

LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETAS
GYVULININKYSTĖS INSTITUTAS

TVIRTINU:

LSMU Gyvulininkystės instituto

Direktorius
Artūras Šiukščius

2024 m. lapkričio mėn. 10 d.

**PROJEKTAS ĮGYVENDINTAS PAGAL ŽEMĖS ŪKIO, MAISTO ŪKIO IR
ŽUVININKYSTĖS IR KAIMO PLĖTROS 2023–2027 METŲ MOKSLINIŲ
TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS PLĖTROS FINANSAVIMO TAISYKLĖS**

**Mėšlo tvarkymo sistemų optimizavimas, panaudojant
priedus/sorbentus ŠESD ir amoniako dujų emisijų
mažinimui**

2024 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Projekto vadovas

Violeta Juškienė

Baisogala

2024

Projekto pagrindiniai vykdytojai

Violeta Juškienė, dr., LSMU Gyvulininkystės instituto Ekologijos skyriaus vyriausioji mokslo darbuotoja.

Remigijus Juška, dr., LSMU Gyvulininkystės Ekologijos skyriaus vyresnysis mokslo darbuotojas.

Robertas Juodka, dr., LSMU Gyvulininkystės instituto Ekologijos skyriaus vyresnysis mokslo darbuotojas.

Gitana Kadžienė, dr., LSMU Gyvulininkystės instituto jaunesnioji mokslo darbuotoja.

Daiva Stankevičienė, dr., LSMU Gyvulininkystės instituto mokslo darbuotoja.

TURINYS

	Psl.
1. ĮVADAS.....	4
2. TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI.....	5
3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	10
3.1. Skirtingo sorbentų kiekio ir jų įterpimo būdo poveikio dujų emisijoms iš mėšlo įvertinimas.....	10
3.2. Mėšlo cheminės sudėties pokyčių laikymo metu įvertinimas.....	15
3.3. Įvairių priedų/sorbentų poveikio amoniako, metano ir anglies dioksido dujų emisijoms iš galvijų mėšlo tyrimai.....	16
3.3. Įvairių priedų/sorbentų poveikio amoniako, metano ir anglies dioksido dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo tyrimai.....	26
3.4. Įvairių priedų/sorbentų poveikio amoniako, metano ir anglies dioksido dujų emisijoms iš vištų mėšlo tyrimai	32
4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	38
5. NAUDOTŲ LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	39
6. PROJEKTO VEIKLŲ VIEŠINIMAS.....	41

1. ĮVADAS

Europos Sąjunga žaliuoju kursu įsipareigojo iki 2030 metų 55 proc. sumažinti išmetamų teršalų kieki ir iki 2050 m. užtikrinti neutralų poveikį klimatui – kad į aplinką būtų išmetama ne daugiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) nei jų surenkama ar absorbuojama. Siekiant užsibrėžto tikslo šalys įsipareigojo sparčiai mažinti išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekius, remiantis turimomis geriausiomis mokslo žiniomis.

Globaliu mastu žemės ūkis atsakingas už daugiau 80% amoniako emisijos. Europos Sąjungoje iš žemės ūkio emituoja apie 94% amoniako, ir daugiau kaip 43% šios emisijos tenka gyvulininkystei. Lietuvoje žemės ūkis yra antras pagal dydį ŠESD emisijų šaltinis, o taip pat yra didžiausias amoniako emisijų šaltinis.

Gyvulininkystėje didžiausios taršos problemos yra siejamos su amoniako (NH_3) ir metano (CH_4) dujų emisijomis. Tuo pačiu būtina paminėti ir azotą, kuris yra amoniako sudėtyje. Nors azotas yra gyvybiškai svarbi maisto medžiaga gyvybei, tačiau kai azoto junginiai dideliais kiekiais patenka į dirvožemį ir vandenį, tai gali turėti neigiamų padarinių ekosistemoms. Be to amoniakas yra vienos iš pagrindinių antrinių kietųjų dalelių, keliančių pavojų žmonių sveikatai, pirmtakas. Ir nors amoniakas nėra šiltnamio efektą sukeliančios dujos, tačiau virsdamas diazoto oksidu (N_2O), prisideda ir prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos.

Paskutiniiais dešimtmečiais didėjančios šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, įtakoja sparčius klimato pokyčius. JT Maisto ir žemės ūkio organizacijos duomenimis, pasaulyje iš žemės ūkio emituoja trečdalis šiltnamio efektą sukeliančių dujų. Vienos iš jų yra metanas – antros pagal gausumą antropogeninės kilmės šiltnamio efektą sukeliančios dujos, sudarančios apie 16 procentų šių dujų emisijos planetoje. Be to, metanas turi 86 kartus stipresnį poveikį masės vienetui, lyginant su anglies dvideginiu. Metanas, emituojantis iš gyvūnų ir mėšlo tvarkymo sistemų gyvulininkystėje sudaro apie 32% antropogeninio metano emisijos. Mėšlo tvarkymo metu išsiskiria apie 20 % visų gyvulininkystėje išsiskiriančių dujų emisijų, todėl vykdoma intensyvi priemonių paieška, siekiant sumažinti ŠESD emisijas iš mėšlo tvarkymo sistemų. Išmetimai, atsirandantys mėšlo laikymo metu, yra įvairių biologinių kompleksų rezultatas. Pavyzdžiui metano išskyrimas mėšlo laikymo metu gali sudaryti iki 6,5 kg m^{-2} . Amoniako ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija skiriasi priklausomai nuo aplinkos sąlygų, tvarkymo technologijų ir mėšlo sudėties. Emisijų iš mėšlo mažinimas yra svarbus ne tik aplinkos apsaugai, bet ir maistinių medžiagų išsaugojimui mėšle, taip padidinat jo tręšiamąją vertę dirvožemiui.

Tiriant skystojo mėšlo emisijas, daugiausia dėmesio buvo skiriama švelninimo strategijų, tokių kaip dangos (Amon ir kt., 2006; Chadwick, 2005; Lague ir kt., 2005), rūgštys (pvz., H_2SO_4) (Im, Petersen, Lee, Keem, 2020) ir nitrifikacijos inhibitoriai (pvz., N-(n-butyl)tiofosforo triamidą (NBPT), 3,4-dimetilpirazolo fosfatą (DMPP) ir diciandiamidą (DCD). Įvairių šalių tyrėjai nemažai tyrinėjo pjuvenų, šiaudų ir fosfogipso poveikį emisijoms. Dalis rezultatų buvo paskelbta ir apie įvairių mėšlo priedų panaudojimo efektyvumą emisijų mažinimui (Luo ir kt., 2013; Wu ir kt., 2019; Tubail ir kt., 2013; Maurer ir kt., 2017; Mao ir kt., 2019; Yin, Y. ir kt., 2021; Wang et al., 2018; Awasthi et al., 2016; Eunjong ir kt., 2018). Mėšlo tvarkymo sistemose gali būti panaudoti ir įvairūs priedai/sorbentai, kurie gali padėti sumažinti amoniako ir kitų taršių dujų išskyrimą į atmosferą, o taip pat sumažinti nemalonius kvapus ir pagerinti mėšlo kokybę.

Sorbentai gali būti natūralūs (pvz., molis, aktyvuota anglis, zeolitai) arba sintetiniai (pvz., polimeriniai). Jų veikimo principas remiasi fizikiniais ir cheminiais procesais, kurie leidžia sugerti teršalus iš dujų ar skysčių. Natūralūs sorbentai dažnai pasižymi dideliu paviršiaus plotu ir poringumu, kas leidžia efektyviai sugerti amoniaką ir ŠESD. Sintetiniai sorbentai gali būti sukurti specialiai tam, kad optimizuotų jų savybes ir efektyvumą. Kai kurie tyrimai rodo, kad sorbentų naudojimas gali sumažinti amoniako emisijas iki 50% ir ŠESD emisijas iki 30%, priklausomai nuo sorbento tipo ir taikymo metodo. Sorbentų efektyvumas gali būti didinamas derinant skirtingus sorbentus arba pritaikant inovatyvias

technologijas, tokias kaip nanotechnologijos. Pavyzdžiui, aktyvuota anglis, modifikuota metalų oksidais, gali pasižymėti geresnėmis absorbcijos savybėmis, tačiau jų visapusiš veikimas iki šiol nėra aiškus.

Nemažai tyrėjų (Awasthi et al., 2016; Chen et al., 2018; Chowdhury et al., 2014) savo eksperimentuose naudojo įvairius priedus/sorbentus tokius kaip bioanglį, zeolitą, kalkes ir molį kompostuojant mėšlą, ir nustatė, kad šie priedai gali padėti sumažinti amoniako ir ŠESD emisijas. Szymula ir kt. [] eksperimentuose naudojo natūralius sorbentus ir įrodė, kad labiausiai amoniako dujų emisijas sumažino bioanglies panaudojimas (42,56%) ir bentonito su zeolitu mišinio naudojimas (24,56%). Kiti tyrėjai [Yin et al., 2021; Wang et al., 2017; Wang et al., 2018; Mao et al., 2018] mini, kad įvairūs priedai/sorbentai gali būti efektyvūs ŠESD emisijų mažinimui kompostuojant mėšlą, tačiau bioanglies derinimas su jais gali turėti didesnę poveikį šių emisijų sumažinimui. Apibendrinant daugelio užsienio šalių tyrėjų gautus rezultatus galima daryti išvadą, kad priedai/sorbentai gali padėti sumažinti ŠESD emisijas, tačiau jų visapusiš veikimas iki šiol nėra aiškus, gauti labai įvairūs rezultatai rodo, kad žinių apie jų poveikį mėšlui trūksta. Nors kai kurie priedai/sorbentai jau buvo tyrinėti, jų efektyvumas gali labai skirtis priklausomai nuo šalyje taikomų gyvulių šėrimo ir laikymo technologijų, mėšlo sudėties, drėgmės lygio ir kitų aplinkos veiksnių. Be to daugiau žinių yra sukaupta apie tradicinių ir plačiau naudojamų priedų/sorbentų, tokių kaip molis, anglis, ceolitas ar pjuvenos efektyvumą, tačiau naujų, efektyvių ir ekologiškų priedų/sorbentų panaudojimo galimybes mėšlo tvarkymo sistemose nėra pakankamai ištirtos.

Tyrimų, susijusių su ŠESD ir amoniako emisijomis iš mėšlo tvarkymo sistemų Lietuvoje, nebuvo daug atlikta. Dar mažiau tyrinėtose galimybės panaudoti įvairius priedus taršių dujų emisijų mažinimui. Todėl labai svarbu atlikti tyrimus ieškant būdų, kaip panaudoti natūralias, aplinkai draugiškas medžiagas, kurios padėtų veiksmingai sumažinti emisijas, geriau suprasti jų efektyvumą ir poveikį aplinkai, ekonominius aspektus ir kaip būtų galima juos panaudoti šalies gyvulininkystės ūkiuose.

Todėl mūsų darbo tikslas buvo ištirti dujų emisijų susidarymo intensyvumą, panaudojant įvairius priedus/sorbentus ir nustatyti, kurie jų ir kokie kiekiai gali padėti efektyviai sumažinti ŠESD ir amoniako dujų emisijas iš mėšlo laikymo metu, bei parengti rekomendacijas dėl priedų/sorbentų naudojimo ūkiuose. Projekto vykdymo metu buvo numatyta spręsti šiuos uždavinius: įvertinti įvairių mėšlo priedų/sorbentų poveikį išskiriamų CO₂, CH₄, NH₃ dujų kiekiui; nustatyti mėšlo su skirtingais priedais/sorbentais cheminės sudėties pokyčius jo laikymo metu; įvertinti skirtingų priedų/sorbentų veiksmingumą šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir amoniako emisijų mažinimui; nustatyti efektyviausius priedus/sorbentus taršių dujų emisijų mažinimui bei įvertinti jų panaudojimo galimybes ūkiuose; parengti rekomendacijas dėl priedų/sorbentų panaudojimo šiltnamio efektą sukeliančių ir amoniako dujų emisijų mažinimui iš mėšlo jo laikymo metu.

2. TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Siekiant įvertinti sorbentų panaudojimo efektyvumą ŠESD ir amoniako dujų emisijų mažinimui iš mėšlo laikymo metu, buvo atlikti tyrimai LSMU Gyvulininkystės instituto eksperimentinėje bazėje. Dujų emisijų tyrimai atlikti laboratorinėmis sąlygomis, panaudojant 90 ir 25 litrų eksperimentinius mėšlo rezervuarus (1 paveikslas). Tyrimai atlikti su galvijų, kiaulių ir paukščių mėšlu. Galvijų mėšlo tyrimams pieninių galvijų tvarte tiesiai iš karvių buvo surinkti ekskrementai (kietoji frakcija ir šlapimas) ir pristatyti į laboratoriją. Laboratorijoje mėšlo kietoji frakcija sumaišyta su šlapimu santykiu 1,6:1. Kiaulių mėšlas tyrimams buvo paimtas iš prieduobės, į kurią šviežias mėšlas patenka transporteriu, prieš patekdamas į mėšlo rezervuarą. Paukščių mėšlas buvo paimtas tiesiai iš transporterių. paukščių laikymo tvarte. Tyrimams visų rūšių mėšlas buvo homogenizuotas ir patalpinamas į eksperimentinius mėšlo rezervuarus (po 7 ir 8 kg).



1 paveikslas. Eksperimentiniai mėšlo rezervuarai.

Visus atliktus tyrimus rezultatų analizei sugrupavome į 4 bandymų blokus:

- 1-asis - skirtas įvertinti skirtingo sorbentų kiekio ir jų įterpimo būdo poveikį dujų emisijoms iš mėšlo ir nustatyti tinkamiausius panaudojimo variantus bei mėšlo sudėties pokyčius jo laikymo metu;
- 2-asis - ištirti įvairių priedų/sorbentų poveikį amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš galvijų mėšlo ir nustatyti jų veiksmingumą emisijų mažinimui.
- 3-asis - ištirti įvairių priedų/sorbentų poveikį amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo ir nustatyti jų veiksmingumą emisijų mažinimui.
- 4-asis - ištirti įvairių priedų/sorbentų poveikį amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš paukščių mėšlo ir nustatyti jų veiksmingumą emisijų mažinimui.

Planuojant tyrimus buvo daug dėmesio skirta analizuoti mokslinę literatūrą, rinkos pasiūlą, kad būtų galima tinkamai pasirinkti efektyvius priedus/sorbentus. Pasirenkant sorbentus, buvo sutelktas dėmesys į mažai tirtas, tačiau potencialiai gebančias absorbuoti kenksmingas dujas medžiagas, įvertinant ir jų galimą poveikį aplinkai (eliminuojant agresyvias chemines medžiagas), prieinamumą ūkininkams ir kainą.

Tyrimams buvo atrinkti ir naudoti sorbentai (3 paveikslas) :

- Durpės (pH 4);
- Perlitas – 3-5 mm frakcija;
- Vermikulitas – 4 mm frakcija.
- (Bio)anglis – medžio, smulkinta 5-7 mm frakcija
- Dolomitmilčiai – 5-9 mm frakcija
- Šiaudai – kviečių, smulkinti iki 2-5 cm.

Sorbentų ėmašymo į mėšlo rezervuarus kiekis buvo apskaičiuojamas procentiškai mėšlo sausosios medžiagos daliai. Tyrimuose sorbentų kiekio poveikio dujų emisijoms įvertinimui buvo tirta 1,5, 3,0 ir 4,5 % sorbentų kiekio natūralaus drėgnumo mėšlo medžiagoje arba 15, 30 ir 45 % sorbentų kiekio mėšlo sausojoje medžiagoje poveikis, o kituose bandymuose buvo įvertintas 3,0 % sorbentų kiekio natūralioje mėšlo medžiagoje arba 30 % mėšlo sausojoje medžiagoje kiekio poveikis anglies, amoniako ir metano dujų emisijoms.

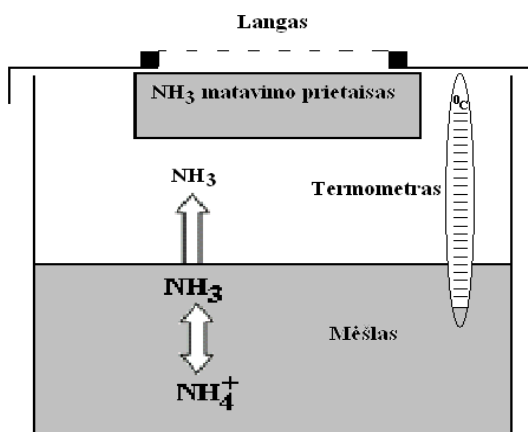
2.2. Dujų koncentracijų matavimai

Iš mėšlo išsiskiriančių dujų koncentracijos matuotos panaudojant pasyvosios kameros metodą (Matulaitis, 2014). Metodo schema parodyta 2 paveiksle.

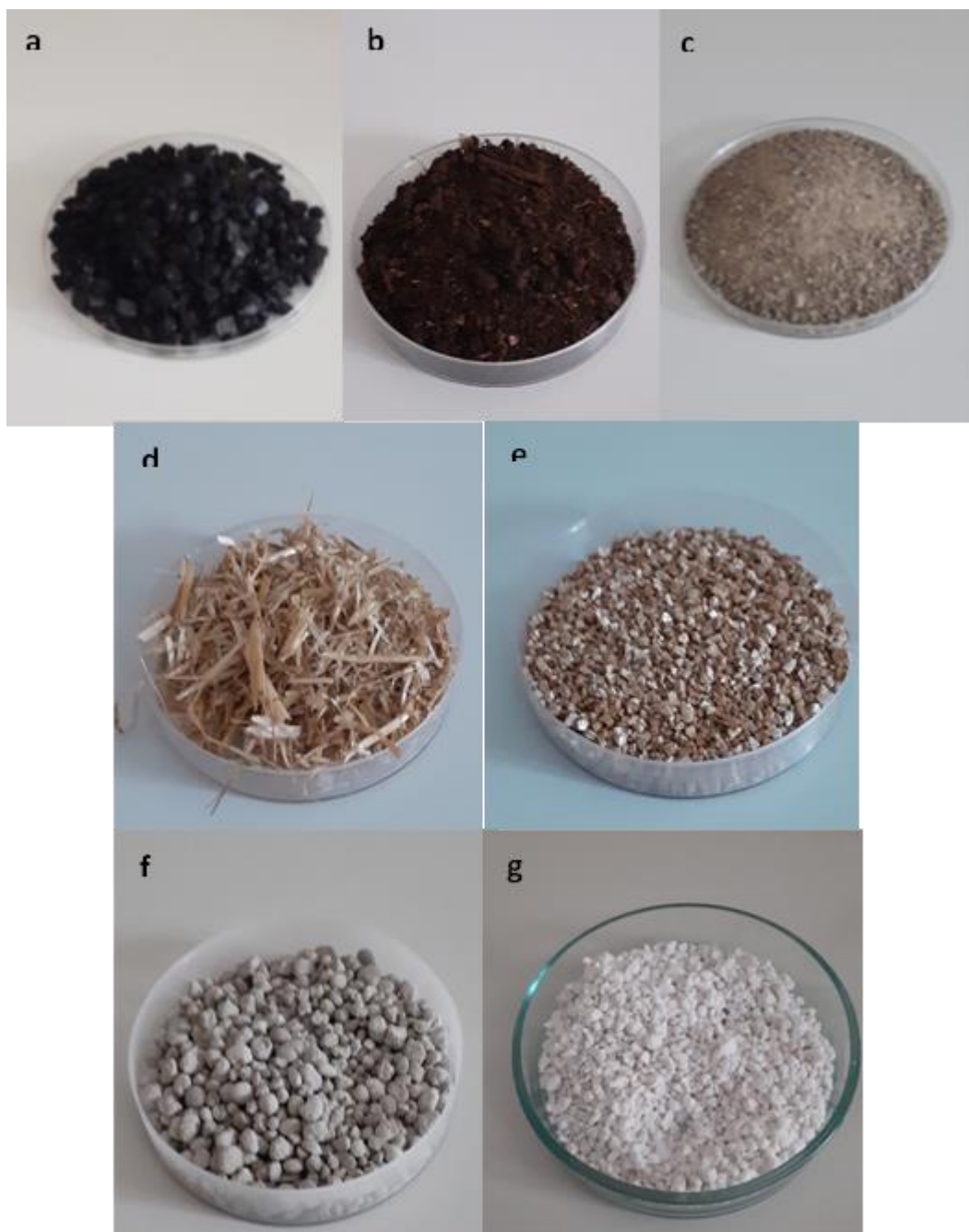
Dujų emisijų intensyvumas apskaičiuotas pagal formulę:

$$F = V M p (C_1 - C_0) / R (T + 273) A l h,$$

kur F ($\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ l h})$) – dujų emisijų intensyvumas; V (m^3) – tuščios erdvės tūris kameroje; M (g/mol) – dujų molinė masė; p (kPa) – dujų slėgis; C_1 (ppm) – dujų koncentracija kameroje penktąją matavimo minutę; C_0 (ppm) – dujų koncentracija kameroje matavimo pradžioje; R ($8,314 \text{ J/K mol}$) – dujų konstanta; T ($^\circ\text{C}$) – dujų temperatūra; A (m^2) – mėšlo paviršiaus plotas kameroje; l (l) – mėšlo kiekis kameroje; h ($0,08 \text{ val.}$) – dujų koncentracijų matavimo trukmė.



2 paveikslas. Supaprastinta pasyvosios kameros metodo schema



3 paveikslas. Sorbentų naudotų tyrime pavyzdžiai: a) anglis, b) durpės, c) dolomitmilčiai, d) šiaudai, e) vermikulitas, f) superfosfatas, g) perlitas.

Dujų koncentracijų matavimo metu rezervuarai su mėšlu buvo užsandarinami kartu su dujų matavimo prietaisais (4 paveikslas) ir po kiekvieno matavimo buvo paliekami atviri, kad mėšlas būtų natūraliai veikiamas aplinkos sąlygų ir dujų emisija nebūtų dirbtinai stabdoma (Wang ir kt., 2010). Dujų koncentracijų matavimų metu lygiagrečiai buvo matuojama aplinkos ir mėšlo temperatūra, santykinis oro drėgnis bei atmosferos slėgis. Išmetamų dujų emisijų įvertinimui buvo matuojamos anglies dioksido (CO_2), metano (CH_4) bei amoniako (NH_3) dujų koncentracijos. Matavimai vykdomi iki ženklus dujų emisijų sumažėjimo. Kiekvienos tiriamosios ir kontrolinės grupės išskiriamų dujų emisijų koncentracijų nustatymui buvo naudojami 3 pakartojimai (3 eksperimentiniai rezervuarai vienai grupei), tyrimo metu kiekvienas matavimas kartotas 3 kartus.

Dujų koncentracijų matavimams buvo panaudoti dujų analizatoriai, turintys elektrocheminius ir infraraudonųjų spindulių jutiklius:

- Dräger Pac III (matavimo ribos/skiriamaoji geba: NH_3 – 0-200 ppm/1 ppm),
- ALMEMO 2890-9 (matavimo ribos/skiriamaoji geba: CO_2 – 0-32769 ppm/1 ppm),
- Testo 315-3 (Testo SE & Co KGaA) prietaisai,
- GASTiger- 2000 (matavimo ribos NH_3 – 0-100 ppm/1 ppm),
- HS4000 – nuotolinis metano dujų detektorius - lazeris LMD (Hesai photonics technology Co. CH_4 Matavimo ribos 0,5 - 50 000 ppm m - iki 5 tūrio%, matavimo nuotolis 0,5–30 m atstumu. Duomenys LMD ekrane rodomi realiu laiku).

Bandymo trukmė – 37 - 42 dienos. Mėšlas laikytas klimato kameroje, kuriose aplinkos temperatūra svyravo 14 – 20 laipsnių, o santykinė oro drėgmė 60-62 procentų.



4 paveikslas. Dujų koncentracijų matavimai mėšlo rezervuaruose

2.3. Mėšlo sudėties tyrimai

Vykdamas tyrimus, buvo ištirta mėšlo sudėtis ir nustatyti sudėties pokyčiai laikymo metu. Mėšlo sudėtis įvertinta tiriant mėšlo mėginius be priedų/sorbentų, tiek ir su priedais/sorbentais, sutelkiant dėmesį į azoto ir anglies junginius, tiesiogiai susijusius su nitrifikacijos procesais ir organinių medžiagų kokybe.

Mėšlo sudėties tyrimai atlikti LSMU Gyvulininkystės instituto Chemijos ir LAMMC Žemdirbystės instituto cheminių tyrimų laboratorijoje. Mėšlo sudėtis analizuota pradžioje (po mėšlo homogenizavimo), pridėjus sorbentus ir bandymo pabaigoje. Naudoti tyrimo metodai:

- Sausosios medžiagos (SM) – kaitinant mėginius 105 °C temperatūroje iki pastovaus svorio (AOAC, 1990a);
- Mėšlo pH - potenciometriškai matuojant pH/temperatūros matuokliu HI98128 (Hanna instruments, Italija);
- Organinės anglies kiekis - nustatytas pagal oksiduojamumą spektrofotometriniu metodu;
- Amoniakinio azoto (NH_4^+ , $\text{NH}_4\text{-N}$) kiekis - distiliavimo būdu (Foss-Tecator AB, Höganäs, Švedija) bei titruojant elektronine mikrobiurete ir spektrofotometriniu metodu;
- Nitratinio azoto ($\text{NO}_3\text{-N}$) kiekis - jonometriniu metodu;

- Kjeldalio azotas - potenciometriškai matuojant pH/temperatūros matuokliu HI98128 (Hanna instruments, Italija);
- Žali pelenai (ŽP) - AOAC metodas 942.05 mėginius sausai mineralizuojant 400-500 °C temperatūroje;
- Organinė medžiaga (OM) - apskaičiuota pagal formulę: $OM=SM-\check{Z}P$;

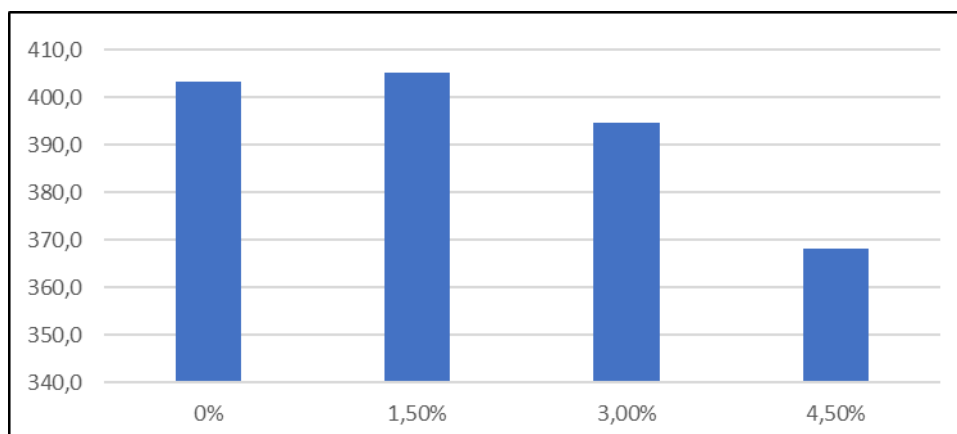
2.4. Statistinis tyrimo duomenų apdorojimas

Bandymų metu gauti tyrimo duomenys buvo grupuojami ir klasifikuojami bei atliekama jų statistinė analizė, panaudojant programinę įrangą STATISTICA (7 Versija; Stat Soft Inc. Tulsa, OK, JAV). Apskaičiuoti gautų reikšmių vidurkiai, medianos ir standartiniai nuokrypiai. Skirtumai buvo laikomi statistiškai reikšmingais, kai P reikšmė buvo mažesnė arba lygi 0,05.

3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

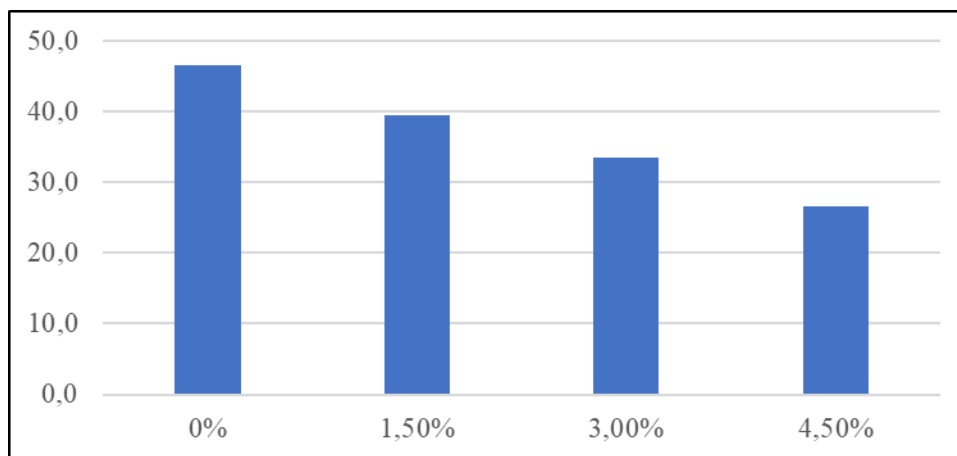
3.1. Skirtingo sorbentų kiekio ir jų įterpimo būdo poveikio dujų emisijoms iš mėšlo įvertinimas.

Tyrimų metu buvo vertinama sorbentų kiekio įtaka amoniako, anglies dvideginio bei metano dujų emisijoms įterpiant jų 1,5%, 3,0% ir 4,5%, skaičiuojant sausą medžiagą. Šiam tyrimui buvo pasirinktas vermikulitas, kaip natūrali absorbuojanti medžiaga, gerai sugerianti drėgmę, lengvai prieinama ir įsigyjama prekybos tinkluose ir iki šiol mažai tirta. Kita pasirinkta medžiaga buvo superfosfatas, kuris yra priskiriamas trąšoms, bet pasižymi chemine sudėtimi, kuri gali padėti neutralizuoti ir sugerti tam tikras dujas, sumažinti nemalonius kvapus ir padėti stabilizuoti mėšle esančias maistines medžiagas, sumažindamas jų išgaravimą. Kaip parodė tyrimai, į mėšlą įterpus 3,0% ir 4,5% vermikulito anglies dioksido emisiją sumažėjo 2,2-8,8%. Tuo tarpu įterpus į mėšlą ir 1,5% vermikulito, anglies dioksido emisiją ne tik nesumažėjo, bet labai nežymiai (0,5 %) padidėjo. Skaičiuojant bendrai visus įterptus vermikulito kiekius vidutiniškai CO₂ emisiją iš mėšlo sumažėjo 3,5%, tačiau gauti skirtumai statistiškai nepatikimi (5 pav.).



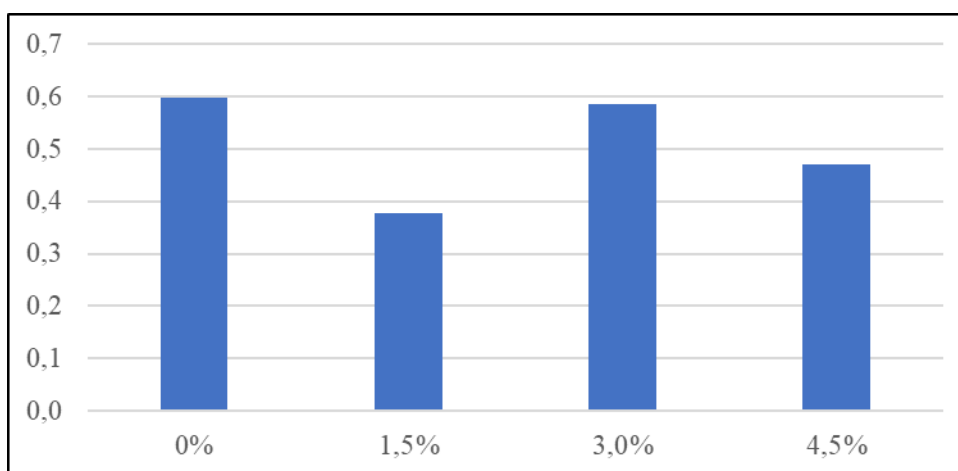
5 paveikslas. Vermikulito kiekio įtaka CO₂ emisijai (mg/m²/h)

Tuo tarpu 1,5% vermikulito kiekio įterpimas amoniako emisiją sumažino 15,2%, nors gautas skirtumas statistiškai nepatikimas, tačiau 3,0% ir 4,5 % vermikulito įterpimas davė patikimus skirtumus: 3,0% vermikulito amoniako emisiją sumažino 28,0 % ($p=0,012$), o 4,5% - net 42,7% ($P=0,000$) (6 pav.).



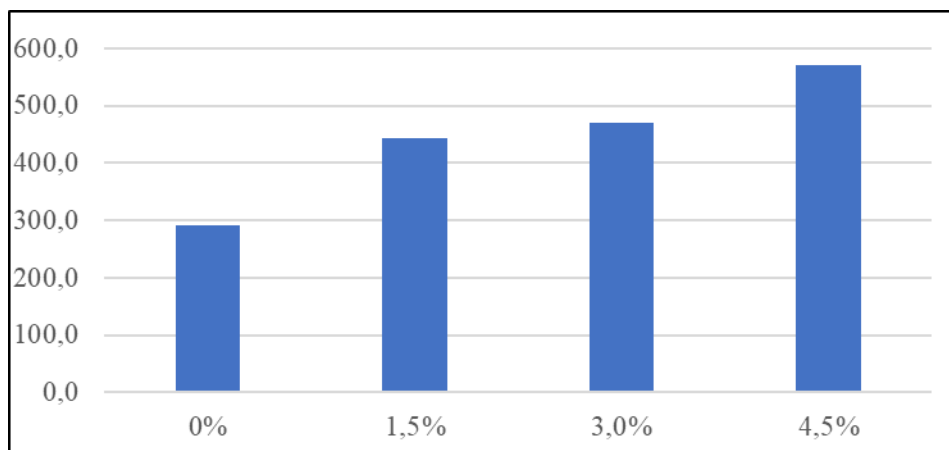
6 paveikslas. Vermikulito kiekio įtaka NH₃ emisijai (mg/m²/h)

Analizuojant vermiculito kiekio įterpimo į mėšlą įtaką (7 pav.) metano dujų emisijoms nustatyta, kad vermiculito 3,0 % įterpimas į mėšlą, metano emisiją sumažino 2,1% ($p=0,002$), o 4,5% vermiculito įterpimas šią emisiją sumažino dar ženkliau - 21,3% ($P=0,001$). Taip pat buvo pastebėta, kad ir 1,5 % vermiculito įterpimas į mėšlą efektyviai sumažino metano emisiją 36,9 % ($p=0,0006$), nors toks įterpimo kiekis nebuvo efektyvus kitų dujų emisijoms.



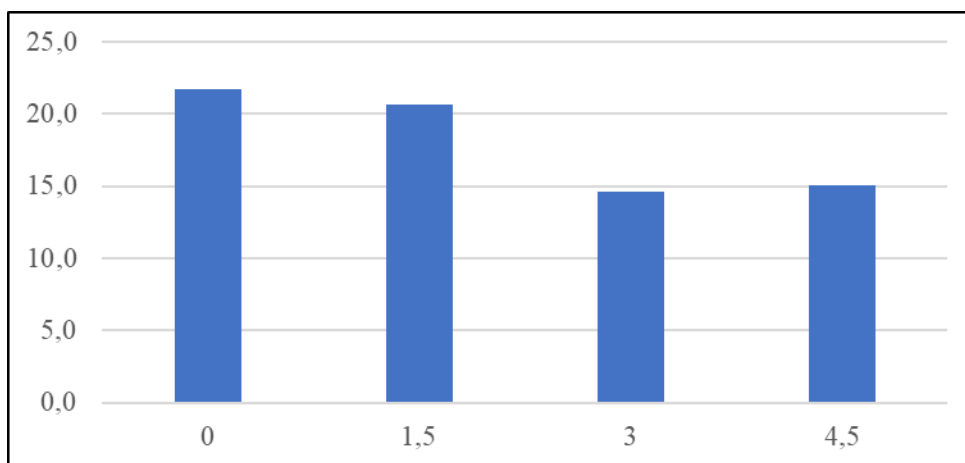
7 paveikslas. Vermikulito kiekio įtaka CH₄ emisijai (mg/m²/h)

Kaip parodė tyrimai į mėšlą įterpus 1,5%, 3,0% ir 4,5% superfosfato, CO₂ emisija padidėjo atitinkamai 28,8%, 36,7% ir 65%, tačiau visi šie nustatyti skirtumai buvo statistiškai nepatikimi (8 pav.). Panašiai ir kituose tyrimuose panaudojant superfosfatą karvių mėšlui buvo nustatyta, kad CO₂ emisiją atskirais laikotarpiais padidėjo 8,5-25,9%, nors ir čia nebuvo nustatyta statistiškai patikimų skirtumų .



8 paveikslas. Superfosfato kiekio įtaka CO₂ emisijai (mg/m²/h)

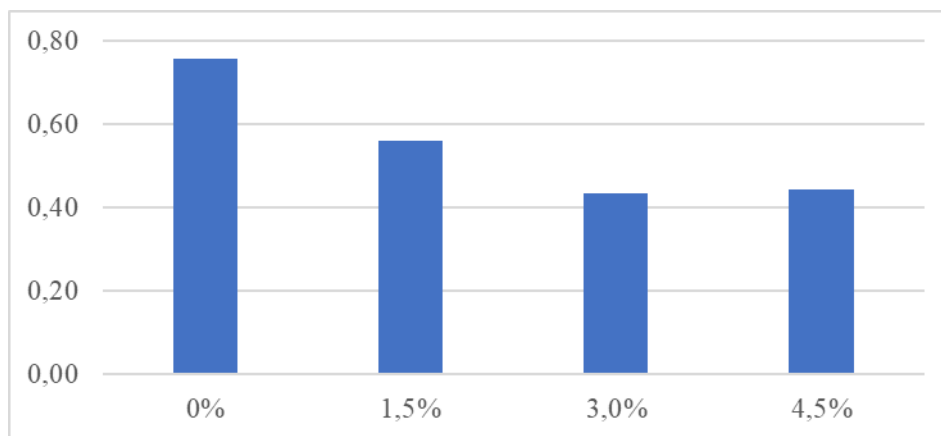
Analizuojant superfosfato kiekio įtaką amoniako emisijai nustatyta, kad įterptas 1,5% superfosfato kiekis amoniako emisiją sumažino tik 5%, o įterpti 3,0% ir 4,5% amoniako kiekiai amoniako emisiją sumažino 30,9-32,6% (9 pav.).



9 paveikslas. Superfosfato kiekio įtaka NH₃ emisijai (mg/m²/h)

Šie duomenys yra panašūs į kitame tyrime gautus rezultatus, kuriame superfosfatas atskirais laikotarpiais amoniako emisiją sumažino 2,3%-36,3%.

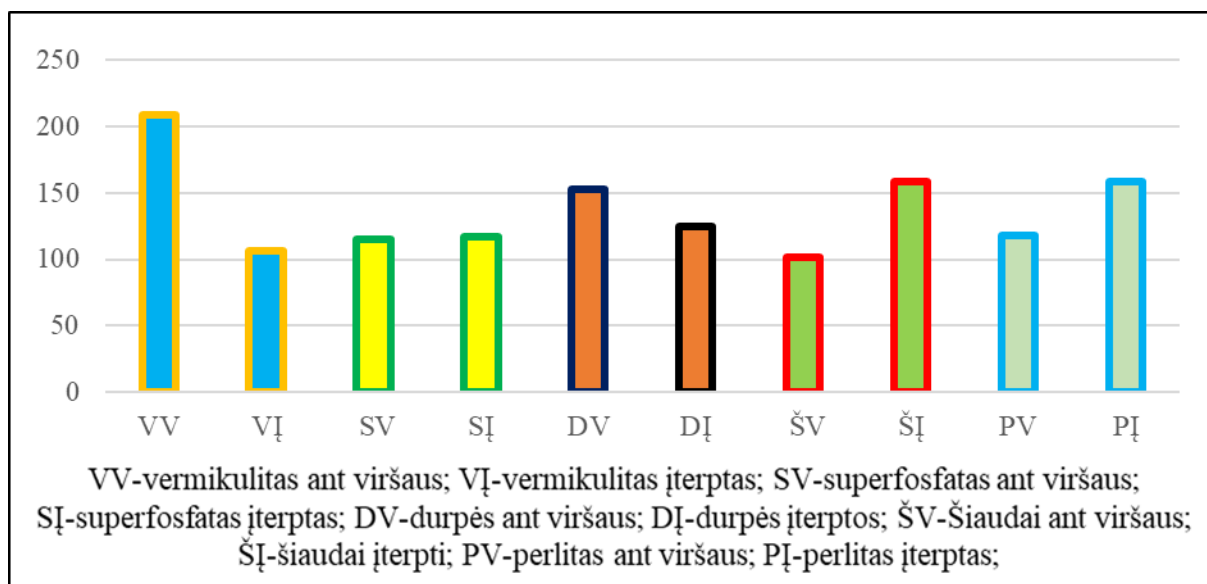
Kaip parodė tyrimai, įterptas 1,5% superfosfato kiekis metano emisiją sumažino 26,2%, o 3,0% ir 4,5% superfosfato kiekis šių dujų emisiją sumažino dar daugiau 41,6-42,7% (10 pav.). Panašūs rezultatai gauti ir kituose mūsų tyrimuose, kuriuose įterptas superfosfatas metano emisiją taip pat mažino.



10 paveikslas. Superfosfato kiekio įtaka CH₄ emisijai (mg/m²/h)

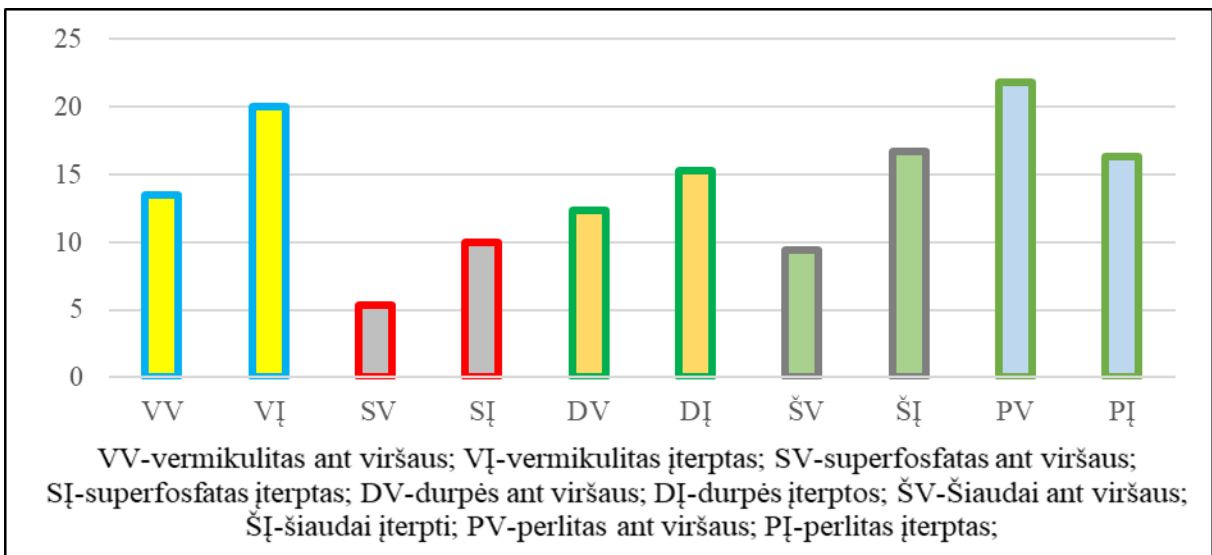
Siekiant įvertinti skirtingo **sorbentų įterpimo būdo** poveikį dujų emisijoms iš mėšlo buvo atliktas tyrimas, kuriame sorbentai buvo tiesiogiai įmaišomi į mėšlą arba užberiami ant paviršiaus. Kaip parodė tyrimai, sorbentai naudoti užberiant ant mėšlo paviršiaus arba tiesiogiai įmaišant/įterpianč į mėšlą, turėjo nevienodą poveikį tiriamoms dujų emisijoms. Įterptas į mėšlą vermikulitas anglies dioksido emisiją sumažino 7,5%, o įterptos durpės 18,9% lyginant su užbertu ant paviršiaus tuo pačiu sorbentu (11 pav.).

Tačiau priešingi rezultatai gauti naudojant superfosfatą ir perlitą. Ant paviršiaus užbertas superfosfatas anglies dioksido emisiją sumažino 1,8%, o perlitas 25,7% lyginant su tiesiogiai įterptu. Didžiausią efektą šiame tyrime davė šiaudai: ant paviršiaus užberti šiaudai anglies dioksido emisiją sumažino net 35,6% (P=0,014) lyginant su su tiesiogiai įterptais.



11 paveikslas. Sorbentų panaudojimo būdo įtaka CO₂ emisijai iš mėšlo (mg/m²/h)

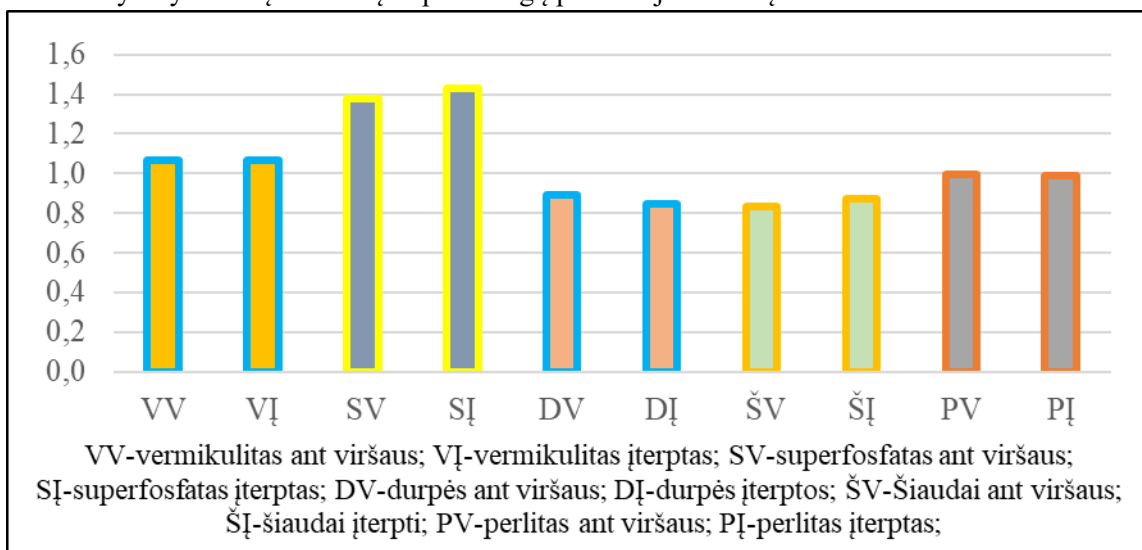
Skirtingai dujų emisijas veikiančių medžiagų efektyvumas išryškėjo tiriant amoniako emisiją (12 pav.). Ant paviršiaus užbertas vermikulitas amoniako emisiją sumažino 32,7%, durpės – 18,9%, tačiau nustatyti skirtumai statistiškai nepatikimi. Tačiau ant paviršiaus užberti šiaudai ir superfosfatas amoniako emisijos atžvilgiu veikė geriau. Šiaudai amoniako emisiją sumažino 43,5% (P=0,004), superfosfatas - 46,4% (P=0,012).



12 paveikslas. Sorbentų panaudojimo būdo įtaka NH₃ emisijai iš mėšlo (mg/m²/h)

Perlitas, priešingai nei kitos medžiagos, amoniako emisiją veikė geriau įterptas į mėšlą. Įterptas perlitas veikė efektyviau, sumažindamas amoniako emisiją 25,4% ($P=0,054$), lyginant su ant paviršiaus, užbertu perlitu.

Metano dujų emisiją (13 pav.), užbertas ant paviršiaus nežymiai sumažino superfosfatas (3,6%) ir šiaudai (4,7%), lyginant su įterptais tiesiogiai į mėšlą. Šiek tiek geriau metano dujų emisiją veikė ir įterptos durpės, kurios sumažino emisiją 5,2%. Tačiau, panaudojant vermikulito ir perlito sorbentus, nebuvo nustatyta ryškesnių skirtumų tarp skirtingų panaudojimo būdų.



13 paveikslas. Sorbentų panaudojimo būdo įtaka CH₄ emisijai iš mėšlo (mg/m²/h)

Apibendrinant šiuos tyrimus galime teigti, kad siekiant mažinti amoniako ir ŠESD emisijas tikslinga panaudoti 3,0% ir 4,5% kiekio sorbentų (vermikulito), kurie leidžia sumažinti amoniako emisiją nuo 28,0 ($p \leq 0,05$) iki 42,7 % ($p \leq 0,001$), o metano emisiją nuo 2,1 ($p \leq 0,002$) iki 21,3% ($p \leq 0,001$). Tokie panaudoti sorbento kiekiai ryškesnio poveikio nedaro anglies dioksido emisijai: nors ir mažina šią emisiją 2,2-8,8 %, tačiau skirtumai lieka statistinės paklaidos ribose. Sorbento 1,5% kiekio panaudojimas nebuvo labai efektyvus amoniako ir ŠESD emisijų mažinimui iš mėšlo. Panašius rezultatus parodė ir superfosfato kaip sorbento panaudojimas, nors čia nustatytos emisijų reikšmės svyravo didesnės paklaidos ribose, todėl labai patikimų skirtumų negavome.

Kaip parodė skirtingo sorbentų įterpimo būdo poveikio dujų emisijoms tyrimai sorbentai, naudoti užberiant ant mėšlo paviršiaus arba tiesiogiai įterpiant į mėšlą, turėjo nevienodą poveikį skirtingoms dujų emisijoms. Jeigu perlitas užpiltas ant mėšlo paviršiaus 25,7% efektyviau mažino anglies dioksido emisiją lyginant su tiesiogiai įterptu į mėšlą, tai priešingai veikė amoniako emisiją: perlitas tiesiogiai įterptas į mėšlą 25,4 % ($p \leq 0,001$) efektyviau mažino amoniako emisiją lyginant su užpiltu ant mėšlo paviršiaus. Panaudoti sorbentai ant mėšlo paviršiaus efektyviausiai mažino amoniako emisiją ir tai padarė nuo 35,6 % iki 43,5 % ($p \leq 0,01$ - $p \leq 0,005$) efektyviau lyginant su tiesiogiai įterptais į mėšlą. Tuo tarpu anglies dioksido emisijai veiksmingesnį poveikį turėjo šiaudai, kurie užpilti ant mėšlo paviršiaus 35,6% ($p \leq 0,05$) efektyviau sumažino anglies dioksido emisiją lyginant su tiesiogiai įterptais į mėšlą.

Nebuvo nustatyta ryškesnių skirtumų tarp skirtingų panaudojimo būdų analizuojant poveikį metano dujų emisijos mažinimui.

3. 2. Mėšlo cheminės sudėties pokyčių laikymo metu įvertinimas.

Siekiant nustatyti mėšlo cheminės sudėties pokyčius laikymo metu, buvo ištirta mėšlo sudėtis tyrimų pradžioje (po mėšlo homogenizavimo), pridėjus sorbentus ir bandymo pabaigoje.

Kaip parodė mėšlo sudėties tyrimai pirmajame bandyme į mėšlą įdėjus 10 % sorbentų (skaičiuojant sausajai medžiagai), buvo rasti nežymūs sudėties pokyčiai (1 lentelė). Visose tiriamosiose grupėse buvo nustatytas didesnis sausosios medžiagos kiekis, o dolomitmilčių grupėje didesnis ir pelenų kiekis. Analizuojant mėšlo pH nustatytas mažesnis pH vertė durpių grupės rezervuaruose. Didesni skirtumai rasti analizuojant amoniakinį azotą ($\text{NH}_3\text{-N}$), kuris buvo 19,6% bioanglies grupės, 18,7% dolomitmilčių grupės ir 15,9 % durpių grupės rezervuaruose mažesnis palyginus su kontroline grupe.

1 lentelė. Kontrolinės ir tiriamųjų grupių karvių mėšlo sudėtis ir jos pokyčiai panaudojus sorbentus I bandyme

Rodiklis /Grupė	Be sorbentų		Bioanglis		Durpės		Dolomitmilčiai	
	Reikšmė	SE	Reikšmė	SE	Reikšmė	SE	Reikšmė	SE
SM, %	9.9	0.08	11.6	0.22	10.9	0.09	10.8	0.45
Pelenai, %	2.1	0.03	2.1	0.04	2.1	0.01	2.4	0.13
pH	8.6	0.22	8.6	0.02	8.3	0.03	8.5	0.01
KN, %	3.2	0.33	3.2	0.17	3.3	0.22	3.3	0.11
$\text{NH}_3 - \text{N}$, mg, %	320.9	21.5	258.00	20.55	269.8	6.93	260.9	7.29

Mėšlo sudėties tyrimai antrajame bandyme parodė, kad mėšlo laikymo metu įvyko nemažai mėšlo cheminės sudėties pokyčių. Tyrimų pabaigoje buvo nustatyta, kad N-NH_4 kontrolinėje grupėje sumažėjo 72,1% ($P=0,000$) lyginant su tyrimų pradžia, o tiriamose sorbentų grupėse pokyčiai buvo mažesni: N-NH_4 iš mėšlo su durpėmis per tyrimų laikotarpį sumažėjo 67,5% , iš mėšlo su perlitu 65,4%, o iš mėšlo su vermikulitu 62,0% ir šie nustatyti skirtumai buvo statistiškai nepatikimi.

Tuo pačiu buvo nustatyta, kad N-NH_4 netekimų skirtumai tarp grupių buvo ženkliai ryškesni. Mėšlas su durpėmis N-NH_4 prarado 34,2% ($P= 0,006$), mėšlas su perlitu – 40,7% (0,000), o mėšlas su vermikulitu - 45,4% ($P= 0,000$) mažiau, lyginant su kontroline grupe.

2 lentelė. Kontrolinės ir eksperimentinių grupių mėšlo sudėtis ir jos pokyčiai, panaudojus sorbentus II bandyme

Rodiklis /Grupė	Kontrolinė	Durpė	Perlitas	Vermikulitas
	Vidurkis± SE	Vidurkis± SE	Vidurkis± SE	Vidurkis± SE
Bandymo pradžia				
SM, %	9,62±0,17	13,28±0,44	14,15±0,20	13,47±0,27
N-NH ₄ ⁺ , %	0,22±0,01	0,21±0,01	0,21±0,01	0,19±0,01
N-NO ₃ ⁻ , %	1,50±0,11	1,05±0,21	1,29±0,14	1,35±0,11
C _{org} , %	4,14±0,10	6,47±0,23	5,33±0,30	5,25±0,28
Bandymo pabaiga				
SM, %	19,15±1,77	23,77±0,80	25,27±0,26	22,55±1,23
N-NH ₄ ⁺ , %	0,12±0,02	0,12±0,01	0,13±0,01	0,12±0,01
N-NO ₃ ⁻ , %	0,02±0,01	0,01±0,003	0,01±0,002	0,01±0,002
C _{org} , %	7,74±0,73	10,67±0,39	10,11±0,29	9,18±0,43

Atlikti tyrimai parodė, kad N-NO₃ visų grupių mėšle sumažėjo beveik vienodai – 99,5-99,7%. Tačiau N-NO₃ netekimo skirtumas tarp grupių taip pat buvo ženklus. Mėšlas su durpėmis N-NO₃ prarado 48,4% (P= 0,009), mėšlas su perlitu – 41,5% (0,003), o mėšlas su vermikulitu -35,3% (P= 0,003) mažiau, lyginant su kontroline grupe.

Kaip matosi iš 2 lentelės duomenų, organinės anglies kontrolinėje grupėje tyrimų pabaigoje sumažėjo 6,0 %, durpės anglies kiekį sumažino 8,0%. O perlitas ir vermikulitas anglies kiekį mėšle padidino atitinkamai 6,4 ir 4,7%. Lyginant organinės anglies pokyčius tarp grupių tyrimo pabaigoje buvo nustatyta, kad mėšle su durpėmis anglies kiekio pokyčio skirtumas buvo 52,1% didesnis, o mėšle su perlitu ir vermikulitu atitinkamai 9,1% ir 28,5% mažesnis, tačiau šie nustatyti skirtumai buvo statistiškai nepatikimi.

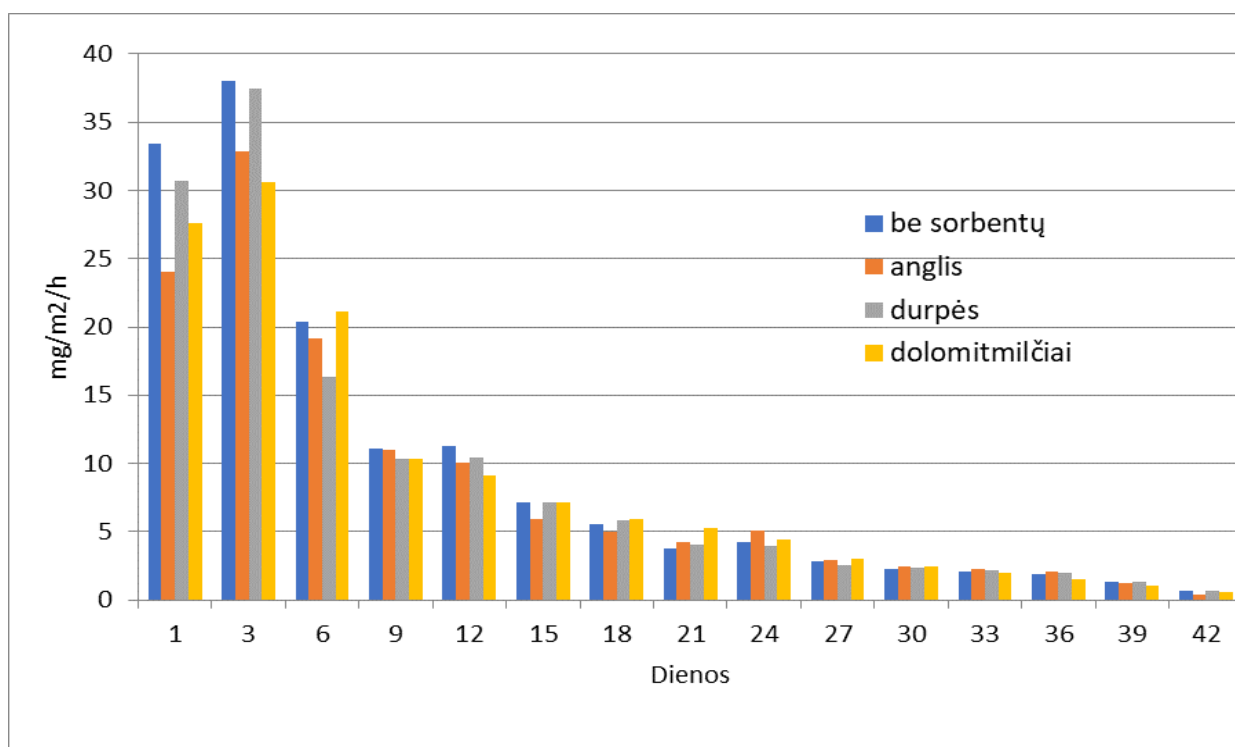
Apibendrinant šiuos tyrimus galime daryti išvadą, kad mėšlo laikymo metu įvyksta ryškūs mėšlo sudėties pokyčiai, kurių metu % padidėja sausųjų medžiagų, dėl padidėjusio sausųjų medžiagų kiekio padidėja organinės anglies kiekis, bei dėl emituoto azoto sumažėja amoniakinio ir nitratinio azoto kiekis. Amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms mažinti naudoti sorbentai įtakoja ir mėšlo sudėties pokyčius. Durpės panaudojimas leidžia sumažinti N-NH₄ netekimą 34,2% (P= 0,006), perlitas – 40,7% (0,000), vermikulitas -45,4% (P= 0,000) lyginant su mėšlu be sorbentų. Mėšlas su durpėmis leidžia sumažinti N-NO₃ netekimą 48,4% (P= 0,009), perlitas – 41,5% (0,003), o vermikulitas -35,3% (P= 0,003) lyginant su mėšlu be sorbentų.

3.3. Įvairių priedų/sorbentų poveiko amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš galvijų mėšlo tyrimai.

Siekiant įvertinti įvairių priedų/sorbentų poveikį amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš galvijų mėšlo ir nustatyti jų veiksmingumą emisijų mažinimui buvo atlikti du bandymai. **Pirmasis bandymas.** Buvo pasirinkta ištirti sorbentų – durpių, anglies ir dolomitmilčių – veiksmingumą emisijų mažinimui iš galvijų mėšlo. Antraisiais metais buvo tirtas sorbentų – durpių, šiaudų, superfosfato, perlito ir vermikulito – veiksmingumas emisijų mažinimui.

Kaip parodė dujų emisijų tyrimai pirmajame bandyme, didžiausios amoniako (5 paveikslas) ir anglies dioksido dujų (14 paveikslas) emisijos iš mėšlo visose grupėse buvo stebimos pirmą bandymo savaitę, vėliau jos palaipsniui mažėjo ir tyrimo pabaigoje buvo visai mažos. Didžiausi emisijų skirtumai tarp grupių taip pat buvo nustatyti pirmą tyrimų savaitę, po to šie skirtumai tapo nereikšmingi.

Veiksmingiausias išmetamųjų teršalų mažinimo sorbentas buvo bioanglys. Į skystą galvijų mėšlą įpylus 10 % bioanglies, per pirmąsias tris dienas amoniako emisija sumažėjo 14,5 (P<0,05), o anglies dioksido – 21,7 % (P<0,05), palyginus su kontroline grupe be sorbento. Mėšlo rezervuaruose su dolomitmilčiais buvo nustatyta 38,3 % (P<0,02) didesnė anglies dioksido emisija, palyginti su kontroline grupe. Dūrpės taip pat nepasižymėjo veiksmingumu mažinant išmetamųjų dujų kieki, emisija beveik tokia pati kaip kontrolineje grupėje be sorbento. Tačiau kitokie rezultatai gauti, tiriant metano emisijas iš mėšlo. Buvo nustatyta, kad metano emisija iš mėšlo tyrimo pabaigoje buvo didesnė nei pradžioje, išskyrus durpių grupę, kurios pabaigoje buvo nustatyta, kad emisija buvo 42,3 % mažesnė, palyginti su 1-osios savaitės emisija (8 lentelė). Bioanglies ir dolomito grupėse, lyginant su kontroline grupe be sorbentų, per pirmąją tyrimo savaitę metano emisija sumažėjo atitinkamai 59 ir 43%, tačiau tyrimo pabaigoje visi naudojami sorbentai padidino metano emisiją iš mėšlo, palyginti su mėšlu. Be sorbentų. Per visą tyrimo laikotarpį bioanglys bendrą emisiją sumažino 6,9 proc., o dūrpės ir dolomitas padidino, lyginant su kontroline grupe be sorbentų.

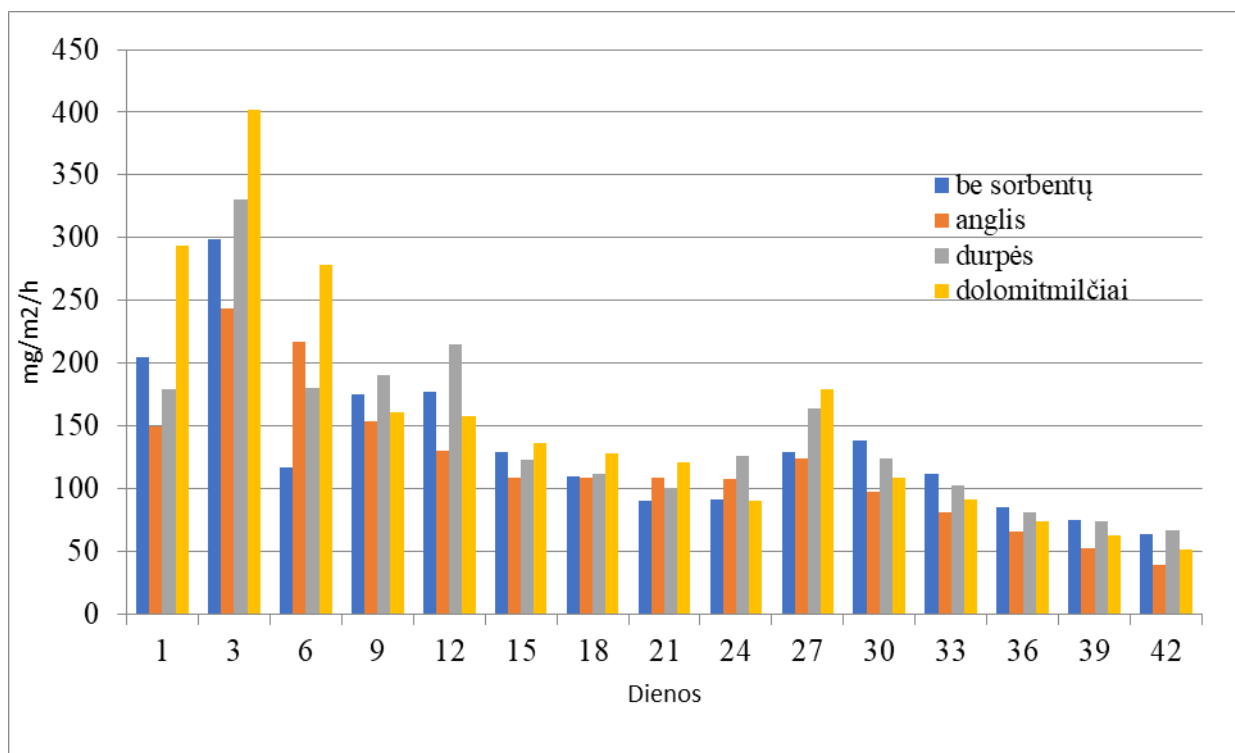


14 paveikslas. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijai iš skysto galvijų mėšlo, mg/m²/h

Apskaičiuota suminė amoniako emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį (3 lentelė) parodė, kad didžiausia ji buvo nustatyta durpių grupėje nors skyrėsi nežymiai tik 2,5%, palyginus su kontroline grupe. Mažiausia suminė amoniako emisija, kaip ir buvo galima tikėtis, buvo nustatyta bioanglies grupėje, kuri buvo 5% mažesnė, palyginus su kontroline grupe. Analogiški rezultatai gauti ir perskaičiavus į vidutines

3 lentelė. Suminė ir vidutinė amoniako dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė	Suminė NH ₃ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	0,39	9,36
Bioanglis	0,37	8,78
Dūrpė	0,40	9,43
Dolomitmilčiai	0,39	9,27



15 paveikslas. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijai iš skysto galvijų mėšlo, mg/m²/h

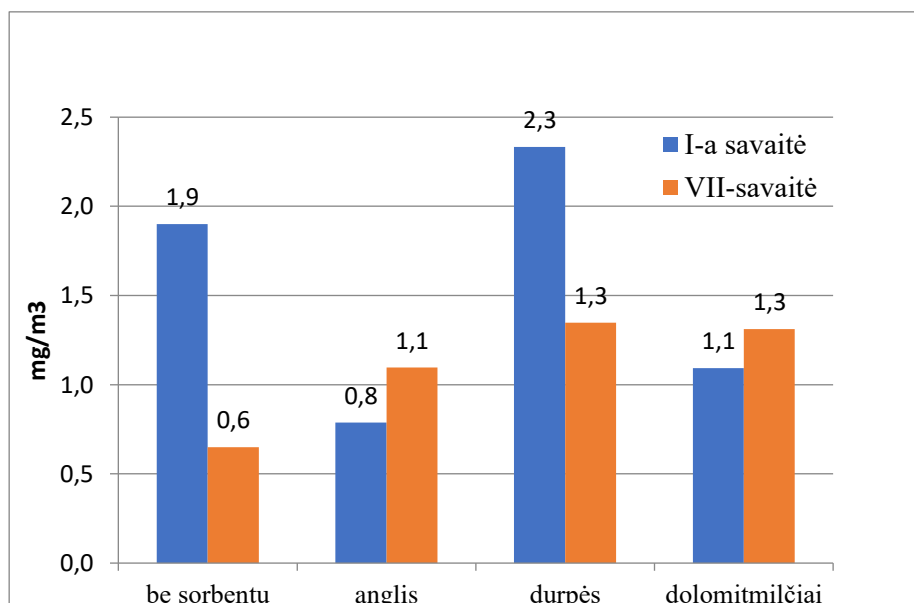
vertes išskiriamas per dieną. Šios reikšmės svyravo nuo 8,78 iki 9,43 g/m³ ir buvo didžiausios durpių grupėje, o mažiausios bioanglies grupėje. Vidutiniškai per dieną iš rezervuarų su bioanglimi dujų išsiskyrė 0,58 g/m³ arba 6,2% mažiau negu iš rezervuarų be sorbentų.

Apskaičiuota suminė anglies dioksido emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (4 lentelė) parodė, kad didžiausia CO₂ suminė emisija buvo grupėje su dolomitmilčiais, o mažiausia bioanglies grupėje. Dolomitmilčių grupėje šis rodiklis buvo 26,6% didesnis, o bioanglies grupėje 3,8% mažesnis, negu kontrolinėje grupėje. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną, buvo nustatyta kad jos svyravo nuo 90,20 iki 118,90 g/m³. Vidutinės vertės grupėje su dolomitmilčiais buvo net 26,6% didesnės negu, kontrolinėje grupėje be sorbentų.

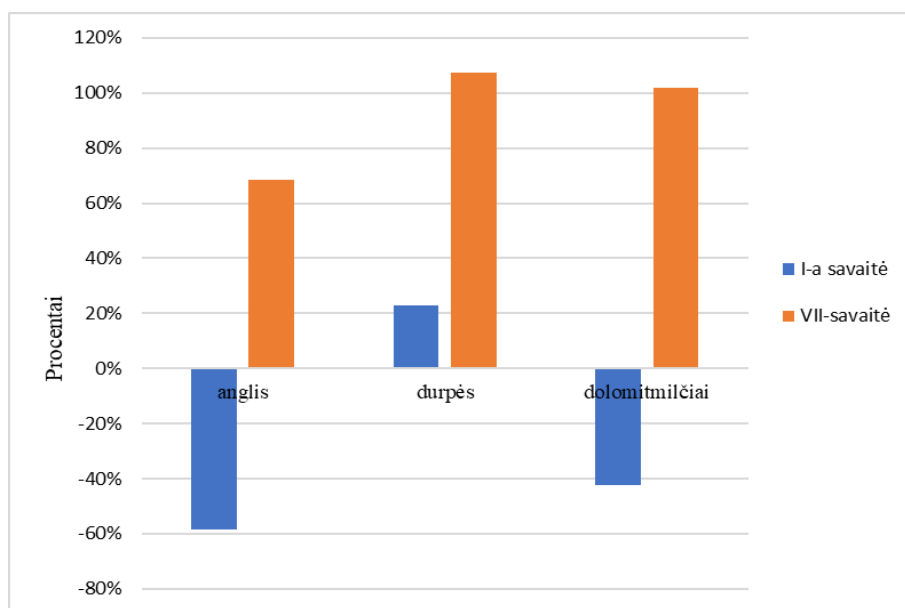
4 lentelė. Suminė ir vidutinė CO₂ dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė	Suminė CO ₂ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	3,94	93,92
Bioanglis	3,79	90,20
Durpė	4,51	107,38
Dolomitmilčiai	4,99	118,90

Kitokie dujų emisijų rodikliai gauti tiriant metano dujų koncentracijas (16 paveikslas). Čia buvo nustatyta, kad metano emisija iš mėšlo tyrimų pabaigoje buvo didesnė nei tyrimų pradžioje, išskyrus durpių grupę. Šioje grupėje tyrimų pabaigoje buvo nustatyta 42,3% mažesnė dujų emisija, palyginti su emisija, nustatyta pirmąją savaitę. Bioanglies ir dolomito grupėse, lyginant su kontroline grupe be sorbentų, per pirmąją tyrimo savaitę metano emisija sumažėjo atitinkamai 59 ir 43%, tačiau tyrimo pabaigoje visi naudojami sorbentai padidino metano emisiją iš mėšlo, palyginti su mėšlu be sorbentų (17 paveikslas). Per visą tyrimų laikotarpį iš rezervuarų su bioanglimi buvo emituota 6,9 procentų mažiau negu iš kontrolinės grupės rezervuarų be sorbentų.



16 paveikslas. Sorbentų įtaka metano dujų koncentracijai iš skysto galvijų mėšlo



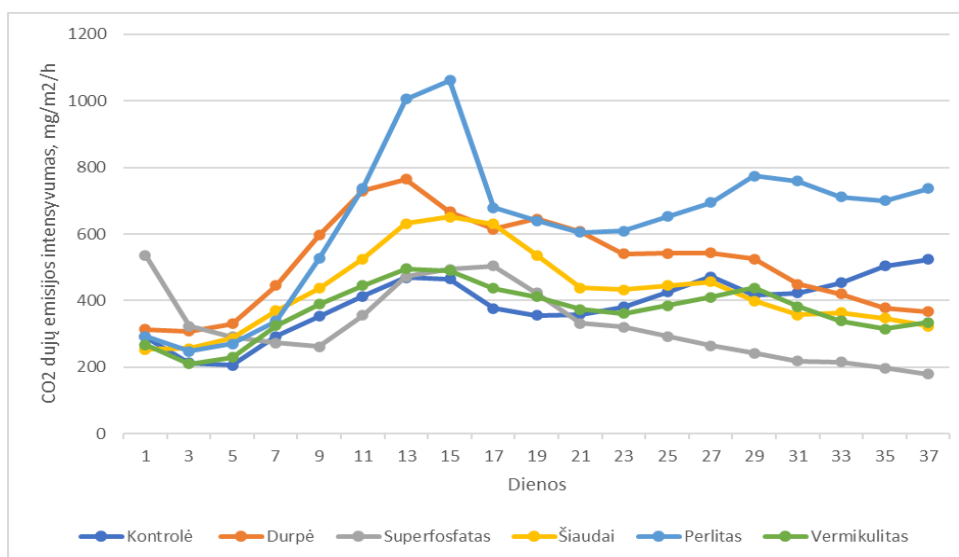
17 paveikslas. Metano dujų emisijų iš mėšlo skirtumai lyginant su kontroline grupe

Buvo apskaičiuotos koreliacijos tarp amoniako ir anglies dioksido emisijų (5 lentelė). Kaip parodė skaičiavimai, šių dujų koreliacinių ryšių reikšmės yra gana aukštos. Didžiausia teigiama koreliacija tarp amoniako ir anglies dioksido dujų emisijų (0,961) buvo nustatyta tiriamojoje grupėje su dolomitmilčiais, o mažiausia (0,831) tiriamojoje grupėje su durpėmis. Analizuojant koreliacinius ryšius pagal dujas tarp atskirų grupių nustatyta, kad didžiausia teigiama koreliacija (0,983) pagal CO₂ dujų koncentracijas buvo nustatyta tarp tiriamosios durpių ir kontrolinės grupės, o mažiausia (0,939) tarp tiriamosios bioanglies ir kontrolinės grupės bei tiriamųjų durpių ir dolomitmilčių grupių. Analizuojant koreliacinius ryšius pagal NH₃ dujų koncentracijas buvo nustatyta, kad didžiausia koreliacija (0,997) buvo tarp tiriamosios bioanglies ir dolomitmilčių grupių, o mažiausia (0,987) tarp tiriamosios durpių ir kontrolinės grupės.

5 lentelė. Koreliaciniai ryšiai tarp CO₂ ir NH₃ dujų koncentracijų

Dujos/Grupės		CO ₂				NH ₃			
		K	1T	2T	3T	K	1T	2T	3T
CO ₂	K								
	1T	0,939							
	2T	0,983	0,960						
	3T	0,948	0,963	0,939					
NH ₃	K	0,874	0,837	0,838	0,947				
	1T	0,891	0,874	0,869	0,967	0,990			
	2T	0,873	0,815	0,831	0,937	0,987	0,989		
	3T	0,871	0,859	0,845	0,961	0,989	0,997	0,991	

Antrasis bandymas. Kaip parodė dujų emisijų tyrimai pirmomis dienomis buvo nustatyta kiek didesnė anglies dioksido (CO₂) dujų emisija iš 3 grupės rezervuarų su superfosfato sorbentu, tačiau jau trečią dieną ši emisija ženkliai sumažėjo (18 paveikslas). 9-ąją bandymo dieną CO₂ emisija vėl pradėjo šiek tiek didėti ir 17-ąją dieną pasiekė didžiausią savo reikšmę 504,07 mg/m²/h, tačiau po to palaipsniui mažėjo ir nuo 21 dienos iki pat bandymo pabaigos buvo pati mažiausia lyginant su kitomis grupėmis, o paskutiniąją dieną siekė tik 179,26 mg/m²/h. Kitokį vaizdą galima matyti analizuojant CO₂ emisiją iš 5 grupės rezervuarų su perlito sorbentu. Jeigu pirmas 5 dienas CO₂ emisiją iš šios grupės rezervuarų buvo panaši kaip ir iš kontrolinės (be sorbentų) ar kitų tiriamųjų grupių rezervuarų, tai nuo 7 dienos CO₂ emisija pradėjo smarkiai didėti ir 15-ąją dieną pasiekė piką – 1061,4 mg/m²/h. Vėlesniu laikotarpiu ši emisija nors ir sumažėjo, tačiau iki bandymo pabaigos išliko pati didžiausia iš visų grupių ir paskutiniąją bandymo dieną vis dar siekė tik 736,86 mg/m²/h. Analizuojant CO₂ emisijos pokyčius iš kitų grupių rezervuarų (2 Dūrpė, 4 Šiaudai ir 6 Vermikulitas) matosi panašios tendencijos - po pirmos savaitės CO₂ emisija padidėjo pasiekdama piką 9-19 dieną, o vėliau palaipsniui mažėjo ir nuo 29-33 dienos iki bandymo pabaigos CO₂ emisija buvo 30,2-38,4 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės rezervuarų.



18 paveikslas. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijos pokyčiui iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį

Analizuojant sorbentų poveikį ir veiksmingumą CO₂ emisijoms iš galvijų mėšlo buvo paskaičiuotos vidutinės emisijų reikšmės kiekvienai grupei per visą bandymo laikotarpį (6 lentelė) ir įvertintas šių emisijų pokytis bandymo pradžioje (1-10 diena), bandymo viduryje (11-23 diena) ir bandymo pabaigoje (24-37 diena).

6 lentelė. Sorbentų poveikio anglies dioksido dujų emisijoms pokyčiai bandymo eigoje iš galvijų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai					
	Kontrolinė	1 Durpės	2 Superfosfatas	3 Šiaudai	4 Perlitas	5 Vermikulitas
I Pradžioje (1-10)	272,7±27,0	394,1±57,2	343,3±50,9	314,2±39,0	330,7±52,2	280,4±35,2
II Viduryje (11-23)	412,2±33,6 ^a	704,7±54,2 ^c	447,4±37,3	584,3±47,6 ^b	823,1±109,1 ^b	453,4±26,4
III Pabaigoje (24-37)	444,1±31,5 ^a	469,7±38,0	239,9±24,4 ^d	385,2±25,8	711,8±41,2 ^d	373,7±29,8
Per visą laikotarpį	373,8±26,7 ^a	509,9±44,3 ^b	336,1±31,1	416,7±36,4	607,5±68,5 ^c	363,2±25,5

Statistiškai patikimi skirtumai ^b p≤0,05, ^c p≤0,005, ^d p≤0,001

Kaip parodė analizė, bandymo pradžioje nors ir buvo tam tikri CO₂ dujų emisijos skirtumai tarp grupių (nuo 2,8 iki 25,9 %), visi jie buvo statistiškai nepatikimi. Pastebėta tik tendencija, kad 1 grupės rezervuarai su durpėmis išskyrė 44,5 % (0,05≤p≤0,10) didesnes CO₂ dujų emisijas lyginant su kontroline grupe (7 lentelė).

7 lentelė. Sorbentų poveikio veiksmingumas anglies dioksido dujų emisijoms iš galvijų mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1D	44,5	0,091	71,1	0,005	5,8	0,618	36,4	0,014
K - 2sF	25,9	0,255	8,5	0,509	-46,0	0,001	-10,1	0,367
K - 3Š	15,2	0,407	41,8	0,026	-13,3	0,185	11,5	0,350
K - 4P	21,3	0,352	99,7	0,011	60,3	0,001	62,5	0,004
K - 5V	2,8	0,867	10,0	0,372	-15,9	0,143	-2,8	0,776

Grupės: Kontrolinė-K; 1Durpės-1D; 2 Superfosfatas-2sF; 3 Šiaudai-3Š; 4 Perlitas-4P; 5 Vermikulitas -5V.

Bandymo viduryje jau stebime ir ryškesnius skirtumus tarp grupių. Šiuo laikotarpiu buvo nustatyta, kad CO₂ dujų emisija iš 3 grupės rezervuarų su šiaudais buvo 41,8 % didesnė (p≤0,05), o iš 4 grupės rezervuarų su perlitu net 99,7 % didesnė (p≤0,05) negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Bandymo pabaigoje išryškėjo kai kurių sorbentų veiksmingumas mažinant emisijas. Efektyviausiai CO₂ dujų emisiją mažino superfosfatas, kurio įmaišymas į mėšlą leido sumažinti CO₂ dujų emisiją 46,0 % (p≤0,001). Be to CO₂ dujų emisiją padėjo mažinti šiaudai ir vermikulitas, atitinkamai 13,3 % ir 15,9 %, nors šie skirtumai su kontroline grupe buvo statistiškai nepatikimi. Tuo tarpu sorbentas perlitas ne tik nemažino, bet net 60,3 % (p≤0,001) padidino CO₂ dujų emisiją iš mėšlo. Analizuojant nustatytų emisijų reikšmes per visą bandymo laikotarpį, matyti, kad CO₂ dujų emisijas šiek tiek mažino sorbentai vermikulitas ir superfosfatas, nors skirtumai nėra labai dideli (2,8-10,1 %) ir statistiškai nepatikimi. Tuo tarpu sorbentas perlitas padidino CO₂ dujų emisiją net 62,5 % (p≤0,005).

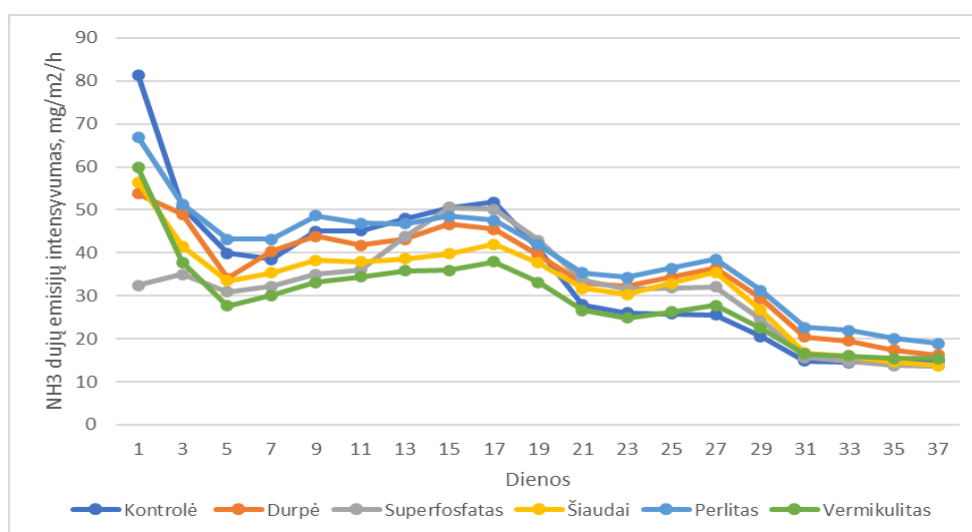
Apskaičiuota suminė anglies dioksido emisija iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (8 lentelė) parodė, kad didžiausia CO₂ suminė emisija buvo iš 4 grupės rezervuarų su perlitu, kuri buvo 21,7 % didesnė negu iš kontrolinės grupės, o mažiausia iš 2 grupės rezervuarų su

8 lentelė. Suminė ir vidutinė CO₂ dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė CO ₂ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	4,65	125,59
1 Durpės	4,75	128,48
2 Superfosfatas	3,13	84,69
3 Šiaudai	3,89	105,01
4 Perlitas	5,66	153,09
5 Vermikulitas	3,39	91,51

superfosfatu ir 5 grupės rezervuarų su vermikulitu, kuri buvo atitinkamai 32,7 ir 27,1 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės. CO₂ suminė emisija iš 1 grupės rezervuarų su durpe buvo panaši kaip iš kontrolinės grupės rezervuarų, o iš 3 grupės rezervuarų su šiaudais - 16,3% mažesnė, negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 84,69 iki 153,09 g/m² ir skirtumas tarp didžiausių (4 Perlito grupė) ir mažiausių (2 Superfosfato grupė) emisijos reikšmių per dieną sudarė 1,8 karto.

Kiek kitokias tendencijas galime stebėti analizuojant amoniako dujų (NH₃) emisijų tyrimus. Kaip parodė tyrimai (19 paveikslas), amoniako dujų emisijos pirmomis dienomis buvo pačios didžiausios, kurios gana ženkliai (nuo 1,6 iki 2,2 karto) sumažėjo per pirmas 5 dienas. Kiek mažiau emisijos sumažėjo (1,1 karto) iš rezervuarų su superfosfatu. Vėliau NH₃ emisijos iš visų grupių rezervuarų palaipsniui su tam tikrais nežymiais pasvyravimais mažėjo (nuo 2,5 iki 3,7 karto) ir nuo 31-os dienos iki bandymo pabaigos šių dujų emisijų reikšmės buvo labai mažos, o bandymo pabaigoje sudarė tik nuo 13,65 iki 18,91 mg/m²/h. Didžiausi skirtumai tarp grupių buvo stebimi pačią pirmąją bandymo dieną įmaišius sorbentus: didžiausios emisijos (81,37 mg/m²/h) buvo Kontrolinėje grupėje, o mažiausios (32,49 mg/m²/h) – 2 Superfosfato grupėje. Nuo 5 dienos skirtumai tarp grupių buvo neesminiai.



19 paveikslas Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijos pokyčiui iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį

Analizuojant sorbentų poveikį ir veiksmingumą amoniako dujų emisijoms per visą bandymo laikotarpį (9 ir 10 lentelė) matome, kad NH₃ emisijos iš visų eksperimentinių grupių rezervuarų buvo nuo 2,3 iki

9 lentelė. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijoms pokyčiams bandymo eigoje iš galvijų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienomis)	Grupė/Sorbentai					
	Kontrolinė	1 Durpė	2 Superfosfatas	3 Šiaudai	4 Perlitas	5 Vermikulitas
I Pradžioje (1-10)	53,3±8,1 ^a	47,2±5,3	33,9±1,5 ^b	42,6±4,5	52,3±4,7	39,7±6,2
II Viduryje (11-23)	44,4±5,0	41,4±3,0	43,4±4,1	38,2±1,9	44,4±2,8	34,5±2,1
III Pabaigoje (24-37)	19,2±2,7	25,2±3,9	21,7±4,2	22,6±4,3	27,4±3,8	20,2±2,6
Per visą laikotarpį	38,6±5,2	37,7±3,5	32,3±3,0	34,2±3,2	41,1±3,7	31,3±3,3

Statistiškai patikimi skirtumai ^b p≤0,05

16,3 % mažesnės negu iš kontrolinės grupės, išskyrus 4 perlito grupę, kurioje NH₃ emisijos buvo 6,6 % didesnės, nors visi šie skirtumai buvo statistinės paklaidos ribose. Tyrimai taip pat parodė, kad bandymo pradžioje visi sorbentai padėjo mažinti NH₃ emisijas nuo 1,8 iki 36,3 % (p≤0,05 2sF), bandymo viduryje - nuo 2,3 iki 22,3 %, tačiau bandymo pabaigoje NH₃ emisijos iš visų eksperimentinių grupių rezervuarų buvo 5,0 (5V) - 42,5% (4P) didesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų, nors šie skirtumai išliko statistiškai nepatikimi (lentelė).

10 lentelė. Skirtingų sorbentų poveikio veiksmingumas NH₃ dujų emisijoms iš galvijų mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1D	-11,3	0,550	-6,8	0,626	30,9	0,246	-2,3	0,889
K - 2sF	-36,3	0,047	-2,3	0,880	12,9	0,631	-16,3	0,301
K - Š	-20,0	0,285	-14,0	0,292	17,5	0,527	-11,3	0,480
K - 4P	-1,8	0,920	-0,04	0,998	42,5	0,119	6,6	0,689
K - 5V	-25,4	0,221	-22,3	0,119	5,0	0,803	-19,0	0,242

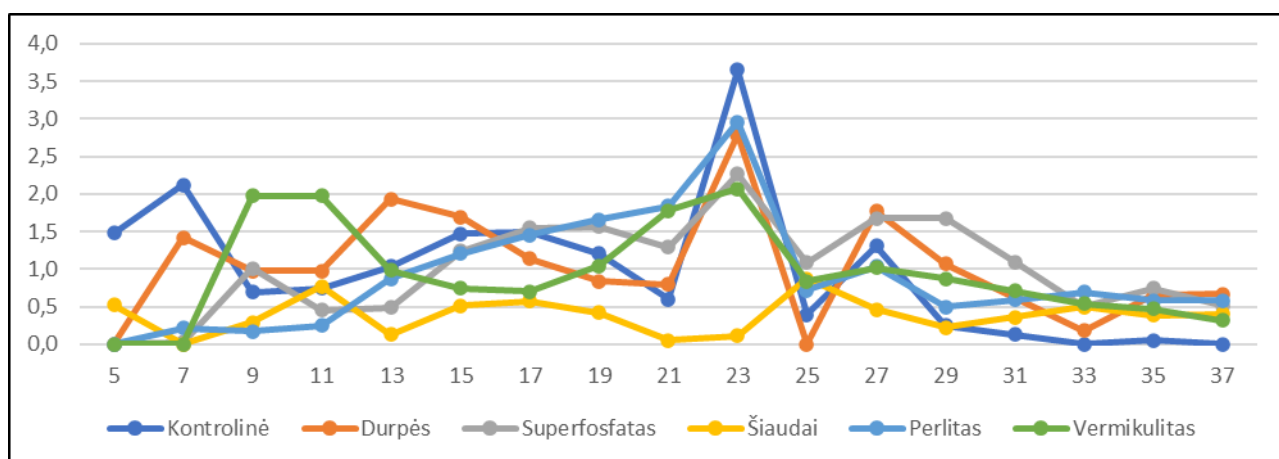
Grupės: Kontrolinė-K; 1Durpės-1D; 2Superfosfatas-2sF; 3Šiaudai-3Š; Perlitas-4P; 5Vermikulitas-5V.

Apskaičiuota suminė amoniako dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (11 lentelė) parodė, kad iš visi sorbentai padėjo mažinti NH₃ dujų emisijas su sorbentais didžiausia NH₃ dujų suminė emisija buvo iš 4 Perlito grupės rezervuarų, nors ir 20,8 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės, o mažiausia iš 5 Vermikulito grupės rezervuarų, kuri buvo net 39,6 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės. CO₂ suminė emisija iš 1 Durpių grupės rezervuarų buvo 27,1%, 2 Superfosfato-27,1% ir 3 Šiaudų - 33,3 % mažesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 7,8 (5V gr.) iki 12,96 g/m² (K gr.) o skirtumas tarp didžiausių ir mažiausių emisijos reikšmių per dieną sorbentų grupėse sudarė 1,3 karto.

11 lentelė. Suminė ir vidutinė NH₃ dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė NH ₃ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	0,48	12,96
1 Durpės	0,35	9,50
2 Superfosfatas	0,30	8,13
3 Šiaudai	0,32	8,62
4 Perlitas	0,38	10,37
5 Vermikulitas	0,29	7,87

Kaip parodė tyrimai (20 paveikslas), metano (CH₄) dujų emisijos pirmomis dienomis iš rezervuarų su sorbentais buvo visai mažos ir tik nuo 5 dienos didėjo 1Durpių, nuo 7 dienos 2Superfosfato ir 5Vermikulito grupėse. Vėliau stebimi emisijų svyravimai ir ryškus CH₄ dujų emisijos padidėjimas 21-23 dieną visose grupėse iki 2,07-3,65 mg/m²/h, išskyrus 3Šiaudų grupę, kurioje CH₄ dujų emisija šiuo laiku buvo visiškai maža ir siekė tik 0,05-0,11 mg/m²/h. Bandymo pabaigoje nuo 29 dienos stebime labai mažą CH₄ dujų emisiją iš visų grupių rezervuarų kuri buvo tik 0,0 - 0,67 mg/m²/h. Didžiausi skirtumai tarp grupių buvo stebimi taip pat 21-23 bandymo dieną, vėliau šie skirtumai tarp grupių buvo neesminiai.



20 paveikslas. Sorbentų įtaka CH₄ emisijos pokyčiui iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį, mg/m²/h

Kaip parodė analizė, bandymo pradžioje visi panaudoti sorbentai mažino CH₄ dujų emisijas (12 lentelė). Didžiausią poveikį CH₄ dujų emisijos mažinimui turėjo perlitas, kuris emisija sumažino net 90,2% (p≤0,005). Iš 2Superfosfato grupės rezervuarų buvo nustatytas 77,2 % (p≤0,05), o iš 3Šiaudų grupės - 67,6 (p≤0,05) mažesnė CH₄ dujų emisija negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų.

12 lentelė. Sorbentų poveikis metano dujų emisijoms pokyčiams bandymo eigoje iš galvijų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai					
	Kontrolinė	1 Durpės	2 Superfosfatas	3 Šiaudai	4 Perlitas	5 Vermikulitas
I Pradžioje (1-9)	1,08±0,21 ^a	0,76±0,29	0,28±0,15 ^b	0,32±0,098 ^b	0,22±0,12 ^c	0,71±0,36
II Viduryje (10-23)	1,13±0,15 ^a	1,26±0,19	1,03±0,18	0,93±0,28	2,10±0,47 ^b	0,70±0,14 ^b

III Pabaigoje (24-37)	1,19±0,17 ^a	0,93±0,26 ^a	0,57±0,11 ^b	0,36±0,10 ^b	0,54±0,10 ^b	0,50±0,12 ^b
Per visą laikotarpį	0,95±0,20 ^a	0,92±0,17	0,91±0,16	0,38±0,053 ^b	0,81±0,17	0,85±0,16

Statistiškai patikimi skirtumai ^bp≤0,05, ^cp≤0,005,

Mažesnės CH₄ dujų emisijos buvo nustatytos ir iš 1Durpių ir 5Vermikulito grupių rezervuarų, tačiau šie skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Efektyviausiai veikęs bandymo pradžioje perlitas, bandymo viduryje parodė visai kitokį poveikį, padidindamas CH₄ dujų emisiją daugiau kaip 2 kartus (0,05≤p≤010) lyginant su kontroline grupe. Šiuo laikotarpiu daugiausia CH₄ dujų emisiją sumažino vermikulitas - 43,0 % (0,05≤p≤010). Bandymo pabaigoje visi sorbentai mažino CH₄ dujų emisiją (p≤0,05), išskyrus 1Durpių grupę, kurioje nustatyti skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Analizuojant sorbentų poveikį ir veiksmingumą CH₄ dujų emisijai per visą bandymo laikotarpį (13 lentelė) matome, kad CH₄ dujų emisija iš visų eksperimentinių grupių rezervuarų su sorbentais buvo nuo 3,2 iki 60,7 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės, tačiau tik 3Šiaudų grupėje šis skirtumas buvo statistiškai patikimas (p≤0,05). Kitų sorbentų poveikis CH₄ dujų emisijų mažinimui buvo statistinės paklaidos ribose.

13 lentelė. Sorbentų poveikio veiksmingumas metano dujų emisijoms iš galvijų mėšlo

Lyginamos grupės/ sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1 D	-48,4	0,174	0,6	0,980	-36,8	0,171	-3,2	0,909
K - 2 sF	-77,2	0,019	-1,9	0,935	-51,8	0,025	-5,0	0,853
K - 3 Š	-67,6	0,022	-7,4	0,808	-66,8	0,005	-60,7	0,009
K - 4 P	-90,2	0,003	101,3	0,052	-60,2	0,008	-15,3	0,589
K - 5 V	-39,5	0,397	-43,0	0,069	-65,8	0,005	-11,4	0,675

Grupės: 1 Kontrolinė-1K; 2 Durpė-2D; 3 Superfosfatas-3sF; 4 Šiaudai-4Š; 5 Perlitas-5P; 6 Vermikulitas-6V.

Apskaičiuota suminė metano dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (14 lentelė) parodė, kad iš visi sorbentai padėjo mažinti CH₄ dujų emisiją. Didžiausia CH₄ dujų suminė emisija buvo apskaičiuota iš 1Durpių grupės rezervuarų, kuri buvo panaši kaip ir iš Kontrolinės grupės (- 3,5%), o mažiausia iš 3Šiaudų grupės rezervuarų, kuri buvo net 61,2% mažesnė negu iš Kontrolinės grupės. Suminė CH₄ dujų emisija iš 2Superfosfato grupės rezervuarų buvo 5,9 %, 4Perlito – 15,3 % ir 5Vermikulito – 11,8% mažesnės negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos buvo labai mažos ir svyravo nuo 0,009 (3Š) iki 0,023 g/m² (K). Nustatytas skirtumas tarp didžiausių ir mažiausių emisijos reikšmių per dieną eksperimentinėse sorbentų grupėse sudarė 2,4 karto.

14 lentelė. Suminė ir vidutinė CH₄ dujų emisija iš galvijų mėšlo per visa tyrimų laikotarpį

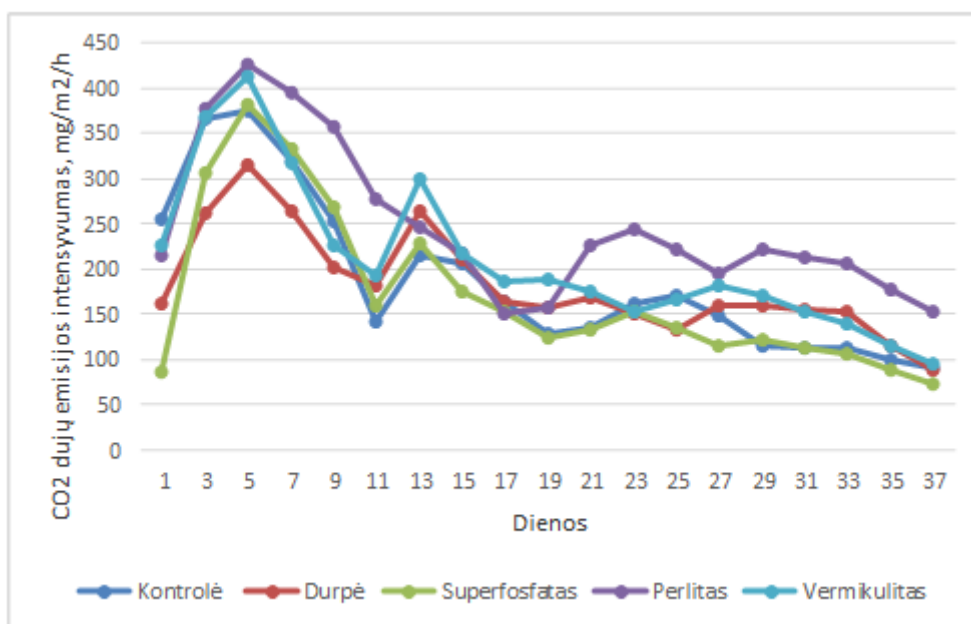
Grupė/sorbentai	Suminė CH ₄ emisija, g/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	0,85	0,023
1 Durpės	0,82	0,022
2 Superfosfatas	0,80	0,022
3 Šiaudai	0,33	0,009
4 Perlitas	0,72	0,019
5 Vermikulitas	0,75	0,020

Apibendrinat šiuos tyrimus galima teigti, kad sorbentai yra veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš galvijų mėšlo, tačiau jų poveikis į atskiras dujas gali būti gana skirtingas. Kaip parodė tyrimai, sorbentų veiksmingumas labai priklauso ir nuo mėšlo laikymo laikotarpio. Mūsų gauti tyrimo rezultatai yra panašūs kaip ir kitų tyrėjų atliktuose tyrimuose (Cluett, J., VanderZaag, A.C. et al., 2020; Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W., 2016; Chowdhury, M. A., de Neergaard, A., & Jensen, L. S., 2014; Kavanagh, I., Burchill et al., 2019; Rey, J., Atxaerandio, R., Ruiz, R., et al., 2019). Taip pat mūsų tyrimai parodė, kad skirtingi sorbentai gali labai skirtingai veikti atskirų dujų emisijas, priklausomai nuo mėšlo laikymo laikotarpio. Pavyzdžiui perlitas laikant mėšlą pirmąją dekadą gali sumažinti metano emisiją net 90,2 %, tačiau vėlesniu laikotarpiu šių dujų emisiją padidina net dvigubai. Tai gali sąlygoti sudėtingi biologiniai ir cheminiai procesai tokie kaip anaerobinė fermentacija, aerobinis skaidymas, denitrifikacija, vykstantys mėšle jo laikymo metu, kurie gali skirtingai paveikti dujų emisijas, tai jas sumažindami, tai suintensyvindami. Sorbentų panaudojimas galvijų mėšlo laikymo metu leido sumažinti emisijas atskirais laikotarpiais, pavyzdžiui superfosfato ir perlito panaudojimas trečiąją dekadą CO₂ emisiją sumažino atitinkamai 46,0 % ($p \leq 0,001$) ir 60,3 % ($p \leq 0,001$), o šiaudų ir superfosfato panaudojimas pirmąją dekadą CH₄ emisiją sumažino atitinkamai 67,6 % ($p \leq 0,05$) ir 77,2 % ($p \leq 0,05$) lyginat su mėšlo rezervuarais be sorbentų. Mažiausią poveikį sorbentai padarė amoniako emisijoms, kur efektyviausias buvo superfosfatas, kuris pirmąją dekadą NH₃ emisiją sumažino 36,3 % ($p \leq 0,05$). Be to laikant galvijų mėšlą, kai kurie dujų emisijų procesai gali pasikeiti dėl galvijų mėšlo specifinės savybės ilgesnio laikymo metu formuoti natūralią plutą, kas gali sumažinti sorbentų veiksmingumą mažinant ŠESD ir amoniako dujų emisijas iš skysto galvijų mėšlo.

3.4. Įvairių priedų/sorbentų poveiko amoniako, metano ir anglies dioksido dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo tyrimai.

Atlikti dujų emisijų tyrimai (21 pav.) parodė, kad pirmą - penktą dienomis anglies dioksido (CO₂) dujų emisija visose grupėse tolygiai didėjo, ir penktą dieną visose grupėse pasiekė didžiausias reikšmes (Kontrolinė - 375,03 mg/m²/h, 1 Durpės - 314,11 mg/m²/h, 2 Superfosfatas - 380,71 mg/m²/h, 3 Perlitas - 424,96 mg/m²/h, 4 Vermikulitas - 413,66 mg/m²/h). Didžiausia emisija nustatyta 3 Perlito grupėje, kuri buvo 13,3 % didesnė negu kontrolinėje grupėje. Nuo 5-os dienos CO₂ emisija iš šios grupės rezervuarų pradėjo tolygiai mažėti, kol 17-ąją bandymo dieną pasiekė mažiausią savo reikšmę (149,74 mg/m²/h), tačiau vėlesniu laikotarpiu CO₂ emisija vėl padidėjo, šiek tiek sumažėdama 27-ąją dieną, tačiau iki bandymo pabaigos išliko pati didžiausia iš visų grupių.

Kitokį vaizdą matome analizuodami CO₂ emisiją iš 2 grupės rezervuarų su superfosfato sorbentu. Jau 1-ąją bandymo dieną įmaišius sorbentus, iš šios grupės rezervuarų nustatyta mažiausią iš visų grupių CO₂ dujų emisija, kuri siekė tik 86,20 mg/m²/h. Nuo 5-os iki 11-os bandymo dienos emisija tolygiai mažėjo ir nors nuo 13 dienos dujų emisija šiek tiek padidėjo, tačiau iki bandymo pabaigos išliko pati mažiausia lyginant su kitomis grupėmis. Paskutiniąją dieną CO₂ emisija šioje grupėje siekė tik 74,94 mg/m²/h. Analizuojant CO₂ emisijos pokyčius iš kitų grupių rezervuarų (1 Durpė, 4 Vermikulitas) matosi panašios tendencijos – pirmas penkias dienas CO₂ emisija didėjo pasiekdama piką 5 dieną, o vėliau palaipsniui mažėjo iki 11-os dienos, dar vėliau galime stebėti nedidelius svyravimus - padidėjimas 13, 21 ir 27-ąją dieną ir sumažėjimas 23, 25-ąją dieną ir bandymo pabaigoje.



21 paveikslas. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijos pokyčiui iš kiaulių mėšlo per visą bandymo laikotarpį.

Analizuojant sorbentų poveikį ir veiksmingumą amoniako dujų emisijoms per visą bandymo laikotarpį (15 lentelė) matome, kad NH₃ emisijos iš visų eksperimentinių grupių rezervuarų buvo 2,3 iki 16,3 % mažesnės negu iš kontrolinės grupės, išskyrus 4 perlito grupę, kurioje NH₃ emisijos buvo 6,6 % didesnės, nors visi šie skirtumai buvo statistinės paklaidos ribose. Tyrimai taip pat parodė, kad bandymo pradžioje visi sorbentai padėjo mažinti NH₃ emisijas nuo 1,8/ iki 36,3 % ($p \leq 0,05$ 2sF), bandymo viduryje - nuo 2,3 iki 22,3 %, tačiau bandymo pabaigoje NH₃ emisijos iš visų eksperimentinių grupių rezervuarų buvo 5,0 - 42,5% (4P) didesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų, nors šie skirtumai išliko statistiškai nepatikimi.

15 lentelė. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienomis)	Grupė/Sorbentai				
	Kontrolinė	1 Durpės	2 Superfosfatas	3 Perlitas	4 Vermikulitas
I Pradžioje (1-10)	291,1±46,0	236,4±32,7	265,8±61,4	347,8±44,4	297,8±48,7
II Viduryje (11-23)	167,0±18,9	189,7±21,5	162,3±20,5	206,3±24,8	207,2±26,1
III Pabaigoje (24-37)	122,65±12,3 ^a	134,9±11,7	106,4±9,4	195,8±10,9 ^c	145,0±14,2
Per visą laikotarpį	189,1±23,7	183,7±16,2	173,7±25,5	246,6±23,3	212,2±23,4

Statistiškai patikimi skirtumai ^c $p \leq 0,005$

Rezultatai parodė, kad bandymo pradžioje nors ir buvo tam tikri CO₂ dujų emisijos skirtumai tarp grupių, tačiau visi jie buvo statistinės paklaidos ribose (lentelė). Šiuo laikotarpiu nustatyta, kad iš 1 grupės su durpėmis ir 2 grupės su superfosfatu rezervuarų buvo atitinkamai 18,8 ir 8,7 % mažesnės emisijos negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų. Bandymo viduryje tik iš 2 grupės rezervuarų su

superfosfatu buvo nustatyta 2,8 % mažesnė emisija negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų. Iš kitų eksperimentinių grupių rezervuarų buvo nustatytos 13,64- 27,12 % didesnės emisijos negu iš Kontrolinės grupės. Ir bandymo pabaigoje iš 2 grupės rezervuarų su superfosfato sorbentu buvo nustatyta mažiausia CO₂ dujų emisija, kuri 13,28 % buvo mažesnė negu iš Kontrolinės grupės (16 lentelė). Tuo tarpu sorbentas perlitas net 59,62 % ($p \leq 0,001$) padidino CO₂ dujų emisiją iš mėšlo, lyginant su kontroline grupe. Didesnės CO₂ dujų emisijos lyginant su Kontroline grupe stebimos ir iš 1 grupės rezervuarų su durpe bei 4 grupės rezervuarų su vermikulitu, nors šie skirtumai statistiškai nepatikimi.

16 lentelė. Skirtingų sorbentų poveikio veiksmingumas anglies dioksido dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo

Lyginamos grupės/ sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1 D	-18,81	0,360	13,64	0,450	10,03	0,485	-2,85	0,852
K - 2 sF	-8,70	0,749	-2,77	0,872	-13,28	0,317	-8,18	0,660
K – 3 P	19,48	0,401	23,56	0,243	59,62**	0,001	30,37	0,094
K - 4 V	2,28	0,923	24,12	0,247	18,19	0,263	12,17	0,494

Grupės: Kontrolinė-K; 1 Durpė-1D; 2 Superfosfatas-2sF; 3 Perlitas-3P; 4 Vermikulitas-4V.

Analizuojant nustatytų emisijų reikšmes per visą bandymo laikotarpį, matyti, kad CO₂ dujų emisijas šiek tiek mažino durpės (2,9 %) ir superfosfatas (8,2 %), nors skirtumai yra statistiškai nepatikimi. Tuo tarpu sorbentas perlitas CO₂ dujų emisiją didino net 30,4 % ($0,05 \leq p \leq 0,1$) lyginant su kontroline grupe (16 lentelė).

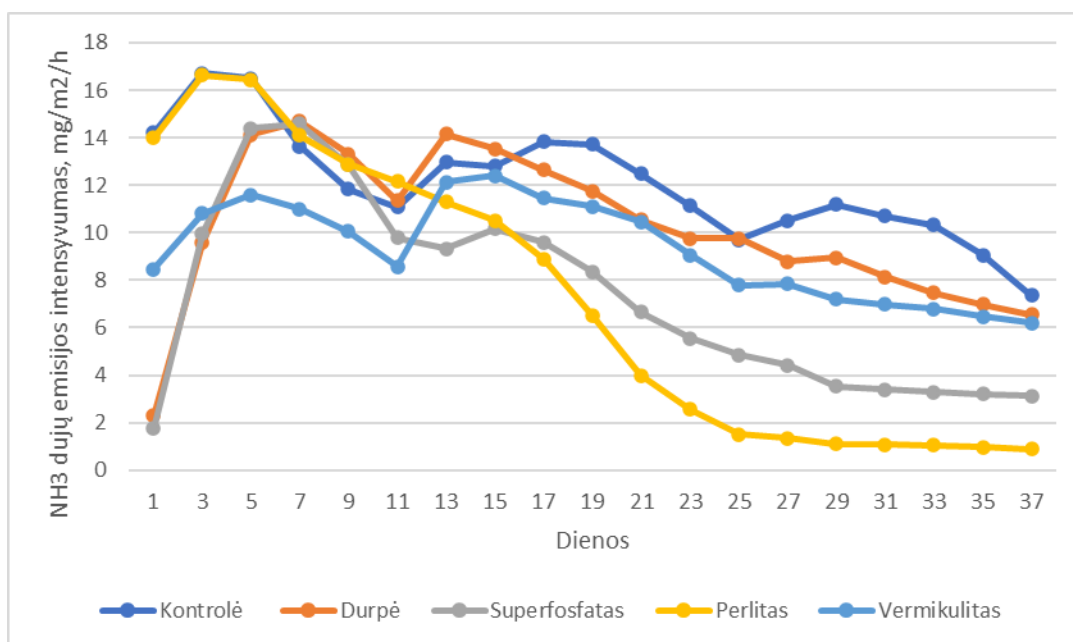
Apskaičiuota suminė anglies dioksido emisija iš kiaulių mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (17 lentelė) parodė, kad didžiausia CO₂ suminė emisija buvo iš 3 Perlito grupės rezervuarų kuri buvo 30,1 % didesnė negu iš kontrolinės grupės, o pati mažiausia iš 2 Superfosfato grupės rezervuarų, kuri buvo 8,2 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės. CO₂ suminė emisija iš 1 Durpių grupės rezervuarų buvo panaši kaip iš kontrolinės grupės. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 66,69 iki 94,69 g/m² ir skirtumas tarp didžiausių (3 Perlito grupė) ir mažiausių (2 Superfosfato grupė) emisijos reikšmių per dieną sudarė 1,4 karto.

17 lentelė. Suminė ir vidutinė CO₂ dujų emisija iš kiaulių mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė CO ₂ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	2,69	72,63
1 Durpė	2,61	70,56
2 Superfosfatas	2,47	66,69
3 Perlitas	3,50	94,69
4 Vermikulitas	3,01	81,47

Amoniakos (NH₃) dujų emisijų tyrimų rezultatai (13 pav.) parodė panašias tendencijas kaip ir anglies dioksido tyrimų, kur trečią - septintą dienomis NH₃ dujų emisija visose grupėse pasiekė didžiausias reikšmes (Kontrolinė 3 dieną – 16,70 mg/m²/h, 1 Durpės 7 dieną - 14,68 mg/m²/h, 2 Superfosfatas 7 dieną – 14,59 mg/m²/h, 3 Perlitas 3 dieną – 16,63 mg/m²/h, 4 Vermikulitas 5 dieną - 11,59 mg/m²/h). Jei 2 durpių, 3 superfosfato ir 5 vermikulito grupės rezervuaruose 7-19 dienomis matosi emisijų šuoliai (mažėjimas ir vėl didėjimas), tai nuo 25-os dienos iki bandymo pabaigos NH₃ dujų emisijų vertės buvo mažesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Kitokį vaizdą matome analizuodami NH₃ emisiją iš 3 grupės rezervuarų su perlito sorbentu. Jei bandymo pradžioje (iki 5 dienos) NH₃ dujų

emisijos padidėjo, tai nuo 5-os dienos vyko tolygus emisijų mažėjimas, ir nuo 17-os dienos iki pat bandymo pabaigos emisijos šioje grupėje buvo pačios mažiausios lyginant su kitomis grupėmis ir paskutiniąją bandymo dieną tesiekė 0,89 mg/m²/h.



22 paveikslas. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijos pokyčiui iš kiaulių mėšlo per visą bandymo laikotarpį

Sorbentų poveikio ir veiksmingumo CO₂ emisijoms iš kiaulių mėšlo analizė (18 ir 19 lentelė) parodė, kad jau bandymo pradžioje veiksmingumu mažinant NH₃ emisijas pasižymėjo sorbentas vermikulitas: iš 4 Vermikulito grupės rezervuarų buvo nustatyta net 27,7 % ($p \leq 0,05$) mažesnė NH₃ emisija negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Šiek tiek mažesnės emisijos buvo nustatytos ir iš 1 Durpės ir 3 Superfosfato grupių rezervuarų, nors šie skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Bandymo viduryje galime pastebėti ryškesnius skirtumus tarp grupių: nustatyta, kad NH₃ dujų emisija iš 2 Superfosfato grupės rezervuarų buvo 35,2 % ($p \leq 0,005$), iš 3 Perlito – 41,7 % mažesnė ($p \leq 0,05$) negu iš kontrolinės grupės rezervuarų.

18 lentelė. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje iš kiaulių mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai				
	Kontrolinė	1 Durpė	2 Superfosfatas	3 Perlitas	4 Vermikulitas
I Pradžioje (1-10)	14,1±1,2 ^a	11,2±2,3	10,9±2,5	14,5±1,0	10,2±0,7 ^b
II Viduryje (11-23)	13,0±0,4 ^a	12,2±0,8	8,4±0,8 ^d	7,6±1,6 ^b	11,3±0,5 ^b
III Pabaigoje (24-37)	9,7±0,6 ^a	8,1±0,5	3,7±0,3 ^d	1,2±0,09 ^d	7,0±0,3 ^c
Per visą laikotarpį	12,1±0,6 ^a	10,4±0,9	7,5±1,1 ^d	7,3±1,5 ^b	9,4±0,5 ^c

Statistiškai patikimi skirtumai ^b $p \leq 0,05$, ^c $p \leq 0,005$, ^d $p \leq 0,001$

Panašios tendencijos buvo ir bandymo pabaigoje. Buvo nustatyta, kad NH₃ dujų emisija iš 2 Superfosfato grupės buvo 61,4 % (p≤0,005), 3 Perlito - 88,1 % (p≤0,005), 4 Vermikulito - 27,2 1 % (p≤0,005) mažesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Taip pat pastebėta tendencija, kad ir iš 2 Durpių grupės rezervuarų buvo 16,5 % (0,05≤p≤0,10) mažesnes NH₃ dujų koncentracijos lyginant su kontroline grupe (19 lentelė). Analizuojant nustatytų emisijų reikšmes per visą bandymo laikotarpį, matyti, kad NH₃ dujų emisijas mažino visi sorbentai. Buvo nustatyta, kad iš 2 Superfosfato grupės NH₃ dujų emisija buvo 38,4 % (p≤0,005), 3 Perlito - 39,5 % (p≤0,005), 4 Vermikulito - 22,7 % (p≤0,005) mažesnės negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Tik iš 2 Durpių grupės rezervuarų emisija nors ir buvo 14,4 % mažesnė šis skirtumas statistiškai buvo nepatikimas.

19 lentelė. Skirtingų sorbentų poveikio veiksmingumas amoniako dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1 D	-20,3	0,304	-6,2	0,383	-16,5	0,059	-14,4	0,116
K - 2 sF	-22,4	0,283	-35,2	0,001	-61,4	0,001	-38,4	0,001
K - 3 P	2,5	0,825	-41,7	0,010	-88,1	0,000	-39,5	0,007
K - 4 V	-27,7	0,023	-13,2	0,025	-27,2	0,002	-22,7	0,003

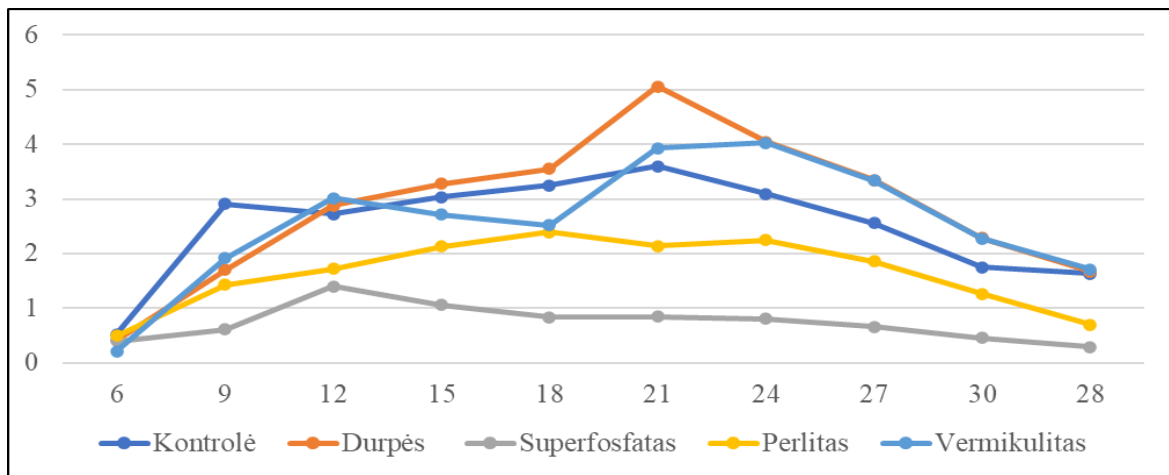
Grupės: Kontrolinė-K; 1 Durpė-1D; 2 Superfosfatas-2sF; 3 Perlitas-3P; 4 Vermikulitas-4V.

Apskaičiuota suminė amoniako emisija iš kiaulių mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (20 lentelė) parodė, kad didžiausia NH₃ suminė emisija buvo nustatyta iš rezervuarų su durpių sorbentu, o mažiausia su perlito ir superfosfato sorbentu. NH₃ suminė emisija iš 2 Durpių grupės rezervuarų buvo 14,5 %, 2 Superfosfato – 38,4 %, 3 Perlito - 39,5 %, 4 Vermikulito – 22,7 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės rezervuarų. Perskaičius į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 2,81 iki 4,65 g/m² ir skirtumas tarp didžiausių (1D) ir mažiausių (3P) emisijos reikšmių per dieną sudarė 1,4 karto.

20 lentelė. Suminė ir vidutinė NH₃ dujų emisija iš kiaulių mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė NH ₃ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	0,172	4,65
1 Durpė	0,147	3,97
2 Superfosfatas	0,106	2,86
3 Perlitas	0,104	2,81
4 Vermikulitas	0,133	3,59

Kaip parodė tyrimai (23 paveikslas), metano (CH₄) dujų emisijos pirmomis dienomis iš visų grupių rezervuarų buvo mažos ir tik nuo 6 dienos šiek tiek pradėjo didėti. 12-ąją tyrimų dieną CH₄ dujų emisijos iš kai kurių grupių rezervuarų (2sF ir 5V) vėl nežymiai mažėjo ir vėl kilo pasiekdamos savo reikšmių piką 21 -ąją dieną (1D, 4V ir K). Vėliau stebimas tolygus palaipsninis emisijų mažėjimas, kuris bandymo pabaigoje neviršija 2 mg/m²/h. Mažiausios emisijos matomos 2Superfosfato ir 3Perlito grupėje, o emisijos iš 1Durpių, ir 4Vermikulito grupės rezervuarų yra beveik tokios pat kaip ir iš Kontrolinės grupės rezervuarų.



23 pav. Absorbuojančių medžiagų įtaka CH₄ emisijai iš kiaulių mėšlo (mg/m²/h)

Kaip parodė analizė, bandymo pradžioje visi panaudoti sorbentai mažino CH₄ dujų emisijas nors visi skirtumai buvo statistiškai nepatikimi (21 lentelė). Bandymo viduryje jau matome padidėjusi kai kurių sorbentų veiksmingumą mažinant metano emisiją. Didžiausią poveikį CH₄ dujų emisijos mažinimui turėjo superfosfatas, kuris šią emisiją sumažino net 72,1% ($p \leq 0,05$) ir perlitas sumažinęs 32,6% ($p \leq 0,05$) CH₄ dujų emisiją lyginant su Kontroline grupe. Bandymo pabaigoje iš 2Superfosfato grupės rezervuarų buvo nustatyta 75,5% ($p \leq 0,005$) mažesnė CH₄ dujų emisija negu iš Kontrolinės grupės. Tuo pačiu metu durpės ir vermikulitas CH₄ dujų emisiją nežymiai padidino, nors skirtumai buvo statistiškai nepatikimi.

21 lentelė. Sorbentų poveikis CH₄ dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje iš kiaulių mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai				
	Kontrolinė	1 Durpė	2 Superfosfatas	3 Perlitas	4 Vermikulitas
I Pradžioje (6-12)	2,051±0,764	1,666±0,711	0,806±0,305	1,216±0,369	1,715±0,814
II Viduryje (15-21)	3,292±0,165	3,965±0,554	0,918±0,073	2,220±0,088	3,054±0,440
III Pabaigoje (24-28)	2,261±0,347	2,838±0,532	0,554±0,112	1,518±0,340	2,837±0,520
Per visą laikotarpį	2,507±0,295	2,824±0,424	0,738±0,105	1,638±0,207	2,566±0,358

Analizuojant sorbentų poveikį ir veiksmingumą CH₄ dujų emisijai per visą bandymo laikotarpį (22 lentelė), matome, kad CH₄ dujų emisiją efektyviausiai mažino superfosfatas 70,6% ($p \leq 0,005$) ir perlitas – 34,7% ($p \leq 0,05$) lyginant su kontroline grupe. Durpės šią emisiją šiek tiek padidino (12,9%), o vermikulitas neturėjo ryškesnės įtakos emisijos pokyčiui.

22 lentelė. Sorbentų poveikio veiksmingumas CH₄ dujų emisijoms iš kiaulių mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1D	-18,8	0,730	20,4	0,309	25,5	0,398	12,6	0,547
K - 2sF	-60,7	0,205	-72,1	0,000	-75,5	0,003	-70,6	0,000
K – 3P	-40,7	0,381	-32,6	0,005	-32,9	0,177	-34,7	0,027
K - 4V	-16,3	0,779	-7,2	0,640	25,5	0,392	2,3	0,900

Grupės: 1 Kontrolinė-1K; 2 Durpė-2D; 3 Superfosfatas-3sF; 4 Šiaudai-4Š; 5 Perlitas-5P; 6 Vermikulitas-6V.

Apskaičiuota suminė metano dujų emisija iš galvijų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (23 lentelė) parodė, kad superfosfatas ir perlitas padėjo mažinti CH₄ dujų emisiją atitinkamai 68,2% ir 31,8 %. Didžiausia CH₄ dujų suminė emisija buvo apskaičiuota iš 1Durpių grupės, kuri 13,6 % viršijo Kontrolinės grupės, o vermikulito panaudojimas nepadarė ryškesnio poveikio emisijos pokyčiui, apskaičiuota suminė metano dujų emisija buvo panaši kaip ir Kontrolinės grupės. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 0,0177 (2sF) iki 0,0678 g/m² (1D). Nustatytas skirtumas tarp didžiausių ir mažiausių emisijos reikšmių per dieną eksperimentinėse sorbentų grupėse sudarė 3,8 karto.

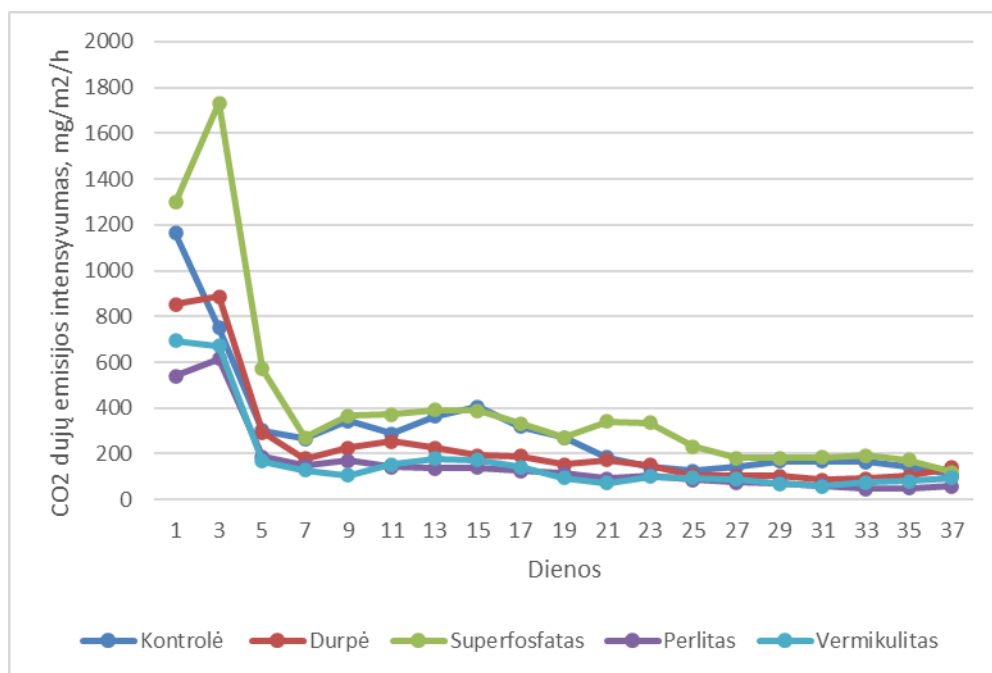
23 lentelė. Suminė ir vidutinė CH₄ dujų emisija iš kiaulių mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė CH ₄ emisija, g/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	2,2	0,0602
1 Durpė	2,5	0,0678
2 Superfosfatas	0,7	0,0177
3 Perlitas	1,5	0,0393
4 Vermikulitas	2,3	0,0616

Apibendrinat šiuos tyrimus galima teigti, kad sorbentai yra veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš kiaulių mėšlo ir jų poveikis yra dar didesnis negu galvijų mėšlui. Kaip parodė tyrimai, sorbentai veiksmingiausiai mažino amoniako dujų emisijas tiek per visą bandymo laikotarpį tiek ir atskirais laikotarpiais. Didžiausiu veiksmingumu amoniako dujų emisijų mažinimui pasižymėjo superfosfatas, perlitas ir vermikulitas, kurie padėjo sumažinti emisijas 22,7-38,4 % ($p \leq 0,005$). Superfosfatas ir perlitas gana efektyviai mažino ir metano dujų emisijas (34,7-70,6 %, $p \leq 0,05$). Panašūs rezultatai buvo gauti ir kitų tyrėjų (Chmielowiec-Korzeniowska A., Tymczyna L et al., 2022; Jing Yuan, Difang Zhang, et al., 2019; Maurer, D. L., Koziel, J. et al., 2017; Wang, Q., Awasthi, M. al., 2018). Anglies dioksido dujų emisijų mažinimui ryškesnio poveikio naudoti sorbentai nepadarė, o kai kuriais atvejais ir nežymiai padidino šių dujų emisiją, nors patikimų skirtumų čia nebuvo nustatyta.

3.5. Įvairių priedų/sorbentų poveiko amoniako, metano ir anglies dioksido dujų emisijoms iš vištų mėšlo tyrimai.

Kaip parodė dujų emisijų tyrimai, didžiausios anglies dioksido (CO₂) dujų emisijos iš mėšlo visose grupėse buvo stebimos pirmą bandymo savaitę (24 pav.). CO₂ dujų emisijos iš Kontrolinės bei 5Vermikulito grupių rezervuarų buvo didžiausios 1-ąją dieną (1164,54 mg/m²/h ir 694,89 mg/m²/h), kitose grupėse (1Durpės, 2Superfosfatas, 3Perlitas) – 3-ąją dieną (1Durpės - 886,71 mg/m²/h, 2Superfosfatas - 1733,57 mg/m²/h, 3Perlitas - 670,16 mg/m²/h). Nuo 4-os bandymo dienos CO₂ dujų emisijos pradėjo ženkliai mažėti ir tyrimų pabaigoje svyravo nuo 94,67 mg/m²/h (4Vermikulitas) iki 138,37 mg/m²/h (1Durpės).



24 paveikslas. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijos pokyčiui iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį

Kaip matome iš tyrimo duomenų (24 lentelė), bandymo pradžioje iš 1Durpių ir 4Vermikulito grupių rezervuarų buvo nustatytos 9,1- 33,6 % mažesnės CO₂ dujų emisijos, nors šie skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Tuo tarpu iš 3Perlito ir 2Superfosfato grupių rezervuarų buvo nustatytos 39,4 ir 57,1 %, didesnės emisijos negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų, nors ir šie skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Bandymo viduryje išryškėjo kai kurių sorbentų veiksmingumas mažinant emisijas. Efektyviausiai CO₂ dujų emisiją mažino perlitas ir vermikulitas, kurių įmaišymas į mėšlą leido sumažinti CO₂ dujų emisiją, atitinkamai, 58,2 % ($p \leq 0,05$) ir 56,4 % ($p \leq 0,05$), palyginus su kontroline grupe.

24 lentelė. Sorbentų poveikis anglies dioksido dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje iš vištų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai				
	Kontrolinė	1 Durpė	2Superfosfatas	3 Perlitas	4 Vermikulitas
I Pradžioje (1-12)	551,3±166,0	500,9±170,0	866,0±327,5	334,3±117,5	366,2±143,3
II Viduryje (13-23)	281,8±57,8 ^a	172,7±10,2 ^a	343,7±23,0 ^a	117,7±9,7 ^b	122,8±20,7 ^b
III Pabaigoje (24-37)	143,8±11,0 ^a	104,0±9,4 ^b	169,4±10,9 ^a	62,5±4,7 ^c	80,2±6,9 ^c
Per visą laikotarpį	328,2±72,0	264,3±71,8	466,5±132,8	174,7±49,3	193,7±57,7

Statistiškai patikimi skirtumai ^b $p \leq 0,05$, ^c $p \leq 0,001$

Ir bandymo pabaigoje perlitas ir vermikulitas efektyviausiai mažino CO₂ dujų emisiją: 3Perlito grupė - 56,5 ($p \leq 0,001$) ir 4Vermikulito - 44,2 % ($p \leq 0,001$) lyginant su Kontroline grupe. CO₂ dujų emisijos mažinimo veiksmingumu pasižymėjo ir durpės, iš kurių rezervuarų bandymo pabaigoje buvo nustatyta 27,6 % ($p \leq 0,05$) mažesnė CO₂ emisija palyginus su kontroline grupe. Analizuojant nustatytas CO₂ dujų

emisijas per visą bandymo laikotarpį (25 lentelė), matyti, kad emisijas mažino visi sorbentai išskyrus superfosfatą, nors visi nustatyti skirtumai buvo statistinės paklaidos ribose. Pastebėta kad iš 3Perlito grupės rezervuarų buvo 46,8 % ($0,05 \leq p \leq 0,10$) mažesnes CO₂ dujų emisijos lyginant su kontroline grupe, tuo tarpu iš 2Superfosfato grupės rezervuarų ši emisija buvo 42,1 % didesnė negu iš Kontrolinės grupės (lentelė).

25 lentelė. Skirtingų sorbentų poveikio veiksmingumas anglies dioksido dujų emisijoms iš vištų mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1 D	-9,1	0,836	-38,7	0,100	-27,6	0,020	-19,5	0,534
K - 2 sF	57,1	0,411	22,0	0,348	17,8	0,128	42,1	0,366
K – 3 P	39,4	0,311	-58,2	0,023	-56,5	0,001	-46,8	0,088
K - 4 V	-33,6	0,418	-56,4	0,032	-44,2	0,001	-41,0	0,155

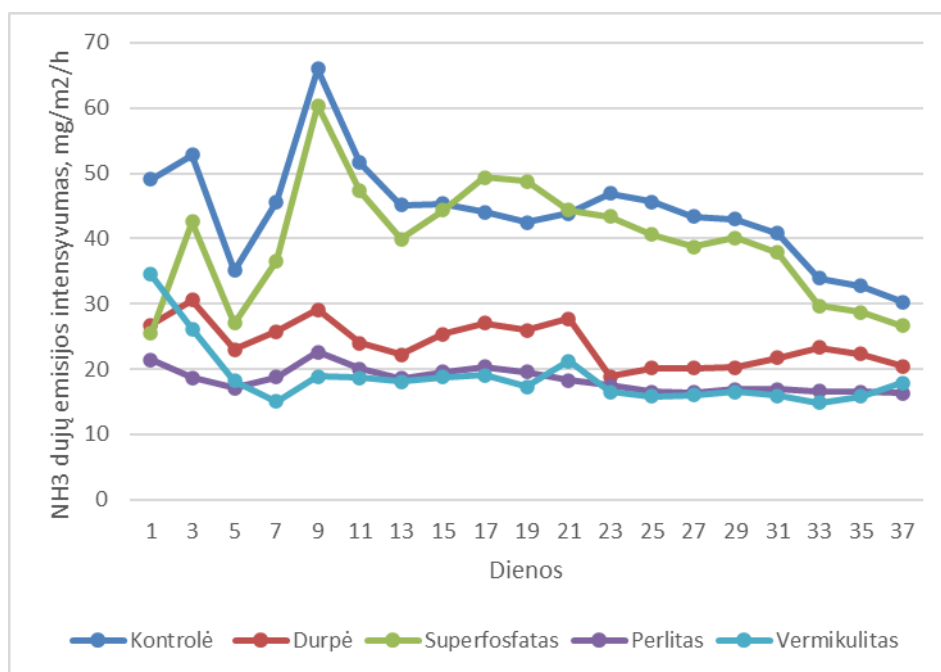
Grupės: Kontrolinė-K; 1 Durpė-1D; 2 Superfosfatas-2sF; 3 Perlitas-3P; 4 Vermikulitas-4V.

Analizuojant apskaičiuotą suminę anglies dioksido emisiją iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (lentelė) matome, kad didžiausia CO₂ suminė emisija buvo iš 3 grupės rezervuarų su superfosfatu, kuri buvo 42,6 % didesnė negu iš kontrolinės grupės, o pati mažiausia iš 4 grupės rezervuarų su perlitu, kuri buvo net 53,1 % mažesnė negu iš kontrolinės grupės. Perskaičius į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 71,21 iki 190,74 g/m² ir skirtumas tarp didžiausių (3Superfosfato grupė) ir mažiausių (4Perlito grupė) emisijos reikšmių per dieną sudarė 2,7 karto.

26 lentelė. Suminė ir vidutinė CO₂ dujų emisija iš vištų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė CO ₂ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	4,95	133,91
1 Durpė	3,98	107,53
2 Superfosfatas	7,06	190,74
3 Perlitas	2,63	71,21
4 Vermikulitas	2,92	78,90

Atlikti amoniako (NH₃) dujų emisijų tyrimai parodė, kad nuo pat bandymo pradžios iki pabaigos dviejuose grupėse (Kontrolinėje ir 2Superfosfato) matėsi panašūs NH₃ dujų emisijų pokyčiai ir čia buvo nustatytos didžiausios NH₃ dujų emisijos (25 pav.). 9-ąją tyrimų dieną buvo pasiektas NH₃ dujų emisijos intensyvumo pikas, kuris atitinkamai buvo Kontrolinėje grupėje - 66,01 mg/m²/h, o 3Superfosfato grupėje - 60,36 mg/m²/h. Didžiausias NH₃ dujų emisijų intensyvumas 5Vermikulito grupėje buvo 1-ąją dieną, 2Durpių grupėje 3-ąją dieną, o 5Vermikulito grupėje – 9-ąją dieną. Visą tyrimų laikotarpį iš šių grupių rezervuarų nustatytos NH₃ dujų emisijų reikšmės nors ir šiek tiek svyravo, tačiau pokyčiai nebuvo labai labai dideli. Tyrimų pabaigoje NH₃ dujų emisijos buvo nuo 17,84 mg/m²/h 5Vermikulito grupėje iki 30,30 mg/m²/h 1 Kontrolės grupėje.



25 paveikslas. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijos pokyčiui iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį

Gauti tyrimų duomenys rodo (27 ir 28 lentelė), kad per visą bandymo laikotarpį 2Durpių, 4Perlito, 5Vermikulito grupėse buvo ženkliai mažesnė NH₃ dujų emisija. Skirtumai svyravo nuo 45,5 iki 58,6 %, ir jie buvo statistiškai patikimi ($p \leq 0,001$), kai tuo tarpu 3Superfosfato grupėje emisijų sumažėjimas nebuvo toks ženklus, ir skirtumai buvo statistiškai nepatikimi.

27 lentelė. Sorbentų poveikis amoniako dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje iš vištų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai				
	1 Kontrolinė	2 Durpė	3 Superfosfatas	4 Perlitas	5 Vermikulitas
I Pradžioje (1-12)	50,3±4,7 ^a	26,7±1,9 ^d	40,1±5,5	19,7±0,8 ^d	22,5±3,2 ^d
II Viduryje (13-23)	44,8±0,8 ^a	24,6±1,7 ^d	45,0±1,9	18,9±0,6 ^d	18,5±0,9 ^d
III Pabaigoje (24-37)	37,9±2,6 ^a	21,1±0,5 ^d	34,0±2,7	16,5±0,1 ^d	16,2±0,4 ^d
Per visą laikotarpį	44,3±2,2 ^a	24,1±1,0 ^d	39,4±2,4	18,3±0,5 ^d	19,1±1,3 ^d

Statistiškai patikimi skirtumai ^b $p \leq 0,05$, ^c $p \leq 0,005$, ^d $p \leq 0,001$

Analizuojant atskirais laikotarpiais matome, kad iš tų pačių 2Durpių, 4Perlito ir 5Vermikulito grupių rezervuarų buvo nustatyta ženkliai mažesnė ($p \leq 0,001$) nuo 44,2 % iki 60,9 % NH₃ dujų emisija.

28 lentelė. Skirtingų sorbentų poveikio veiksmingumas amoniako dujų emisijoms iš vištų mėšlo

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
1 K- 2 D	-46,9	0,001	-45,0	0,000	-44,2	0,000	-45,5	0,000
1 K - 3 sF	-20,3	0,189	0,5	0,909	-10,3	0,326	-11,1	0,142
1 K – 4 P	-60,9	0,001	-57,8	0,000	-56,4	0,000	-58,6	0,000
1 K - 5 V	-55,2	0,001	-58,7	0,000	-57,1	0,000	-56,8	0,000

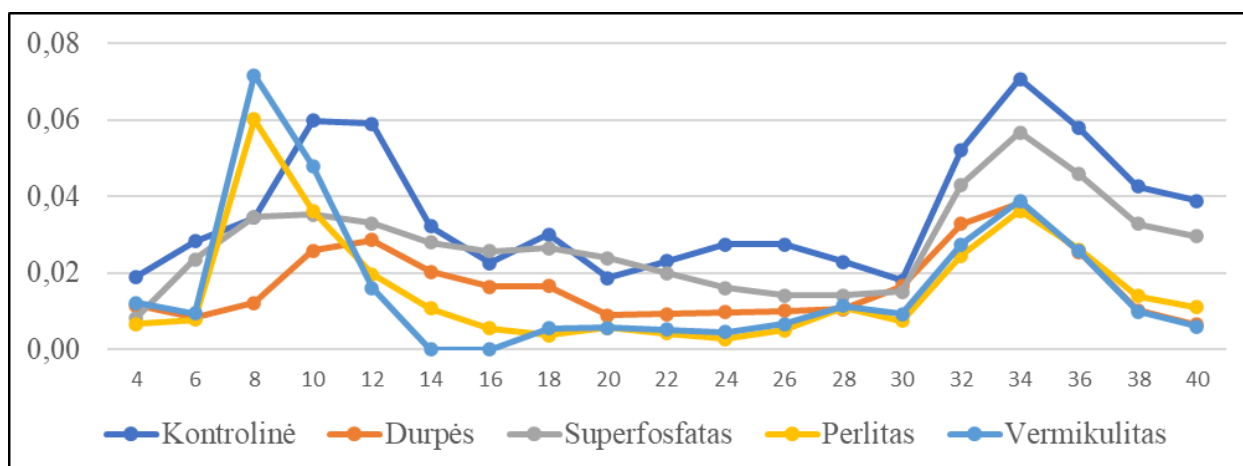
Grupės: 1 Kontrolinė-1K; 2 Durpė-2D; 3 Superfosfatas-3sF; 4 Perlitas-4P; 5 Vermikulitas-5V.

Apskaičiavus suminę amoniako emisiją iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (29 lentelė), matome, kad didžiausia NH₃ suminė emisija, įterpus į rezervuarus 4 rūšių sorbentus, buvo iš 3 grupės rezervuarų su superfosfatu, palyginus su kitais sorbentais, tačiau lyginant su kontroline grupe, šių dujų emisija buvo 12,4 % mažesnė. Mažiausios emisijos susidarė rezervuaruose su perlitu, kurios buvo net 41,3 % mažesnės negu kontrolinėje grupėje. Perskaičiavus į vidutines vertes išskiriamas per dieną buvo nustatyta, kad jos svyravo nuo 7,47 iki 18,07 g/m² ir skirtumas tarp didžiausių (3 Superfosfato grupė) ir mažiausių (4 Perlito grupė) emisijos reikšmių per dieną sudarė 2,1 karto.

29 lentelė. Suminė ir vidutinė NH₃ dujų emisija iš vištų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė NH ₃ emisija, kg/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
1 Kontrolinė	0,668	18,07
2 Durpė	0,364	9,84
3 Superfosfatas	0,594	16,06
4 Perlitas	0,276	7,47
5 Vermikulitas	0,288	7,80

Analizuojant sorbentų įtaką CH₄ emisijos pokyčiui iš vištų mėšlo (26 paveikslas) matome, kad metano dujų emisija bandymo pradžioje visose grupėse buvo maža, bet 6-12 dienomis stebimas CH₄ dujų emisijos padidėjimas iš 4Vermikulito ir 3Perlito grupės rezervuarų, kur emisija savo didžiausią reikšmę pasiekė 8-ąją dieną (3 Perlitas –0,060 mg/m²/h, 4 Vermikulitas – 0,072 mg/m²/h).



26 paveikslas. Sorbentų įtaka CH₄ emisijos pokyčiui iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį, mg/m²/h

Kitose grupėse (1 Durpė, 2 Superfosfatas) matome tolygų, nors nelabai žymų padidėjimą. Bandymo viduryje (13-30 dienos) matomi emisijų svyravimai ir aiškiai matomas naudojamų sorbentų efektyvumas mažinant metano dujų emisiją: iš visų eksperimentinių sorbentų grupių rezervuarų CH₄ dujų emisija buvo mažesnė lyginant su Kontroline grupe. Nuo 30 dienos stebimas ženklus CH₄ emisijų padidėjimo šuolis visose grupėse, o iš kontrolinės, 1Durpių bei 2Superfosfato grupės rezervuarų 34 -ąją dieną buvo pasiektos didžiausios emisijos per visą bandymo laikotarpį, atitinkamai, 0,071 mg/m²/h, 0,038 mg/m²/h, 0,057 mg/m²/h.

Tyrimo rezultatai parodė, kad bandymo pradžioje visi panaudoti sorbentai mažino CH₄ dujų emisiją (30 lentelė).

30 lentelė. Sorbentų poveikis CH₄ dujų emisijos pokyčiams bandymo eigoje iš vištų mėšlo, mg/m²/h

Bandymo laikotarpis (dienos)	Grupė/Sorbentai				
	Kontrolinė	1 Durpė	2 Superfosfatas	3 Perlitas	4 Vermikulitas
I Pradžioje (4 - 14)	0,03±0,007 ^a	0,02±0,003 ^b	0,02±0,005	0,02±0,008	0,02±0,010
II Viduryje (15 - 26)	0,03±0,002 ^a	0,01±0,001 ^c	0,02±0,002	0,004±0,000 ^c	0,005±0,001 ^c
III Pabaigoje (27 - 40)	0,0±0,007 ^a	0,02±0,005 ^b	0,03±0,006	0,02±0,004 ^b	0,02±0,005 ^b
Per visą laikotarpį	0,04±0,004 ^a	0,02±0,002 ^c	0,03±0,003	0,02±0,003 ^c	0,02±0,004 ^c

Statistiškai patikimi skirtumai ^bp≤0,05, ^cp≤0,005

Efektyviausiai metano emisiją mažino durpės - 53,7 % (p≤0,05), kiti sorbentai taip pat padėjo mažinti 30,9–40,0 %, metano emisijas, nors šie skirtumai buvo statistiškai nepatikimi (31 lentelė). Bandymo viduryje toliau matome sumažėjusias metano emisijas visose eksperimentinėse sorbentų grupėse, lyginant su kontroline. Jei bandymo pradžioje durpė buvo pati efektyviausia, tai šiame laikotarpyje veiksmingesni yra perlitas ir vermikulitas, kurie metano emisiją sumažino, atitinkamai 82,0 % (p≤0,005) ir 81,5 % (p≤0,005). Bandymo pabaigoje taip pat stebime, kad visi sorbentai efektyviai mažino CH₄ dujų emisiją 53,7–57,5 % (p≤0,05), išskyrus 2Superfosfato grupę, kurioje nustatyti skirtumai buvo statistiškai nepatikimi. Analizuojant metano emisijų reikšmes per visą bandymo laikotarpį, matomas tas pats vaizdas, CH₄ dujų emisiją mažino sorbentai durpė, perlitas ir vermikulitas nuo 53,4 iki 56,5 % (p≤0,005), o superfosfato grupėje nors ir buvo nustatytas emisijos sumažėjimas, rezultatai liko statistinės paklaidos ribose.

31 lentelė. Sorbentų poveikis CH₄ dujų emisijoms pokyčiams bandymo eigoje iš vištų mėšlo, mg/m²/h

Lyginamos grupės/sorbentai	I bandymo pradžioje		II bandymo viduryje		III bandymo pabaigoje		Per visą bandymo laikotarpį	
	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P	Skirtumas, %	P
K- 1 D	-53,7	0,045	-52,5	0,000	-53,7	0,018	-53,4	0,000
K - 2 sF	-30,9	0,260	-15,2	0,192	-21,8	0,330	-23,5	0,102
K - 3 P	-40,0	0,231	-82,0	0,000	-57,0	0,010	-56,5	0,000
K - 4 V	-32,6	0,390	-81,5	0,000	-57,5	0,012	-54,1	0,00

Grupės: Kontrolinė-K; 1 Durpė-1D; 2 Superfosfatas-2sF; 3 Perlitas-3P; 4 Vermikulitas-4V.

Apskaičiuota suminė metano dujų emisija iš vištų mėšlo per visą bandymo laikotarpį ir vidutiniškai per dieną (32 lentelė) parodė, kad visi sorbentai padėjo mažinti CH₄ dujų emisiją. Didžiausia

CH₄ dujų suminė emisija buvo apskaičiuota iš 2Superfosfato grupės rezervuarų, o mažiausia iš 3Perlito grupės rezervuarų, kuri buvo 58,0 % mažesnė palyginus su Kontroline grupe. Suminė CH₄ dujų emisija iš 1Durpės ir 4Vermikulito grupės rezervuarų buvo 54,8 %, 2 Superfosfato – 22,6 % mažesnės negu iš Kontrolinės grupės rezervuarų. Perskaičiuavus į vidutines vertes, išskiriamas per dieną, metano emisijos buvo nustatytos labai mažos ir svyravo nuo 0,00034 (3P) iki 0,00079 g/m² (K). Nustatytas skirtumas tarp didžiausių (2 Superfosfatas) ir mažiausių (3 Perlitas) emisijos reikšmių per dieną eksperimentinėse sorbentų grupėse sudarė 1,8 karto.

32 lentelė. Suminė ir vidutinė CH₄ dujų emisija iš vištų mėšlo per visą tyrimų laikotarpį

Grupė/sorbentai	Suminė CO ₂ emisija, g/m ²	Vidurkis per dieną, g/m ²
Kontrolinė	0,031	0,00079
1 Durpė	0,014	0,00037
2 Superfosfatas	0,024	0,00060
3 Perlitas	0,013	0,00034
4 Vermikulitas	0 014	0,00036

Apibendrinat šiuos tyrimus galima teigti, kad sorbentai yra labai veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš vištų mėšlo. Kaip parodė tyrimai, sorbentai veiksmingai mažino visų tirtų dujų (anglies dioksido, amoniako ir metano) emisijas tiek per visą bandymo laikotarpį tiek ir atskirais laikotarpiais. Didžiausiu veiksmingumu šių dujų emisijų mažinimui pasižymėjo perlitas ir vermikulitas, kurie padėjo sumažinti amoniako dujų emisijas 56,8 – 58,6 % ($p \leq 0,0001$), metano dujų emisijas 54,1 – 56,5 % ($p \leq 0,005$) o CO₂ emisijas perlitas sumažino 46,8 % ($0,05 \leq p \leq 0,1$). Be to tyrimai parodė, kad superfosfatas nebuvo efektyvus dujų emisijų iš vištų mėšlo mažinimui, nors gana efektyviai mažino amoniako ir metano dujų emisijas iš kiaulių mėšlo. Šiuos skirtumus galėjo įtakoti skirtinga kiaulių ir vištų mėšlo sudėtis ir jo sausųjų medžiagų kiekis. Apie skirtingą poveikį dujų emisijų mažinimui iš paukščių mėšlo skelbia ir kiti tyrėjai (Chen, H., Awasthi, M. K., et al., 2018; Wei, S., Bai, Z.H., et al., 2018; Peng S, Li H, Xu Q, Lin X, Wang Y., 2019; Montes, F., Meinen, R., et al., 2013).

4. IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

- Atlikti tyrimai parodė, kad siekiant mažinti amoniako ir ŠESD emisijas tikslinga panaudoti 3,0% ir 4,5% kiekio sorbentų kiekio, kuris leidžia sumažinti amoniako emisiją nuo 28,0 ($p \leq 0,05$) iki 42,7 % ($p \leq 0,001$), o metano emisiją nuo 2,1 ($p \leq 0,002$) iki 21,3% ($p \leq 0,001$). Sorbento 1,5% kiekio panaudojimas nėra labai efektyvus amoniako ir ŠESD emisijų mažinimui iš mėšlo.
- Kaip parodė skirtingo sorbentų įterpimo būdo poveikio dujų emisijoms tyrimai sorbentai, naudoti užberiant ant mėšlo paviršiaus arba tiesiogiai įterpiant į mėšlą, turėjo nevienodą poveikį skirtingoms dujų emisijoms. Anglies dioksido ir amoniako dujų emisijas šiaudai 35,6 % - 43,5% ($p \leq 0,01$ - $p \leq 0,005$) bei amoniako dujų emisiją superfosfatas 46,4 % ($p \leq 0,012$) efektyviau mažino užpilti ant mėšlo paviršiaus negu tiesiogiai įterpti į mėšlą, o perlitas tiesiogiai įterptas į mėšlą 25,4 % ($p \leq 0,001$) efektyviau mažino amoniako emisiją lyginant su užpiltu ant mėšlo paviršiaus. Nebuvo nustatyta ryškesnių skirtumų tarp skirtingų panaudojimo būdų analizuojant poveikį metano dujų emisijos mažinimui.
- Mėšlo laikymo metu įvyksta ryškūs mėšlo sudėties pokyčiai, kurių metu % padidėja sausųjų medžiagų, dėl padidėjusio sausųjų medžiagų kiekio padidėja organinės anglies kiekis, bei dėl emituoto azoto sumažėja amoniakinio ir nitratinio azoto kiekis. Amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms mažinti naudoti sorbentai įtakoja ir mėšlo sudėties

pokyčius. Dūrpės panaudojimas leidžia sumažinti N-NH₄ netekimą 34,2% (P= 0,006), perlitas – 40,7% (0,000), vermikulitas -45,4% (P= 0,000) lyginant su mėšlu be sorbentų. Mėšlas su dūrpėmis leidžia sumažinti N-NO₃ netekimą 48,4% (P= 0,009), perlitas – 41,5% (0,003), o vermikulitas -35,3% (P= 0,003) lyginant su mėšlu be sorbentų.

- Sorbentų poveiko amoniako, metano ir anglies dvideginio dujų emisijoms iš mėšlo tyrimai parodė, kad sorbentai yra veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš galvijų, gyvulių mėšlo, tačiau jų poveikis į atskiras dujas gali būti gana skirtingas. Sorbentų veiksmingumas labai priklauso ir nuo mėšlo laikymo laikotarpio. Sorbentų panaudojimas galvijų mėšlo laikymo metu leido sumažinti emisijas atskirais laikotarpiais, pavyzdžiui superfosfato ir perlito panaudojimas trečiąją dekadą CO₂ emisiją sumažino atitinkamai 46,0 % (p≤0,001) ir 60,3 % (p≤0,001), o šiaudų ir superfosfato panaudojimas pirmąją dekadą CH₄ emisiją sumažino atitinkamai 67,6 % (p≤0,05) ir 77,2 % (p≤0,05) lyginat su mėšlo rezervuarais be sorbentų. Mažiausią poveikį sorbentai padarė amoniako emisijoms, kur efektyviausias buvo superfosfatas, kuris pirmąją dekadą NH₃ emisiją sumažino 36,3 % (p≤0,05). Be to laikant galvijų mėšlą, kai kurie dujų emisijų procesai gali pasikeiti dėl galvijų mėšlo specifinės savybės ilgesnio laikymo metu formuoti natūralią plutą, kas gali sumažinti sorbentų veiksmingumą mažinant ŠESD ir amoniako dujų emisijas iš skysto galvijų mėšlo.
- Sorbentai yra veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš kiaulių mėšlo ir jų poveikis yra dar didesnis negu galvijų mėšlui. Kaip parodė tyrimai, sorbentai veiksmingiausiai mažino amoniako dujų emisijas tiek per visą bandymo laikotarpį tiek ir atskirais laikotarpiais. Didžiausiu veiksmingumu amoniako dujų emisijų mažinimui pasižymėjo superfosfatas, perlitas ir vermikulitas, kurie padėjo sumažinti emisijas 22,7-38,4 % (p≤0,005). Superfosfatas ir perlitas gana efektyviai mažino ir metano dujų emisijas (34,7-70,6 %, p≤0,05). Anglies dioksido dujų emisijų mažinimui ryškesnio poveikio naudoti sorbentai nepadarė, o kai kuriais atvejais ir nežymiai padidino šių dujų emisiją, nors patikimų skirtumų čia nebuvo nustatyta.
- Mūsų atlikti tyrimai parodė, kad sorbentai yra labai veiksminga priemonė, padedanti sumažinti anglies dioksido, amoniako ir metano dujų emisijas iš vištų mėšlo. Sorbentai veiksmingai mažino visų tirtų dujų (anglies dioksido, amoniako ir metano) emisijas tiek per visą bandymo laikotarpį tiek ir atskirais laikotarpiais. Didžiausiu veiksmingumu šių dujų emisijų mažinimui pasižymėjo perlitas ir vermikulitas, kurie padėjo sumažinti amoniako dujų emisijas 56,8 – 58,6 % (p≤0,0001), metano dujų emisijas 54,1 – 56,5 % (p≤0,005) o CO₂ emisijas perlitas sumažino 46,8 % (0,05≤p≤0,1). Be to tyrimai parodė, kad superfosfatas nebuvo efektyvus dujų emisijų iš vištų mėšlo mažinimui, nors gana efektyviai mažino amoniako ir metano dujų emisijas iš kiaulių mėšlo. Šiuos skirtumus galėjo įtakoti skirtinga kiaulių ir vištų mėšlo sudėtis ir jo sausųjų medžiagų kiekis.

NAUDOTŲ LITERATŪROS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

1. Awasthi M.K., Wang Q., Ren X., Zhao J.,Huang H., Awasthi S.K., Lahori A.H., Li R., Zhou L., Zhang Z. 2016. Role of biochar amendment in mitigation of nitrogen loss and greenhouse gas emission during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 219. 270–280.
2. Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R. *et al.* Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *npj Clim Atmos Sci* 2, 29 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0086-4>.
3. Chan, M. T., Selvam, A., & Wong, J. W. (2016). Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment. *Bioresource technology*, 200, 838-844.
4. Chen, H., Awasthi, M. K., Liu, T., Zhao, J., Ren, X., Wang, M.,& Zhang, Z. (2018). Influence of clay as additive on greenhouse gases emission and maturity evaluation during chicken manure composting. *Bioresource technology*, 266, 82-88.
5. Chmielowiec-Korzeniowska A., Tymczyna L., Wlazło Ł., Trawińska B., Ossowski M. Emissions of Gaseous Pollutants from Pig Farms and Methods for their Reduction – A Review. *Annals of Animal Science*. 2022;22(1): 89-107.

6. Chowdhury, M. A., de Neergaard, A., & Jensen, L. S. (2014). Potential of aeration flow rate and bio-char addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting. *Chemosphere*, *97*, 16-25.
7. Cluett, J., VanderZaag, A.C., Baldé, H., McGinn, S., Jenson, E., Hayes, A.C., Ekwe, S. (2020). Effects of Two Manure Additives on Methane Emissions from Dairy Manure. *Animals*, *10*, 807.
8. Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., Lange, M., Lionello, P., Lla-sat, M., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M., & Xoplaki, E. (2019). Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. *The British Journal of Psychiatry*, *111*(479), 1009–1010.
9. Yin, Y., Yang, C., Li, M., Zheng, Y., Ge, C., Gu, J., Chen, R. (2021). Research progress and prospects for using biochar to mitigate greenhouse gas emissions during composting: a review. *Science of The Total Environment*, *798*, 149294.
10. Jing Yuan, Difang Zhang, Longlong Du, Fan Yang, Guoxue Li & Yuan Luo (2019) Effect of Woody Peat as an Additive on Maturity and Gaseous Emissions During Pig Manure Composting, *Compost Science & Utilization*, *27*:2, 69-80, DOI: 10.1080/1065657X.2018.1507850.
11. Kavanagh, I., Burchill, W., Healy, M. G., Fenton, O., Krol, D. J., & Lanigan, G. J. (2019). Mitigation of ammonia and greenhouse gas emissions from stored cattle slurry using acidifiers and chemical amendments. *Journal of Cleaner Production*, *237*, 117822.
12. Luo, Y., Li, G., Luo, W., Schuchardt, F., Jiang, T., & Xu, D. (2013). Effect of phosphogypsum and dicyandiamide as additives on NH₃, N₂O and CH₄ emissions during composting. *Journal of Environmental Sciences*, *25*(7), 1338-1345.
13. Mao, H., Zhang, H., Fu, Q., Zhong, M., Li, R., Zhai, B., & Zhou, L. (2019). Effects of four additives in pig manure composting on greenhouse gas emission reduction and bacterial community change. *Bioresource Technology*, *292*, 121896.
14. Matulaitis, R., Juškieñė, V., & Juška, R. (2015). Measurement of methane production from pig and cattle manure in Lithuania. *Zemdirbyste-Agriculture*, *102*(1).
15. Maurer, D. L., Koziel, J. A., Kalus, K., Andersen, D. S., & Opalinski, S. (2017). Pilot-scale testing of non-activated biochar for swine manure treatment and mitigation of ammonia, hydrogen sulfide, odorous volatile organic compounds (VOCs), and greenhouse gas emissions. *Sustainability*, *9*(6), 929.
16. Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., & Dijkstra, J. (2013). SPECIAL TOPICS—mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of animal science*, *91*(11), 5070-5094.
17. Peng S, Li H, Xu Q, Lin X, Wang Y. Addition of zeolite and superphosphate to windrow composting of chicken manure improves fertilizer efficiency and reduces greenhouse gas emission. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2019 Dec;*26*(36):36845-36856. doi: 10.1007/s11356-019-06544-6. Epub 2019 Nov 19. PMID: 31745796.
18. Rey, J., Atxaerandio, R., Ruiz, R., Ugarte, E., González-Recio, O., Garcia-Rodriguez, A., & Goiri, I. (2019). Comparison between non-invasive methane measurement techniques in cattle. *Animals*, *9*(8), 563.
19. Szymula, A.; Wlazło, Ł.; Sasáková, N.; Wnuk, W.; Nowakowicz-Dębek, B. The Use of Natural Sorbents to Reduce Ammonia Emissions from Cattle Faeces. *Agronomy* **2021**, *11*, 2543.
20. Wang, Q., Awasthi, M. K., Ren, X., Zhao, J., Li, R., Wang, Z., & Zhang, Z. (2018). Combining biochar, zeolite and wood vinegar for composting of pig manure: the effect on greenhouse gas emission and nitrogen conservation. *Waste Management*, *74*, 221-230.
21. Wang, Q., Wang, Z., Awasthi, M. K., Jiang, Y., Li, R., Ren, X., & Zhang, Z. (2016). Evaluation of medical stone amendment for the reduction of nitrogen loss and bioavailability of heavy metals during pig manure composting. *Bioresource Technology*, *220*, 297-304.

22. Wei, S., Bai, Z.H., Chadwick, D., Hou, Y., Qin, W., Zhao, Z.Q., Jiang R.F., Ma, L. Greenhouse gas and ammonia emissions and mitigation options from livestock production in peri-urban agriculture. Beijing- Acase study. Journal of Cleaner Production, 178, 2018, 515-525.
23. Wu J, He S, Li G, Zhao Z, Wei Y, Lin Z, Tao D. Reducing ammonia and greenhouse gas emission with adding high levels of superphosphate fertilizer during composting. Environ Sci Pollut Res Int. 2019 Oct;26(30):30921-30929. doi: 10.1007/s11356-019-06209-4. Epub 2019 Aug 24. PMID: 31446594.

5. PROJEKTO VEIKLŲ VIEŠINIMAS

Projekte vykdomos veiklos bei gauti rezultatai buvo pristatomi įvairiuose renginiuose šalies viduje ir už jos ribų. Informacija apie projektą buvo patalpinta LSMU Gyvulininkystės instituto tinklalapyje. Buvo parengtos kelios mokslinės publikacijos ir informacinis straipsnis apie priedų/sorbentų panaudojimo efektyvumą mažinant ŠESD ir amoniako dujų emisijas iš mėšlo. Šiuo metu rengiama dar viena publikacija į MDPI sitemos žurnalą "Agriculture". Buvo organizuotas seminaras ir lauko diena, skaityti pranešimai įvairiose kitose konferencijose ir seminaruose.

Pranešimai tarptautinėse konferencijose:

1. **Juškienė V.** Impact of sorbent application on NH₃ and CO₂ and CH₄ gas emissions from dairy cattle manure // 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP). 2023): August 28. 2023, Lyon, France
2. **Juškienė V.** Impact of natural sorbents application to reduce NH₃ and CO₂ and CH₄ gas emissions from dairy cattle manure // Seminar „Study and monitor manure storages and innovative handling techniques“, May 22, 2023, Florence, Italy.
3. Vergé, Xavier; Robin, Paul; Nadège, Edouard; Becciolini, Valentina; Cieslak, Adam; Szumacher, Malgorzata; Fehmer, Lena; Galama, Paul; **Juškienė, Violeta; Kadžienė, Gitana;** Ruska, Diana. Development of a screening method for GHG and NH₃ measurements – first results based on a European study / ASPA 25th Congress: Monopoli, Italy, June 13–16, 2023

Organizuoti renginiai:

- Lauko diena-seminaras „ŠESD ir amoniako dujų emisijų mažinimo galimybės gyvulininkystės ūkiuose“. LSMU Gyvulininkystės institutas, Baisogala, 2024 m. Rugsėjo 7 d
- Seminaras „Lietuvos žemės ūkio žalioji transformacija: ŠESD emisijų mažinimo galimybės“. LSMU Gyvulininkystės institutas, Baisogala, 2024 vasario 7 d.

Pranešimai nacionaliniuose renginiuose:

1. **Juška R.** Šiltnamio efektą sukeliančių dujų, susidarančių gyvulininkystėje, emisijos, jų kaita ir mažinimo būdai./seminaras „Lietuvos žemės ūkio žalioji transformacija: iššūkiai ir sprendimai“. . LSMU Gyvulininkystės institutas, Baisogala, 2024 birželio 12.
2. **Juškienė V, Juška R.** ŠESD emisijų mažinimo galimybės gyvulininkystėje / Konferencija „Tvarioji gyvulininkystė: iššūkiai ir galimybės“. Akademija, Kauno r. 2024 Rugsėjo 27 d.
3. **Juškienė V.** Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ir galvijininkystės įtaka klimato kaitai/ konferencija "Tvari gyvulininkystės: iššūkiai mokslui" LSMU Gyvulininkystės institutas, Baisogala, 2024 gegužės 25 d..

Parengtos mokslinės publikacijos:

1. **Juškienė, Violeta; Juška, Remigijus; Kadžienė, Gitana; Stankevičienė, Daiva; Juodka, Robertas.** Impact of sorbent application on NH₃ and CO₂ and CH₄ gas emissions from dairy cattle manure // Book of Abstracts of the 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP 2023): Lyon, France 26 August - 1 September 2023 / European Federation of Animal Science, t. Vol. 29, p. 179 - 179, ISBN 9789086863846, 9789086869367, ISSN 1382-6077. Prieiga per internetą: [T1e] [M.kr.: A003]
2. Vergé, Xavier; Robin, Paul; Nadège, Edouard; Becciolini, Valentina; Cieslak, Adam; Szumacher, Malgorzata; Fehmer, Lena; Galama, Paul; **Juškienė, Violeta; Kadžienė, Gitana;** Ruska, Diana. Development of a screening method for GHG and NH₃ measurements – first results based on a European study // Italian Journal of Animal Science: The 25th congress of the Animal Science and Production Association “Animal Production Science: Innovations and sustainability for future generation” : Monopoli, Italy, June 13–16, 2023 / Guest Editors D’Alessandro Angela Gabriella, De Palo Pasquale, Maggiolino Aristide, Mele Marcello, t. 22, nr. supp. 1, p. 89 - 89, ISSN 1828-051X, 1594-4077. doi:10.1080/1828051X.2023.2210877. Prieiga per internetą: Science Citation Index Expanded (Web of Science); Scopus; Index Copernicus. [T1a] [M.kr.: A003] [Citav. rodiklis: 2.5, bendr. cit. rod.: 2.4, kvartilis: Q1 (2023. InCites JCR SCIE)]

SUDERINTA:

Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas

(Vardas, Pavardė)

(Data)