

TIRŠTOJO MĖŠLO LAIKYMO TECHNOLOGIJOS VERTINIMAS

Kostas KNOKNERIS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: kostas.knokneris@vdu.lt

Jonas ČESNA, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: jonas.cesna@vdu.lt

Santrauka

Gyvulininkystė žemės ūkyje – vienas pagrindinių oro taršos šaltinių amoniako ir ŠESD junginiais. Mėšlą tvarkant netinkamai, kyla ir paviršinių, gruntinių vandenų, dirvožemio taršos azoto junginiais grėsmė. Taikant tinkamas vadybos priemones, mėšlas gali būti paverčiamas trąša – kompostu. Kompostavimo procesui vykti turi būti sudarytos tam tikros sąlygos: palaikoma optimali temperatūra, drėgmės kiekis, C:N santykis. Dangų naudojimas mėšlui uždengti yra viena paprasčiausių priemonių oro taršai mažinti. Tačiau, pasitelkus šią technologiją, galima optimizuoti ir kompostavimo procesą, palaikant optimalią mėšlo temperatūrą. Šis eksperimentinis tyrimas atliktas draudžiamuoju tręšti laikotarpiu, gamybinėmis sąlygomis, kurios atitinka sąlygas, esančias gyvulininkystės ūkiuose, kai mėšlas laikomas rietuvėse prieš tvartų ar tręšiamuosiuose laukuose. Tyrimo metu jutikliais matuojama mėšlo temperatūra skirtingame rietuvės gylyje, taip pat išmatuota oro tarša amoniako dujomis iš mėšlo rietuvių. Nustatyta, kad >10 cm šiaudų sluoksnis padeda palaikyti 50–75°C temperatūrą ir paviršiniuose mėšlo sluoksniuose. Be to, iki 85 % sumažinama oro tarša amoniako dujomis per pirmąsias 30 dienų nuo mėšlo sukrovimo į rietuves, kai amoniako emisiją į aplinką yra intensyviausia.

Reikšminiai žodžiai: tirštasis mėšlas, mėšlo laikymas, technologijų inžinerija.

Įvadas

Pastaruoju metu žemės ūkio keliami tarša kelia vis daugiau susirūpinimo. Mėšlo laikymas mėšlidėse ir skleidimas dirbamuosiuose laukuose neigiamai veikia aplinką: teršiamas oras, didinamas šiltnamio efekto poveikis, aplinkiniams gyventojams ir darbuotojams sukiamas diskomfortas dėl nemalonių kvapų, kyla grėisė gruntinių, paviršinių vandenų, dirvožemio taršai nitratais (Nicolai ir kt., 2004; Kustaitė, 2019; Poškus, Čingienė, 2023).

Iš visų azoto junginių atmosferoje beveik pusę sudaro amoniakas, kurio daugiau nei 90 % susidaro žemės ūkyje (Medėkšaitė, Čingienė, 2014; Europos aplinkos agentūra, 2023). Gyvulininkystė yra ir šiltnamio efektą didinančių dujų (ŠESD) šaltinis. Manoma, kad net 45 % ŠESD kiekio susidaro laikant gyvulius. Iš mėšlo laikymo sistemų į aplinką išskiriama 25 % viso šių dujų kiekio (Mathot ir kt., 2012).

Įvairiuose šaltiniuose yra minima daugiau nei 40 gyvulių mėšlo tvarkymo būdų, siekiant mažinti aplinkos taršą (Mielažys ir kt., 2019; Sea, 2020), tačiau vienas iš paprasčiausių ir lengviausiai įgyvendinamų būdų – sukrautą mėšlo rietuvę uždengti šiaudais, durpėmis ar kitomis natūraliomis ar dirbtinėmis medžiagomis (Kavolėlis, 2006). Naudojantis dangomis apribojus šviežio oro patekimą prie mėšlo paviršiaus, kontroliuojant paviršiaus drėgnumą ribojant kritulių patekimą ant mėšlo, slopinami aerobiniai procesai, todėl mažinama kenksmingų dujų (anglies dioksido (CO₂), amoniako (NH₃)) emisija į aplinką (Kavolėlis, 2006; Bleizgys, Česna, 2012; Paulauskas, 2012). Taikant tinkamą mėšlo laikymo technologiją, aplinkos taršą galima sumažinti 60–99 % (Guarino ir kt., 2006; Petokaitis, 2017). Tuo pačiu, sumažinus dujų garavimą iš mėšlo, galima sumažinti anglies (C) ir azoto (N) nuostolius, išsaugant geresnes mėšlo, kaip organinės trąšos savybes (Shah ir kt., 2012; Köninger ir kt., 2021).

Tyrimo tikslas – palyginti tirštojo mėšlo laikymo rietuvėse technologijas.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Nustatyti mėšlo dangos įtaką mėšlo temperatūrai.
2. Palyginti mėšlo laikymo technologijas aplinkosauginiu atžvilgiu.

Tyrimų objektas ir metodai

Mokslinis tyrimas atliktas Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos (VDU ŽŪA) Mokomojo ūkio tręšiamuosiuose laukuose. Šviežias tirštasis pieninių galvijų mėšlas surinktas minėto ūkio gyvulių fermoje. Karvidėje laikoma apie 160 juodmargių Holšteinų karvių, iš kurių ~40 visais metų laikotarpiais būna užtrūkintos karvės, o likusios – įvairaus laktacijos periodo karvės.

Karvės šeriamos žolinių pašarų (žolės silosas, šienainis, šienas), kukurūzų siloso ir koncentruotųjų pašarų (įvairių grūdų miltai, rapsų, sojų rupiniai) mišiniu. Gyvulių racionas praturtintas būtinais mikro ir makroelementais. Karvės turi neribotą prieigą prie švaraus vandentiekio vandens, sodos išteklių ir smulkintų šiaudų. Šiltuoju metų laikotarpiu dienos metu gyvuliai ganomi ganyklose, o tamsiuoju paros metu papildomai pašeriami ir laikomi tvarte. Šaltuoju metų laiku gyvuliai visą parą praleidžia tvarte, tačiau turi galimybę išeiti į lauką mocionui.

Karvidės infrastruktūra apjungia 2 gyvulių laikymo sistemas – gyvuliai laikomi ant pusiau gilaus kraiko, tačiau yra įrengtos guliavietės prie šėrimo tako. Guliavietės yra valomos kasdien, taip pat, kaip ir mėšlo tako dalis, artimesnė guliavietėms. Kita pusė mėšlo tako yra valoma 2 kartus per metus. Visas mėšlo takas kasdien yra kreikiamas smulkintais šiaudais. Vasaros laikotarpiu kasdien sunaudojama 5–6 ritiniai šiaudų, kurių kiekvienas sveria apie 200 kg. Šaltuoju laikotarpiu kasdien sunaudojamų šiaudų ritinių skaičius išauga iki 8 vnt.

Eksperimentinių tyrimų metu suformuoti du mėšlo kaupai:

- mėšlo rietuvė (MR) – įrengta pagal mėšlo ir sрутų tvarkymo aplinkosauginius reikalavimus;

- mėšlo krūva (MK) – įrengta mėšlą tiesiog sukraunant į krūvą ir nesilaikant reikalavimų.

Ir mėšlo rietuvės, ir mėšlo krūvos ilgis – 8 m, plotis – 4 m, aukštis – 1,5-2 m. Abu kaupai suformuoti iš apytiksliai 35 t (arba 48 m³) šviežio tirštojo pieninių galvijų mėšlo. Mėšlo rietuvė suformuota ant 4,6 m pločio, 8,6 m ilgio ir 0,2 m storio smulkintų šiaudų pasluoksniu. Mėšlo paviršius uždengtas ne mažiau kaip 10 cm storio smulkintų šiaudų danga. Pagal mėšlo ir srutų tvarkymo aplinkosauginius reikalavimus, aplink mėšlo rietuvę taip pat suformuotas 30 cm aukščio žemių pylimas. Tuo tarpu mėšlo krūva supilta nesiremiant nė vienu iš anksčiau paminėtų aplinkosaugos reikalavimų.

Temperatūros matavimas. Tyrimo metu mėšlo temperatūrai įvairaus gylio sluoksniuose matuoti naudoti PeakTech® 5185 matuokliai (matavimo ribos: -40–125°C; paklaida: ±0,3°C). Tiek MR, tiek MK įrengti 4 jutikliai. Mėšlo krūvoje jutikliai įdėti 0,1 m, 0,5 m, 0,8 m ir 1,2 m gylyje. Mėšlo rietuvėje matavimams pasirinktas 0,1 m (po šiaudų danga), 0,4 m, 0,7 m ir 1,0 m gylis (žr. 1–2 pav.)



1 pav. Eksperimentinio tyrimo mėšlo krūvoje schema

Šaltinis: autoriaus nuotrauka

Fig. 1. Schematic view of measurement points in manure pile

Source: original photo of the author



2 pav. Eksperimentinio tyrimo mėšlo rietuvėje schema

Šaltinis: autoriaus nuotrauka

Fig. 2. Schematic view of measurement points in manure heap

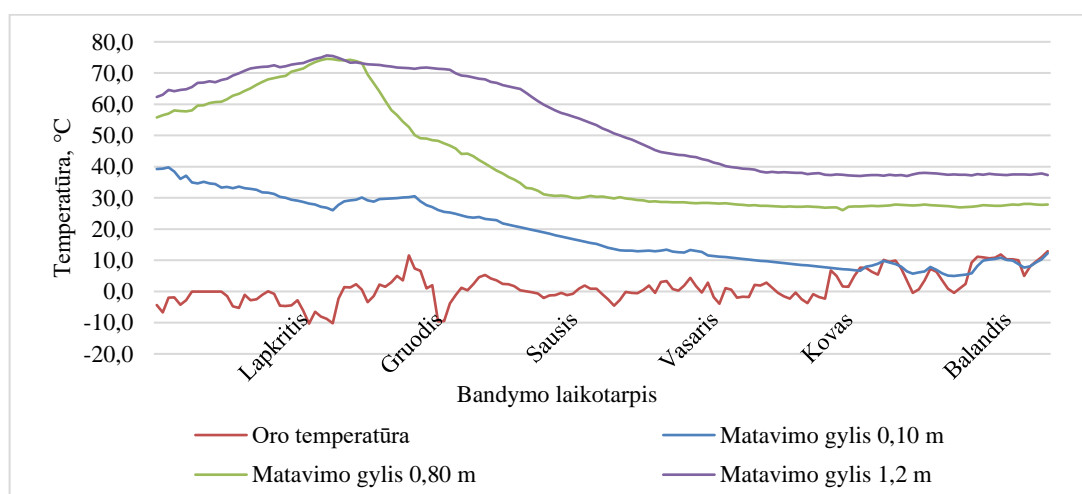
Source: original photo of the author

Oro taršos matavimas. Oro taršai iš mėšlo kaupų įvertinti bandymo metu matuotas amoniako išsiskyrimas į aplinką. Matavimams naudotas nešiojamas oro kokybės matuoklis Aeroqual Series 500 (matavimo ribos: 0–1000 pp; paklaida <±0,5 ppm + 10 %). Amoniako koncentracija matuota ne mažiau kaip 3 taškuose, mėšlo kaupo viršūnėje. Matavimams naudotas statinės kameros metodas.

Tyrimai atlikti lapkričio–balandžio mėnesiais. Laikotarpis pasirinktas atsižvelgiant į aplinkosauginius mėšlo ir srutų tvarkymo reikalavimus, t. y. tyrimas atliktas laikotarpiu, kuriuo draudžiama skleisti mėšlą laukuose, tačiau galima kaupti rietuvėse prie tvartų, arba tręšiamuosiuose laukuose, jeigu sutartinių gyvulių skaičius (SG) neviršija didžiausio leistino kiekio.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

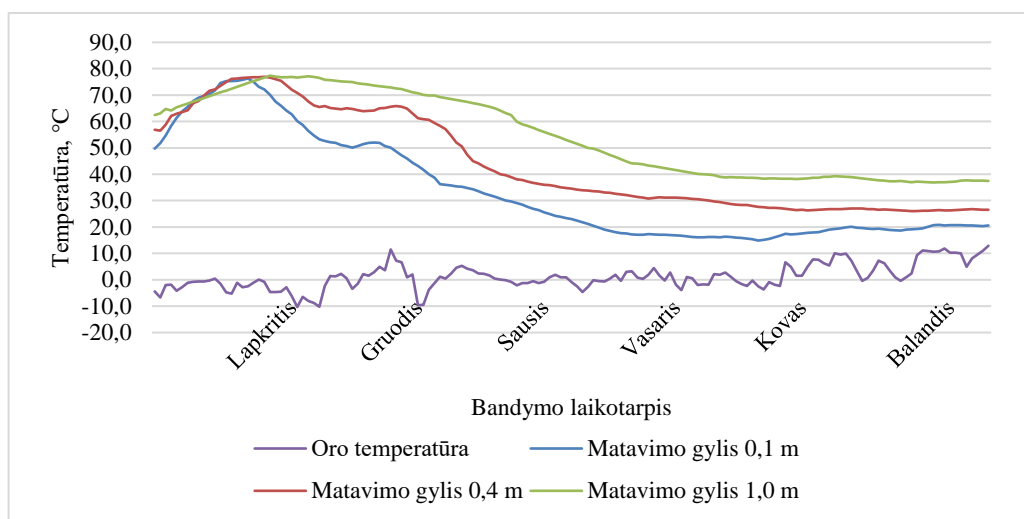
Eksperimentinių temperatūros pokyčių tyrimų metu gauti rezultatai atitinka modelius, kuriuos nurodo autoriai įvairiuose moksliniuose šaltiniuose. Mėšlą laikant rietuvėse dėl mėšle esančių bakterijų veiklos prasideda aerobinio skaidymo procesas, kuris gali būti skirstomas į 4 etapus: šildymą, sterilizavimą, šaldymą ir brandinimą (Paulauskas, 2010). Pirmojo etapo metu temperatūra sparčiai kyla, vyksta sterilizavimo procesas, temperatūra ima mažėti ir prasideda brandinimo etapas 15–35°C temperatūroje (žr. 3–4 pav.) (Flynn, Wood, 1996; Chen ir kt., 2011; Petric, Selimbašić, 2008).



3 pav. Mėšlo temperatūros pokyčiai bandymo metu rietuvėje, įrengtoje mėšlą sukraunant į krūvą ir nesilaikant reikalavimų

Fig. 3. Changes in manure temperature during the experiment in an uncovered manure pile, formed not complying with the environmental requirements for handling manure and slurry

Mėšlo aerobinio skaidymo procesui vykti turi būti optimali 20–75°C temperatūra (priklausomai nuo kompostavimo etapo). Atsižvelgiant į 3 paveiksle matomus rezultatus, matoma, kad temperatūra, reikalinga termofilinių bakterijų veiklai užtikrinti, pasiekta tik 1,2 m ir 0,8 m gylyje ir atitinkamai siekė 75,64°C ir 74,54°C. Tačiau 0,1 m gylyje esančiame sluoksnyje matoma, kad didžiausia temperatūra pasiekė tik 39,78°C, o kovo–balandžio mėnesiais temperatūra vidutiniškai siekė 8,17±0,47°C ir buvo artima aplinkos temperatūrai. Tai reiškia, kad mėšlas nesikompostuoja tolygiai visuose sluoksniuose. Priešinga situacija nustatyta mėšlo rietuvėje, uždenytoje šiaudų sluoksniu (žr. 4 pav.)



4 pav. Mėšlo temperatūros pokyčiai bandymo metu rietuvėje, įrengtoje pagal mėšlo ir srutų tvarkymo aplinkosauginius reikalavimus, uždenytoje >10 cm smulkintų šiaudų sluoksniu

Fig. 4. Manure temperature changes during the experiment in a stack formed according to the environmental requirements for manure and slurry management, covered with a layer of >10 cm of chopped straw

Kaip matoma grafike, mėšlo temperatūra visuose mėšlo sluoksniuose pasiekė kompostavimo procesui optimalią temperatūrą. Aukščiausia temperatūra 0,1 m gylyje siekė 76,30°C, 0,4 m gylyje – 76,95°C, o 1,0 m gylyje – 77,37°C. Tačiau pastebima, kad procesai skirtingame mėšlo gylyje vyksta nevienodai. Mėšle, esančiame arčiau paviršiaus, pirmieji 3 aerobinio skaidymo etapai įvyksta greičiau nei mėšle, esančiame gilesniuose rietuvės sluoksniuose. Taip pat nustatyta, kad sekiausiai esančio mėšlo temperatūra kovo–balandžio mėnesiai buvo beveik 10 laipsnių aukštesnė ir siekė 18,48±0,52°C. Todėl galima teigti, kad šiaudais uždenytoje mėšlo rietuvėje kompostavimo procesas vyko tolygiai, nepriklausomai nuo gylis.

Atlikus temperatūros matavimo tyrimus siekta nustatyti, ar aplinkos oro temperatūra daro įtaką mėšlo temperatūrai. Koreliacijos koeficientas R^2 šiaudais neuždenytoje krūvoje siekė 0,20–0,26, o rietuvėje su šiaudų danga – 0,19–0,24. Nors skirtumas yra statistiškai nereikšmingas, mėšlą uždenigus šiaudų sluoksniu galima sumažinti aplinkos oro temperatūros įtaką mėšlo temperatūros pokyčiams.

Bandymo metu įvertinta, ar šiaudų dangos panaudojimas daro įtaką aplinkos oro taršai amoniako dujomis. Gauti rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Amoniako emisijos intensyvumas iš mėšlo kaupų

Table 1. Ammonia emission intensity from manure piles

Matavimo data	Amoniako emisija, mg/m ² h						
	\bar{y}^1	S^2	n^3	s^4	$t_{n-1, P}^5$	$\pm\Delta y_{n-1, P}^6$	
2022-11-11	MR	808,41	4,76	3	2,75	4.30	11,83
	MK	577,64	5,55	3	3,20	4.30	13,78
2022-11-28	MR	117,78	12,55	4	6,28	3.18	19,97
	MK	428,01	29,90	4	14,95	3.18	47,57
2022-12-19	MR	27,00	2,57	3	1,49	4.30	6,39
	MK	52,54	3,97	3	2,29	4.30	9,85
2023-01-16	MR	11,03	2,51	3	1,45	4.30	6,24
	MK	13,06	2,30	3	1,33	4.30	5,72
2023-02-15	MR	9,58	0,87	3	0,50	4.30	2,16
	MK	7,26	1,33	3	0,77	4.30	3,30
2023-03-13	MR	10,16	1,33	3	0,77	4.30	3,30
	MK	6,68	2,51	3	1,45	4.30	6,24
2023-04-19	MR	12,77	2,19	3	1,27	4.30	5,44
	MK	8,42	1,33	3	0,77	4.30	3,30

¹ Vidurkis; ² Standartinis nuokrypis; ³ Kartojimų skaičius; ⁴ Vidurkio standartinis nuokrypis; ⁵ t-kriterijus; ⁶ Pasikliauties intervalas.

Eksperimentinis tyrimas truko 6 mėnesius (nuo lapkričio iki balandžio mėnesio). Atsižvelgiant į matavimų duomenis galima teigti, kad amoniako emisija į aplinką intensyviausia pirmąsias 30 dienų nuo mėšlo sukrovimo į rietuves. Didžiausia nustatyta amoniako emisija siekė $808,41 \pm 11,83 \text{ mg/m}^2\text{h}$ iš šiaudais uždengtos mėšlo rietuvės tyrimo pradžioje. Iš neuždengtos mėšlo krūvos intensyviausia tarša į aplinką siekė $577,64 \pm 13,78 \text{ mg/m}^2\text{h}$ tuo pačiu laikotarpiu kaip ir iš uždengtos rietuvės. Po 17 dienų nuo tyrimo pradžios, mėšlą uždengus šiaudais, NH_3 emisiją į aplinką pavyko sumažinti iki $117,78 \pm 19,97 \text{ mg/m}^2\text{h}$. Dėl natūralios plutos formavimosi emisija iš mėšlo krūvos taip pat sumažėjo iki $428,01 \pm 47,57 \text{ mg/m}^2\text{h}$, tačiau pokytis kur kas mažesnis.

Išvados

1. Mėšlą uždengus ne mažesniu kaip 10 cm storio smulkintų šiaudų sluoksniu, galima sumažinti aplinkos oro temperatūros įtaką mėšlo temperatūrai. 0,1 m gylyje, iškart po šiaudų sluoksniu, mėšlo temperatūra pakyla iki kompostavimosi procesui optimalios temperatūros ($50\text{--}75^\circ\text{C}$). Mėšlo nedengiant, 0,1 m gylyje esantis mėšlas įšyla tik iki $39,78^\circ\text{C}$, todėl kompostavimosi procesas vyksta netolygiai.

2. Naudojant šiaudų dangą, galima sumažinti aplinkos taršą amoniako dujomis iki 85 % per pirmąsias 17 dienų nuo mėšlo sukrovimo į rietuves, kai NH_3 emisija į aplinką būna intensyviausia. Pasiękti tokį pat veiksmingumą mažinant taršą dėl natūralios plutos susidarymo užtrunka net 40 dienų (2,35 karto ilgiau).

3. Pasibaigus vėsinimo etapui, amoniako emisija komposto brandinimo laikotarpiu 1,3–1,5 karto didesnė iš šiaudais dengtos mėšlo rietuvės. Tai galima susieti su aukštesne mėšlo temperatūra, kai jis yra uždengtas šiaudų sluoksniu. Šiuo atveju mėšlo danga veikia kaip termoizoliacinis sluoksnis, padeda palaikyti aukštesnę mėšlo temperatūrą, dėl kurios intensyviau vyksta dujų garavimo procesas.

Literatūra

1. Bleizgys, R., Čėsna J. 2012. *Gyvulininkystės technologijų inžinerija: mokomoji knyga*. Akademija (Kauno r.): Aleksandro Stulginskio universiteto Leidybos centras. Prieiga per internetą: <http://dspace.lzuu.lt/handle/1/2028> (žiūrėta 2024 02 18).
2. Chen, L., de Haro Marti, M., Moore, A., Falen, C. 2011. The composting process. *Dairy Manure Compost Production and Use in Idaho*, Vol. 2, p. 513–532.
3. European Environment Agency. 2023. Air pollution in Europe: 2023 reporting status under the National Emission reduction commitments Directive. Prieiga per internetą: <https://www.eea.europa.eu/publications/national-emission-reduction-commitments-directive-2023> (žiūrėta 2024 02 18).
4. Flynn, R. P., Wood, C. W. 1996. Temperature and chemical changes during composting of broiler litter. *Compost Science & Utilization*, Vol. 4(3), p. 62–70.
5. Guarino, M., Fabbri, C., Brambilla, M., Valli, L., Navarotto, P. 2006. Evaluation of simplified covering systems to reduce gaseous emissions from livestock manure storage. *Transactions of the ASABE*. Vol. 49(3). p. 737–747.
6. Kavolėlis B. 2006. *Galvijų fermų technologinio projektavimo taisyklės ir patarimai*. Raudondvaris: Lietuvos žemės ūkio universiteto Žemės ūkio inžinerijos institutas, p. 70–71.
7. Köninger, J., Lugato, E., Panagos, P., Kochupillai, M., Orgiazzi, A., Briones, M. J. 2021. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. *Agricultural Systems*, Vol. 194, 103251.
8. Kustaitė, U. 2019. *Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai*. Kauno technologijos universitetas. Prieiga per eLABa – nacionalinė Lietuvos akademinė elektroninė biblioteka.
9. Mathot, M., Decruyenaere, V., Stilmant, D., Lambert, R. 2012. Effect of cattle diet and manure storage conditions on carbon dioxide, methane and nitrous oxide emissions from tie-stall barns and stored solid manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 148, p. 134–144.
10. Medėkšaitė, J., Čingienė, R. 2014. Gyvulininkystės objektų skleidžiamą taršą įtakojančių veiksnių analizė. *Žmogaus ir gamtos sauga*, Vol. 20, p. 90–93.
11. Miėdažys, R., Pekarskas, J., Jotautienė, E. 2019. Kraikinio mėšlo tvarkymo vertinimas klimato kaitą įtakojančių dujų emisijų požiūriu. *Human & Nature Safety*, p. 55–58.
12. Nicolai, R., Pohl, S., Schmidt, D. 2004. Covers for manure storage units. *Fact Sheets*. Paper 107. Prieiga per internetą: https://openprairie.sdstate.edu/extension_fact/107 (žiūrėta 2024 02 18).
13. Paulauskas, V. 2010. *Atliekų tvarkymas: mokomoji knyga*. ASU leidykla, 2010. Prieiga per internetą: <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/atliekutvarkymas/bodis.htm> (Paskutinį kartą žiūrėta 2024 02 18).
14. Petokaitis, M. 2017. Oro taršos amoniako dujomis kontrolė naudojant biodangas mėšlui: magistro tezė. Akademija. Prieiga per internetą: <https://vb.vdu.lt/object/elaba:22408460/> (žiūrėta 2024 02 18).
15. Petric, I., Selimbašić, V. 2008. Development and validation of mathematical model for aerobic composting process. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 139(2), p. 304–317.
16. Poškus, Ž., Čingienė, R. 2023. Oro taršos tyrimas gyvulininkystės ūkyje. *Žmogaus ir gamtos sauga/Human and nature safety*, p. 113–117.
17. Sea, B. 2020. *Best Available Technologies for Manure Treatment*. Baltic Sea, 2010.
18. Shah, G. M., Groot, J. C. J., Oenema, O., Lantinga, E. A. 2012. Covered storage reduces losses and improves crop utilisation of nitrogen from solid cattle manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 94, p. 299–312.

19. Shah, G. M., Shah, G. A., Groot, J. C. J., Oenema, O., Raza, A. S., Lantinga, E. A. 2016. Effect of storage conditions on losses and crop utilization of nitrogen from solid cattle manure. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 154(1), p. 58–71.

EVALUATION OF SOLID MANURE STORAGE TECHNOLOGY

Summary

Animal husbandry in agriculture is one of the main sources of air pollution with ammonia and GHG compounds. If the manure is handled improperly, there is also a threat of surface, groundwater, and soil pollution with nitrogen compounds. With proper management practices, manure can be turned into fertilizer - compost. Certain conditions must be created for the composting process to take place: optimal temperature, moisture content, C:N ratio. Using coatings to cover manure is one of the simplest ways to reduce air pollution. However, with the help of this technology, it is also possible to optimize the composting process by maintaining the optimal temperature of the manure. This experimental study was carried out during the prohibition of fertilization, under production conditions that correspond to those found in livestock farms, where manure is stored in piles near barns or in fertilizing fields. During the research, the temperature of the manure at different depths of the stack was measured with sensors, as well as the air pollution with ammonia gas. It has been established that a straw layer of >10 cm helps to maintain a temperature of 50-75°C in the surface layers of manure as well. In addition, up to 85 percent air pollution with ammonia gas is reduced during the first 30 days after the manure is piled, when the emission of ammonia into the environment is the most intense.

Keywords: solid manure, manure storage, technology engineering.