



Дослідження природних
ресурсів
та біоекономіки 62/2020

Переробка екскрементів тварин як спосіб кращої переробки поживних речовин

Звіт платформи SuMaNu

Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi,
Kari Ylivainio, Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem i Erik Sindhöj

Переробка екскрементів тварин як спосіб кращої переробки поживних речовин

Звіт платформи SuMaNu

Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi, Kari Ylivainio,
Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem and Erik Sindhøj



SuMaNu



EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND

EUROPEAN UNION



Бібліографічна примітка до цього звіту:

Luostarinen, S., Tampio, E., Laakso, J., Sarvi, M., Ylivainio, K., Riiko, K., Kuka, K., Bloem, E. and Sindhøj, E. 2020. Переробка екскрементів тварин як шлях до кращої переробки поживних речовин: звіт платформи SuMaNu. Дослідження природних ресурсів та біоекономіки 62/2020. Фінський Інститут Природних Ресурсів, Гельсінкі, стор. 76.



ISBN 978-952-380-036-6 (Друк)

ISBN 978-952-380-037-3 (Онлайн)

ISSN 2342-7647 (Друк)

ISSN 2342-7639 (Онлайн)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-037-3>

Авторські права: Фінський Інститут Природних Ресурсів (Luke)

Автори: Sari Luostarinen, Elina Tampio, Johanna Laakso, Minna Sarvi, Kari Ylivainio, Kaisa Riiko, Katrin Kuka, Elke Bloem & Erik Sindhøj

Видавництво: Фінський Інститут Природних Ресурсів (Luke), Гельсінкі 2020, Рік видання: 2020

Фото на обкладинці: Sari Luostarinen

Видавництво та продаж видань: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Передмова

Звіт був підготовлений в рамках проекту SuMaNu (Стале управління природними добривами та поживними речовинами для зменшення втрат поживних речовин у регіоні Балтійського Моря; www.balticsumanu.eu) програми Interreg Регіон Балтійського Моря. Проект має на меті сформулювати та просувати рекомендації щодо більш стійких практик управління екскрементами тварин та поживними речовинами у сільському господарстві, тим самим зменшуючи навантаження на Балтійське Море сільськогосподарськими поживними речовинами. Рекомендації призначені для охоплення широкої аудиторії в цільових групах - від фермерів до осіб, що приймають рішення.

SuMaNu пропагує цінність екскрементів тварин як джерела поживних речовин та органічних речовин, що використовуються у виробництві сільськогосподарських культур, наголошуючи при цьому, що як удобрення, так і використання екскрементів тварин повинні бути оптимізовані для зменшення втрат поживних речовин у повітря та воду. Підвищена ефективність використання поживних речовин з екскрементів тварин зменшить потребу в мінеральних добривах та збільшить засвоєння вуглекислого газу в ґрунті.

У робочому пакеті 2 (під керівництвом RISE) були об'єднані знання про сталі практики управління поживними речовинами з екскрементів тварин на рівні ферми і регіону на основі проектів, в рамках яких була побудована платформа SuMaNu. Ці проекти це нещодавній Baltic Slurry Acidification, Manure Standards, GreenAgri та BONUS PROMISE, а також попередні проекти, що фінансуються Interreg Регіоном Балтійського Моря (Baltic Manure, Baltic Deal, Baltic Compass, Baltic Compact). В рамках робочого пакету 2 також була проаналізована переробка екскрементів тварин як спосіб покращення переробки поживних речовин в регіоні Балтійського Моря.

Екскременти тварин можуть бути перероблені в перероблені добрива, використовуючи різні технології. Залежно від використовуваної технології, одночасно також може вироблятися відновлювана енергія. Метою може бути збільшення споживання поживних речовин на рівні ферми або регіональний повторний перерозподіл поживних речовин з надлишкових регіонів в дефіцитні. Це також впливає на рівень переробки: у масштабі ферми застосовуються більш прості технології, тоді як на великих переробних підприємствах технологічні ланцюги можуть охоплювати кілька технологічних етапів та виробляти багато різних продуктів. У звіті обговорюється попит, поточний стан знань і потенціал в сфері переробки екскрементів тварин, включаючи опис доступних в даний момент технологій.

Червень 2020,

Minna Sarvi, Координатор

Фінський Інститут Природних Ресурсів (Luke)

Короткий зміст

Sari Luostarinen¹, Elina Tampio¹, Johanna Laakso¹, Minna Sarvi¹, Kari Ylivainio¹, Kaisa Riiko², Katrin Kuka³, Elke Bloem³ i Erik Sindhöj⁴

¹Фінський Інститут Природних Ресурсів (Luke)

²Комісія із захисту морського середовища Балтійського моря (HELCOM)

³Інститут Юлія Кюна /Juliusa Kühna/ (JKI)

⁴Науково-дослідні інститути в Швеції (RISE)

Циркулярна економіка стає все більш бажаною у всьому світі, щоб мінімізувати потребу в невідновлюваних джерелах матеріалів та енергії. Потреба введення нових поживних речовин до сучасних потреб у мінеральних ресурсах може бути значно зменшена шляхом переробки поживних речовин. Це означає відновлення поживних речовин з різних побічних фракцій, багатих поживними речовинами, і повторне їх використання різними способами, насамперед для виробництва їжі. Поживні речовини, особливо фосфор (P) та азот (N), є необхідними для росту рослин. Однак їх кількості, необхідні в добривах, великі. На момент написання цієї статті поживні речовини все ще не ефективно переробляються, і значна частина їх втрачається в результаті остаточної утилізації або викиду.

Перероблювані поживні речовини доступні в різних побічних фракціях, що надходять із сільського господарства, муніципалітетів та промисловості. Найважливішим матеріалом, який можна переробити, є екскременти тварин, які традиційно використовуються як добриво. Однак унаслідок поділу рослинної та тваринної продукції екскременти тварин часто концентруються в певних регіонах, що призводить до того, що їх поживні речовини можуть бути доступні в надлишку в порівнянні з потребами регіону. Це може призвести до надмірного використання екскрементів тварин в регіонах концентрованого тваринництва, тоді як регіони, що виробляють сільгоспкультури, повинні покладатися на мінеральні добрива. Обидві ці ситуації мають негативні наслідки для навколишнього середовища.

Тому потрібні рішення для регіонального перерозподілу екскрементів тварин шляхом поліпшення їх транспортабельності з метою перенесення поживних речовин у райони з їх дефіцитом. Щоб забезпечити транспортування на такі великі відстані та відокремити фосфор від азоту, таким чином покращуючи їх повторне використання, може використовуватися переробка екскрементів тварин.

Екскременти тварин можна переробляти різними технологіями для отримання різних кінцевих продуктів. Метою переробки, як правило, є зменшення їх ваги та концентрація поживних речовин з метою поліпшення їх транспортабельності. Важливою метою є також виробництво добрив, що замінюють мінеральні добрива та забезпечують зменшення викидів у навколишнє середовище. Існує кілька технологій переробки, та розробляються наступні.

На момент написання цієї статті переробка екскрементів тварин ще обмежена, в основному через проблеми з її рентабельністю. Інвестиції у великомасштабну переробку цих екскрементів відповідно до вимог регіонального перерозподілу поживних речовин значні, і ринок нових добрив на їх основі тільки починає розвиватися. Також як і раніше необхідно розробити методи зберігання і поширення продуктів.

У цьому звіті описуються приклади регіонів Балтійського Моря, які потребують перерозподілу поживних речовин шляхом переробки екскрементів тварин, та обговорюється потенціал та пов'язані з цим проблеми як одне із рішень для зменшення викидів поживних речовин. Також представлені зведення доступних технологій переробки та їх кінцевих продуктів у вигляді продуктів добрива.

Ключові слова: Циркулярна економіка, продукт добрива, екскременти тварин, переробка поживних речовин, переробка

Tiivistelmä

Kiertotalouden käyttöönottoa vaaditaan enenevästi ympäri maailmaa uusiutumattomien materiaali- en ja energian käytön vähentämiseksi. Mineraalisten ravinteiden tarvetta ja käyttöä voitaisiin vähentää ravinteita kierrättämällä. Tämä tarkoittaisi ravinteiden talteenottoa erilaisista ravinnepitoisista sivuvirroista ja muodostuvien ravinnetuotteiden käyttöä erilaisissa toimissa, suurimpana käyttäjänä ruuantuotanto. Ravinteet, etenkin fosfori ja typpi, ovat välttämättömiä kasvien kasvuille, ja lannoit- teina tarvittujen ravinteiden määrät ovat suuret. Siitä huolimatta tätä kirjoitettaessa ravinteet eivät kierrä tehokkaasti, vaan merkittävä osuus niistä päättyy hävikkinä loppusijoitukseen tai päästöinä ympäristöön.

Kierrätettävissä olevia ravinteita on erilaisissa maatalouden, yhdyskuntien ja teollisuuden sivuvirrois- sa. Merkittävin kierrätettävä materiaali on kotieläintuotannon lanta, jota perinteisesti jo hyödynne- tään lannoitteena. Kasvin- ja kotieläintuotannon eriytymisen vuoksi lanta kuitenkin keskittyy monin paikoin alueellisesti siten, että sitä on liikaa saman tuotantoalueen ravinnetarpeeseen nähden. Tämä voi johtaa liialliseen lantaravinteiden levitykseen kotieläintuotannon alueella, kun samalla kasvintuo- tannon alueilla joudutaan käyttämään mineraalilannoitteita. Molemmilla on negatiivisia ympäristö- vaikutuksia.

Näin ollen ratkaisua lannan alueelliseen uusjakoon tarvitaan parantamalla lannan kuljetettavuutta ja siten siirtoa ylijäämäalueilta ravinteita tarvitseville alueille. Pitkänkin kuljettamisen mahdollistami- seksi sekä lannan fosforin ja typen erotteliseksi ja niiden käytön tehostamiseksi lantaa voidaan prosessoida.

Lannan prosessointiin on erilaisia teknologioita, jotka tuottavat monenlaisia lopputuotteita. Proses- soinnin tavoite on yleensä lannan massan vähentäminen ja ravinteiden väkeväminen kuljetettavuus- den parantamiseksi. Tärkeä tavoite on tuottaa käyttökelpoisia kierrätyslannoitevalmisteita, joilla voidaan korvata mineraalilannoitteita ja vähentää ruuantuotannon päästöjä ympäristöön. Monenlai- sia prosessointiteknologioita on tarjolla ja lisää kehitetään.

Tätä kirjoitettaessa lannan prosessointi on varsin vähäistä pääasiassa sen heikon kannattavuuden vuoksi. Investointikustannus lannan suuren mittakaavan prosessointiin on merkittävä, ja markkinat kierrätyslannoitevalmisteille vasta alkamassa kehittyä. Myös valmisteiden varastoinnin ja levityksen ratkaisuja on vielä kehitettävä.

Tässä raportissa kerrotaan esimerkkejä Itämeren maiden alueista, joilla lannan alueellista uusjakoa tarvitaan ja joilla lannan prosessoinnista voitaisiin hyötyä. Lisäksi arvioidaan lannan prosessoinnin mahdollisuuksia ja haasteita ravinteiden kierrätyksen ratkaisemisessa. Raportti sisältää myös tiivis- telmiä tarjolla olevista prosessointiteknologioista ja kuvaa niistä muodostuvia kierrätyslannoiteval- misteitä laatuineen ja käyttömahdollisuuksineen.

Зміст

1. Вступ	7
2. Переробка екскрементів тварин для повторного розподілу поживних речовин їхнього походження	9
2.1. Приклади регіональної доступності та потреби в поживних речовинах в РБМ	9
2.1.1. Фінляндія	9
2.1.2. Швеція	11
2.1.3. Німеччина	13
2.1.4. Польща	15
3. Огляд переробки екскрементів тварин.....	17
3.1. Мотивація переробки екскрементів тварин	17
3.2. Економія переробки екскрементів тварин.....	19
4. Технології переробки та отримані в результаті продукти добрив	21
4.1. Механічне розділення	24
4.2. Підкислення рідкого добрива	28
4.3. Компостування.....	30
4.4. Анаеробна ферментація.....	34
4.5. Технології для твердих екскрементів тварин.....	40
4.5.1. Термічне сушіння	40
4.5.2. Пелетизація/грануляція	43
4.5.3. Піроліз	46
4.5.4. Гідротермальна карбонізація (НТС)	49
4.5.5. Спалювання/спопелювання	51
4.5.6. Газифікація	53
4.6. Технології відновлення поживних речовин для рідких фракцій.....	55
4.6.1. Відганяння аміаку.....	55
4.6.2. Мембранний поділ	58
4.6.3. Преципітація струвіту	61
4.6.4. Вакуумне випаровування	63
4.7. Технологічні ланцюги переробки екскрементів тварин	65
4.8. Короткий зміст технологій переробки гною тварин та їх кінцевих продуктів	67
5. Контроль потенційної небезпеки гігієни та забруднення	72
5.1. Мікроелементи.....	72
5.2. Органічні забруднювачі.....	72
5.3. Гігієна.....	73
6. Висновки	75

1. Вступ

Циркулярна економіка стає все більш бажаною у всьому світі, щоб мінімізувати потребу в невідновлюваних джерелах матеріалів та енергії. Європейський Союз запустив план дій з циркулярної економіки у 2015 році (COM/2015/0614 остаточна версія, оновлення COM/2020/98 остаточна версія) та розвинулися роботи щодо кращого повторного використання матеріалів. В останні роки інструменти фінансування ЄС підтримували дослідження та інновації в напрямку поліпшення діяльності в циркулярній економіці, і одним з найбільш важливих питань стало переробка поживних речовин.

Поживні речовини, особливо фосфор (P) і азот (N), необхідні для виробництва продуктів харчування і подаються сільгоспкультурам в якості добрив для їх зростання. Їх необхідні кількості великі. Загальна кількість азоту, що вводиться ззовні в ґрунти сільськогосподарських культур і виробництва продукції тваринництва/системи агропромислового комплексу в країнах ЄС становив у 2004 році близько 17 млн. т/рік і включала мінеральні добрива (11 млн. т), імпорتنі корми (2,7 млн. т) та інші джерела, такі як атмосферні опади і азотфіксація (Leip та ін. 2014). Загальна кількість фосфору, що вводиться ззовні, становила 1,8 млн. т, що складається з мінеральних добрив (1,4 млн. т) та імпорتنих кормів (0,4 млн. т; van Dijk та ін. 2016).

Однак, за підрахунками, із загального потоку поживних речовин в ЄС лише 20% азоту надходить до споживачів у вигляді харчових продуктів, тоді як 80% надходить у різні відходи та побічні фракції або втрачається в навколишнє середовище (Leip та спів. 2014). У свою чергу, частка фосфору оцінюється в 30-70% (van Dijk та ін. 2016), причому значна частка невикористаного фосфору пов'язана з польовим ґрунтом, збільшуючи тим самим ресурс фосфору в ґрунті. У рослинній продукції ЄС ефективність використання поживних речовин, тобто кількість доданих поживних речовин, які потрапляють в урожай, оцінюється приблизно в 50% для азоту та 70% для фосфору. У випадку з тваринництвом ефективність використання поживних речовин, які надходять тваринам та продуктам виготовлених з них, набагато нижча і становить приблизно 18% та 29% відповідно (Leip та ін. 2014, van Dijk та ін. 2016), тоді як решта в основному потрапляє у екскременти тварин.

В ЄС та багатьох інших регіонах світу виробництво тварин та рослин було відокремлене через необхідність підвищення ефективності виробництва та прибутковості шляхом спеціалізації на конкретних продуктах. Зокрема, тваринництво все більше концентрується на певних областях або регіонах в більшості країн. Прикладом може служити регіон Балтійського Моря (РБМ), де існують райони з великою популяцією тварин, що створює проблеми з точки зору стійкого удобрення екскрементами тварин при обмеженнях в щільності худоби, у зв'язку з доступністю сільськогосподарських ґрунтів для внесення екскрементів тварин.

Багато регіонів з інтенсивним тваринництвом постійно імпортують більше поживних речовин в кормах і добривах, ніж експортують у вигляді продуктів. Надлишок поживних речовин в основному міститься в екскрементах тварин. Оскільки співвідношення азоту до фосфору в екскрементах тварин нижче, ніж оптимальне для більшості культур, удобрення екскрементами тварин може призвести до надмірного удобрення фосфором через максимальне використання азоту, що міститься в ньому. Більша частина надлишкового азоту втрачається в навколишнє середовище через газові викиди і вимивання і не накопичується в польових ґрунтах. Однак надлишок фосфору зв'язується з молекулами ґрунту і накопичується з часом, збільшуючи запас фосфору в ґрунті і зменшуючи необхідність удобрення фосфором. Отже, постійне внесення екскрементів тварин збільшує ризик втрат фосфору у водотоки. З іншого боку, в той же час в регіонах, що спеціалізуються на рослинній продукції, запас фосфору в ґрунті часто низький і навіть зменшується, тому для поповнення необхідних запасів фосфору використовуються мінеральні добрива.

Ці регіональні відмінності між областями, в яких спостерігається надлишок поживних речовин (екскрементів тварин), а тими, які змушені імпортувати мінеральні добрива є основою для ідеї переробки поживних речовин, тобто пошук рішень замкнутого циклу для сталого управління поживними речовинами в регіональному масштабі. Ефективніше використання надлишків поживних речовин для збалансування потреби в мінеральних добривах може зменшити негативний вплив надлишку поживних речовин на навколишнє середовище. Водночас це може

заощадити обмежені ресурси фосфору, зменшити потребу у викопному паливі у виробництві азотних добрив та збільшити регіональну самозабезпеченість поживними

речовинами з усіх органічних бічних фракцій у суспільстві, екскременти тварин, мабуть, мають найбільший потенціал для забезпечення шляху такої переробки поживних речовин (таблиця 1).

Таблиця 1 Потенціал переробки поживних речовин в ЄС, загальні обсяги та середньорічні обсяги на сільськогосподарських ґрунтах в ЄС у разі рівномірного внесення (Eurostat 2016, Leip та ін. 2014, Velthof та ін. 2015, van Dijk та ін. 2016, Sutton та ін. , 2011, Buckwell & Nadau 2016). Для порівняння річне споживання мінеральних добрив (Eurostat 2016).

	Загальний азот Млн. т.	Середній азот кг / га / а	Загальний фосфор Млн. т.	Середній фосфор кг / га / а
Екскременти тварин	7-9	41-52	1.8	10.5
Біологічні відходи	0.5-0.7	2.9-4.1	0.1	0.6
Відходи бойні	ДВ	ДВ	0.3	1.7
Стічні води	2.3-3.1	13.3-18.0	0.3	1.7
Мінеральні добрива	10.9	63	1.4	8.1

BD = дані відсутні

Бібліографія

- Buckwell, A. & Nadau, E. 2016. Nutrient recovery and Reuse (NRR) in European Agriculture. A review of issues, opportunities and actions. The Rise Foundation.
- van Dijk K., Lesschen, J.P. & Oenema, O. 2016. Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. Science of the Total Environment 542: 1078-93.
- Eurostat 2016.
- Leip, A., Weiss, F., Lesschen, J.P. & Westhoek, H. 2014. The nitrogen footprint of food products in the European Union. The Journal of Agricultural Science 152 S1: 20-33.
- Sutton, M., Howard, C., Erisman, J., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., van Grinsven, H. & Grizzetti, B., 2011. The European Nitrogen Assessment – Sources, Effects and Policy Perspectives. Cambridge University Press.
- Velthof, G.L., Hou, Y. & Oenema, O. 2015. Nitrogen excretion factors of livestock in the European Union: a review: Nitrogen excretion factors of livestock in EU. Journal of the Science of Food and Agriculture 95: 3004-3014.

2. Переробка екскрементів тварин для повторного розподілу поживних речовин їхнього походження

Регіональна концентрація тваринництва призвела до ситуації, коли поживні речовини, отримані з екскрементів тварин, не використовуються відповідно до потреб сільськогосподарських культур. Регіональний дисбаланс поживних речовин додатково посилюється за рахунок імпорту кормів з регіонів рослинної продукції, що призводить до концентрації поживних речовин в регіонах тваринництва. Хоча використання екскрементів тварин в якості добрива залишається діючою практикою на тваринницьких фермах, їх використання також має бути розширено на фермах і в регіонах, що спеціалізуються на рослинній продукції. Це вже дозволило б частково перерозподілити цінні поживні речовини, отримані з екскрементів тварин, на полях і в районах, які в даний час більш залежать від мінеральних добрив. У той же час органічна речовина з екскрементів тварин може повернутися до більш широкого діапазону ґрунтів, допомагаючи підтримувати її більш високий вміст.

Однак більш ефективний перерозподіл поживних речовин з екскрементів тварин неможливий з сирими екскрементами тварин. Сьогодні ці екскременти, як правило, використовуються на або поблизу тваринницької ферми, оскільки транспортувати їх дорого; а низький вміст поживних речовин у екскрементах тварин в розрахунку на тону часто призводить до того, що їх вартість перевищує вартість поживних речовин. Крім того, залежно від обмежень удобрення, перевагу надають або фосфору, або азоту, що робить останній неефективним: з фосфором як обмежуючою поживною речовиною для потреб сільгоспкультури використовується занадто мало азоту, тоді як з азотом як обмежуючою поживною речовиною, вводиться занадто велика кількість фосфору

Отже, щоб забезпечити ефективний регіональний перерозподіл поживних речовин з більш економічно вигідним транспортуванням поживних речовин та кращим використанням цінних поживних речовин, стає необхідним переробляти екскременти тварин на більш концентровані, транспортувальні продукти добрив. Ефективність є ще кращою, якщо фосфор і азот одночасно поділяються на два окремих продукту добрив. Існують різні технології переробки та технологічні ланцюжки, які можуть бути обрані відповідно до ваших конкретних потреб.

У цьому розділі наведено приклади регіонів Балтійського Моря, в яких спостерігається надмірна кількість поживних речовин в екскрементах тварин і виникає необхідність повторного розміщення частини компонентів добрив. У свою чергу, технології переробки та їх вимоги представлені в наступних розділах.

2.1. Приклади регіональної доступності та потреби в поживних речовинах в РБМ

2.1.1. Фінляндія

Використання мінеральних фосфорних добрив у Фінляндії значно зросло з часів Другої світової війни і досягло свого піку в 1975 р. із середнім споживанням 34 кг/га (Ylivainio та ін. 2014). З тих пір рекомендації щодо удобрення фосфором були знижені відповідно до потреб сільськогосподарських культур, частково для вирішення проблеми евтрофікації поверхневих вод, спричиненого надмірним внесенням добрив. В даний час середня витрата мінеральних фосфорних добрив становить близько 5 кг/га. Через надмірне удобрення в минулому, вміст фосфору у фінських польових ґрунтах зріс до рівня, при якому власні запаси фосфору задовольняють потребу сільгоспкультур близько половини території оброблюваних полів (Ylivainio та ін. 2014). Регіони з найвищим вмістом фосфору в ґрунті також є регіонами з найвищою продукцією тваринництва (рис. 1).

На відміну від мінеральних фосфорних добрив, кількість фосфору з екскрементів тварин залишається незмінною (Ylivainio та ін. 2014) і зараз становить близько 7,6 кг/га з рівномірним внесенням по всіх оброблюваних полях (Luostarinen та ін. 2020). Згідно з нещодавніми оцінками (статистики тварин та Фінської нормативної системи екскрементів тварин, Luostarinen та ін. 2017a, b), усі екскременти тварин, що виробляються у Фінляндії (за межами будівель), містять приблизно 17 200 тонн фосфору. Більшість з них походить від великої рогатої худоби (9200 тонн)

потім від хутрових тварин (2800 тонн), птиці (2300 тонн) і свиней (2200 тонн). На західному узбережжі Фінляндії знаходяться регіони з високою щільністю великої рогатої худоби, свиней, птиці та хутрових тварин, а південно-західна частина має високу щільність утримання свиней і птиці, в свою чергу, в східній частині переважає розведення великої рогатої худоби (рис. 1).

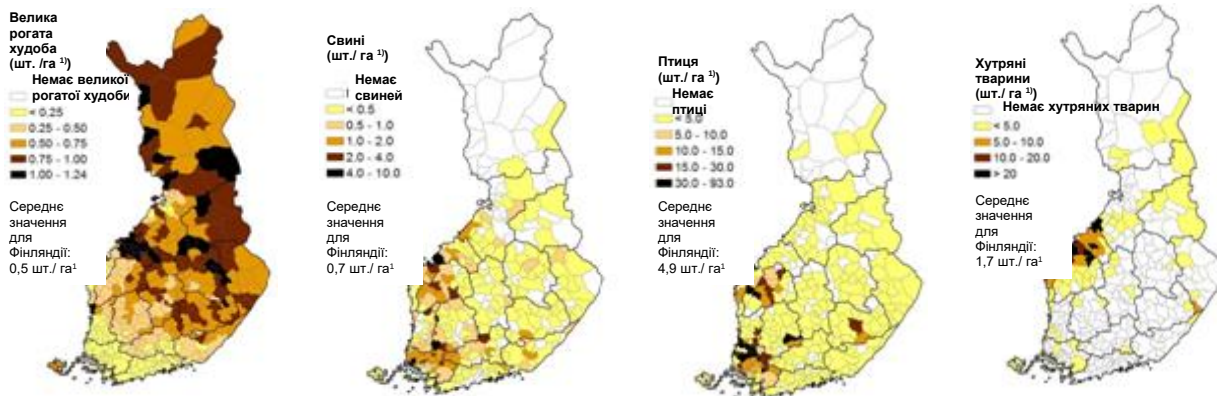


Рисунок 1. Розташування худоби у Фінляндії (кількість тварин на гектар орних земель), що підкреслює регіональну концентрацію тваринництва (Ylivainio та ін. 2014). У північній Фінляндії дуже мало орних земель, тому щільність худоби здається більшою, ніж є насправді.

Відповідно до вимог сільгоспкультур (Valkama та ін. 2011), Середня потреба у фосфорних добривах у Фінляндії становить близько 8 кг/га з урахуванням вмісту фосфору в ґрунті (рис.2). В результаті фосфор, що міститься в екскрементах тварин, вироблених у Фінляндії може майже повністю задовольнити потреби сільгоспкультур на фосфор по всій Фінляндії, якби можна було їх транспортувати для регіонів, що їх потребують, наприклад, з регіонів з надлишком фосфору в регіони з дефіцитом (рис. 2). Однак через розділення виробництва продукції рослинництва та тваринництва, особливо у західній Фінляндії, надлишок фосфору може досягати до +194 кг/га на муніципальному рівні, тоді як у південній Фінляндії негативний баланс фосфору є звичайним явищем, з найнижчою оцінкою - 15,4 кг / га (Ylivainio та ін. 2014).

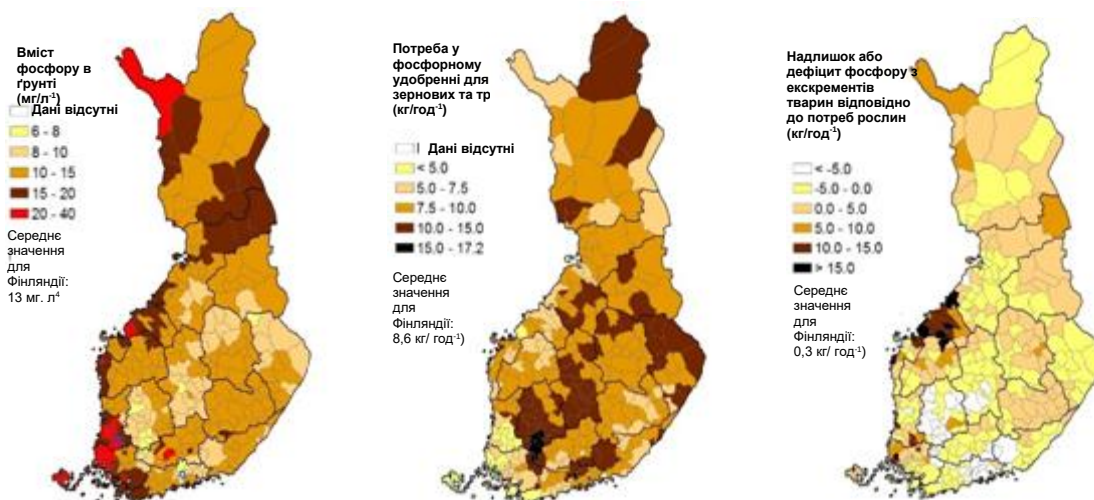


Рисунок 2. Вміст фосфору в ґрунті (ліворуч), потреба у фосфорному удобренні для зернових та трав (в центрі) та результуючий регіональний надлишок або дефіцит фосфору з екскрементів тварин у Фінляндії (праворуч) (Ylivainio та ін. 2014).

Стан доступних, придатних для переробки поживних речовин оцінювався у співпраці з Інститутом природних ресурсів Фінляндії Luke (Інститут Люка) і Фінським інститут навколишнього середовища SYKE (САЙК). В результаті проекту Baltic Manure у Фінляндії була визнана необхідність отримання більш точних даних про екскременти тварин та розроблено національний інструмент розрахунку, який називався Фінською нормативною системою екскрементів тварин (Luostarinen та ін. 2017a). Ця система тепер надає

дані про національну та регіональну кількість екскрементів тварин і вміст поживних речовин для різних категорій тварин і типів екскрементів (приклад даних на рис. 3). Пізніше ці ж організації розробили інший обчислювальний інструмент для планування регіональної переробки поживних речовин („Nutrient Calculator” (“Калькулятор Поживних Речовин”), Luostarinen та ін. 2020). Цей інструмент дозволяє розрахувати кількість та вміст поживних речовин у екскрементах тварин та іншій біомасі, що багата ними (наприклад, мулові муніципальні стічні води та біологічні відходи, промислові відходи та побічні фракції, солома, біомаса трави) на національному, регіональному та муніципальному рівнях. Він також забезпечує сценарії з різними варіантами переробки, розраховує необхідне удобрення (виходячи з поточного виробництва рослин, характеристик ґрунту та трьох альтернативних меж удобрення) та порівнює доступність отриманих продуктів добрив з потребами удобрення. Тому представлені вище дані можна відстежувати та оновлювати, а сценарії на майбутнє можуть бути корисними для прийняття рішень.

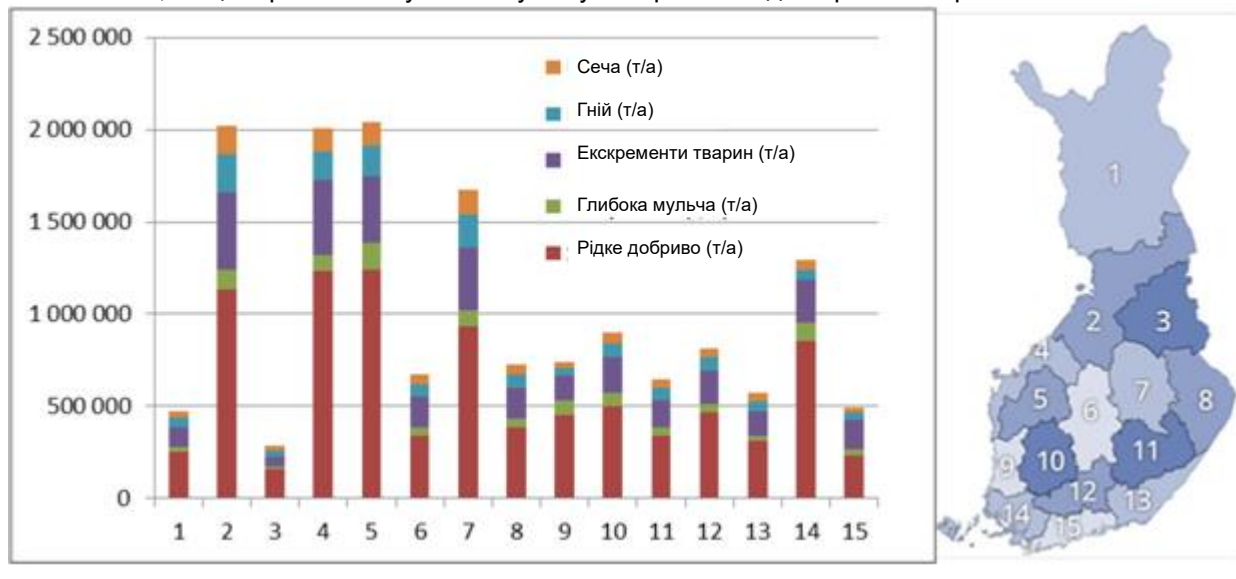


Рисунок 3. Кількість добрив тваринного походження за типом екскрементів тварин (зі складу) і регіону в Фінляндії.

2.1.2. Швеція

З 2006 року Швеція намагається обмежити надлишок фосфору в тваринництві шляхом регулювання щільності тварин на основі кількості фосфору в екскрементах тварин. Регулювання обмежує використання фосфору з органічних добрив до 22 кг/га, що є п'ятирічним середнім показником загальної площі, призначеної для внесення екскрементів тварин. Це обмежує кількість екскрементів тварин, вироблених на фермі, і створює зв'язок між виробництвом тварин і рослин і допомагає розподіляти екскременти тварин на всіх оброблюваних полях, навіть найвіддаленіших. Регулювання взаємодіє з Нітратною директивою, тому, навіть якщо вміст фосфору в екскрементах буде дуже низьким, їх доза не може перевищувати 170 кг загального азоту/га в зонах, особливо схильних до впливу нітратів. Однак, як правило, вміст фосфору в екскрементах обмежує дози їх використання. Таким чином, це регулювання обмежує передозування фосфору, що в кінцевому підсумку призвело би до збільшення втрат в результаті стоку і вимивання.

У 2016 році в Швеції налічувалося 2,86 млн га сільськогосподарських угідь, включаючи постійні сільськогосподарські угіддя. Прості баланси поживних речовин з полів для тих сільськогосподарських земель, показали, в цілому, правильний баланс між введенням та виведенням фосфору, яка становила, із середнім значенням плюс-мінус 12 кг фосфору/га у 2016, 2013 та 2011 роках (SCB 2018). Ситуація значно покращилася з 1995 року, коли в балансі поля був середній надлишок 5 кг фосфору / га. Баланс розраховували як різницю між поживними речовинами, внесеними та усуненими на полях. Введення включало поживні речовини в мінеральних добривах, екскрементах тварин (включаючи екскременти, що зберігаються на пасовищах), насінні, атмосферних осадженнях, біологічних зв'язках, мулі стічних вод та інших органічних поліпшувачах. Введення були валовими сумами, а втрати (газові чи інші) не враховувались. Видалення поживних речовин було включено до сільгоспкультур та рослинних відходів. Баланс поля для азоту був дещо іншим, ніж для фосфору.

Що стосується азоту, то внесення становили близько 119 кг азоту/га, а видалення лише 82 кг азоту/га в 2016 р. Це свідчить про середній надлишок азоту в кількості 37 кг азоту/га або в цілому 112000 тонн, що було враховано як втрати викидів аміаку (35%) та закису азоту (22%) і у вигляді вимивання нітратів (43%) (SCB 2018). Профіцит у 2016 році був на 12% більшим, ніж у попередні роки; однак він був на 36% меншим, ніж у 1995 році.

Хоча баланс фосфору на національному рівні виглядає добре, регіональні відмінності були виявлені між вісьмома областями сільськогосподарського виробництва в Швеції (рис. 4). На регіональному рівні баланс фосфору/га коливався від -5 кг фосфору/га в регіоні південної рівнини Götaland до майже + 3 кг фосфору/га в лісовому регіоні Götaland. Баланс азоту варіювався від +26 кг азоту/га в Norrland до +43 кг азоту/га в регіоні південної рівнини Götaland. Від'ємні залишки фосфору в найбільш продуктивних сільськогосподарських областях Швеції свідчать про вилучення фосфору з ґрунту. Підтримка рівня виробництва з від'ємним балансом фосфору можлива в короткостроковій перспективі завдяки, ймовірно, його залишкам від попередніх років надмірного удобрення, що призвели до утворення запасів фосфору в ґрунті. Проте продовження виробництва з дефіцитом фосфору не є стійким у довгостроковій перспективі.

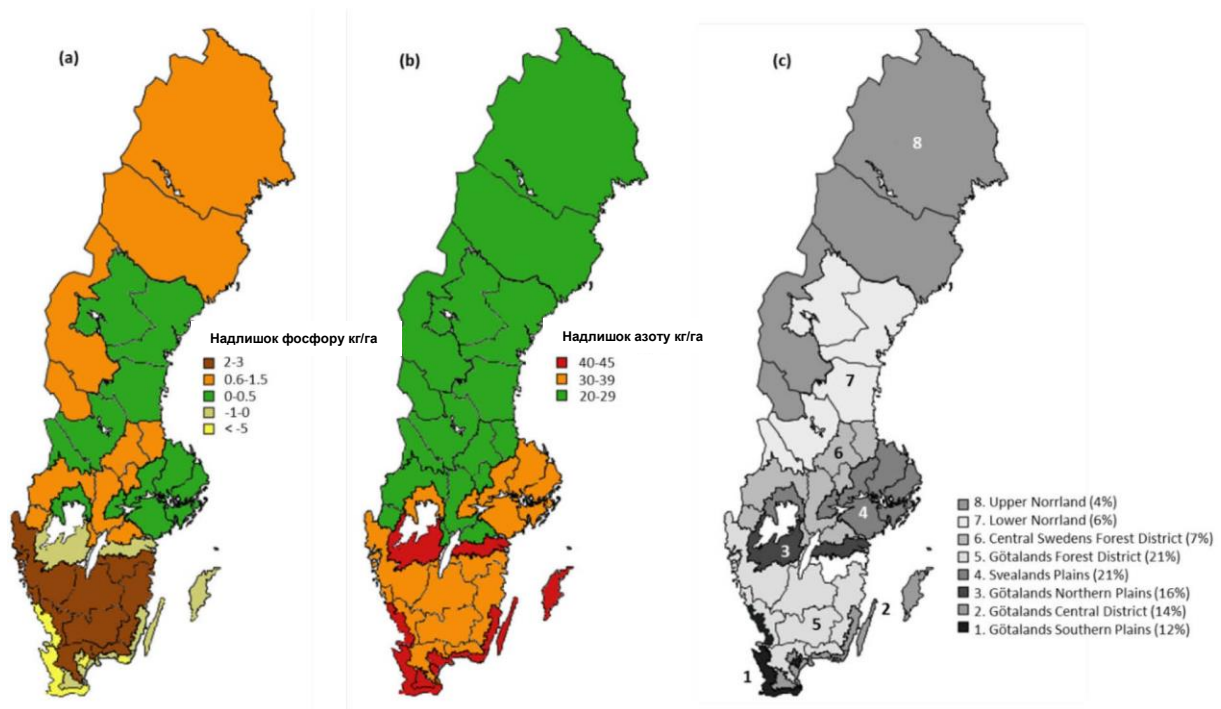


Рисунок 4. Баланси фосфору (а) та азоту (б) на сільськогосподарських землях у Швеції в 2016 році (Дані SBC 2018). Дивитись текстовий опис балансових розрахунків. Розрахунки балансу поживних речовин були зроблені для 8 основних областей сільськогосподарського виробництва в Швеції, показаних на рисунку (с). Відсотки представляють, скільки загальної сільськогосподарської площі припадало для даної виробничої області у 2016 році.

Також існували відмінності в балансі поживних речовин між тваринницькими фермами залежно від щільності тварин (SCB 2018), і представляється очевидним, що фосфор накопичувався у тваринницьких фермах з більшою щільністю худоби (рис.5). Надлишок азоту також є найвищим на цих фермах. Враховуючи, що майже половина всіх молочних корів, свиноматок, іншої худоби і курей-несучок в Швеції, розташовані в господарствах з великими стадами, які в середньому перевищують 500 голів домашньої худоби (Таблиця 2), регіональні баланси поживних речовин показані на Рис. 4, ймовірно, не показують багато місцевих областей з великими проблемами із надлишками поживних речовин.

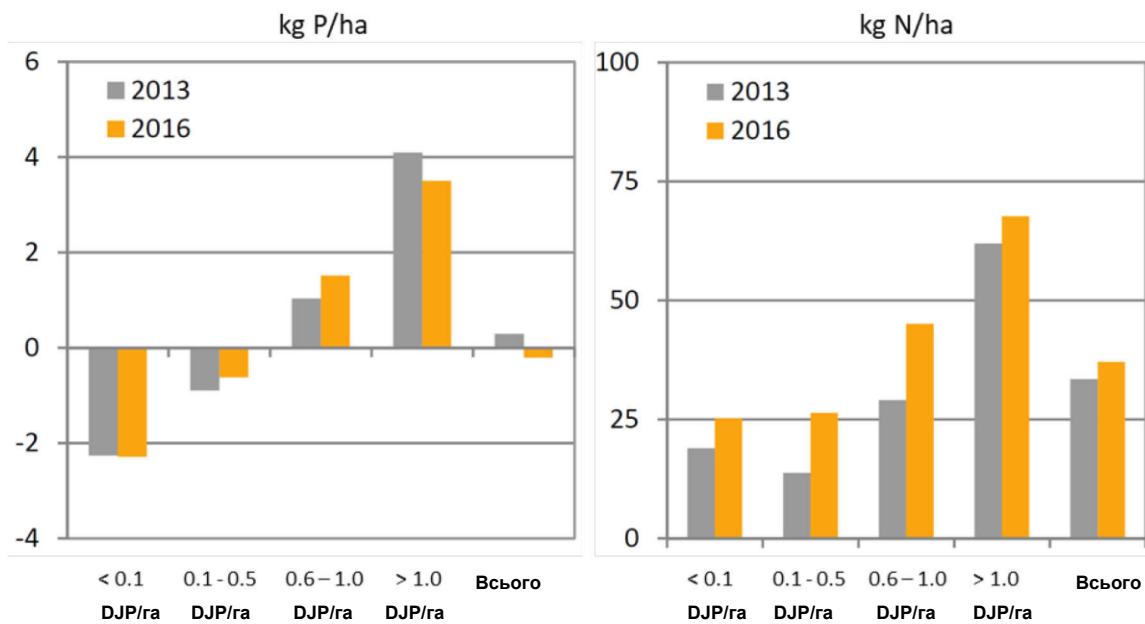


Рисунок 5. Баланс поживних речовин на сільськогосподарських землях (орні землі та постійні сільськогосподарські землі) у Швеції для ферм з різною щільністю худоби (одиниця перерахунку худоби) у 2013 та 2016 роках (SCB 2018). Додатне сальдо - це профіцит, а від'ємне сальдо - дефіцит.

Таблиця 2. Загальна кількість одиниць худоби (DJP) у Швеції для груп тварин (SCB 2017). Коефіцієнти перерахунку DJP складають 0,5 для свиноматок, 0,3 для свиней і 0,014 для курей. Шведське управління сільськогосподарства визнало великими стадами > 200 молочних корів, > 500 свиноматок, > 2000 свиней > 5000 курей. Середня чисельність великого стада була розрахована на основі кількості ферм в цій групі.

	DJP	Кількість у великих стадах (DJP)	% від загального числа у великих стадах	Середня чисельність великого стада (DJP)
Молочні корови	330,833	90,322	27	330
Свиноматки	69,492	37,993	55	492
Інші свині	250,597	117,620	47	1032
Кури	136,488	111,799	82	545
Всього	787,410	357,734	45	534

2.1.3. Німеччина

У Німеччині близько 50% фосфору, що надходить у поверхневі води, надходить із сільськогосподарства (UBA 2017). Це одна з причин, чому ефективність поживних речовин повинна бути високою, а втрати поживних речовин мінімізовані у виробництві рослин, яке використовується для виробництва продуктів харчування та кормів. Удобрення фосфором слід визначати виходячи з потреб рослини. Слід враховувати врожайність і якість, які можна очікувати в даному місці і умовах, а також ресурси фосфору, доступні в ґрунті. Фосфор, доступний у ґрунті, слід аналізувати як частину сівозміни принаймні кожні шість років (DÜV § 4). На рівні ферми в середньому протягом шести років допускається надлишок 10 кг P₂O₅/га/а (4364 кг фосфору/га/а). Якщо ґрунт містить > 20 мг P₂O₅/100 г ґрунту (> 8728 мг P₂O₅/100 г ґрунту) у максимальному розчині хлористого кальцію, тоді прийнятне

удобрення - це кількість фосфору, яку можна взяти (DÜV § 3). У разі поганого стану води внаслідок введення фосфорних підживлень німецькі федеральні землі можуть застосовувати більш жорсткі правила.

На рисунку 6 показано щільність поголів'я худоби в різних районах Німеччини (Häußermann та ін. 2019). Найвища щільність, де існує ризик надлишку поживних речовин, є на північному заході та південному сході Німеччини. Навколо німецького узбережжя Балтійського моря щільність поголів'я худоби в Шлезвіг-Гольштейні (західна сторона) вища, ніж у Мекленбурзі-Передній Померанії (східна сторона).

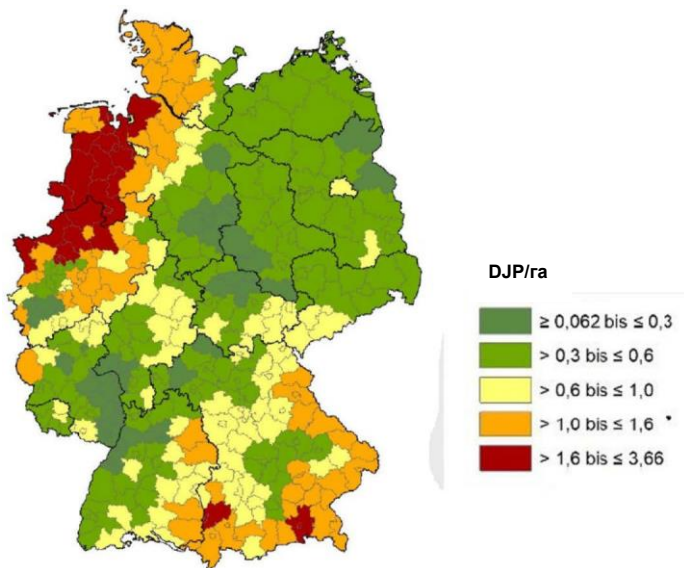


Рисунок 6. Щільність одиниць худоби (DJP/га) у різних районах Німеччини (Häußermann та ін. 2019, Map Basis © Geo-Basis-DE / BKG 2018.)

На рисунку 7 показано частковий баланс для P_2O_5 у кг/га сільськогосподарських угідь (Osterburg і Tetschen 2012, Карта А 4.2, стор. 203). Кількість фосфору, що виробляється у екскрементах тварин (кал та сеча, що виділяється худобою), порівняний з кількістю фосфору, яку споживають сільгоспкультури. Існує безліч розрахункових ситуацій із надлишком фосфору, особливо в регіонах високої інтенсивності тваринництва на північному заході Нижньої Саксонії та північному заході частини Північного Рейну-Вестфалії. Інші регіони з великими надлишками фосфору, наприклад у Східній Німеччині, відносно рідкісні. Регіони з помірним надлишком фосфору з екскрементів тварин можна знайти по всій Німеччині. Однак у багатьох регіонах кількість фосфору з екскрементів тварин нижча, ніж його засвоєння сільгоспкультурами. В результаті це призвело до поступового погіршення стану фосфору в ґрунті в деяких сільськогосподарських районах через нехтування його удобренням (Wiesler та ін. 2016). Рішенням було б краще розподілити екскременти по всій Німеччині і, зокрема, транспортування його в сільськогосподарські регіони з дефіцитом.

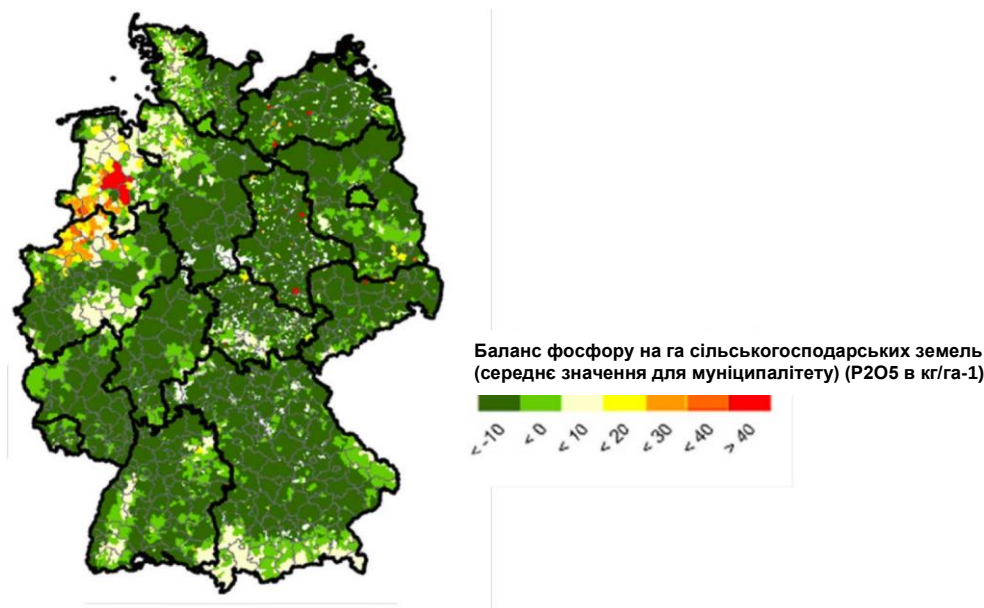


Рисунок 7. Частковий баланс для P2O5 в кг/га сільськогосподарських земель (Osterburg & Tehen 2012, Карта А 4.2, стор. 203)².

2.1.4. Польща

Інший приклад ситуації з нерівномірним розподілом фосфору, отриманого з екскрементів тварин, з Польщі (представлений тут на основі Копінського та Юрга 2016). Загальною метою фосфорних добрив є додавання відповідної кількості цього елемента (відносно випробувань ґрунту на фосфор), щоб отримати ефективний урожай. Одним з інструментів для оцінки правильності управління поживними речовинами є розрахунок валового балансу фосфору. Значні надлишки можуть збільшити родючість ґрунту, але, таким чином, вони також можуть створити ризик втрати фосфору у воді. З іншого боку, постійний від'ємний баланс може послабити родючість ґрунту і вказувати на ризик обмеженого виробничого потенціалу. Беручи до уваги вищезазначене та ситуацію Польщі щодо вмісту фосфору в ґрунті та його доступності, оптимальний баланс фосфору для польських сільськогосподарських угідь оцінювався як максимум у 2 кг фосфору/га. Розрахунки середнього валового балансу фосфору за 2014 р. показують середній надлишок 2,5 кг фосфору/га, що відносно близько до пропонованого оптимуму.

Однак з регіональної точки зору ситуація змінюється. У польському сільському господарстві спостерігається велика регіональна диференціація інтенсивності виробництва, частково обумовлена мінливістю природних умов. Вміст фосфору в ґрунті значно варіюється між регіонами, при цьому частка ґрунтів із низьким або дуже низьким вмістом фосфору коливається від 19% до 57%.

Найбільше споживання мінеральних добрив відбувається в західній та південно-західній частині Польщі. Застосовувані дози становлять від 41,3 кг/га до 15,2 кг/га мінерального фосфору. Також використання екскрементів тварин як добрива суттєво різниться в регіонах, складаючи найвищі 12,6 кг/га та найменші 2,8 кг/га. Використання екскрементів тварин найвище в регіонах, де вміст фосфору в ґрунті найвищий, а отже, потреба у фосфорному удобренні повинна бути найменшою.

Крім того, Польський валовий баланс фосфору вказує на велику регіональну диференціацію. Тут від'ємні баланси були виявлені в регіонах, де велика частка ґрунту з низьким або помірним вмістом фосфору. Тим часом, найбільший надлишок фосфору був виявлений в регіоні з ґрунтами з найбільшим вмістом фосфору і з найбільшим використанням фосфору, отриманого з екскрементів тварин на

² $P_2O_5 \times 0.4364 = P$

га. У цьому ж регіоні також відзначається відносно велике споживання мінерального фосфору.

Згідно з цими даними, удобрення фосфором в Польщі не було оптимізоване для умов, необхідних для виробництва рослин, що означало б підтримання достатньої кількості фосфору в ґрунтах на ділянках з його низьким вмістом або зниження високого рівня удобрення фосфором в районах з його високим вмістом в ґрунті. Така практика вказує на неефективне використання цінного ресурсу і створює ризик втрати фосфору в навколишнє середовище.

Бібліографія

- DüV. 2017. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) DüV vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305)
- Häußermann, U., Bach, M., Klement L. & Breuer, L. 2019. Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise - Jahre 1995 bis 2017. Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, erscheint demnächst in der Reihe UBA-Texte.
- Kopinski & Jurga 2016. Managing phosphorus in Polish Agriculture. *Pol J Environ Stud.* 25(6): 2451-2458.
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J., & Munther, J. 2017a. Finnish Normative Manure System: System documentation and first results. *Natural resources and bioeconomy studies* 48/2017. Natural Resources Institute Finland.
- Luostarinen, S., Perttilä, S., Nousiainen, J., Hellstedt, M., Joki-Tokola, E. & Grönroos, J. 2017b. Turkeiseläinten lannan määrä ja ominaisuudet: Tilaseurannan ja lantalaskennan tulokset (The quantity and properties of fur animal manure). *Natural resources and bioeconomy studies* 46/2017. Natural Resources Institute Finland.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Lehtonen, E., Turtola, E., Uusitalo, R., Lemola, R., Grönroos, J. & Lehtoranta, S. Nutrient recycling potential and state-of-the-art in Finland. Manuscript.
- Osterburg, B. & Techen, A. 2012. Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung, Abschlussbericht, Braunschweig.
- SCB. 2017. Husdjur I juni 2016, slutlig statistik. Sveriges Officiella Statistik: Statistiska Meddelanden JO 20 SM 1701. Statistikmyndigheten SCB.
- SCB. 2018. Kväve- och fosforbalanser för jordbruksmark 2016. Sveriges Officiella Statistik: Statistiska Meddelanden MI 40 SM 1801. Statistikmyndigheten SCB.
- UBA – Umweltbundesamt. 2017. Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung: 132 S. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gewaesser-in-deutschland> (accessed on 12.10.2017)
- Valkama, E., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2011. Yield response models to phosphorus application: a research synthesis of Finnish field trials to optimize fertilizer P use of cereals. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91: 1-15.
- Wiesler, F., Hund-Rinke, K., Gäth, S., George, E., Greef, J.M., Hölzle, L.E., Holz, F., Hülsbergen, K.-J., Pfeil, R., Severin, K., Frede, H.-G., Blum, B., Schenkel, H., Horst, W., Dittert, K., Ebertseder, T., Osterburg, B., Philipp, W. & Pietsch, M. 2016. Anwendung von organischen Düngern und organischen Reststoffen in der Landwirtschaft, Berichte über Landwirtschaft 94: Nr.1, 25 s.
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2014. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. MTT Report 124. 35 p. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti124.pdf>

3. Огляд переробки екскрементів тварин

Переробка екскрементів тварин передбачає використання різних технологій, що змінюють їх склад та кількість для збільшення їх повторного використання, найчастіше у вигляді перероблених продуктів добрив. Технології можуть базуватися на біологічних, хімічних або фізичних методах або їх комбінаціях. Наприклад, вони можуть розщеплювати органічні речовини, виділяти органічні сполуки, зменшувати вміст води, відновлювати або розщеплювати поживні речовини на більш концентровані фракції та/або виробляти відновлювану енергію. Окремі технології можуть використовуватися окремо або послідовно одна за одною, створюючи різноманітні технологічні ланцюжки (див: розділ 4: приклади технологій та їх кінцевих продуктів).

Найбільш поширені технології переробки екскрементів тварин, що використовуються на момент написання, включають анаеробну ферментацію, механічне розділення і компостування. Однак ці технології самі по собі істотно не змінюють вміст поживних речовин або транспортну здатність екскрементів тварин і не можуть вирішити питання необхідності транспортування поживних речовин з цих екскрементів на більші відстані. Більше того, жодна з цих технологій, за винятком високоефективного центрифугування рідких добрив, не забезпечує ефективного способу відокремлення фосфору від азоту в окремі продукти добрив для поліпшення їх використання. Тому все більш досконала переробка екскрементів тварин та продуктів на їх основі, спрямована на ефективне видалення води, та подальшу концентрацію поживних речовин в окремих продуктах, привертає все більшу увагу,

3.1. Мотивація переробки екскрементів тварин

Ферма вирішує переробляти екскременти тварин з різних причин. У масштабі ферми воно може бажати краще використовувати екскременти, використовуючи їх енергетичну цінність для підвищення енергозабезпечення та/або продажу енергії іншим суб'єктам, наприклад, інвестуючи в біогазову установку, що працює в масштабі ферми. Він також може бути спрямований на зміну співвідношення азоту і фосфору в рідкому добриві і краще використання поживних речовин на фермі або в сусідніх фермах або рециркуляцію частини рідкого добрива в якості мульчуючого матеріалу в результаті механічного поділу.

Нормативні обмеження, що обмежують безпосереднє використання екскрементів тварин як добрив, що призводить би до занадто великого вилучення поживних речовин на оброблюваній землі ферми, а також обмеження підживлення можуть змусити фермерські господарства вибрати технології, які переробляють екскременти тварин у більших масштабах. Переробний підрозділ сільськогосподарського кооперативу може бути використаний для перерозподілу поживних речовин серед фермерських господарств, що входять до нього, та/або для виробництва та реалізації відновлюваної енергії, виробленої з цього приводу. Таке місцеве співробітництво може включати як тваринництво, так і сільськогосподарські ферми і навіть деякі інші підприємства, такі як садівництво. Фермери також можуть бажати або навіть повинні передати частину або всі тваринні екскременти на більше централізоване переробне підприємство. Така ситуація має місце, наприклад, якщо в фермерському господарстві виникає надлишок екскрементів тварин по відношенню до потреби власних сільгоспкультур або коли його виробництво тварин буде обмежена через занадто велику кількість поживних речовин, отриманих з екскрементів, для використання на фермі або навіть в регіоні.

Хоча остаточні мотиви переробки екскрементів тварин можуть різнитися залежно від ферми та регіону, найбільш поширеними є наступні:

- зменшення обсягу екскрементів для їх зберігання, переробки і транспортування,
- відповідність нормативним вимогам (екологічні дозволи, директива IED, Нітратна Директива, національні правила),
- поліпшення вартості добрив та/або більш ефективне використання поживних речовин з екскрементів тварин,
- вирішення обмежених можливостей зберігання екскрементів тварин без будівництва нових будівель,
- використання енергії, що міститься в екскрементах,
- пом'якшення викидів,
- боротьба з надлишком екскрементів в масштабі ферми або регіону за рахунок забезпечення транспортування,
- внесок в циркулярну економіку.

Всі ці теми тісно пов'язані між собою. Переваги та мотиви, пов'язані з переробкою екскрементів тварин, наведені на Рисунку 8.

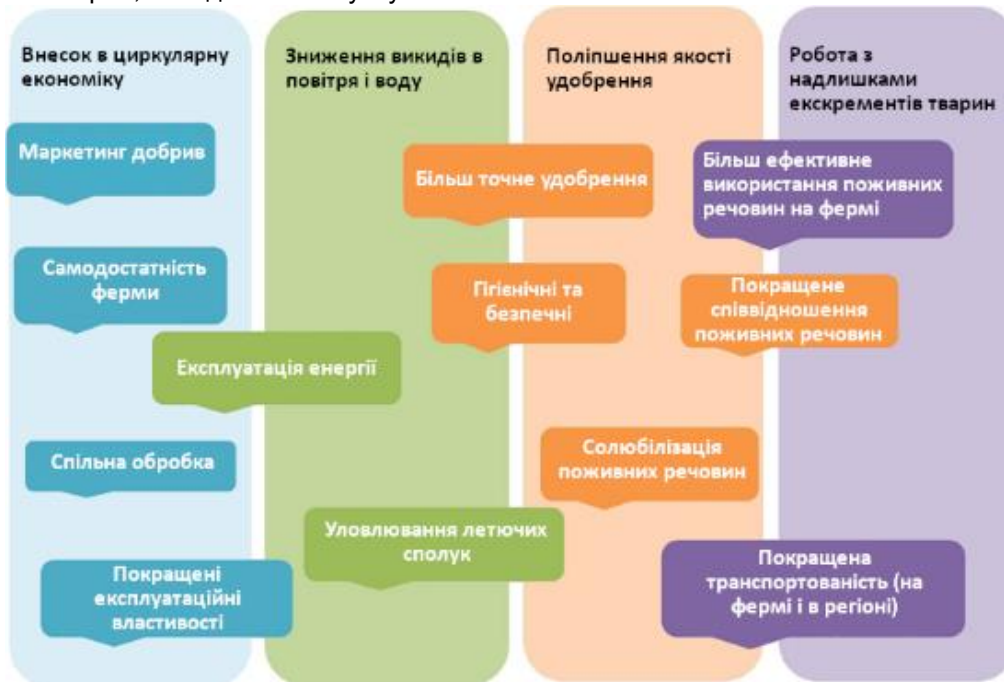


Рисунок 8. Переваги переробки екскрементів тварин розбиті на чотири взаємопов'язані теми.

Важливою причиною переробки екскрементів тварин є поліпшення використання поживних речовин з екскрементів тварин, часто шляхом їх концентрування. Залежно від технології переробки або технологічного ланцюга, поживні речовини також можуть бути розбиті на конкретні продукти з незначною кількістю інших інгредієнтів або без них. Азот також може бути видалений шляхом денітрифікації, наприклад, шляхом перетворення сполук азоту в молекулярний азот і викиду його в атмосферу, однак але це не рекомендується і не відповідає припущенням про переробку поживних речовин. Переробка також може органічно перетворити тверді речовини у більш розчинні форми, тим самим посилюючи ефект удобрення продуктів.

У той же час органічну речовину з екскрементів тварин можна концентрувати в певних продуктах. Продукти добрив на основі екскрементів тварин з високим вмістом органічної речовини є цінними поліпшувачами ґрунту. Додаткове органічна речовина відіграє ключову роль у збереженні фізичних, хімічних і біологічних властивостей ґрунту. Органічна речовина ґрунту вважається центральним елементом її стійкого управління, підтримки її якості і продуктивності сільськогосподарських культур. Збільшення поставок органічного вуглецю в ґрунт також важливо для пом'якшення зміни клімату.

Переробка може також включати виробництво енергії, при якій частина вуглецю, що міститься в екскрементах тварин, перетворюється в енергію під час термічної обробки або анаеробної ферментації. Залежно від технології, вироблена енергія може використовуватися як тепло, електроенергія та/або паливо для транспортних засобів. Коли енергія використовується для заміни викопних джерел енергії, це призводить до зниження впливу на клімат, що все більше цінується.

Переробка екскрементів тварин також може сприяти зменшенню викидів у повітря та воду. Адекватна практика управління необхідна по всьому ланцюжку до, під час та після переробки, щоб мінімізувати втрати. Щоб зменшити втрати газу, викликані зберіганням, переробка зазвичай проводиться якомога швидше, щоб скоротити час зберігання екскрементів до їх переробки. При переробці пропорції поживних речовин і їх доступність потенційно можуть бути перетворені, щоб бути більш оптимальними для потреб сільськогосподарських культур, тим самим знижуючи ризик втрат повітря і води при їх застосуванні на полях. Можливість транспортування в райони, які потребують поживних речовинах, ще більше знижує ризик надмірного удобрення. Звичайно, також

зберіганням і розподілом продуктів добрив на основі екскрементів тварин має важливе значення для скорочення викидів.

3.2. Економія переробки екскрементів тварин

Стимул переробляти екскременти тварин пов'язаний із вартістю та потенційним доходом. Основною причиною їх малорозвиненої переробки на момент написання цієї статті є проблема рентабельності. У той час як, з одного боку, завдяки більш просунутим можливостям переробки вміст поживних речовин в перероблених продуктах добрив зростає і універсальність їх властивостей з точки зору ефективного використання в фермерських господарствах розвивається, з іншого боку, витрати на інвестиції та експлуатацію та технічне обслуговування, також зростають. Більше того, чим менший масштаб переробної установки, тим вищі витрати на переробку на тонну екскрементів тварин. Все це відображається на фактичній ціні перероблених добрив, і сьогодні ці витрати рідко відповідають ціні, яку фермери готові платити. Доступно мало перероблених добрив, і більшість з них вимагають змін у сільськогосподарській практиці, включаючи нові будівлі та обладнання або контрактні послуги, які можуть бути недоступні негайно. Мінеральні добрива дешевше, а ферми знайомі з способами їх зберігання і внесення. Вони також часто можуть використовуватися з більшою точністю, і поживні речовини завжди легко доступні для сільськогосподарських культур, що не завжди має місце з переробленими добривами.

Щоб впровадити дійсно ефективну переробку поживних речовин з перерозподілом поживних речовин в різних регіонах, необхідно побудувати абсолютно новий ринок. Цього не можна досягти без волі і підтримки суспільства. Слід сприяти добрим практикам, щоб полегшити введення необхідних змін. Оскільки економіка є однією з найбільших перешкод, необхідна також фінансова підтримка. Підтримка повинна бути спрямована як на використання перероблених продуктів добрив (попит на фермах), так і на їх виробництво (постачання з переробних заводів, що використовують, зокрема, екскременти тварин).

Щоб дійсно почати роботу, особливо необхідна підтримка переробки екскрементів. Для відходів, від яких муніципалітет або завод повинні позбавлятися прийнятним чином, переробний завод отримує оплату за переробку (збір за зберігання), що допомагає отримати достатній дохід. Однак для сільськогосподарських відходів і особливо екскрементів тварин зазвичай немає такої оплати або вона низька. Фермер не може дозволити собі оплату, тому він знаходить дешевші рішення, якщо це можливо, наприклад, у вигляді високих обмежень на удобрення. У той час як ринок як і раніше нерозвинений, переробний завод не може переробляти, оскільки він не може отримувати адекватний дохід в вигляді оплати за зберігання, чи від продажу кінцевих продуктів.

З огляду на економіку масштабу, вдосконалене перероблення екскрементів тварин у перероблені продукти для удобрення було б найбільш економічно вигідним на великих централізованих заводах. Такі великі заводи також будуть найбільш ефективними при переробці досить великої кількості поживних речовин, отриманих з екскрементів тварин, в перероблені добрива, щоб забезпечити повторне регіональне розгортання. Однак витрати на інвестиції та експлуатацію заводів високі, а отриманий дохід може бути значно нижче.

Одним з часткових рішень економічних проблем є виробництво енергії в рамках ланцюжка переробки. Наприклад, в разі анаеробної ферментації частина доходів в даний час виходить у вигляді доходу від продажу енергії, в той час як дохід від дигестату є низьким або прямо від'ємним. Хоча потенційно кращий дохід може бути отриманий від подальшої переробки дигестату в більш концентровані продукти добрива з кращим співвідношенням азоту і фосфору, це пов'язано з витратами без гарантії того, що це вплине на ціну. Часто для переробних підприємств вигідніше транспортувати велику кількість розрідженого дигестату на поля, ніж переробляти його в більш цінні продукти.

Цей розрив в управлінні біогазовими установками для екскрементів тварин був помічений в багатьох

країнах, і деякі з них вже мають окремі механізми підтримки для них. Наприклад, Швеція пропонує додатковий стимул для ферментації екскрементів тварин у 2014-2023 роках (Förordning 2014: 1528 om statligt stöd till produktion av biogas). Підтримка за біогаз, вироблений з екскрементів тварин, виплачується на певних умовах і сприяє збільшенню переробки екскрементів тварин на біогазових заводах. Однак це насправді не є підтримкою для використання дигестату, оскільки воно не передбачає обов'язкових правил щодо його використання як добрива. Подібним чином у Німеччині екскременти тварин є найкращим вихідним матеріалом для виробництва біогазу, на який припадає близько 40% усіх вихідних матеріалів на німецьких біогазових установках (Daniel-Gromke та ін. 2018). Однак, чим більша біогазова установка, тим менше екскрементів тварин використовується як заповнення, завдяки системі підтримки, що фокусується на виробництві енергії, а не на переробці поживних речовин. У Фінляндії не існує окремої системи підтримки ферментації екскрементів, але її обговорювали як частину комбінованого рішення для зменшення викидів, поліпшення переробки поживних речовин та транспорту без використання викопного палива. Були проведені розрахунки потенційної фінансової підтримки, необхідної для початку широкомасштабної ферментації екскрементів тварин у високих тваринницьких регіонах Фінляндії, з сильним акцентом на зв'язок підтримки зі стійким повторним використанням фосфору, отриманого з цих екскрементів (Luostarinen та ін. 2019).

Щоб забезпечити розвиток реального ринку перероблених добрив, фермери потребують підтримки, щоб почати їх використання. Продукти повинні розроблятися відповідно до потреб і рішень практичного управління, в тому числі, наприклад, регулюючи послуги з складання угод на внесення. Слід поширювати інформацію про їх переваги, щоб показати їх як реальну альтернативу мінеральним добривам. Тільки після зростання попиту на перероблені продукти добрив виробники можуть отримати адекватний дохід.

Бібліографія

- Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Stinner, W., Schmalfuß, T., Scheftelowitz, M., Nelles, M. & Liebetrau, J. 2018. Current developments in production and utilization of biogas and biomethane in Germany. *Chemie Ingenieur Technik* 90(1–2): 17-35.
- Luostarinen, S., Tampio, E., Niskanen, O., Koikkalainen, K., Kauppila, J., Valve, H., Salo, T. & Ylivainio, K. 2019. Lantabiokaasutuen toteuttamisvaihtoehdot (Options for supporting manure-based biogas). *Natural resources and bioeconomy studies* 40/2019. Natural Resources Institute Finland (Фінський Інститут Природних Ресурсів)

4. Технології переробки та отримані в результаті продукти добрив

Існує безліч різних технологій переробки екскрементів тварин, від простих і надійних рішень в масштабі ферми до більш високотехнологічних рішень в складних ланцюгах переробки (рис. 9). Деякі технології дозріли і готові до впровадження, в той час як інші все ще розробляються, щоб адаптувати екскременти тварин до функції субстрату.

Вибір відповідної технології переробки екскрементів тварин залежить від багатьох чинників, у тому числі

- Типу екскрементів тварин,
- Типу переробки: переробка одного виду екскрементів або спільна переробка різних видів та/або спільна переробка з іншими біомасами,
- Можливості і масштаб застосування,
- Прагнення до якості продуктів добрив,
- Прагнення до використання продуктів добрив,
- Інтерес до виробництва енергії та типу цього виробництва,
- Інвестиційних та експлуатаційних витрат,
- Необхідність скорочення викидів та/або управління іншими потенційними загрозами.

Залежно від бажаних переваг також можуть бути обрані різні технології (табл. 3). Часто вибір правильної технології переробки екскрементів тварин слід починати з визначення виду і якості продуктів добрив, які повинні виникнути в результаті їх переробки. Після вибору відповідних характеристик продукту (наприклад, вмісту поживних речовин, гігієнічної якості) і форми (наприклад, твердого, рідкого, гранульованого і неорганічного добрива) можна вибрати технології для отримання потрібного продукту/продуктів. Однак однієї технології не завжди достатньо для переробки екскрементів тварин в продукт з високим вмістом поживних речовин або продукт, схожий на мінеральне добриво, часто для переробки потрібно об'єднання двох або більше технологій в один технологічний ланцюжок.

У цьому розділі коротко представлені вибрані технології переробки екскрементів тварин, включаючи опис їх впливу на вміст поживних речовин в кінцевих продуктах і вплив їх використання на навколишнє середовище. Крім того, наводиться кілька прикладів застосування повномасштабної переробки екскрементів тварин на фермах і в промислових масштабах. У цьому розділі основна увага приділяється технологіям, що забезпечують максимальне відновлення поживних речовин з екскрементів. З цієї причини, наприклад, технології нітрифікації та денітрифікації для видалення азоту не охоплюються.

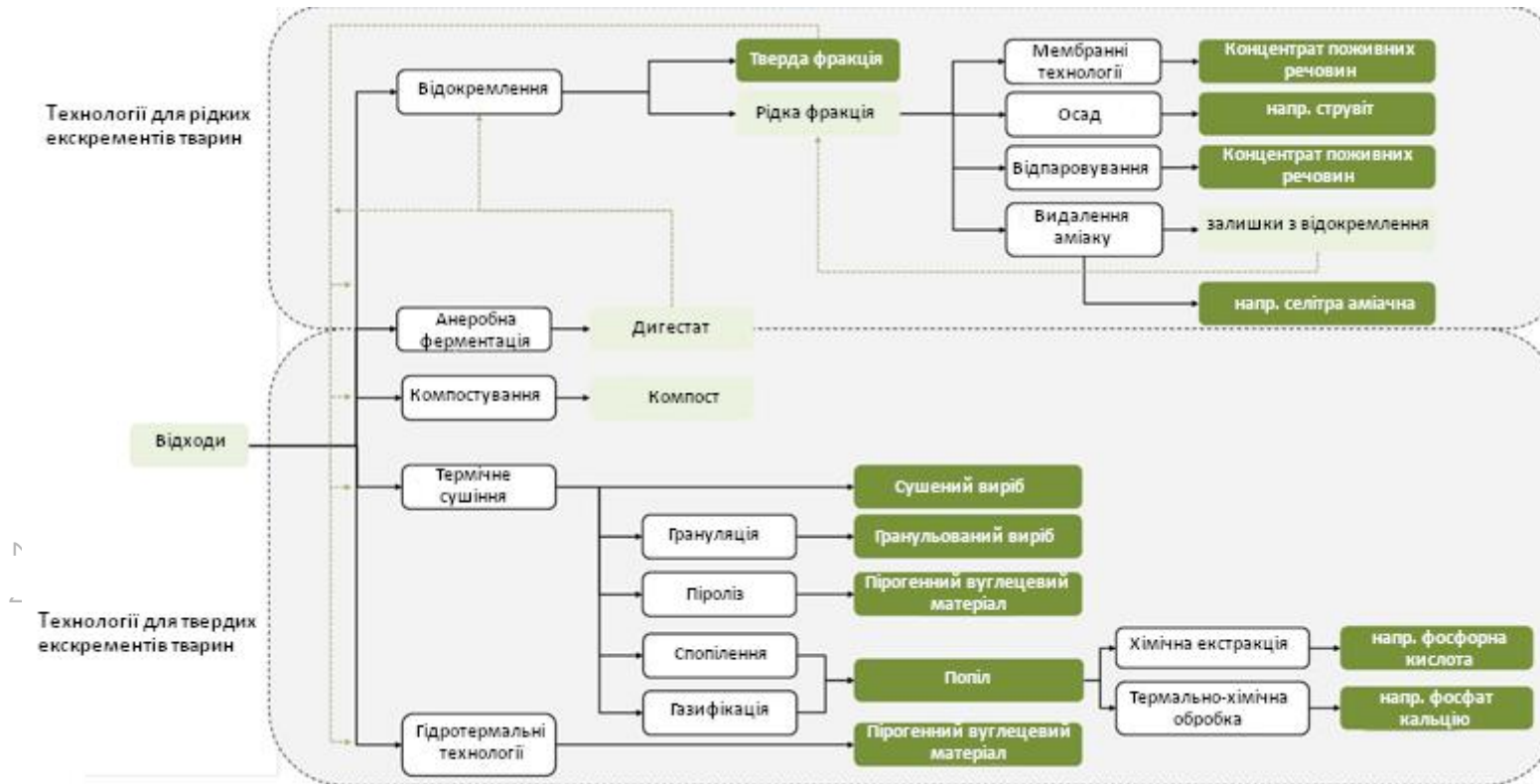


Рисунок 9. Приклади потенційних технологій переробки екскрементів тварин і технологічних ланцюгів які доступні або знаходяться в стадії розробки. Отримані продукти добрива відзначені зеленим кольором.

Таблиця 3. Таблиця 3. Приклади цілей, пов'язаних з різними технологіями переробки екскрементів тварин. Однак слід зазначити, що ці технології можуть знайти застосування в ланцюгах переробки, де одночасно можна досягти кількох цілей.

Мета переробки екскрементів тварин	Технології переробки
Краща ліквідність (з точки зору схожості з сучасними мінеральними добривами)	Грануляція Відганання Струв'їтний осад / Мембранний поділ Піроліз
Підвищена самодостатність ферми	Механічне розділення Анаеробна ферментація Піроліз
Спільна переробка кількох матеріалів	Анаеробна ферментація Компостування Піроліз Газифікація/Спалювання
Покращені експлуатаційні властивості	Компостування Термічне сушіння/Грануляція Піроліз
Виробництво відновлюваної енергії	Анаеробна ферментація Газифікація/Спалювання
Уловлювання летючого азоту	Підкислення екскрементів тварин Відганання
Покращена точність удобрення	Механічне відокремлення Відганання Струв'їт/Мембранна сепарація Термічне сушіння/Грануляція Піроліз
Краща гігієна	Термічне сушіння Піроліз Газифікація Анаеробна ферментація
Солюбілізація поживних речовин	Анаеробна ферментація
Покращене співвідношення азоту та фосфору	Механічне відокремлення Термічне сушіння Піроліз Газифікація Відганання/ Струв'їт/ Мембранне розділення / Випаровування
Більш ефективне використання поживних речовин на фермі	Механічне відокремлення Анаеробна ферментація
Покращений транспорт (у фермі / регіоні)	Механічне відокремлення (на фермі) Термічне сушіння (та гранулювання / брикетування) Піроліз Газифікація Відганання/ Струв'їт / Мембранне розділення / Випаровування

4.1. Механічне розділення

Мета	Відокремлення твердої і рідкої фракції в рідкому добриві (або ферментаційної фракції). Концентрація макроелементів; фосфору в твердій фракції і азоту і калію в рідкій фракції. Оптимізація вмісту поживних речовин для цілей удобрення. Ефективність відокремлення залежить від обраної технології.
Сировина	Рідке добриво, напівтверде добриво тваринного походження
Вихідні продукти	Тверда фракція, рідка фракція
Масштаб	Ферми, середній і великий
Рівень складності	Низький або середній
Етап інновацій	Зрілий (промисловий/комерційний)
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На рівні ферми

Механічне розділення має на меті відокремити тверду і рідку фракції рідкого добрива і може використовувати різні технології, як правило, такі як гвинтовий прес, центрифуга або сито (Таблиця 4). Сепаратори ефективні при виробництві твердих фракцій з високим вмістом сухої речовини за відносно вигідною ціною. Розділення може підвищити ефективність та гнучкість використання та транспортування екскрементів тварин та допомогти точніше управляти поживними речовинами, що містяться в екскрементах.

Кінцеві продукти в якості добрив

Механічне розділення може зменшити об'єм рідкої фракції навіть до 40% у порівнянні з об'ємом сирого рідкого добрива. Проте, як правило, він містить більшу частину початкового об'єму рідкого добрива. Більшість розчинних поживних речовин надходить у рідку фракцію, а це означає, що вміст фосфору зазвичай низький. Це може дозволити, щоб норми його внесення базувались на азоті, не перевищуючи граничної межі фосфору. Однак це залежить від ефективності відокремлення фосфору, що, в свою чергу, залежить від обраної технології та відокремленого рідкого добрива.

Тверда речовина часто містить більшу частину фосфору з вихідного рідкого добрива (0,5–7 г фосфору/кг), оскільки фосфор переважно зв'язується з органічними речовинами і потрапляє у тверді речовини. Органічний азот (0,5–12 г азоту/кг) також присутній переважно у твердій фракції. Завдяки високому вмісту сухої речовини (зазвичай 20-30%), тверді фракції можна легше транспортувати на поля, віддалені від ферми, зменшуючи транспортні витрати та дозволяючи ширше використовувати поживні речовини з екскрементів, ніж у випадку з рідкими добривами. Їх можна зберігати та вносити так само, як екскременти тварин.

Фосфор у відокремлених фракціях зустрічається в основному як легко розчинний у екскрементах великої рогатої худоби, свиней та птиці, і було показано, що вони підвищують вміст біодоступного фосфору в ґрунті до рівня, порівнянного з мінеральним фосфорним добривом, суперфосфатом.

Перевагою рідкої фракції є те, що при її розливанні, вона, як правило, вимагає незначного перемішування або взагалі не вимагає його і спричиняє менше забруднення листя сільськогосподарських культур на полях.

Завдяки меншому вмісту сухої речовини, вона також швидше проникає в ґрунт і тим самим

зменшує викиди аміаку в порівнянні з сирими рідкими добривами. Однак загальні викиди аміаку як з твердих, так і з рідких фракцій під час зберігання та внесення можуть бути вищими, ніж викиди аміаку з рідких добрив, якщо склади не покриті.

Поділ не впливає на патогенні мікроорганізми та інші забруднюючі речовини, але вони поділяються на тверду та рідку фракції відповідно до їх розчинності.

Таблиця 4. Найпопулярніші технології механічного розділення екскрементів тварин.

	Гвинтовий прес	Центрифуга	Сито
Опис	Застосування тиску для відокремлення суспензії твердих речовин від рідкої фракції шляхом фільтрації. Відокремлений матеріал вводять в циліндричне сито (0,5-1 мм). Рідина проходить через сито, і фракція, багата сухою масою, пресується на пресі.	Генерується відцентрова сила, що призводить до відокремлення твердих речовин від рідин. Центрифуга використовує закритий циліндр з безперервним обертальним рухом (3000-4000 об/хв). Фракції поділяються на внутрішній шар з високою концентрацією сухої маси і зовнішній шар при стінці, що складається з рідини.	Сепаратори сита (статичні або рухомі) складаються з сита з визначеним розміром пор. Рідина протікає через сито, а тверда фракція утримується в ситі. Рекомендується низький вміст сухих речовин (<2%) у рідкому добриві. Існує компроміс між розміром сита, ефективністю розділення та ризиком засмічення.
Ефективність перетворення	Обсяг 5-20%; загальна кількість твердих речовин 15-30%; N 5-20%; P 5-30% у твердій фракції	Обсяг 5-20%; загальна кількість твердих речовин 40-70%; TN 15-30%; NH ₄ -N 10-20%; TP 50-95% у твердій фракції.	Обсяг 30-40%; загальна кількість твердих речовин 50-80%, TN 40-80%; TP 30-80% у твердій фракції.
Споживання електроенергії	0,1-1 кВт-год/м ³	3-6 кВт-год/м ³	0,1-1,3 кВт-год/м ³
Реагенти	Як правило, не має.	Коагулюючі або флокулюючі агенти можуть використовуватися для рідкого добрива для поліпшення поділу твердих речовин і фосфору.	Коагулюючі або флокулюючі агенти можуть використовуватися для рідкого добрива для поліпшення поділу твердих речовин і фосфору.
Інвестиційні витрати	17 000-28 000 €	40 000-60 000 € (1,5-2 м ³ /год), 100 000 € (25 м ³ /год)	3 500-15 000 євро (сито), 15 000 € (рухомі елементи)
Експлуатаційні витрати	0,5-1,05 €/м ³ порції матеріалу	0,6-2,3 €/м ³ порції матеріалу	
Робоча сила	Потрібна невелика робоча сила.		
Площа	Це вимагає невеликої площі, але також складів для твердих речовин і рідин.		

Витрати, розраховані на основі " Manure Processing Activities in Europe "(Flotats та ін. 2011) і <http://agro-technology-atlas.eu/>

Наслідки для навколишнього середовища

Тверду фракцію можна експортувати за нижчою ціною в райони з низькою щільністю худоби, зменшуючи проблеми, пов'язані з надлишками поживних речовин, в той час як рідкі фракції можуть бути використані ближче або можуть бути додатково перероблені на місці.

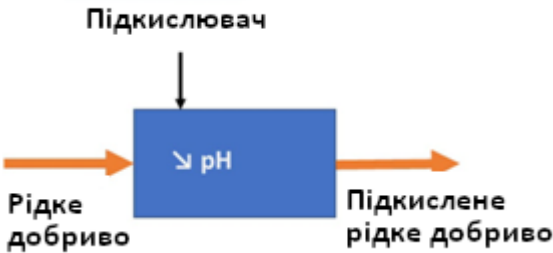
Відокремлення може зменшити викиди парникових газів та аміаку під час зберігання екскрементів тварин та після їх використання на полі порівняно з використанням не перероблених екскрементів. Викиди метану при зберіганні рідких добрив зменшуються, оскільки сполуки, що відповідають за ці викиди (леткі тверді речовини), відокремлюються від твердої речовини. При зберіганні твердої речовини умови аерації обмежують викиди метану. Процес поділу також видаляє волокнисті та великі шматки органічного матеріалу з рідкої фракції екскрементів тварин, що запобігає утворенню природної оболонки. Ця оболонка може створити анаеробні умови, які сприяють виробленню на поверхні оксиду азоту. Однак відсутність природної оболонки може збільшити викиди аміаку з рідини, що зберігається. Незважаючи на збільшення під час зберігання, загальні викиди аміаку від поводження з екскрементами тварин у системі розділення залишаються приблизно такими ж, як у системах без розділення, оскільки викиди аміаку після їх використання зменшуються. Це пов'язано з більш ефективною інфільтрацією неорганічного азоту в ґрунт, оскільки кількість органічного матеріалу в рідкому добриві зменшується під час поділу.

Бібліографія

- Aguirre-Villegas, H.A., Larson R.A. & Reinemann, D.J. 2014. From waste-to-worth: energy, emissions, and nutrient implications of manure processing pathways. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8: 770-93.
- Amon, B., V. Kryvoruchko & G. Moitzi, T. Amon. 2006. Greenhouse gas and ammonia emission abatement by slurry treatment. *International Congress Series* 1293: 295-298.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. Dostęp: http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Fuchs, W. & Drosch, B. 2010. *Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten*, Eigenverlag der Universität für Bodenkultur Wien; ISBN: 978-3-900962-86-9.
- Gilkinson, S., Frost, P. 2007. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a de-canting centrifuge and a brushed screen separator. *AFBI-Hillsborough*.
- Hansen, M.N., Birkmose, T.S., Mortensen, B. & Skaaning, K. 2005. Effects of separation and anaerobic digestion of slurry on odour and ammonia emission during subsequent storage and land application. W: Bernal, P., Moral, R., Clemente, R., Paredes, C. (Eds.) *Sustainable organic waste management for environmental protection and food safety*. FAO and CSIC, pp 265–269.
- Hjorth M., Christensen K.V., Christensen M.L. & Sommer S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sust. Devel.* 30: 153-180. DOI: 10.1051/agro/2009010.
- Ledda, C., Schievano, A., Salati, S. & Adani, F. 2013. Nitrogen and water recovery from animal slurries by a new integrated ultrafiltration, reverse osmosis and cold stripping process: A case study. *Water Res* 47: 6165-6166.
- Levasseur, P. 2004. *Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés*. ITP (in French).
- Møller, H.B., Sommer, S.G. & Ahring, B.K. 2002. Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technol.* 85: 189-196.

- Møller, H.B., Lund, I. & Sommer, S.G. 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresour Technol* 74: 223-229.
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Report on P availability according to Hedley fractionation and DGT-method. BONUS PROMISE deliverable 3.4.

4.2. Підкислення рідкого добрива

Мета	Підкислення рідкого гною - це метод зменшення втрат амонієвого азоту з екскрементів тварин
Сировина	Рідке добриво тваринного походження, рідке добриво, дигестат, відділена рідка фракція
Вихідні продукти	Підкислене рідке добриво
Масштаб	Ферма, субпідрядник
Рівень складності	Низький
Етап інновацій	Комерційний
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На рівні ферми

Азот у екскрементах тварин в основному міститься у вигляді органічного азоту та аміачного азоту. Аміачний азот - це сума аміачного азоту (NH_3) та амонієвого азоту (NH_4^+). У рідкому розчині існує рівновага між аміаком та амонієм, яка значною мірою залежить від pH. Аміак - це безбарвний газ, який легко випаровується, тоді як амоній легко утворює солі, розчинні та стабільні в розчині. Додавання кислот сприяє протонуванню аміаку, змінюючи баланс на перевагу амонію і тим самим зменшуючи ймовірність втрати азоту в результаті випаровування аміаку.

Існують комерційні технології підкислення рідких добрив в господарських будівлях перед перекачуванням рідкого добрива на склад або безпосередньо перед або під час його внесення.

Підкислення рідких добрив - це, перш за все, технологія переробки, спрямована на зменшення викидів аміаку з екскрементів тварин. Таким чином, підкислення збільшує кількість азоту в рідкому добриві, яке доступне для росту рослин після внесення, і тому істотно збільшує ефективність використання поживних речовин з рідкого добрива на фермах і, таким чином, збільшує переробку поживних речовин на фермі.

Підкислення може використовуватися в якості етапу переробки в технологічному ланцюжку для виробництва різних перероблених добрив, оскільки це може, наприклад, допомогти зменшити втрати аміаку під час сушіння або інших наступних етапів переробки.

Кінцеві продукти в якості добрив

Кінцевим продуктом є підкислене рідке добриво або дигестат. Підкислення збільшує вміст азоту в добриві за рахунок зменшення втрат, викликаних викидами аміаку. Коли для підкислення використовується сірчана кислота, вміст сірки в рідкому добриві також збільшується. Підкислене добриво зберігається або вноситься за допомогою звичайного обладнання.

Наслідки для навколишнього середовища

Підкислення знижує викиди аміаку з екскрементів тварин і дигестату на 50-70%. Якщо рідке добриво підкислюється протягом періоду зберігання, це також зменшить викиди метану на + 90% під час зберігання. Деякі дослідження припускають, що підкислення може зменшити викиди оксиду азоту, але в науковій літературі немає єдиної думки на цю тему.

Посилання на фактичний масштаб

У Данії існує близько 150 внутрішніх систем підкислення рідких добрив, з яких близько 50% на фермах, що вирощують велику рогату худобу, і 50% на фермах, що вирощують свиней. На свинарських фермах в Польщі існує також власна модифікована система, в якій відокремлена рідка фракція підкислюється перед відправленням в лагуну для зберігання.

У Данії налічується близько 75 складських систем і одна в Польщі.

У Данії налічується близько 175 польових систем підкислення рідких добрив, одна в Німеччині, одна в Швеції, одна в Латвії і одна в Литві.

Бібліографія

- Mazur, K. & Sindhoj, E. 2017. Description of slurry acidification techniques (SATs) and how they are practiced. w: Possibilities and Bottlenecks for implementing SATs in the Baltic Sea Region.
 Редактори Rodhe, Casimir and Sindhöj, опублікований Baltic Slurry Acidification project доступний на сайті www.balticsslurry.eu
- Fangueiro, D., Hjorth, M. & Gioelli, F. 2015. Acidification of animal slurry – a review. *Journal of Environmental Management* 149: 46-56.

4.3. Компостування

Мета	Досягнення мінералізації та часткової гуміфікації органічних речовин, що призводить до створення стабільного продукту з більшістю вихідних поживних речовин, вільного від патогенів та насіння.
Сировина	Тверді екскременти тварин, тверда фракція рідких добрив
Вихідні продукти	Компост, CO ₂ , H ₂ O
Масштаб	Ферма, середній, повний
Рівень складності	Низький або середній
Етап інновацій	Зрілий (промисловий/комерційний)
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На рівні ферми і регіону

Компостування - це спонтанний, аеробний і термофільний (40-65 ° С) процес, що включає мінералізацію і часткову гуміфікацію органічної речовини, що призводить до отримання більш стабільного кінцевого продукту, званого компостом. Процес компостування найбільш підходить для екскрементів тварин, хоча існують технології вологого компостування.

Процес компостування починається з розкладання, при якому екзотермічні реакції викликають підвищення температури матриці компосту до рівня вище 50° С. Для забезпечення реакції необхідно забезпечити аеробні умови. На другому етапі відбувається затвердіння. Органічні сполуки розкладаються, і утворюються гумінові і фульвові кислоти. Температура повільно падає. Весь процес займає від 8 до 16 тижнів. Оптимальними умовами в компостній матриці є вологість 40-65% і співвідношення С/Н 25-35. Щоб отримати правильне співвідношення С/Н, структуру і пористість, до твердих екскрементів тварин зазвичай потрібно додавати наповнювачі (наприклад, добре нарізану соломку).

Кінцеві продукти в якості добрив

Основною метою компостування екскрементів тварин або твердої фракції є зменшення витрат на транспортування поживних речовин за рахунок зменшення ваги та стабілізації матеріалу, що призводить до отримання поліпшувача ґрунту без запаху, без бур'янів і мало патогенного.

Процес компостування зменшує вміст органічного вуглецю в матеріалі завдяки розкладанню органічної речовини. Ця втрата зменшує вагу та зменшує співвідношення С/Н. Загальна втрата маси зазвичай реєструється на рівні близько 55%, яка складається як з втрати вологи, так і з сухої маси, і використовується для концентрування поживних речовин. Компост може мати вміст сухої маси близько 20-60%, в залежності від вихідного матеріалу, технології процесу і використовуваних наповнювачів. Вміст фосфору залишається незмінним у процесі, хоча може спостерігатися деяке зниження вмісту водорозчинного фосфору. Збереження рівня азоту може бути складним, оскільки аерація та високі температури викликають випаровування NH₃ під час циклу нітрифікації. Загальна втрата азоту в процесі компостування зазвичай становить 10-30%. В результаті мінералізації органічних сполук утворюється NH₄-N. Однак нітрифікація, виявлена утворенням NO₃-N, призводить до низького співвідношення NH₄-N / NO₃-N у зрілому компості.

Було виявлено, що біодоступність фосфору у екскрементах птиці знижувалась із часом зберігання, тоді як у тесті з горщиком компостовані коров'ячі екскременти мали кращий ефект удобрення фосфором, ніж мінеральні фосфорні добрива.

Наслідки для навколишнього середовища

Компостування стабілізує органічні речовини, але утворює парникові гази, що, в свою чергу, знижує агрономічну цінність кінцевого компосту. Втрати вуглецю відбуваються у вигляді CO_2 та CH_4 . Активне компостування в купах, що перекидаються виробляє більш високі викиди CO_2 і більш низький рівень CH_4 ніж пасивна аерація (без перевертання). Викиди N_2O відносно низькі.

Компостування у біотермічних камерах має багато переваг у порівнянні з компостуванням в купах, оскільки воно виконується в більш контрольованих умовах. Воно також може затримувати гази (головним чином NH_3 , NO_x і N_2O) що утворюються в процесі компостування, та очищати відпрацьоване повітря до того, як воно потрапить у навколишнє середовище. Контроль температури може бути хорошим методом зменшення втрат азоту за рахунок випаровування NH_3 отримуючи тим самим багатий азотом компост. У міру прогресування компостування утворюються стабільні азотні сполуки, які менш схильні до випаровування, денітрифікації і вилугування. Тому стабілізовані матеріали, такі як компости, виявляються кращим джерелом органічної речовини та азоту для ґрунту з сільськогосподарської точки зору.

При компостуванні екскрементів тварин концентрація мікроелементів зростає із втратою маси субстрату. Компостування може частково руйнувати антибіотики, але це залежить від хімічної сполуки та умов компостування. Для отримання кінцевих продуктів, що піддаються гігієнізації, партії, компостовані в купах слід зберігати при температурі 55°C не менше 4 годин між кожним перекиданням (мін. 3 перекидання), і компост повинен дозріти до завершення процесу компостування. У аерованих купах та камерах для компостування партії повинні зберігатися при мінімальній температурі 40°C протягом принаймні 5 днів, протягом яких партія повинна зберігатися протягом 4 годин при мінімальній температурі 55°C , а компост повинен дозріти, щоб завершити процес компостування. Компост також слід добре провітрювати, щоб забезпечити належну гігієнізацію.

Таблиця 5. Технології компостування екскрементів тварин.

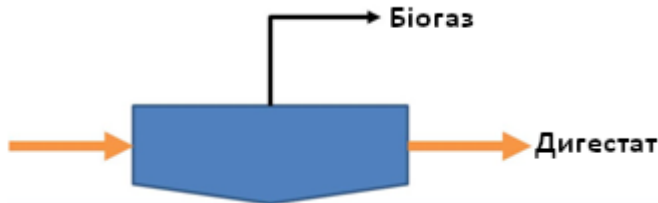
	У статичних купах	В купах, що перекидаються	У статичних купах з аерацією	Тунельні камери
Опис	Компостування в стогах або купах при природній аерації протягом тривалого періоду часу. Низька ступінь технології і проблеми якості.	Компостування в купах при механічній аерації за допомогою фронтального навантажувача або спеціально розробленого аератора для компосту. Найчастіше використовується на фермах.	Компостування в стогах або купах з механічною аерацією та джерелом повітря. Видування і всмоктування повітря через компостний стіг. Для використання на фермі і в муніципалітеті.	Компостування в барабанах, силосах або каналах з використанням високоефективної системи управління аерацією для забезпечення оптимальних умов. Швидкий процес розкладання протягом усього року. Великомасштабні системи для комерційного застосування.
Ефективність перетворення	Зменшення обсягу на 40-50%; зменшення аміаку до NO ₃ і органічного азоту, 40-70% концентрації фосфору і калію; стабілізація органічної речовини			
Споживання електроенергії	-	-	-	Тип резервуара (11 d) 10 кВт-год _е /тонну
Наповнювач	Менш гнучкий, він повинен бути пористим.	Гнучкий.	Менш гнучкий, він повинен бути пористим.	Гнучкий.
Тривалість процесу	6 -24 місяців	21–40 днів	21–40 днів	21-35 днів
Затвердіння	Не стосується.	30 днів +	30 днів +	30 днів +
Контроль процесу	Тільки попереднього змішування.	Попереднього змішування та перегортання.	Попереднього змішування, аерації, контроль температури та/або часу.	Попереднього змішування, аерації, контролю температури та/або часу та перегортання.
Система аерації	Тільки природна конвекція.	Механічне перегортання та природна конвекція.	Примусовий потік повітря через стіг.	Масштабне механічне перегортання та аерація.
Неприємний запах	З'являється неприємний запах. Чим більше купа, тим сильніше запах	З поверхні купи. Перегортання може спричинити неприємний запах у перші тижні.	Запах може виникати, але його можна контролювати, зокрема, завдяки ізоляції та повітряним фільтрам.	Може виникнути неприємний запах. Часто через збій обладнання або конструкційні обмеження системи.
Інвестиційні витрати	-	Весь завод (2000 т/р екскрементів тварин + 1360 т/р тирси) 35 000-100 000 €.	-	Барабаний компостер, що містить контейнери, змішувачі, конвеєри тощо 320 000 €.
Експлуатаційні витрати	-	20 €/тонну	-	-
Робоча сила	Потрібна невелика робоча сила.	Збільшується із частотою аерації та поганим плануванням.	Важливе значення має проектування та планування системи. Необхідний моніторинг.	Економічна ефективність вимагає послідовного рівня управління / потоку продуктів.
Площа	Це вимагає великих площ.	Може знадобитися велика площа.	Менша площа (більш швидкий темп і ефективний обсяг стогів).	Дуже обмежена площа через швидкі перетворення та безперервну переробку.

Витрати розраховуються на основі Flotats та ін. (2011) та <http://agro-technology-atlas.eu/>

Бібліографія

- Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A. & Cegarra, J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* 63: 91-99.
- Bloem, E., Albiñá, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of the Total Environment* 607–608: 225-242.
- Carrington, E. G. 2001. Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction, final report. Study contract No B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the European Commission directorate – general environment.
- Dumontet S., Diné H. & Baloda S. B. 1999. Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: a review. *Biological Agriculture and Horticulture* 16: 409-430.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. Available at <http://agro-technology-atlas.eu/> Technica report II manure processing technologies.
- Larney, F. J., Olson, A.F., DeMaere, P.R., B. P. Handerek, B.P. & Tovell, B.C. 2008. Nutrient and trace element changes during manure composting at four southern Alberta feedlots. *Canadian Journal of Soil Science* 88(1): 45-59.
- Peirce, C.A.E., Smernik, R.J. & McBeath, T.M. 2013. Phosphorus availability in chicken manure is lower with increased stockpiling period, despite a larger orthophosphate content. *Plant and Soil* 373: 359-372.
- Ylivainio, K., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2008. Meat bone meal and fox manure as P sources for ryegrass (*Lolium multiflorum*) grown on a limed soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 267-278.

4.4. Анаеробна ферментація

Мета	Валоризація енергетичного потенціалу екскрементів тварин шляхом анаеробної мікробної деградації. Інші цілі - зменшення викидів під час зберігання екскрементів, збільшення частки розчинного азоту в кінцевому продукті та можливість рециркуляції інших органічних матеріалів на фермах (коферментація з екскрементами).
Сировина	Рідке добриво, екскременти тварин (плюс додаткові кормові матеріали)
Вихідні продукти	Дигестат, біогаз
Масштаб	Ферма, середній, повний
Рівень складності	Середній
Етап інновацій	Зрілий (промисловий/комерційний)
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На фермерському або регіональному рівні (регіональний перерозподіл поживних речовин може бути значно покращений, якщо перероблений дигестат перероблюється на більш концентровані продукти)

Анаеробна ферментація (АФ) являє собою мікробне розкладання біомаси в анаеробних умовах. Це широко використовуваний метод переробки різних органічних бічних фракцій, таких як екскременти тварин. АФ відновлює енергію, оскільки біогаз (50-70% метану, 30-50% вуглекислого газу, сліди інших газів), який безпосередньо використовується на ТЕЦ та / або в транспортних засобах, використовується як промисловий газ після очищення (видалення CO_2) та замість природного газу. Це також дозволяє переробляти поживні речовини та залишкові органічні речовини шляхом повторного використання розщепленої речовини як продукту добрива.

АФ зазвичай проводять у мезофільному (35–40 ° C) або термофільному (50–55 ° C) температурному діапазоні. Вважається, що мезофільна ферментація є більш стійкою до порушень, таких як перепади температур, тоді як термофільна ферментація відбувається трохи швидше і може дати більший вихід біогазу, але також більш схильна до гальмування. АФ можна використовувати як у вологих умовах (вміст твердих речовин <15%), так і у вигляді сухої мінералізації (вміст твердих речовин вище 15%). Волога ферментація підходить для біомас з спочатку високим вмістом води, наприклад, осаду і мулу. Також сировину з високим вмістом сухої речовини можна додавати до вологого розкладання з іншими, більш розведеними матеріалами, при цьому загальний вміст сухої речовини в процесі залишається нижче 15%. Сухі матеріали також можуть бути ферментовані в процесах твердої речовини (їх також називають ферментацією з високим вмістом твердих речовин або сухою ферментацією) без додаткової води або з невеликим розведенням залежно від потреб використовуваного типу реактора. Камери для сухої ферментації можуть експлуатуватися як в періодичному, так і в безперервному режимі (поршневий потік).

Таблиця 6. Технології анаеробної ферментації екскрементів тварин.

	Волога ферментація	Суха ферментація (партіями матеріалу)	Суха ферментація (безперервна)
Опис	Циліндричні реактори з постійним перемішуванням, загальна кількість твердих речовин <15%.	Купові або гаражні реактори, загальна кількість твердих речовин >25%.	Барабанні реактори з поршневим потоком, загальна кількість твердих речовин 15-25%.
	Відомий і надійний процес.	Більш висока швидкість завантаження органічних речовин і, отже, менший обсяг реактора завдяки більш високому вмісту твердих речовин в сировині. Більша толерантність до інертних речовин, таких як пісок і каміння, порівняно з камерами вологої ферментації. Немає проблем, пов'язаних із стратифікацією та флотацією волокнистого матеріалу, але труднощі при змішуванні та отриманням нерівномірно стабілізованого дигестату.	
Ефективність перетворення	Близько 30% субстрату органічної речовини перетворюється на CH ₄ і CO ₂ . Зміна маси незначна. Загальний вміст поживних речовин під час процесу не змінюється. Органічний азот частково мінералізується у NH ₄ -N в процесі ферментації.		
Споживання електроенергії	10-30% виробленої енергії потрібно для нагрівання реактора, 4-10% виробництва електроенергії для змішування та перекачування	Менше енергії використовується для нагрівання через менший об'єм реактора. Менше споживання електроенергії, якщо не використовується перемішування.	Менше енергії використовується для нагрівання через менший об'єм реактора, для змішування потрібно більше електроенергії.
Тривалість процесу	Безперервний, час утримання 14–100 днів залежно від схильності біомаси до деградації	Процес партіями матеріалу, тривалість приблизно 30-60 днів	Безперервний, час утримання 20–100 днів
Контроль процесу	Постійне перемішування	Без перемішування. Можлива рециркуляція перколяційної рідини.	Постійне перемішування
Неприємний запах	Неприємний запах зменшується у всіх типах процесів, якщо процес йде правильно. Перемішування може бути проблемою при ферментації твердих речовин і викликати часткову деградацію і, отже, неприємний запах.		
Інвестиційні витрати	Залежить від ємності реактора, сировини та інтеграції з технологіями переробки дигестату. Витрати на ферментаційні камери, що переробляють 50% екскрементів тварин і 50% рослинної біомаси, можуть варіюватися від 0,42 до 0,59 €/кВт-год для невеликих заводів, 0,36–0,62 €/кВт-год для масштабу сільськогосподарського кооперативу і 0,38–0,41 €/кВт-год для великих масштабів. Вартість інвестицій 50 € / тонну.		
Експлуатаційні витрати	2,1 € / тонну.		
Робоча сила	Необхідна середня робоча сила, що залежить від масштабу.		
Площа	Циліндричні реактори	У режимі порції матеріалу кілька купових або гаражних реакторів працюють паралельно	Барабанні реактори з меншою площею поверхні в порівнянні з камерами вологої ферментації

Інвестиційні витрати розраховуються на основі Gebrezgabher та ін. 2012 та <http://agro-technology-atlas.eu/>

Кінцеві продукти в якості добрив

Органічна речовина екскрементів тварин частково руйнується в процесі мікробної ферментації, але всі поживні речовини зберігаються. Фосфор і калій можуть бути частково розчинені, але зміна стає більш значною з мінералізацією органічного азоту до аміачного азоту. Вміст поживних речовин в дигестаті залежить від вмісту поживних речовин і здатності до деградації сировини.

Було виявлено, що наявність фосфору в ферментованому рідкому добриві молочної худоби знаходиться на тому ж рівні, що і в неферментованому рідкому добриві. Доступність фосфору як в рідкому добриві, так і в його дигестаті була краще, ніж в мінеральному фосфорному добриві, суперфосфаті. При тих же сумарних дозах фосфорних добрив рідке добриво і його дигестат давали більш високу врожайність ячменю в порівнянні з суперфосфатом.

Під час ферментації органічна речовина, що легко розкладається перетворюється в біогаз, але близько 20-50% органічної речовини сировини все ще знаходиться в дигестаті і діє як поліпшувач ґрунту. Порівняно з екскрементами тварин, рН дигестату зазвичай вищий (рН 7,5–8). Дигестат з камер вологої ферментації містить 2-7% від загальної кількості твердих речовин, що аналогічно рівню в рідких добривах, і тому його можна зберігати та вносити за допомогою подібного обладнання. Більше того, вміст поживних речовин може бути дуже подібним до вмісту рідких добрив (0,5–6 г Р/кг, 3–10 г N/кг), лише концентрація амонію вища у дигестаті (0,5–5 г $\text{NH}_4\text{-N}$ /кг). Дигестат з твердої ферментації має більш високий вміст твердих речовин, і його можна переважно зберігати та вносити так само, як і екскременти тварин. Він також може нагадувати напівтверді екскременти тварин, які важко зберігати, оскільки їх неможливо перекачати або скласти в штабелі. У цьому випадку дигестат слід відокремити механічно, щоб забезпечити його практичне використання.

Наслідки для навколишнього середовища

Енергетичне використання відновлюваного біогазу може замінити викопне паливо, а використання поживних речовин з дигестату мінеральні добрива. Азот може бути більш доступним для сільгоспкультур, оскільки частина органічного азоту виділяється в розчинну форму під час процесу ферментації. Однак мінералізація азоту також може збільшити ризик викидів NH_3 тому необхідні хороші рішення для зберігання і внесення дигестату. Рекомендується зберігати під навісом, а внесення має бути зроблено за допомогою розпилення (шламовий дигестат або відокремлена рідка фракція дигестату) або прямого мульчування (у випадку твердого дигестату або окремих твердих речовин дигестату).

Анаеробна ферментація може зменшити викиди парникових газів від використання екскрементів тварин, якщо час утримання в реакторі достатній, і / або застосовується кінцева ферментація, і їх зберігання відбувається під кришкою. Крім того, слід мінімізувати можливі викиди метану з біогазових установок через витоки.

Існує потреба в подальшій переробці дигестату, особливо на великих біогазових установках, для поліпшення логістики та збільшення переробки поживних речовин у районах, які їх потребують. Дигестат може бути додатково перероблений за допомогою різних технологій (інші технології, описані в главі 4), в тому числі відокремлення твердих речовин від рідини і подальше очищення твердої та рідкої фракцій дигестату.

Гігієнізація під час АФ залежить від параметрів процесу; вищі температури та триваліший час утримання збільшують видалення патогенів. Термофільна ферментація може забезпечити ефективне зниження патогенів, але може знадобитися окрема гігієнізація в мезофільному діапазоні температур. Щоб отримати безпечне кінцеві продукти з точки зору найбільш значущих зоонозних патогенів (крім спороутворюючих бактерій), мезофільну анаеробну ферментацію слід поєднувати з пастеризацією (70 ° C протягом 60 хв) до та після обробки, що також підвищить безпеку термофільних дигестатів. Крім того, термічний гідроліз можна використовувати для гігієнізації як попередню переробку або термічну сушку (див. розділ 4.5.1) як подальшу переробку, що є більш ефективним, ніж пастеризація для спороутворюючих бактерій. Для подальшої гігієнізації також можна компостувати сухі дигестатійні продукти, але через

втрати азоту це зазвичай не рекомендується (див. розділ 4.3).

Вплив АФ на органічні забруднювачі досі незрозумілий, хоча, як відомо, деякі сполуки піддаються біотрансформації під час цього процесу. Однак відомо, що деякі сполуки не піддаються деградації, і їхня подальша доля в дигестаті залежить від їх фізико-хімічної природи. АФ не зменшує концентрації мікроелементів, але дещо збільшує їх залежно від втрати маси субстрату. Антибіотики можуть бути частково деградовані, але різні антибіотики також можуть бути знайдені у значних концентраціях в дигестатійних продуктах, залежно від їх концентрації в кормах.

Приклад: агроекологічний симбіоз Paloripo, Фінляндія

Ферма Knehtilä у Фінляндії-це органічна ферма, яка виробляє в основному зернові культури. Поряд з іншими місцевими підприємствами ферма розробила агроекологічний симбіоз, який сприяє спільному виробництву продуктів харчування, енергетичної та поживної самодостатності. Сировиною є зелені відходи з пасовищ, вирощених на фермі в рамках сівозміни (2000 т / рік) і екскременти птиці і коней (500-1100 т / рік) з сусідньої ферми і стайні. Використовуваним процесом є періодична ферментація твердих речовин. Вироблена енергія (2,5 ГВт-год/рік) в основному використовується як паливо для транспортних засобів, а переробка та розподіл газу здійснюється місцевою енергетичною компанією. Дигестат використовується як органічне добриво на фермі.

Агроекологічний симбіоз Paloripo



Koppelmäki, K., Parviainen, T., Virkkunen, E., Winquist, E., Schulte, R.P.O. & Helenius, J. 2019. Ecological intensification by integrating biogas production into nutrient cycling: Modeling the case of Agroecological Symbiosis. *Agricultural Systems* 170: 39–48.

Приклад: Jeruan Biokaasu Ltd, Фінляндія

В даний час у Фінляндії працює великомасштабна біогазова установка (Jeruan Biokaasu) потужністю 90 000 тонн / рік (збільшення до 150 000 тонн / рік у 2020-2021 роках). Її основним субстратом є рідкі екскременти, отримані від свиней (близько 40 000 т/рік), але застосовуються також рідкі екскременти, отримані від великої рогатої худоби, а також різні фракції, що надходять від промисловості і рослинного виробництва. Рідке добриво, отримане зі свиней, транспортується на завод по трубах з довколишніх ферм (відстань <5 км). На момент написання цієї статті завод складається з трьох реакторів потужністю 4000 м³ для ферментації рідкого добрива, але в процесі будівництва є додаткова система ферментації твердої речовини. Процес порції матеріалу твердої речовини буде розкласти екскременти тварин, соломі і промислові бічні фракції в форму субстрату. Вироблений біогаз (30 ГВт-год / рік лише від вологої ферментації) використовується для власного використання, продається на місці як автомобільне паливо та продається для промислових цілей.

На момент написання цього матеріалу вироблений дигестат не піддається подальшій переробці, а використовується як добриво. Дигестат транспортується до найближчих ферм трубами або на великі відстані (до 100 км) вантажівками. Біогазова установка оплачує транспорт. Дигестат є продуктом, затребуваним фермерами через його придатність для органічних сільгоспкультур. Завод також тестує поділ дигестату і переробку рідкої фракції в більш концентровані продукти добрива.



Бібліографія

- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of the Total Environment* 607–608: 225-242.
- Gebrezgabher, S.A., Meuwissen, M.P.M. & Oude Lansink, A.G.J.M. 2012. Energy-neutral dairy chain in the Netherlands: An economic feasibility analysis. *Biomass and Bioenergy* 36: 60-68.
- Phan, H.V., Wickham, R., Xie, S., McDonald, J.A., Khan, S.J., Ngo, H.H., Wenshan, G. & Nghiem, L.D. 2018. The fate of trace organic contaminants during anaerobic digestion of primary sludge: A pilot scale study. *Bioresource Technology* 256: 384-390.
- Martinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. MTT Raportti 135. 87 p. Summary in English: Occurrence of hazardous organic compounds and pharmaceuticals in biogas plant digestate and evaluation of the risk caused for the food production chain.
- Naegele, H-J., Lemmer, A., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2012. Electric energy consumption of the full scale research biogas plant "Unter Lindenhof": Results of longterm and full detail measurements. *Energies* 5: 5198-5214.

- Vuorinen, A., Pitkälä, A., Siitonen, A., Hänninen, M-L., von Bonsdorff, C. H., Ali-Vehmas, T., Laakso, T., Johansson, T., Eklund, M., Rimhanen-Finne, R. & Maunula, L. 2003. Sewage sludge and sludge products for agricultural use – A study on hygienic quality (LIVAKE 2001–2002). Publications of the Ministry of Agriculture and Forest 2/2003. 64 p.
- Yang, L., Xu, F., Ge, X. & Li, Y. 2015. Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 44: 824-834.
- Xu, F., Li, Y. & Wang, Z-H. 2015. Mathematical modeling of solid-state anaerobic digestion. *Progress in Energy and Combustion Science* 51: 49-66.

4.5. Технології для твердих екскрементів тварин

4.5.1. Термічне сушіння

Мета	Сушіння матеріалу до > 90% вмісту твердих речовин для зменшення ваги, збереження поживних речовин, гігієнізації та стабілізації матеріалу для перевантаження та транспортування.
Сировина	Тверді екскременти тварин, відокремлена тверда фракція
Вихідні продукти	Сушений продукт, газ
Масштаб	Повний (комерційний / промисловий)
Рівень складності	Складний Reagent I
Етап інновацій	Зрілий
Загальна діаграма	
Внесок у переробку поживних речовин	Регіональний рівень

Термічне сушіння екскрементів тварин або відокремлених твердих речовин від рідкого добрива / дигестату має стабілізувати продукт добрива, зменшити його загальну масу та збільшити концентрацію поживних речовин. Загальний вміст твердих речовин у кінцевому продукті може становити до 95%. Переваги цієї технології полягають у зменшенні обсягу продукту для транспортування і зберігання, поліпшенні продажів і ефективному знищенні патогенів. У свою чергу, проблеми включають високі інвестиційні витрати, високі потреби в енергії та втрату азоту. Сушіння також виробляє вторинні продукти, такі як газоподібна фракція (що містить пил, аміак і леткі речовини) і стоки (що містять аміак), які вимагають належного поводження.

Для того, щоб уловлювати леткий азот, система сушіння може бути обладнана азотним скруббером, що дає багатий азотом продукт, наприклад аміачну селітру. Інший варіант - підкислити екскременти тварин перед сушінням, щоб утримати азот під час самого процесу. Сушіння може супроводжуватися процесом гранулювання, який гранулює висушений гній у гранули певного розміру, щоб отримати продукт, який легше транспортувати та вносити на поля. Для сушіння можна використовувати наступні методи: технології контакту / конвекції, такі як стрічкові, барабанні та флеш-сушарки; провідні технології, такі як дискові, лопатеві та тонкоплівкові сушарки. Крім того, з опадами стічних вод було реалізована сонячне і сублімаційне сушіння і сушіння перегрітою парою. Також була розроблена інфрачервона сушка.

Таблиця 7. Технології термічного сушіння екскрементів тварин.

	Дискова сушарка (контактне/ конвекційне сушіння)	Барабанна / стрічкова сушарка (конвекційне сушіння)	Флеш-сушарка (конвекційне сушіння)
Опис	Нагрівання поверхні сушарки забезпечує подачу тепла до матеріалу. Виробляється менше вихлопних газів. Можливий перегрів і нерівномірний нагрів матеріалу.	Сушіння при безпосередньому контакті з гарячим повітрям (60–150 °C) протягом приблизно 1 години, 2 годин на конвеєрних стрічках або в барабанах. У барабанних системах матеріал контактує з гарячим повітрям, обертаючись у барабані. Досягається високий вміст сухої речовини. Можливе використання теплообмінників і вихлопних газів. Висока ймовірність утворення пилу. Тривалий час сушіння. Для збільшення випаровування води потрібна велика площа контакту.	Менше необхідного простору і проста конструкція.
Ефективність перетворення	У висушеному продукті залишається 5-20% маси і 100% фосфору. Відновлення фосфору залежить від переробки вихлопних газів / конденсату.		
Споживання електроенергії	800-900 кВт-год/тонну випарованої води	700-1100 кВт-год/тонну із випареної води	1200-1400 кВт-год/тонну з випарованої води
Реагенти	Наприклад, сірчана кислота може використовуватися для контролю викидів аміаку.		
Швидкість переробки	7-35 кг/м²/год	30 кг/м²/год	0.2 кг/м²/год
Неприємний запах	Обмежений пар і запахи	Присутні	Присутні
Інвестиційні витрати	300 000 € за сушарку, що обробляє 30 м³ дигестату в день		Вище в порівнянні з стрічковими і дисковими системами
Експлуатаційні витрати	5.81 €/м³		

Витрати, оцінені на основі Bolzonella та ін. 2018.

Кінцеві продукти в якості добрив

Висушені екскременти тварин мають твердий порошкоподібну форму із вмістом твердих речовин 60-95% і можуть зберігатися в силосах. Вміст фосфору високий (4-35 г фосфору/кг залежно від сировини). Вміст азоту може бути дуже близьким до вмісту фосфору, але його розчинність незначна через випаровування аміаку та утримання лише органічного азоту. Висушені добрива можуть вимагати подальшої переробки з грануляцією або пелетизацією для отримання товарного продукту, який легше застосовувати та вносити. Використання порошкових добрив вимагає спеціального обладнання.

Залежно від температури сушіння, розчинність фосфору може зростати. У гранульованій формі сушені добрива в польових випробуваннях показали ту ж цінність добрив, що і мінеральні фосфорні добрива.

Наслідки для навколишнього середовища

Оскільки вихлопні гази сушарки містять пил, аміак та інші летючі речовини (наприклад, летючі кислоти), для зниження викидів слід використовувати системи очищення вихлопних газів. Такі системи включають пиловий фільтр і промивні / очисні агрегати. Щоб повернути летючий азот, вихлопні гази слід очистити.

Термічне сушіння забезпечує ефективну гігієнізацію і часткове видалення органічних забруднень (в залежності від температури). Щоб ефективно боротися з патогенами, температуру слід підвищувати не менше 80°C протягом 10 хвилин, а вміст вологи знижувати до менше 10%. Нелеткі мікроелементи концентруються в кінцевому продукті через зниження вмісту води.

Приклад: Fertilex, Фінляндія

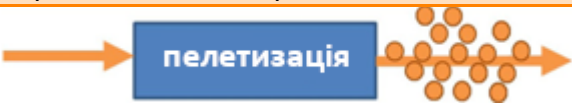
Fertilex - це компанія, яка переробляє екскременти, отримані від птиці в Мінямякі, Фінляндія. Переробний завод розташований на птахофабриці з 300 000 курей-несучок і виробництвом екскрементів на рівні, близько 12 000 тонн/р. В системі переробки Fertilex тверді екскременти з підсобних приміщень сушать стрічковою сушаркою, гранулюють і гігієнізують. Отриманий продукт потім упаковується і продається як добриво. Обладнання для переробки поставляє голландська група Dorset.

Орієнтовний річний обсяг виробництва гранульованого продукту становить близько 4000 тонн. В процесі сушіння використовується надмірне тепло з підсобних приміщень і, при необхідності, енергія від виробництва тепла з використанням деревини. Метою переробки екскрементів є зменшення потреби в їх транспортуванні, полегшення їх використання та зменшення викидів аміаку.

Бібліографія

- Dail, H.W., He, Z., Erich, M.S. & Hoenycott, C.W. 2007. Effect of drying on phosphorus distribution in poultry manure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 1879-1895.
- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of Environmental Management* 216: 111-119.
- Carrington, E. G. 2001. Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction, final report. Study contract No B4-3040/2001/322179/MAR/A2 for the European Commission directorate – general environment.
- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Application, upgrading and marketing. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Bennamoun, L., Arlabosse, P. & Léonard, A. 2013. Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 29-43.
- Kuligowski, K., Poulsen, T.G., Rubaek, G.H. & Sørensen, P. 2010. Plant-availability to barley of phosphorus in ash from thermally treated animal manure in comparison to other manure based materials and commercial fertilizer. *European Journal of Agronomy* 33: 293-303.

4.5.2. Пелетизація/грануляція

Мета	Збільшення щільності продукту та отримання привабливого й легкого в використанні товарного продукту із висушених екскрементів тварин
Сировина	Екскременти тварин, висушені тверді екскременти тварин, тверда суха фракція, зола
Вихідні продукти	Пелети/гранули
Масштаб	Високий
Рівень складності	Складний
Етап інновацій	Промисловий/комерційний
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На рівні ферми і регіону

Перед пелетуванням або гранулюванням екскременти тварин повинні бути зневоднені з відокремленням твердих речовин від рідин (рідке добриво, див: 4.1) або термічно висушені (екскременти тварин, див.: 4.5.1).

Процес гранулювання зазвичай складається з агрегації, сушіння та просіювання для отримання гранул однакового розміру. Під час пелетизації матеріал проштовхується через матрицю з отворами бажаної форми і розміру. Стиснення пелет і температура це основні чинники, що впливають на процес і якість кінцевого продукту.

Кінцеві продукти в якості добрив

Загальна кількість твердих речовин та вміст поживних речовин у гранульованих та пелетизованих екскрементах тварин подібні до вмісту сухих екскрементів, причому їх щільність збільшена. Пелетизовані/гранульовані продукти можна вносити з подібним обладнанням, як мінеральні добрива.

Ефект удобрення фосфором з пелетизованого лисячого гною був помітно трохи кращим, ніж ефект компостованого лисячого гною. Частково це може бути пов'язано з тим, що концентрація партії фосфору в ґрунті покращує його доступність, в той час як компост більш розбавлений в обсязі ґрунту.

Наслідки для навколишнього середовища

Під час процесу існує ризик викиду пилу, якщо вихлопні гази не відновлюються або не фільтруються. При цьому пил може бути рециркульований в процесі.

Таблиця 8. Технології пелетизації і гранулювання екскрементів тварин.

	Пелетизація	Грануляція (дискова/барабанна)
Опис	Попередньо висушені екскременти тварин під високим тиском проштовхуються або виштовхуються через матриці під високим тиском. Під впливом високої температури поверхня гранул плавиться і утворює глянцеvu оболонку.	Тверду фракцію рідкого добрива (тверді речовини 20-40%) змішують, просіюють та гранулюють. У дисковому грануляторі похила обертова чаша полегшує нуклеацію та утворення сферичних гранул однакового розміру. На розмір гранул може впливати обертання чаші та швидкість подачі екскрементів. Після гранулювання гранули термічно сушать і просівають.
Ефективність перетворення	Збільшує насипну щільність сухого матеріалу з 250-350 кг/м ³ до понад 700 кг/м ³ .	При включенні сушки відбувається зменшення вмісту води. В іншому випадку маса екскрементів і поживні речовини зберігаються в гранульованому продукті.
Споживання електроенергії	30–50 кВт _{ел} /тонну	
Реагенти	Для зв'язування матеріалу можна використовувати воду. Також можна додати поживні речовини, щоб збалансувати співвідношення азоту, фосфору та калію у продукті.	Можуть використовуватися в'язучі матеріали. Також можна додати поживні речовини, щоб збалансувати співвідношення азоту, фосфору та калію у продукті.
Контроль процесу	Для отримання однорідних продуктів необхідно контролювати якість пелет/гранул.	
Чинники запаху	Фракції пилу та газу відновлюються для зменшення неприємних запахів.	
Інвестиційні витрати	-	1,0-1,3 млн. \$ за переробку екскрементів від 21 000-23 000 корів (вартість не включає обладнання для сепарації екскрементів) (890 000-1 160 000 €, ~ 45 € за корову)
Площа	У поєднанні із сушаркою для екскрементів тварин розмір установки можна оптимізувати.	

Витрати, оцінені на основі Shahara та ін. 2018.

Приклад: Fertikal, Антверпен, Бельгія

Fertikal, в бельгійському порту Антверпен, отримує органічні матеріали з відстані до 150 км, у тому числі 18 000 тонн дигестату з біогазових установок, 200 000 тонн різних видів екскрементів тварин (що походять від птиці, тверді фракції, від великої рогатої худоби і свиней), 60 000 тонн іншої вторинної сировини (побічні продукти харчової промисловості і кормів) а також вторинна сировина (наприклад, струвіт). Fertikal виробляє 200 000 тонн компосту, змішуючи сировину для досягнення оптимального співвідношення азоту, фосфору та калію відповідно до потреб різних сільгоспкультур. Кінцеві продукти, пелет і крихти, виробляються методом екструзії в кількості 75 000 тонн на рік. Пелет (ширина 3-5 мм, довжина 10 мм) підходить для польових і садівничих сільгоспкультур. Крихти (1-3 мм) - це зламаний і просіяний пелет, які ідеально підходять для точного землеробства, змішування субстратів, горшкових культур або удобрення газонів. Майже вся продукція експортується.

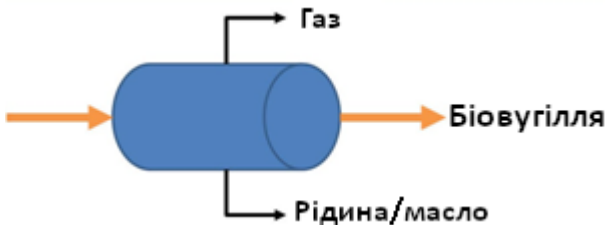
Процес пелетизації компанії Fertikal [www.fertikal.nu]



Бібліографія

- Shahara, M.A., Runge, T., Larson, R. & Primm, J.G. 2018. Techno-economic optimization of community-based manure processing. *Agricultural Systems* 161: 117-123.
- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Application, upgrading and marketing. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf

4.5.3. Піроліз

Мета	Виробництво твердого, гігієнізованого збагаченого вуглицем біовугілля (вміст вуглецю >50% в сухій речовині) або вуглецю (вміст вуглецю <50%). Зменшення обсягу екскрементів тварин і концентрація фосфору. Більша додана вартість завдяки використанню побічних продуктів.
Сировина	Сушені тверді екскременти тварин, сушені тверді речовини
Вихідні продукти	Фракція вуглецю, а також піролітичні гази та рідини
Масштаб	Різні етапи розвитку (залежно від сировини), від демонстраційних або експериментальних установок до промислових підприємств.
Рівень складності	Від середнього до високого.
Етап інновацій	Різні етапи розвитку, від демонстраційних або експериментальних установок до промислових підприємств.
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

Піроліз (карбонізація, термохімічне розкладання) - це технологія поводження з екскрементами тварин, що розвивається. Це процес, при якому біомаса термічно розкладається на газоподібну (піролізний газ), рідку (піролізну рідину) і тверду (біовугілля або вугілля) фракції в умовах низького вмісту кисню або за відсутності кисню в діапазоні температур 350-700 ° C в відносно короткий час. До 50% маси сировини може надходити до газоподібної та рідкої фракції, що значно зменшує потребу в зберіганні та транспортній здатності екскрементів. Піроліз концентрує нелеткі сполуки, такі як фосфор та калій, у фракції вуглецю, тоді як леткі сполуки, такі як азот, потрапляють у газоподібну та рідку фракції. Таким чином, більша частина фосфору відновлюється у твердій фракції вуглецю.

Кінцеві продукти в якості добрив

Властивості вуглецевої фракції сильно залежать від вихідних субстратів і умов процесу (наприклад, температури, швидкості нагріву). Таким чином, піролізовані екскременти тварин відрізняються від, наприклад, біовугілля рослинного походження тим, що вони часто більш лужні та багаті фосфором та золою. Вміст золи часто перевищує 50%, що є граничним значенням для використання терміна біовугілля відповідно до Європейського сертифікату біовуглецю. Розчинність фосфору в піролізованих екскрементах тварин виявляється нижчою, ніж у сирих екскрементах. Тому наявність фосфору в різних піролізованих добривах потребує оцінки, особливо в довгостроковій перспективі. Азот у піролізованих екскрементах, як правило, знаходиться у важкодоступній формі. Найбільш підходяща технологія внесення для піролізованих екскрементів тварин та можливі потреби в їх остаточній переробці вимагають подальших досліджень та розробок (наприклад, пелетизації або гранулювання). В даний час на піролізовані екскременти тварин не поширюється новий регламент ЄС щодо продуктів добрив (EU/2019/1009).

Таблиця 9. Технології піролізу екскрементів тварин.

	Повільний піроліз	Швидкий піроліз
Опис	Швидкість нагрівання 1–100 °C/с і діапазон температур 350–700 °C.	Швидкість нагрівання > 1000 °C/с і діапазон температур 450–550 °C.
Загальний опис	Підходить для відносно сухих матеріалів; в іншому випадку необхідне попереднє сушіння. Максимізує вихід вуглецевої фракції.	Підходить для відносно сухих матеріалів; в іншому випадку необхідне попереднє сушіння. Максимізує вихід рідкої фракції.
Ефективність перетворення	Він виробляє 15–40% фракції вуглецю, 20–55% рідини і 20–60% газу з вихідної маси сировини.	Він виробляє 10–30% вуглецевої фракції, 50–70% рідини та 5–15% газу із вихідної маси сировини.
Споживання електроенергії	Енергія, необхідна для попереднього сушіння та для підвищення та підтримки температури піролізу. Енергія від виробленого газу може бути використана, але не завжди вона є достатньою.	
Реагенти	Матеріали, крім біомаси, можуть бути додані для каталізу процесу або зміни пропорцій різних продуктів.	
Тривалість процесу	Час ретенції біомаси	Час ретенції <1 хв.
Неприємний запах	Вуглецева фракція більш-менш без запаху.	
Інвестиційні витрати	Дані відсутні	

Наслідки для навколишнього середовища

Для підвищення стабільності піролізу, слід відновлювати азот та використовувати рідку фракцію. Продовжуються дослідження можливих застосувань рідкої фракції. Енергія піролізних газів і рідин також може бути використана на піролізній установці для попереднього висушування вхідного матеріалу або для нагрівання реактора піролізу. Підсумовуючи, слід зазначити, що користі від піролізу екскрементів тварин повинні бути зіставлені з викидами, викликаними піролізом.

Через зменшення маси та обсягу первинної біомаси транспортування та зберігання піролітичних екскрементів стають більш економічними. Пов'язані з забруднювачами нелеткі стійкі забруднюючі речовини, такі як мікроелементи, концентруються в вуглецевій фракції, в той час як патогени знищуються. Піроліз із суворими часовими та температурними профілями, як правило, більш ефективний для органічних забруднювачів, хоча деякі з них, як правило, є більш стійкими. Можуть утворюватися органічні забруднювачі, такі як поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), діоксини і фурани (PCDD/F) і діоксиноподібні поліхлоровані біфеніли (dl-PCB), хоча їх рівні можуть бути обмежені під час процесу піролізу.

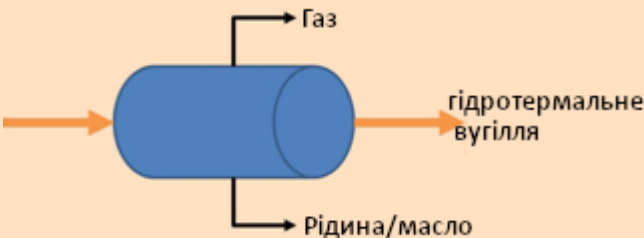
Приклади

В даний час індустрія піролізу складається з підприємств з відносно невеликими обсягами. В даний час ринки в Європі відносно невеликі і виробництво зосереджене на рослинних матеріалах з низьким вмістом фосфору. Наприклад, компанії, що працюють у Німеччині, такі як Pyreg GmbH, Terra Preta e.K., Carbon Terra SPRL та Swiss Biochar GmbH.

Бібліографія

- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. & Ro, K. S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* 107: 419-428.
- Cely, P., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J. & Méndez, A. 2015. Agronomic properties of biochars from different manure wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 111: 173-182.
- EBC 2012. 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>. Version 8.2E of 19th April 2019.
- Hoffman, T. C., Zitomer, D.H. & McNamara, P.J. 2016. Pyrolysis of wastewater biosolids significantly reduces estrogenicity. *Journal of Hazardous Materials* 317: 579-584.
- Hübner, T. & Mumme, J. 2015. Integration of pyrolysis and anaerobic digestion – Use of aqueous liquor from digestate pyrolysis for biogas production. *Bioresource Technology* 183: 86-92.
- Huygens, D., Saveyn, H., Tonini, D., Eder, P. & Delgado Sancho, L. 2019. Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009) , EUR 29841 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1 (online), 978-92-76-09887-4 (print), doi:10.2760/186684 (online), 10.2760/551387 (print), JRC117856.
- Keskinen, R., Hyvälouma, J., Sohlo, L., Help, H. & Rasa, K. 2019. Fertilizer and soil conditioner value of broiler manure biochars. *Biochar* 1: 259-270.
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R. & Rasa, K. 2020. Granulated broiler manure based organic fertilizer product as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation* 18: 100734.
- Kim, J. H., Ok, Y. S., Choi, G-H. & Park, B-J. 2015. Residual perfluorochemicals in the biochar from sewage sludge. Technical note. *Chemosphere* 134: 435-437.
- Rasi, S., Kilpeläinen, P., Rasa, K., Korpinen, R., Raitanen, J-E., Vainio, M., Kitunen, V., Pulkkinen, H. & Jyske, T. 2019. Cascade processing of softwood bark with hot water extraction, pyrolysis and anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 292: 121893.
- Ross, J.J., Zitomer, D.H., Miller, T.R., Weirich, C.A. & McNamara, P.J. 2016. Emerging investigators series: pyrolysis removes common microconstituents triclocarban, triclosan, and nonylphenol from biosolids. *Environmental Science Water Research & Technology* 2: 282-289.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D. & Nichols, K. A. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality* 41: 973– 989.
- Wang, T., Camps Arbestain, M., Hedley, M. & Bishop, P. 2012. Chemical and bioassay characterization of nitrogen availability in biochar produced from dairy manure and biosolids. *Organic Geochemistry* 51: 45-54.

4.5.4. Гідротермальна карбонізація (НТС)

Мета	Виробництво гігієнізованого, збагаченого вугіллям кінцевого продукту і зменшення обсягу екскрементів тварин з рідкого добрива без необхідності попереднього сушіння.
Сировина	Рідке добриво, напівтверді екскременти тварин
Вихідні продукти	Гідротермальне вугілля і піролітичні гази і рідини. Без зневоднення вміст води в гідротермальному вугіллі (10–40%) набагато вищий, ніж у піролізованому вугіллі (0–5%).
Рівень складності	Від середнього до високого.
Етап інновацій	Поточні дослідження щодо екскрементів тварин та рідкого гною НТС.
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	Місцевий рівень (регіональний рівень у разі досушування)

При гідротермічному карбонізації (НТС) перероблена біомаса може мати нижчий загальний вміст твердих речовин порівняно з піролізом, оскільки вода використовується як реакційне середовище. При температурі 125–350 °С і швидкості нагрівання 5–10 °С / хв вода перебуває в субкритичних умовах і діє як м'яка кислота та основа. У НТС використовується тиск від 0,5 до 20 МПа, щоб уникнути випаровування води. В якості окислювача можна додати O_2 або H_2O_2 . Кінцевими продуктами є газоподібні, рідкі та тверді фракції, що містять вуглець (гідротермальний вуглець), характеристики та розподіл яких залежать від умов переробки (температури та тиску). Все ще дуже мало інформації про інвестиційні та експлуатаційні витрати, пов'язані з НТС екскрементів тварин, оскільки перші промислові переробні підприємства, що переробляють екскременти тварин з іншими біомасами, наприклад, опадами стічних вод, тільки почали свою діяльність.

Кінцеві продукти в якості добрив

З вихідної маси сировини НТС, 5–40% - перетворюється в тверду фракцію, 20–40% - в рідку фракцію і 2–10% - в газову фракцію. Як і у випадку піролізу, умови процесу, такі як температура, тиск, час ретенції та співвідношення води до біомаси, впливають на характеристики кінцевих продуктів. Як правило, гідротермальні вугілля мають нижчий вміст вуглецю та золи та дещо нижчий рН порівняно з біовуглецями. Більша частина фосфору з екскрементів тварин надходить у гідротермальний вуглець у вигляді обложених фосфатних солей, тоді як азот надходить у водний розчин. Розчинність фосфору в гідротермальному вуглецю на основі екскрементів тварин може варіюватися в залежності від температури процесу. Проте, було відзначено зниження розчинності фосфору в бичачих екскрементах, отриманих в процесі НТС. Знання про доступність фосфору для рослин у гідротермальному вугіллі на основі екскрементів тварин поки що обмежені.

Гідротермальний вуглець все ще вимагає кінцевої переробки (наприклад, термічного сушіння), щоб його можна було транспортувати на великі відстані. Як і у випадку з піролізованими екскрементами, слід оцінити найбільш підходящу технологію внесення, а також можливі потреби після кінцевої переробки. У доступі дуже мало інформації про сільськогосподарське використання гідротермального вуглецю на основі екскрементів тварин. В даний час гідротермальні вугілля не підпадають під новий регламент ЄС щодо продуктів добрив (EU/2019/1009).

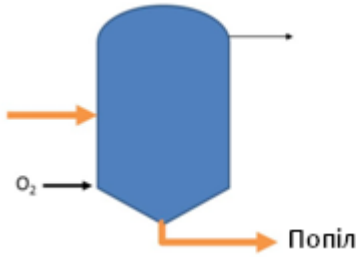
Наслідки для навколишнього середовища

В цілому, процес HTC має потенціал для деградації органічних забруднювачів, хоча HTC при низьких температурах може мати більш низькі параметри видалення забруднювачів, ніж піроліз та більш важкі умови. Хлоровані вуглеводні ароматичного ряду виявляються стійкими до обробки HTC. Мікроелементи можуть накопичуватися в гідротермальному вуглеці.

Бібліографія

- Agrotechnology Atlas. <http://agro-technology-atlas.eu/>
- Dai, L., Tan, F., Wu, B., He, M., Wang, W., Tang, X., Hu, Q. & Zhang, M. 2015. Immobilization of phosphorus in cow manure during hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Management* 157: 49-53.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M., 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., Álvarez, M.L., Saa, A. & Méndez, A. 2018. Biochars and hydrochars prepared by pyrolysis and hydrothermal carbonization of pig manure. *Waste Management* 79: 395-403.
- Heilmann, S.M., Molde, J.S., Timler, J.G., Wood, B.M., Mikula, A.L., Vozhdayev, G.V., Colosky, E.C., Spokas, K.A. & Valentas, K.J. 2014. Phosphorus reclamation through hydrothermal carbonization of animal manures. *Environmental Science & Technology* 48: 10323-10329.
- Huygens, D., Saveyn, H., Tonini, D., Eder, P. & Delgado Sancho, L. 2019. Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009), EUR 29841 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-09888-1 (online), 978-92-76-09887-4 (print), doi:10.2760/186684 (online), 10.2760/551387 (print), JRC117856.
- Kambo, H.S. & Dutta, A. 2015. A comparative review of biochar and hydrochar in terms of production, physico-chemical properties and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45: 359-378.
- Libra, J.A., Ro, K.S., Kammann, C., Funke, A., Berge, N.D., Neubauer, Y., Titirici, M.-M., Fühner, C., Bens, O., Kern, J. & Emmerich, K.-H. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels* 2: 89-124.
- Song, C., Shan, S., Müller, K., Wu, S., Niazi, N.K., Xu, S., Shen, Y., Rinklebe, J., Liu, D. & Wang, H. 2018. Characterization of pig manure-derived hydrochars for their potential application as fertilizer. *Environmental Science Pollution Resources* 25: 25772-25779.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D. & Nichols, K. A. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality* 41: 973– 989.
- Weiner, B., Baskyr, I., Poerschmann, J. & Kopinke, F.-D. 2013. Potential of the hydrothermal carbonization process for degradation of organic pollutants. *Chemosphere* 92: 674-680.
- Zhang, Z., Zhu, Z., Shen, B. & Liu, L. 2019. Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. *Energy* 171: 581-598.

4.5.5. Спалювання/спопеляння

Мета	Виробництво енергії. Ефективне зниження ваги порції матеріалу.
Сировина	Тверді екскременти тварин, тверді фракції, висушені екскременти тварин
Вихідні продукти	Зола, тепло
Масштаб	Повний (масштабований)
Рівень складності	Складний
Етап інновацій	Зріла технологія переробки муніципальних відходів і осаду стічних вод. Використовується для переробки твердих екскрементів тварин.
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

Під час згоряння біомаса окислюється у присутності кисню для отримання енергії та значного зменшення маси перероблюваної біомаси. Температура горіння зазвичай перевищує 900 ° C. Вироблену теплову енергію можна перетворити в електроенергію за допомогою парогенератора та турбіни. Сировина повинна бути відносно сухою (тверді речовини > 70%) для досягнення достатньої енергоефективності, тому зазвичай необхідна попередня обробка термічним сушінням. Доступні декілька технологій згоряння, в т.ч. решітка-гриль та обертовий барабан реакторів з киплячим шаром. У всіх сміттєспалювальних заводах повинно застосовуватися ефективно очищення вихлопних газів. Існує кілька технологій для вилучення фосфору з золи при спалюванні. Ці технології поки що використовуються для екскрементів тварин, але з золами від спалювання осаду стічних вод.

Ця технологія найбільш підходить для масштабної централізованої переробки. Заявлені витрати на обладнання електростанції для спалювання екскрементів, отриманих від птиці, склали € 6,27 млн для електростанцій потужністю 21,5 МВт 2 тонн/год і € 20,7 млн для електростанцій потужністю 6 МВт 6 тонн/год.

Кінцеві продукти в якості добрив

При спалюванні досягається зниження маси більш ніж на 70%, а кінцевий продукт має вміст твердих речовин >80%. Під час процесу азот повністю випаровується, але фосфор залишається в золі (50-110 г P/kg). Більш висока енергоефективність досягається з сухою сировиною, але також можуть використовуватися матеріали з більш високим вмістом води. Розчинність фосфору зменшується, зменшуючи тим самим придатність золи як добрива, тому її не рекомендують використовувати як вихідне фосфорне добриво. Зола може використовуватися як така при удобренні або бути перероблена в пелет або гранули. Продукт слід зберігати в сухих умовах, щоб запобігти впливу вологи на якість золи.

Наслідки для навколишнього середовища

Існує ризик викидів вихлопних газів. При спалюванні азот в основному перетворюється в N₂, але для забезпечення його відновлення необхідно використовувати наступні етапи відновлення азоту.

Згорання не зменшує концентрації нелетких мікроелементів, а збільшує їх у порівнянні з

втратою маси субстрату. Зола, що залишилася, швидше за все, вимагає подальшої переробки. Усуваються антибіотики та більшість інших органічних забруднювачів. Передбачається, що термічна обробка органічних матеріалів при високих температурах (850–950 °C) значною мірою руйнує органічні забруднювачі. Через важкі умови процесу патогени знищуються.

Приклад: Fortum Horse Power, Фінляндія

Скандинавська енергетична компанія Fortum розробила концепцію використання та управління кінськими екскрементами шляхом спільного спалювання. Fortum пропонує послуги з управління підстилкою та екскрементами зі стайні у Фінляндії та Швеції (на момент написання цієї статті загалом 4300 коней у 260 стайнях). Підстилка складається з бічних фракцій деревообробної промисловості, які доставляються в стайні. Екскременти разом з використаною підстилкою транспортується зі стайні на теплоелектростанцію Fortum для виробництва електроенергії і тепла. Концепція почалася як пілотний проект в Ярвенпяї, Фінляндія, але з тих пір поширилася на інші заводи спільного спалювання Fortum по всій Фінляндії. За розрахунками Fortum, кінські екскременти мають енергетичну цінність близько 0,6 МВт-год / м³, а два коні виробляють екскременти, енергії яких достатньо для обігріву одного сімейного будинку протягом року в скандинавських умовах.

Бібліографія

- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of the Total Environment* 607–608: 225–242.
- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M., 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Kuligowski, K., Poulsen, T.G., Rubæk, G.H. & Sørensen, P. 2010. Plant-availability to barley of phosphorus in ash from thermally treated animal manure in comparison to other manure based materials and commercial fertilizer. *European Journal of Agronomy* 33: 293–303.
- Lindberg D., Molin C. & Hupa M. 2015. Thermal treatment of solid residues from WtE units: A review. *Waste Management* 37: 82–94.
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A., zu Castell-Rüdenhausen, M. 2019. Towards a breakthrough in nutrient recycling. Natural resources and bioeconomy studies. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-578-3>
- Wiechmann B, Dienemann C, Kabbe C, Brandt S, Vogel I, та ін. 2013. Sewage sludge management in Germany, Umweltbundesamt (UBA), Germany. Download from: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/sewage_sludge_management_in_germany.pdf.

4.5.6. Газифікація

Мета	Виробництво синтез-газу шляхом часткового окислення.
Сировина	Тверді екскременти тварин, тверді фракції, висушені екскременти тварин
Вихідні продукти	Зола, газ, рідина
Масштаб	Повний (масштабований)
Рівень складності	Складний
Етап інновацій	Зріла технологія переробки муніципальних відходів і осаду стічних вод. Початки з екскрементами тварин.
Загальна схема	 Синтезований газ Попіл
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

Газифікація - це термічний процес, який перетворює біомасу на окис вуглецю, діоксид вуглецю та метан, тобто синтез-газ, за умов низького вмісту кисню. Температура процесу висока, > 700 ° C. Для забезпечення часткового окислення в камеру згоряння вводять кисень, повітря або пару. У сировині необхідний високий вміст твердих речовин (тверді речовини > 70%). Склад сировини впливає на умови процесу, тому якість сировини повинна бути постійною.

Для обробки екскрементів птиці на заводі, що проводить газифікацію потужністю 100 тонн/добу, вартість інвестицій складе 2,7 млн €, обладнання обійдеться в 900 000 €, а експлуатаційні витрати - 1,76 млн €.

Кінцеві продукти в якості добрив

Вироблена зола має дуже низьку вагу в порівнянні з вихідною порцією матеріалу екскрементів тварин. Фосфор із екскрементів утримується в золі, а азот випаровується, якщо він не виділяється на наступній стадії сушіння. Зола є фосфорним добривом, але газифікація зменшує розчинність фосфору і тим самим зменшує його цінність як добрива. Зола можна використовувати як таку під час удобрення або переробити на пелет або гранули. Продукт слід зберігати в сухих умовах, щоб волога не впливала на якість золи.

Наслідки для навколишнього середовища

Ризик викидів від газифікації менший порівняно з традиційним спалюванням. При газифікації існує ризик утворення сполук WWA.

Необхідно враховувати управління і відновлення азоту в ланцюзі переробки.

Процес ефективно дезінфікує екскременти тварин і видаляє шкідливі органічні сполуки, але може концентрувати мікроелементи в золі.

Приклад: Agro America, Нідерланди

Agro America в Нідерландах розробила переробку свинарських екскрементів, щоб зменшити його регіональний надлишок. Першим кроком у технологічному ланцюжку є поділ гною на тверду і рідку фракцію. Фосфор отримують із твердої фракції шляхом газифікації. Багатий фосфатом, твердий, обвуглений матеріал можна використовувати в якості добавки до ґрунту в районах, де фосфати дійсно необхідні. Крім того, процес також включає очищення рідкої фракції мембранами і випаровування для очищення води і вилучення азоту і калію.

Фотографія: www.rvomagazines.nl/miavamil/2017/01/taj-willems-agro-america-bv

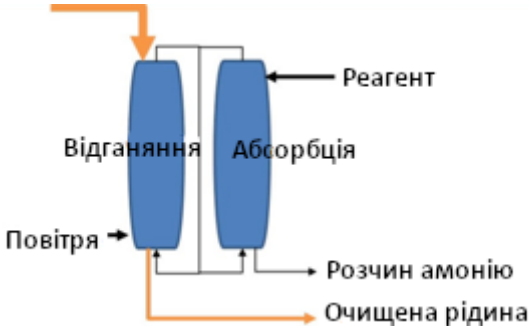


Бібліографія

- Flotats, X., Foged, H.L., Bonmati Blasi, A., Palatsi, J., Magri, A. & Schelde, K.M. 2011. Manure processing technologies. Technical Report No. II concerning "Manure Processing Activities in Europe" to the European Commission, Directorate-General Environment. 184 pp. Available at http://agro-technology-atlas.eu/docs/21010_technical_report_II_manure_processing_technologies.pdf
- Marttinen, S., Venelampi, O., Iho, A., Koikkalainen, K., Lehtonen, E., Luostarinen, S., Rasa, K., Sarvi, M., Tampio, E., Turtola, E., Ylivainio, K., Grönroos, J., Kauppila, J., Valve, H., Laine-Ylijoki, J., Lantto, R., Oasmaa, A. & zu Castell-Rüdenhausen, M. 2019. Towards a breakthrough in nutrient recycling. Natural resources and bioeconomy studies. Natural Resources Institute Finland (Luke), Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-578-3>

4.6. Технології відновлення поживних речовин для рідких фракцій

4.6.1. Відганяння аміаку

Мета	Відновлення амонійного азоту у вигляді аміаку з рідких фракцій та отримання неорганічних добрив
Сировина	Рідка фракція (дигестат, повітря)
Вихідні продукти	Наприклад сульфат амонію, очищена рідина/стічні води
Масштаб	Повний
Рівень складності	Складний
Етап інновацій	Зріла технологія очищення стічних вод, деякі повномасштабні процеси, пов'язані з очищенням екскрементів тварин
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На рівні ферми і регіону

При відганяння аміаку амонійний азот очищається до газоподібного аміаку, продуваючи повітря крізь потік рідини в ректифікаційній колоні. Летючість аміаку збільшується за рахунок підвищення температури (до 80°C) і pH (до 10). Газоподібний аміак потім поглинається кислотним розчином в скрубєрі для отримання багатого амонієм кінцевого продукту. Зазвичай використовуваними кислотними реагентами є сірчана кислота, що утворює сульфат амонію, але також азотну кислоту можна використовувати для виробництва нітрату амонію. Іншим методом відганяння аміаку є використання більш високих температур для отримання пари. У цьому процесі аміак безпосередньо конденсується разом з водяною парою для отримання аміачної води, і колонка скрубєра не потрібна. Відганяння аміаку також може бути використано для зменшення концентрації аміаку в дигестаті біогазової установки та для уловлювання аміаку з господарських будівель.

Тепло, необхідне для процесу відганяння, потенційно може бути витягнуте з надлишку тепла в біогазовій установці, а падіння pH також може бути досягнуто попередньою обробкою відганяння CO₂ для зниження необхідної буферної ємності. Ректифікаційні колони зазвичай наповнені наповнювачем для забезпечення достатнього масообміну між газом і рідиною.

Щоб забезпечити роботу ректифікаційної колони, оброблена рідка фракція не повинна містити твердих речовин, щоб запобігти засміченню ректифікаційної колони з наповненням. Для очищення ректифікаційної колони потрібні хімічні речовини та робоча сила.

Таблиця 10. Технології відганяння аміаку в рідких фракціях на основі екскрементів тварин

	Відганяння повітрям	Відганяння парою/опарами
Опис	Використання повітря для відганяння аміаку з рідини при температурі 40–80°C. Використання скрубера для відновлення аміаку, наприклад у вигляді сульфату амонію.	Використання пари повітря (> 100 °C) для видалення аміаку з рідини. Аміак відновлюється з конденсатом пари у вигляді аміачної води.
Ефективність перетворення	70–99 % $\text{NH}_4\text{-N}$ у продукті	
Споживання електроенергії	Менше споживання енергії в порівнянні з відганянням парою/опарами.	Більша потреба в теплі завдяки більш високій температурі процесу в порівнянні з відганянням повітрям
	Потужність: 2–10 кВт-год/м ³ порції матеріалу Тепло: 45-100 кВт-год/м ³ порції матеріалу	
Реагенти	Використання реагентів для зниження рН та промивання аміаком. Підвищена потреба в зниженні рН порівняно з відганянням парою/опарами.	Реагент для зниження рН. Миючі реактиви не використовуються.
	95-97% сірчаної кислоти 7-10 кг/м ³ та NaOH 6-6,5 кг/м ³ (для рідкої фракції дигестату).	
Тривалість процесу	Партіями / Безперервно	Партіями / Безперервно
Контроль процесу	Обидві технології вимагають активного контролю та обслуговування.	
Інвестиційні витрати	750 000 € за систему, що підтримує 100 м ³ /д дигестату.	-
Загальна вартість	5,44–8 €/м ³	-
Робоча сила	Необхідність регулярного обслуговування і очищення. Ректифікаційні колони схильні до забруднення через частинки в потоці рідини, що відганяється.	
Площа	Можлива ректифікаційна колона для видалення CO ₂ + ректифікаційна колона для видалення аміаку + скрубер аміаку.	Менша потреба в просторі, оскільки не потрібна колона скрубера.

Витрати, оцінені на основі Bolzonella та ін. 2012 та Vaneeckhaute та ін. 2017.

Кінцеві продукти в якості добрив

Кінцеві продукти з відганяння аміаку залежать від використовуваного промивного розчину. Якщо використовується вода, утворюється м'який розчин амонію. Сірчана кислота утворює рідке добриво на основі сульфату амонію з вмістом близько 2-11% азоту. При промиванні азотною кислотою утворюється розчин нітрату амонію, що містить 13-20% азоту. Через загрозу безпеці при поводженні з нітратом амонію азотна кислота зазвичай не використовується в якості реагенту для полоскання.

І сульфат амонію, і аміачна селітра можуть застосовуватися при удобренні як мінеральні добрива. Весь азот у них мінералізований, а фосфор і калій відсутні. Використання азотної кислоти збільшує вміст азоту в кінцевому продукті, тоді як сірчана кислота додає сірку, яка також може служити

мікроелементом Низький рН сульфату амонію може призвести до корозії обладнання для розливу, а також негативно впливає на сільгоспкультури, однак зменшує випаровування аміаку під час зберігання та внесення. Зберігання та внесення аміачно-водного розчину вимагає заходів щодо запобігання випаровуванню аміаку. Зберігання цих добрив вимагає безпечного поводження з ними.

Вторинним продуктом відганання аміаку є розведений стік без органічного азоту, фосфору та калію, Ця рідина може використовуватися місцево для удобрення або може бути перероблена в подальшому.

Наслідки для навколишнього середовища

Відганання аміаку створює ризик випаровування та вивільнення аміаку під час переробки та обслуговування системи. Залежно від кінцевих продуктів існує також ризик викидів аміаку при зберіганні і внесенні (в основному аміачна вода).

Бібліографія

- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of Environmental Management* 216: 111-119.
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. IEA Bioenergy. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf
- Sigurnjak, I., Brienza, C., Snauwaert, E., De Dobbelaere, A., De Mey, J., Vaneechaute, C., Michels, E., Schoumans, O., Adani, F. & Meers, E. 2019. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-)scrubbing technology. *Waste Management* 89: 265-274.
- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Application, upgrading and marketing. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Vaneeckhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Nutrient recovery from digestate: systematic technology review and product classification. *Waste Biomass Valorization* 8: 21-40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B., 2015. Ammonium fertilizers production from manure: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 45: 1469-1521.

4.6.2. Мембранний поділ

Мета	Видалення води і концентрація поживних речовин.
Сировина	Рідкі фракції
Вихідні продукти	Концентрат, фільтрат
Масштаб	Масштабовний
Рівень складності	Помірний
Етап інновацій	Використовується в очищенні стічних вод, тільки кілька повномасштабних рішень в обробці екскрементів тварин.
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

При мембранному поділі з контролем тиску рідина пропускається через мембрану, де поділ базується на розмірі пір та застосованому тиску або гнучкості мембрани та швидкості дифузії. Частинки, утримувані мембраною, утворюють концентрат, в той час як вода і іони, що проходять через мембрану, утворюють фільтрат. Мембрани бувають або полімерними, або керамічними, а також відомо, що керамічні мембрани також витримують агресивне хімічне очищення. Мембрани можуть бути виготовлені з капілярних, пластинчастих, трубчастих і спіральних модулів.

Мембранні технології діляться на чотири категорії залежно від розміру пір. Особливо мікрофільтрація (MF), а також ультрафільтрація (UF) в основному використовуються як попередня обробка для видалення твердих речовин з потоку рідини. Ефективне відновлення поживних речовин можливе завдяки нанофільтрації (NF) та зворотному осмосу (RO). RO здатний відновлювати азотний амоній, а відновленню може сприяти зниження pH. При мембранній фільтрації збільшення тиску збільшує ефективність розділення. У міру підвищення температури потік очищеної води збільшується, що призводить до зменшення розмірів переробного заводу. Однак підвищення температури також може призвести до втрати аміаку.

Мембрани зазвичай встановлені шарами, в т.ч. NF + RO, де RO може мати кілька шарів. Попередня обробка вхідної рідкої фракції необхідна, оскільки UF, NF і RO дуже чутливі до твердих речовин. Тверді частинки викликають засмічення та забруднення мембран і збільшують споживання води, енергії та хімічних речовин.

Кінцеві продукти в якості добрив

Вироблені концентрати є рідкими і мають вміст твердих речовин до 15%. Концентрації азоту в них можуть бути відносно високими (2-20 г N/кг), в залежності від характеристик рідкої сировини і етапів, що передують процесу, проте вміст фосфору зазвичай нижче (до 1 г P/кг) через позбавлення від фосфору під час попереднього процесу розпаду на тверді речовини і рідину. Зберігання цих матеріалів повинно проводитися в герметичних контейнерах для запобігання викидів аміаку. Мембрани навіть здатні видаляти віруси з струменя води, але зазвичай призначені для відновлення поживних речовин. У продукті можуть накопичуватися інші шкідливі сполуки і солі.

Вторинний продукт, фільтрат, має дуже низькі концентрації поживних речовин і зазвичай не має ніякої цінності в якості добрива. Фільтрат, як правило, використовується як технологічна вода, необхідна на переробному заводі або обробляється, серед іншого при зворотному осмосі для отримання чистої води, що скидається в навколишнє середовище.

Таблиця 11. Технології мембранного поділу екскрементів тварин.

	Мікрофільтрація	Ультрафільтрація	Нанофільтрація	Зворотний осмос
Опис	Розмір пір 0,05-10 мкм для утримання частинок, зважених твердих речовин і бактерій. Тиск 0,1–2 бар. Використовується для попередньої обробки для видалення твердих речовин та органічних речовин.	Розмір пір 0,01–0,05 мкм для утримання суспензій твердих речовин, колоїдів, масляних емульсій, ферментів та вірусів. Тиск 1-5 бар.	Розмір пір 0,001–0,01 мкм для утримання колоїдів, ферментів, тензидів, іонів металів та розчинених солей. Тиск 5-20 бар.	Розмір пір 0,0005–0,005 мкм для утримання іонів металів та розчинених солей (наприклад, NH4). Тиск 10-100 бар.
Ефективність перетворення	Ефективний поділ твердих речовин.	-	-	90–100% твердих речовин, 96–100% N, 70–95% P
Споживання електроенергії		Від 0,2–1 до 8,8 кВт-год/м³	0.7-2 кВт-год/м³	1.5-10 кВт-год/м³
Реагенти	Так, для очищення (кислоти, луги)		Так, для очищення (кислоти, луги) та контролю рН. Відновлення аміаку посилюється зниженням рН.	
Тривалість процесу	Безперервний, можна застосувати кілька етапів.			
Контроль процесу	Він потребує менше очищення, ніж NF та RO.		Потребує технічного обслуговування та очищення.	
Інвестиційні витрати	Більше 1 млн € за систему UF + RO з продуктивністю м3/добу.			
Експлуатаційні витрати	1-13 €/м³			

Витрати, оцінені на основі Bolzonella та ін. 2012, Vaneekhaute та ін. 2017 та <http://agro-technology-atlas.eu/>

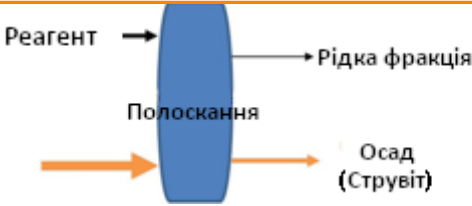
Наслідки для навколишнього середовища

Відсутність технологічних викидів. Необхідно визначити обробку і управління фільтратом.

Бібліографія

- Bolzonella, D., Fatone, F., Gottardo, M. & Frison, N. 2018. Nutrients recovery from anaerobic digestate of agro-waste: Techno-economic assessment of full scale applications. *Journal of Environmental Management* 216: 111-119.
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. *IEA Bioenergy*. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf
- Vaneekhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Nutrient recovery from digestate: systematic technology review and product classification *Waste Biomass Valorization* 8: 21-40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B., 2015. Ammonium fertilizers production from manure: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology* 45: 1469-1521. Mehta, C.M., Khunjar, W.O., Nguyen, V., Tait, S. & Batstone, D.J., 2015. Technologies to recover nutrients from waste streams: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology* 45: 385-427.

4.6.3. Преципітація струвіту

Мета	Відновлення фосфору та амонійного азоту у вигляді твердих добрив (фосфат амонію-магнію)
Сировина	Рідке добриво, дигестат, рідка фракція
Вихідні продукти	Струвіт, стік
Масштаб	Повний (зазвичай лише в промислових масштабах)
Рівень складності	Помірний
Етап інновацій	Зріла технологія очищення стічних вод, кілька повномасштабних процесів очищення екскрементів тварин.
Загальна схема	
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

Преципітація та кристалізація струвіту (фосфату амонію-магнію) з рідкої фракції або рідкого добрива на основі гною тварин може відбуватися у збуджених резервуарах або реакторах з киплячим шаром. РН під час процесу підтримують у межах 8,3-10 за допомогою NaOH. У деяких випадках додають магній і навіть фосфор, щоб підтримувати співвідношення поживних речовин 1,3: 1: 0,9 для Mg: N: P, коли присутній надлишок аміаку. Преципітація кристалів струвіту може бути безперервною на дні реактора або його можна преципітати за допомогою центрифуги в реакторі. Струвітний осад може видалити 80-90% розчинного фосфору з обробленої рідкої фракції і 10-40% $\text{NH}_4\text{-N}$. При преципітації струвіта з екскрементів тварин може бути важко отримати відповідний розмір кристалів для поділу. Споживання електроенергії з осаду струвіту оцінювалося в 0,8 кВт-год/м³ порції матріалу.

Інший варіант - осадження фосфору у формі інших кристалів, таких як струвіт калію або фосфати кальцію: гідроксиапатит або брусит. Існує потреба у відганянні CO_2 , щоб уникнути утворення та осадження карбонату кальцію. Ефективність видалення фосфору при виробництві фосфату кальцію може досягати 100%, але частіше це відбувається на рівні 50–60%. Преципітація кальцію або інших фосфатів також може бути небажаним явищем під час осадження струвітів.

При преципітації поживних речовин були відзначені проблеми з використанням хімічних речовин і підтриманням стабільного процесу і стабільної якості продукту. Процес дуже специфічний для даної місцевості через різні властивості вхідних рідин. Неадекватні дози поживних речовин можуть вплинути на преципітацію струвіта і знизити ефективність процесу. Високі витрати пов'язані з споживанням хімічних речовин (Mg, NaOH) та початковими інвестиціями. Установка для виробництва струвіта на очисних спорудах може коштувати € 1,4 млн, а експлуатаційні витрати - €0,2-0,3 / м³ дигестату. Для пілотної установки з переробки екскрементів тварин кошторисна вартість реактора для кристалізації була визначена на рівні 4,85–7,25 €/м³ (спрощений реактор 2,41-3,62 €/м³).

Кінцеві продукти в якості добрив

Струвіт є добрим добривом з вищим вмістом $\text{NH}_4\text{-N}$ і P, ніж у екскрементах тварин та рідких добривах (тверді речовини 60–100%, P 60–130 г/кг, N 30–60 г/кг), що також забезпечує мікроелементи Mg. Його компактна кристалічна форма дозволяє зберігати та вносити його подібно до мінеральних добрив. Розмір частинок кінцевого продукту може становити 0,5-5 мм залежно від конструкції процесу та бажаного кінцевого використання.

Струвіт повільно виділяє як азот, так і фосфор. За оцінками, доступність фосфору для сільгоспкультури порівнянна з доступністю суперфосфату.

Залишок рідини розбавляється і може містити органічний та розчинний азот, фосфор та калій, і його управління та переробка повинні бути враховані при плануванні преципітації струвиту з рідких фракцій на основі екскрементів тварин.

Наслідки для навколишнього середовища

Викидів від реакторів немає, але існує ризик випаровування аміаку при підвищеному рН.

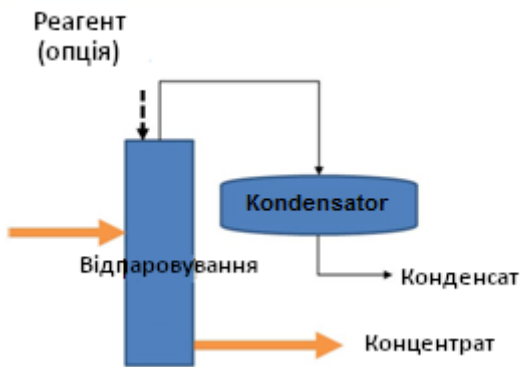
Преципітований після зневоднення струвіт має низьку концентрацію мікроелементів. Повідомлялося також про низькі концентрації антибіотиків. Як правило, забруднення струвіта органічними забруднювачами є низьким, так як більше 98% з них залишаються в розчині під час оптимізації процесу.

Як і при відганянні, органічні забруднювачі та інші шкідливі сполуки хімічно не зв'язуються з основною поживною речовиною (струвітом), але залишаються в потоці викидів. Залежно від попередніх етапів переробки, утворені кристали струвіту також можуть потребувати гігієнізації.

Бібліографія

- Bloem, E. & Lehmann, L. 2016. Report on contamination of P-rich waste materials with organic xenobiotics. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Dostęp: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Application, upgrading and marketing. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. IEA Bioenergy. http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf
- Ronteltap M., Maurer M. & Gujer W. 2007. The behavior of pharmaceuticals and heavy metals during struvite precipitation in urine. *Water Research* 41: 1859-1868.
- Sarvi, M., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2017. Report on compliance of recycled product with present EU fertilizer regulations. BONUS PROMISE deliverable 3.3. 11p
- Vaneeckhaute, C., Lebuf, V., Michels, E., Belia, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2017. Nutrient recovery from digestate: systematic technology review and product classification *Waste Biomass Valorization* 8: 21-40.
- Zarebska, A., Nieto, D.R., Christensen, K.V., Sørensen, L.F. & Norddahl, B. 2015. Ammonium fertilizers production from manure: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology* 45: 1469-1521.
- Mehta, C.M., Khunjar, W.O., Nguyen, V., Tait, S. & Batstone, D.J. 2015. Technologies to recover nutrients from waste streams: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology* 45: 385-427.

4.6.4. Вакуумне випаровування

Мета	Видалення води та концентрація поживних речовин у концентраті.
Сировина	Рідка фракція
Вихідні продукти	Концентрат, (конденсат/стік)
Масштаб	Промисловий (масштабований)
Рівень складності	Складний
Етап інновацій	Зрілий
	
Внесок у переробку поживних речовин	На регіональному рівні

При вакуумному випаровуванні рідка фракція концентрується під від'ємним тиском у закритій посудині, утворюючи багатий поживними речовинами концентрат, який також містить усі тверді речовини, що залишились у рідині. Перероблена рідина розсіюється на внутрішній поверхні випарника, який нагрівається. Вакуумні умови знижують температуру кипіння води до 40-75 °C.

Вміст твердих тіл в концентраті становить близько 15%. Конденсат отримують після конденсації випарованої водяної пари. Якщо pH рідкої фракції не знижується до вакуумного випаровування, аміак випаровується і відновлюється в конденсаті. Вакуумне випаровування зазвичай поєднують з аміачним скруббером для відновлення аміаку сірчаною кислотою. При зниженні pH (зазвичай до рівня 4,5 сірчаної кислоти) в концентраті також відновлюється аміак разом з фосфором і калієм.

Потреба в енергії одноетапного вакуумного процесу становить 10–13 кВт-год/м³ потужності для обробленого матеріалу та 600–1000 кВт-год/м³ для випаровування H₂O. Однак, щоб переробити тепло і зменшити споживання енергії, випаровування зазвичай проводиться послідовно в декількох блоках, наприклад, у 4-х етапному процесі, потреба в потужності становить 5 кВт-год/м³, а потреба в теплі становить лише 250-350 кВт-год/м³ для випаровування H₂O. Через відносно високу потребу в енергії, зокрема, велику витрату тепла, випаровування, особливо теплове, зазвичай використовується після анаеробної ферментації та облагороджування біогазу в комбінованій теплоелектростанції, де є надлишок теплової енергії.

Кінцеві продукти в якості добрив

Випаровування може відновити 80-99% азоту та 85-100% фосфору з обробленої рідкої фракції. Концентрати мають більш високий вміст поживних речовин у порівнянні з екскрементами тварин та рідкими добривами завдяки виділенню надлишку води під час цієї обробки (2-7 г P/kg, 5-40 г N/kg). Крім того, зменшений обсяг вимагає менше місця для зберігання. Концентрат можна використовувати як рідке азотно-фосфорне калійне добриво з відносно високими концентраціями поживних речовин порівняно з рідкими екскрементами тварин. Вторинний продукт, конденсат, може використовуватися як технологічна вода або може бути перероблений при зворотному осмосі для отримання чистої води.

Наслідки для навколишнього середовища

Немає викидів від процесу, але існує ризик концентрації солі та шкідливих сполук у концентраті поживних речовин.

Під час випаровування високі температури можуть додатково гігієнізувати оброблені рідини, але в той же час можуть, наприклад, підвищувати концентрацію металів і солей в продуктах. Також летючі органічні сполуки можуть бути перенесені в конденсат.

Приклад: Gasum, Вехмаа, Фінляндія

Gasum Vehmaa - це біогазова установка, спочатку запущена в 2005 році компанією Biovacka Finland Ltd. Завод переробляє приблизно 90 000 т/рік ферментних та харчових відходів, а також рідких екскрементів свиней (загальна потужність 120 000 т/рік, 32 ГВт/год). Завод виробляє електроенергію, яка частково використовується на місці, а частково подається в мережу (~ 6700 МВт-год/рік). Вироблене тепло використовується як на місці, так і в сусідній теплиці. Дигестат відокремлюють від твердої речовини/рідини центрифугами. Тверда фракція в основному використовується місцево як добриво, тоді як рідка фракція концентрується у вакуумному випарнику. Концентрат, багатий поживними речовинами, використовується не тільки як добриво, а й продається паперовій промисловості, яка, зокрема, потребує азоту на своїх очисних спорудах для стічних вод. Конденсат випарника, який містить мікроелементи, але майже не містить вуглецю та твердих речовин, перед скиданням обробляється зворотним осмосом.



Фотографія: Gasum Ltd

Бібліографія

- GIZ 2019. Digestate as fertilizer. Application, upgrading and marketing. Neutche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
https://www.digestate-as-fertilizer.com/Download/Digestate_as_Fertilizer.pdf
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M. & Linke, B. 2015. Nutrient recovery by biogas digestate processing. IEA Bioenergy.
http://www.iea-biogas.net/files/daten-redaktion/download/Technical%20Brochures/NUTRIENT_RECOVERY_RZ_web1.pdf

4.7. Технологічні ланцюги переробки екскрементів тварин

Зазвичай одного процесу недостатньо для перетворення екскрементів тварин у продукти добрив, які можна транспортувати на більші відстані до районів, де, наприклад, фосфор необхідний і був би справді бажаним добривом для фермерів. Для досягнення цього можна послідовно впровадити кілька технологій переробки. Однак найбільш підходящі технології переробки гною та технологічні ланцюги завжди специфічні для певної місцевості та залежать від економії всього ланцюга переробки.

Тут ми представляємо два ланцюги переробки екскрементів, які можна застосовувати для рідких добрив, отриманих від великої рогатої худоби або свиней. У першому прикладі (рис. 10) рідке добриво відокремлюють за допомогою гвинтового преса. Рідку фракцію піддають преципітації струвіту, щоб уловити фосфор, а стічні води додатково обробляють шляхом відганяння аміаку для відновлення залишкового аміаку. Отже, рідина, що залишилася, все ще містить, серед іншого, калій. Тверда фракція з гвинтового преса термічно висушується. У цьому першому технологічному ланцюгу 77% фосфору з вихідної суспензії можна відновити в струвіті та 78% азотного амонію у вигляді сульфату амонію. Маса цих продуктів добрива зменшується і відповідає послідовно 1% і 9% від початкової маси рідкого добрива, що підкреслює ефект зниження маси при обробці екскрементів тварин.

У другому ланцюгу (рис. 11) рідке добриво від свиней спочатку анаеробно ферментується, а потім дигестат розділяється на тверду та рідку фракції за допомогою центрифуги. Аміачний азот у рідкій фракції відновлюється шляхом видалення аміаку, а потік поживних речовин, що залишилися концентрується за допомогою мембран, а тверда фракція термічно висушується та піролізується. Головною перевагою введення анаеробної ферментації в технологічний ланцюг є виробництво енергії, яка може бути використана на наступних етапах переробки. Якщо біогаз облагороджується до транспортного палива, дохід від виробництва палива може бути використаний для збалансування економіки технологічного ланцюга. Анаеробна ферментація також дозволяє коферментувати рідке добриво з іншою органічною сировиною, одночасно виробляючи енергію та продукти добрив. У другому ланцюзі переробки 68% фосфору в рідкому добриві, одержуваному від свиней, відновлюється у вигляді піролізного вуглецю та 97% азоту амонію у вигляді сульфату амонію. Фракції органічного азоту відновлюються в мембранному процесі.

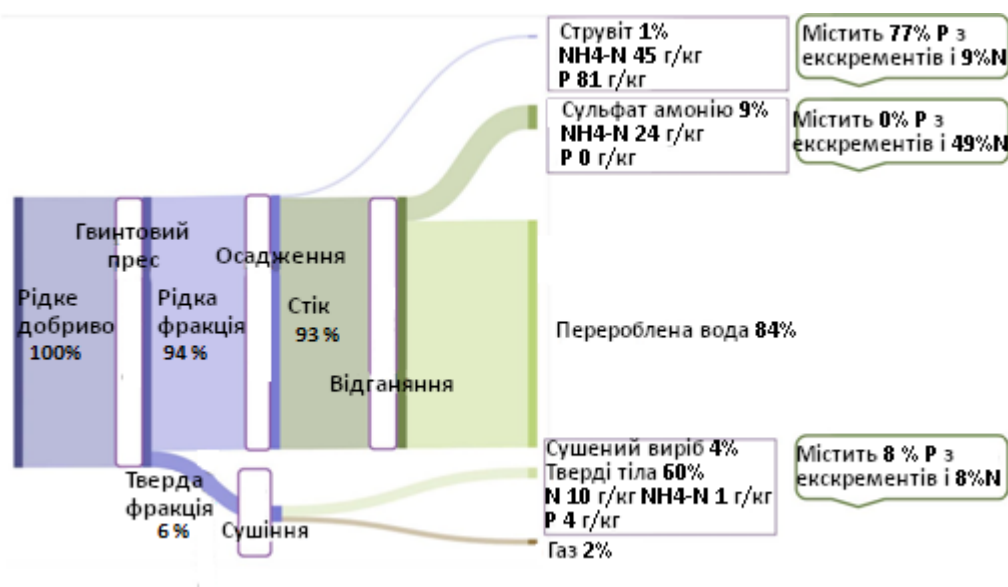


Рисунок 10. Технологічний ланцюг переробки рідкого добрива від свиней, включаючи технологію гвинтового пресу, преципітації струвіту, відганяння аміаку та термічного сушіння. Всі цифри представляють відсоток маси /P/N/NH₄-N від вихідного рідкого добрива від свиней.

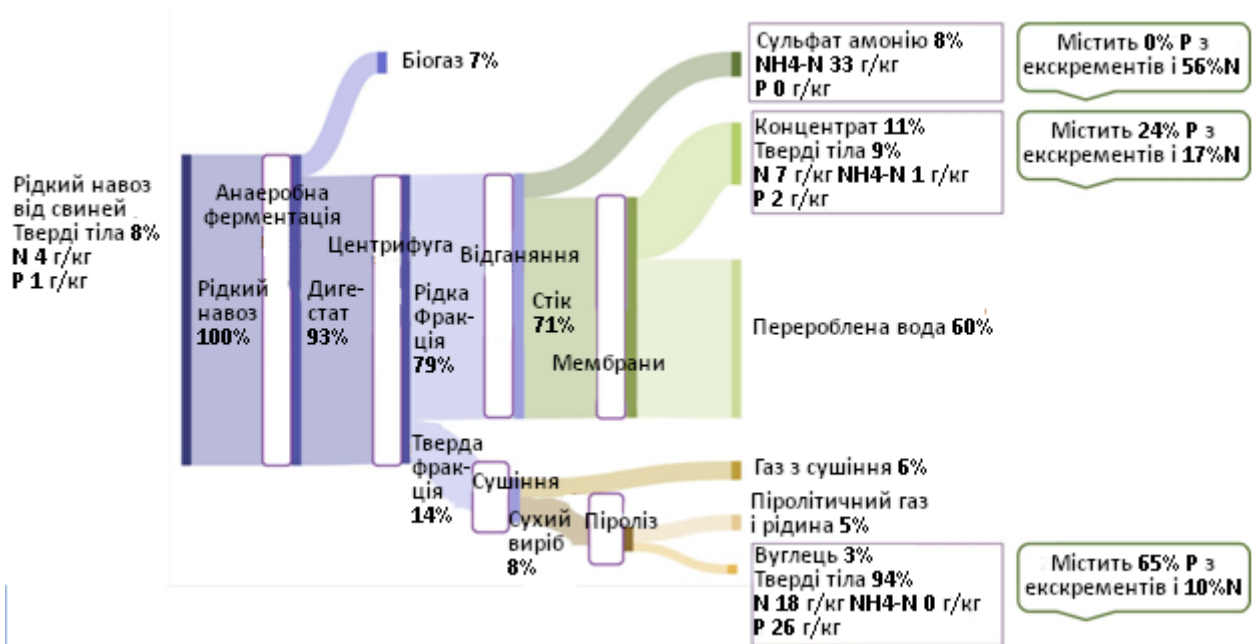


Рисунок 11. Технологічний ланцюг обробки рідкого добрива, отриманого з свиней, включаючи анаеробну ферментацію, центрифугу, преципітацію аміаку, мембранне розділення, термічне сушіння і піроліз. Всі цифри представляють відсоток маси /P/N/NH₄-N від вихідного рідкого добрива від свиней.

4.8. Короткий зміст технологій переробки гною тварин та їх кінцевих продуктів

Кінцеві продукти переробки екскрементів тварин, призначені для використання як добриво, мають різний вміст поживних речовин, що залежить від вихідної якості екскрементів та обраної технології переробки. У наведеній нижче таблиці (Таблиця 12) узагальнено технології переробки гною та представлено діапазон характеристик кожного отриманого кінцевого продукту, як описано в літературі. Слід зазначити, що широкий спектр, серед іншого, концентрація твердих речовин у кожній технології є результатом різноманітності використовуваних вихідних матеріалів та вибраних параметрів процесу. Оцінки доступності фосфору базуються на Ylivainio та ін. (2008, 2018) та Ylivainio та ін. (2017).

Таблиця 12. Короткий зміст технології переробки екскрементів тварин та вмісту поживних речовин у вироблених кінцевих продуктах на їх основі.

Процес	Продукт	Доступність фосфору (%)	Загальна кількість твердих речовин (%)	Фосфор (г/кг)	Азот (г/кг)	Розчинний азот (г/кг)	Дов.
Відокремлення твердих речовин від рідин	Рідка фракція	100	1-10	0.05-1	1-4	0.5-3	1-6
Відокремлення твердих речовин від рідин	Тверда фракція	100	20-35	0.5-7	0,5-12	0.01-5	1-6
Анаеробна ферментація	Дигестат	100	2-25	0.5-6	3-10	0.5-5	4, 7-9
Компостування	Компост	100	20-60	0.2-6	0,2-6	0-0.5	7, 10-13
Сушіння	Сушені екскременти	100	60-96	4-35	2-36	0.5-4	1, 7, 14
Піроліз	Біовугіль	20-90	>95	10-100	4-50	~0	15-18
Спалювання	Зола	40-80	>80	50-110	0	0	1, 19-20
Відганяння NH ₄ -N	Сульфат амонію	-	10-30	0	20-110	20-110	14, 21-22
Випаровування	Концентрат	100	10-30	2-7	5-40	0.1-20	23-24
Мембрани	Концентрат	100	2-15	0.01-1	2-20	2-20	1, 6, 9, 14, 25
Струв'яний осад	Струв'я	100	60-100	60-130	30-60	30-60	14, 26-29

¹Lebuf та ін. 2013, ²Gilkinson & Frost 2007, ³Paavola та ін. 2016, ⁴Virkajärvi та ін. 2016, ⁵Hjorth та ін. 2010, ⁶Velthof 2015, ⁷Evira 2017, ⁸Luostarinen та ін. 2013, ⁹Shi та ін. 2018, ¹⁰Keskinen та ін. 2017, ¹¹Karjalainen та ін. 2014, ¹²Michel та ін. 2004, ¹³Rizzo та ін. 2015, ¹⁴Systemic-project 2018, ¹⁵Professional estimation, ¹⁶Subedi та ін. 2016, ¹⁷Al-Wabel та ін. 2017, ¹⁸Qambrani та ін. 2017, ¹⁹Masiá та ін. 2007, ²⁰Bloem та ін. 2017, ²¹Ervasti та ін. 2018, ²²Laureni та ін. 2013, ²³Bonmatí & Flotats 2003, ²⁴Chiumenti та ін. 2013, ²⁵Vaneechaute та ін. 2012, ²⁶Ackerman та ін. 2015, ²⁷Katanda та ін. 2016, ²⁸Vaneechaute та ін. 2015, ²⁹Schoumans та ін. 2017

Вплив переробки екскрементів тварин на вміст поживних речовин у кінцевих продуктах залежить насамперед від ефективності водовідокремлення. Чим менша кількість початкової маси екскрементів, тим вище концентрація поживних речовин, як правило, можна отримати. Деякі технології дуже ефективно збільшують концентрацію фосфору, тоді як інші більше зосереджуються на концентрації азоту. На рисунку 12 показана ефективність поділу маси на фосфор і азот з використанням різних технологій переробки екскрементів. На кожному рисунку показано середній діапазон маси, ефективність поділу фосфору і азоту на основі попередніх досліджень екскрементів, використовуваних в якості субстрату. Найбільш ефективними процесами в масовому аспекті є ті, що праворуч, де видаляється більша частина рідкої фракції рідкого добрива або води. Шляхом відокремлення фосфору від азоту, більш ефективна концентрація поживних речовин досягається за допомогою технологій праворуч.

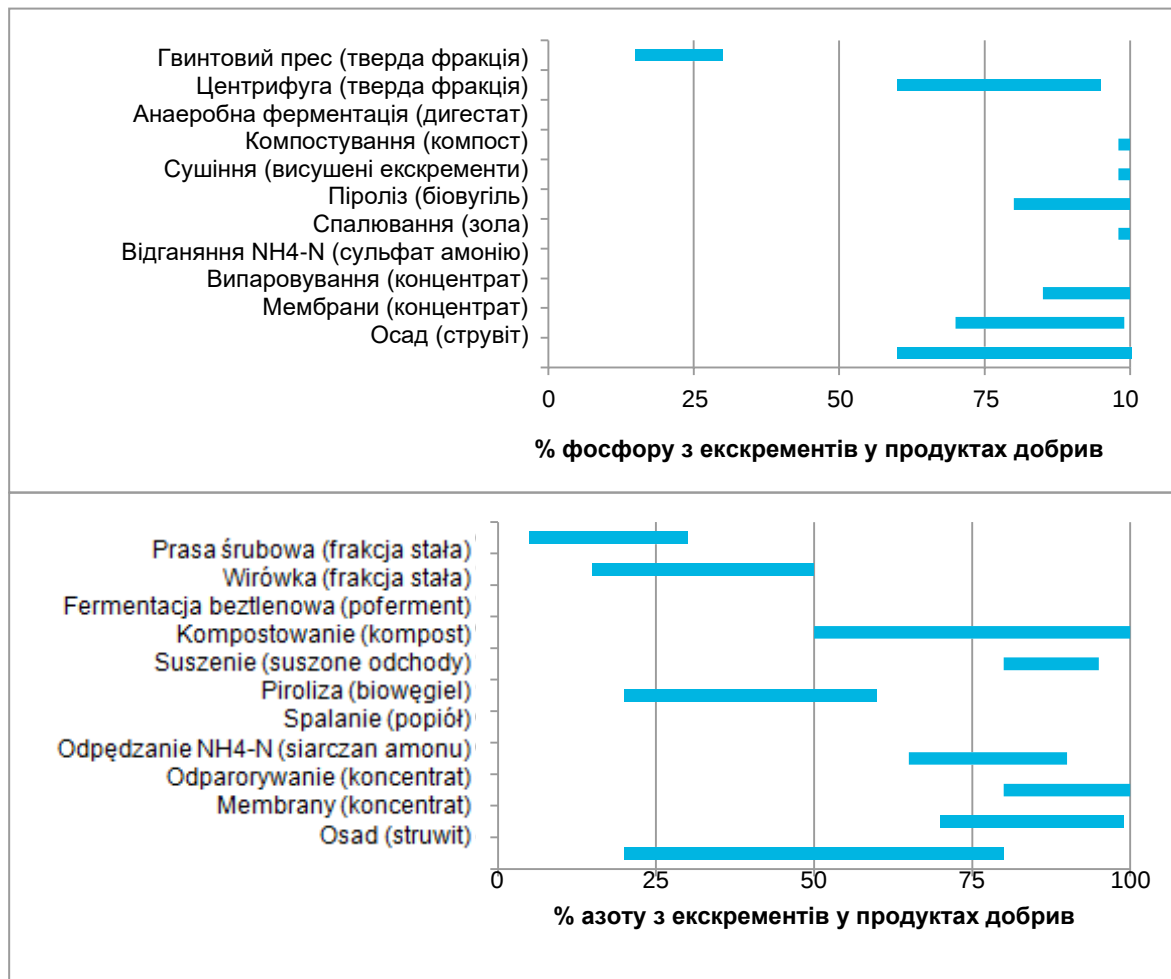


Рисунок 12. Ефективність відокремлення маси, вміст фосфору і азоту в перероблених продуктах добрив в порівнянні з вмістом в первинних екскрементах тварин при різних технологіях переробки.

Іншим важливим аспектом продуктів добрив на основі екскрементів тварин є доступність поживних речовин і органічних речовин, що містяться в них. Традиційні добрива на ринках є неорганічними, тобто вони не містять органічних речовин, тоді як перероблені добрива часто називають органічними добривами. Більшість перероблених добрив на ринку насправді є органічними добривами, які за визначенням містять органічні речовини, крім поживних речовин. Однак деякі технології переробки, зазначені в цьому звіті, дають кінцеву продукцію без органічних речовин. У цьому відношенні було б доцільно називати перероблені продукти для удобрення органічними добривами або добривами на основі екскрементів тварин, які потім можуть включати як органічні, так і неорганічні продукти добрив.

Органічні добрива за визначенням містять як поживні речовини, так і органічні речовини. Використовуючи їх як добриво, важливо пам'ятати, що деякі поживні речовини, пов'язані з органічними речовинами, не є легкодоступними для сільгоспкультур. Частина органічної речовини і поживних речовин виділяється під час мінералізації в ґрунті, що в кінцевому підсумку робить їх доступними для сільгоспкультур. Це важливо, особливо з азотом. У більшості популярних мінеральних добрив весь азот легко доступний для сільгоспкультур, але в органічних добривах відразу після внесення буде доступний лише деякий азот, а решта буде доступна лише пізніше у вегетаційний період або навіть у наступному році.

Виділення азоту з органічної речовини залежить від умов, характерних для місцевості, наприклад температури і вологості ґрунту. Це може привести до зниження поживної цінності і ефективності використання поживних речовин із органічних добрив, в тому числі злаками, які найбільше азоту потребують раніше у вегетаційний період. Рослини з більш тривалим періодом росту або декількома врожайми можуть більш ефективно використовувати поживні речовини, що вивільняються пізніше. З іншого боку, якщо немає рослинності в активній фазі росту під час вивільнення азоту, існує ризик його викиду. Це робить внесення продуктів органічних добрив дещо складнішим, ніж внесення звичайних мінеральних добрив.

Що стосується мінеральних добрив, розрахувати кількість добрив просто, оскільки всі поживні речовини легкодоступні для сільгоспкультур. Цінність добрив продуктів на основі органічних добрив більш складна через більш повільне вивільнення поживних речовин. З іншого боку, також органічна речовина в продуктах добрив має значення в якості поліпшувача ґрунту. Вміст органічних речовин у продуктах сильно варіюється.

Загальний вміст поживних речовин також варіюється в залежності від типу органічних добрив. Однією з цілей переробки екскрементів тварин або іншої органічної сировини є видалення води та/або повітря та/або органічних речовин, що призводять до більш високої концентрації поживних речовин у кінцевому продукті.

Тому було б дуже важливим, щоб кінцеві користувачі мали доступ до правильної інформації про органічні продукти удобрення. Крім того, інтерпретація інформації про продукт також вимагає уваги. Вибір правильного продукту для відповідних сільгоспкультур і умов виробництва має важливе значення при прагненні до високої врожайності і використання поживних речовин. Багато продуктів також вимагають спеціальної підготовки для їх зберігання, і їх поширення може бути неможливо за допомогою машин, що використовуються для мінеральних добрив, а скоріше за допомогою машин, зазвичай використовуваних для внесення екскрементів тварин. Таким чином, фермери, які не мають попередніх знань про використання цих продуктів або взагалі не мають їх, можуть потребувати спеціального консультування щодо застосування кращих практик.

Бібліографія

- Ackerman, J.N., Zvomuya, F., Cicek, N. & Flaten, D. 2013. Evaluation of manure-derived struvite as a phosphorus source for canola. *Journal of Plant Science* 93: 419-424.
- Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R.A., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A.S. & Ok, Y.S. 2017. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. *Land Degradation and Development* 29: 2124-2161.

- Bloem, E., Albiñ, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of the Total Environment* 607–608: 225–242.
- Bonmatí, A., Flotats, X., 2003. Pig slurry concentration by vacuum evaporation: influence of previous mesophilic anaerobic digestion process. *Journal of Air & Waste Management Association* 53: 21–31.
- Chiumenti, A., da Borso, F., Chiumenti, R., Teri, F. & Segantin, P. 2013. Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation: Tests for process optimization and environmental sustainability. *Waste Management* 33: 1339–1344.
- Ervasti, S., Winquist, E. & Rasi, S. 2018. Typen talteenotto lantaperäisestä nesteestä – tekninen toteutettavuus ja prosessin kannattavuusarvio (Nitrogen recovery from manure-based liquid fraction – assessment of technical and economic feasibility). *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 4/2018. Natural Resources Institute Finland.
- Evira 2017. Lannoitevalmisteiden tuotevalvonnan analyysitulokset 2017. *Eviran raportti*. <https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/julkaisut/raportit/lannoitevalmisteiden-tuotevalvonnan-analyysitulokset-2017.pdf>
- Gilkinson, S. & Frost, P. 2007. Evaluation of mechanical separation of pig and cattle slurries by a decanting centrifuge and a brushed screen separator. *Agri-food and Biosecurity Institute, UK*. <https://www.afbini.gov.uk/articles/evaluation-mechanical-separation-pig-and-cattle-slurries>
- Hjorth, M., Christensen, K.V., Christensen, M.L. & Sommer, S.G. 2010. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30: 153–180.
- Karjalainen, H., Karpinen, T., Virkkunen, E., Kemppainen, J., Tampio, E. & Lötjönen, T. 2014. Hevoslannan tubikompostointi (Tube composting of horse manure). *Biojäte ja hepolanta-hankkeen selvityksiä* 3/4. MTT Sotkamo.
- Katanda, Y., Zvomuya, F., Flaten, D. & Cicek, N. 2016. Hog-Manure-Recovered Struvite: Effects on Canola and Wheat Biomass Yield and Phosphorus Use Efficiencies. *Soil Science Society of American Journal* 80: 135.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämpä, J. 2017. Recycling nutrients from horse manure: effects of bedding type and its compostability. *Agricultural and Food Science* 26: 68–79.
- Laureni, M., Palatsi, J., Llovera, M. & Bonmatí, A. 2013. Influence of pig slurry characteristics on ammonia stripping efficiencies and quality of the recovered ammonium-sulfate solution. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 88: 1654–1662.
- Lebuf, V., Accoe, F., Van Elsacker, S., Vaneeckhaute, S., Michels, E., Meers, E., Ghekiere, G. & Ryckaert, B. 2013. Techniques for nutrient recovery from digestate: inventory. *Arbor-project*. <http://hdl.handle.net/1854/LU-7010573>
- Luostarinen, S. (toim.) 2013. Biokaasuteknologiaa maataloilla I. Biokaasulaitoksen hankinta, käyttöönotto ja operointi - käyttökokemuksia MTT:n maatilakohtaiselta laitokselta (Biogas technology on farms). *MTT Raportti* 113.
- Masiá, A.A.T., Buhre, B.J.P., Gupta, R.P. & Wall, T.F. 2007. Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Processing Technology* 88: 1071–1081.
- Michel, F.C., Pecchia, J.A., Rigot, J. & Keener, H.M. 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Science & Utilization* 12(4): 323–334.
- Paavola, T., Winquist, E., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Lantaravinteiden kestävä hyödyntäminen tiloilla ja keskitetyssä biokaasulaitoksessa (Sustainable use of manure nutrients on farms and in a centralized biogas plant). *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 33/2016. Natural Resources Institute Finland.

- Qambrani, N.A., Rahman, Md.M., Won, S., Shim, S. & Ra, C. 2017. Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79: 255-273.
- Rizzo, P.F., Torre, V.D., Riera, N.I., Crespo, D., Barrena, R. & Sánchez, A. 2015. Co-composting of poultry manure with other agricultural wastes: process performance and compost horticultural use. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 17: 42-50.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I., Regelink, I.C., Nelemans, J.A., Noij, I.G.A.M., van Tintelen, W. & Rulkens, W.H. 2017. Chemical phosphorus recovery from animal manure and digestate. Laboratory and pilot experiments. Report 2849. Wageningen Environmental Research.
- Shi, L., Walquiria, &, Simplicio, S., Wu, G., Hu, Z., Hu, H. & Zhan, X. 2018. Nutrient Recovery from Digestate of Anaerobic Digestion of Livestock Manure: a Review. *Current Pollution Reports* 4: 74-83.
- Subedi, R., Taupe, N., Pelissetti, S., Petruzzelli, L., Bertora, C., Leahy, J.J. & Grignani, C. 2016. Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment with manure-derived biochars: Influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *Journal of Environmental Management* 166: 73-83.
- Systemic-project 2018. Product factsheets. <https://systemicproject.eu/downloads/#toggle-id-3>
- Vaneeckhaute, C., Meers, E., Michels, E., Christiaens, P. & Tack, F.M.G. 2012. Fate of Macronutrients in Water Treatment of Digestate Using Vibrating Reversed Osmosis. *Water, Air & Soil Pollution* 223: 1593-1603
- Vaneeckhaute, C., Janda, J., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G. & Meers, E. 2016. Phosphorus Use Efficiency of Bio-Based Fertilizers: Bioavailability and Fractionation. *Pedosphere* 26: 310-325.
- Velthof, G.L. 2015. Mineral concentrate from processed manure as fertilizer. Alterra Report 2650. Alterra Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/352930>
- Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Rätty, M., Pakarinen, T., Pyykkönen, V. & Luostarinen, S. 2016. Biokaasuteknologiaa maatiloilla II: Biokaasulaitoksen käsittelyjäännöksen hyödyntäminen lannoitteena (Biogas technology on farms: Digestate as a fertilizer). *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 37/2016. Natural Resources Institute Finland.
- Ylivainio, K., Jauhiainen, L., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2018. Waterlogging severely retards P use efficiency of spring barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of Agronomy and Crop Science* 204: 74-85.
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Report on P availability according to Hedley fractionation and DGT-method. BONUS PROMISE DELIVERABLE 3.4. https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications/Report%20on%20P%20availability%20according%20to%20Hedley%20fractionation%20and%20DGT-method.pdf
- Ylivainio, K., Uusitalo, R. & Turtola, E. 2008. Meat bone meal and fox manure as P sources for ryegrass (*Lolium multiflorum*) grown on a limed soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 267-278.

5. Контроль потенційної небезпеки гігієни та забруднення

5.1. Мікроелементи

Хоча концентрації мікроелементів (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) в екскрементах тварин зазвичай не обмежують їх сільськогосподарське використання (Sarvi та ін. 2017), саме ці концентрації зазвичай вищі, ніж у сільськогосподарських ґрунтах, що призводить до накопичення мікроелементів після багаторазового застосування екскрементів (Bloem та ін. 2017). У деяких випадках концентрація деяких мікроелементів (As, Cu, Zn) у екскрементах тварин може бути високою через кормові добавки (Bolam та ін. 2015). Cu і Zn використовуються як кормові добавки для свиней, а As використовується у виробництві свиней та птиці. Згідно з Bloem та ін. (2017), найвищі концентрації Cu та Zn виявляються у екскрементах свиней та As у свиней та птиці. Таким чином, використання мікроелементів в кормових добавках збільшує їх концентрацію в екскрементах, і як тільки вони вносяться на поля, вони можуть повернутися до корму для тварин (Li та ін. 2005). Концентрації мікроелементів у осаді стічних вод можуть бути вищими, ніж у природних добривах (Bloem та ін. 2017), але щорічний внесок може бути вищим із екскрементів тварин залежно від використовуваних доз (Nicholson та ін. 2003).

Хоча нинішні концентрації мікроелементів у екскрементах низькі або помірні, доцільно звести до мінімуму використання мікроелементів у раціоні тварин, щоб мінімізувати ризик їх накопичення на сільськогосподарських угіддях, де екскременти регулярно вносяться. Вапнування зменшує розчинність більшості мікроелементів і, отже, зменшує можливість поглинання рослинами мікроелементів із сільськогосподарських ґрунтів та їх вимивання (Adriano 2001).

5.2. Органічні забруднювачі

Загалом зареєстровано понад 1500 різних органічних сполук, і деякі з них можуть по-різному потрапляти у екскременти тварин, осадів стічних вод та інші продукти добрив. У екскрементах органічні забруднювачі походять з між іншого з ліків, кормів і води для миття. Антибіотики, як і деякі інші фармацевтичні препарати, у великих кількостях (до 90%) виводяться із сечею та калом (Sarma та ін. 2006). Згідно з оглядом Bloem та ін. (2017), концентрації антибіотиків у екскрементах можуть бути на тому ж рівні, що і в осаді стічних вод, однак більш високі пікові значення можна побачити в екскрементах. Частота і концентрація ветеринарних антибіотиків вище в екскрементах, отриманих від свиней і курей, ніж від великої рогатої худоби (Bloem та ін. 2017). Це також спостерігалось у дослідженні Bloem and Lehmann (2016), де вхідні та вихідні матеріали з 29 біогазових установок досліджувались на концентрації антибіотиків. В ході досліджень осад стічних вод завжди забруднювався антибіотиками незалежно від його переробки, а серед екскрементів найчастіше забруднювалися рідкі екскременти свиней та послід птиці. Найвищі максимальні концентрації тетрациклінів і фторхінолонів були виявлені в екскрементах птиці, рідких екскрементах свиней і посліді птиці.

Однак слід зазначити, що концентрація антибіотиків у фекаліях сильно залежить від їх використання у тваринництві, що суттєво різниться в різних країнах (European Medicines Agency 2018).

У Фінляндії Martinen та ін. (2014) проаналізували кілька груп органічних сполук (поліхлоровані дибензо-р-діоксини та -фурани (PCDD/F), поліхлоровані біфеніли (PCB), поліароматичні вуглеводні (WWA), ді (2-етилгексил) фталат (DEHP), перфторовані сполуки (PFC), лінійний алкилбензолсульфонат (LAS), нонілфенол та нонілфенол етоксилат (NP + NPEO) та бромовані антипірени, включаючи полібромовані дифенілетери (PBDE), гексабромциклододекан (HBCD), тетрабромбісфенол А (ТВВРА) та 25 різних фармацевтичних препаратів з фінських дигестатів

централізовані біогазові установки, що коферментують екскременти тварин, побічні продукти харчової промисловості, комунальні біовідходи та осад стічних вод у різних пропорціях. Жоден із заводів не ферментував виключно екскременти, а два заводи ферментували майже виключно осади стічних вод. Згідно з дослідженнями, розраховане середнє навантаження на ґрунт досліджуваними сполуками після одноразового додавання (15 тонн/га) дигестату було на тому ж рівні, що і після річних атмосферних опадів у Фінляндії чи інших скандинавських країнах, за винятком PBDE, навантаження якого було в 400-1000 разів вище. Навантаження на ґрунт після застосування виділеної твердої фракції (10 тонн/га) було на тому ж або більш високому рівні, що і після використання дигестату. Тверда фракція, однак, часто використовується на полях, з інтервалом в п'ять років, тоді як дигестат можна використовувати раз на рік, що зменшує різницю в навантаженні на ґрунт від дигестату та твердих фракцій. Було підраховано, що навантаження на ґрунт рідкою фракцією (30 тонн/га) менше або на тому ж рівні, що і навантаження дигестатом або твердими фракціями. Висновки для більшості досліджених сполук були такі, що мало ймовірно, щоб техніка застосування кінцевих продуктів спричиняла значні ризики для безпечності харчових продуктів у Фінляндії, однак необхідні подальші дослідження, особливо у випадку PBDE, PFC, HBCD та фармацевтичних препаратів. Навантаження на ґрунт кінцевими продуктами також може варіюватися через велику різноманітність концентрацій.

Хоча на поведінку антибіотиків у ґрунті впливає багато чинників (наприклад, хімічна структура антибіотика, властивості ґрунту та види рослин), можна зробити висновок, що низькі концентрації антибіотиків та їх метаболітів потрапляють у харчовий ланцюг через випас худоби або використання напр. екскрементів тварин або їх дигестатів на полях (Bloem та ін. 2017). Це створює ризик розповсюдження та формування генів стійкості до антибіотиків, а в результаті - формування стійких патогенів та бактерій, які можуть впливати на людину (Bloem та ін. 2017). Гени стійкості до антибіотиків були виявлені у екскрементах тварин, і їх кількість була помічена незабаром після їх внесення в ґрунт (Muurinen 2017). Це свідчить про те, що для контролю ризику пов'язаного з антибіотиками, в екскрементах тварин слід звести до мінімуму їх використання у тваринництві, оскільки багаторазовий вплив на подання низьких доз створює ризик розвитку та розповсюдження стійких до антибіотиків бактерій серед худоби (You & Silbergeld 2014).

Різні технології переробки по-різному впливають на органічні забруднювачі (див. розділ 4). Вони можуть розкладатися на проміжні продукти або продукти перетворення, які можна виявити в ще більших концентраціях і токсичності, ніж вихідних сполук (Huerta-Fontela та ін. 2010). Огляд Verlicchi і Zambello (2015), що стосується впливу різних процесів обробки осадів стічних вод на концентрації 152 фармацевтичних препаратів і 17 засобів особистої гігієни, показав, що більшість сполук піддалася скороченню або ослабленню при переробці осаду (під час ферментації, компостування, кондиціонування, сушіння тощо), але деякі групи сполук (анальгетики, антибіотики, гормони, антисептики) були навіть збагачені в порівнянні з первинним осадом.

5.3. Гігієна

Як і у випадку з іншими органічними джерелами поживних речовин, також в екскрементах тварин можна знайти різні типи бактерій (наприклад, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp., *Listeria monocytogenes*, *EHEC*, *Yersinia* spp.), віруси і паразити (наприклад, *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp.). Деякі з них можуть бути видоспецифічними або зоонозними (Bloem та ін. 2017). Однак можлива присутність патогенних мікроорганізмів у екскрементах не обов'язково означає небезпеку для людей або тварин, оскільки небезпека для здоров'я залежить від кількох чинників, таких як їх транспорт і виживання в навколишньому середовищі, а також інфекційної дози та вірулентності патогену. Загалом, за винятком спороутворюючих бактерій (наприклад, *Clostridium* spp.), бактерії більш чутливі до різноманітних чинників середовища та процесів навколишнього середовища, ніж віруси і паразити.

Щоб контролювати потенційні небезпеки, пов'язані з патогенами, необхідно подбати про відповідні умови переробки (див. розділ 4) і запобігати повторному зараженню, зокрема уникаючи контакту з обладнанням, машинами та тваринами під час зберігання та поводження.

Бібліографія

- Adriano, D.C., 2001. Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals, 2nd edition Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London.
- Bloem, E., Lehmann, L. 2016. Report on contamination of P-rich waste materials with organic xenobiotics. BONUS PROMISE project deliverable 2.2. Dostęp: https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt_en/projects/promise/Publications
- Bloem, E., Albiñá, A., Elving, J., Hermann, L., Lehmann, L., Sarvi, M., Schaaf, T., Schick, J., Turtola, E. & Ylivainio, K. 2017. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: A review. *Science of the Total Environment* 607–608: 225-242.
- Bolan, N., Adriano, D. & Mahimairaja, R. 2015. Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology* 34: 291-338.
- European Medicines Agency, European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption, 2018. 'Sales of veterinary antimicrobial agents in 30 European countries in 2016'. Seventh ESVAC report (EMA/275982/2018)
- Huerta-Fontela M, Galceran MT & Ventura F (2010) Fast liquid chromatography-quadrupole-linear ion trap mass spectrometry for the analysis of pharmaceuticals and hormones in water resources. *Journal of Chromatography A* 1217: 4212-4222.
- Li, Y., McCrory, D.F., Powell, J.M., Saam, H. & Jackson-Smith, D. 2005. A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin dairy feeds. *Journal of Dairy Science* 88: 2911-2922.
- Martinen, S., Suominen, K., Lehto, M., Jalava, T. & Tampio, E. 2014. Haitallisten orgaanisten yhdisteiden ja lääkeaineiden esiintyminen biokaasulaitosten käsittelyjännöksissä sekä niiden elintarvikeketjuun aiheuttaman vaaran arviointi. MTT Raportti 135. 87 p. Summary in English: Occurrence of hazardous organic compounds and pharmaceuticals in biogas plant digestate and evaluation of the risk caused for the food production chain.
- Muurinen, J. 2017. Antibiotic resistance in agroecosystems. Academic Dissertation. Department of Food and Environmental Sciences, University of Helsinki, 19/2017.
- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C. & Chambers, B.J. 2003. An inventory of heavy metal inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment* 311: 205-219.
- Sarvi, M., Ylivainio, K. & Turtola, E. 2017. Report on compliance of recycled product with present EU fertilizer regulations. BONUS PROMISE deliverable 3.3.
- Sarmah, A.K., Meyer, M.T. & Boxall, A.B. 2006. A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere* 65: 725-759.
- Verlicchi, P. & Zambello, E. 2015. Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: occurrence and environmental risk in the case of application on soil - A critical review. *Science of the Total Environment* 538: 750-767
- You, Y. & Silbergeld, E.K. 2014. Learning from agriculture: understanding low-dose antimicrobials as drivers of resistome expansion. *Frontiers Microbiology* 5: 284.

6. Висновки

Переробка поживних речовин є невід'ємною частиною циркулярної економіки, і в усьому світі необхідні заходи для її поліпшення. У регіоні Балтійського Моря переробка поживних речовин може стати важливим рішенням для скорочення втрат інгредієнтів з сільського господарства в море.

Оскільки екскременти тварин є найважливішою сировиною, що переробляється, багатою поживними речовинами, збільшення їх використання як продукту добрив може значно знизити залежність від мінеральних добрив та ризиків викидів поживних речовин від виробництва продуктів харчування. Особливо в регіонах з ущільненим тваринництвом, поживні речовини з екскрементів тварин можуть бути доступні в надлишку в порівнянні з фактичним попитом на рослинного виробництва в тій же області. Регіональний поділ тваринництва і рослинного виробництва, помітний також у багатьох прибалтійських країнах, посилює цю невідповідність.

Тому поживні речовини з екскрементів тварин повинні бути перерозподілені шляхом переробки їх в більш концентровані і, отже, придатні для транспортування продукти перероблених добрив. Потім ці продукти можуть бути транспортовані в регіони, які потребують поживних речовин, тим самим звільняючи початковий регіон від їх надлишку і зменшуючи загальну потребу в мінеральних добривах у виробництві продуктів харчування. У той же час можна звести до мінімуму викиди в навколишнє середовище і забезпечити безпеку в сфері небезпечних сполук і гігієни. Залежно від обраної технології, також можна виробляти відновлювану енергію.

Існує кілька технологій переробки, які знаходяться в стадії розробки. Вони можуть використовуватися в різних технологічних ланцюгах в залежності від масштабу переробки і бажаного результату. Для впровадження сталої переробки екскрементів тварин також слід розробити та оптимізувати практичні управлінські рішення, включаючи зберігання та внесення.

Економічна ефективність переробки гною тварин продовжує залишатися викликом, оскільки високі інвестиційні витрати і ринок кінцевої продукції лише починає розвиватися. В результаті, суспільство потребує стимулів, щоб почати як переробку, так і створення ринків.

Для того, щоб створити справді функціонуючий ринок, добрива на основі екскрементів тварин повинні задовольняти потреби кінцевих споживачів, в основному фермерів у цьому контексті. Оскільки продукти часто відрізняються від традиційних мінеральних добрив, слід також заохочувати розвиток служб, що сприяють переходу на використання перероблених добрив.

Тому стимули для заохочення використання добрив на основі екскрементів тварин є ключовими для прискорення переходу до циркулярного сільського господарства та майбутньої товарності переробки поживних речовин.

Коротко про SuMaNu

Евтрофікація Балтійського Моря продовжує залишатися основною проблемою, спричиненою перевантаженням поживними речовинами, головним чином із сільського господарства. Таким чином, більш ефективне управління екскрементами тварин і поживними речовинами в сільському господарстві необхідно для мінімізації втрат поживних речовин і закриття їх циркуляції. Ситуація вимагає транснаціональних заходів як на рівні ферми, так і в регіоні на всій території навколо моря. Кілька попередніх проектів стикалися з цим викликом в останні роки з різних точок зору, але все ж необхідні більш цілісні рекомендації.

З метою стимулювання розвитку на шляху до більш сталого сільського господарства, SuMaNu (стале управління екскрементами тварин та поживних речовин для зменшення втрат поживних речовин у регіоні Балтійського Моря), як проект платформи, що фінансується Регіоном Балтійського Моря Interreg, синтезує практики сталого використання екскрементів тварин та поживних речовин як на фермерському, так і на регіональному рівнях (робочий пакет 2) за підтримки чотирьох транснаціональних проектів; Interreg Baltic Sea Region фінансував Baltic Slurry Acidification and Other Standards, Interreg Central Baltic фінансував GreenAgri, а BONUS PROMISE - фінансував Програму BONUS. Крім того, використовуються результати попередніх проектів, фінансованими Interreg Baltic Sea Region, таких як Baltic Manure, Baltic Deal, Baltic Compass і Baltic Compact. Цей синтез є основою для спільно сформульованих політичних рекомендацій щодо екологічно та економічно сталого управління екскрементами тварин (робочий пакет 3). Усі рекомендації підготовлені у співпраці з різними цільовими групами з метою покращення їх виконання.

Завдяки широкому партнерству між наступними установами (Фінський Інститут Природних Ресурсів (Luke) як координатор, Шведський науково-дослідний інститут (RISE), HELCOM, BSAG, Естонський дослідницький інститут рослинництва (ECRI), Асоційований парламент фермерів (ZSA, Латвія), Національний консультативний центр з питань сільського господарства і розвитку сільських регіонів в місті Брвінув (CDR, Польща), Organe Institute ApS (Данія) та Julius Kühn Institute (JKI, Німеччина)), рекомендації передаються різним цільовим групам, особам, що приймають рішення, консультантам та фермерам за посередництва профспілок (робочий пакет 4). Політичні рекомендації також використовуються в процесі Стратегії Переробки Поживних Речовин HELCOM і в перегляді Балтійського Плану Дій.

Більше інформації на www.balticssumanu.eu





Фінський Інститут Природних Ресурсів,
Latokartanonkaari 9
FI-00790 Гельсінкі, Фінляндія
тел. +358 29 532 6000