Brown, S.; Kruger, C.; Subler, S. 2008. Greenhouse gas balance for composting operations, *Journal of Environmental Quality* 37(4): 1396–1410.  
[doi:10.2134/jeq2007.0453](https://doi.org/10.2134/jeq2007.0453)
- Composting Council. 2008. Greenhouse Gases and the Role of Composting: A Primer for Compost Producers. US [interaktyvus] [žiūrėta 2009 m. kovo 12 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.compostingcouncil.org>>.
- Eitminavičiūtė, I. 2005. *Nuotekų dumblo tvarkymas naudojant ZeoVit sorbentą*. Vilnius. 23 p.
- Hellebrand, H. J. 1998. Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste, *Journal of Agricultural Engineering Research* 69(4): 365–375. [doi:10.1006/jaer.1997.0257](https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0257)
- Jackel, U.; Thummes, K.; Kampfer, P. 2005. Thermophilic methane production and oxidation in compost, *FEMS Microbiology Ecology* 52(2): 175–184.  
[doi:10.1016/j.femsec.2004.11.003](https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.11.003)
- Nepageidaujamos dujos ir kvapai, jų neigiamo poveikio mažinimas, panaudojant sorbentą ZeoVit. 2004. Vilnius. 9 p. [žiūrėta 2009 m. kovo 12 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.elega.lt/doczeovit/?download=A+11+Kvapu+mazinimas+ir+Zeovit.pdf%20->>>.
- Spellman, F. R. 1996. *Wastewater Biosolids to Compost*. Technomic Company, Inc. 258 p. [žiūrėta 2009 m. kovo 12 d.] Prieiga per internetą: <[http://www.fwrj.com/Tech%20Articles%2003/April%20'03\\_T-2.pdf](http://www.fwrj.com/Tech%20Articles%2003/April%20'03_T-2.pdf)>.
- Turovskiy, I. S.; Westbrook, J. D. 2002. Recent Advancements in Wastewater Sludge Composting, *Water Engineering & Management* 149 (10): 29–32.
- Zuokaitė, E.; Ščupakas, D. 2007. Utilization of sewage sludge from acid casein production for soil fertilization, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(3): 166–172.

## RESEARCH ON AMMONIA AND METHANE GAS EMISSION FROM COMPOSTING SEWAGE SLUDGE

E. Zuokaitė, A. Zigmontienė

### Summary

Sewage sludge treatment and disposal are related to climate change. Composting is the oldest and most natural form of recycling organic material. Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and nitrous oxide (NO<sub>x</sub>) are all by-products of the composting process. These three greenhouse gases contribute to global warming by absorbing radiation emitted by the earth. When the natural breakdown of organic materials is happening under optimum conditions, it produces primarily carbon dioxide, water vapour and heat. When the process is unbalanced in some way, other gases begin to be produced, some of which have objectionable odours (NH<sub>3</sub>). Odour and greenhouse gases management, then, is one of the primary motivators for optimizing our composting process. The article deals with composting sewage sludge from the experimental results of the investigation of CH<sub>4</sub> and NH<sub>3</sub>.

**Keywords:** sewage sludge composting, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, zeolites, peat.