Tomas Jambor[a*], Zdenek Drotar[b], Jozef Bires[c]

[a] Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Biotechnology and Food Sciences, Institute of Applied Biology, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovak Republic

[b] The veterinary clinic, Sportova 4/27, 979 01 Rimavská Sobota, Slovak Republic

[c] State Veterinary and Food Administration of the Slovak Republic, Botanická 17, 842 13 Bratislava, Slovak Republic

Úvod

S dramatickým rozvojom poľnohospodárskeho priemyslu v poslednom desaťročí sa významným spôsobom zvýšilo množstvo vyprodukovaného hnoja hospodárskymi zvieratami, čo malo dopad na nárast tvorby oxidu uhličitého ako aj významný vplyv na znečisťovanie životného prostredia. Populácia vníma najmä riziko znečistenia ovzdušia či zdrojov pitnej vody a rastúcim spoločenským problémom sa stáva aj zvýšená kumulácia koncentrácia dusíka a fosforu v riekach či jazerách čo môže viesť ku eutrofizácii. Nárast miery znečisteného ovzdušia sa zase pripisuje emisiám amoniaku a skleníkových plynov ako sú oxid uhličitý respektíve metán (Bolan et al., 2010; Liu et al., 2019). Väčšina maštaľného hnoja sa využíva ako túhy/tekutý stimulant rastu poľnohospodárskych plodín vďaka vysokému obsahu makro – a mirko živín. Na druhej strane, maštaľný hnoj môže obsahovať vysoké koncentrácie rôznych patogénnych mikroorganizmov. Ak sú takého produkty používané ako poľnohospodárske hnojivá, môže to predstavovať závažné riziko z pohľadu kontaminácie pôd a poľnohospodárskych plodín. Kontaminované plodiny môžu ďalej negatívne ovplyvňovať zdravie spotrebiteľov, čím sa cyklus disperzie patogénov uzatvára (Hogan and Smith, 2012). Na druhej strane, po technologickej úprave a vhodnej transformácií je možné využívať maštaľný hnoj ako zdroj energie – produkcia bioplynu. Silnú podporu vyjadruje aj Európska únia, ktorá začala v roku 2018 intenzívne pracovať na svojom politickom cieli dosiahnuť v roku 2030 zníženie emisií skleníkových plynov o 40% a zlepšenie inštalovanej kapacity obnoviteľnej energie o 32% (Európska komisia, 2018). Preto sa stala otázka manažmentu a využívania maštaľného hnoja výrazne aktuálnou a dotkla sa mnohých fariem po celom svete (Husfeldt a kol., 2012b).

Recyklovaný maštaľný hnoj (RMH)

Koncepcia opätovného používania maštaľného hnoja ako finančne výhodného podstielkového materiálu pre hovädzí dobytok sa objavila už v 70-tych rokoch v USA. Rastúci počet fariem a stád hovädzieho dobytka, predovšetkým dojníc, zvýšil množstvo vyprodukovaného

maštaľného hnoja a začalo sa intenzívne uvažovať o jeho znovu použití (Keys et al., 1976). Postupne sa začali objavovať metódy separácie pevnej frakcie hnojovice z kravského hnoja a spustil sa intenzívny výskum v oblasti jeho využitia ako podstielkového materiálu, ktorý sa testuje na mnohých mliečnych farmách po celom svete. Hnojovica pozostáva z kvapalnej a pevnej frakcie, ktorá je v prevažnej miere tvorená hlavne nestrávenou vlákninou. Kvôli obavám z možnej bakteriálnej záťaže sa začali implementovať ďalšie kroky spracovania od kompostovania, cez anaeróbnu digesciu s cieľom eliminovať možné riziká a eliminovať negatívne dopady na zdravie zvierat a ľudí (Rowbotham a Ruegg, 2016; Leso a kol., 2020). V súčasnosti existujú tri hlavné prístupy ku ekologickej úprave maštaľného hnoja:

Po prvé, model priameho využitia separácie tuhá látka – kvapalina, ktorú popisuje odborný článok Fournel a kol. (2019a). Hnoj z fariem na chov dojníc sa zhromažďuje v zbernej nádrži a potom sa spracuje procesom separácie tuhá látka – kvapalina. Oddelená kvapalina sa môže premeniť na organické hnojivo, či využiť na fermentáciu bioplynu (Tadesse a kol., 2021). Okrem toho, niektorí farmári používajú pevný zvyšok hnoja priamo ako podstielkový materiál po jednoduchom vysušení (Leach a kol., 2015). Technologický proces sa považuje za relatívne jednoduchý a cenovo prijateľný s krátkym časom jedného cyklu. Na druhej strane, existuje množstvo nepriamych dôkazov, ktoré poukazujú na možný výskyt patogénnych mikroorganizmov. Tento fakt môže znižovať jeho bezpečnosť a v konečnom dôsledku negatívne vplývať na zdravie a výnosnosť zvierat (Wu a kol., 2010).

Po druhé, model výroby podstielky anaeróbnou fermentáciou popísaný Tasnimom a kol. (2017). Hnoj z chovov dobytka sa zhromažďuje vo fermentore s prídavkom baktérie na anaeróbnu fermentáciu a po ukončení fermentácie sa pevný digestát oddelí separáciou tuhá látka – kvapalina. Následne je možné takto upravený materiál využiť ako podstielku. Táto metóda je jednoduchá, cenovo dostupná a podobne ako v predchádzajúcom prípade má krátky čas jedného cyklu (Zhang a kol., 2018). Dôležitým faktorom tohto procesu je však správna teplota pre anaeróbnu fermentáciu. Zdá sa, že najúčinnejšie výsledky sú pri teplote 30 °C až 45 °C, avšak stále nemožno hovoriť patogénnej nezávadnosti (Díaz a kol., 2016).

Po tretie, model výroby podstielky aeróbnou fermentáciou podľa Fournel a kol. (2019b). Hnoj z fariem na chov dojníc sa zhromažďuje do ošetrovacej oblasti, kde sa obsah vlhkosti v hnoji upravuje na približne 60 % zariadením na separáciu tuhých látok a kvapalín alebo pridaním pomocných materiálov ako sú škrupiny obilia či drevené štiepky (Qu a kol., 2019). Správny podstielkový materiál sa vytvorí pridaním aeróbnych fermentačných baktérií s následnou úpravou popísanou v odbornom článku podľa Zhonggi a kol. (2016). Zároveň rozlišujeme niekoľko typov fermentácie ako napríklad prirodzená fermentácia (Niu a kol., 2022), pásová aeróbna fermentácia (Li a kol., 2021), tanková aeróbna fermentácia (Hanajima a kol., 2011) či bubnová aeróbna fermentácia (Chinakwe a kol. , 2019). Táto

metóda je na rozdiel od predchádzajúcich dvoch typov odporúčaná najmä preto, že má vysokú biologickú bezpečnosť a produkuje vysokokvalitnú podstielku. Nevýhodou sú vyššie náklady na zaškolenie človeka ako aj dlhé cykly fermentácie (Cole a Hogan, 2016).

Výhody a riziká RMH

Zastúpenie jednotlivých druhov baktérií v materiáloch, ktoré sú využívané ako bežný podstielkový materiál v stajniach pre hospodárske zvieratá, najmä kravy je výrazne rôznorodé. Rozdiely sú spôsobené rôznymi faktormi ako napríklad veľkosť pevných častíc, obsah sušiny, pH a zohľadňujú sa aj ďalšie exogénne vplyvy (Hogan a kol., 1989; Ward a kol., 2002). Populácia baktérii v podstielkovom materiály dokáže vo významnej miere ovplyvňovať zdravie zvierat ako aj kvalitu výsledných produktov. Mnohé vedecké štúdie potvrdili, že nekvalitný podstielkový materiál môže iniciovať rozvoj patogénnych mikroorganizmov a spôsobovať klinické mastitídy u kráv (Hogan a kol., 1999). K potlačeniu týchto negatívnych prejavov sa začali používať chemické dezinfekčné prostriedky, ktoré sa pridávali do organických materiálov podstielky a inhibovali tak rast a rozvoj patogénov. Okrem finančnej náročnosti a komplikovaného manažmentu zabezpečenia aplikácie bola problematická aj perzistencia antibakteriálneho účinku (Tančin and Tančinova, 2008). Technologický proces úpravy maštaľného hnoja, zahŕňajúci termické ošetrenie má výrazné ekonomické benefity pričom môžeme hovoriť o preukaznom zvýšení pohodlia kráv. Farmári vnímajú najmä dlhší čas ležania, menej poranené paznechty a pokles výskytu mastitíd u dojníc. RMH má vhodnejšie fyzikálne vlastnosti, je mäkký, neabrazívny a ľahko dostupný (Bradley a kol., 2014). Ďalšia štúdia uvádza, že farmári vnímajú väčšiu čistotu kráv. Na druhej strane, vizuálna čistota nemusí nutne znamenať neprítomnosť patogénnych mikroorganizmov a preto z ohľadom na tento špecifický druh podstielky je nevyhnutné venovať dostatočnú pozornosť vemenu pred a po dojením (Husfeldt and Endres 2012a). Z hľadiska zdravia dýchacích ciest kráv boli pozorované nižšie úrovne prachových častíc v prostredí pri porovnaní so slamou či pilinami, čo v konečnom dôsledku môže znížiť prenos patogénov prostredníctvom prachových častíc (Leach a kol., 2015).

Hygiena a kontrola patogénnych mikroorganizmov

Zdravotné riziká vznikajúce pri manipulácii s hnojom zahŕňajú: a) priamy prenos zoonotických patogénov na personál farmy, b) šírenie chorôb u hospodárskych zvierat, c) kontamináciu vody a potravinárskych plodín (Bohm, 2004). Z pohľadu manažmentu RMH na jednotlivých farmách, by mala byť recyklačná slučka hnoja čo najkratšia aby sa minimalizoval vplyv na životné prostredie. Výhodou je ak sa používa na jednej farme ich vlastný hnoj od hospodárskych zvierat pretože epidemiologické riziko sa výrazne nezvyšuje.

Problém môže nastať v prípade, ak centrálne skladovacie jednotky pre hnojovicu používa viacero rôznych farmárov, napríklad v spojení s centralizovanými bioplynovými stanicami. Za takýto podmienok neexistuje uzavretá slučka farmy a epidemiologické riziká sa zvyšujú v závislosti od počtu zapojených fariem či počtu zvierat. Zároveň je nevyhnutné zabezpečiť, aby sa pri RMH eliminovali možné prenosové cesty infekčných patogénov (Guan a Holley, 2003).

Realitou mnohých fariem je, že informácie o hygienickej kvalite podstielkového materiálu sú nedostatočné. Pre tvorbu bezpečného RMH by mal byť pôvodný hnojovicový materiál spracovaný v overenom procese so zreteľom na európske nariadenia č. 208/2006 a č. 1774/2002. Podľa tohto nariadenia musia vedľajšie produkty kategórie 3 a hnoj preukázať zníženie patogénnych mikroorganizmov zodpovedajúce ošetreniu pri teplote 70 °C počas 1 hodiny. Požadovaná inaktivácia liečbou by mala zodpovedať $5\log_{10}$ zníženiu *Salmonella senftenberg* alebo *Enterococcus faecalis*. V prípade, že sa identifikuje potenciálne nebezpečenstvo je nevyhnutné preukázať inaktiváciu zodpovedajúcu $3\log_{10}$ termorezistetného vírusu, napríklad *parvovírusu*. Správna úprava, ktorá kontrolovaným spôsobom dezinfikuje maštaľný hnoj a iné zvyšky, či už pri jeho produkcii na farme, ako aj pri dovoze, zvýši biologickú bezpečnosť výroby potravín a podporí zdravie zvierat (Európske nariadenia, Annex VII a VIII, 2002 a 2006).

Praktický manažment recyklovaného maštaľného hnoja

Aktuálna odborno-vedecká báza informácií pre praktické využívanie RMH na farmách poľnohospodárov je výrazne obmedzená. Niektoré predchádzajúce štúdie (Harrison a kol., 2008) však naznačujú, že správna a hlavne pravidelná starostlivosť má významnejší vplyv na bakteriálnu záťaž podstielky ako samotný typ podstielky. RMH má však niektoré špecifiká ako je vyššia počiatočná patogénna záťaž či vyššia kapacita pre absorpciu/uvoľňovanie vody. Farmári si musia byť taktiež vedomí možných rozdielov v mikrobiologickom profile patogénov v závislosti od klimatických podmienok jednotlivých fariem. Z toho vyplýva, že uniformita praktického manažmentu pri využívaní RMH ako podstielky neexistuje a presnosť postupov teda nie je zaručená (Webb a Misselbrook, 2004). Hoci vo všeobecnosti platí, že by sa RMH nemal skladovať na zhutnenej zakrytej hromade, celkový počet *Escherichia coli* či *Klebsiella spp* sa po 6 týždňoch významne nezvýšil (Feiken a van Laarhoven, 2012). Dôležitou otázkou pre farmárov ostáva, či použiť RMH na rohože, matrace alebo v hlbokých podstielkach. Hlboké podstielanie môže pravdepodobne zlepšiť fyzický komfort dojníc, ale zároveň ovplyvní prostredie v prospech rozvoja patogénnych mikroorganizmov. Na druhej strane, plytké lôžka a častá výmena podstielky môže poskytnúť lepšiu kontrolu pri rozvoji koliformných baktérií (*Klebsiella spp.*) avšak počet streptokokov bude pravdepodobne vyšší

(Husfeldt a kol., 2012). Zaujímavú informáciu priniesla štúdia autorov Schwarz a kol., 2010, a Schwarz a kol. 2011, ktorí porovnávali denné a týždenné pridávanie RMH do ležoviska s hlbokou podstielkou. Závery štúdie preukázali, že ročné obdobie malo výraznejší vplyv na mikrobiálny profil ležoviska ako frekvencia výmeny podstielky. Z toho vyplýva že denná výmena podstielky z RMH nemusí nevyhnutné znížiť rozvoj patogénnych mikroorganizmov či ovplyvniť nástup mastitíd v porovnaní s týždennou podstielkou. Vzhľadom na obmedzené vedecké dôkazy o optimálnom manažmente práce s RMH v ležovisku je jednoznačné, že táto oblasť si vyžaduje ďalší výskum a formuláciu jednoznačných záverov a odporúčaní pre prax.

Grafická demonštrácia transformácie maštaľného hnoja na recyklovanú podstielku

Záver

Objektívne sledovania šírenia kontaminantov z hospodárenia s maštaľným hnojom je rozvoj trvalo udržateľných výrobných systémov esenciálna. RMH prináša nové perspektívy v chove hovädzieho dobytka, avšak implementáciu do praxe aktuálne spomaľuje nedostatočná báza odborných informácií, legislatívne usmernenia či slabá vládna podpora.Faktom však je, že dodržiavanie európskych regulácií či správne nastavenie vnútorných procesov manažmentu farmy môže významným spôsobom ovplyvňovať nielen zdravotný stav zvierat ale taktiež výnosnosť a šetrenie nákladov na samotnú prevádzku.

Poďakovanie: Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Tvorba nukleových stád dojníc s požiadavkou na vysoký zdravotný status cestou využitia genomickej selekcie, inovatívnych biotechnologických metód a optimálneho manažmentu chovu, NUKLEUS 313011V387, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Použitá literatúra

Böhm, R. (2002, May). Hygienic safety in organic waste management. In Proceedings of the 10th International Conference of the RAMIRAN Network (pp. 14-18).

Bolan, N. S., Szogi, A. A., Chuasavathi, T., Seshadri, B., Rothrock, M. J., & Panneerselvam, P. (2010). Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science Journal*, *66*(4), 673-698. DOI: https://doi.org/10.1017/S0043933910000656

Bradley, A. J., Leach, K. A., Archer, S. C., Breen, J. E., Green, M. J., Ohnstad, I., & Tuer, S. (2014). Scoping study on the potential risks (and benefits) of using recycled manure solids as bedding for dairy cattle. *Quality Milk Management Services Ltd.: Wells, UK*.

Cole, K. J., & Hogan, J. S. (2016). Environmental mastitis pathogen counts in freestalls bedded with composted and fresh recycled manure solids. Journal of Dairy Science, 99(2), 1501-1505. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2015-10238

Díaz, I., Figueroa-González, I., Miguel, J. Á., Bonilla-Morte, L., & Quijano, G. (2016). Enhancing the biomethane potential of liquid dairy cow manure by addition of solid manure fractions. Biotechnology letters, 38, 2097-2102. DOI: https://doi.org/10.1007/s10529-016-2198-9

European Commision. (2018). Climate and Energy Framework for 2030. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en

Feiken, M., & Van Laarhoven, W. (2012). Verslag van een praktijkonderzoek naar het gebruik van vaste fractie uit gescheiden mest als boxbeddingsmateriaal in ligboxen voor melkvee. Valacon Dairy. Available athttp. *Valacon Dairy*.

Fournel, S., Godbout, S., Ruel, P., Fortin, A., Duquette-Lozeau, K., Létourneau, V., … & Pellerin, D. (2019a). Production of recycled manure solids for use as bedding in Canadian dairy farms: II. Composting methods. Journal of dairy science, 102(2), 1847-1865. DOI:

https://doi.org/10.3168/jds.2018-14967

Fournel, S., Godbout, S., Ruel, P., Fortin, A., Généreux, M., Côté, C., … & Pellerin, D. (2019b). Production of recycled manure solids for bedding in Canadian dairy farms: I. Solid–liquid separation. Journal of dairy science, 102(2), 1832-1846. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2018-14966

Guan, T. T., & Holley, R. A. (2003). Hog manure management, the environment and human health. Springer Science & Business Media.

Hanajima, D., Fukumoto, Y., Yasuda, T., Suzuki, K., Maeda, K., & Morioka, R. (2011). Bacterial community dynamics in aerated cow manure slurry at different aeration intensities. Journal of applied microbiology, 111(6), 1416-1425. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05151.x

Harrison, E., Bonhotal, J., & Schwarz, M. (2008). Using manure solids as bedding-Final report. Cornell Waste Management Institute.

Hogan, J. S., Bogacz, V. L., Thompson, L. M., Romig, S., Schoenberger, P. S., Weiss, W. P., & Smith, K. L. (1999). Bacterial counts associated with sawdust and recycled manure bedding treated with commercial conditioners. Journal of dairy science, 82(8), 1690-1695. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75398-1

Hogan, J. S., Smith, K. L., Hoblet, K. H., Todhunter, D. A., Schoenberger, P. S., Hueston, W. D., … & Conrad, H. R. (1989). Bacterial counts in bedding materials used on nine commercial dairies. Journal of dairy science, 72(1), 250-258. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79103-7

Hogan, J., & Smith, K. L. (2012). Managing environmental mastitis. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, *28*(2), 217-224. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.03.009

Husfeldt, A. W., & Endres, M. I. (2012a). Association between stall surface and some animal welfare measurements in freestall dairy herds using recycled manure solids for bedding. *Journal of Dairy Science*, *95*(10), 5626-5634. https://doi.org/10.3168/jds.2011-5075

Husfeldt, A. W., Endres, M. I., Salfer, J. A., & Janni, K. A. (2012b). Management and characteristics of recycled manure solids used for bedding in Midwest freestall dairy herds. *Journal of dairy science*, *95*(4), 2195-2203. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2011-5105

Chinakwe, E. C., Nwogwugwu, U. N., Ibekwe, V. I., Nwachukwu, I. N., Ihejirika, C. E., Ofoegbu, C. J., … & Mejeha, O. K. (2019). Changes in microbial population numbers during composting of some organic wastes in greenhouse. Journal of Advances in Microbiology, 17(1), 1-10. DOI: https://doi.org/10.9734/jamb/2019/v17i130132

Keys Jr, J. E., Smith, L. W., & Weinland, B. T. (1976). Response of dairy cattle given a free choice of free stall location and three bedding materials. *Journal of Dairy Science*, *59*(6), 1157-1162.

Leach, K. A., Tuer, S., Green, M. J., & Bradley, A. J. (2015). Separated Manure Solids as Bedding for Dairy Cows–a UK Farmer Survey. In Proceedings of the British Mastitis Conference. Worcester, UK (pp. 53-54). DOI: https://doi.org 10.1016/j.tvjl.2015.08.013

Leso, L., Barbari, M., Lopes, M. A., Damasceno, F. A., Galama, P., Taraba, J. L., & Kuipers, A. (2020). Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. Journal of Dairy Science, 103(2), 1072-1099. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2019-16864

Li, H., Wang, X., Wu, Y., Zhang, D., Xu, H., Xu, H., … & Qi, Z. (2021). Relationships among bedding materials, bedding bacterial composition and lameness in dairy cows. Animal bioscience, 34(9), 1559. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.20.0565

Liu, S., Ni, J. Q., Heber, A. J., & Liang, W. Z. (2019). Modeling of Dynamic Ammonia Concentrations in Two Commercial Layer Hen Houses. *Journal of Environmental Informatics*, *33*(1). DOI: https://doi.org/10.3808/jei.201700360

Niu, K., Zhang, X., Chen, C., & Yang, L. (2022). Effects of Fermented Manure Bedding Thickness on Bulls' Growth, Behavior, and Welfare as Well as Barn Gases Concentration in the Barn. Animals, 12(7), 925. DOI: https://doi.org/10.3390/ani12070925

Official Journal of the European Union (2002). REGULATION (EC) No 1774/2002 of THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 3 October 2002 laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption. https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R1774:20070724:EN:PDF

Official Journal of the European Union (2006). COMMISSION REGULATION (EC) No 208/2006 of 7 February 2006 amending Annexes VI and VIII to Regulation (EC) No 1774/2002 of the European Parliament and of the Council as regards processing standards for biogas and composting plants and requirements for manure.

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R0208&from=SK

Qu, G., Cai, Y., Lv, P., Ma, X., Xie, R., Xu, Y., & Ning, P. (2019). Effect of EM microbial agent on aerobic composting for dairy cattle manure. International Journal of Environmental Science and Technology, 16, 6945-6958. DOI: https://doi.org/10.1007/s13762-018-2146-4

Rowbotham, R. F., & Ruegg, P. L. (2016). Bacterial counts on teat skin and in new sand, recycled sand, and recycled manure solids used as bedding in freestalls. *Journal of Dairy Science*, *99*(8), 6594-6608. DOI: https://doi.org/10.3168/jds.2015-10674

Schwarz M., Bonhotal J., & Staehr E. How frequently should stalls be refreshed with new bedding? Progressive Dairyman. 2011;1:57–58.

Schwarz, M., Bonhotal, J., & Staehr, A. E. (2010). Use of dried manure solids as bedding for dairy cows and how frequently should stalls be refreshed with new bedding case study. Cornell Waste Management Institute, Ithaca, NY.

Tadesse, S. T., Oenema, O., van Beek, C., & Ocho, F. L. (2021). Manure recycling from urban livestock farms for closing the urban–rural nutrient loops. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 119(1), 51-67. DOI: https://doi.org/10.1007/s10705-020-10103-8

Tančin, V., & Tančinová, D. (2008). *Strojové dojenie kráv a kvalita mlieka*. SCPV. ISBN 978-80-88872-80-1.

Tasnim, F., Iqbal, S. A., & Chowdhury, A. R. (2017). Biogas production from anaerobic co-digestion of cow manure with kitchen waste and Water Hyacinth. Renewable Energy, 109, 434-439. DOI: https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.044

Ward, W. R., Hughes, J. W., Faull, W. B., Cripps, P. J., Sutherland, J. P., & Sutherst, J. E. (2002). Observational study of temperature, moisture, pH and bacteria in straw bedding, and faecal consistency, cleanliness and mastitis in cows in four dairy herds. Veterinary Record, 151(7), 199-206. https://doi.org/10.1136/vr.151.7.199

Webb, J., & Misselbrook, T. H. (2004). A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production. Atmospheric environment, 38(14), 2163-2176. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.023

Wu, X., Yang, H., & Guo, L. (2010). Effect of operation parameters on anaerobic fermentation using cow dung as a source of microorganisms. International journal of hydrogen energy, 35(1), 46-51. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.10.039

Zhang, F., Yu, W., Liu, W., & Xu, Z. (2020). The mixed fermentation technology of solid wastes of agricultural biomass. Frontiers in Energy Research, 8, 50. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00050 Zhongqi, H. E., Pagliari, P. H., & Waldrip, H. M. (2016). Applied and environmental chemistry of animal manure: A review. Pedosphere, 26(6), 779-816. DOI: https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60087-X