



European Bank  
for Reconstruction and Development



IBBK  
BIOGAS

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

# Методи обробки та використання дигестату біогазових установок

Кучерук П.П.

Біоенергетична асоціація України  
член Експертної ради, к.т.н.

10/11/2023



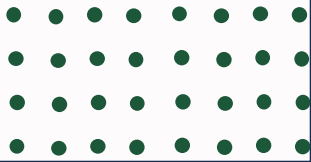
# Зміст

- 01** Роль дигестату у відновленні родючості ґрунтів
- 02** Склад та властивості дигестату
- 03** Управління якістю дигестату
- 04** Методи обробки та збагачення
- 05** Внесення дигестату в ґрунти





# Роль дигестату у відновленні родючості ґрунтів



# Дигестат - основа сталого органічного виробництва



# Позиція Європейської біогазової асоціації щодо ролі біогазових технологій для Green Deal та родючості ґрунтів

## Аргумент 1.

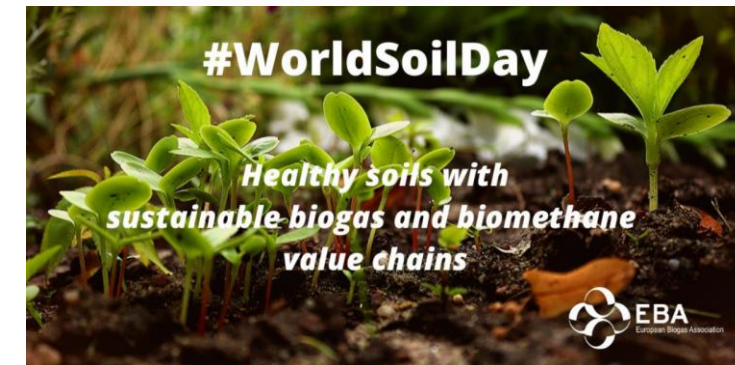
Дигестат, який утворюється у процесі виробництва біогазу, може використовуватись як добриво! Це речовина, багата на органічні сполуки та органічний вуглець, яка може замінити мінеральні добрива та відновити здоров'я і якість ґрунтів.

## Аргумент 2.

Ґрунти мають властивість поглинати парникові гази, збільшуючи запаси органічного вуглецю. Тому, коли ми використовуємо дигестат як органічне добриво, ми використовуємо цю властивість, створюючи фактично природні сховища вуглецю.

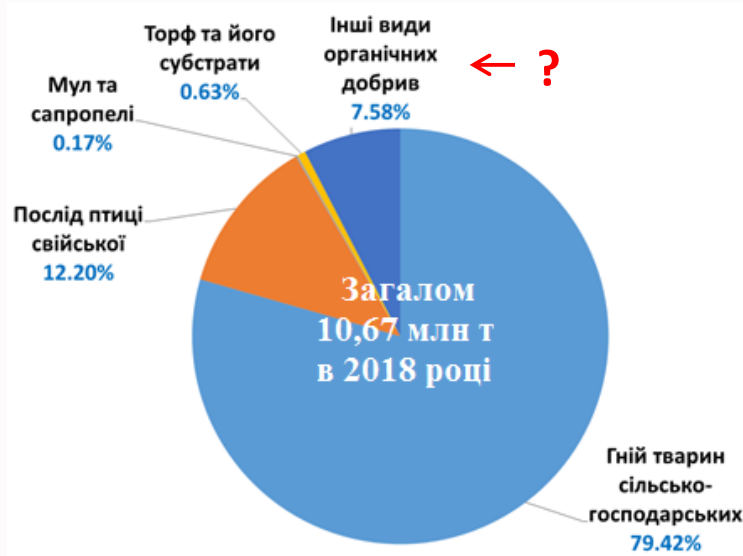
## Аргумент 3.

Вирощувати покривні культури, які захищають ґрунти, можна також для виробництва біогазу! Такі рослини захищають ґрунт від ерозії, покращують його родючість та біорізноманіття і при цьому використовуються для виробництва біогазу, у процесі чого утворюється таке органічне добриво як дигестат!



# Використання добрив в Україні

## Внесення органічних добрив, 2018



## Внесення мінеральних добрив, 2018

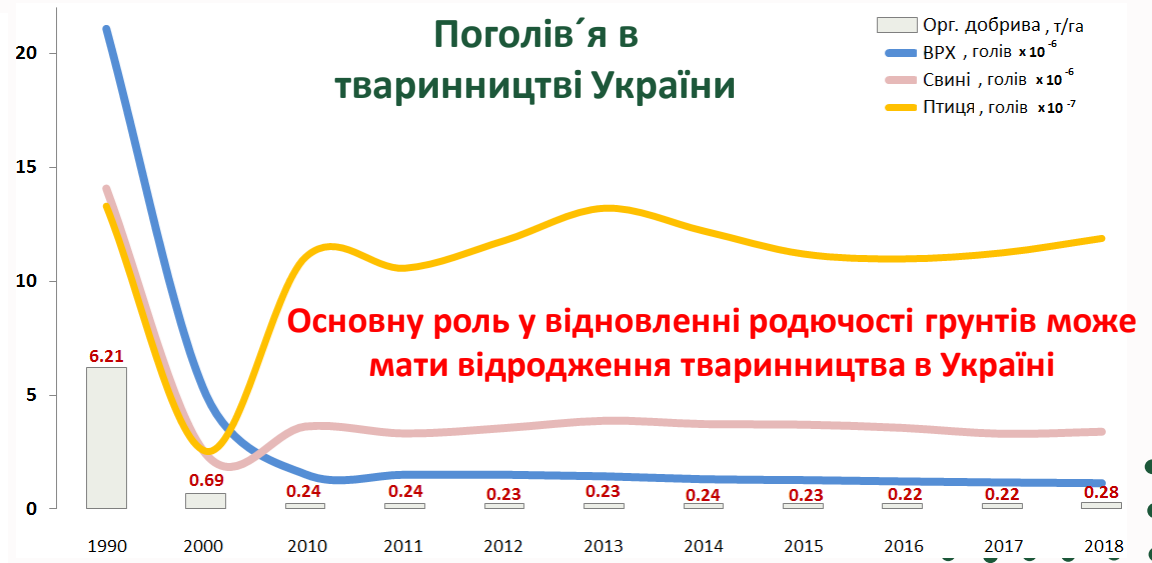


## Внесення органічних добрив на 1 га земель



**Основна причина зниження вмісту гумусу в ґрунтах**

## Поголів'я в тваринництві України



**Основну роль у відновленні родючості ґрунтів може мати відродження тваринництва в Україні**

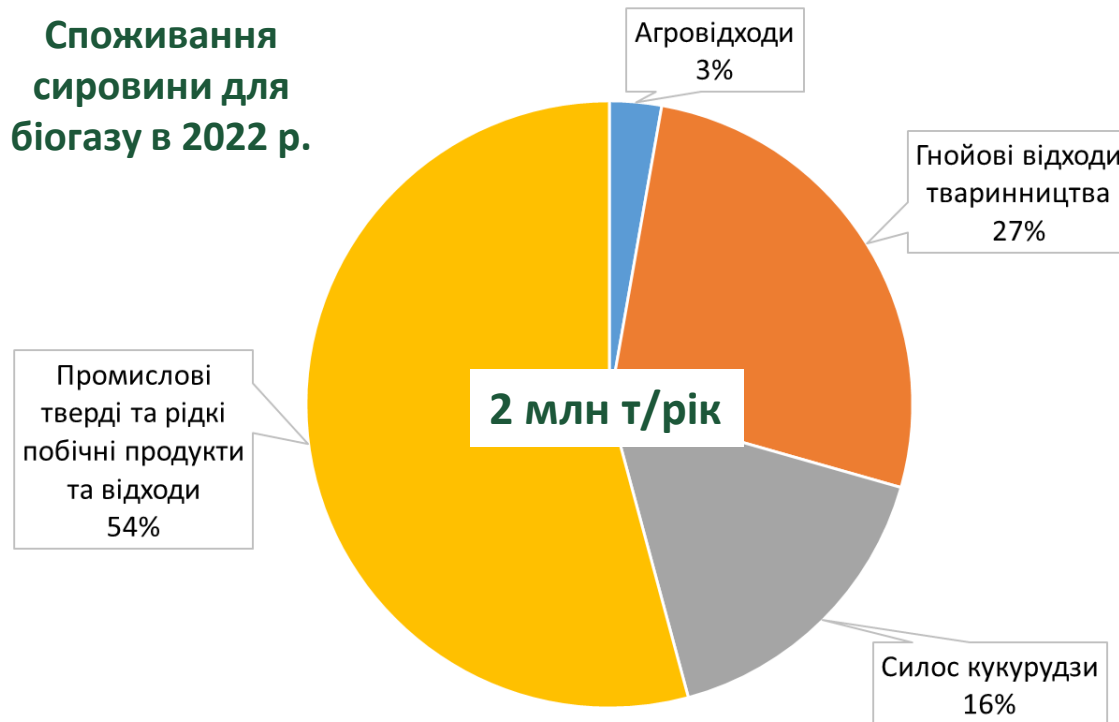
# Можливі напрямки збільшення надходження органічних добрив в ґрунт

- Збільшення обсягів внесення гною/посліду, що, в свою чергу, потребує збільшення поголів'я тварин.
- Збільшення частки пожнивних решток, що вносяться в ґрунт.
- Повернення поживних речовин з потоками залишків/відходів перетвореної первинної аграрної продукції (міські харчові відходи, побічна продукція харчової переробної промисловості, некондиційний урожай, тощо).
- Використання потенціалу деградованих земель, непридатних для ведення традиційного агровиробництва, для продукування рослинної біомаси (багаторічні трави), що буде направлятись для удобрення ріллі.
- Використання потенціалу лугових земель, газонів, для збору рослинної біомаси, що буде направлятись для удобрення ріллі.

# Утворення дигестату в Україні

- До **2 млн т/рік дигестату** генерують діючі БГУ в Україні
- На 1 МВт<sub>ел</sub> встановленої потужності генерується **від 20 до 200 тис. т/рік дигестату**, в залежності від виду сировини
- В середньому на 1 МВт<sub>ел</sub> встановленої потужності генерується **40-50 тис. т/рік дигестату**

## Споживання сировини для біогазу в 2022 р.



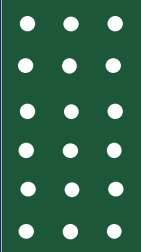
- Теоретичний потенціал удобрювальної цінності побічної продукції АПК, перетвореної на біогаз:

$C_{\text{орг}} > 12$  млн т → до **0,4 т/га ріллі**  
 $N > 0.7$  млн т → до **100% імпорту**  
 $P_2O_5 > 0.4$  млн т → до **100% імпорту**  
 $K_2O > 0.3$  млн т → до **100% імпорту**

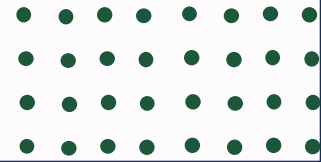
## Дигестат

1,725 млн т/рік сирої маси  
119,2 тис. т/рік сухої маси

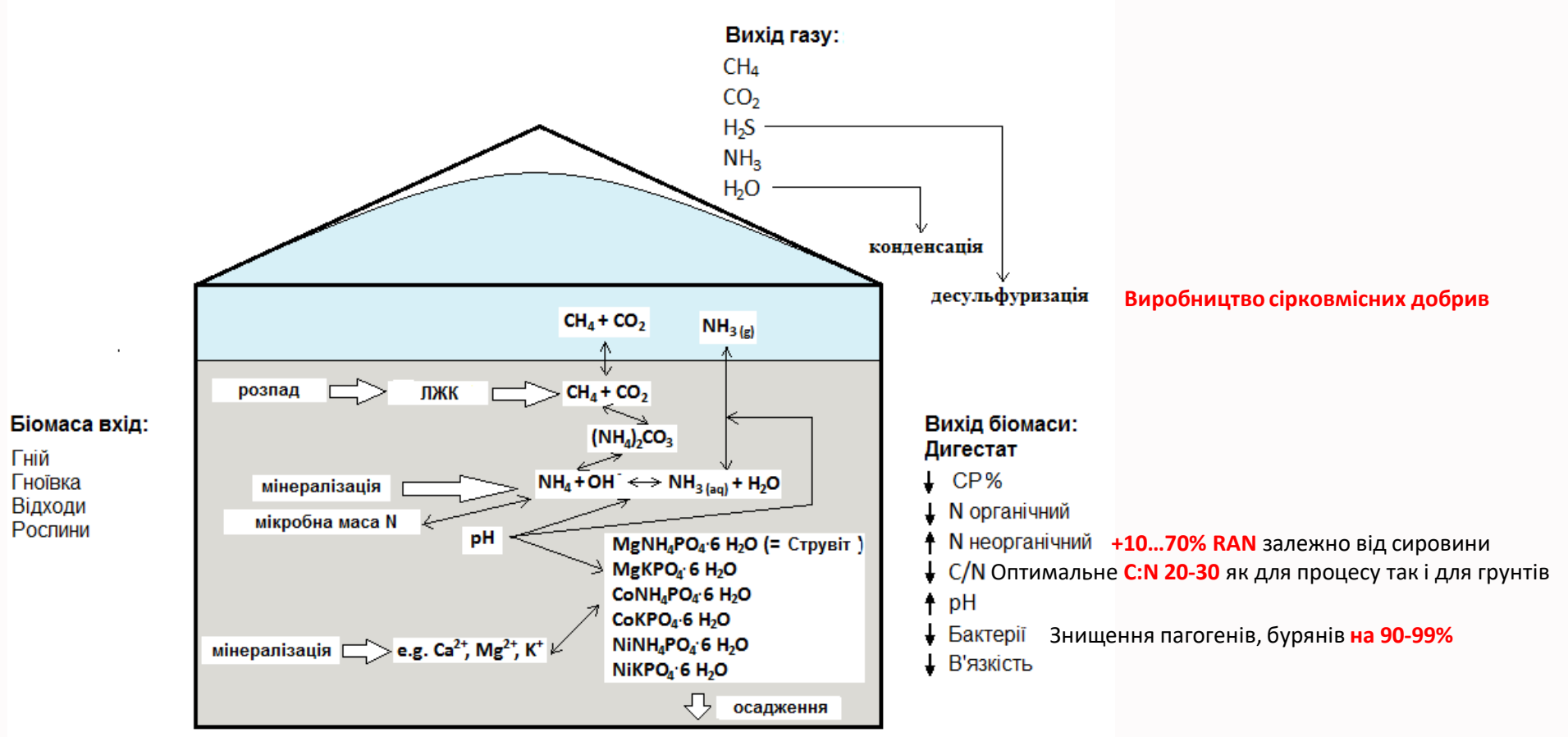




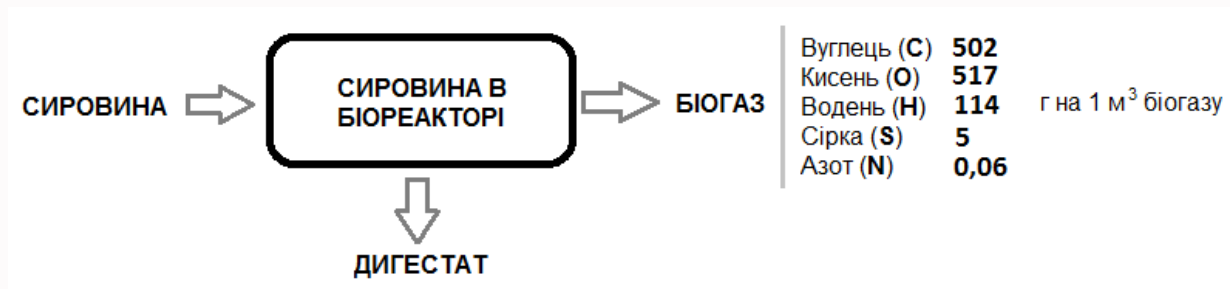
# Склад та властивості дигестату



# Утворення дигестату в процесі виробництва біогазу



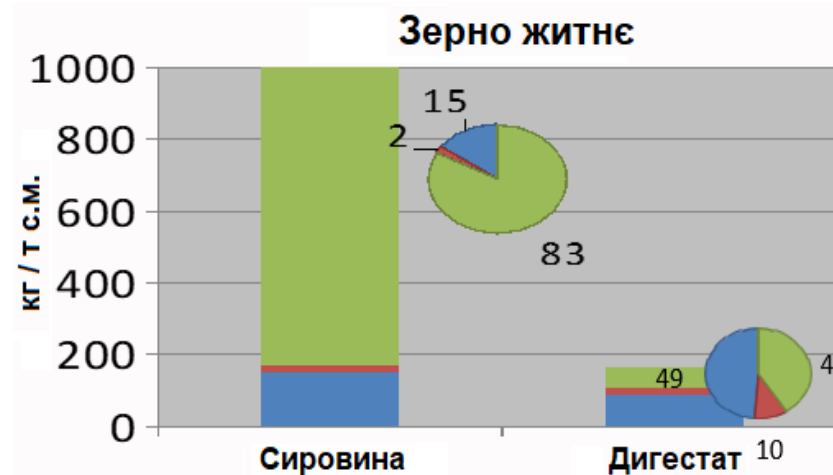
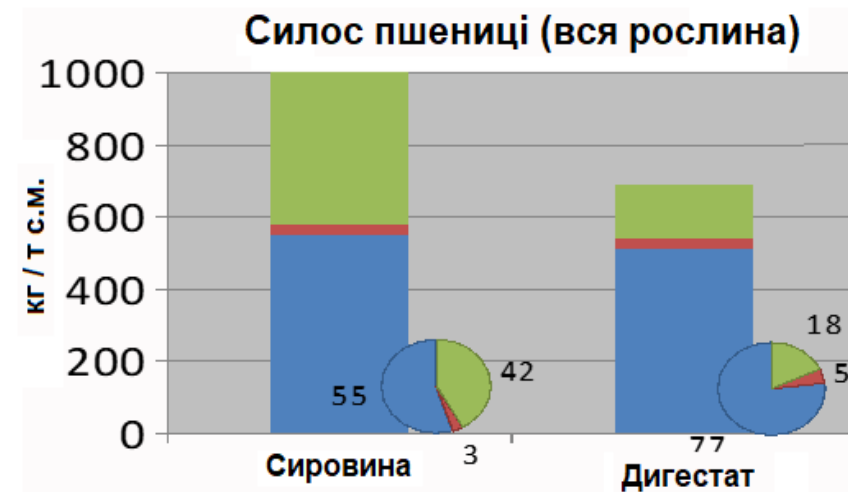
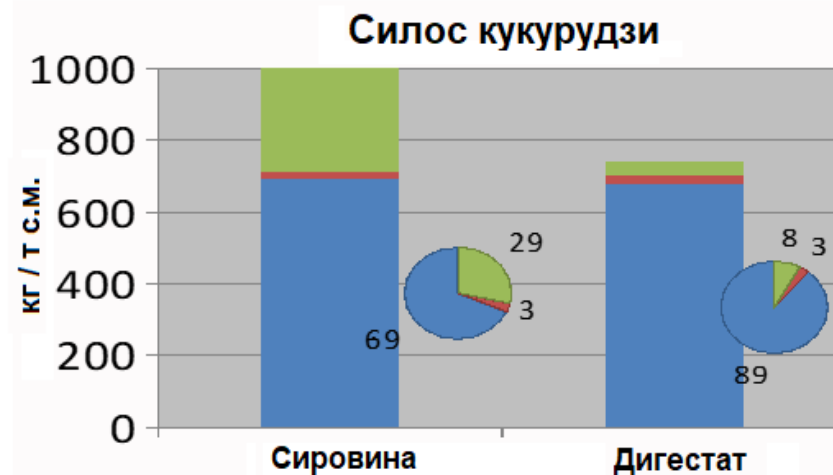
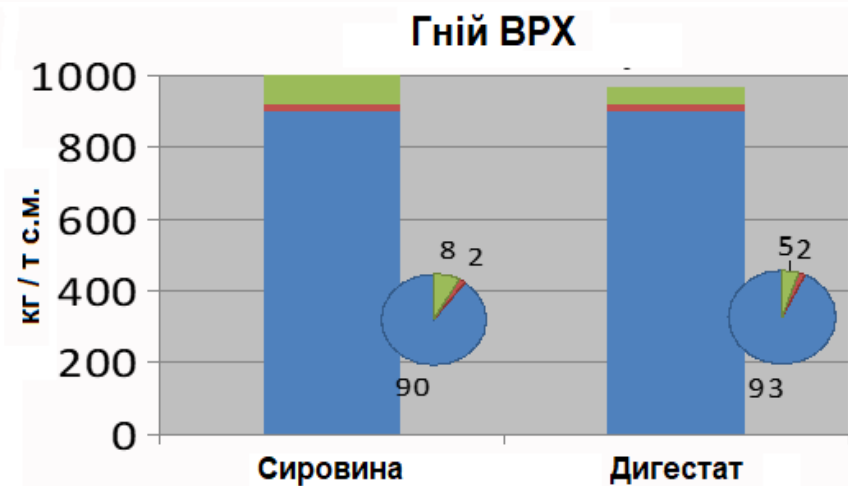
## COHSN втрати з біогазом



# Ключові цінності дигестату

- ✓ Містить **органічний вуглець**, в т.ч. в складі гумінових речовин (1...3% по масі)
- ✓ Містить **комплекс** необхідних для рослин **макро- та мікронутрієнтів** (N, P, K, Mg, S, ...)
- ✓ **Підвищує урожайність** с/г культур, у порівнянні з мінеральними добривами
- ✓ **Висока частка доступного для рослин азоту** (до +10...70% у порівнянні з не зброденими матеріалами)
- ✓ Оптимальне для ґрунту співвідношення **C:N = 20...30**
- ✓ Оптимальне для ґрунту значення показника **pH 6,8...7,5**
- ✓ Містить **активні популяції бактерій**, що сприяють розпаду органіки в ґрунті (біодобриво)
- ✓ **Волога** (сприяє проникненню в ґрунт поживних речовин, в т.ч. мінеральних добрив)
- ✓ **Сприяє зниженню щільності, підвищенню вологоутримуючої здатності та розкисленню ґрунтів**
- ✓ Потенціал **скорочення викидів парникових газів** (до 6 кг CO<sub>2eq</sub> на 1 кг заміщених азотних добрив)
- ✓ Органічне маркування продукції в промисловості органічного виробництва

# Зміна складу сировини після зброджування



- - органіка
- - зола
- - вода

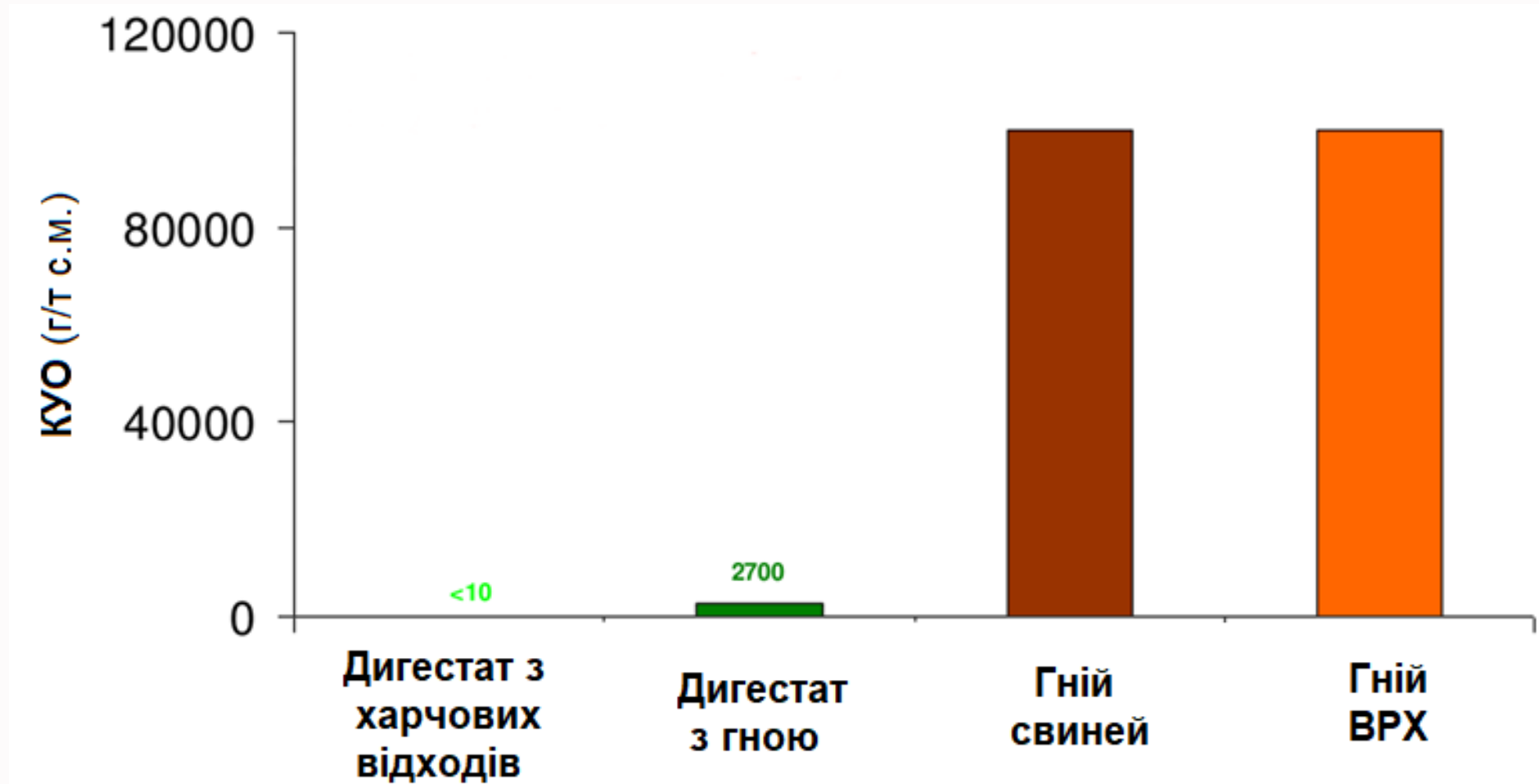
# Параметри процесу, що впливають на обсяг та склад дигестату

Параметр процесу	Вплив на склад дигестату
Додавання значної кількості свіжої води	<ul style="list-style-type: none"><li>• Збільшення обсягу утворюваного дигестату</li><li>• Низька концентрація солей/аміачного азоту</li><li>• Низький вміст сухих речовин</li></ul>
Значний обсяг рециркуляції рідкої фракції (повторне використання рідкої фракції дигестату як технологічної рідини)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Зменшення обсягу утворюваного дигестату</li><li>• Висока концентрація солей/аміачного азоту</li><li>• Збільшення вмісту сухих речовин в дигестаті</li></ul>
Короткий період утримання в реакторі	<ul style="list-style-type: none"><li>• Висока концентрація летких жирних кислот (VFA)</li><li>• Висока частка органіки в сухій речовині</li><li>• Низька частка амонійного азоту до загального азоту</li></ul>

# Вміст патогенів (T90- & T99,99-зменшення, обрані мікроорганізми)

Мікроорганізм	Мезофільна ферментація		Термофільна ферментація	
	T <sub>90</sub> (год)	T <sub>99,99</sub> (год)	T <sub>90</sub> (год)	T <sub>99,99</sub> (год)
<b>Віруси:</b>				
Класична чума свиней	4,8	19,2	0,03–0,17	0,12–0,68
Вірус ящура	24	96	0,13–1	0,52–4
Поліовірус	22,3–32,2	89,3–128,6	0,03–0,09	0,12–0,36
<b>Бактерії:</b>				
E. coli, ЕНЕС (кишкова паличка)	19,2–74,48	76,8–297,9	0,03–0,4	0,12–1,6
Сальмонела	21,6–168	86,4–672	0,06–2	0,24–8
Клостридіум ботулінум	525,6	2102	33,6	134,4

# Вміст патогену E.Coli в гноєві та в дигестаті



Bryan Lewens, UK 2017

Defra FIO-FARM project

# Порівняння між часом децимації (Т-90) деяких патогенів в процесі анаеробного зброджування та в системах без обробки гною

\* - знищення 90% патогенів

Бактерія	Система анаеробного зброджування		Система без обробки гною	
	53°C годин	35°C діб	18-21°C тижнів	6-15°C тижнів
<b>Salmonella typhimurium</b>	0.7	2.4	2.0	5.9
<b>Salmonella dublin</b>	0.6	2.1	-	-
<b>Escherichiacoli</b>	0.4	1.8	2.0	8.8
<b>Staphylococcus aereus</b>	0.5	0.9	0.9	7.1
<b>Mycobacterium paratuberculosis</b>	0.7	6.0	-	-
<b>Coliform bacteria</b>	-	3.1	2.1	9.3
<b>Group D Streptococci</b>	-	7.1	5.7	21.4
<b>Streptococcus faecalis</b>	1.0	2.0	-	-

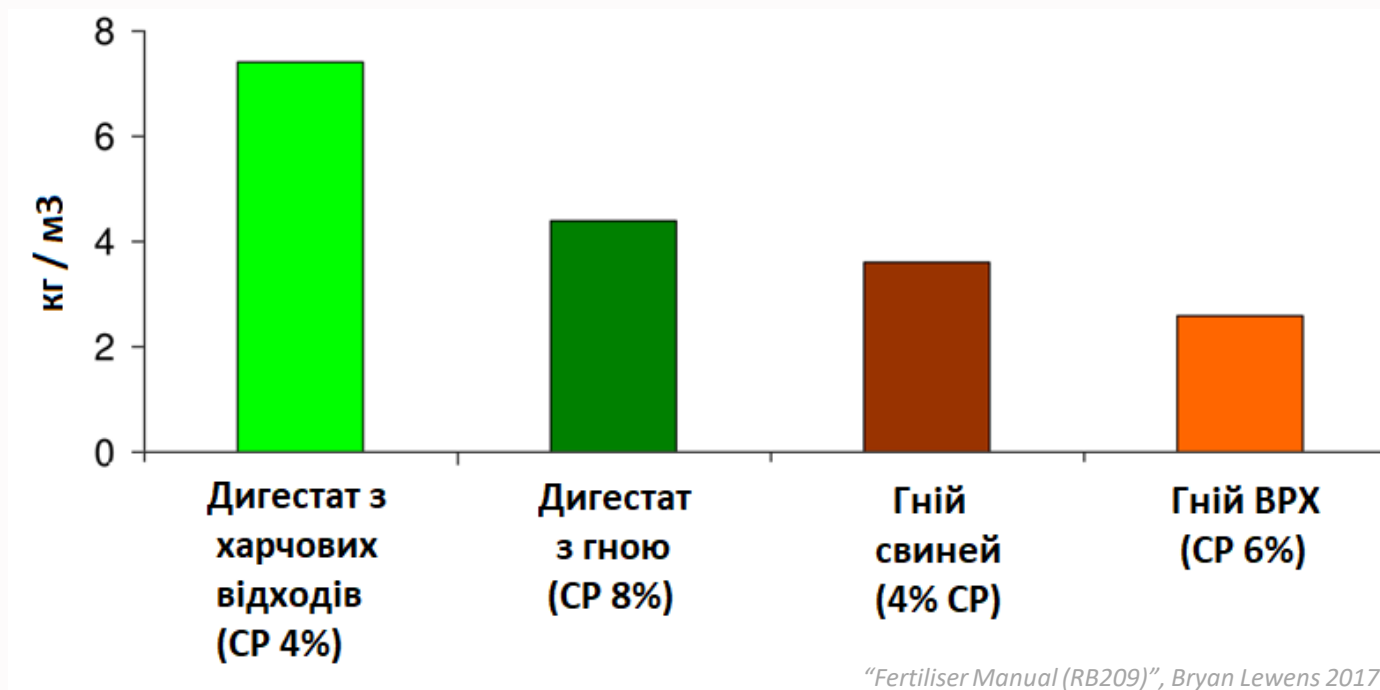


# Удобрювальна цінність дигестату

Середні типові значення вмісту поживних речовин в дигестаті

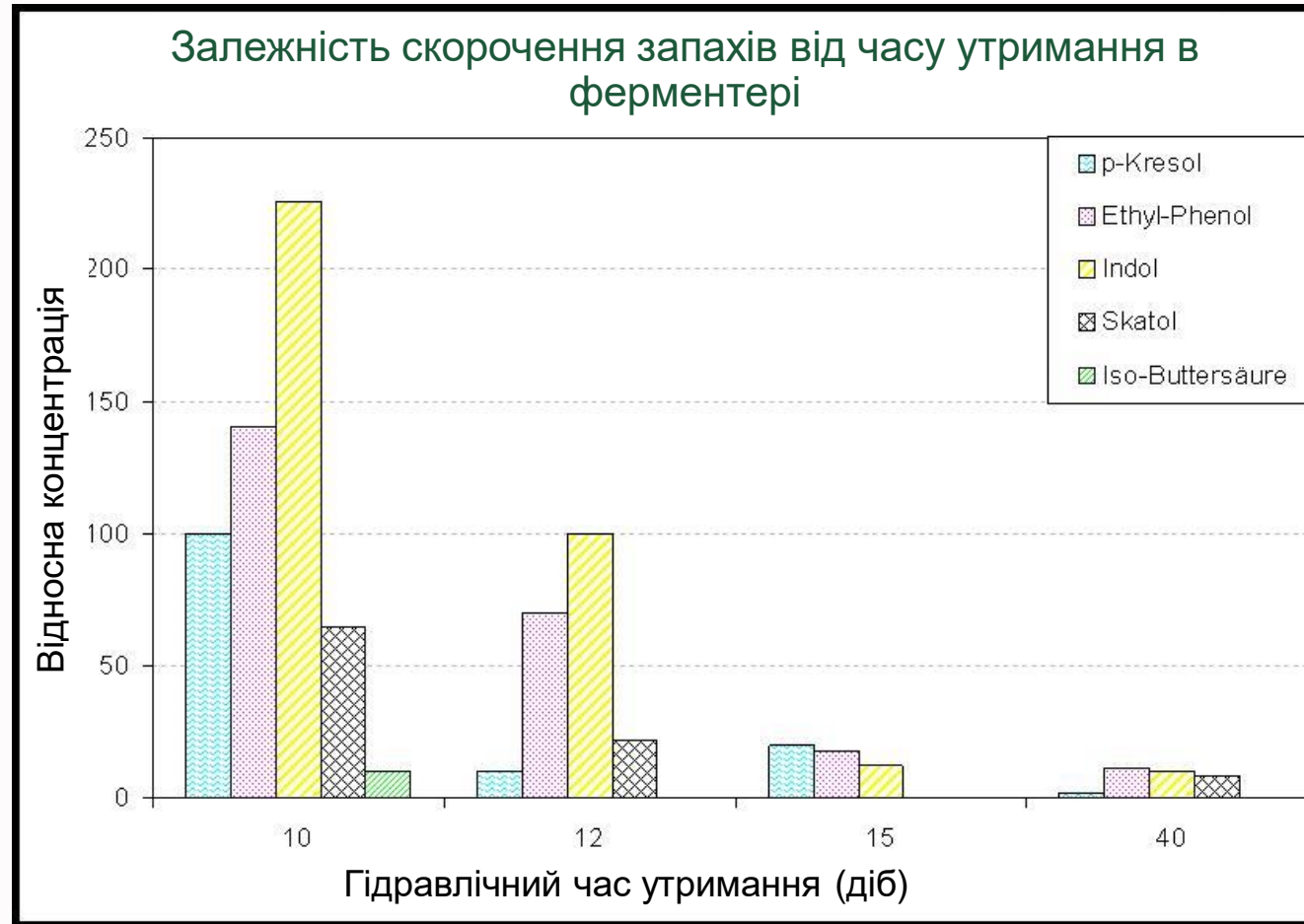
Форма дигестату	СР [%]	$N_{total}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$NH_4$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$NH_4$ [% of $N_{total}$ ]	$P_2O_5$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$K_2O$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Сирий дигестат	6.5	5.1	3.2	62.7	2.3	5.5
Рідка фракція	5.7	4.9	3.1	63.3	2.0	5.4
Тверда фракція	24.3	5.8	2.7	46.5	5.0	5.8

*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft*

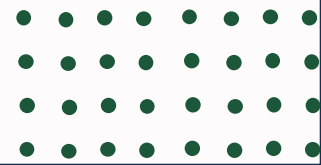


*"Fertiliser Manual (RB209)", Bryan Lewens 2017*

# Ароматика



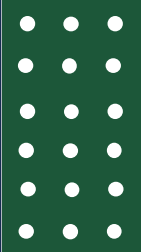
- В результаті анаеробної ферментації знижується концентрація індолу та скатолу, котрі відповідають за типовий запах фекалій, а також інших речовин
- Чим більша тривалість утримання сировини в ферментері, тим більшим є зниження інтенсивності неприємних запахів



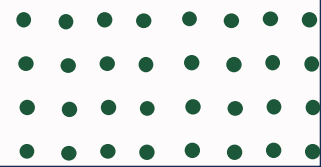
# Фітогігієна

**Патогени рослин:** анаеробна ферментація знищує багато патогенів рослин від 6 годин до 6 діб. Виняток: карантинні шкідники (наприклад, рак картоплі)

**Насіння бур'янів:** чим довше насіння в рідкому гної піддається процесу і чим вища температура, тим швидше знижується здатність до проростання.



# Управління якістю дигестату



# Напрямки управління якістю дигестату

- **Дігестат**, що утворюється в біогазових установках, - залишки сировини, побічних продуктів та відходів тваринного або рослинного походження, в суміші або ні, що утворюються в результаті контрольованого процесу анаеробного зброджування з виділенням біогазу, що відповідає вимогам, встановленим **Регламентом (ЄС) 2019/1009** Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року про встановлення правил розміщення на ринку добрив ЄС та вносить зміни до Регламентів (ЄС) 1069/2009 та (ЄС) 1107/ 2009 та про скасування Регламенту (ЄС) 2003/2003 (*визначення в Законі України «Про пестициди та агрохімікати»*)
- Є два основні напрямки управління якістю дигестату, а саме: **запобігання** та **обробка**.
- Основне правило полягає в тому, що якщо ефективного видалення забруднюючих речовин не може бути гарантоване ні попередньою обробкою, ні в процесі зброджування, відповідний матеріал не повинен використовуватися як вихідна сировина на біогазових установках, де дигестат використовується як добриво, або для інших сільськогосподарських цілей.

# Стратегії поводження з дигестатом

Рівень обробки дигестату	Поводження з дигестатом	Рекомендації відповідно рівням
<p><b>Базовий рівень:</b> Поточна переважаюча практика при наявності достатніх площ власних земель</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Розділення на рідку та тверду фракції</b> в шнековому сепараторі</li> <li>▪ Зберігання рідкої та твердої фракції до внесення на поля (весна/осінь)</li> <li>▪ Дигестат вноситься на поля як побічний продукт (відходи) переробки відходів/продукції рослинного та тваринного походження</li> <li>▪ Дигестат вноситься на власні поля компаній та агрохолдингів, розташовані в безпосередній близькості до біогазової станції</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Мінімізація обсягів утворення дигестату на етапі технологічного проектування біогазової станції</li> <li>▪ Зменшення витрат на доставку</li> <li>▪ Використання кращих практик щодо внесення дигестату</li> </ul>
<p><b>Альтернатива 1-го рівня:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ обсяги дигестату перевищують можливості по внесенню на власні поля;</li> <li>▪ компанія не має власних полів в доступній близькості</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Мінімізація обсягів з використанням скидного тепла</b> від КГУ та/або подальшим концентруванням методами фільтрації</li> <li>▪ Коригування вмісту поживних речовин в концентрованих розчинах до стандартизованих показників (виробництво спеціалізованого добрива під тип ґрунту та/чи під тип культури)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Рекомендується при необхідному радіусі доставки більше 15-20 км</li> <li>▪ Залучення спеціалізованих компаній з виробництва добрив на основі органічної сировини</li> </ul>
<p><b>Альтернатива 2-го рівня:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Доступних полів для внесення дигестату немає в економічно доцільному радіусі доставки;</li> <li>▪ Існує/створено попит на високоякісні органічні добрива з високою доданою вартістю</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Створення сертифікованих ринкових продуктів</b> – органічних добрив чи покращувачів ґрунту з дигестату чи його похідних, з використанням скидного тепла від КГУ та електричної енергії</li> <li>▪ Розміщення продуктів на ринку добрив (агрохімікатів)</li> <li>▪ Експорт</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Створення оператором системи контролю та забезпечення стандартизованої якості дигестату</li> <li>▪ Створення системи добровільної сертифікації</li> <li>▪ Залучення спеціалізованих компаній з виробництва добрив</li> </ul>

# Показники якості дигестату

Додають до цінності



$N_{tot}$  / RAN ( $NH_3$ )  
P ( $P_2O_5$ )  
K ( $K_2O$ )  
 $C_{org}$   
Мікроелементи (Cu, Zn, Mo, Co, Ni, Mn...)

## ПОЖИВНІ РЕЧОВИНИ

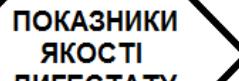


Ступінь розпаду органіки

pH

Запахи

## СТАБІЛЬНІСТЬ



## ЗАБРУДНИКИ

## ФАЗОВИЙ СТАН

Твердий

Рідкий

Концентрований

"Сирий"

Концентрований



Витрати на транспортування та внесення

### Механічні забруднення

Солома  
Ідентифікаційні бірки тварин  
Мотузки від тюків  
Пісок / Каміння / Гума / Скло / Деревина  
Металеві частини

### Важкі метали

Надмірна концентрація  
Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, As, Cu, Zn

### Органічні забруднення

Стійкі органічні забрудники (CO<sub>3</sub>)  
Пестициди

### Біологічні забруднення

Тваринні патогени  
Рослинні патогени  
Насіння бур'янів  
Віруси  
Кишкові паразити  
Мікотоксини

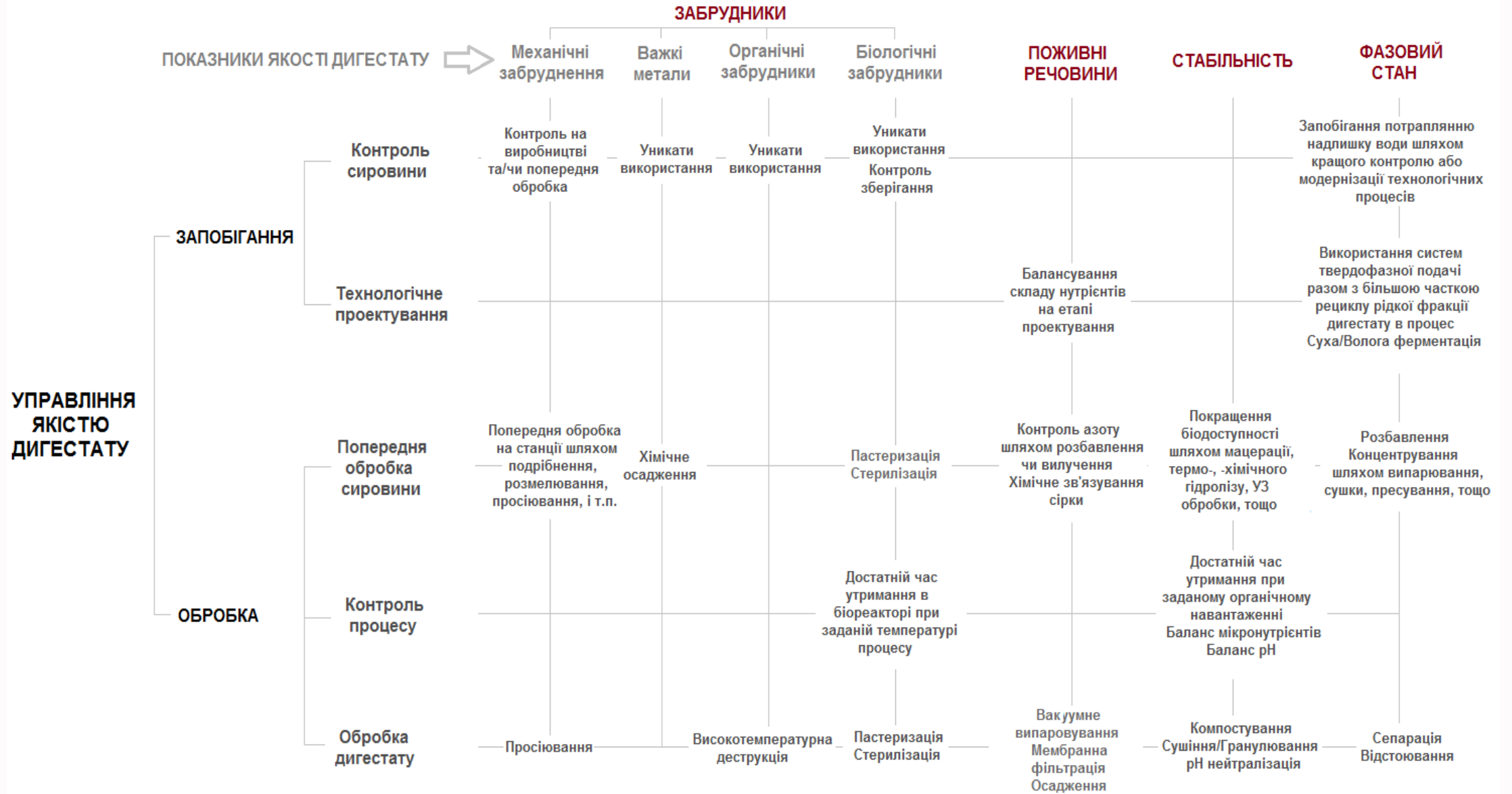


Знижують цінність

Зручність та безпека у використанні та торгівлі



# Матриця управління якістю дигестату





# Правові підстави для комерціалізації дигестату в ЄС

- Для доступу на ринок, будь-який вид добрив в ЄС повинен відповідати вимогам **Регламенту (ЄС) 2019/1009 щодо правил доступу на ринок ЄС удобрювальних продуктів** від 5 червня 2019 року.
- Головною особливістю даного Регламенту є чітка категоризація продуктів за функціональним призначенням та за матеріальною складовою
- Вимоги встановлюються як окремо до категорій продуктів за функціональним призначенням, так і до категорій продуктів за матеріальним компонентом
- **Вимоги до дигестату** стосуються:
  - походження сировини (практично всі види, окрім мулів стічних вод, органічної фракції ТПВ зі змішаного потоку, деяких категорій побічних продуктів тваринництва)
  - вмісту домішок (необхідних для регулювання біохімічного процесу),
  - чіткого розмежування ліній обробки сировини та дигестату (включно з місцями зберігання дигестату) в межах біогазової станції,
  - контролю розпаду органічного матеріалу (з поєднанням термофільного режиму зброджування при 55°C, пастеризацією та/або компостуванням), вмісту макроскопічних домішок (скла, металу чи пластику),
  - залишкової біохімічної активності (вираженої через споживання кисню або залишковий потенціал утворення біогазу)
- За умови відповідності нормам Регламенту, дигестат чи продукт з нього може бути класифікований за функціональним призначенням і отримати маркування **CE**, щоб таким чином мати вільний доступ на ринки ЄС

# Категоризація добрив за функціональним призначенням

КАТЕГОРІЇ ПРОДУКТІВ ЗА ФУНКЦІОНАЛЬНИМ ПРИЗНАЧЕННЯМ (PFC)					
PFC рівень 1	_PFC рівень 2	_PFC рівень 3	_PFC рівень 4	_PFC рівень 5	_PFC рівень 6
1. Добриво	A. Органічне добриво	I. Тверде органічне добриво			
		II. Рідке органічне добриво			
	B. Органо-мінеральне добриво	I. Тверде органо-мінеральне добриво			
		II. Рідке органо-мінеральне добриво			
	C. Неорганічне добриво	I. Неорганічне макро-нутриєнтне добриво	(a) Тверде неорганічне макро-нутриєнтне добриво	(i) Тверде неорганічне макро-нутриєнтне добриво направленої дії	(A) Тверде неорганічне макро-нутриєнтне амоній-нітратне добриво направленої дії з високим вмістом азоту
				(ii) Композиційне тверде неорганічне макро-нутриєнтне добриво	(A) Композиційне тверде неорганічне макро-нутриєнтне амоній-нітратне добриво з високим вмістом азоту
			(b) Рідке неорганічне макро-нутриєнтне добриво	(i) Рідке неорганічне макро-нутриєнтне добриво направленої дії	
				(ii) Композиційне рідке неорганічне макро-нутриєнтне добриво	
		II. Неорганічне мікро-нутриєнтне добриво	(a) Неорганічне мікро-нутриєнтне добриво направленої дії		
			(b) Композиційне неорганічне мікро-нутриєнтне добриво		
2. Хімічний меліорант					
3. Покращувач ґрунту	A. Органічний покращувач ґрунту				
	B. Неорганічний покращувач ґрунту				
4. Ґрунтове середовище					
5. Інгібітор	A. Інгібітор нітрифікації				
	B. Інгібітор денітрифікації				
	C. Інгібітор уреаз				
6. Стимулятор росту рослин	A. Мікробний стимулятор росту рослин				
	B. Не мікробний стимулятор росту рослин				
7. Удобрювальна суміш					

# Категоризація добрив за компонентним складом

<b>КАТЕГОРІЇ ПРОДУКТІВ ЗА КОМПОНЕНТНИМ СКЛАДОМ (СМС)</b>
СМС 1: Природні речовини та суміші
СМС 2: Рослини, їх частини або екстракти
СМС 3: Компост
<b>СМС 4: Дигестат з рослинної сировини</b>
<b>СМС 5: Дигестат інший</b>
СМС 6: Побічні продукти харчової промисловості
СМС 7: Мікроорганізми
<b>СМС 8: Полімери нутрієнтів</b>
СМС 9: Полімери інші
СМС 10: Похідні продукти у значенні Регламенту (ЄС) № 1069/2009
СМС 11: Побічні продукти у значенні Директиви 2008/98/ЄС

# Вимоги до вхідних матеріалів – дигестат може містити:

## Дигестат з рослинної сировини

- рослини або частини рослин, вирощені для виробництва біогазу, а також водорості (окрім синьо-зелених – ціанобактерій), в свіжому або попередньо збродженому вигляді
- добавки для процесу (zareєстровані та дозволені), але не більше 5% від маси сировини

## Дигестат інший

- біо-відходи з систем роздільного збору ТПВ
- відходи тваринного походження, не призначені для вживання людиною (дозволені)
- живі чи мертві організми чи їх частини, необроблені або виділені шляхом визначеного списку процесів, за виключенням: органічної фракції змішаних ТПВ, осадів СВ, промислових осадів, відходів тваринного походження (не дозволених)
- добавки для процесу (zareєстровані та дозволені), але не більше 5% від маси сировини
- перераховані види дозволених вхідних матеріалів можуть бути в свіжому, попередньо збродженому або попередньо компостованому вигляді, але не повинні містити більш ніж 6 мг/кг PAH<sub>16</sub>

PAH – поліциклічні ароматичні вуглеводні

PAH<sub>16</sub> – сума naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, dibenzo[a,h]anthracene and benzo[ghi]perylene

# Вимоги до процесу обробки вхідних матеріалів стосується обох видів дигестату

- Анаеробне зброджування повинно складатися з **контрольованого розкладання** біорозкладаних матеріалів, яке є **переважно анаеробним і при температурах, придатних для мезофільних або термофільних бактерій**
- Усі частини кожної партії матеріалу повинні **регулярно та ретельно перемішуватись** так, щоб забезпечити належний рівень санітарної обробки та однорідність матеріалу
- Під час процесу анаеробного зброджування всі частини кожної партії матеріалу **повинні піддаватись одному з наступних температурно-часових режимів:**
  - 1) термофільне анаеробне зброджування при **55°C** протягом принаймні **24 годин з подальшим** гідравлічним часом утримання **щонайменше 20 діб**
  - 2) термофільне анаеробне зброджування при **55 °C** або мезофільне анаеробне зброджування при **37-40 °C** з **подальшим процесом пастеризації** (при **70°C** протягом **1 години**)
  - 3) термофільне анаеробне зброджування при **55 °C** або мезофільне анаеробне зброджування при **37-40 °C** з **подальшим компостуванням** при наступних умовах:
    - при температурі **70 °C** та більше протягом принаймні **3 діб**
    - при температурі **65 °C** та більше протягом принаймні **5 діб**
    - при температурі **60 °C** та більше протягом принаймні **7 діб**
    - при температурі **55 °C** та більше протягом принаймні **14 діб**

# Вимоги до організації процесу на біогазовій станції

стосується обох видів дигестату

- **виробничі лінії** підготовки вхідних матеріалів для дигестату з рослинної сировини та дигестату іншого повинні бути **чітко розмежовані між собою**
- **забезпечено відсутність будь-якого фізичного контакту між вхідними матеріалами та дигестатом**, в т.ч. під час зберігання

## Вимоги до стабільності дигестату

стосується обох видів дигестату

**Повинна виконуватись принаймні одна з наступних умов:**

- **рівень споживання кисню не більше 25 ммоль O<sub>2</sub>/кг органічної речовини, або**
- **не більше 0,25 л біогазу на 1 г ЛОС (летких органічних сполук, при 550 °C)**

## Вимоги до вмісту домішок

стосується лише дигестату іншого

- не повинен містити більш, ніж 3 г/кг сухої речовини макроскопічних домішок розміром більше 2 мм для кожного з окремих видів домішок, включно: **скло, метал або пластик**
- не повинен містити більш, ніж 5 г/кг сухої речовини макроскопічних домішок розміром більше 2 мм суми окремих видів домішок, включно: **скло, метал або пластик**

## Вимоги до вмісту РАН<sub>16</sub>

стосується лише дигестату іншого

- ні рідка, ні тверда фракції дигестату не повинні містити більш, ніж 6 мг/кг РАН<sub>16</sub>

# Вимоги до окремих функціональних продуктів

Показник		ВИМОГИ ДО СКЛАДУ ОКРЕМИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ЗГІДНО Регламенту (ЄС) 2019/1009			
		PFC 1(A): ОРГАНІЧНЕ ДОБРИВО		PFC 3(A): ОРГАНІЧНИЙ ПОКРАЩУВАЧ ҐРУНТУ	PFC 4: ҐРУНТОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ
		PFC 1(A)(I): ТВЕРДЕ ОРГАНІЧНЕ ДОБРИВО	PFC 1(A)(II): РІДКЕ ОРГАНІЧНЕ ДОБРИВО		
Походження матеріалу		100% виключно біологічне		95 % виключно біологічне	повинне бути добривом в ЄС, крім ґрунту in situ
C <sub>орг</sub>		> 15 % п.м.	> 5 % п.м.	> 7.5 % п.м.	н.в.
Поживні речовини		> 4 % п.м.	> 3 % п.м.	н.в.	н.в.
Cd	[мг/кг СР]	< 1.5		2	1.5
Cr VI		< 2		2	2
Hg		< 1		1	1
Ni		< 50		50	50
Pb		< 120		120	120
Неорг. As		< 40		40	40
Cu		< 300		300	200
Zn		< 800		800	500
Біурет C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub>		не має містити		н.в.	
Фосфонати		Не повинні додаватись. Випадкове потрапляння не повинно перевищувати 0.5% п.м.			
Патогени	Salmonella spp.	відсутня в 25 г чи 25 мл			
	Escherichia coli чи Enterococcaceae	< 1000 в 1 г чи 1 мл			
Органічна речовина		> 26.8 % п.м.	> 8.9 % п.м.	> 13.4 % п.м.	н.в.
Суша речовина		н.в.		> 20 % п.м.	н.в.
N заг.		> 1 % п.м.	> 1 % п.м.	н.в.	н.в.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		> 1 % п.м.	> 1 % п.м.	н.в.	н.в.
K <sub>2</sub> O		> 1 % п.м.	> 1 % п.м.	н.в.	н.в.
Насіння бур'янів		н.в.			
Домішки		н.в.			
S		н.в.			
рН		н.в.			
Солоність/Електропровідність		н.в.			



# Граничні значення вмісту важких металів в побічних продуктах (мг/кг СР), що можуть розміщуватись на землях в країнах, що входять до групи ІЕА Bioenergy Task 37

Країна/Регион	Cd	Pb	Hg	Ni	Zn	Cu	Cr
ЄС, рекомендовано	20	750	16	300	2500	1000	1000
ЄС, рекомендовано з 2015	5	500	5	200	2000	800	600
ЄС, рекомендовано з 2025	2	300	2	100	1500	600	600
Австрія	3 (10)	100 (600)	1 (10)	100 (400)	(3000)	(700)	100 (600)
Канада	3	150	0.6	62	500	100	210
Данія	0.8	120	0.8	30	4000	1000	100
Фінляндія	1.5	100	1	100	1500	600	300
Франція	3	180	2	60	600	300	120
Німеччина	10	900	8	200	2500	800	900
Ірландія	20	750	16	300	2500	1000	1000
Норвегія	2	80	3	50	800	650	100
Швеція	1	100	1	50	800	600	100
Швейцарія	1/0.7	120/45	1/0.4	30/25	400/200	100/70	70/na
Нідерланди	1.25	100	0.75	30	300	75	75
Великобританія	1.5	200	1	50	400	200	100

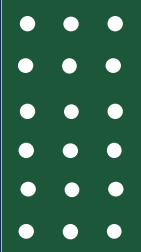
# Регулювання вмісту стійких органічних забруднень в добривах, що використовуються на орних землях в Австрії, Данії та Швейцарії

Органічне забруднення	Країна		
	Австрія (Düngemittel-verordnung, 2004)	Данія (Slambekendtgørelsen, 2006); Міністерство навколишнього середовища Данії	Швейцарія (Посібник з використання компосту та дигестату, 2010)
Поліциклічні ароматичні гідрокарбонати (PAHs)	6 мг/кг СР	3 мг/кг СР	4 мг/кг СР
Діоксини та фурани (PCDD/F)	20 нг ТЕ/кг СР		20 нг I-ТЕС*/кг СР
Хлорвмісні пестициди (HCH, DDT, DDE і т.п.)	0,5 мг/кг продукту		
Поліхлорбіфеніли (PCB)	0,2 мг/кг СР		
Органічні галогени, що здатні абсорбуватись (AOX)	500 мг/кг СР		
Лінійні алкілбензенсульфонати (LAS)		1300 мг/кг СР	
Нонилфенол та нонилфенолтоксилати (NPE)		10 мг/кг СР	
2-етилгексил фталат (DEPH Di)		50 мг/кг СР	

I-ТЕС: міжнародна одиниця еквівалентної токсичності; СР – суха речовина

# Витяг з переліку речовин (інгредієнтів, компонентів), що дозволяється використовувати у процесі органічного виробництва та які дозволені до використання у гранично допустимих кількостях

Найменування	Опис, вимоги до складу, умови застосування
Компостована або ферментована суміш речовин рослинного походження	Продукт, отриманий при змішуванні речовин рослинного походження, які пройшли процес компостування або анаеробної ферментації для виробництва біогазу
Дигестат біогазу, що містить побічні продукти тваринного походження, перероблені разом з матеріалами рослинного або тваринного походження, переліченими у цьому розділі	<p>Побічні продукти тваринного походження (включаючи побічні продукти диких тварин) категорії III та вміст шлунково-кишкового тракту категорії II (категорії II і III відповідно до Закону України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною») не повинні бути отримані з неорганічного тваринництва</p> <p>Процеси повинні відповідати Закону України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною»</p> <p>Не використовувати на їстівних частинах рослин</p>



# Методи обробки та збагачення дигестату

# Можливі мотивації поглибленої переробки дигестату

## Зниження вартості на зберігання, транспортування та внесення

- Сезонні обмеження
- Достатні об'єми для зберігання рідкої фракції дигестату
- Високі затрати на транспортування

## Додатковий дохід

Експорт в інші регіони → рельєф ділянок із надлишком поживних речовин

- Використання, окрім сільського господарства, наприклад, в озелененні, виноградарстві, садівництві
- Маркетинг приватним садівникам через садові центри, магазини будівельних виробів, ...
- Заміна середовища для вирощування, ґрунту для горщиків, заміна торфу тощо.

## Подальші вигоди

- Виробництво спеціальних добрив з відомим вмістом поживних речовин
- Зменшення втрат поживних речовин (втрата з нітратами), викидів NH<sub>3</sub>, добробуту тварин
- Кращі практики поводження (наприклад, гранули, мішки з ґрунтом для горщиків, ...)

Сировина, з якої утворюється дигестат

Технології виробництва біогазу

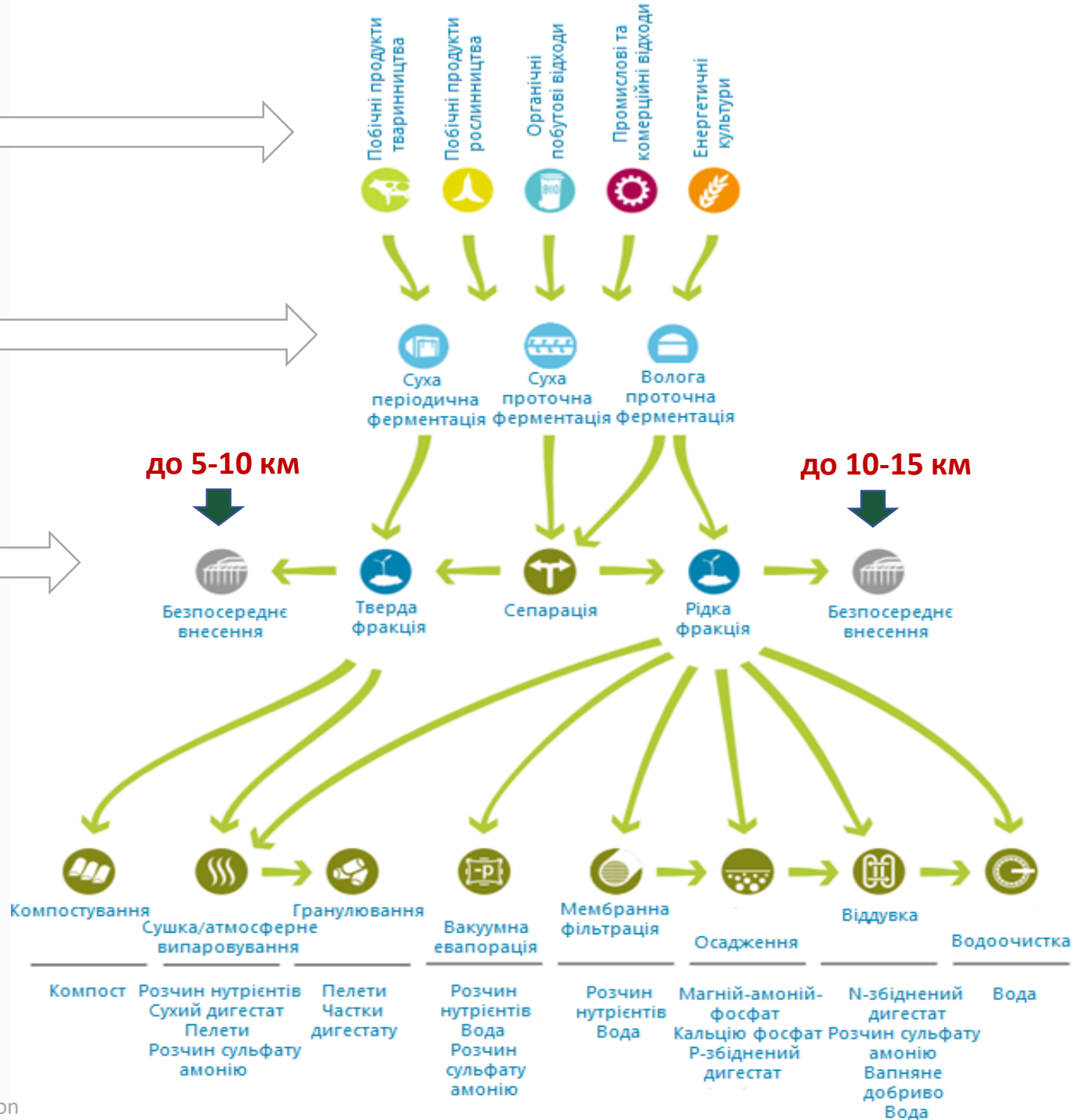
Розділення дигестату на рідку та тверду фракції

Методи обробки дигестату

Похідні продукти з дигестату

до 5-10 км

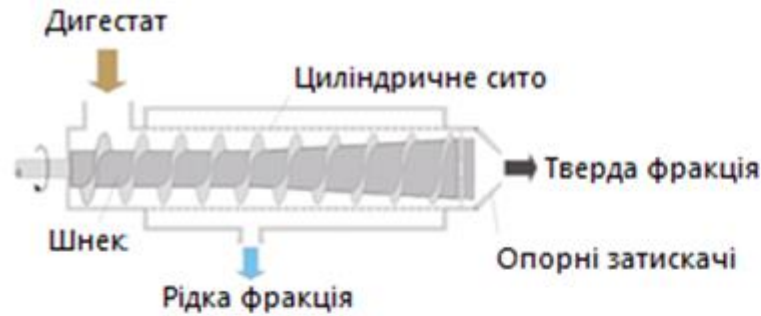
до 10-15 км





# Первинне розділення дигестату на рідку та тверду фракції

# Технології розділення на тверду та рідку фракції



Шнековий сепаратор



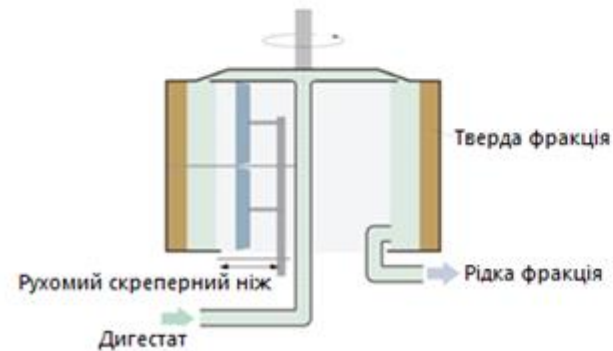
Осаджувальна центрифуга



Стрічковий прес-фільтр



Вакуумний стрічковий фільтр



Центрифуга періодичної дії

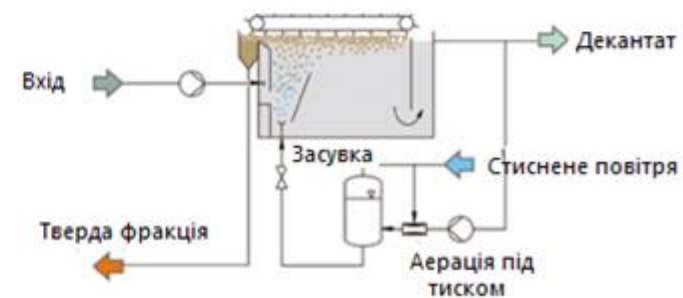


Схема флотації



# Шнековий прес-сепаратор

- Просте пристосування → часто застосовується
- Вимагає наявності грубих матеріалів для ефективної роботи
- Деталі, що зношуються: сита (залежить від вхідних речовин)
- Споживана потужність становить від 0,2-0,6 кВт·год/м<sup>3</sup> вхідного матеріалу, залежно від версії та продуктивності.

## Розділення:

15–20 % СР – в твердій фазі

до 5 % СР в рідкій фазі

## Інвестиції:

20 000 – 50 000 €

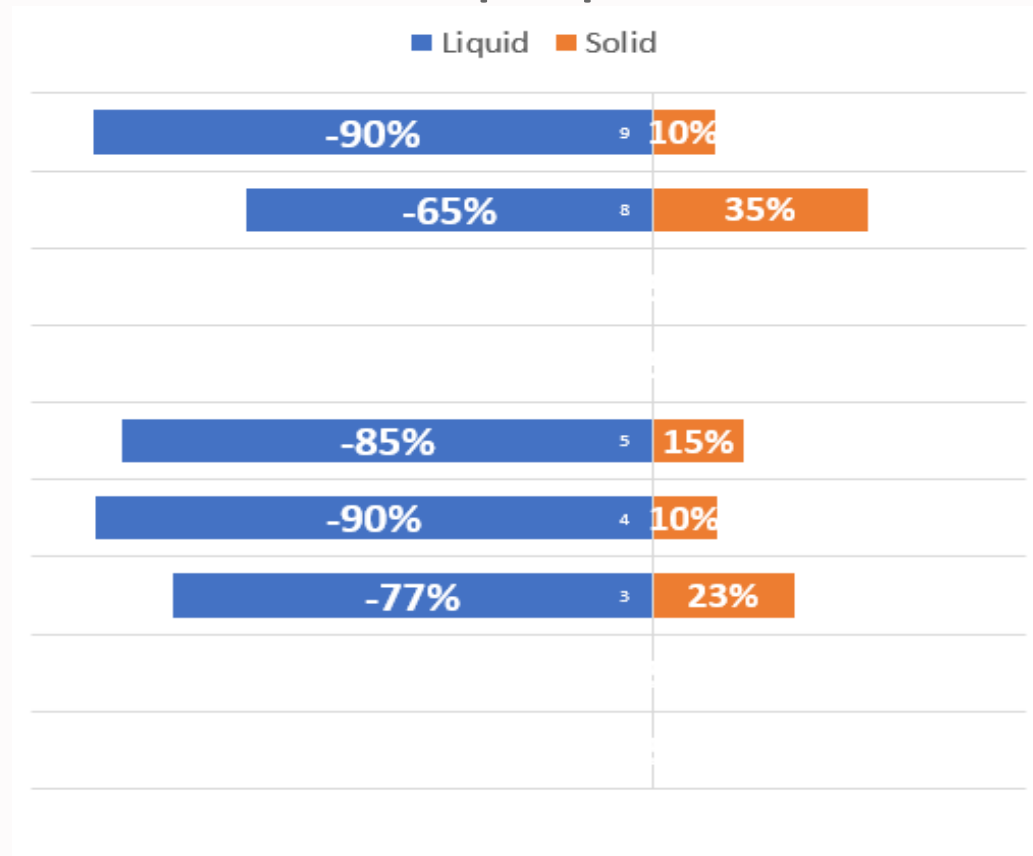


# Розподіл окремих компонентів при розділенні дигестату на рідку та тверду фракції в сепараторі шнекового типу

## Література



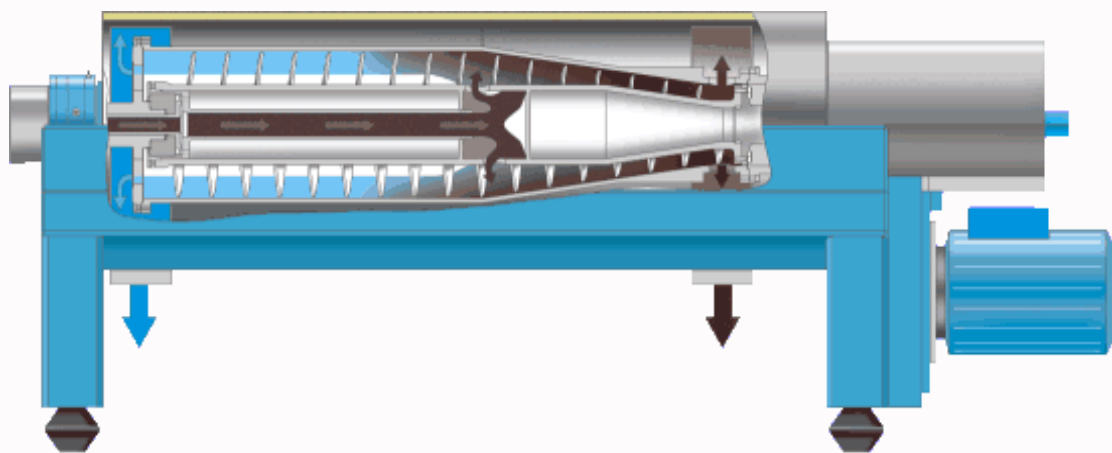
## Лабораторія



→ **Дуже індивідуально!** Якщо є можливість, варто аналізувати рівень нутрієнтів у вашому дигестаті

# Декантерна центрифуга

- Висока ступінь розділення, особливо при обробці дигестату з низьким вмістом сухої речовини, з переважною часткою дрібних та колоїдних частинок
- Підходить для подальшого повного виділення нутрієнтів
- Зазвичай потребує використання полімерів (осаджуючі/флокуляційні реагенти) для покращення відділення твердих речовин
- Споживання електроенергії складає 2-5 кВт·год/м<sup>3</sup>



Source: [www.huber.de](http://www.huber.de)

## Розділення:

- 30–40 % СР
- 1–3 % СР в рідкій фазі

## Інвестиції:

- 150 000–250 000 €

# Інші методи розділення

- **Стрічкові фільтри** також можуть використовуватися для обробки дигестату.
- Вони можуть бути двох типів: **стрічкові фільтр-преси та вакуумні стрічкові фільтри**.
- Для стрічкових фільтрів необхідне додавання осаджуючих та флокуляційних реагентів для підвищення ефективності розділення фракцій.
- Перевагами стрічкового фільтру є більша ефективність сепарації, порівняно з гвинтовим пресом, і менша потреба в енергії (1,5-2 кВт·год/м<sup>3</sup>), порівняно з осаджувальною центрифугою. Однак недоліком є значна потреба в реагентах – у 2-3 рази більша, ніж для центрифуг.
- Для ще глибшого видалення твердих часток з рідкої фракції застосовуються такі методи подальшої обробки як **осадження, флокуляція, флотація, вібраційні (вигнуті) сита**.
- Необхідність більш ефективного вилучення твердих речовин залежить від загальної концепції переробки відходів.
- Більш ефективно видалення твердих речовин є незамінним, якщо, наприклад, рідку фракцію в подальшому обробляють з використанням мембран.
- Також це є доцільним, коли, наприклад, вимагається високий рівень видалення фосфору.
- Поширеними реагентами для осадження/флокуляції є сульфат алюмінію ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), хлорид заліза ( $\text{FeCl}_3$ ), сульфат заліза ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) та вапно ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Таким чином, вибір методу сепарації повинен здійснюватися з урахуванням кінцевої концентрації реагентів у продуктах на основі дигестату.



# Поглиблена обробка та дигестату

# Основні задачі поглибленої обробки дигестату та їх застосування

Група методів	Метод	Застосування
Концентрування	Сушіння та гранулювання твердої фракції	Розширення можливості комерціалізації Зниження витрат на транспортування та внесення
	Випаровування рідкої фракції (атмосферне, вакуумне)	Зменшення (до 50%) об'єму рідкого дигестату Зниження витрат на транспортування та внесення
	Фільтрація рідкої фракції (мікро-, ультра-, нано- фільтрація, зворотній осмос)	Концентрування дигестату у рідкій формі Виробництво струвіту Зниження витрат на транспортування та внесення
Виділення окремих сполук	Віддувка аміаку з рідкої фракції (повітрям, парою)	Як правило використовується для зниження вмісту азоту в дигестаті при внесенні його в поля або поверненні в процес зброджування. Похідним продуктом є цінне добриво комерційного класу – сульфат амонію (або аміачна вода)
	Осадження струвіту ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) з пермеату після фільтрації	Виробництво аналогу синтетичних магнієво-амонієво-фосфатних добрив
	Адсорбція/гранулювання у рідкій фракції	Виробництво концентрованого продукту з рідкої фракції – гранульованого органічного добрива повільної дії



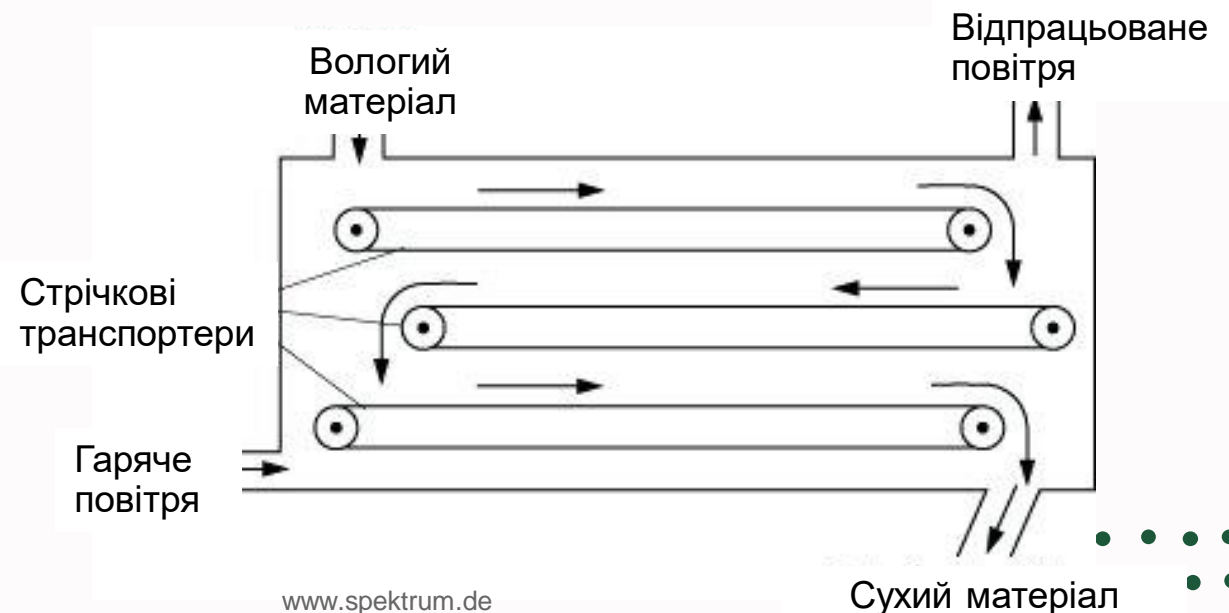
# Технології видалення вологи з дигестату

# Стрічкова сушарка

- Придатна для твердої фракції дигестату
- Проста технологія, незначне зношування запчастин
- Низька робоча температура  $\rightarrow$  100–150 °C
- Сушильний агент транспортується кількома стрічками через сушарку
- Потреба в теплі складає 750-1200 кВт·год/м<sup>3</sup> випареної води



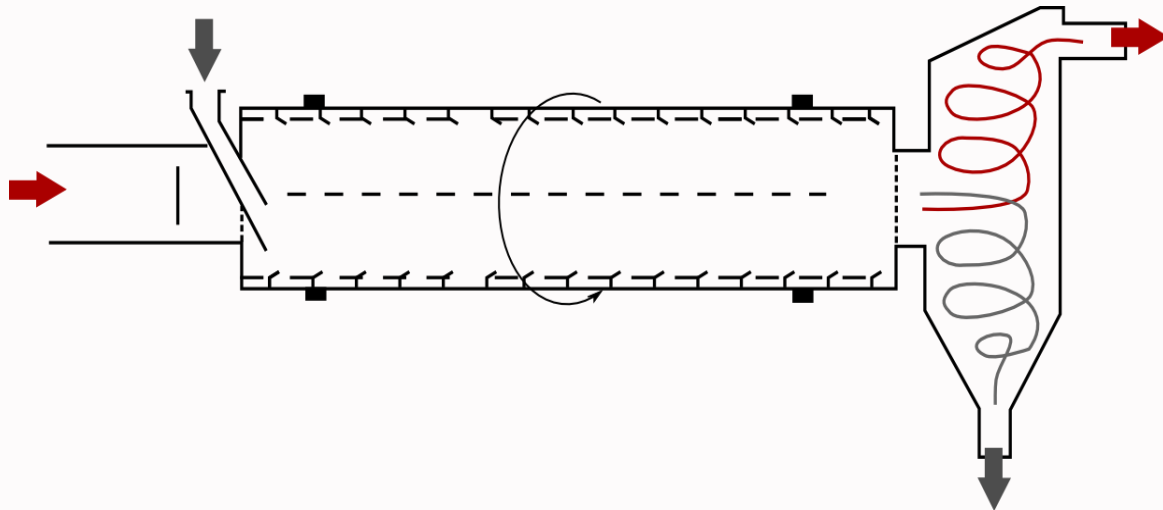
STELA Laxhuber GmbH





# Барабанна сушарка

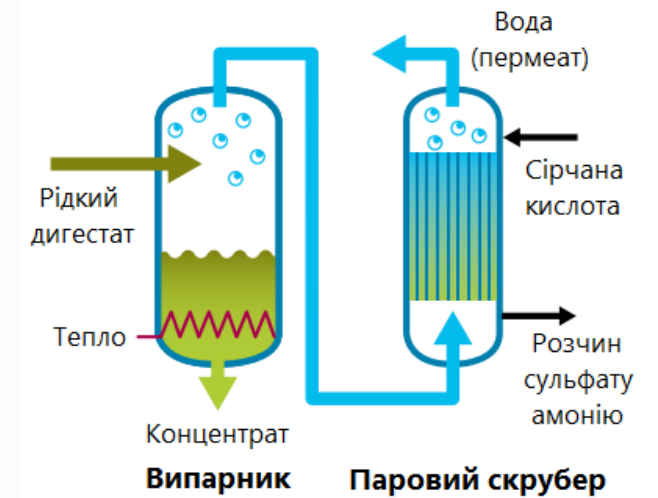
- Горизонтальний барабан, що обертається, вентилюється гарячим повітрям
- Постійне переміщення сушильного агента → інтенсивний контакт з гарячим повітрям
- Гаряче повітря 400 °C → відпрацьовані гази ТЕЦ



Fuchs & Drosig, 2010

# Вакуумний евапоратор

- Вакуумне випаровування відбувається в закритій системі, без утворення відпрацьованого повітря.
- Рідкий дигестат розподіляється по внутрішній поверхні випарника, внутрішніх нагрівальних плитах або теплообмінниках, наприклад, розбризкуванням або розливанням.
- Зниження тиску знижує температуру кипіння до 40-75°C, а це означає, що  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  (при незмінному значенні рН) виділяються з рідкої фракції. Цю парову суміш очищають від кислот і  $NH_3$  в розміщеному далі паровому скрубєрі і, при необхідності, конденсують.
- Потреби одностадійного процесу в електричній енергії становлять 10-13 кВт·год/м<sup>3</sup> вхідного дигестату, а потреба в теплі – 600-1000 кВт·год/м<sup>3</sup> випареної води.
- Часто кілька випарних модулів розташовують послідовно (багатоетапний процес), щоб використовувати тепло від парової суміші для наступного етапу. У 4-х етапному процесі потребу в електричній енергії можна зменшити до 5 кВт·год/м<sup>3</sup> вхідного дигестату, а потребу в теплі – до 250 кВт·год/м<sup>3</sup> випареної води.
- Виходячи із загального досвіду, потреба в тепловій енергії становить близько 300-350 кВт·год/т випареної води.

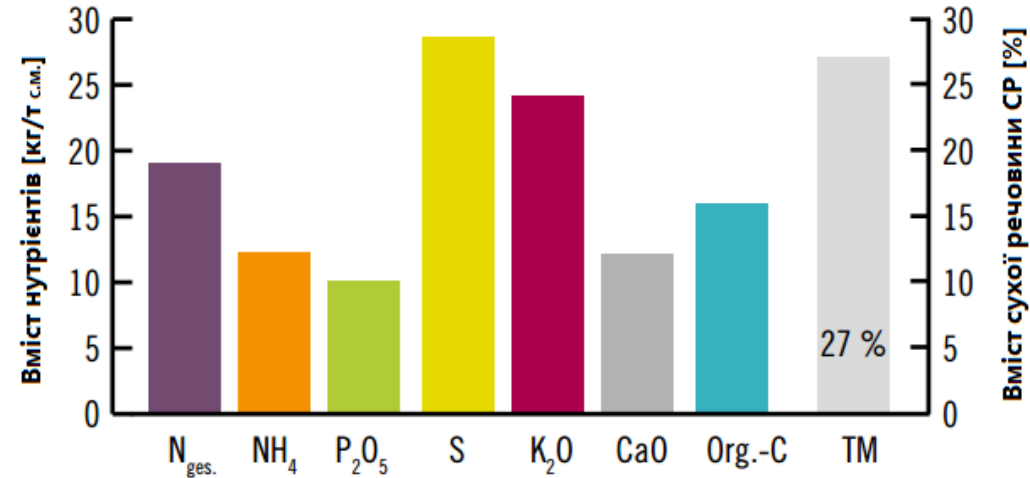


# Приклад вакуумного випаровування дигестату на біогазовій станції Bersenbrück 1,3 МВт<sub>ел</sub> (Німеччина)

Багатоступеневий випарник Arnold



Склад сконцентрованого дигестату після вакуумного випаровування



- **30 000 тон дигестату** механічно розділяють на рідку і тверду фракції
- рідку фракцію нагрівають у випарнику скидним теплом з теплообмінників КГУ, а потім випарюють під вакуумом
- установка потребує лише **0,28 кВт·год на 1 л випаруваної води**
- для запобігання випаровуванню аміаку, значення рН дигестату перед нагріванням понижують додаванням сірчаної кислоти
- витрати на транспортування та утилізацію скорочуються приблизно на **70%**
- випарувана рідина конденсується і скидається в водойму

# «Сонячна» сушка

- При сушінні з використанням сонячної енергії дигестат розподіляється по підлозі великої теплиці і ворушиться самохідним візком.
- Тепле повітря з температурою близько 40°C подається вентиляторами по поверхні дигестату.
- Сушіння також забезпечується проникненням сонячної радіації в теплицю.

## Видаляє:

Воду

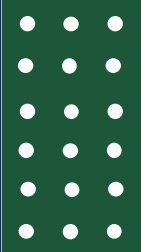
Часткові N-втрати

## Інвестиції:

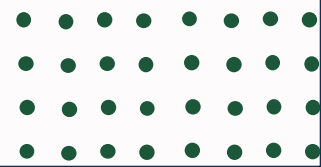
300 000 €

(дигестат з БГУ 450 кВт<sub>ел.</sub>)



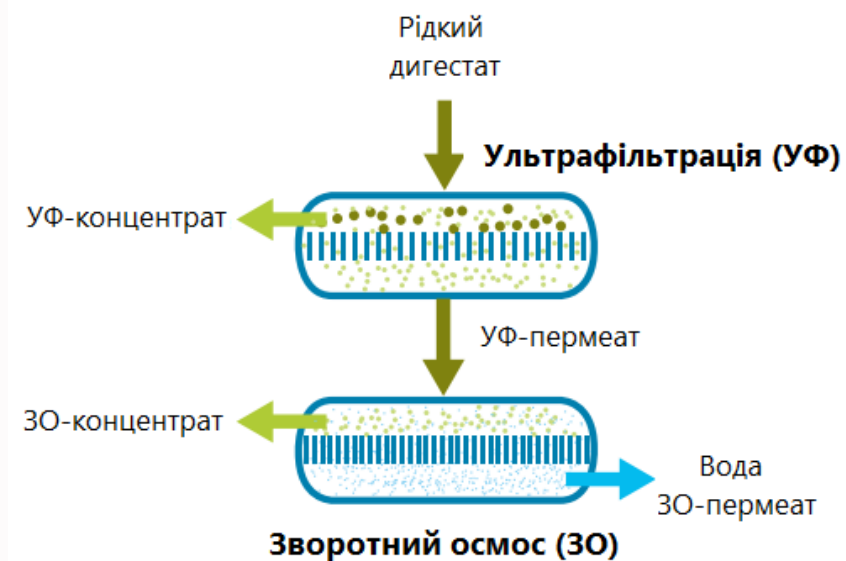


# Технології концентрування



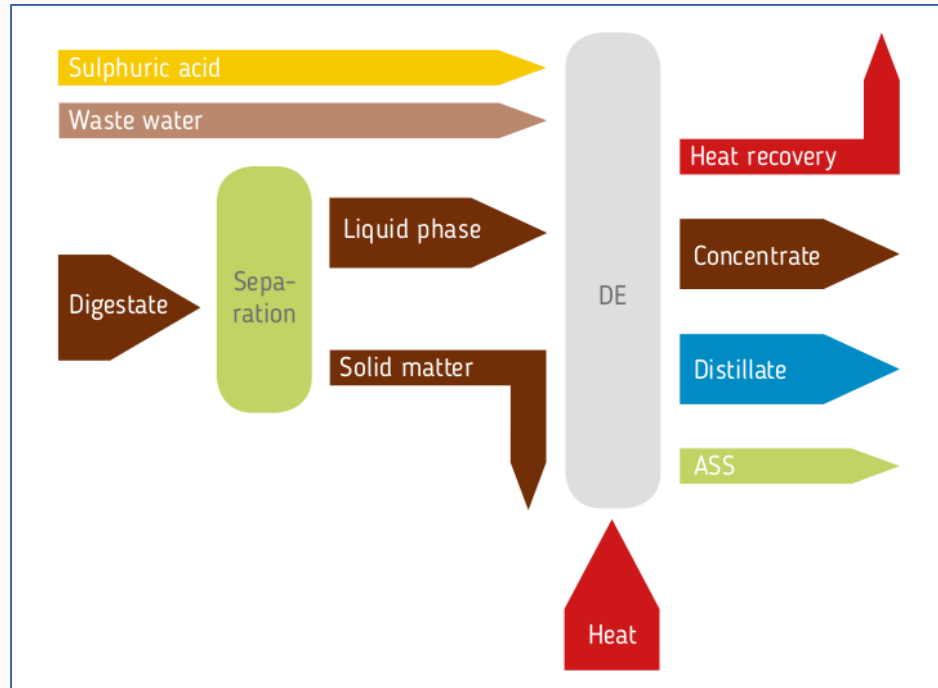
# Мембранна фільтрація

- При мембранній фільтрації зазвичай використовують різні мембрани з покроковим зменшенням розмірів пор (мікро, ультра, нанофільтрація та нарешті зворотний осмос).
- Для обробки рідкого дигестату зазвичай застосовують ультрафільтрацію (UF) з розміром пор 0,01–0,05 мікрметрів (мкм) та зворотний осмос (RO) з розміром пор 0,0005–0,005 мкм.
- Мембрани дуже чутливі до присутності твердих часток,
- По мірі забивання поверхні мембран, різко зростає потреба в енергії через часті інтервали на операції з очищення, а відтак зменшується їх продуктивність.
- Недоліком мембранної фільтрації є те, що лише обмежена кількість дигестату перетвориться на очищену воду, близько 50% дигестату накопичується як побічні продукти
- У процесі фільтрації накопичуються : тверда фракція, ультрафільтраційний осад, концентрат зворотного осмосу.
- З метою зменшення їх обсягів, ультрафільтраційний осад часто повертають у біогазову установку та/або на етап сепарації.
- Очищення мембран є досить дорогим і потребує значної кількості електричної енергії – 10–30 кВт·год/м<sup>3</sup> вхідного матеріалу.

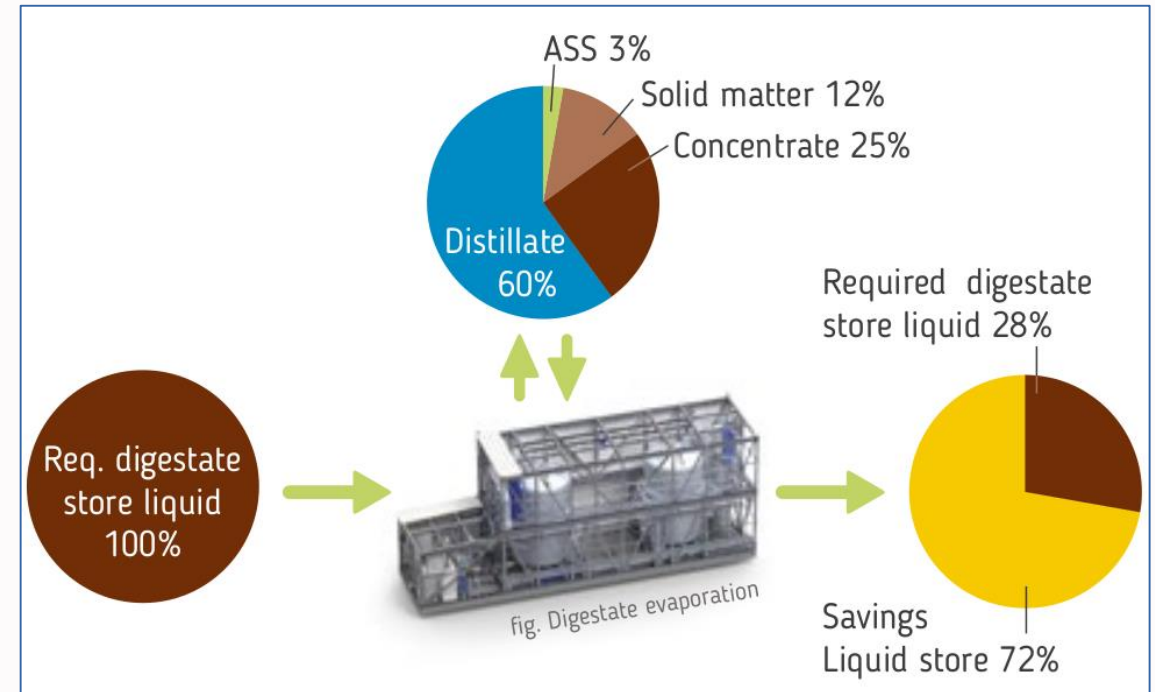


# Технологія упарювання дигестату Varogant

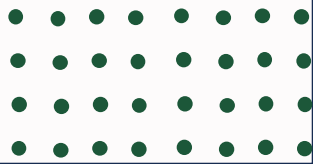
## Принцип роботи



## Масовий баланс



Source: [Biogastechnik Süd](#), 2022



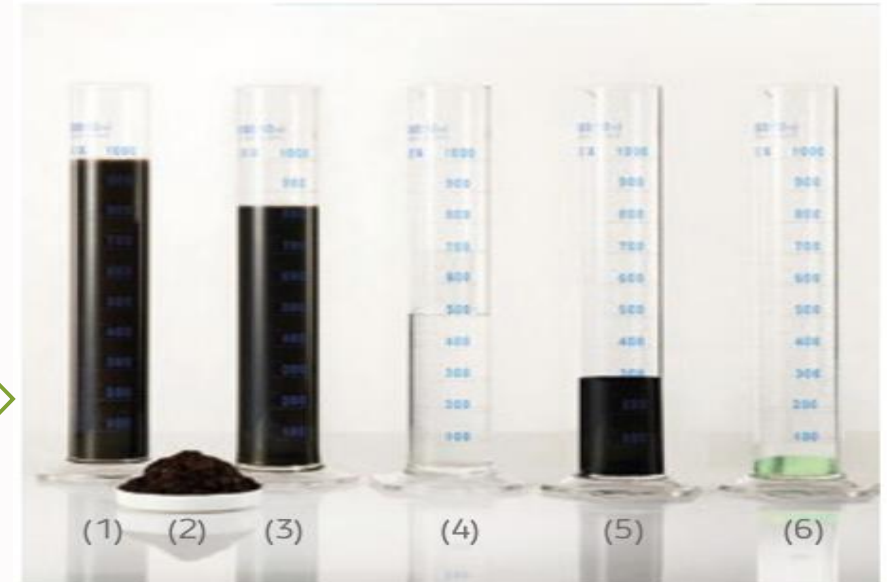
# Технологія упарювання дигестату Varogant

Еталонні значення балансу маси для  
випаровування дигестату

Доступне тепло = 300 кВт

Дигестат /стічна вода	1.5 м³/год	12,000 м³/рік
Сухі речовини	0.19 м³/год	1,600 м³/рік
Концентрат	0.54 м³/год	4,400 м³/рік
Дистилят	0.71 м³/год	5,800 м³/рік
ASS (розчин сульфату амонію)	39 л/год	320 м³/рік
Сірчана к-та	9.7 кг/год	79 т/рік

Продукти та напівпродукти

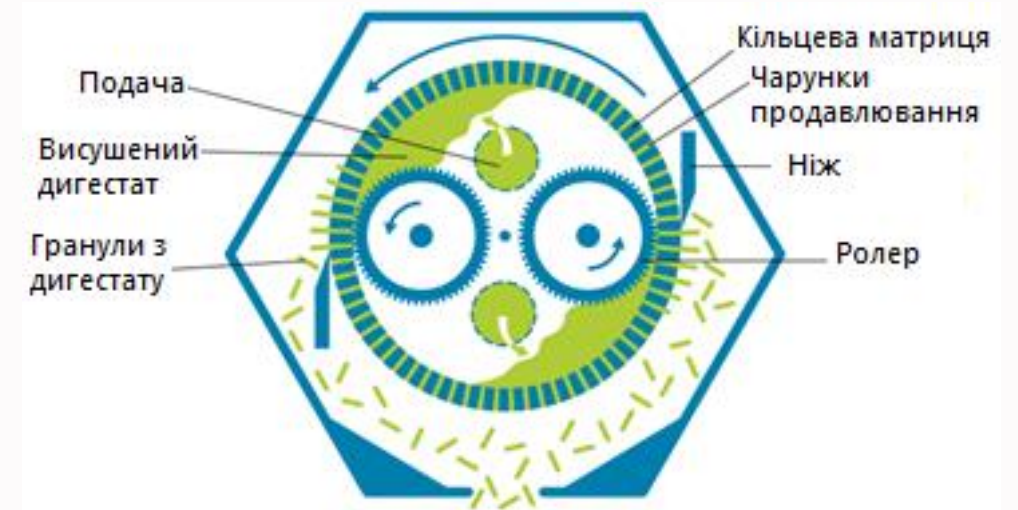


- 1) Дигестат з ферментера
- 2) Тверда фракція після сепарації
- 3) Рідка фракція після сепарації
- 4) Дистилят (випарена волога дигестату)
- 5) Концентрована рідка фракція
- 6) Розчин сульфату амонію (ASS)



# Гранулювання

- Для гранулювання вміст сухих речовин у висушеному дигестаті повинен складати 85-90%.
- Витрата електроенергії для гранулювання сушеного дигестату становить близько 30-50 кВт·год/т.
- Сипучий висушений дигестат має насипну щільність 250-350 кг/м<sup>3</sup>.
- Під час гранулювання виробляються гранули з насипною щільністю 700-750 кг/м<sup>3</sup> і, таким чином, значно зменшуються транспортні витрати та підвищується придатність для зберігання.
- Гранули з дигестату можуть також спалюватись

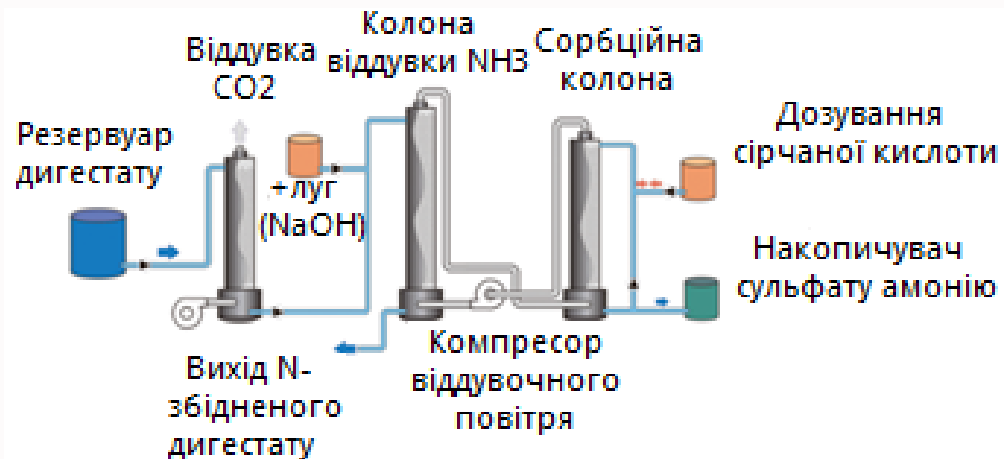




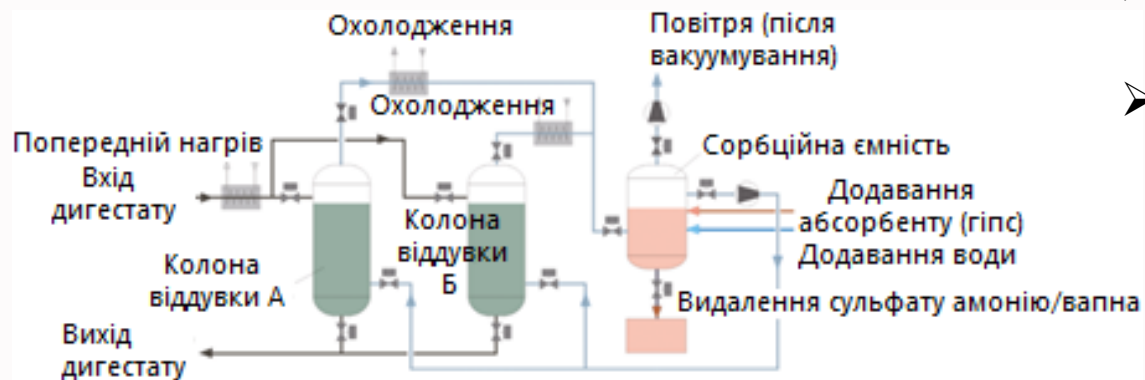
# Технології відбору поживних речовин

# Віддувка аміаку

Віддувка аміаку повітрям, включаючи видалення  $\text{CO}_2$  та регенерацію аміаку сірчаною кислотою



Замкнений процес віддувки без віддувних колон

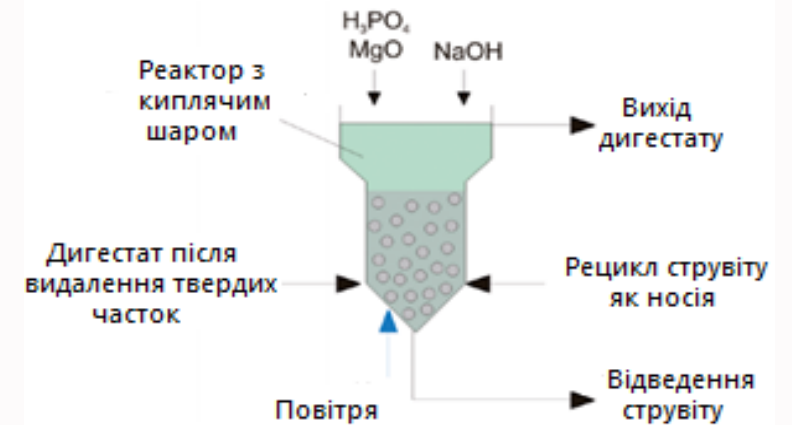
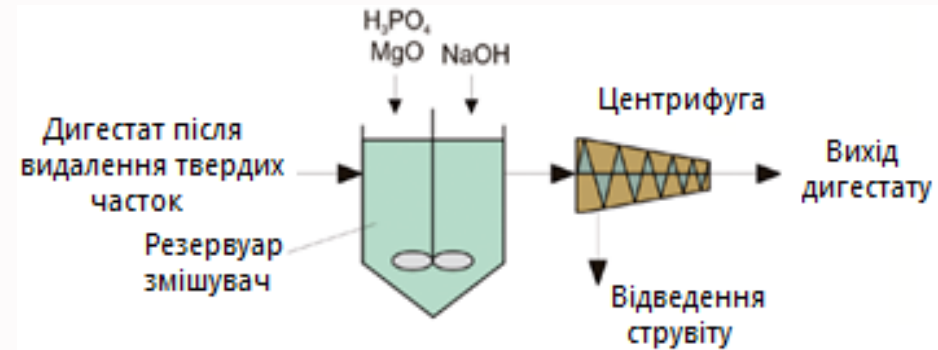


- При обробці дигестату метою є вилучення/регенерація азоту, у формі аміаку, з рідини
- Летючість аміаку у водному розчині може бути підвищена за рахунок підвищення температури та рН
- Надлишкове тепло від КГУ може використовуватись
- рН може бути підвищений дегазацією з видаленням  $\text{CO}_2$  або додаванням луку
- Для віддувки аміаку з дигестату застосовують в основному два процеси: віддувка повітрям та віддувка парою
- Кінцевий продукт при віддувці повітрям – сульфат амонію
- Кінцевий продукт при віддувці парою – сульфат амонію + аміачна вода з концентрацією аміаку до 25-35%

# Осадження струвіту (магнію амоній фосфату)



- Щоб досягти найбільшої ефективності вилучення поживних речовин, магній додають у надлишку, так щоб концентрація поживних речовин Mg:N:P складала приблизно 1,3:1:0,9
- Аміак майже завжди міститься у дигестаті у надлишку, в дигестат додаються окис магнію та фосфорну кислоту
- Крім того, трохи підвищують рівень рН до 8,5-9,0. Отриманий струвіт є гарним добривом, оскільки N, P і Mg – цінні для живлення рослин елементи



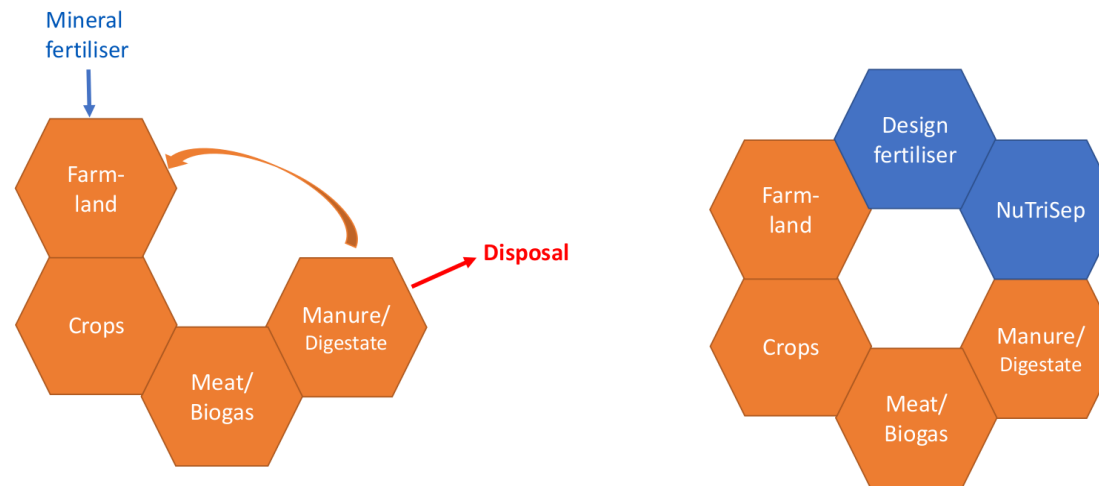


# Комплексні технології переробки дигестату

# Сепарація нутрієнтів з дигестату комбінованими технологіями– The NuTriSep process

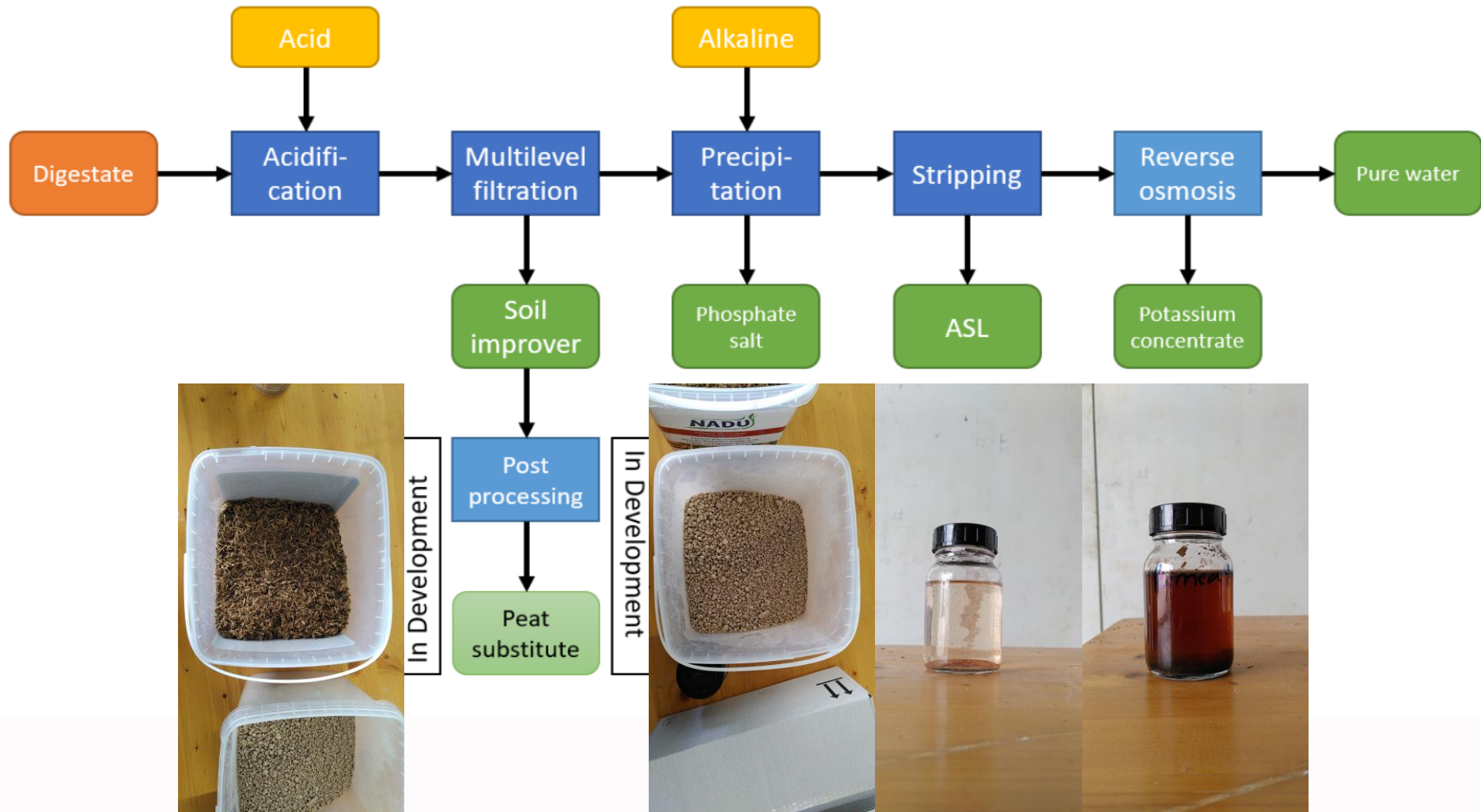
- Інноваційна технологія
- Розроблена компанією Geltz Umwelttechnik GmbH
- Пілотний завод в Agro Energie Hohenlohe GmbH & Co. KG з 2020

Основна  
ідея:



Source: Fabian Geltz, Geltz Umwelttechnik GmbH, 2021

# NuTriSep процес



# Технологія NuTriSep

Cost category	Costs in € per year
Operating supplies	360.000
Depreciation (10 years)	250.000
Interest (2%)	25.000
Personell (+1 person)	60.000
Energy (CHP Unit)	125.000
Maintenance	120.000
Insurance	20.000
<b>Sum</b>	<b>960.000</b>
<b>Costs per tonne (70.000 to per year)</b>	<b>13,71 €</b>
<b>(+ Potassium-Conc. + Peat substitute production)</b>	<b>(+ca. 5 €)</b>

Revenue per tonne Digestate

- Phosphate and ASL:  
4 €
- Peat substitute:  
up to 20 €

➤ **Up to 24 €**





# Продукти з дигестату та їх ринкові ніші

Похідні продукти з дигестату	CP, %	Обємна вага, кг/м <sup>3</sup>	Поживні речовини	Методи обробки	Споживання енергії	Споживання матеріалів	Застосування та ринкові ніші
Тверда фракція дигестату (SFD)	20-40		Комплекс N – 25-35% of RD P – 55-65% of RD K – 20-30% of RD C – 60-70% of RD	Сепарація дигестату	0.2-0.6 – SP 2-5 – DC 1.2-5 - BP	Нема (для сирого дигестату з високим вмістом волокон) Осаджувальні реагенти/ флокулянти (для тонкої сепарації)	Комплексне органічне добриво; Покращувач ґрунту; Компонент для компостування; Компонент для рекультиваци ґрунтів; Сировина для виробництва DSFD та DP
Рідка фракція дигестату (LFD)	1-8	Прибл. 1000-1030	Комплекс N – 65-75% of RD P – 35-45% of RD K – 70-80% of RD C – 60-70% of RD	Сепарація дигестату	0.2-0.6 – SP 2-5 – DC 1.2-5 - BP	Нема	Комплексне органічне добриво швидкої дії на прилеглих землях; Сировина для виробництва DDP
Висушена тверда фракція дигестату (DSFD)	> 90	250-350	Комплекс (як в SFD (NH <sub>3</sub> збіднений від нагрівання))	Сушіння SFD	750-1200 kWh <sub>therm</sub> /m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O	Нема	Органічне добриво повільної дії; Покращувач ґрунту; Сировина для виробництва DP
Гранули з дигестату (DP)	> 90	700-750	Комплекс (як в DSFD)	Гранулювання DSFD	30-50 kWh <sub>el</sub> /t	Нема	Органічне добриво повільної дії; Виробництво енергії
Сульфат амонію (AS)		Розчин	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Віддувка повітрям/парою LFD з регенерацією H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5-10 kWh <sub>el</sub> + 45-100 kWh <sub>th</sub> per 1 m <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Прямий замітник штучного сульфату амонію Хімічна промисловість
N-збіднений дигестат (N-D)	1-8	Прибл. 1000-1030	Complex (NH <sub>3</sub> reduced)	Віддувка повітрям/парою LFD з регенерацією H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Produced with AS	Нема	Recycle to AD process; N-reduced complex organic fertilizer
Аміачна вода (AW)		Розчин	NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O 25...35% of NH <sub>3</sub>	Віддувка парою LFD	5-10 kWh <sub>el</sub> + 45-100 kWh <sub>th</sub> per 1 m <sup>3</sup>	Вода	Прямий замітник аміачної води Хімічна промисловість
Магnezій амоній фосфат (струвіт) (MAP)		Кристалічний камінь	MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Осадження в пермеаті після фільтрації LFD	10-15 kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , MgO, NaOH	Замітник азотних та фосфорних добрив Хімічна промисловість
N-збагачений струвіт (N+MAP)			MAP + AS	Збагачення з використанням AS		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Замітник азотних та фосфорних добрив
Концентрат зворотнього осмосу (RO-C)			Комплекс	Мікро-, ультра-, нано-фільтрація, зворотній осмос	10-30 kWh <sub>el</sub> /m <sup>3</sup>	Осаджувальні реагенти/ флокулянти	Концентроване органічне добриво швидкої дії
Гранульоване добриво (GF)			Комплекс	Адсорбція в LFD		Адсорбенти	Концентроване органічне добриво повільної дії

Примітки: RD – «сирий» дигестат; CP – сухі речовини; SP – шнековий сепаратор; DC – осаджувальна центрифуга; BP – стрічковий прес

# Стратегії розміщення дигестату на ринку



Продукти з дигестату бажано:

- Маркувати як "БІО" та/чи "ОРГАНІЧНЕ"
- Маркувати як **сертифіковане комплексне органічне або біо-органічне добриво**, із зазначення вмісту поживних речовин
- Маркувати як добриво під специфічні культури
- Маркувати як добриво для певного типу ґрунтів

# Приклад розрахунку економії на закупівлі мінеральних добрив

Приклад:

весняне внесення 30 м<sup>3</sup>/га дигестату з фермерської біогазової установки під вирощування врожаю ярого ячменю\*

Показник	Азот (N)	Фосфат (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калій (K <sub>2</sub> O)	Економія (€/га)
1. Оцінений вміст NPK в «сирому» дигестаті (кг/т)	3.6	1.7	4.4	
2. Розрахункове внесення NPK з 30 м <sup>3</sup> /га «сирого» дигестату (кг/га)	108	51	132	
3. Доступність NPK у «сирому» дигестаті, прийнята при плануванні балансу потреб рослин в NPK (%)	0.55	1	1	
4. Розрахункове внесення NPK з дигестатом (кг/га)	59	51	132	
5. Загальна потреба ярого ячменю в NPK (кг/га)	145	56	77	
Необхідні витрати на NPK (€ )	92.4	40.3	40.9	173.6
6. Потреба в мінеральних NPK добривах у доповнення до дигестату (показник 5 мінус показник 4)	86	5	0	
Необхідні витрати на мінеральні NPK добрива (€ )	54.8	3.6	0.0	58.4
7. Фактична економія витрат за перший рік	50.3	23.8	34.5	<b>108.6</b>

Еквівалентна ринкова цінність такого дигестату складає 3.65 €/т

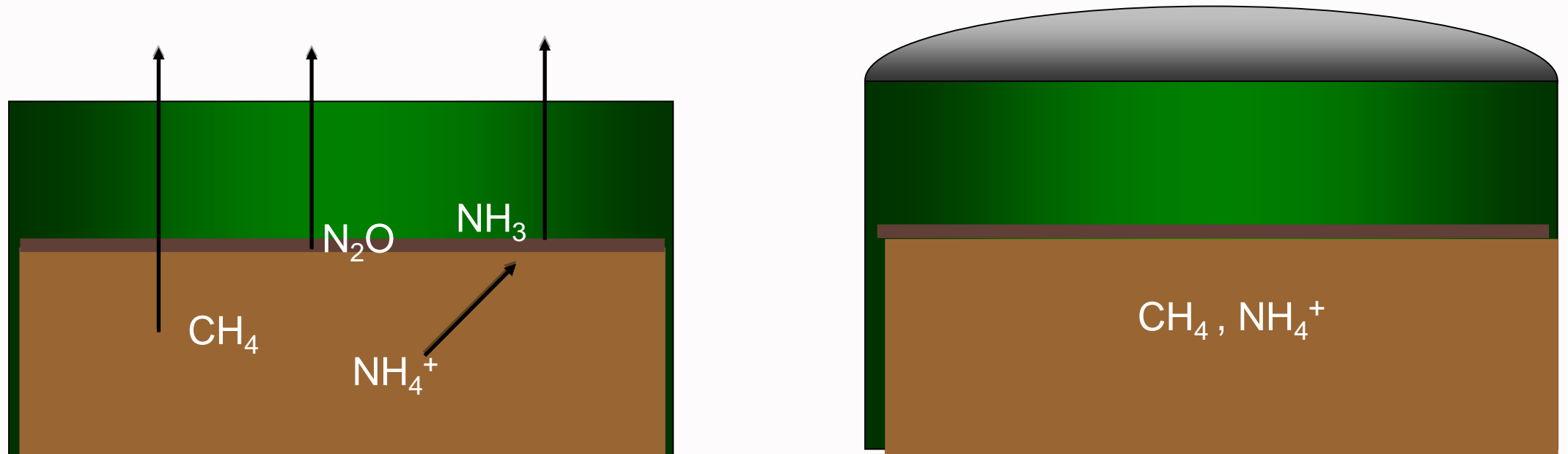
\* Audrey Litterick, John Williams. Agricultural use of biosolids, composts, anaerobic digestates and other industrial organic fertilisers / TECHNICAL NOTE TN699 JANUARY 2019



# Технології внесення дигестату в ґрунти

# Втрати удобрювальної цінності при зберіганні дигестату

- Після анаеробної ферментації рідкого гною та під час зберігання втрати азоту відбуваються у вигляді аміаку



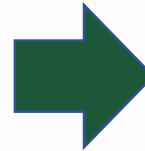
Source: Walter Stinner, DBFZ, 2020

# Типи обладнання для внесення дигестату

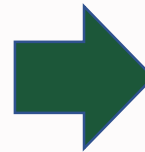
Обладнання	Допустимий фазовий стан дигестату для внесення	Допустимий вміст сухих речовин (СР) (типові значення)
Іригатор	Рідка фракція – так, як вміст СР є допустимим «Сирий» дигестат радше всього не придатний, через вміст СР та крупних твердих фракцій	до 3%
Розкидач подвійного призначення (side impeller discharge spreader)	Тверда фракція – так «Сирий» дигестат чи рідка фракція – ні	
Туковий розкидач	Тверда фракція – так «Сирий» дигестат чи рідка фракція – ні	до 12%
Штангові машини з рукавами	Рідка фракція – так «Сирий» дигестат – так, якщо дозволяє вміст СР та твердих фракцій	до 9%
Машини з сошниками (Trailing Hose/Shoe)	Рідка фракція – так «Сирий» дигестат – так, якщо дозволяє вміст СР та твердих фракцій	до 6%
Інжектор неглибокого внесення	Рідка фракція – так «Сирий» дигестат – так, якщо дозволяє вміст СР та твердих фракцій	до 6%
Інжектор глибокого внесення	Рідка фракція – так «Сирий» дигестат – так, якщо дозволяє вміст СР та твердих фракцій	до 6%

# Внесення рідкого дигестату

**Тягач шланговий :**  
точне внесення добрив, приблизно  
на 41 % нижчі викиди  $\text{NH}_3$



**Трактор для розпилення добрив :**  
сильний запах і викиди аміаку, чутливі  
до вітру

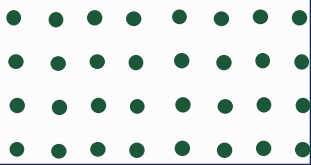


Шлангове внесення рідкого дигестату (приклад 1)

[https://www.youtube.com/watch?v=D2y1Bx3vo\\_I](https://www.youtube.com/watch?v=D2y1Bx3vo_I)

Шлангове внесення рідкого дигестату (приклад 2)

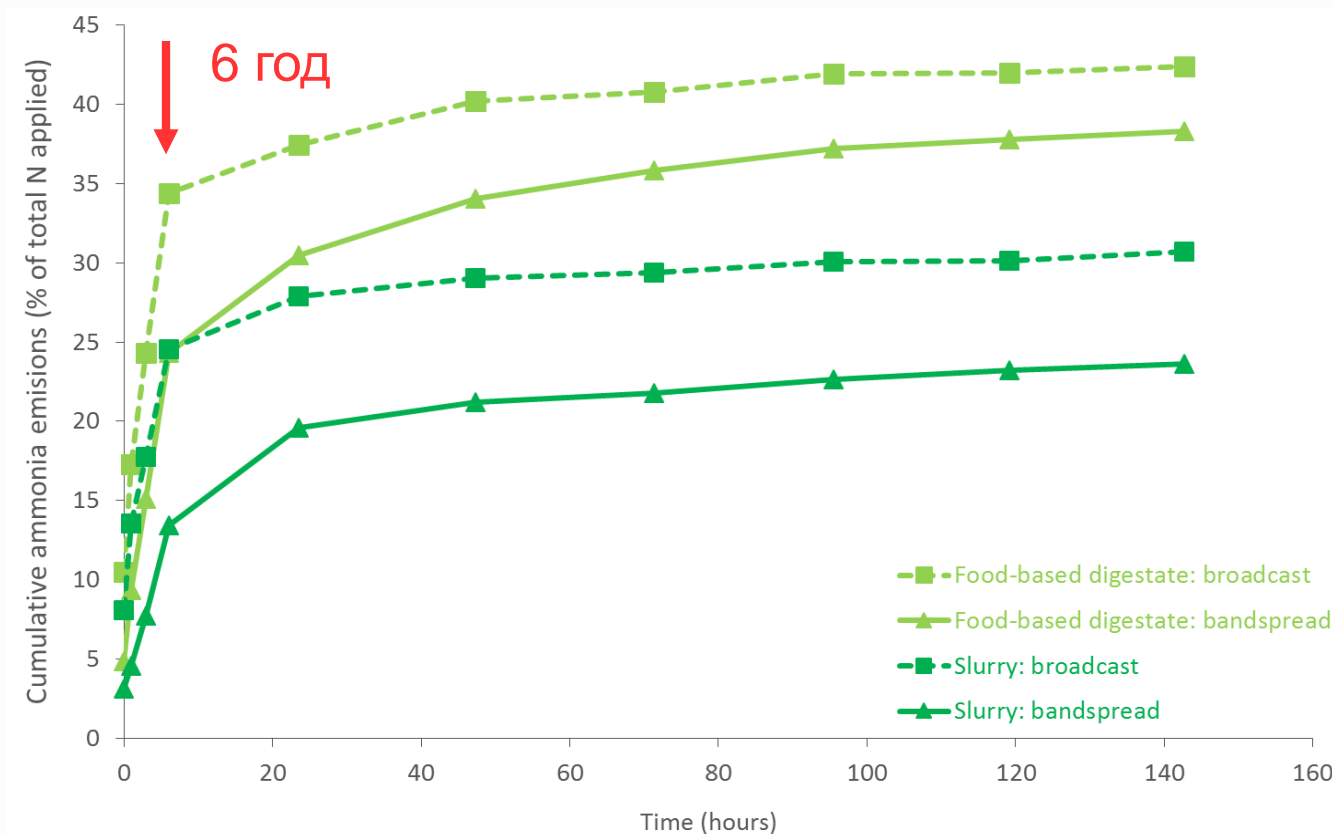
<https://www.youtube.com/watch?v=exSzBAu-fR4>



# Крива викидів аміаку після внесення дигестату на поля

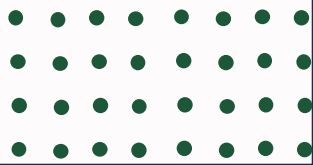


## Втрати $\text{NH}_3$ в атмосферу



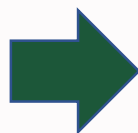
Втрати аміаку можна суттєво скоротити, якщо:

- Використовується шланг або інше обладнання для точного внесення добрив
- Дигестат заорюється в ґрунт якомога швидше.





# Внесення твердого дигестату



Внесення твердого дигестату

<https://www.youtube.com/watch?v=iIFCGMhZgTg>

# Характеристика 4 методів внесення рідкого дигестату та сирого гною

	Шлангове	Шлангове з аплікатором	Ін'єкційне	Розпилення
Розподіл гною	Рівномірно	Рівномірно	Рівномірно	Дуже нерівномірно
Ризик випаровування аміаку	Середній	Низький	Низький або відсутній	Високий
Ризик зараження посівів	Низький	Низький	Дуже низький	Високий
Ризик вітрового рознесення	Мінімальний після внесення	Мінімальний після внесення	Немає	Високий
Ризик неприємних запахів	Середній	Низький	Дуже низький	Високий
Продуктивність внесення	Висока	Низька	Низька	Висока
Ширина захвату	12-28 м	6-12 м	6-12 м	6-10 м
Механічне пошкодження культур	Немає	Немає	Значне	Немає
Вартість внесення	Середня	Середня	Висока	Низька
Видимість гною на полі	Низька	Низька	Дуже низька	Висока



European Bank  
for Reconstruction and Development



BIOMASS



IBBK  
BIOGAS

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

# Дякую!

## Петро Кучерук



Експерт UABIO, к.т.н.



+380 97 917 70 47



kucheruk@secbiomass.com



<https://uabio.org>

