

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS

TVIRTINU: 

Žemės ūkio akademijos kanclerė

Astrida Miceikienė

2023 m. lapkričio mėn. 06 d.

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

Mėšlo ir nuotekų tvarkymo statinių technologinio projektavimo metodinių rekomendacijų įvertinimas ir atnaujinimas

2023 M. GALUTINĖ ATASKAITA

Tyrimo vadovas: Rolandas Bleizgys

Akademija, Kauno r.
2023

Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros projekto užsakovas – LR Žemės ūkio ministerija
(2023 m. gegužės 19 d. sutartis Nr. MT-23-12).

Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros projekto vykdymo vieta – Vytauto Didžiojo
Universiteto Žemės Ūkio Akademinė

Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros projekto vykdytojai:
Prof. dr. Rolandas Bleizgys (VDU ŽŪA, technologijos mokslai);
Doc. dr. Jonas Čėsna (VDU ŽŪA, technologijos mokslai);
Doc. dr. Vilma Naujokienė (VDU ŽŪA, technologijos mokslai).

Projekto pradžia: 2023 m.

Projekto pabaiga: 2023 m.

Turinys

Įvadas	5
1.TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI	7
2.AMONIAKO GARAVIMO PROCESAS IŠ MĚŠLO	11
3.ORO TARŠOS MAŽINIMAS GYVULININKYSTĖJE	15
3.1. Amoniako emisiją iš mėšlo mažinantys veiksniai	15
3.2. Amoniako emisijos iš mėšlo mažinimo bendrosios priemonės	26
3.3. Amoniako emisijos mažinimas iš tvartų	27
3.4. Amoniako emisijos mažinimas iš mėšlidžių	29
3.5. ŠESD emisijos mažinimas gyvulininkystėje	30
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	35
Paskelbtų straipsnių sąrašas	38
Rekomendacijos Mėšlo ir nuotekų tvarkymo statinių technologinio projektavimo taisyklių ŽŪ TPT 03:2010 papildymui	39
Rekomendacijos mėšlidžių eksploatavimo bendrosioms taisyklėms	44
Informacijos šaltinių sąrašas	46
PRIEDAI	50

SAVOKOS

CH_4	metanas
CO_2	anglies dioksidas
<i>Dujų emisija</i>	natūraliai ar dirbtinai bet kokios dujinės medžiagos išleidimas į atmosferą
<i>Garavimas</i>	medžiagos virsmas iš skystos į dujinę agregatinę būseną
H_2S	sieros vandenilis
<i>Kreikiama guoliavietė</i>	guoliavietė, klojama kraiku, siekiant įrengti minkštą ir šiltą guolį
<i>Mikroklimatas</i>	patalpos terminų, oro švaros, apšviestumo, triukšmo ir kt. rodiklių visuma
NH_3	amoniakas
<i>ppm</i>	cheminės koncentracijos matavimo vienetas, milijoninė dalis (<i>angl. parts per million</i>)
<i>Pusškystis mėšlas</i>	mėšlas, turintis 12–20 % sausųjų medžiagų
<i>SG</i>	sutartinis gyvulyš – sutartinis vienetas, kuriuo nusakomas mėšlo šaltinis. Vieno SG per metus išskiriamame mėšle yra 100 kg bendrojo azoto.
<i>Skystasis mėšlas</i>	mėšlas, turintis ne daugiau kaip 12 % sausųjų medžiagų
<i>Srutos</i>	skystis, susidedantis iš gyvūnų šlapimo, kritulių ir kitokių iš mėšlo ištekančių ar nuo mėšlinų paviršių nutekančių nuotekų
<i>ŠESD</i>	šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Svarbiausios yra anglies dioksidas, metanas, azoto suboksidas ir fluorintos dujos
<i>Šiltnamio efektas</i>	Procesas, kurio metu atmosferoje esančios šiltnamio efektą sukeliančios dujos sugeria Žemės į kosmosą atspindimą šilumą, ir kyla planetos temperatūra
<i>Tirštasis mėšlas</i>	mėšlas, turintis ne mažiau kaip 20 % sausųjų medžiagų
<i>SM</i>	sausosios medžiagos
OUE/m^3	europinis kvapo vienetas - kvapiosios medžiagos (kvapiųjų medžiagų) kiekis, kuris išgarintas į 1 kubinį metrą neutraliųjų dujų standartinėmis sąlygomis sukelia kvapo vertintojų grupės fiziologinį atsaką (aptikimo slenkstis), ekvivalentišką sukeliama vienai europinės pamatinės kvapo masės (EROM), išgarintos į vieną kubinį neutraliųjų dujų metrą standartinėmis sąlygomis

Įvadas

Lietuva, kaip ir kitos ES valstybės privalo imtis priemonių sumažinti į atmosferą išmetamų teršalų kiekį. Oro taršos mažinimo technologijų diegimas žemės ūkyje yra būtinas, siekiant užtikrinti ilgalaikį Lietuvos gyvulininkystės ūkių konkurencingumą. Labai svarbu mažinti nuostolius, patiriamus dėl oro taršos, taip pat gerinti gyvulių laikymo ir darbuotojų darbo sąlygas ir užtikrinti tarptautinių įsipareigojimų įgyvendinimą.

Vadovaujantis Europos parlamento ir tarybos direktyva (ES) 2016/2284, 2030 m. Lietuva turi pasiekti oro taršos mažinimo progresą - sumažinti amoniako emisijas 10% lyginant su 2005 metais. Šiuo metu Lietuvoje pagal higienos normą HN 121:2010, kvapų koncentracija gyvenamosios aplinkos ore neturi viršyti 8 OUE/m³. Ūkio subjektai nuo 2024 m. sausio 1d. privalės užtikrinti, kad kvapai gyvenamosios aplinkos ore dėl planuojamos / vykdomos ūkinės veiklos neviršytų 5 OUE/m³. Griežtėjantys reikalavimai kvapams atitinka aplinkinės ūkių bendruomenės interesus, tačiau gyvulininkystės ūkiams kelia papildomus iššūkius įgyvendinti naujus reikalavimus. Pagrindinis nemalonių kvapų šaltinis gyvulininkystėje yra amoniakas.

Plėtojant gyvulininkystę išsiskiria šiltnamio efektą sukeliančios dujos (metanas – CH₄, anglies dioksidas – CO₂, azoto suboksidas – N₂O) ir dujos tiesiogiai žalojančios ekosistemą (amoniakas – NH₃). Gyvulininkystėje į aplinką NH₃ išskiriama apie 90% bendros emisijos (Murawska, 2021), jo garavimas vyksta visuose mėšlo susidarymo, saugojimo bei paskleidimo ant dirvos etapuose. Amoniako emisijos į aplinką procesų tyrimams gyvulininkystėje skiriama daugiau dėmesio nei kitoms dujoms (Ni ir kt., 2021). Atlikta daug mokslinių tyrimų, kuriuose buvo analizuojami mikroklimatiniai veiksniai, jų svarba ir įtaka mikroklimatui karvidėse: oro judėjimo greičio (Zhang ir kt., 2008; Saha ir kt., 2010), oro temperatūros (Wu ir kt., 2012; Ngwabie ir kt., 2011; Pereira ir kt., 2012), santykinio oro drėgčio (Morsing ir kt., 2008), mėšlu užterštų paviršių plotų (Stelt ir kt., 2007).

Galvijai yra svarbus išmetamųjų teršalų šaltinis ir turi didžiausius emisijos koeficientus, palyginti su kitais gyvūnais (Ding ir kt., 2020). Vokietijos gyvulininkystės sektoriuje daugiausia išmetama amoniako natūraliai vėdinamuose galvijų tvartuose (Bobrowski ir kt., 2021). Šiai nuomonei pritaria ir kitų šalių mokslininkai (Pereira ir kt., 2014), natūraliai ventiliuojami pieninių galvijų tvartai yra vienas pagrindinių amoniako ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos šaltinių į atmosferą.

Gyvulininkystės ūkiai stambėja, kuriuose yra geresnės galimybės diegti oro taršos mažinimo priemones. Pirmiausia reikia tinkamai suprojektuoti visus ūkio statinius, mėšlo tvarkymo statinius reikia projektuoti diegiant naujausias ir pažangiausias technologijas, kad būtų mažinama oro tarša gyvulininkystės ūkiuose ir ūkinės veiklos poveikis klimato kaitai.

Projekto tikslas – atnaujinti ir papildyti pažangiausiaisiais techniniais, technologiniais ir aplinkosauginiais sprendimais mėšlo ir nuotekų tvarkymo statinių projektavimo taisyklės bei parengti rekomendacijas mėšlidžių eksploatavimo bendrosioms taisyklėms.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti taikomų mėšlo tvarkymo statinių technologinio projektavimo taisyklių techninius, technologinius ir aplinkosauginius sprendimus.
2. Patikslinti projektavimo taisykles įvertinant technologinius pokyčius gyvulininkystėje, aplinkosaugos keliamus reikalavimus, nacionalinės ir ES teisės aktų pakeitimus, gerąją kitų šalių patirtį bei mokslo institucijų atliktus tyrimus mėšlo tvarkymo srityje.
3. Papildyti taisykles metodinėmis rekomendacijomis, pažangiausiai prieinamais techniniais, technologiniais ir aplinkosauginiais sprendimais, leidžiančiais sumažinti oro taršą amoniaku, ūkinėje veikloje susidarancius kvapus bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.
4. Parengti rekomendacijas mėšlidžių eksploatacijai, siekiant sumažinti oro taršą.

1.TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAI

Tyrimų objektas: mėšlas ir mėšlo tvarkymo technologijos bei sistemos.

Atliekami eksperimentiniai ir analitiniai tyrimai. Mėšlo tvarkymo technologiniai sprendimai vertinami pagal optimalių gyvūnų laikymo sąlygų sudarymą, darbo sąnaudas, našumą ir poveikį aplinkos taršai. Eksperimentiniai tyrimai atliekami gamybinėse fermose ir laboratorinėmis sąlygomis.

Gyvūnų laikymo sąlygos įvertinamos pagal gyvūnų elgseną, aplinkos higieną, oro kokybę. Žmogaus darbo sąlygos įvertinamos pagal darbo krūvį, darbo aplinką: triukšmą, apšvietumą, oro kokybę, aplinkos švarą. Aplinkos higiena ir oro kokybė įvertinama pagal statinių konstrukcinių dalių šilumines savybes, mėšlu užteršiamus plotus tvarte bei vėdinimo sistemos parametrus (oro tiekimo ir šalinimo angų plotus).

Oro tarša vertinama pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) ir amoniako (NH_3) emisijas. Pagrindinės išmetamosios ŠESD – anglies dioksidas (CO_2), metanas (CH_4), azoto suboksidas (N_2O). Šių dujų emisija vertinama CO_2 dujų ekvivalentu.

Įvairiais metų laikais analizuojama oro temperatūra ir drėgnis lauke bei šie mikroklimato veiksniai tvarte: oro temperatūra, drėgnis, greitis, amoniako koncentracija. Duomenys fiksuojami kas vieną valandą. Įvertinus tvarto statybinių konstrukcijų šilumines savybes, oro temperatūros, drėgnio, amoniako koncentracijos kaitą tvarte, nustatomos galimybės mažinti amoniako emisiją iš mėšlo tvarte. Matuojant oro temperatūrą tvarte ir lauke, pagal temperatūrų skirtumą valdomas vėdinimo intensyvumas. Vėdinimo intensyvumas reguliuojamas keičiant ortakių skerspjuvių plotus. Reguluojant vėdinimo intensyvumą ieškoma sprendimų kaip tvarte sukurti šiluminio komforto sąlygas gyvūnams ir užtikrinti gerus oro švaros rodiklius, kad oro drėgnis bei amoniako dujų koncentracija atitiktų normas. Oro temperatūra ir santykinis drėgnis registruojami kas valandą temperatūros–drėgnio programuojamais autonomiais matuokliais MicroLite LITE5032P-RH. Tyrimams naudojami 6 matuokliai, iš jų 2 pakabinami lauke, kiti 4 įvairiose vietose tvarte. Temperatūros matavimo ribos nuo -35°C iki $+85^\circ\text{C}$, matavimo tikslumas $\leq \pm 0,5^\circ\text{C}$ matuojamos reikšmės; oro santykinio drėgnio matavimo ribos nuo 0% iki 100%, matavimo tikslumas $\leq \pm 3\%$ matuojamos reikšmės. Prieš padedant bandymus temperatūros ir drėgnio matuokliai kompiuteriu suprogramuojami reikiamiems bandymų režimams, naudojant Fourtec programa.

Oro greitis matuojamas sparneliniu anemometru: sparnelių vamzdžio skersmuo 80 mm, matavimo ribos 0,2 – 20 m/s; matavimo tikslumas $\leq \pm 1,5\%$ matuojamos reikšmės. Matuojant oro greitį karvidėje naudojamas 200 mm skersmens oro srauto formavimo ir oro srauto suintensyvinimo kūginis gaubtas.

Amoniaکو dujų koncentracijai karvidėse nustatyti imami oro mėginiai ir koncentracija išmatuojama laboratorijoje lazeriniu dujų analizatoriumi "GME700". Oro mėginiai paimami 10 litrų talpos maišeliuose skirtinguose aukščiuose, temperatūros ir oro drėgno matavimo vietose. Atvežti maišeliai laboratorijoje sujungiami su analizatoriumi, kurio siurblys išsiurbia orą iš jų ir išmatuoja amoniako koncentraciją. Analizatoriaus matavimo ribos NH₃ nuo 0 ppm iki 2000 ppm, matavimo principas – lazerinė spektroskopija. Analizatoriuje įrengtas siurbiamų dujų pašildymas, todėl dujų kondicionavimo priemonėmis užtikrinama, kad celė nebūtų užteršta ir joje nesusidarytų kondensatas. Siekiant užtikrinti, kad darbinė temperatūra būtų didesnė už ėminio rasos taško temperatūrą, naudojamos elektra šildomos trikanalės sklendės. Oro mėginiai karvidėse paimti specialiu įtaisu Ecoma CSD 30.

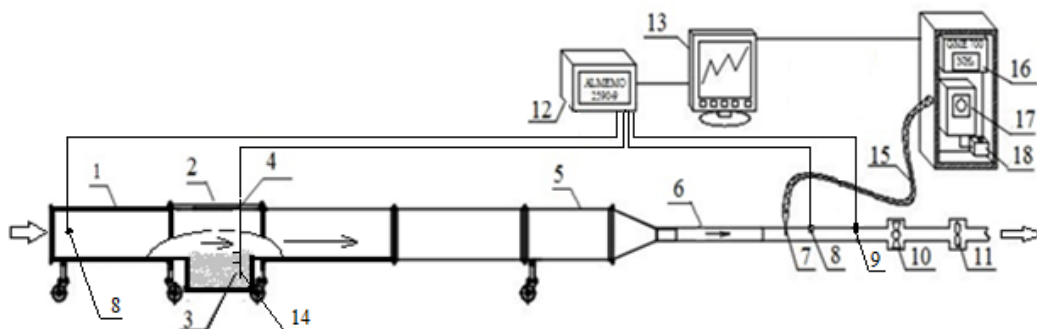
Detalūs dujų emisijos iš mėšlo tyrimai atliekami Termoenerginų procesų ir emisijų laboratorijoje (VDU ŽŪA). Laboratorinėmis sąlygomis tyrimai atliekami vėjo tunelyje (1.1 pav.), kuriame modeliuojant sąlygas tvartuose analizuojamas amoniako dujų garavimo procesas iš mėšlo ir įvairių veiksnių poveikis jam. Stende terminų veiksnių dydžiai, kurie daro didžiausią įtaką amoniako garavimui iš mėšlo, atitinka juos karvidėse arba kituose tvartuose. Tai yra oro judėjimo greitis, temperatūra, oro drėgnis. Oro srauto greitis virš mėšlo kinta nuo 0 iki 1 m/s, oro temperatūra 12-25 °C. Kad išvengtų oro turbolencijos vėjo tunelyje, jo ilgis už skersmenį didesnis daugiau nei 10 kartų. Vėjo tunelio skerspjūvis yra kvadratas, kurio kraštinės ilgis 0,40 m, vėjo tunelio ilgis 6,0 m. Vėjo tunelis pagamintas iš chemiškai stabilios medžiagos: nerūdijančio plieno. Dujų emisijos intensyvumui tirti taikytas masės srauto metodas. Žinant kameros vėjo tunelyje vėdinimo intensyvumą G (m³·h⁻¹) ir dujų koncentraciją į kamerą įeinančiame C_e (mg m⁻³) ir iš jos šalinamame ore C_o , dujų emisijos intensyvumas E_{NH_3} (mg h⁻¹) apskaičiuojamas:

$$E_{NH_3} = (C_o - C_e)G \quad (1.1)$$

Tyrimai atliekami su skystuoju ir tirštuoju mėšlu, nustatomas sausųjų medžiagų kiekis jame ir atliekami dujų emisijos tyrimai. Mėšlas išpilamas ir išlyginamas 0,20-0,25 m storio sluoksniu kameroje mėšlui laikyti (3). Kamera su mėšlu talpinama vėjo tunelyje, sekcijoje mėšlui laikyti (4). Ventilatoriumi (11) siurbiamas oras iš vėjo tunelio ir taip sukuriamas reikiamas oro srautas virš mėšlo. Ventilatorius įrengtas oro ištraukimo ortakyje (6), kurio skersmuo 100 mm. Ortakio ilgis 1,50 m, t.y. daugiau kaip 10 kartų ilgesnis nei skersmuo. Tai padeda išvengtų oro turbolencijos ortakyje. Vėjo tunelio vėdinimo intensyvumas keičiamas oro ištraukimo ortakyje (6) sumontuota sklende (10) keičiant ortakio skerspjūvio plotą ir dažnio keitikliu keičiant ventilatoriaus (11) sūkius. Oro mėginiai iš ortakio (6) paimami zondais (7) ir šildoma žarna (15) tiekiami į dujų analizatorių (16). Oras į analizatorių tiekiamas nepertraukiamai siurbliu (18),

kurio našumas 6 l/min. Kad oras nesikondensuotų, jis pašildomas žarnoje (15) ir elektra šildomose sklendėse (17) pakaitinamas iki 150°C. Pradedant tyrimus dujų analizatorius ir duomenų matuoklis-kaupiklis „Almemo 2590-9“ (12) suderinami tarpusavyje, bei užprogramuojami fiksuoti duomenis kas 1 min.

Amoniakio (NH₃) dujų koncentracija matuojama analizatoriumi GME700 (SICK MAIHAK GmbH, Vokietija) (16). Matavimo ribos nuo 0 ppm iki 2000 ppm. Šio prietaiso matavimo principas - lazerinė spektroskopija, tikslumas 2-4 %. Esant oro srautui 6 l min⁻¹ ir amoniako koncentracijai ore ne didesnei kaip 30 ppm, analizatorius tiksliai išmatuoja amoniako koncentraciją ore per 60-80 s, per tiek laiko stabilizuojasi matuojamos reikšmės. Analizatoriuje įrengtas siurbiamų dujų pašildymas, todėl dujų kondicionavimo priemonėmis užtikrinama, kad celė nebūtų užteršta ir joje nesusidarytų kondensatas. Siekiant užtikrinti, kad darbinė temperatūra būtų didesnė už ėminio rasos taško temperatūrą, naudojamos elektra šildomos trikanalės sklendės. Darbo režimas: automatinis (nepertraukiamas arba ciklinis matavimas su duomenų kaupimu).



1.1 pav. Amoniakio emisijos iš mėšlo tyrimų vėjo tunelyje schema: 1 - vėjo tunelio korpusas; 2 - dangtis; 3 - kamera mėšlui laikyti; 4 - sekcija mėšlui laikyti; 5 - perėjimo kūgis; 6 - ortakis (100 mm skersmens); 7 - oro mėginių ėmimo zondas; 8 - temperatūros ir drėgno jutikliai; 9 - termoanemometro jutiklis; 10 - sklendė; 11 - ventiliatorius su dažnio keitikliu; 12 - matuoklis-kaupiklis „Almemo 2590-9“; 13 - kompiuteris (programa AMR); 14 - termoporos; 15 - šildoma oro tiekimo žarna; 16 - lazerinis dujų analizatorius „GME700“; 17 - elektra šildomos trikanalės sklendės; 18 - membraninis oro siurblys.

Į vėjo tunelį patenkančio ir iš jo šalinamo oro temperatūra ir drėgmė matuojama temperatūros ir drėgmės jutikliais (8), sujungtais „Almemo 3290-8“ (Ahlborn GmbH, Vokietija) sistemoje (12). Matavimo ribos: temperatūros nuo -30...60°C, santykinio oro drėgno – 5...98%, prietaiso tikslumas ±0,1 %. Mėšlo temperatūra matuojama temperatūros jutikliais – termoporomis (14). Termopora pagaminta iš 0,5 mm skersmens drėgmei atsparia izoliacija padengtų laidų. Temperatūros matavimo skyra – 0,1°C. Termoporos jungiamos su matuokliu-kaupikliu „Almemo 2590 – 9“ (Ahlborn GmbH, Vokietija).

Mėšlo temperatūra matuojama su 9 termojutikliais (4), kurie pagaminti iš Cu–CuNi (vario–konstantano) 0,5 mm skersmens. Minimalios temperatūros matavimo ribos yra nuo -25 °C iki 200 °C. Temperatūros matavimo skyra – 0,1 °C. Temperatūros matavimai buvo registruoti kompiuteriu valdomu prietaisu Almemo 2590-9 (Ahlborn GmbH, Vokietija).

Į mėšlo kamerą patenkančio ir iš jos šalinamo oro temperatūra ir drėgnis matuojama temperatūros ir drėgnio jutikliais (8), sujungtais Almemo 2590–9 sistemoje (14). Matavimo ribos: temperatūros nuo –30...60 °C, santykinio oro drėgnio – 5...98 %, prietaiso tikslumas $\pm 0,1$ %. Almemo 2590-9 sistemoje pajungtas anemometras (9), su kuriuo ortakyje matuojamas oro judėjimo greitis ir perskaičiuojamas į oro srauto intensyvumą. Matavimo ribos 0–10 m s⁻¹, tikslumas $\pm 0,1$ m s⁻¹.

Mėšle sausųjų medžiagų kiekis nustatomas remiantis standarto LST 1530:2004 reikalavimais. Į kiekvieną džiovavimo talpą buvo dedama apie 200 g mėšlo ir formuojamas 8 cm aukščio sluoksnis. Paruoštas džiovinimui mėginys buvo talpinamas į džiovavimo spintą Memmert Model 100-800, džiovinamas 105 °C temperatūroje. Mėšlo džiovinimas nutraukiamas, kai mėšlas išdžiūsta iki pastovios masės, ir mėšlo mėginiai pasveriami. Pagal gautą svorį apskaičiuojamas sausųjų medžiagų kiekis mėšle. Kiekvieną kartą nustatant mėšlo sausųjų medžiagų kiekį buvo atliekami ne mažiau 8 pakartojimai.

Vandenilio jonų rodiklio (pH) reikšmė mėšle nustatoma prietaisu pH-metru HI98129–HI98130. pH-metras - tai elektroninis aparatas, kurio matavimo ribos nuo 0 iki 14,0 pH, matavimo tikslumas - 0,05 pH matuojamos reikšmės.

Gauti eksperimentinių tyrimų rezultatai perskaičiuojami į sąlyginius dydžius: amoniako emisijos intensyvumą vienam kvadratiniam metrui mėšlo paviršiaus ploto (mg·m⁻²·h⁻¹); vėdinimo intensyvumą vienam kvadratiniam metrui mėšlo paviršiaus ploto (m³·m⁻²·h⁻¹).

2. AMONIAKO GARAVIMO PROCESAS IŠ MĚŠLO

Priklausomai nuo mėšle esančių sausųjų medžiagų kiekio, mėšlas būna tirštasis, pusskystis ir skystasis. Mėšlo cheminė sudėtis priklauso nuo gyvulių ir paukščių rūšies, šėrimo raciono, kraiko rūšies, kiekio. Tirštosios ir skystosios išmatų frakcijos cheminė sudėtis taip pat yra nevienoda. Azoto daugiausia yra skystojoje frakcijoje (apie du trečdalius). Laikant mėšlą, jis aerobinėmis ir anaerobinėmis sąlygomis skaidosi, susidaro organinės rūgštys ir humusingos medžiagos. Aerobinėmis sąlygomis organinės medžiagos skaidomos daug sparčiau negu anaerobinėmis, o skaidymo greitis priklauso nuo mėšlo drėgnumo, temperatūros, cheminės sudėties ir deguonies kiekio. Skystąsias gyvulių išmatas sudaro šlapalas (karbamidas) $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, hipuro rūgštis $\text{C}_6\text{H}_5\text{CONHCH}_2\text{COOH}$ ir šlapimo rūgštis $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$. Iš jų greičiausiai skaidosi šlapalas, lėčiau – hipuro rūgštis ir lėčiausiai – šlapimo rūgštis. Veikiamas ureazės, kurią gamina urobakterijos, šlapalas greitai virsta amonio karbonatu:



Amonio karbonatas – nepatvarus junginys, lengvai skylantis į amoniaką, anglies dioksidą ir vandenį:



Taigi, amoniakas intensyviausiai garuoja iš gyvulių šlapimo, skylant jame esančiam karbamidui.

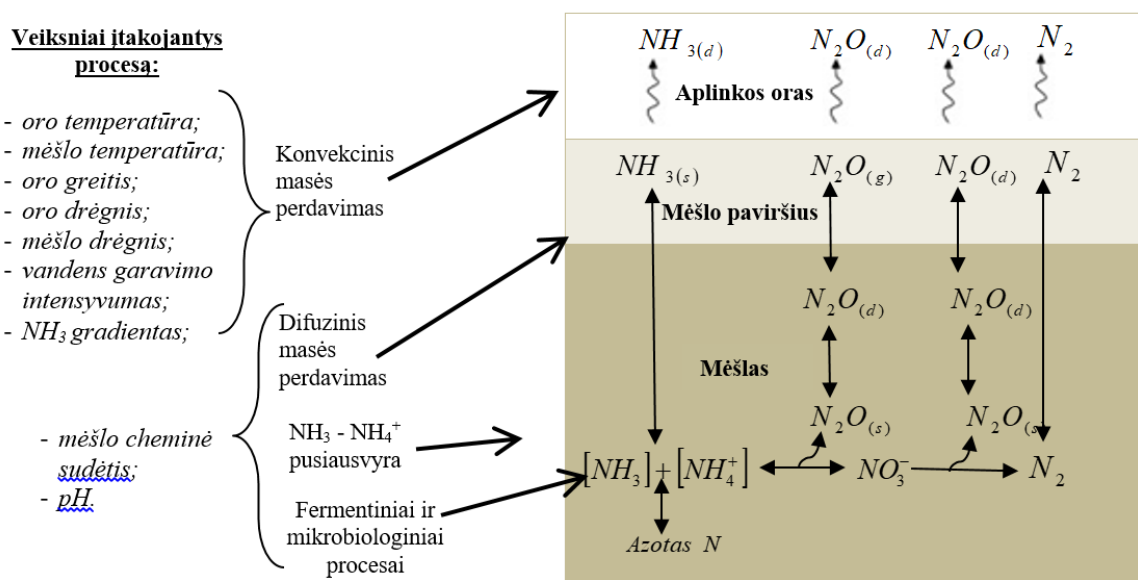
Amoniakas (NH_3) – tai bespalvės, aitraus kvapo, sprogios, degios ir toksiškos dujos.

2.1 lentelėje pateikiamos amoniako cheminės, fizikinės, šiluminės savybės.

2.1 lentelė. Amoniako cheminės, fizikinės, šiluminės savybės

Molekulinė masė	17,03 g mol ⁻¹
Skystojo amoniako tūris	1,43 m ³ kg ⁻¹
Skystojo amoniako tankis	686 kg m ⁻³
Amoniako dujų tankis esant virimo temperatūrai	0,86 kg m ⁻³
Amoniako dujų tankis esant 15°C temperatūrai	0,73 kg m ⁻³
Amoniako dujų tūris esant 21°C temperatūrai	1,411 m ³ kg ⁻¹
Amoniako virimo temperatūra	-28°F, -33,3 °C
Amoniako specifinė garavimo šiluma esant virimo temperatūrai	1373 kJ kg ⁻¹
Amoniako užšalimo temperatūra	-77,7 °C
Amoniako tirpumas vandenyje esant 0 °C temperatūrai	89,9 g/100 ml

Amoniakas (NH_3) molekulę sudaro keturios poros elektronų, trys vandenilio poros susietos tarpusavyje ir viena azoto pora. Amoniakas yra dujinis azoto ir vandenilio junginys, labai tirpus vandenyje. NH_3 molekulių poliškumas ir jų sugebėjimas sudaryti vandenilinius ryšius sąlygoja didelį amoniako tirpumą vandenyje. Vandenyje didžioji dalis amoniako virsta į amonį (NH_4^+ joninę amoniako formą), todėl terminas "amoniakas" apima nejonizuotą formą – amoniaką (NH_3) ir amonio katijoną (NH_4^+). Pirminiai amoniako šaltiniai gyvulių tvarte yra šlapalas, šlapimo rūgštis. Gyvulių šlapime karbamidas yra pagrindinė azoto sudedamoji dalis. Karbamido hidrolizė ir šlapimo rūgštis gamina visą amoniakinį azotą (Sommer ir kt., 2000; Bussink ir kt., 1998). Šlapimo rūgštis ir nesuvirškinto baltymo skilimą įtakoja temperatūros, pH ir drėgmės kiekis (Whitehead ir kt., 1993). Antrinis amoniako (NH_3) šaltinis gyvulių tvarte yra išmatos (Ahring, 2003). Iš išmatų azotas (N) transformuojasi į įvairias formas: ištirpusio molekulinio N_2 , mineralinių amonio NH_4^+ , nitrito NO_2^- ir nitrato NO_3^- , bei organinio azoto, įeinančio į amino rūgščių, baltymų ir kitų sudėtingų junginių sudėtį (2.1 pav.), (Philippe ir kt., 2011).



2.1 pav. Azoto (N) difundavimas mėšle ir garavimas į aplinką (NH_3 – amoniakas, NH_4^+ – amonis, NO_3^- – nitratai, N_2O – azoto oksidas; N_2 – diazotas; d – dujinis būvis; s – skystas būvis (Philippe ir kt., 2011; Hristov ir kt., 2011).

Azotas į aplinką daugiausia patenka amoniako (NH_3), taip pat azoto (N_2) ir jo oksido (N_2O) dujų pavidalu. Amoniakas perdavimas į mėšlo paviršių vyksta difuzija, o išsiskyrimas nuo mėšlo paviršiaus į aplinkos orą konvekciniams masės mainams (Kirk ir kt., 1991; Ni, 1999). Amoniakas difundavimas į mėšlo paviršių, sąlyginai yra nesudėtingas procesas. Tačiau amoniako garavimas nuo mėšlo paviršiaus į aplinką yra daug sudėtingesnis procesas (Teye ir kt., 2008).

Amoniakio difuziją mėšle į paviršių ir garavimą įtakoja cheminiai ir fizikiniai veiksniai (2.2 lentelė), (Philippe ir kt., 2011; Hristov ir kt., 2011). Karbamido hidrolizę įtakoja ureazės aktyvumas, pH ir temperatūra. Ureazės veikla priklauso nuo temperatūros, jos mažesnis aktyvumas esant temperatūrai žemesnei kaip 5–10 °C ir aukštesnei kaip 60 °C (Sommer ir kt., 2000). Ureazės veiklą taip pat įtakoja pH, jis optimalus nuo 6 iki 9 pH, o gyvulių mėšle pH paprastai svyruoja 7,0 ir 8,4 (Koerkamp ir kt., 1994).

2.2 lentelė. Cheminiai ir fizikiniai veiksniai, įtakojantys amoniako (NH₃) difuziją mėšle ir garavimą į aplinką (+ veiksnys didinantis emisiją; – veiksnys neturintis įtakos emisijos intensyvumui)

	Temperatūra	pH	Urėja	Oro greitis	Garavimo paviršiaus plotas
Ureazė	+	–	+	–	–
Disociacija	+	+	–	–	–
Garavimas	+	–	–	+	+

Amoniakio emisijos iš mėšlo procesas yra labai sudėtingas, kurį įtakoja daug veiksnių: temperatūra, oro drėgnis, oro greitis, mėšle esančių baltymų kiekis, mėšlo drėgmė ir pH, vandens garavimo intensyvumas iš mėšlo ir kt.

Amoniakio garavimas yra difuzijos procesas, kai dujinės medžiagos molekulės skverbiasi iš didesnės koncentracijos vietų link mažesnės koncentracijos, pagal koncentracijos gradientą, kol pasiskirsto vienodai. Amoniakio garavimas gali būti aprašomas kaip masės perdavimo procesas. Masės, pernešamos per laiko vienetą, kiekis vadinamas masės srautu (g s⁻¹). Masės srautas, tenkantis ploto vienetui, yra masės srauto tankis (mg m⁻² s⁻¹). Masės srauto m_i priklausomybę nuo bet kurio i-ojo komponento mišinio koncentracijos C gradiento aprašo Fiko dėsnis (Gimbutis ir kt., 1993):

$$m_i = -d_i \text{ grad}C_i, \quad (2.3)$$

čia d_i – i-ojo komponento difuzijos koeficientas, m² s⁻¹;

C_i – i-ojo mišinio komponento koncentracija, g m⁻³.

Dujų mišinių difuzijos koeficientai yra tiesiogiai proporcingi temperatūrai ir atvirkščiai proporcingi slėgiui.

Amoniakui garuojant iš mėšlo, vyksta masės mainai tarp skysčio mėšlo paviršiuje ir jį apiplaunančio oro srauto. Šis garavimo procesas atitinka bendrą struktūrą visiems garavimo procesams ir jo struktūros pagrindas yra konvekciniai masės mainai, kai amoniako srautas kinta priklausomai nuo konvekcinio masės atidavimo koeficiento ir NH₃ koncentracijos gradiento mėšlo sluoksnio paviršiuje ir oro sraute virš mėšlo (Ni 1999; Teye ir Hautala, 2008):

$$E_{NH_3} = k_m(C_m - C_a), \quad (2.4)$$

čia

E_{NH_3} – amoniako garavimo srauto tankis, $mg\ m^{-2}\ s^{-1}$;

k_m – konvekcinio masės atidavimo koeficientas, $m\ s^{-1}$;

C_m – dujinio amoniako koncentracija mėšlo paviršiuje, $mg\ m^{-3}$;

C_a – amoniako koncentracija aplinkos oro sraute virš mėšlo, $mg\ m^{-3}$.

Didėjant temperatūrai amoniako emisija didėja, nes aukšta mėšlo temperatūra didina vandeninio amoniako susidarymą mėšle. Aukšta mėšlo temperatūra taip pat padidina dujinio amoniako formavimąsi ir sumažina amoniako tirpumą vandenyje. Garinant vandenį iš mėšlo, padidėja vandeninio amoniako koncentracija. Jei amoniako koncentracija ore yra žemesnė nei koncentracija virš mėšlo paviršiaus, vyksta intensyvesnis amoniako garavimas. Mėšlo paviršiaus drėgnumui, o taip pat amoniako garavimui įtakos turi aplinkos temperatūra, oro drėgmė ir saulės spinduliuotės poveikis. Nes džiūstant mėšlui, ant išorinio jo sluoksnio susidaro pluta, kuri veikia kaip apsauga nuo amoniako difuzijos. Amoniako difuzija į aplinką labai įtakoja oro greitis. Vykstant intensyviai vėdinimui, amoniako koncentracija ore virš mėšlo būna nedidelė, o tai skatina intensyvesnę amoniako garavimą. Tačiau esant stipriam oro srautui, gali intensyviau džiūti mėšlo viršutinis sluoksnis, o dėlto jau sumažės amoniako garavimas.

Išmatose bei mėšle azotas būna stipriai sujungtas, todėl jo perėjimas į amoniakinį azotą vyksta aerobinėmis sąlygomis urino bakterijoms lėtai ardant baltymus. Šį procesą įtakoja daug veiksnių, kurie labai kinta ir yra tarpusavyje susiję. Tai daro amoniako difuzijos procesą sudėtingu ir sunkiai analizuojamu, ypač sudėtinga kompleksiškai vertinti veiksnių poveikį amoniako garavimo procesui. Todėl dažniausiai mokslininkai išskiria pagrindinius veiksnius ir nustato jų įtaką emisijos procesui. Oro greitis, temperatūra, oro drėgmė (labiausiai įtakoja mėšlo paviršiaus džiūvimą) yra pagrindiniai veiksniai įtakojantys amoniako garavimą. Tai patvirtina daugelis mokslininkų (Laurence ir kt., 2019; Bleizgys ir kt., 2016; Bleizgys ir kt., 2023; Bagdonienė ir kt., 2014; Kavolėlis, 2004; Wang ir kt., 2020; Nguyen ir kt., 2019). Mokslininkai sutaria dėl veiksnių įtakojančių amoniako emisiją iš mėšlo, tačiau nuomonės dėl kiekvieno veiksnio poveikio emisijai, dažnai skiriasi.

Vertinant mikroklimatinių veiksnių įtaką amoniako emisijai iš mėšlo, reikėtų išskirti oro greitį, kuris daro didžiausią įtaką emisijos intensyvumui. Taip pat labai svarbu reguliuoti temperatūrą. Analizuojant šių veiksnių įtaką amoniako emisijai iš mėšlo, taip pat reikia įvertinti ir oro drėgmės bei mėšlo temperatūrinės aplinkos (mėšlo, jo paviršiaus, oro virš mėšlo temperatūra) kaitą.

3.ORO TARŠOS MAŽINIMAS GYVULININKYSTĖJE

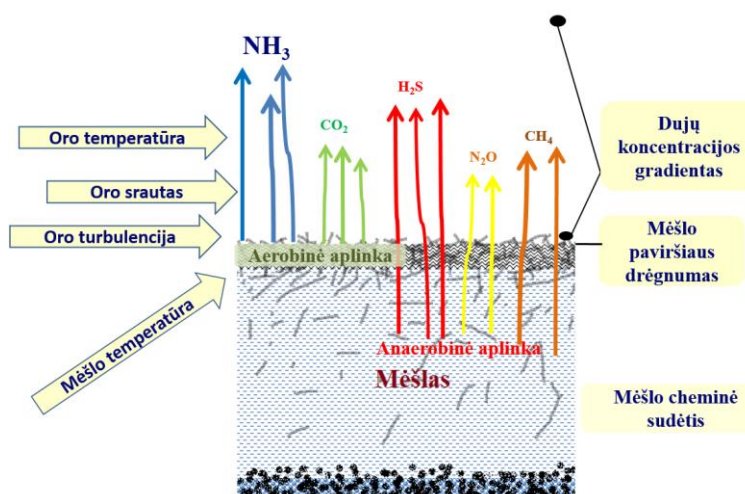
3.1. Amoniakos emisiją iš mėšlo mažinantys veiksniai

Esant skirtingoms tvarto konstrukcijoms bei gyvulių laikymo technologijoms, mėšlas gali būti kraikinis ir bekraikis. Priklausomai nuo mėšle esančių sausųjų medžiagų kiekio, mėšlas gali būti trijų rūšių: tirštasis (turi ne mažiau kaip 20 % sausųjų medžiagų); pusskystis (turi 12–20 % sausųjų medžiagų); skystasis (mažiau negu 12 % sausųjų medžiagų). Mėšlas dažnai būna nevienarūšis produktas. Konsistencija, tankis, maisto medžiagų kiekis priklauso ne tik nuo gyvulių rūšies, amžiaus, pašarų raciono, bet ir nuo kraiko. Priklausomai nuo naudojamo kraiko kiekio, mėšlo tankis apytiksliai būna: skystojo mėšlo – 1000 kg m^{-3} ; šviežio kraikinio mėšlo – $650\text{--}750 \text{ kg m}^{-3}$; susigulėjusio (po 2–6 mėn.) kraikinio mėšlo – $700\text{--}800 \text{ kg m}^{-3}$. Kraikas yra vienas iš svarbiausių mėšlo priedų. Mėšlo maišymas su organiniu kraiku (pvz., šiaudais) padidina sausųjų medžiagų kiekį. Kraikui gali būti naudojama įvairi, skysčius sugerianti minkšta medžiaga. Tačiau kai kurie mėšlo tvarkymo įrenginiai neleidžia naudoti tam tikrų kraikinių medžiagų. Karvių boksams kreikti gali būti naudojami ilgi arba kapoti šiaudai, pjuvenos, smėlis, kompostuojamos mėšlo tirštosios medžiagos. Tačiau jeigu mėšlo šalinimui naudojami išcentriniai siurbliai, reikia kreikti sukaptomis medžiagomis. Smėlis yra labai patogus kraikas. Jis gerai džiūva, jame mažiau nei organiniame kraike veisiasi ligas sukeltantys mikroorganizmai. Tačiau su mėšlu susimaišęs smėlis gadina mėšlo pumpavimo ir valymo įrangą, taip pat labai padidina mėšlo svorį.

Tvartuose kaupiasi įvairus mėšlas, kuris jame būna skirtingus laikotarpius. Bekraikiuose tvartuose su grotelėmis - kanaluose kaupiasi skystasis mėšlas (iš tvarto jis šalinamas kasdien); boksinėse karvidėse su išbetonuotais mėšlo takais – iš takų mėšlas išstumiamas kas 4-6 val. Pūsgiliuose tvartuose būna įvairaus mėšlo: prie melžimo aikštelės kaupiasi skystasis mėšlas, ėdimo take prie ėdžių – pusskystis, o guoliavietėje – tirštasis. Tirštasis mėšlas iš pūsgilių tvartų šalinamas vidutiniškai kartą per mėnesį, pusskystis – du kartus per savaitę. Skystasis mėšlas tvarte būna iki 24 val., o tirštasis iki 30 dienų.

Pagrindinis amoniako emisijos šaltinis gyvulininkystėje yra mėšlas. Mėšle azotas būna stipriai sujungtas, jo perėjimas į amoniakinį azotą vyksta aerobinėmis sąlygomis urino bakterijoms ardant baltymus. Šiam procesui daro įtaką daug veiksnių, kurie kinta ir tarpusavyje susiję. Todėl amoniako difuzijos procesas labai sudėtingas ir sunkiai analizuojamas, ypatingai sudėtinga kompleksiskai vertinti kelių veiksnių poveikį amoniako garavimo procesui. Oro greitis, temperatūra, oro drėgnis (labiausia įtakoja mėšlo paviršiaus džiūvimą) yra pagrindiniai veiksniai įtakojantys amoniako garavimą. Svarbiausi veiksniai įtakojantys amoniako garavimo

intensyvumą iš mėšlo yra mėšlo cheminė sudėtis ir aplinkos mikroklimatiniai veiksniai (3.1 pav.).



3.1 pav. Veiksniai įtakoiantys amoniako ir kitų dujų garavimą iš mėšlo

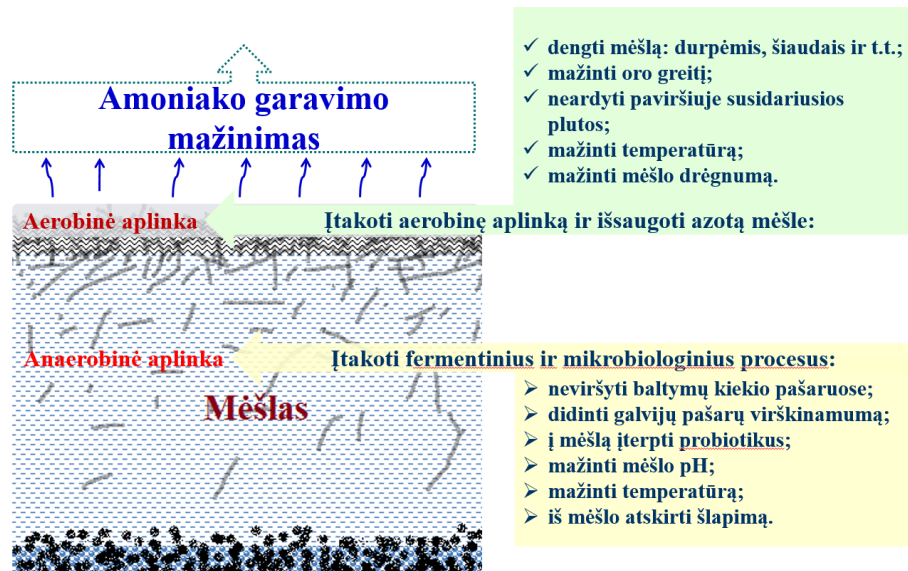
Siekiant sulėtinti amoniako garavimą iš mėšlo, tikslinga mažinti baltymų kiekį mėšle ir optimizuoti oro bei mėšlo temperatūrą, oro srauto greitį virš mėšlo.

Parenkant gyvulių laikymo ir mėšlo tvarkymo technologiją, reikia įvertinti ne tik investicijas, bet ir poveikį aplinkos taršai. Aplinkos taršos mažinimas neturi kenkti gyvulių gerovei, t.y. kartu turi būti sprendžiami aplinkos taršos mažinimo ir gyvuliams palankios aplinkos sudarymo (gyvulių gerovės) klausimai. Amoniako emisiją reikia mažinti visuose mėšlo tvarkymo etapuose: tvartuose, mėšlo laikymo įrenginiuose ir transportuojant bei mėšlą įterpiant į dirvą. Visas priemones amoniako emisijai iš mėšlo mažinti galima suskirstyti į dvi grupes (3.2 pav.):

- priemonės įtakojančios aerobinę aplinką mėšlo paviršiuje;
- priemonės įtakojančios fermentinius ir mikrobiologinius procesus mėšle.

Amoniako emisijos iš mėšlo procesas yra labai sudėtingas, kurį įtakoja daug veiksnių: temperatūra, oro drėgnis, oro greitis, mėšle esančių baltymų kiekis, mėšlo drėgmė ir pH, vandens garavimo intensyvumas iš mėšlo ir kt.

Svarbiausias kriterijus priemonei pasirinkti yra gyvulių laikymo technologija ir tvarto konstrukcija.



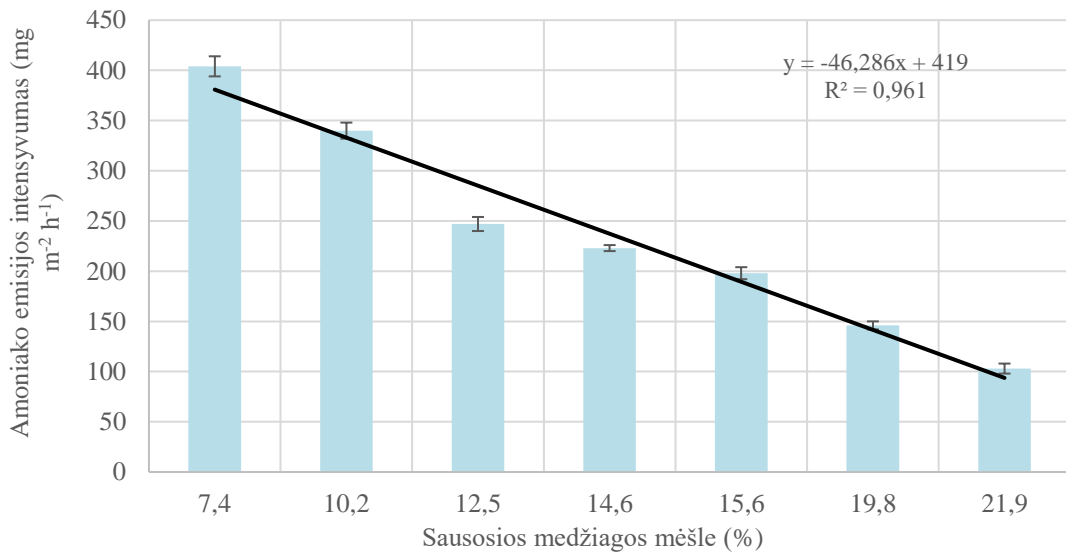
3.2 pav. Priemonės amoniako emisijai iš mėšlo mažinti

Mažinant amoniako emisiją rekomenduotina dažniau mėšlą šalinti iš tvarto, šlapimą atskirti iš tirštosios frakcijos, takuose naudoti guminius kilimėlius (Baldini ir kt., 2016). Efektyvus būdas mažinti amoniako emisiją yra dažnas grindų valymas tvarte bei mėšlo rūgštinimas (Mendes ir kt., 2017). Mėšlo rūgštėjimo technologija daro didelę įtaką NH_3 koncentracijos sumažėjimui tvartuose ir gali sumažinti 45–60% NH_3 emisiją (Wang ir kt., 2021). Amoniako emisijos sumažinimo potencialas naudojant ureazės inhibitorius yra iki 40 proc. (Bobrowski et al., 2021). Amoniako emisijai didelę įtaką daro oro temperatūra ir santykinė drėgmė. Didėjant temperatūrai emisija didėja, o didėjant drėgmeniui – mažėja. Mikroklimato veiksniai turi didesnę poveikį amoniako emisijai nei mėšlo tvarkymo sistema bei grindų ir kanalų būklė. Didėjant oro santykinėi drėgmei, amoniako emisija mažėja. Tai paaiškinama gyvūnų aktyvumo mažėjimu, išskiriant mažiau šlapimo bei išmatų (Qu ir kt., 2021).

Mažinant oro taršą gyvulininkystėje, labai svarbu mažinti amoniako emisiją iš tvartų ir mėšlidžių. Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad amoniako emisiją sumažinsime kontroliuojant šiuos technologinius procesus tvartuose: pakratų naudojimą guoliavietėse, mėšlo maišymo intensyvumą, tvarto vėdinimo intensyvumą. Šiaudais arba durpėmis gausiau kreikiant guoliavietes, sumažinsime amoniako emisiją. Sausųjų medžiagų kiekį mėšle padidinus apie 3 kartus, amoniako emisija sumažėja daugiau kaip 4 kartus. Didžiausia amoniako emisija iš skystojo mėšlo. Amoniako emisija iš padengto šlapimu mėšlo yra daug didesnė nei iš mėšlo be šlapimo, nes amoniakas intensyviau garuoja iš šlapimo, skylant jame esančiam karbamidui. Gausesnis kraiko sluoksnis sugeria drėgmę, o kuo mažiau drėgmės mėšlo paviršiuje, tuo mažiau garuoja ir amoniakas (3.3 pav.). Drėgmės garavimas iš mėšlo susijęs ir su amoniako emisijos intensyvumu. Nustatyta ($p \leq 0,05$) amoniako emisija iš skystojo mėšlo (S.M. - 7,4 %) lygi 410 ± 17

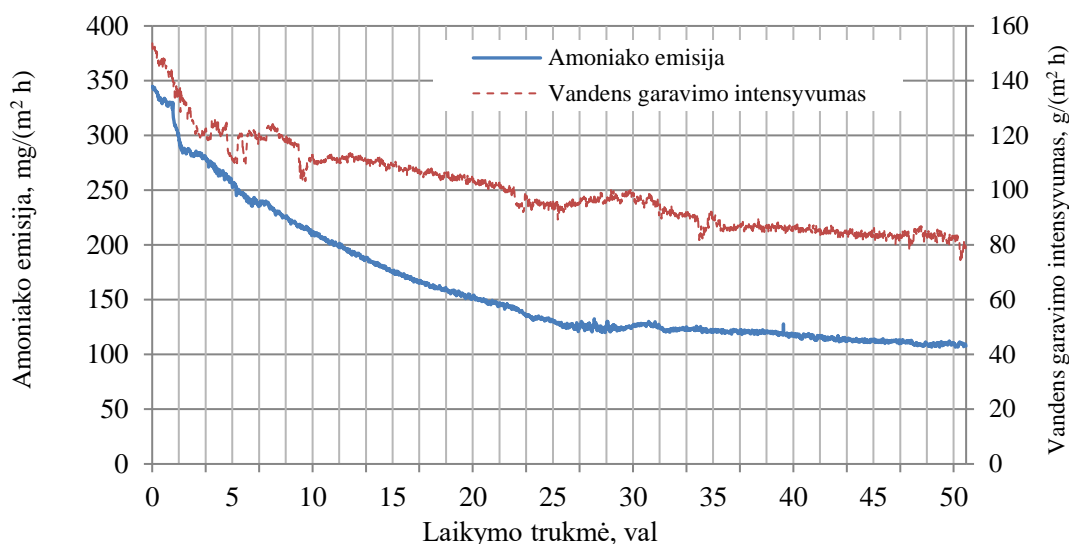
mg/(m²·h), puskysčio (S.M. - 15,6 %) - 198±11 mg/(m²·h), iš tirštojo (S.M. - 21,9%) – 98±8 mg/(m²·h) (Bleizgys ir kt., 2023).

Amoniakas intensyviai garuoja iš šlapimo, skylant jame esančiam karbamidui. Todėl amoniako emisija iš šlapimu padengto mėšlo yra daug didesnė nei iš mėšlo be šlapimo. Šiaudai arba kiti pakratai sugeria drėgmę, mažėja skysčių kiekis mėšlo paviršiuje ir mažiau garuoja amoniakas. Didžiausia amoniako emisija tvartuose nuo paviršių, užterštų skystu mėšlu ir kur kaupiasi šlapimas, o mažiausia - virš tirštojo mėšlo ant kurio pakreikta pakratų (Bleizgys ir kt., 2014).



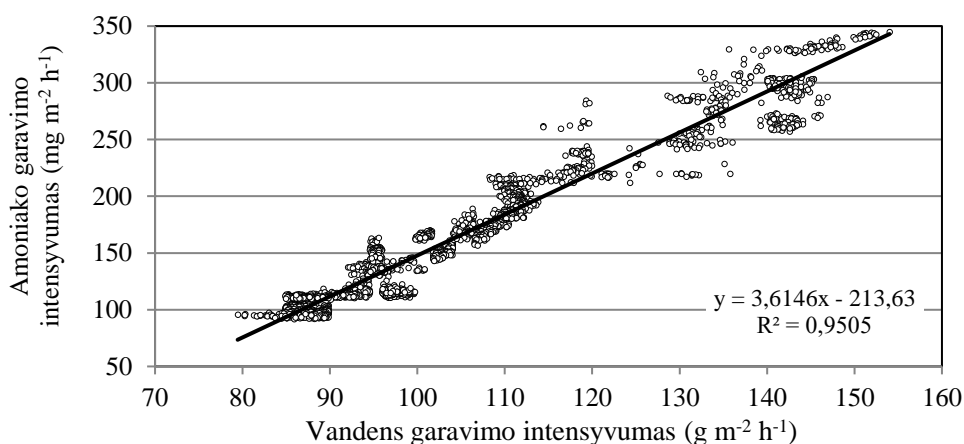
3.3 pav. Mėšlo drėgnumo įtaka amoniako emisijai iš galvijų mėšlo

Amoniakos garavimas intensyviausias iš šviežio mėšlo: per 5 valandas jis sumažėja apie 30 proc. (3.4 pav.). Todėl labai svarbu mėšlo tvarkymo technologijose riboti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru ir sudaryti sąlygas mėšlo paviršiuje plutai formuotis. Amoniakos garavimas iš mėšlo susijęs su drėgmės garavimo intensyvumu. Laikant mėšlą iš jo intensyviai garuoja vanduo, mažėja mėšlo paviršiaus drėgmė ir formuojasi pluta, kuri mažina amoniako emisiją. Per 50 h vandens garavimo intensyvumas iš šviežio skystojo mėšlo sumažėja apie 2 kartus (nuo 150 g m⁻²·h⁻¹ iki 80 g m⁻²·h⁻¹), o amoniako emisija sumažėja daugiau kaip 3 kartus (nuo 340 mg m⁻²·h⁻¹ iki 100 mg m⁻²·h⁻¹). Tyrimų metu į kamerą tiekiamo švaraus oro temperatūra buvo pastovi 20,3±0,8 °C, santykinis oro drėgnis lygus 49,4±3,7 %, kamera vėdinta pastoviu intensyvumu. Tyrimų metu vidutinė mėšlo temperatūra – 20,7±0,29 °C. Tyrimams naudotame mėšle bendrojo azoto (N) buvo 0,34 %, amoniakinio azoto (N-NH₄) - 0,05 %, tyrimų metu vidutinis mėšlo pH lygus 7,03±0,21.



3.4 pav. Amoniakos emisijos ir vandens garavimo iš mėšlo intensyvumo kaita (mėšle sausųjų medžiagų kiekis $11,5 \pm 0,36$ %)

Nors amoniako ir vandens garavimo intensyvumas iš mėšlo kinta skirtingai, tarp šių dydžių yra stiprus koreliacinis ryšys (3.5 pav.), pagal kurį žinant vandens garavimo intensyvumą iš mėšlo galima prognozuoti ir amoniako emisijos intensyvumo kaitą. Stiprus koreliacinis ryšys tarp amoniako emisijos ir vandens garavimo iš mėšlo nustatytas taip pat atliekant tyrimus su skirtingo drėgnumo mėšlu: S.M. - 7.1 ± 0.29 %; S.M. - 10.9 ± 0.38 %; S.M. - 13.2 ± 0.36 %; S.M. - 22.7 ± 0.51 %.

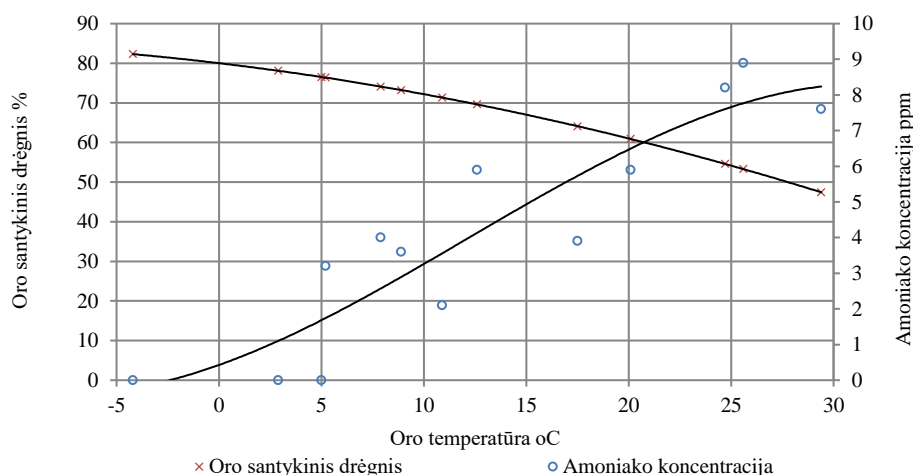


3.5 pav. Amoniakos emisijos priklausomybė nuo vandens garavimo intensyvumo iš mėšlo (mėšle S.M. - 10.9 ± 0.38 %)

Garinant vandenį iš mėšlo, padidėja vandeninio amoniako koncentracija. Jei amoniako koncentracija ore yra žemesnė nei koncentracija virš mėšlo paviršiaus, vyksta intensyvus amoniako garavimas. Mėšlo paviršiaus drėgnumui, o taip pat amoniako garavimui įtakos turi

aplinkos temperatūra, oro drėgnis ir saulės spinduliuotės poveikis. Džiūstant mėšlui, ant išorinio jo sluoksnio susidaro pluta, kuri veikia kaip apsauga nuo amoniako difuzijos.

Kintant amoniako emisiją įtakojantiems veiksniams, keičiasi ir amoniako koncentracija karvidėse. Boksinėje karvidėje, kurioje iš atvirų takų mėšlas šalinamas skreperiniu transporteriu, amoniako koncentracija vasarą karščių metu padidėja iki 9 ppm (3.6 pav.). Tą lemia aukšta tvarte temperatūra, dėl kurios labai suintensyvėja amoniako garavimas iš mėšlo. Suintensyvinus tvarto vėdinimą, amoniako koncentracija jame sumažėja, tačiau oro tarša dar labiau padidėja. Todėl reikia mažinti temperatūrą karvidėje ir taikyti kitas amoniako emisijos intensyvumą mažinančias priemones.

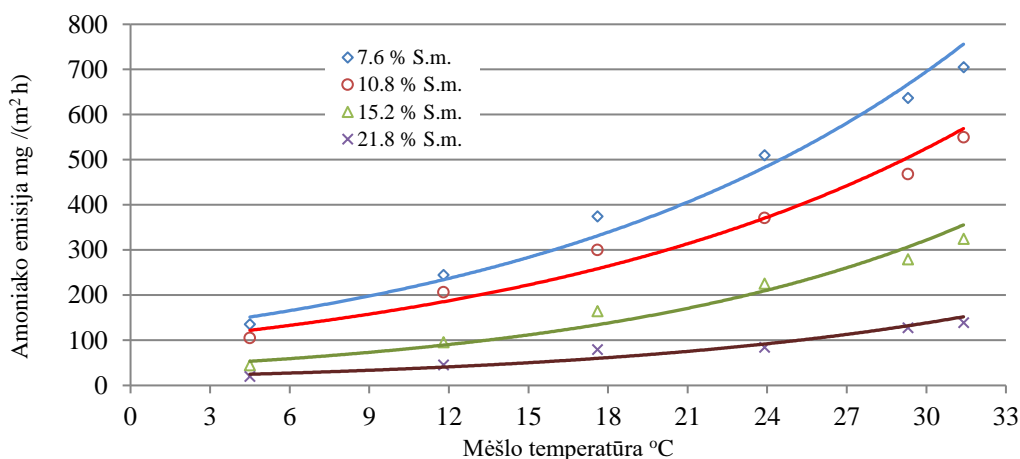


3.6 pav. Oro santykinio drėgno ir amoniako koncentracijos kaita karvidėje

Labai svarbu kontroliuoti mikroklimatą tvartuose. Amoniako garavimo iš mėšlo procesą tvartuose galima kontroliuoti mažinant vėdinimo intensyvumą ir optimaliai reguliuojant tvarto oro temperatūrą, ypač esant aukštesnėms temperatūroms. Vienu laipsniu sumažinus vidutinę metinę oro temperatūrą tvarte, amoniako emisija iš jo sumažėja daugiau kaip 10 %. Labai efektyvu reguliuoti oro temperatūrą tvarte esant skystajam mėšlui. Oro temperatūrą sumažinus 1 °C temperatūros intervale 30-20 °C, amoniako emisija iš mėšlo sumažėja vidutiniškai 3,0 g iš karvės vietos per parą (649 g per tvartinį laikotarpį). Didėjant mėšlo temperatūrai, amoniako emisija didėja pagal eksponentę. Šis poveikis yra didesnis esant aukštesnėms temperatūroms (3.7 pav.). Labiausia reikėtų vengti temperatūros didėjimo virš 20 °C, nes pakilus temperatūrai 1 °C, amoniako emisija suintensyvėja daugiau kaip 17 mg m⁻² h⁻¹ (Bleizgys ir kt., 2016; Bleizgys ir kt., 2013).

Didėjant temperatūrai amoniako emisija didėja, nes aukšta mėšlo temperatūra didina vandeninio amoniako susidarymą, dėl to didėja disociacijos konstanta, protonų koncentracija tirpale. Aukšta mėšlo temperatūra padidina dujinio amoniako formavimąsi ir sumažina amoniako tirpumą vandenyje. Garinant vandenį iš mėšlo, padidėja vandeninio amoniako

koncentracija. Mėšlo paviršiaus drėgnumui, o taip pat amoniako garavimui įtaką daro aplinkos temperatūra, oro drėgnis ir saulės spinduliuotė. Džiūstant mėšlui, ant išorinio jo sluoksnio susidaro pluta, kuri veikia kaip apsauga nuo amoniako difuzijos. Amoniako difuziją į aplinką smarkiai įtakoja oro greitis. Vykstant intensyviai vėdinimui, amoniako koncentracija ore virš mėšlo būna nedidelė, o tai skatina intensyvesnį amoniako garavimą. Tačiau esant stipriam oro srautui, gali intensyviau džiūti mėšlo viršutinis sluoksnis, o dėl to sumažės ir amoniako garavimas. Didėjant temperatūrai amoniako emisija eksponentiškai didėja, o emisijos priklausomybė nuo oro greičio geriausia išreiškiama antro laipsnio polinomu.



3.7 pav. Mėšlo temperatūros įtaka amoniako emisijai iš galvijų mėšlo, esant skirtingam mėšle sausųjų medžiagų kiekiui (S.m.)

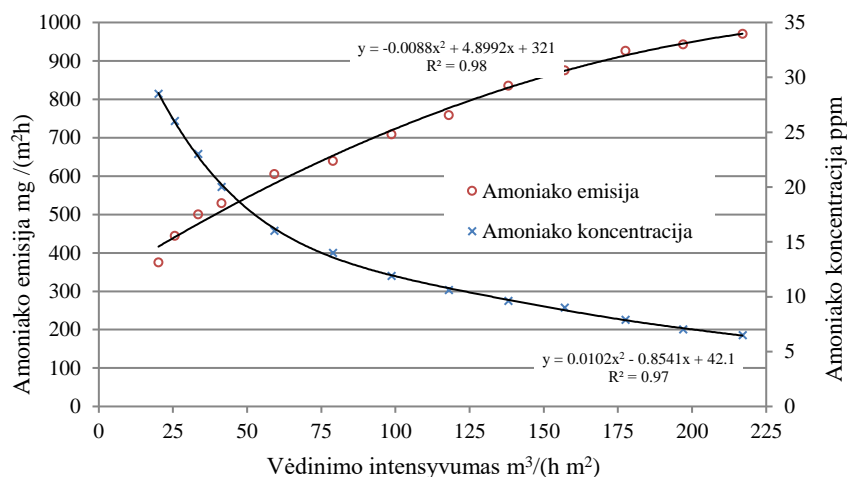
Didėjant oro temperatūrai, amoniako emisija didėja pagal eksponentę (Hempel ir kt., 2016). Kiti mokslininkai temperatūrą išskiria kaip svarbiausią veiksnį, įtakojantį amoniako emisiją (Sanchis ir kt., 2019). Tačiau stiprus koreliacinis ryšys tarp oro temperatūros ir amoniako emisijos yra temperatūros intervale nuo 5 iki 14 °C. Toliau didėjant temperatūrai amoniako emisijos didėjimo intensyvumas sulėtėja dėl mėšlo paviršiuje intensyviai besiformuojančios plutos (Pedersen ir kt., 2021).

Amoniakas išsiskiria iš mėšlo kaip ureazės aktyvumo rezultatas, kurį įtakoja mėšlo temperatūra, o mėšlo temperatūra labai priklauso nuo oro temperatūros. Amoniako koncentracijai natūraliai vėdinamuose tvartuose daugiausia įtakos turi oro temperatūra. Temperatūros augimas vasarą padidina ureazės aktyvumą, taip padidina ir amoniako emisiją iš mėšlo (Moreira ir kt., 2006). Tačiau net ir esant labai intensyviai amoniako emisijai iš mėšlo, šių dujų koncentracija gali būti nedidelė labai suintensyvinus vėdinimą.

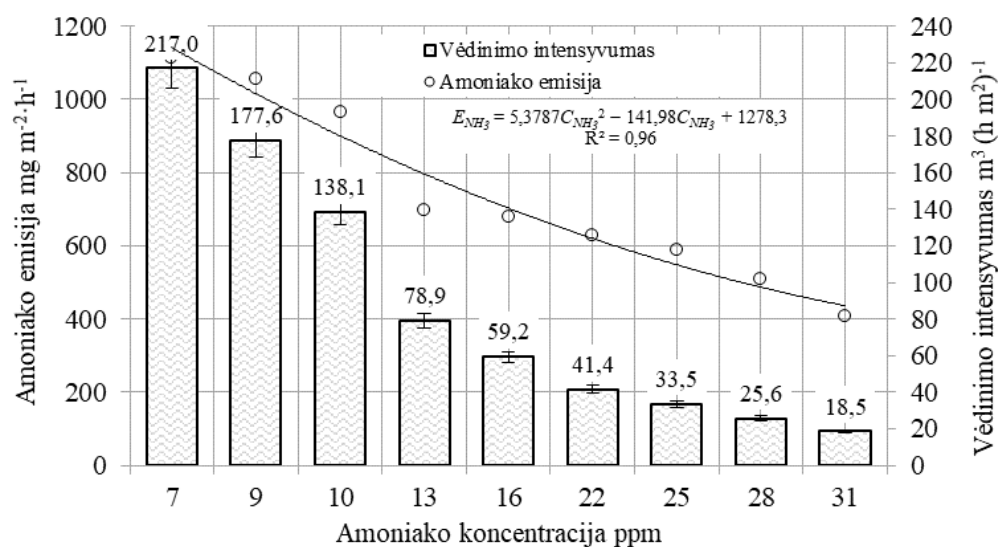
Temperatūra karvidėse gali kisti labai plačiose ribose. Ji turi didesnę įtaką amoniako emisijai nei kiti veiksniai: mėšlo šalinimo dažnumas, grindų būklė ir valymas, šėrimas, karvių aktyvumas. Todėl skirtingu paros metu ir skirtingais metų laikais amoniakas iš mėšlo sklinda

labai nevienodai. Emisija ženkliai padidėja, kai oras atšyla ir būna sausesnis. Norint sumažinti dujų emisiją iš mėšlo padidėjus temperatūrai, rekomenduotina naudoti chemines, biopriemones arba mažinti oro temperatūrą tvarte. Karvidėse įrengus oro drėkinimo-vėsinimo sistema karščių metu oro temperatūra būna žemesnė nei lauke vidutiniškai $2,61 \pm 0,74$ °C. Nors oro santykinis drėgnis karvidėje karščių metu būna vidutiniškai $16,29 \pm 4,12$ % drėgnesnis nei lauke, tačiau temperatūros-drėgmės indeksas THI tvarte būna mažesnis nei lauke. Tvarte oro temperatūra sumažėja $3,17 \pm 0,86$ °C lyginant su karvidėmis, kuriose neįrengta oro drėkinimo-vėsinimo sistema (Bleizgys ir kt., 2022; Bleizgys ir kt., 2023). Oro drėkinimo-aušinimo sistema sukuria geras prielaidas mažinti sąlygas gyvuliams patirti šilumos stresą mažinant oro temperatūrą tvarte, o kartu bus mažinama ir amoniako emisija.

Galimybės sumažinti atmosferos taršą amoniako dujomis iš tvartų, mažinant oro apykaitą jose, yra geros. Padidėjus vėdinimo intensyvumui apie 4 kartus, amoniako emisija padidėja daugiau kaip 2 kartus. Norint sumažinti amoniako emisiją iš tvartų, reikia kontroliuoti vėdinimo intensyvumą. Pvz., esant 19 °C temperatūrai, vėdinimo intensyvumą sumažinus 10 % (nuo $400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ iki $360 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ vienai karvei), amoniako emisija iš vienos karvės vietos sumažėja apie 5,4 % (nuo $3,15 \text{ g h}^{-1}$ iki $2,98 \text{ g h}^{-1}$), o tai atitinka 857 g amoniako emisijos sumažėjimą iš vienos karvės vietos per tvartinį 210 d. laikotarpį (Bagdonienė ir kt., 2014). Amoniako emisiją tvartuose galima sumažinti, mažinant vėdinimo intensyvumą, jeigu oro kokybiniai rodikliai atitinka reikalavimus, reguliuojant oro srauto kryptį virš mėšlo ir taip mažinti amoniako koncentracijos gradientą vertikalėje bei tvartuose reguliuoti oro srautus ir juos nukreipti taip, kad kuo mažiau švaraus oro patektų prie šviežio mėšlo. Mažinti kenksmingų dujų koncentraciją tvarte geriausia intensyvinant vėdinimą. Tačiau intensyvėjant oro apykaitai, didėja amoniako dujų koncentracijos gradientas vertikalėje virš mėšlo sluoksnio ir taip ženkliai padidėja amoniako emisija. Kuo intensyviau vėdinsime, oras tvarte bus švaresnis, tačiau atmosferos oro tarša amoniako dujomis didės (3.8 pav.).

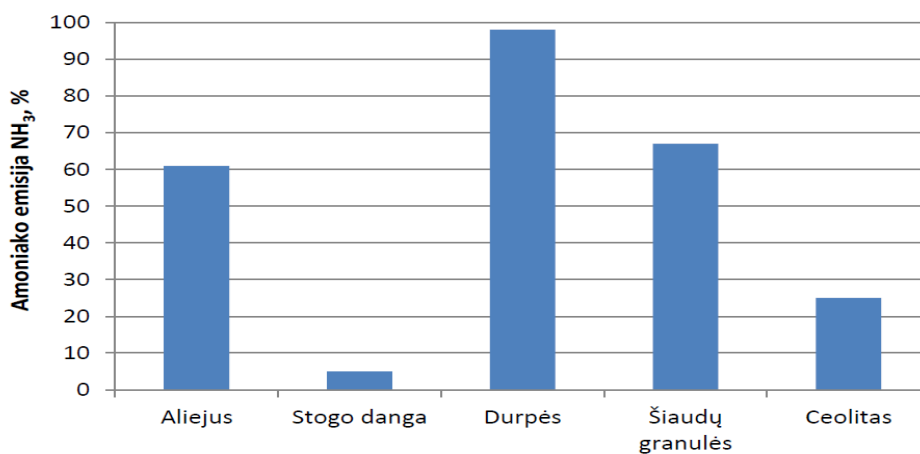


3.8 pav. Amoniako emisijos iš mėšlo priklausomybė nuo vėdinimo intensyvumo



3.9 pav. Amoniako emisijos iš mėšlo priklausomybė nuo amoniako koncentracijos, esant įvairiam vėdinimo intensyvumui (Bagdonienė, 2014)

Siekiant mažinti amoniako emisiją, galima naudoti įvairias biodangas mėšlui – smulkintus šiaudus, spygliuočių pjuvenas, įvairios medienos smulkias pjuvenas, smulkintus kanapių spalius, aliejų, durpės, ceolitą ir kt. Durpės rūgština mėšlą ir taip pat paviršiuje sudaro ištisinę pluta (Petokaitis, 2017). Todėl amoniako emisija iš mėšlo sumažėja daugiau kaip 90 proc. (3.10 pav.).



3.10 pav. Amoniako emisijos sumažinimas mėšlą uždengiant įvairiomis dangomis, lyginant su šviežiu skystuoju galvijų mėšlu

Uždengus šviežią galvijų mėšlą poringomis dangomis, amoniako emisija sumažėja iki 80 proc. Geriausi rezultatai pasiekiami naudojant 13 cm storio smulkintų kanapių sluoksnį (Knoknerienė ir kt., 2023). Smulkios pjuvenos NH₃ emisiją taip pat ženkliai sumažina – iki 8,5 karto. Smulkintų šiaudų ir stambių spygliuočių pjuvenų nustatytas poveikis amoniako emisijai mažesnis. Šios medžiagos kenksmingų dujų garavimą sumažina atitinkamai 3,8 ir 3,1 karto (3.1 lentelė).

3.1 lentelė. Amoniakos emisijos iš mėšlo mažinimo efektyvumas naudojant biodangas

Danga	Dangos storis	Amoniakos emisija	
		Vidurkis \pm paklaida, ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$)	Sumažėjimas
Smulkinti kanapių spaliai	0 cm	458,12 \pm 49,64	
	2 cm	330,61 \pm 9,09	27,83 %
	6 cm	151,51 \pm 11,14	66,93 %
	10 cm	81,73 \pm 5,55	82,16 %
	13 cm	47,08 \pm 3,88	89,72 %
Smulkios mišrios medienos pjuvenos	0 cm	627,16 \pm 5,26	
	1 cm	601,18 \pm 7,79	4,14 %
	5 cm	72,66 \pm 6,43	88,41 %
Stambios spygliuočių medžių pjuvenos	0 cm	378,13 \pm 35,51	
	5 cm	122,91 \pm 5,37	67,49 %
Smulkinti šiaudai	0 cm	707,97 \pm 19,81	
	5 cm	477,68 \pm 2,40	32,53 %
	12 cm	210,44 \pm 1,85	70,28 %

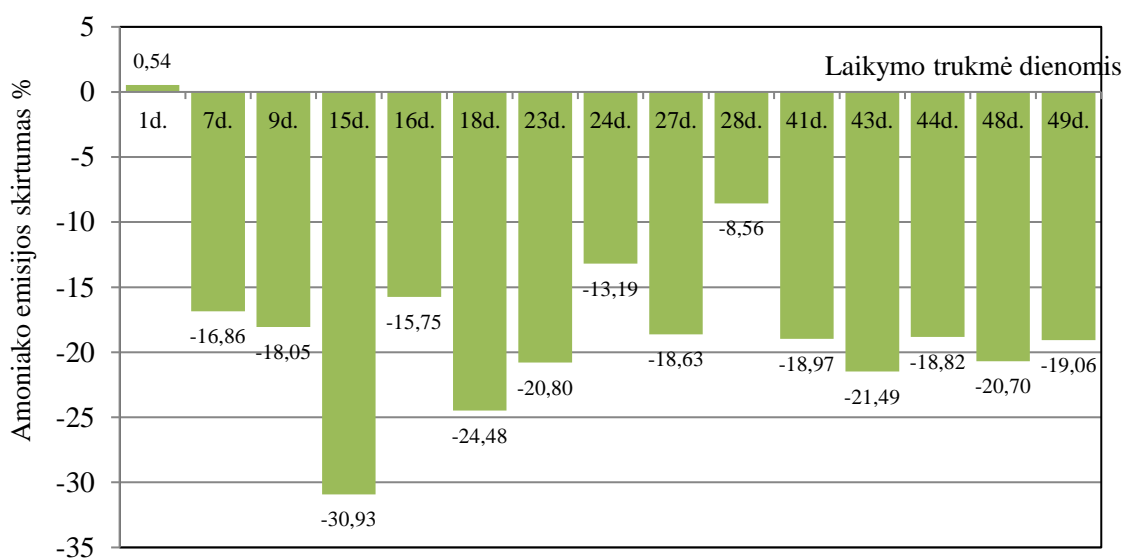
Nustatyta, kad dangos, kurių dalelės yra smulkesnės, sudaro tankesnę ir mažiau pralaidų sluoksnį. Toks sluoksnis geriau apriboja aplinkos oro patekimą prie mėšlo paviršiaus ir geriau mažina aplinkos taršą. Tačiau smulkios dalelės labiau absorbuoja skysčius, dangos paviršius labiau sudrėksta, NH_3 garavimas suintensyvėja. Stambių dalelių danga yra poringa, mažiau sulaiko oro patekimą prie mėšlo ir mažiau sumažina amoniako garavimo intensyvumą. Renkantis dangą, reikia atsižvelgti į dalelių dydį, tinkamai pasirinkti sluoksnio storį ir įvertinti galimybę sutankinti dangą - suslėgti naudojamos biodangos sluoksnį arba naudoti didesnę jos kiekį.

Mažinant amoniako garavimo iš mėšlo proceso intensyvumą, labai svarbu tinkamai valdyti procesus vykstančius mėšlo paviršiuje, darančius įtaką mėšlo paviršiaus drėgmeniui ir deguonies patekimui virš mėšlo. Amoniakos emisiją tvartuose galima sumažinti gausiau kreikiant smulkintais šiaudais, pjuvenomis arba durpėmis, mažinant mėšlu užterštą paviršiaus plotą, įrengiant kanalus šlapimui nutekėti. NH_3 emisiją sumažinsime neleidžiant orui įtekėti į tvartą per mėšlo kanalus, bet ištraukiant orą per juos. Labai svarbu kaip iš tvarto šalinamas užterštas oras. Traukiant orą iš mėšlo kanalo ir teršalams neleidžiant pasklisti tvarte, amoniako koncentracija tvarte sumažėja iki 25–30 % lyginant su oro nutraukimu virš grindų.

Perspektyvi priemonė mažinanti amoniako emisiją ir koncentraciją tvarto ore yra cheminių reagentų, biologinių ir mechaninių filtrų naudojimas. Cheminėmis priemonėmis amoniako emisiją galima sumažinti 26–98%, tačiau tai brangu. Oro valymo įvairiuose filtruose efektyvumas labai geras ir dažnai siekia 90 %. Tačiau filtrus galima naudoti tik priverstinai vėdinamuose tvartuose, natūraliai vėdinamose jie netinka. Natūraliai ventiliuojami galvijų tvartai yra vienas pagrindinių amoniako ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos šaltinių į

atmosferą. Tačiau iš šių tvartų sunku išvalyti orą. Siekiant sumažinti išmetamų teršalų kiekį rekomenduotina naudoti hibridinę vėdinimo sistemą, kai tvartai vėdinami natūraliai ir su mechanine vėdinimo sistema ištraukiamas oras iš mėšlo kanalų (Ronga ir kt., 2014).

Amoniaکو garavimą iš mėšlo galima sumažinti naudojant įvairius biopreparatus. Biopreparatai daro įtaką amoniako garavimo procesui iš mėšlo. Į mėšlą įpylus biopreparato, amoniako emisija iš jo sulėtėja. Priklausomai nuo mėšlo sudėties, temperatūrinės aplinkos, biopreparato poveikio trukmės, emisija sumažėja iki 30 % (3.11 pav.). Didžiausias poveikis pastebimas 6 - 120 dieną. Biopreparato poveikis amoniako garavimui didesnis, esant intensyvesnei amoniako emisijai, t.y. kai mėšlas šviežias, paviršiuje nėra plutos, oro srautas virš mėšlo intensyvus ir didelis amoniako koncentracijos gradientas mėšlo paviršiuje.



3.11 pav. Amoniaکو emisijos iš skystojo galvijų mėšlo sumažėjimas, į jį įpylus biopreparato

Rekomenduotina biopreparatus naudoti amoniako emisijai mažinti bekrakėse gyvūnų laikymo technologijose, kur kaupiasi skystasis mėšlas. Jo panaudojimas dera su gyvūnų laikymo modernizavimo tendencijomis - diegti bekrakes, skystojo mėšlo technologijas. Biopreparato poveikis bus didesnis šiltuoju metu laikotarpiu (Bleizgys ir kt., 2017; Naujokienė ir kt., 2021; Mažeikienė ir kt., 2022).

Korėjos Respublikoje iš kiaulių fermų išmetamą dujų kiekį siūloma mažinti biologiniais preparatais, traktuojant, kad pagrindinis kenksmingų dujų išmetimo šaltinis yra ilgas kiaulių mėšlo laikymas mėšlidėse. Jūros dumblių miltelių ir bakterijų kolonijos naudojimas kartu yra efektyvus būdas mažinti iš kiaulių mėšlo išmetamas dujas, kvapą, lyginant su biopriedų naudojimą atskirai. Siūlomas naujas metodas naudojant bakterijų kolonijas yra perspektyvus būdas sumažinti dujų emisiją, paprastas ir naudingas aplinkai (Lavanya ir kt., 2020).

Ieškant kitų dujų emisijos mažinimo priemonių, įvertintos laikymo sąlygų ir mėšlo tvarkymo sistemų galimybės sumažinti kiaulių auginimo poveikį aplinkai. Siūlomi taikyti mėšlo tvarkymo scenarijai - srutų parūgštinimas, srutų atskyrimas iš mėšlo (separavimas) ir anaerobinis srutų skaidymas. Tai metodai, taikomi Danijos kiaulininkystėje, kuriais ūkiai gali sumažinti NH₃ emisijų kiekį (Pexas ir kt., 2020).

Organinės anglies gaminimas ir naudojimas per pastaruosius 10 metų tapo vis populiarenis. Bioanglis pasižymi panašiomis savybėmis kaip anglis ir aktyvuota anglis: visos jos yra anglinės medžiagos, gaunamos pirolizės būdu iš organine anglimi turtingų medžiagų. Mokliškai buvo apibendrinti pagrindiniai tyrimai, susiję su bioanglies naudojimu kaip pašarų priedu įvairiems gyvūnams: atrajojantiems (galvijams ir ožkoms), kiaulėms, vištoms, antims bei žuvims. Įrodyti teigiami aspektai - geresni augimo rodikliai, kraujo rodikliai, kiaušinių kiekis, gebėjimas atsispirti patogenams, įskaitant žarnyno patogenines bakterijas, ir iš atrajotojų sumažėjęs metano susidarymas. Didelės bioanglies sorbcinės galimybės efektyviai padeda pašalinti teršalus ir toksinus iš gyvūnų kūnų, bioanglis gali padėti spręsti ir oro taršos problemas gyvulininkystėje (Man ir kt., 2020).

Įvertintos dujinių teršalų emisijos mažinimo technologijos, naudojant srutų aeravimo sistemą. Didžiausias azoto oksido, metano ir amoniako emisijos mažinimo potencialas buvo atitinkamai 12 % , 57,6 % ir 10,4%. Iš tvarto šalinamą orą nukreipus į sieros rūgšties oro valiklį (3,0 pH), bendras amoniako išmetimas sumažėja 80–87% (Mostafa ir kt., 2020).

3.2.Amoniako emisijos iš mėšlo mažinimo bendrosios priemonės

Taikant šias priemones, amoniako emisija iš mėšlo mažėja visuose technologiniuose procesuose: mėšlą šalinant iš tvartų, transportuojant į mėšlidę ir laukus bei paskleidžiant ant dirvos.

Norint mažinti amoniako emisiją iš mėšlo, reikia mažinti baltymų kiekį gyvulių pašaruose arba į pašarus dėti sintetinių amino rūgščių, bei subalansuoti proteinų ir angliavandenių santykį.

Mėšlo pH mažinimas yra efektyvi priemonė amoniako nuostoliams mažinti. Įmaišius į skystąjį mėšlą sieros rūgšties ir pH sumažinus nuo 7 iki 5,5, amoniako emisija sumažėja apie 50 %.

Mažinant amoniako garavimo iš mėšlo proceso intensyvumą, labai svarbu tinkamai valdyti procesus vykstančius mėšlo paviršiuje, darančius įtaką mėšlo paviršiaus drėgnei ir deguonies patekimui virš mėšlo. Jeigu mėšlo paviršiuje blogai formuojasi pluta, ant skystojo mėšlo 100 m² užpylus 100 kg durpių, amoniako emisija sumažės iki 80 %.

Mėšlo tvarkymo technologijoje naudojant biopreparatus, sumažėja amoniako emisija ir energijos sąnaudos mėšlo maišymui. Priklausomai nuo mėšlo sudėties, temperatūrinės aplinkos, amoniako emisija sumažėja iki 30 %.

Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš mėšlo tvarkymo sistemų, rekomenduojama:

- skirtingai šerti gyvulius atskirais laikotarpiais ir šerti mažo baltymingumo pašarais;
- laikyti produktyvesnius gyvulius;
- rūgštinti mėšlą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 50 proc.;
- mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru (įrengti mėšlo šalinimo kanalus po žeme);
- nemišyti arba kuo mažiau maišyti mėšlą;
- mažinti mėšlu užterštą plotą šalia tvartų;
- intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- mažinti mėšlo paviršiaus drėgnumą;
- mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 30 proc.

3.3.Amoniako emisijos mažinimas iš tvartų

Amoniako emisiją tvartuose galima sumažinti gausiau kreikiant smulkintais šiaudais, pjuvenom arba durpėmis, mažinant mėšlu užterštą paviršiaus plotą, įrengiant kanalus šlapimui nutekėti. NH_3 emisiją sumažinsime neleidžiant orui įtekėti į tvartą per mėšlo kanalus, bet ištraukiant orą per juos. Labai svarbu kaip iš tvarto šalinamas užterštas oras. Traukiant orą iš mėšlo kanalo ir teršalams neleidžiant pasklisti tvarte, amoniako koncentracija tvarte sumažėja iki 25–30 % lyginant su oro nutraukimu virš grindų.

Perspektyvi priemonė mažinanti amoniako emisiją ir koncentraciją tvarto ore yra cheminių reagentų, biologinių ir mechaninių filtrų naudojimas. Cheminėmis priemonėmis amoniako emisiją galima sumažinti 26–98%, tačiau tai brangu. Oro valymo įvairiuose filtruose efektyvumas labai geras ir dažnai siekia 90 %. Tačiau filtrus galima naudoti tik priverstinai vėdinamuose tvartuose, natūraliai vėdinamuose jie netinka.

Labai svarbu kontroliuoti mikroklimatą tvartuose. Amoniako garavimo iš mėšlo procesą karvidėse galima kontroliuoti mažinant vėdinimo intensyvumą ir optimaliai reguliuojant tvarto oro temperatūrą, ypač esant aukštesnėm temperatūrom (Bleizgys et al., 2013). Vienu

laipsniu sumažinus vidutinę metinę oro temperatūrą karvidėje, amoniako emisija iš jos sumažės daugiau kaip 10 %.

Apibendrinus tyrimų rezultatus, rekomenduotinos priemonės amoniako emisijai iš tvartų mažinti:

- subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
- laikyti produktyvesnius galvijus (dvi karves, duodančias po 5000 kg pieno per metus, pakeitus viena 10000 kg produktyvumo, amoniako emisija sumažėja 30–40 % skaičiuojant produkcijos vienetui);
- intensyviau šalinti mėšlą iš tvarto;
- įrengti nubėgimus ir neleisti šlapimui kauptis takuose ir kituose grindų nelygumuose (išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 25 proc.);
- gausiau naudoti kraiką šlapimui sugerti (laikant gyvulius ant gilaus kraiko ir parinkus tinkamą kraiko storį galima sumažinti amoniako emisiją į aplinką, kadangi storas kraiko sluoksnis sugeria drėgmę, o kuo mažiau drėgmės, tuo mažiau vyksta garavimas. Gausesnis šiaudų kraikas gali sumažinti amoniako emisiją tiek tvarte, tiek mėšlidėje. Ypač amoniako emisija mažėja kreikiant durpėmis, nes jos rūgština mėšlą (mažėja pH) ir amoniaką sujungia chemiškai);
- tvarkant mėšlą reikia mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru ir mėšlą kuo mažiau maišyti;
- mažinti mėšlu užterštą plotą tvartuose ir šalia tvartų (kai taikoma bekraikė laikymo technologija, įrengiami grotelėmis dengti kanalai mėšlui surinkti);
- esant bekraikei laikymo technologijai, įrengti grotelėmis dengtus kanalus mėšlui surinkti, teršiamas grindis daryti su nuolydžiu šlapimui tekėtų į kanalą, iš kanalo mėšlas periodiškai išteka į lauko mėšlidę, kanalo sienas įrengti lygias, prie kurių mėšlas nelimpa;
- gerinti betono savybes priedais, mažinančiais betono higroskopiskumą;
- uždaryti poras betono paviršiuje įsigeriančiomis hidroizoliacinėmis medžiagomis ar įsiskverbiančiais ir betono paviršiaus struktūrą pakeičiančiais nano dangais;
- optimizuoti tvarto vėdinimo intensyvumą pagal oro temperatūrą, santykinį drėgnį ir amoniako koncentraciją. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 20 proc.;
- rekomenduotina mažinti tvartų vėdinimo intensyvumą (tačiau jis neturėtų būti mažesnis nei reikia perteklinei drėgmei pašalinti. Nerekomenduotina intensyvinant vėdinimą mažinti amoniako koncentraciją tvarto ore, jeigu patalpoje oro santykinis drėgnis ir CO₂ koncentracija atitinka reikalavimus);
- mažinti oro temperatūrą tvarte (naudojant dirbtinio rūko arba kitas sistemas);
- tvartuose reguliuoti oro srautus ir juos nukreipti taip, kad kuo mažiau švarus aplinkos

oras apiplautų šviežio mėšlo paviršių ir nesusidarytų didelis dujų koncentracijos gradientas virš mėšlo sluoksnio;

- mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus;
- valyti iš tvartų šalinamą orą biofiltruose (tinka tik tvartuose su priverstine vėdinimo sistema). Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 90 proc.;
- laikyti kiaules ant grotelinių grindų (iki 50 proc. gardo ploto) su nuožulniomis kanalų sienomis. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25-35 proc.;
- naudoti plūduruojančius rutulius mėšlo kanaluose. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25 proc.;
- dažniau šalinti mėšlą taikant vakuuminę sistemą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25 proc.;
- intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.

3.4. Amoniako emisijos mažinimas iš mėšlidžių

Norint sumažinti amoniako emisiją iš tirstojo mėšlo mėšlidės, rekomenduotina taikyti šias kompleksines priemones:

- uždengti mėšlą šiaudais, durpėmis, plėvele arba kt. danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
- mažinti mėšlo paviršiaus plotą (pvz., mėšlidę statant aukštomis sienomis);
- palaikyti didelį sausųjų medžiagų kiekį (pvz., uždengiant stogą virš mėšlidės);
- jeigu mėšlo rietuvė nedengiama, ji kraunama kūgio forma, kad nubėgtų krituliai;
- palaikyti žemesnę kaip 50 °C temperatūrą mėšlo rietuvėje, į mėšlą įmaišant daugiau šiaudų, kad anglies ir azoto santykis būtų didesnis kaip 30 (C:N>30).

Rekomenduotinos priemonės amoniako emisijai sumažinti iš skystojo mėšlo mėšlidės:

- įrengti gilesnę mėšlidę ir mažinti mėšlo paviršiaus plotą;
- įrengti požemines mėšlo saugyklas;
- uždengti mėšlidę sandaria stogo danda. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 80 proc.;
- uždengti mėšlo paviršių smulkintais šiaudais (granulėmis), keramzito granulėmis, durpėmis, brezentu, sintetinė plėvele. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;

- neardyti natūralios plutos mėšlo paviršiuje, kuri susidaro, kai mėšle sausųjų medžiagų yra daugiau kaip 7 % . Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- šviežią mėšlą tiekti į mėšlidės dugną, t.y. po mėšlo paviršiuje susiformavusia danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- mėšlą laikyti sandariose plastikinėse rankovėse-maišuose. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 100 proc.;
- mėšlą uždengti plūduriuojančiais rutuliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 60 proc.

3.5. ŠESD emisijos mažinimas gyvulininkystėje

Oro tarša gyvulininkystėje taip pat vertinama ir pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisiją. Pagrindinės emituojamos ŠESD – anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄), azoto suboksidas (N₂O).

Lietuvoje ŠESD sudėtyje daugiausia yra anglies dioksido CO₂, kuris sudaro apie 67,6 %, metano – 14,2 % (iš jų apie 8,7 % gyvulininkystėje), o azoto suboksido – 15,6 % (iš jų apie 0,9 % gyvulininkystėje), fluorintos dujos 2,6 % bendro ŠESD kiekio CO₂ ekv. Lietuvoje žemės ūkis yra antras sektorius pagal ŠESD išmetamą kiekį, kuriame susidaro apie 22,1 % viso ŠESD kiekio. Dėl žemės ūkio veiklos 2020 metais į aplinką pateko 4450 kt ŠESD CO₂ ekv., iš jų apie 41,7 % dujų (1856 kt CO₂ ekv.) išgaravo gyvulininkystėje (*Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022*). Viso ŠESD Lietuvoje 2020 m. emitavo 20 182 kt CO₂ ekv.

Lietuvos žemės ūkio sektoriuje 2020 metais emitavo 4450 kt ŠESD CO₂ ekv. (tai sudaro 22,1 % viso ŠESD kiekio Lietuvoje), iš jų:

- Azoto suboksido N₂O (61,8 % bendros emisijos žemės ūkyje CO₂ ekv.) – 2751 kt CO₂ ekv. (iš jų gyvulininkystėje – 180 kt CO₂ ekv.);
- Metano CH₄ (37,7 % bendros emisijos žemės ūkyje CO₂ ekv.) – 1677 kt CO₂ ekv. (iš jų gyvulininkystėje – 1677 kt CO₂ ekv.);
- Anglies dvideginio CO₂ (0,5 % bendros emisijos žemės ūkyje CO₂ ekv.) – 23,0 kt CO₂ ekv.

Žemės ūkyje daugiausia išgaruoja azoto suboksido ir metano dujų (3.2 lentelė): N₂O (61,80 % bendros emisijos žemės ūkyje CO₂ ekv.) ir CH₄ (37,7 % bendros emisijos žemės ūkyje CO₂ ekv.). Gyvulininkystės sektoriuje emituoja 41,7 %, o augalininkystės – 58,3 % nuo bendrų ŠESD emisijų žemės ūkio sektoriuje CO₂ ekv.

3.2 lentelė. ŠESD emisija Lietuvos žemės ūkyje 2020 m., kt CO₂ ekv. (*Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022*)

	Iš virškinimo procesų	Iš mėšlo tvarkymo sistemų			Iš dirvožemių		Kalkinimas	Karbamido panaudojimas	Viso
			Tiesiogiai	Netiesiogiai	Tiesiogiai	Netiesiogiai			
	CH ₄	CH ₄	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	N ₂ O	CO ₂	CO ₂	
kt, CO ₂ ekv.	1445,4	231,6	95,7	84,1	2121,5	449,6	7,02	15,94	4450,9
<i>Proc. nuo ŠESD emisijos žemės ūkyje</i>	32,4 %	5,1 %	2,2 %	2,1 %	47,6 %	10,1%	0,2%	0,3 %	100 %
<i>Proc. nuo bendros ŠESD emisijos Lietuvoje</i>	7,2 %	1,1 %	0,5 %	0,4 %	10,5 %	2,2 %	0,1 %	0,1 %	22,1 %

Lietuvos gyvulininkystės sektoriuje 2020 metais emitavo 1856 kt ŠESD CO₂ ekv. (tai sudaro 41,7 % emisijos žemės ūkio sektoriuje arba 9,2 % viso ŠESD kiekio Lietuvoje), iš jų:

- CH₄ iš virškinimo procesų – 1445 kt CO₂ ekv. (77,8 % nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje CO₂ ekv.);
- CH₄ iš mėšlo tvarkymo sistemų – 232 kt CO₂ ekv. (12,5 % nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje CO₂ ekv.);
- N₂O iš mėšlo - 180 kt CO₂ ekv. (9,7 % nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje CO₂ ekv.).

Daugiausia metano iš virškinimo procesų išgaruoja laikant galvijus, taip pat sąlyginai daug – laikant avis (3.3 lentelė).

3.3 lentelė. CH₄ emisija iš virškinimo procesų 2020 m., kt (*Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022*)

	Pieniniai galvijai	Kiti galvijai	Avys	Ožkos	Arkliai	Kiaulės	Kailiniai žvėreliai	Triušiai	Kiti
<i>CH₄, kt</i>	31,05	23,94	1,63	0,07	0,23	0,74	0,11	0,04	0,003
<i>Proc. nuo CH₄ emisijos iš virškinimo procesų</i>	53,7 %	41,4 %	2,8 %	0,1 %	0,4 %	1,3 %	0,2 %	0,1 %	0,0 %
<i>Proc. nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje</i>	41,8 %	32,2 %	2,2 %	0,1 %	0,3 %	1,0 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %
<i>Proc. nuo ŠESD emisijos žemės ūkyje</i>	17,4 %	13,4 %	0,9 %	0,0 %	0,1 %	0,4 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %

Metano daugiausia išgaruoja iš galvijų bei kiaulių mėšlo (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. CH₄ emisija iš mėšlo tvarkymo sistemų 2020 m., kt (*Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022*)

Pieniniai galvijai	Kiti galvijai	Avys	Ožkos	Arkliai	Kiaulės	Kailiniai žvėreliai	Triušiai	Paukščiai
3,23	2,98	0,066	0,002	0,02	1,98	0,73	0,01	0,31
34,6 %	31,9 %	0,7 %	0,0 %	0,2 %	21,2 %	7,8 %	0,1 %	3,3 %

Tiesiogiai iš mėšlo išgaruoja 0,32 kt diozoto oksido. Šių dujų daugiausia garuoja iš tirstojo mėšlo (3.5 lentelė).

3.5 lentelė. N₂O emisija (tiesiogiai išgaruoja) iš mėšlo tvarkymo sistemų 2020 m., kt (*Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022*)

Skystojo mėšlo sistemos	Tirstojo mėšlo mėšlidės	Kitos sistemos
0,10	0,17	0,05
31,3 %	53,1 %	15,6 %

Gyvulininkystės sektoriuje išgaruoja daug metano dujų, kurios susidaro gyvūnų virškinimo proceso metu ir anaerobinio proceso metu iš mėšlo. Azoto suboksidas išsiskiria iš mėšlo laikymo sistemų ir mėšlą paskleidus ant dirvos.

Mažinant gyvulininkystės poveikį klimato kaitai, svarbiausia rasti priemones kaip sumažinti CH₄ dujų emisiją, kurios sudaro net 90 % nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje: 78 % išgaruoja iš virškinimo procesų ir 12 % iš mėšlo tvarkymo sistemų. Daugiausia metano išgaruoja iš karvių virškinimo sistemų (53,7 %), iš kitų galvijų – 41,4 %, o iš avių net 2,8 %. Metano emisija iš karvių virškinimo sistemų sudaro 41,8 % nuo ŠESD emisijos CO₂ ekv. gyvulininkystėje arba 17,4 % ŠESD emisijos CO₂ ekv. žemės ūkyje, arba tik 3,9 % nuo bendros ŠESD emisijos Lietuvoje. Taip pat svarbūs metano šaltiniai yra karvių, kitų galvijų ir kiaulių mėšlas.

N₂O dujos sudaro tik apie 10 % nuo ŠESD emisijos gyvulininkystėje. Daugiausia šių dujų išgaruoja tiesiogiai iš tirstojo mėšlo.

Amoniakas ir azoto oksidai NO_x yra netiesioginis N₂O šaltinis. Azotas į aplinką daugiausia patenka amoniako, taip pat azoto (N₂) ir jo oksido (N₂O) dujų pavidalu. Daugiausia amoniako išgaruoja laikant galvijus. Amoniakas yra pagrindinės dujos rūgštinančios kritulius ir taip žalojančios ekosistemą.

Mažinti ŠESD emisiją ir taip mažinti gyvulininkystės poveikį klimato kaitai, geriausia taikant kompleksines priemones:

- optimizuojant gyvūnų laikymo sąlygas ir didinant gyvūnų produktyvumą;

- optimizuojant pašarų racioną;
- mažinant energijos sąnaudas produkcijos gamybai;
- valdant dujų garavimo procesus iš mėšlo.

Karvių produktyvumas daro didžiausią įtaką CH₄ dujų susidarymui virškinimo procesu metu, kurios yra svarbiausios dujos darančios gyvulininkystės poveikį klimato kaitai. Europos sąlygoms standartinė 6000 kg pieno per metus duodančios karvės metano išskyrimo vertė yra 109 kg CH₄/(karvė, metai). Karvės produktyvumą padidinus iki 12000 kg pieno per metus, CH₄ emisija padidės iki 143 kg CH₄/(karvė, metai), tačiau metano emisija 1000 kg pieno pagaminti sumažės nuo 18,16 kg iki 11,92 kg, t.y. 35 procentais. Vertinant ne tik pagrindinį produktą – pieną, bet ir šalutinius – veršiena, jautiena, ŠESD emisijos mažinimo produkcijos vienetui pagaminti efektyvumas bus dar didesnis.

Labai efektyvu taikyti klimatui draugiškus šėrimo racionus. Klimatui draugiškame racione lyginant su norma sumažinama sausųjų medžiagų, žalių riebalų kiekis, o padidinama ląstelių. Todėl didėja maistinių medžiagų virškinamumas ir mažėja metano emisija iš virškinimo procesų. N₂O emisiją iš mėšlo tvarkymo sistemų apsprendžia azoto kiekis racione. Toks racionas didina azoto kiekį mėšle, tačiau ženkliai mažina metano emisiją. Todėl ŠESD CO₂ ekv. gali mažėti 15-20 %.

Optimizuojant mėšlo tvarkymo technologinius procesus, anaerobinės aplinkos sudarymą mėšle, mėšlo laikymo trukmę tvarte, plutos formavimąsi mėšlo paviršiuje, galima sumažinti ŠESD emisiją.

Mažinant metano emisiją iš mėšlo tvarkymo sistemų rekomenduojama:

- vengti anaerobinio mėšlo laikymo;
- didinti kraiko naudojimą ir mažinti mėšlo drėgnumą;
- aeruoti mėšlą (tačiau didės amoniako emisija);
- uždengti skystojo mėšlo rezervuarus ir surinkti metano dujas.

ŠESD išmetama daugiausia laikant galvijus. Laikant kiaules šių dujų emisija mažesnė: išmetamų dujų kiekis lygus 2,41 kg CO₂ ekvivalento vienam kilogramui kiaulienos (75 % išmetama penimos kiaulės augimo etape, 6 % - paršiovimosi metu, 9 % - paršelių žindymo metu, 8 % - nėštumo metu ir 2% - kiaulaitės augimo metu). Įrenginiams ir jų eksploatacijai reikalinga energija ŠESD emisija lygi apie 0,15 kg CO₂ ekv. vienam kg. Įrenginių efektyvumo padidinimas - sumažinus įrenginių ir eksploataavimo energijos sąnaudas (šildymo, vėdinimo) 30%, iškastinio kuro suvartojimą sumažintų 10%, kartu sumažėtų ŠESD išmetimai (Tallaksen ir kt., 2020).

Biodujų jėginių naudojimas laikomas veiksminga priemone siekiant sumažinti taršą ir aprūpinti biodujų ištekliais bei bioorganinėmis trąšomis. Biodujų kaupimo įranga kiaulių

auginimo technologijose yra svarbi mažinant gyvulininkystės poveikį klimato kaitai, taip pat biologinio saugumo ir gyvulininkystės politikos srityse (Dung ir kt., 2020).

Gyvūnų mėšlo anaerobinis skaidymas yra efektyvus būdas anglį paversti metanu, kad būtų galima naudoti kaip transporto kurą arba gaminti elektros energiją. Nors mėšlo anaerobinis perdirbimas dažniausiai susijęs su pienininkyste, taip pat gali būti sėkmingai taikomas tvarkant mėšlą ir nuotekas kiaulininkystės bei paukštininkystės ūkiuose. Galima sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir gauti ekonominę naudą, naudojant atsinaujinančią energiją iš anaerobinio skaidymo. Skystoji frakcija po anaerobinio skaidymo gali būti naudojama kaip trąša augalininkystėje, o tirštoji frakcija naudojama gyvūnų pakratams arba kompostuojama (Harrison ir kt., 2020).

Kiaulių skerdenų panaudojimas gali pagerinti biodujų gamybos efektyvumą. Tačiau komponentų, įskaitant gyvūnų liekanas, baltymus, lipidus, nesuvirškintų pašarų likučius, antimikrobinių vaistų likučius, savybės yra sudėtingos ir įvairios. Todėl atsiranda rizikų efektyviai gaminti biodujas. Reikalingas pirminis atliekų apdorojimas, kuris paskatina lipidų tirpimą ir pagreitina anaerobinį perdirbimą (Tápparo ir kt., 2020).

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Svarbiausi veiksniai įtakojantys amoniako garavimo intensyvumą iš mėšlo yra mėšlo cheminė sudėtis ir aplinkos mikroklimatiniai veiksniai: temperatūra (oro ir mėšlo), drėgnis (oro ir mėšlo paviršiaus), oro greitis.
2. Mažinant amoniako garavimo iš mėšlo proceso intensyvumą, labai svarbu tinkamai valdyti procesus vykstančius mėšlo paviršiuje, darančius įtaką mėšlo paviršiaus drėgniui ir deguonies patekimui virš mėšlo. Jeigu mėšlo paviršiuje blogai formuojasi pluta, ant skystojo mėšlo 100 m² užpylus 100 kg durpių, amoniako emisija sumažės iki 80 %.
3. Mėšlo pH mažinimas yra efektyvi priemonė amoniako nuostoliams mažinti. Įmaišius į skystąjį mėšlą sieros rūgštis ir pH sumažinus nuo 7 iki 5,5, amoniako emisija sumažėja iki 50 %.
4. Mėšlo tvarkymo technologijoje naudojant biopreparatus, sumažėja amoniako emisija ir energijos sąnaudos mėšlo maišymui. Priklausomai nuo mėšlo sudėties, temperatūrinės aplinkos, amoniako emisija sumažėja daugiau kaip 30 %.
5. Išmetamo amoniako kiekį sumažinsime gyvulius šeriant individualiais racionalais ir mažo baltymingumo pašarais bei laikant produktyvesnius gyvulius (dvi karves, duodančias po 5000 kg pieno per metus, pakeitus viena 10000 kg produktyvumo, amoniako emisija sumažėja 30–40 % skaičiuojant produkcijos vienetui).
6. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš mėšlo tvarkymo sistemų, rekomenduojama:
 - mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru (įrengti mėšlo šalinimo kanalus po žeme);
 - nemaišyti arba kuo mažiau maišyti mėšlą;
 - mažinti mėšlu užterštą plotą šalia tvartų;
 - intensyvinti mėšlo paviršiaus džiovimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes, pjuvenas ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - mažinti mėšlo paviršiaus drėgnumą.
7. Amoniako emisiją tvartuose galima sumažinti gausiau kreikiant smulkintais šiaudais, pjuvenom arba durpėmis, mažinant mėšlu užterštą paviršiaus plotą, įrengiant kanalus šlapimui nutekėti. NH₃ emisiją sumažinsime neleidžiant orui iтекėti į tvartą per mėšlo kanalus, bet ištraukiant orą per juos. Traukiant orą iš mėšlo kanalo ir teršalams neleidžiant pasklisti tvarte, amoniako koncentracija tvarte sumažėja iki 25–30 % lyginant su oro nutraukimu virš grindų.

8. Perspektyvi priemonė mažinanti amoniako emisiją yra biofiltrų naudojimas: oro valymo įvairiuose filtruose efektyvumas yra iki 90 %. Tačiau filtrus galima naudoti tik priverstinai vėdinamuose tvartuose, natūraliai vėdinamuose jie netinka.
9. Amoniako garavimo iš mėšlo procesą tvartuose galima kontroliuoti mažinant vėdinimo intensyvumą ir optimaliai reguliuojant tvarto oro temperatūrą, ypatingai esant aukštesnėms temperatūroms. Vienu laipsniu sumažinus vidutinę metinę oro temperatūrą tvarte, amoniako emisija iš jo sumažės daugiau kaip 10 %.
10. Svarbiausios priemonės amoniako emisijai iš tvartų mažinti:
 - subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
 - intensyviau šalinti mėšlą iš tvarto;
 - įrengti nubėgimus ir neleisti šlapimui kauptis takuose ir kituose grindų nelygumuose (išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 25 proc.);
 - gausiau naudoti kraiką šlapimui sugerti (laikant gyvulius ant gilaus kraiko ir parinkus tinkamą kraiko storį galima sumažinti amoniako emisiją į aplinką. Gausesnis šiaudų kraikas gali sumažinti amoniako emisiją tiek tvarte, tiek mėšlidėje);
 - mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru ir mėšlą kuo mažiau maišyti;
 - mažinti mėšlu užterštą plotą tvartuose ir šalia tvartų;
 - esant bekraikei laikymo technologijai, įrengti grotelėmis dengtus kanalus mėšlui surinkti, teršiamas grindis daryti su nuolydžiu šlapimui tekėti į kanalą, kanalo sienas įrengti lygias, prie kurių mėšlas nelimpa;
 - gerinti betono savybes priedais, mažinančiais betono higroskopiskumą;
 - uždaryti poras betono paviršiuje įsigeriančiomis hidroizoliacinėmis medžiagomis ar įsiskverbiančiais ir betono paviršiaus struktūrą pakeičiančiais nano dangais;
 - optimizuoti tvarto vėdinimo intensyvumą pagal oro temperatūrą, santykinę drėgnį ir amoniako koncentraciją. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 20 proc.;
 - mažinti oro temperatūrą tvarte (naudojant dirbtinio rūko arba kitas oro vėsinimo sistemas);
 - dažniau šalinti mėšlą taikant vakuuminę sistemą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25 proc.;
 - intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.
11. Svarbiausios priemonės amoniako emisijai iš tirstojo mėšlo mėšlidės mažinti:
 - uždengti mėšlą šiaudais, durpėmis, plėvele arba kt. danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;

- mažinti mėšlo paviršiaus plotą (pvz., mėšlidę statant aukštomis sienomis);
 - palaikyti didelį sausųjų medžiagų kiekį (pvz., uždengiant stogą virš mėšlidės);
 - jeigu mėšlo rietuvė nedengiama, ji kraunama kūgio forma, kad nubėgtų krituliai;
 - palaikyti žemesnę kaip 50 °C temperatūrą mėšlo rietuvėje, į mėšlą įmaišant daugiau šiaudų, kad anglies ir azoto santykis būtų didesnis kaip 30 (C:N>30).
12. Svarbiausios priemonės amoniako emisijai iš skystojo mėšlo mėšlidės mažinti:
- įrengti gilesnę mėšlidę ir mažinti mėšlo paviršiaus plotą;
 - įrengti požemines mėšlo saugyklas;
 - uždengti mėšlidę sandaria stogo danda. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 80 proc.;
 - uždengti mėšlo paviršių smulkintais šiaudais (granulėmis), keramzito granulėmis, durpėmis, brezentu, sintetinė plėvele, pjuvenomis, smulkintais kanapių spaliais ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
 - neardyti natūralios plutos mėšlo paviršiuje, kuri susidaro, kai mėšle sausųjų medžiagų yra daugiau kaip 7 % . Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - šviežią mėšlą tiekti į mėšlidės dugną, t.y. po mėšlo paviršiuje susiformavusia danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - mėšlą uždengti plūduriuojančiais rutuliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 60 proc.
13. Optimizuojant mėšlo tvarkymo technologinius procesus, anaerobinės aplinkos sudarymą mėšle, mėšlo laikymo trukmę tvarte, plutos formavimąsi mėšlo paviršiuje, galima sumažinti ŠESD emisiją.
14. Mažinti ŠESD emisiją ir taip mažinti gyvulininkystės poveikį klimato kaitai, geriausia taikant kompleksines priemones:
- optimizuojant gyvūnų laikymo sąlygas ir didinant gyvūnų produktyvumą;
 - optimizuojant pašarų racioną;
 - mažinant energijos sąnaudas produkcijos gamybai;
 - valdant dujų garavimo procesus iš mėšlo.
15. Svarbiausios priemonės metano emisijai iš mėšlo tvarkymo sistemų mažinti:
- vengti anaerobinio mėšlo laikymo;
 - didinti kraiko naudojimą ir mažinti mėšlo drėgnumą;
 - aeruoti mėšlą (tačiau didės amoniako emisija);
 - uždengti skystojo mėšlo rezervuarus ir surinkti metano dujas.

Paskelbtų straipsnių sąrašas

R. Bleizgys, V.Naujokienė, 2023. Ammonia emissions from cattle manure under variable moisture exchange between the manure and the environment. Basel: MDPI, Agronomy, Volume 13, Issue 6, p. 1-16. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/6/1555>

I.Knoknerienė, R.Bleizgys, 2023. Amoniakos emisijos mažinimo biodangomis efektyvumas iš tirštojo mėšlo. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas. Žmogaus ir gamtos sauga 2023: mokslo straipsnių rinkinys = Human and nature safety 2023: selected papers. Volume 2023, p. 84-89. <https://hdl.handle.net/20.500.12259/253161>

R.Bleizgys, 2023. Oro taršą gyvulininkystėje galima sumažinti. Kaunas: Ūkininko patarėjas, birželio 20 d.

Rekomendacijos Mėšlo ir nuotekų tvarkymo statinių technologinio projektavimo taisyklių ŽŪ TPT 03:2010 papildymui

<i>ŽŪ TPT 03:2010 punktas</i>	<i>Siūlomi pakeitimai</i>
8.12. mėšlo homogenizavimas – mėšlo masės suvienodinimas maišant;	8.12. mėšlo homogenizavimas – mėšlo struktūros ir cheminės sudėties suvienodinimas maišant;
8.13. mėšlo skirstymas į frakcijas – skystojo mėšlo skirstymas į biriąją ir skystąją frakcijas mechaniniu arba natūralaus nusodinimo būdu;	8.13. mėšlo skirstymas į frakcijas – skystojo mėšlo skirstymas į tirštąją ir skystąją frakcijas mechaniniu arba natūralaus nusodinimo būdu;
8.21. vakuuminis mėšlo šalinimas – skystojo mėšlo šalinimas uždaru nuotakynu iš tvarte esančių mėšlo kauptuvų (kanalų, vonių) į mėšlidę išnaudojant mėšlo gravitacines (slėgio, aukščio gradiento) ir nuotakyno vakuumines savybes.	8.21. vakuuminis mėšlo šalinimas – skystojo mėšlo šalinimas sandaria vamzdyno sistema iš tvarte esančių mėšlo kauptuvų (kanalų, vonių) į mėšlidę, mėšlą siurbiant siurbliais ir panaudojant kūnų gravitacines savybes.
13.2.5. skystojo mėšlo šalinimo savitakis periodinio veikimo kanalas pririštų galvijų laikymo tvartuose turi būti daromas horizontaliu dugnu, 0,8–1,0 m pločio. Kanalo gale būtina įrengti 0,10–0,15 m aukščio sandarų slenkstį skysčio sluoksniui kanalo dugne palaikyti ir sandarią, ne mažesnio kaip 0,3–0,5 m skersmens, mėšlo išleidimo iš kanalo sklendę (galima abu šiuos elementus sutapdinti). Kanalų sistemoje išleidžiant skystąjį mėšlą iš išilginių kanalų į surinkimo kanalą jis įrengiamas ne mažiau kaip 0,2 m žemiau pirmojo. Sistemos darbo pradžioje kanalai iki slenkščių viršaus užpildomi vandeniu. Kad mėšlas geriau ištekėtų iš tuštintamų kanalų, kaupimo metu mėšlas skiedžiamas pilant į jį iki 20 litrų vandens arba kitų nuotekų skaičiuojant vienam galvijui per dieną. Mėšlas skiedžiamas ne daugiau kaip iki 92,0 proc. drėgnio, kad kaupimo rezervuare jo paviršiuje susidarytų kvapų nepraleidžiantis plaukiantis sluoksnis.	13.2.5. skystojo mėšlo šalinimo savitakis periodinio veikimo kanalas pririštų galvijų laikymo tvartuose turi būti daromas horizontaliu dugnu. Kanalo gale būtina įrengti 0,10–0,15 m aukščio sandarų slenkstį skysčio sluoksniui kanalo dugne palaikyti ir sandarią, ne mažesnio kaip 0,3–0,5 m skersmens, mėšlo išleidimo iš kanalo sklendę. Kanalų sistemoje išleidžiant skystąjį mėšlą iš išilginių kanalų į surinkimo kanalą jis įrengiamas daugiau kaip 0,2 m žemiau pirmojo. Sistemos darbo pradžioje kanalai iki slenkščių viršaus užpildomi vandeniu.
13.3.3. iš giliųjų tvartų tirštąjį mėšlą šalinant mobiliu krautuvu, gardo tvorų ir tvarto sienų apsaugai nuo pažeidimų numatyti 0,05–0,2 m pločio bortelius. Prie sienų borteliai įrengiami mėšlo sukauptimo sluoksnio storį atitinkančio aukščio arba įrengiama kitokia apsauga; gardo skersinio pjūvio schemos parodytos 1 priedo 14–15 pav. Šiuo atveju	13.3.3. iš giliųjų tvartų tirštąjį mėšlą šalinant mobiliu krautuvu, gardo tvorų ir tvarto sienų apsaugai nuo pažeidimų numatyti 0,05–0,2 m pločio bortelius. Prie sienų borteliai įrengiami mėšlo sukauptimo sluoksnio storį atitinkančio aukščio arba įrengiama kitokia apsauga; gardo skersinio pjūvio schemos parodytos 1 priedo 14–15 pav.

<p>normomis reikalaujamą mėšlidės talpą leidžiama sumažinti mėšlo kaupimo tvarte vieno periodo talpa;</p>	<p>Komentaras: jeigu yra gilusis tvartas, jame telpa 6 mėnesių mėšlas ir mėšlidė nebūtina. Todėl rašyti netikslinga: Šiuo atveju normomis reikalaujamą mėšlidės talpą leidžiama sumažinti mėšlo kaupimo tvarte vieno periodo talpa;</p>
<p>13.4. Skystojo mėšlo šalinimo transporteriais arba buldozeriu iš palaidų galvijų laikymo tvartų reikalavimai:</p>	<p>13.4. Skystojo mėšlo šalinimo atvirais takais stacionariais transporteriais arba mobiliomis priemonėmis (buldozeriu, robotu) iš palaidų galvijų laikymo tvartų reikalavimai:</p> <p>13.4.5. Skystąjį mėšlą robotais surenkant takuose, svarbu užtikrinti kad mėšlas takuose neužšaltų.</p>
<p>13.5.1. įrengiant kanalus pagal šakotinę kanalų išdėstymo schemą, tam, kad šalinamo skystojo mėšlo masė būtų homogenizuojama, ji turi būti iš siurblinės vamzdžiu tiekama į kanalų tolimiausią galą. Siekiant išvengti oro užteršimo, mėšlo padavimo vamzdžio galas turi būti panardinamas į mėšlo sluoksnio masę taip, kad į paviršių netikštų purslai, o mėšlo persiurbimo vamzdynas turi būti apsaugotas nuo užšalimo;</p>	<p>13.5.1. įrengiant kanalus pagal šakotinę kanalų išdėstymo schemą, kad šalinamas skystasis mėšlas būtų homogenizuojamas, jį iš siurblinės vamzdžiu reikia tiekti į kanalų tolimiausią galą. Siekiant išvengti oro užteršimo, mėšlo teikimo vamzdžio galą reikia panardinti į mėšlą taip, kad į paviršių netikštų purslai. Mėšlo tiekimo vamzdynas turi būti apsaugotas nuo užšalimo;</p> <p>13.5.7. besaičio galvijų laikymo tvartuose skystasis mėšlas šalinamas grotelėmis dengtais kanalais, kuriuose mėšlas kaupiamas ir periodiškai šalinamas savitaka, recirkuliacija arba išsiurbiamas siurbliais. Mėšlas į kanalą sukrenta per grotelių plyšius, jomis vaikstant ir trypiant mėšlą gyvūnams, arba grotelių valymui naudojant mobilius robotus arba stacionarius skreperinius transporterius.</p>
<p>14.2.2. mėšlo sukaupimo vonių paviršiuje susidariusiai plutai sulaužyti grindų dalis prie mėšlo išleidimo angų 1,0 m pločio zonoje gali būti 0,1 m įgilinama, o vamzdyno apsaugai nuo kietų nešmenų patekimo mėšlo išleidimo vamzdis iš angos virš įgilintų grindų iškišamas 0,02 m.</p>	<p>14.2.2. mėšlo sukaupimo vonių paviršiuje susidariusiai plutai sulaužyti grindų dalis prie mėšlo išleidimo angų 1,0 m pločio zonoje gali būti 0,1 m įgilinama, o kad vamzdyną apsaugoti nuo kietų nešmenų patekimo, mėšlo išleidimo vamzdis iškišamas 0,02 m virš įgilintų grindų.</p>
<p>14.3.1. šalinant skystąjį mėšlą vakuuminiu būdu visa vamzdynų sistema turi būti sandari. Mėšlas iš magistralinių vamzdynų, paklotų su 0,003–0,005 nuolydžiu į siurblinės rezervuaro pusę, tiekiamas į siurblinėje nuolat esantį mėšlo sluoksnį 45° kampu panardintu vamzdžiu. Vamzdyno</p>	<p>14.3.1. šalinant skystąjį mėšlą vakuuminiu būdu visa vamzdynų sistema turi būti sandari. Mėšlas iš magistralinių vamzdynų, paklotų su 0,003–0,005 nuolydžiu į siurblinės rezervuaro pusę, tiekiamas 45° kampu paklotu vamzdžiu, kurio galas panardintas į siurblinėje nuolat esantį mėšlą.</p>

<p>posūkiai, susikirtimai turi būti daromi panaudojant spinduliu lenktas arba ne didesnio kaip 45° kampo alkūnes bei trišakius. Susidarančioms vamzdyne dujoms ir mėšlo išleidimo metu spaudžiamam orui iš vamzdyno išleisti įrengiami specialūs vožtuvai, jungiantys vamzdyną su aplinka tolimiausiame vamzdyno gale ir prie pat siurblynės. Šakotinėse vakuuminėse sistemose, šakų prijungimo į magistralę vietose įrengiamos sklendės, vakuuminės skystojo mėšlo šalinimo sistemos schema parodyta 2 priedo 4 pav.;</p>	<p>Vamzdyno posūkiai, susikirtimai turi būti daromi panaudojant spinduliu lenktas arba ne didesnio kaip 45° kampo alkūnes bei trišakius. Susidarančioms vamzdyne dujoms ir mėšlo išleidimo metu spaudžiamam orui iš vamzdyno išleisti įrengiami specialūs vožtuvai, jungiantys vamzdyną su aplinka tolimiausiame vamzdyno gale ir prie pat siurblynės. Šakotinėse vakuuminėse sistemose, šakų prijungimo į magistralę vietose įrengiamos sklendės. Vakuuminės skystojo mėšlo šalinimo sistemos schema parodyta 2 priedo 4 pav.</p>
--	--

Siūlomi nauji punktai:

X. ORO TARŠOS MAŽINIMAS IŠ MĖŠLO IR NUOTEKŲ TVARKYMO STATINIŲ

65. Iš mėšlo išmetamų dujų kiekis mažinamas taikant kompleksines priemones tvartuose, mėšlo šalinimo sistemose, mėšlidėse.
66. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš mėšlo tvarkymo sistemų, rekomenduojama:
 - mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru (įrengti mėšlo šalinimo kanalus po žeme);
 - kuo mažiau maišyti mėšlą;
 - intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - mažinti mėšlo paviršiaus drėgnumą;
 - intensyviau šalinti mėšlą iš tvarto;
 - mėšlą šalinant grotelėmis dengtais kanalais, orą kanaluose virš mėšlo išsiurbti ir nukreipti į biofiltrus;
 - įrengti nubėgimus ir neleisti šlapimui kauptis takuose ir kituose grindų nelygumuose (išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 25 proc.);
 - gausiau naudoti kraiką šlapimui sugerti;
 - mažinti mėšlu užterštą plotą tvartuose ir šalia tvartų;
 - esant bekrakei laikymo technologijai, įrengti grotelėmis dengtus kanalus mėšlui surinkti, teršiamas grindis daryti su nuolydžiu šlapimui tekėti į kanalą, kanalo sienas įrengti lygias, prie kurių mėšlas nelimpa;
 - gerinti takų ir kanalų betono savybes priedais, mažinančiais betono higroskopiškumą;
 - uždaryti poras betono paviršiuje įsigeriančiomis hidroizoliacinėmis medžiagomis ar įsiskverbiančia ir betono paviršiaus struktūrą pakeičiančia nano danga;
 - tvartuose reguliuoti oro srautus ir juos nukreipti taip, kad kuo mažiau švarus aplinkos oras apiplautų šviežio mėšlo paviršių ir nesusidarytų didelis dujų koncentracijos gradientas virš mėšlo sluoksnio;
 - subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
 - rūgštinti mėšlą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 50 proc.;
 - mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 30 proc.
 - laikyti kiaules ant grotelinių grindų su nuožulniomis kanalų sienomis. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25-35 proc.;

- naudoti plūduruojančius rutulius mėšlo kanaluose. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25 proc.;
 - dažniau šalinti mėšlą taikant vakuuminę sistemą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 25 proc.
67. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš tirštojo mėšlo mėšlidės, rekomenduojama:
- uždengti mėšlą šiaudais, durpėmis, pjuvenomis, plėvele arba kt. danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
 - mažinti mėšlo paviršiaus plotą (pvz., mėšlidę statant aukštomis sienomis);
 - palaikyti didelį sausųjų medžiagų kiekį (pvz., uždengiant stogą virš mėšlidės);
 - jeigu mėšlo rietuvė nedengiama, ji kraunama kūgio forma, kad nubėgtų krituliai;
 - palaikyti žemesnę kaip 50 °C temperatūrą mėšlo rietuvėje, į mėšlą įmaišant daugiau šiaudų, kad anglies ir azoto santykis būtų didesnis kaip 30 (C:N>30).
68. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš skystojo mėšlo mėšlidės, rekomenduojama:
- įrengti gilesnę mėšlidę ir mažinti mėšlo paviršiaus plotą;
 - įrengti požemines mėšlo saugyklas;
 - uždengti mėšlidę sandaria stogo danda. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 80 proc.;
 - uždengti mėšlo paviršių smulkintais šiaudais (granulėmis), keramzito granulėmis, durpėmis, brezentu, sintetine plėvele, pjuvenomis, smulkintais kanapių spaliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
 - neardyti natūralios plutos mėšlo paviršiuje, kuri susidaro, kai mėšle sausųjų medžiagų yra daugiau kaip 7 % . Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - šviežią mėšlą tiekti į mėšlidės dugną, t.y. po mėšlo paviršiuje susiformavusia danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - mėšlą uždengti plūduriuojančiais rutuliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 60 proc.;
 - rūgštinti mėšlą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 50 proc.;
 - mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 30 proc.
69. ŠESD emisiją mažinti optimizuojant mėšlo tvarkymo technologinius procesus, anaerobinės aplinkos sudarymą mėšle, mėšlo laikymo trukmę tvarte, plutos formavimąsi mėšlo paviršiuje ir surenkant metano dujas.
70. Mažinant ŠESD emisiją ir gyvulininkystės poveikį klimato kaitai, rekomenduojama taikyti kompleksines priemones:
- optimizuoti gyvūnų laikymo sąlygas ir didinti jų produktyvumą;
 - optimizuoti pašarų racioną;
 - mažinti energijos sąnaudas produkcijos gamybai;
 - optimizuoti dujų garavimo procesus iš mėšlo;
 - surinkti iš mėšlo išsiskiriančias metano dujas.
71. Mažinant metano emisiją iš mėšlo tvarkymo sistemų, rekomenduojama:
- vengti anaerobinio mėšlo laikymo;
 - didinti kraiko naudojimą ir mažinti mėšlo drėgnumą;
 - aeruoti mėšlą;
 - uždengti skystojo mėšlo rezervuarus ir surinkti metano dujas.
72. Mažinant sieros vandenilio emisiją iš mėšlo, rekomenduojama gausiai kreikti guoliavietes, dažniau šalinti skystąjį mėšlą iš kanalų tvarte, separuoti mėšlą, atskiriant tirštąjį ir skystąjį frakcijas.
73. Mažinant išmetamus kvapus, rekomenduojama:
- neleisti šlapimui kauptis tvarte grindų paviršiuje;
 - tuštintis zonas vasarą reguliariai purkšti vandeniu, kad ekskrementai slinktų į kanalą;

- gerinti betono savybes priedais, mažinančiais betono higroskopiškumą, betono paviršių padengiant hidroizoliacinėmis medžiagomis ar įsiskverbiančiais ir betono paviršiaus struktūrą pakeičiančiais nano dangais;
- guoliavietes kreikti gausiais sausais šiaudais arba durpėmis;
- iš kanalų po grotelėmis mėšlą šalinti ne rečiau kaip kas dvi savaites;
- mėšlą šalinant grotelėmis dengtais kanalais, orą kanaluose virš mėšlo išsiurbti ir nukreipti į biofiltrus;
- subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
- į mėšlą kanaluose įmaišyti biologinių preparatų;
- rūgštinti mėšlą;
- mažinti dulkėtumą;
- mėšlą uždengti šiaudais, durpėmis, keramzitu, plėvele ar kita danga;
- mėšlą separuoti: atskiriant tirštąją ir skystąją frakcijas;
- apdoroti mėšlą anaerobinėje aplinkoje.

Rekomendacijos mėšlidžių eksploatavimo bendrosioms taisyklėms

1. Laikant mėšlą negali būti teršiama dirva, vanduo ir mažinamas poveikis oro taršai.
2. Laikant mėšlą, reikia mažinti amoniako, metano, sieros vandenilio dujų išmetamus kiekius. Amoniakas yra pagrindinės dujos rūgštinančios kritulius ir taip žalojančios ekosistemą. Metanas – šiltnamio efektą sukeliančios dujos, turinčios didelį poveikį klimato kaitai. Sieros vandenilis – labai kenksmingos ir nuodingos dujos, skleidžiančios labai nemalonų kvapą.
3. Mėšlo ir nuotekų tvarkymo statiniai turi būti taip eksploatuojami, kad būtų išvengta žmonių ir gyvulių apnuodijimo ir sužalojimo.
4. Mėšlo kaupimo ir tvarkymo įrenginių teritorija turi būti natūraliai vėdinama.
5. Dengtos mėšlidės ir rezervuarai turi būti vėdinami.
6. Mėšlidėje ir srutų kauptuve turi būti įrengtas visą eksploatavimo laikotarpį sandarumą užtikrinantis hidroizoliacinis sluoksnis.
7. Mėšlidžių metalinės konstrukcijos turi turėti patikimą visam eksploataciniam laikotarpiui antikorozinę apsaugą. Sintetinių medžiagų konstrukcijos, naudojamos gruntinių mėšlidžių statybai, turi būti specialios paskirties, didelio tankio, atsparios ultravioletiniams saulės spinduliams, šilumai ir šalčiui.
8. Skystasis mėšlas tiekiamas į rezervuaro dugną po mėšlo paviršiuje susidariusia plaukiančia pluta. Jeigu mėšlo paviršiuje nesusidaro pluta, reikia padidinti sausųjų medžiagų kiekį mėšlo paviršiuje išbarstant smulkintų šiaudų, durpių arba kt. organinių medžiagų.
9. Skystojo mėšlo rezervuarą uždengus tentu ar kitokios konstrukcijos stogo danga, reikia palikti vėdinimo angas. Per šias angas visą eksploatacijos laikotarpį turi vykti oro mainai, kurių metu pašalinama iš mėšlo išsiskyrusios metano dujos.
10. Prieš išvežimą į tręšimo laukus skystasis mėšlas rezervuaruose išmaišomas, visa jo masė homogenizuojama panaudojant mechanines mobilias arba stacionarias priemones.
11. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš tirštojo mėšlo mėšlidžių, rekomenduojama:
 - subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
 - rūgštinti mėšlą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 50 proc.;
 - mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 30 proc.;
 - mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru (įrengti mėšlo šalinimo kanalus po žeme);
 - kuo mažiau maišyti mėšlą;
 - mažinti mėšlo paviršiaus drėgnumą;
 - intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, durpes ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
 - gausiau naudoti kraiką šlapimui sugerti (smulkintus šiaudus, durpes ir kt.);
 - uždengti tirštąjį mėšlą šiaudais, durpėmis, plėvele arba kt. danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
 - palaikyti didelį sausųjų medžiagų kiekį (pvz., uždengiant stogą virš mėšlidės);
 - jeigu tirštojo mėšlo rietuvė nedengiama, ji kraunama kūgio forma, kad nubėgtų krituliai;
 - palaikyti žemesnę kaip 50 °C temperatūrą tirštojo mėšlo rietuvėje, į mėšlą įmaišant daugiau šiaudų, kad anglies ir azoto santykis būtų didesnis kaip 30 (C:N>30);
 - įrengti gilesnę (aukštesnę) mėšlidę ir mažinti mėšlo paviršiaus plotą.
12. Mažinant išmetamo amoniako kiekį iš skystojo mėšlo mėšlidžių, rekomenduojama:

- subalansuoti šėrimo racioną mažinant baltymų kiekį pašaruose;
- rūgštinti mėšlą. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 50 proc.;
- mėšlo tvarkymo technologijoje naudoti probiotikus. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 30 proc.;
- mažinti šviežio mėšlo kontaktą su aplinkos oru (įrengti mėšlo šalinimo kanalus po žeme);
- mažiau maišyti mėšlą;
- mažinti mėšlo paviršiaus drėgnumą;
- intensyvinti mėšlo paviršiaus džiūvimą ir plutos formavimąsi natūraliomis sąlygomis, bei naudojant dirbtines priemones: šiaudus, šiaudų granules, durpes, pjuvenas, smulkintus kanapių spalius ir kt. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- įrengti gilesnę mėšlidę ir mažinti mėšlo paviršiaus plotą;
- įrengti požemines mėšlo saugyklas;
- uždengti skystojo mėšlo mėšlidę sandaria stogo danda. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 80 proc.;
- uždengti skystojo mėšlo paviršių smulkintais šiaudais (granulėmis), keramzito granulėmis, durpėmis, brezentu, sintetine plėvele, pjuvenomis, smulkintais kanapių spaliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 60 proc.;
- neardyti natūralios plutos skystojo mėšlo paviršiuje, kuri susidaro, kai mėšle sausųjų medžiagų yra daugiau kaip 7 %. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- įgilintą grunto mėšlidę aptverti;
- reguliuoti oro srautus virš mėšlo paviršiaus, kad švarus oras mažiau apiplautų mėšlą ir nesusidarytų stiprūs oro srautai mėšlo paviršiuje;
- skystąjį mėšlą tiekti į mėšlidės dugną, t.y. po mėšlo paviršiuje susiformavusia danga. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja daugiau kaip 40 proc.;
- skystąjį mėšlą uždengti plūduriuojančiais rutuliais. Išmetamo amoniako kiekis sumažėja iki 60 proc.

Informacijos šaltinių sąrašas

1. Andrés H., Gaspar P., Escribano M., 2020. Organic Farming as a Strategy to Reduce Carbon Footprint in Dehesa Agroecosystems: A Case Study Comparing Different Livestock Products. *Animals* 2020, 10(1), 162.
2. Aplinkosaugos reikalavimai mėšlui tvarkyti. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministro 2005 liepos 14 d. įsakymu Nr. D1-367/3D-342., (Žin., 2005, Nr. 92-3434).
3. Ahring, B. K., 2003. Perspectives for anaerobic digestion. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*. Vol. 81, p. 1-30.
4. Bagdonienė I., Bleizgys R., 2014. Ammonia emissions from dairy cattle manure under variable ventilation rates. *Annals of animal science*, Vol. 14, Is. 1, p. 141-151.
5. Baldini, C.; Borgonovo, F.; Gardoni, D.; Guarino, M., 2016. Comparison among NH₃ and GHGs emissive patterns from different housing solutions of dairy farms. *Atmospheric Environment* 141, 60-66.
6. Bleizgys R., Čėsna J., Kukharets S., Medvedskiy O., Strelkauskaitė-Buivydienė I., Knoknerienė I., 2023. Adiabatic cooling system working process investigation // *Processes*, t. 11, nr. 3, p. 1 – 16.
7. Bleizgys R., Naujokienė V., 2023. Ammonia Emissions from Cattle Manure under Variable Moisture Exchange between the Manure and the Environment // *Agronomy*, t. 13, 1555, p. 1 – 16.
8. Bleizgys R., Naujokienė V., Čėsna J., 2022. Humidification-cooling system in semi-insulated box-type cowsheds prevent the loss of milk productivity due to thermal stress // *Agronomy*, t. 12, nr. 5, p. 1 – 16.
9. Bleizgys, R., 2022. Pieno ūkių tvarumo didinimas // *Mano ūkis*. Akademija (Kėdainių r.): Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba, nr. 4, p. 56 – 58.
10. Bleizgys R., Bagdonienė I., Naujokienė V., 2021. Oro taršos mažinimas gyvulininkystėje // *Žmogaus ir gamtos sauga 2021: mokslo straipsnių rinkinys*, p. 46-49
11. Bleizgys R., Naujokienė V. Patentas Lietuvos patentų biure LT6472B. 2017. Pavadinimas „Amoniako emisijos mažinimo būdas gyvulininkystėje“.
12. Bleizgys R., Mažeikienė R., 2017. Reduction of ammonia emissions from cattle manure using biopreparations. Assessment of Properties of Coarse-Energy Plants. *Rural Development 2017: Bioeconomy Challenges: Proceedings of the 8th International Scientific Conference*. Aleksandras Stulginskis University, p. 209-214.
13. Bleizgys R., Bagdoniene I., 2016. Control of ammonia air pollution through the management of thermal processes in cowsheds. *Science of the total environment*, Vol. 568, p. 990-997.
14. Bleizgys R., Bagdonienė I., Baležentienė L., 2013. Reduction of the Livestock Ammonia Emission under the Changing Temperature during the Initial Manure Nitrogen Biomineralization. *The Scientific World Journal*, Vol. 2013, p. 1-7.
15. Bleizgys R., Baležentienė L., 2014. Assessments of biogenic gas emission processes in cowsheds. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 23, No. 4, p. 1107-1114.
16. Bleizgys R., Čėsna J., 2012. Gyvulininkystės technologijų inžinerija. Mokomoji knyga. Kaunas, Akademija, 86 p.
17. Bobrowski, A.B.; Willink, D.; Janke, D.; Amon, T.; Hagenkamp-Korth, F.; Hasler, M.; Hartung, E., 2021. Reduction of ammonia emissions by applying a urease inhibitor in naturally ventilated dairy barns. *Biosystems Engineering*, Volume 204, Pages 104-114.
18. Bussink, D.W.; Oenema, O., 1998. Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 51, p. 19-33.
19. Cao X., Rüdiger R., Nicolas B., 2019. Potential of high organic carbon soil amendments to mitigate greenhouse gas and ammonia emissions from pig and cattle slurry treated soils. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 21, p1-1. 1p.
20. Carlos Piñeiro, Morales J., Rodríguez M., Aparicio M., Manzanilla E.G., Koketsu Y., 2019. Big (pig) data and the internet of the swine things: a new paradigm in the industry. *Animal Frontiers*, Volume 9, Issue 2, April 2019, Pages 6-15.

21. Dung P. V., Hoan D. C., Arango J., Nghia T., 2020. Greenhouse gas emissions from piggery and biogas digesters in the Red River Delta of Vietnam. *Greenhouse gas emissions. The Red River Delta Vietnam. 2020. International Center for Tropical Agriculture.* p. 1 – 26.
22. Ding, L.; Li, Q.; Wang, C.; Zhang, G.; Jiang, R.; Yu, L.; Zheng, W.; Gao, R.; Ma, W.; Zhang, S.; Shi, Z., 2020. Determination of the mass transfer coefficient of ammonia emissions from dairy open lots using ascale model. *Biosystems engineering* 190, 145-156.
23. Economic Commission for Europe, 2014. Guidance document on preventing and abating ammonia emissions from agricultural sources. ECE/EB.AIR/120, 100 p.
24. Feiza ir kt., 2019. Gerosios žemės ūkio praktikos kodeksas, kurio taikymas mažintų neigiamą žemės ūkio poveikį dirvožemiui, vandeniui, orui ir klimatui. Vilnius, 205 p.
25. Hempel, S.; Saha, C.K; Fiedler, M.; Berg, W.; Hansen, C.; Amon, B.; Amon, T., 2016. Non-linear temperature dependency of ammonia and methane emissions from a naturally ventilated dairy barn. *Biosystems Engineering*, 145, 10-21.
26. Huang D., Guo H., 2017. Diurnal and seasonal variations of odor and gas emissions from a naturally ventilated free-stall dairy barn on the Canadian Prairies. *Journal of the air & waste management association*, Vol. 67 (10), p. 1092–1105
27. Hristov A. N., et al., 2011. Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Canadian Journal of Animal Science*, Vol. 91, p. 1–35.
28. Harrison J.H., Ndegwa P.M., 2020. Anaerobic Digestion of Dairy and Swine Waste. *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management*, Volume 67.
29. Yang Y., Awasthi M.K., Du W., Ren X., Lei X., Jialong L., 2020. Compost supplementation with nitrogen loss and greenhouse gas emissions during pig manure composting. *Bioresource Technology*. Volume 297, February 2020, 122435. *Bioresource Technology Case Study*.
30. Yi Q., Zhang G., König M., Janke D., Hempel S., Amon T., 2018. Investigation of discharge coefficient for wind-driven naturally ventilated dairy barns. *Energy and Buildings*, 165 (15), p. 132-140.
31. Kavolėlis B., 2004. Amoniako emisija karvidėse. *Žemės ūkio mokslai*. Nr.1, p. 46.
32. Koerkamp, P. W. G., et al., 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 70(1), p. 79–95.
33. Kirk, G. J. D.; Nye, P. H. A., 1991. model of ammonia volatilization from applied urea. V. The effects of steady–state drainage and evaporation. *Journal of Soil Science*. Vol. 42, p. 103–113.
34. Knoknerienė, I.; Bleizgys, R., 2023. Amoniako emisijos mažinimo biodangomis efektyvumas iš tirštojo mėšlo. *Žmogaus ir gamtos sauga 2023: mokslo straipsnių rinkinys*, p. 84-89.
35. Lavanya M., Lim H.D., Kim K.M., Kim D.H., Ravindran B., Han G.H., 2020. A novel strategy for gas mitigation during swine manure odour treatment using seaweed and a microbial consortium. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* volume 14, Article number: 53.
36. Lithuania's Greenhouse Gas Inventory Report 2022. Vilnius, 2022, p. 565.
37. Laurence L., Fabrice G., 2019. Ammonia volatilization from different pig slurries applied on wheat stubble using different land spreading techniques under French conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Volume 280, 1 August 2019, Pages 114-117.
38. Mažeikienė R., Bleizgys R., 2022. Use of bio-preparations to reduce ammonia emissions from cattle farming: effects of manure storage time and ventilation intensity // *Agriculture*, t. 12, nr. 10, p. 1 – 12.
39. Man K.Y., Chow K.L., Man Y.B., Mo W.Y., Wong M.H., 2020. Use of bio-anglis as feed supplements for animal farming. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2020.
40. Mendes, L.B.; Pieters, J.G.; Snoek, D.; Ogink, N.W.M.; Brusselman, E.; Demeyer, P., 2017. Reduction of ammonia emissions from dairy cattle cubicle houses via improved management- or design-based strategies: A modeling approach. *Science of The Total Environment*, Volume 574, Pages 520-531.
41. Mostafa E., Selders A., Gates R.S., Buescher W., 2020. Pig barns ammonia and greenhouse gas emission mitigation by slurry aeration and acid scrubber. *Environmental Science and Pollution Research* volume 27, p. 9444–9453.
42. Moreira, V.R., Satter, L., 2006. D. Effect of scraping frequency in a freestall barn on volatile nitrogen loss from dairy manure. *J. Dairy Sci.* 89, 2579–2587.

43. Morsing, S.; Strøm, J.S.; Zhang, G.; Kai, P., 2008. Scale model experiments to determine the effects of internal airflow and floor design on gaseous emissions from animal houses. *Biosystems Engineering*. Vol. 99(1), p. 99–104.
44. Murawska, A., Prus, P., 2021. The Progress of Sustainable Management of Ammonia Emissions from Agriculture in European Union States Including Poland—Variation, Trends, and Economic Conditions. *Sustainability: MDPI*, vol. 13, 1035.
45. Naujokienė V., Bleizgys R., Venslauskas K., Paulikienė S., 2022. Climate-smart holistic management system criteria's effectiveness on milk production in Lithuania // *Agriculture*, t. 12, nr. 6, p. 1 - 18.
46. Naujokienė V., Bagdonienė I., Bleizgys R., Rubežius M., 2021. A Biotreatment effect on dynamics of cattle manure composition and reduction of ammonia emissions from agriculture // *Agriculture-Basel*. Basel: MDPI AG, vol. 11 iss. 4. P.1-17.
47. Nguyen Q.H., Dinh Le P., Chim C., Duc Le N., Fievez V., 2019. Potential to mitigate ammonia emission from slurry by increasing dietary fermentable fiber through inclusion of tropical byproducts in practical diets for growing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*; 32(4): 574-584.
48. Ni, J., 1999. Mechanistic models of ammonia release from liquid manure: a review. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol.72, p. 1–17.
49. Ni, J.Q.; Erasmus, M.A.; Croney, C.C.; Lid, C.; Lid, Y., 2021. A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare-related air pollution. *Journal of Hazardous Materials* 408, 124468. 1-13.
50. Ngwabie, N.M., Jeppsson, K.H., Gustafsson, G., Nimmermark, S., 2011. Effects of animal activity and air temperature on methane and ammonia emissions from a naturally ventilated building for dairy cows. *Atmospheric Environment* 45(37). 6760–6768.
51. Pažangaus ūkininkavimo taisyklės ir patarimai. Lietuvos žemės ūkio ministerija. Vilainiai. 2007. 38 p.
52. Pexas G., Mackenzie S., Wallace M., Kyriazakis I., 2020. Environmental impacts of housing conditions and manure management in European pig production systems through a life cycle perspective: A case study in Denmark. *Journal of Cleaner Production*. P. 120005.
53. Petokaitis M., Bleizgys R., 2017. Oro taršos amoniako dujomis kontrolė, naudojant biodangas mėšlui. *Agroinžinerija ir energetika*, Nr. 22, p. 104-110.
54. Pedersen, J.; Nyord, T.; Feilberg, A.; Labouriau, R., 2021. Analysis of the effect of air temperature on ammonia emission from band application of slurry. *Environmental Pollution* 282, 117055.
55. Pereira, J., Misselbrook, T.H., Chadwick, D.R., Coutinho, J., Trindade, H., 2012. Effects of temperature and dairy cattle excreta characteristics on potential ammonia and greenhouse gas emissions from housing: A laboratory study. *Biosystems Engineering* 112(2), 138–150.
56. Pereira, J., Trindade, H., 2014. Control of ammonia emissions in naturally ventilated dairy cattle facilities in Portugal. *Eng. Agric.* 34(3), 600-609.
57. Putmai N., Jarunglumert T., Prommuak C., Pavasant P., Flood A. E. Modelling of swine farm management for enhancement of biogas production and energy efficiency. 2020. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 736, Engineering Science and Technology.
58. Philippe F., Cabaraux J., Nicks B., 2011. Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Ecosystems & Environment*, Vol. 141(3–4), p. 245–260.
59. Rubežius M., Bleizgys R., Venslauskas K., Navickas K., 2020. Influence of biological pretreatment of poultry manure on biochemical methane potential and ammonia emission // *Biomass & Bioenergy*. Oxford: Pergamon-Elsevier Science Ltd, vol. 142. P. 1-9.
60. Rubežius M., Venslauskas K., Navickas K., Bleizgys R., 2020. Influence of aerobic pretreatment of poultry manure on the biogas production process // *Processes*. Basel : MDPI AG., 8(9), p. 1-12.
61. Qu, Q.; Groot, J.C.J.; Zhang, K.; Schulte, R.P.O., 2021. Effects of housing system, measurement methods and environmental factors on estimating ammonia and methane emission rates in dairy barns: A meta-analysis. *Biosystems engineering* 205, 64 -75.
62. Sanz A., et al., 2010. Use of an inverse dispersion technique for estimating ammonia emission from surface-applied slurry. *Atmospheric Environment*, Vol. 44, p. 999–1002.

63. Sanchis, E.; Calveta, S.; Prado, A.; Estelles, F., 2019. A meta-analysis of environmental factor effects on ammonia emissions from dairy cattle houses. *Biosystems engineering* 178, 176-183.
64. Saha, C.K.; Zhang, G.; Ni, J. Q., 2010. Airflow and concentration characterisation and ammonia mass transfer modelling in wind tunnel studies. *Biosystems engineering*. Vol. 107, p. 328–340.
65. Sivilai, B., Preston, T. R., Leng, R. A., Hang, D. T., & Linh, N. Q., 2018. Rice distillers' byproduct and bio-anglis as additives to a forage-based diet for growing Moo Lath pigs; effects on growth and feed conversion. *Livestock Research for Rural Development*, 30, 111.
66. Strelkauskaitė-Buivydienė, I., Bleizgys, R., 2020. Gyvūnų gerovės tyrimai galvijų tvarte. *Agroinžinerija ir energetika: VDU Žemės ūkio inžinerijos fakulteto mokslo populiarinimo žurnalas*. Nr. 25, p. 18-21.
67. Stelt, B.V., Temminghoff, E.J., Vliet, P.C., Riemsdijk, W.H., 2007. Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. *Bioresour. Technol.* 98(18), 3449–3455.
68. Sommer, S. G.; Olesen, J. E., 2000. Modeling ammonia volatilization from animal slurry applied with trail hoses to cereals. *Atmospheric Environment*. Vol. 34, p. 2361–2372.
69. Teye F.K., 2008. Microclimate and gas emissions in dairy buildings: Instrumentation, theory and measurements. Doctoral Thesis, University of Helsinki, Helsinki, p. 65.
70. Teye K. F., et al., 2008. Microclimate and ventilation in Estonian and Finnish dairy buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 40(7), p. 1194–1201.
71. Vasile A., Tanase G., Babeanu N., Popa O., 2020. Odour assessment for a pig farm through dynamic olfactometry and air dispersion modelling in order to reduce the odour pollution using biotechnologies. *Revista de Chimie (Bucharest)*, vol. 71, no. 1, 2020, pp. 61-66. SYSCOM 18 SRL.
72. Velėniūtė D., Bleizgys R., 2020. Klimatui draugiško pašarų raciono įtaka amoniako emisijai iš galvijų mėšlo. *Agroinžinerija ir energetika*. 2020, Nr. 25, p. 144-149.
73. Wang H., Zhang X., Ma Y., Hou Y., 2020. Mitigation potential for carbon and nitrogen emissions in pig production systems: lessons from the North China Plain. *Science of The Total Environment*. Volume 725, 10 July 2020, 138482.
74. Wang, H.; Zhao, Z.; Winiwarter, w.; Bai, Z.; Wang, X.; Fan, X.; Zhu, Z.; Hu, C.; Ma, L., 2021. Strategies to reduce ammonia emissions from livestock and their cost-benefit analysis: A case study of Sheyang country. *Environmental Pollution* 290, 118045.
75. Wu, W.; Zhang, G.; Kai, P., 2012. Ammonia and methane emissions from two naturally ventilated dairy cattle buildings and the influence of climatic factors on ammonia emissions. *Atmospheric Environment*. Vol. 61, p. 232–243.
76. Whitehead, D.C.; Raistrick, N., 1993. Nitrogen in the excreta of dairy cattle: changes during the short-term storage. *Journal of Agricultural Science*. Vol. 121, p. 73–81.
77. Zhang G., et al., 2008. Emission effects of three different ventilation control strategies – a scale model study. *Biosystems Engineering*, Vol. 100(1), p. 96–104.

SUDERINTA:

Tyrimų priežiūros komisijos pirmininkas

(Vardas, Pavardė)

2023 m. mėn. d.

(Data)

**ŽEMĖS ŪKIO, MAISTO ŪKIO, ŽUVININKYSTĖS IR KAIMO PLĖTROS 2023–2027 METŲ
MOKSLINIŲ TYRIMŲ IR EKSPERIMENTINĖS PLĖTROS PROJEKTO ATASKAITOS
VERTINIMAS**

Projekto ataskaitos pavadinimas	Mėšlo ir nuotekų tvarkymo statinių technologinio projektavimo metodinių rekomendacijų įvertinimas ir atnaujinimas
Projekto užsakovas	LR Žemės ūkio ministerija
Projekto sutarties data ir registracijos numeris	2023 m. gegužės 19 d. sutartis Nr. MT-23-12
Projekto vykdytojai:	Prof. dr. Rolandas Bleizgys (VDU ŽŪA, technologijos mokslai); Doc. dr. Jonas Čėsna (VDU ŽŪA, technologijos mokslai); Dr. Vilma Naujokienė (VDU ŽŪA, technologijos mokslai).

Pastebėjimai:

1. Turinyje, 2 poskyrio pavadinimą pakoreguokite ištaisant rašybos klaidą žodyje „garavimo“. Ta pati klaida kartojasi ir 10 lape.
2. *Įvadas*. Antroje pastraipoje, pirmame sakinyje teigiama: „Vadovaujantis Europos parlamento ir tarybos direktyva (ES) 2016/2284, 2030 m. Lietuva turi pasiekti oro taršos mažinimo progresą - sumažinti amoniako emisijas 10% lyginant su 2005 metais“. Aktualu įvardinti amoniako emisijos kiekį, kuris buvo 2005 m.
3. Matavimo vieneto OUE/m³ reikšmę aktualu paaiškinti 4 psl. prie kitų pateiktų sąvokų, bet ne įvado skyriuje.
4. Sąvokose (4 psl.) aprašytų santrumpų paaiškinimo pateikti dar kartą tekste nėra tikslo.
5. *Įvado 3 pastraipa, 2 sakiny.* „Gyvulininkystėje į aplinką NH₃ išskiriama apie 90% bendrojoje emisijoje (Murawska, 2021), jo garavimas.....“. Mano nuomone turi būti pataisyta taip: “Gyvulininkystėje į aplinką NH₃ išskiriama apie 90% bendros emisijos (Murawska, 2021), jo garavimas.....”.
6. Pateikta daugiau nei vienas tyrimų objektas, todėl ir atitinkamai turi būti keičiamas skyriaus pavadinimas iš „Tyrimų objektas ir metodai“ į „Tyrimų objektai ir metodai“. Be to, keisti iš „Tyrimų objektas“ į „Tyrimų objektai“.
7. *Tyrimų objektas ir metodai.* „Eksperimentiniai tyrimai atliekami gamybinėse fermose ir laboratorinėmis sąlygomis.“. Nėra pateikta metodikos eksperimentinių tyrimų, atliekamų gamybinėse fermose.
8. *Tyrimų objektas ir metodai.* „Oro srauto greitis virš mėšlo kinta nuo 0 iki 1 m/s, oro temperatūra 12–25 °C“. Nurodykite literatūros šaltinį. Be to, nurodykite literatūros šaltinį 1.1 formulės.
9. *Tyrimų objektas ir metodai.* „Tyrimai atliekami su įvairiu mėšlu,....“. Patikslinkite su koku mėšlu tyrimai atliekami.
10. *Tyrimų objektas ir metodai.* „...dujų emisijos intensyvumas E_{NH3} apskaičiuojamas:“. Nurodykite E_{NH3} matavimo vienetus.
11. *Tyrimų objektas ir metodai.* „Gauti eksperimentinių tyrimų rezultatai perskaičiuojami į sąlyginius dydžius:....“. Nurodykite formulę, pagal kurią perskaičiuojama.
12. *12 lapas.* Nurodykite masės srauto m_s matavimo vienetus.
13. Sunku suprasti, kurie yra eksperimentiniai tyrimai laboratorijoje, kurie eksperimentiniai tyrimai gamybinėse fermose, nes viskas pateikta viename. Būtų informatyviau jei eksperimentiniai tyrimai atliekami gamybinėse fermose ir eksperimentiniai tyrimai atliekami laboratorinėmis sąlygomis, be to, analitiniai tyrimai būtų pateikti atskiruose skyriuose.

Vertinimo išvada	Nepaisant pastabų, projekto ataskaita vertinama teigiamai, nes išanalizuota daug įdomios ir aktualios medžiagos, be to, analitinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatai gali būti panaudojami ūkinių gyvulių laikymo vietas projektuoti, diegiant naujausias ir pažangiausias technologijas, mažinant aplinkos taršą.
Vertinimą atliko	VDU ŽŪA Žemės ūkio inžinerijos ir saugos katedra, doc. dr. Kristina Lekavičienė, 2023-10-20 (darbovietė, vardas pavardė, data)

