



European Bank  
for Reconstruction and Development



IBBK  
BIOGAS

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

# Види та властивості сировини для виробництва біогазу

Кучерук П.П.

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

06/11/2023



# Зміст

- 01** Класифікація сировини для біогазу
- 02** Види сировини для біогазу
- 03** Склад та властивості сировини
- 04** Питомий вихід біогазу
- 05** Сировинні концепції виробництва біогазу





# Класифікація сировини для біогазу

# Важливість класифікації сировини та правильного її підбору



**Сировина впливає на майже кожен аспект біогазового проєкту**



# За походженням

## Класифікація

- Відходи тваринництва
- Побічні продукти та відходи рослинництва
- Побічні продукти та відходи харчової переробної промисловості
- Енергетичні культури
- Покривні / проміжні / послідовні культури
- Харчові відходи
- Стічні води та осади з них
- Відходи садово-паркові та газонні
- Продукція та відходи аквакультур

## Приклади сировини

- Гній, послід
- Солома, зерновідходи...
- Жом, барда, дробина...
- Силос кукурудзи...
- Жито озиме, тритикале озиме...
- Відпрацьована олія, оТПВ...
- Осади КОС, виробничі СВ...
- Скошені трави, листя...
- Мікрководорості...

# За гідравлічними властивостями

## Класифікація

- Придатні до перекачування трубопровідними системами
- Не придатні до перекачування трубопровідними системами

## Приклади сировини

Гноївка свиней, барда...

Силос, солома, оТПВ...



# За кормовою та харчовою цінністю

## Класифікація

- Використовуються як корм для тварин та/або риб
- Використовуються як сировина для виробництва харчів та/або напоїв
- Придатні як корм чи сировина для харчів/напоїв, але втратили свої споживчі властивості
- Не придатні як корм чи сировина для харчів/напоїв

## Приклади сировини

- Жом, шрот/макуха, барда зернова...
- Меяса, висівки, сироватка...
- Кисла барда, забруднений жом...
- Лушпиння, гній, стебла кукурудзи...

# За вмістом домішок

## Класифікація

- Умовно чисті види сировини
- Забруднені твердими домішками (пісок, каміння, пил, метали, пір'я...)
- Біологічно забруднені патогенами, вірусами, грибками
- Біологічно забруднені насінням бур'янів
- Хімічно забруднені СПАР, антибіотиками, важкими металами, токсинами

## Приклади сировини

- Жом, шрот/макуха, барда, меляса ...
- Послід, солома/стебла, листя...
- Осади СВ, епізоотичний гній...
- Гній ВРХ, солома/стебла...
- Епізоотичний гній, міське листя, виробничі СВ, осади СВ...



# За хімічним складом та властивостями

## Класифікація

- Карбон-насичені (C:N > 40)
- Нітроген-насичені (C:N < 10)
- Кислі (pH < 6)
- Лігно-целюлозні
- В'язкі

## Приклади сировини

- Солома, лушпиння, жири...
- Послід, шрот, барда зернова...
- Жом кислий, барда зернова...
- Солома, лушпиння...
- Фуз олійний, меляса...



# За потребою в попередній підготовці

## Класифікація

- Не потребують підготовки
- Потребують видалення твердих включень
- Потребують гомогенізації
- Потребують руйнування ЛЦК
- Потребують попереднього розігріву
- Потребують силосування для тривалого зберігання

## Приклади сировини

- Гноївка рідка, барда, жом...
- Послід, жом з жомових ям...
- Гній та послід на підстилці з соломи...
- Солома, лушпиння, опале листя...
- Фуз олійний, меляса...
- Кукурудза, вологе кукурудзиння, жом, зелена рослинна біомаса...

# За режимом утворення

## Класифікація

- З рівномірним режимом утворення протягом року
- З нерівномірним режимом утворення протягом року
- Сезонні

## Приклади сировини

Барда, послід, жири...

Гній ВРХ, дробина пивна...

Жом, пожнивні рештки, силос кукурудзи, покривні/проміжні культури...



# За категорією біогазу, виробленого з них

Класифікація

- Для виробництва конвенційного біогазу / біометану
- Для виробництва передового біогазу / біометану

Приклади сировини

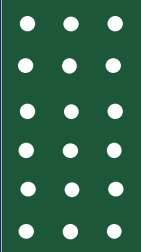
Силос кукурудзи, дробина, сироватка...  
Гній, послід, солома, лушпиння...

Частина А Додатку  
IX Директиви ЄС  
RED II (RED III)

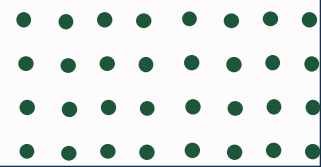
# Види сировини, придатні для для виробництва біогазу, включені в частину А Додатку IX Директиви ЄС RED II

- Гній / Послід
- Солома
- Початки кукурудзи
- Вичавки виноградні
- Винний осад
- Лушпиння
- Тваринні жири категорії 1 і 2, згідно Регламенту ЄС № 1069/2009
- Міскантус
- Покривні культури
- Водорості, вирощені в наземних ставках або фотобіореакторах.
- **Біомасова фракція промислових відходів**, що не може бути використана для виробництва продуктів харчування або кормів, включаючи речовини з роздрібною та гуртовою торгівлі, агрохарчовою та рибної промисловості





# Види сировини для біогазу



# Відходи тваринництва

## Об'єкт походження

- ферми ВРХ (молочні ферми)
- свиноферми
- птахофабрики (кури, індики, куріпки, качки)
- ферми МРХ (вівці, кози)
- кроликові ферми
- кінні ферми

## Тип сировини

- гній
- гноївка рідка
- гній з підстилковим матеріалом
- послід
- залишки кормів
- некондиційні корми



# Побічні продукти та відходи рослинництва

## Об'єкт походження

- підприємства рослинництва
- хлібоприймальні підприємства (елеватори, зерносклади)



## Тип сировини

- солома колосових
- стебла та початки кукурудзи
- стебла та кошики соняшнику
- солома ріпаку
- солома сої
- ботвина цукрових буряків, кормових буряків, моркви, картоплі, тощо
- зернові відходи, полова
- некондиційна продукція

# Побічні продукти та відходи харчової переробної промисловості

## Об'єкт походження

- цукрові заводи
- спиртові заводи
- пивні заводи
- крохмале-патокові виробництва
- борошномельні та круп'яні заводи
- олійно-екстракційні заводи
- м'ясопереробні заводи
- забійні цехи
- консервні заводи
- виноробні підприємства
- молоко- та сирзаводи

## Тип сировини

- жом цукрових буряків
- меляса
- дробина пивна
- спиртова барда
- вичавки та відходи фруктові та овочеві
- вичавки виноградні
- винний осад
- жмих/шрот та фуз олійні
- побічні продукти тваринного походження
- сироватка
- лушпиння соняшнику
- висівки, крохмаль, пентозани

# Енергетичні культури

## Об'єкт походження

- підприємства рослинництва

## Тип сировини

- кукурудза на силос
- сорго на силос
- сільфій пронизанолистий
- цукровий буряк
- міскантус
- інші





# Покривні / проміжні / послідовні культури

Об'єкт походження

- підприємства рослинництва

Тип сировини

- жито озиме
- тритикале озиме
- вика
- ріпа / редька
- бобові
- конюшина
- інші

# Харчові відходи

## Об'єкт походження

- заклади та об'єкти торгівлі
- станції механіко-біологічної обробки ТПВ
- заклади харчування
- контейнери з біовідходами (роздільний збір ТПВ)

## Тип сировини

- прострочені або некондиційні продукти
- органічна фракція ТПВ (рештки харчів, папір, картон)
- відходи закладів харчування (залишки їжі, відпрацьована олія)

# Стічні води та осади з них

## Об'єкт походження

- комунальні очисні споруди каналізації
- локальні очисні споруди промислових стічних вод
- системи водовідведення виробничих стоків

## Тип сировини

- надлишковий активний мул
- первинні осади
- флотаційні шлами
- шлами з жироловок
- висококонцентровані стічні води за БПК/ХПК (напр., виробничі стоки м'ясопереробних цехів, молокозаводів, картонно-тарних комбінатів, тощо)

# Відходи садово-паркові та газонні

## Об'єкт походження

- садово-паркові зони
- газони
- придорожні смуги з рослинністю

## Тип сировини

- скошені трави
- опале листя
- квіти

# Продукція та відходи аквакультур

## Об'єкт походження

- підприємства з промислового вирощування риб та ракоподібних в установках замкненого водопостачання
- фітобіореактори
- відкриті водні об'єкти

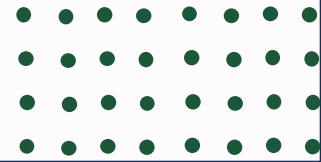
## Тип сировини

- осади стічних вод
- мікрководорості (ціанобактерії)
- макрофіти (вища водна рослинність)
- сапропелі





# Склад та властивості сировини



# Вологість

- Волога – необхідний агент для масообмінних процесів в реакторі в усіх типах біореакторів
- Волога – необхідний агент для змішування та усереднення в біореакторах з «вологим» типом зброджування (мінімум 90% вологи в біореакторі, оптимум – 92-94%)
- Волога – необхідний агент для розбавлення «сухих» типів сировини
- Основні можливі джерела вологи в біореакторі:
  - **вільна волога в складі сировини**
  - **волога, що утворюється при розпаді органічної речовини**
  - **додана свіжа вода / стоки**
  - **волога, що надходить з рециклом дигестату (РФД)**
- Найбільш оптимальним для досягнення оптимальної вологості в біореакторі є комбінування вологих та сухих типів сировини

# Структура

- Розмір та форма часток сировини впливає на наступні аспекти:
  - швидкість виходу біогазу
  - потенціал виходу біогазу/ $\text{CH}_4$
  - ступінь біодеструкції органічної речовини
  - здатність до перекачування насосними системами
  - в'язкість збродженої суміші в реакторі
  - здатність до стратифікації збродженої суміші в реакторі
  - витрати енергії на перекачування та змішування
  - здатність до силосування (кукурудза, кукурудзиння, трави...)
- Для збродження → якомога менший розмір часток
- Для розділення дигестату на фракції РФД та ТФД → дигестат повинен містити певну кількість часток з розміром  $>$  розміру чарунок в сепараторі (3-8 мм)
- Для силосування → розмір часток 10-20 мм

# Температура

- Температура сировини на вході в біореактор впливає на потреби в теплі/холоді (найбільш поширена температура зброджування 38-42 град. С)
- Більшість видів сировини, перед подачею в біореактор, потребують підігріву протягом року
- В спекотну погоду сировина, що зберігається під відкритим небом, може прогріватись більше температури в реакторі
- Деякі види сировини, наприклад, барда зі спиртового заводу може мати температуру > 50 град. С, доцільним може бути вибір термофільного режиму зброджування
- В'язкі види сировини (фуз олійний, меляса) можуть потребувати попереднього розігріву до більш високих температур, ніж в реакторі

# Вміст твердих домішок

- Вміст мінеральних домішок (пісок, каміння) впливає на такі аспекти:
  - блокування роботи споруд та обладнання
  - зношуваність частин обладнання
  - потреби в енергії для змішування
  - гідравлічний час утримання сировини в біореакторі
- Вміст волокнистих включень (ганчір'я, мотузки, дроти) може блокувати роботу міксерів
- Вміст здатних до флотації домішок (пір'я, необроблена солома, тріска, тощо) може знижувати ефективний об'єм споруд та ефективність змішування
- Вміст в дигестаті домішок пластику, металу та скла розміром > 2 мм регулюється Директивою ЄС 2019/1009 «Про удобрювальні продукти», а також Законом України 86/95 ВР «Про пестициди і агрохімікати»

# Макро- та мікронутрієнти (1)

- Для стабільного та ефективного процесу анаеробної ферментації потрібно:
  - А) наявність та біодоступність комплексу макро- та мікронутрієнтів
  - Б) баланс макро- та мікронутрієнтів
- Карбон (**C**), Нітроген (**N**), Оксиген (**O**), Гідроген (**H**) → є основними елементами всіх органічних речовин
- Нітроген → сприяє виробленню ферментів для обміну речовин
- Фосфор (**P**) → необхідний для перенесення енергії всередині клітини
- Сульфур (**S**) → необхідний для синтезу амінокислот, цистеїну, метіоніну
- Калій (**K**), Кальцій (**Ca**), Магній (**Mg**), Ферум (**Fe**) - необхідні як ко-фактори для активності ферментів і як компоненти комплексів металів
- Кожен з цих 10 макронутрієнтів повинен бути в концентрації  $\approx 10^{-4}$  моль
- Оптимальне **C:N** сировини чи суміші на вході в біореактор → **15 ... 30**



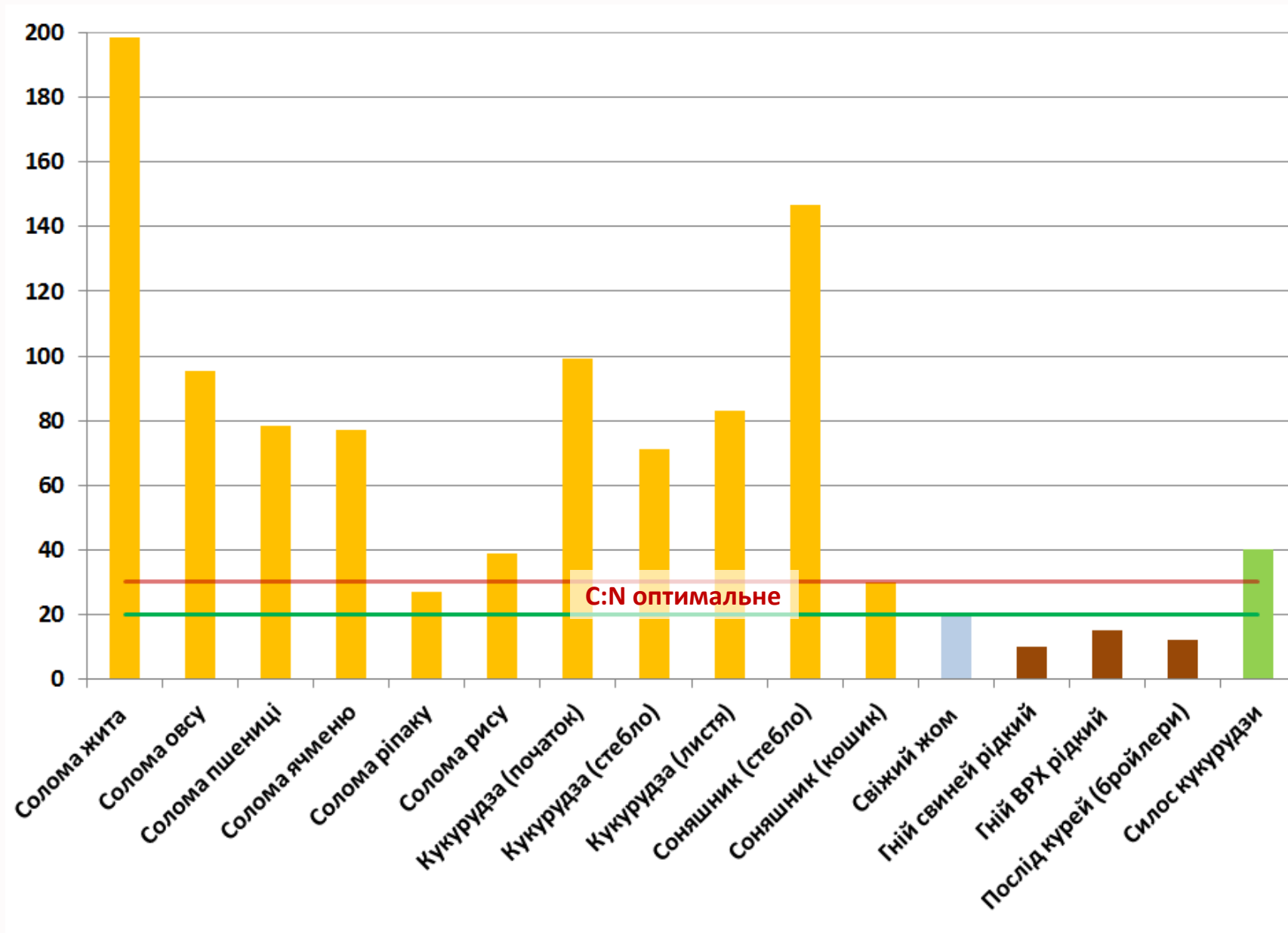
## Макро- та мікронутрієнти (2)

- Додавання феруму (F) може стимулювати осадження фосфатів, які в іншому випадку могли б осадити важливі мікроелементи металів, і таким чином стимулювати процес
- Додавання феруму у формі, напр., хлорного заліза, сприяє осадженню сірки та зниженню концентрації  $H_2S$  в біогазі
- Нікель (**Ni**) та Кобальт (**Co**) важливі для росту анаеробних організмів. Нікель необхідний для активації фактора F430 (кофактора у метаногенезі), але у високих концентраціях нікель може інгібувати як ферментативні, так і метаногенні бактерії.
- Мікронутрієнти потрібні в основному при ферментації моно-сировини

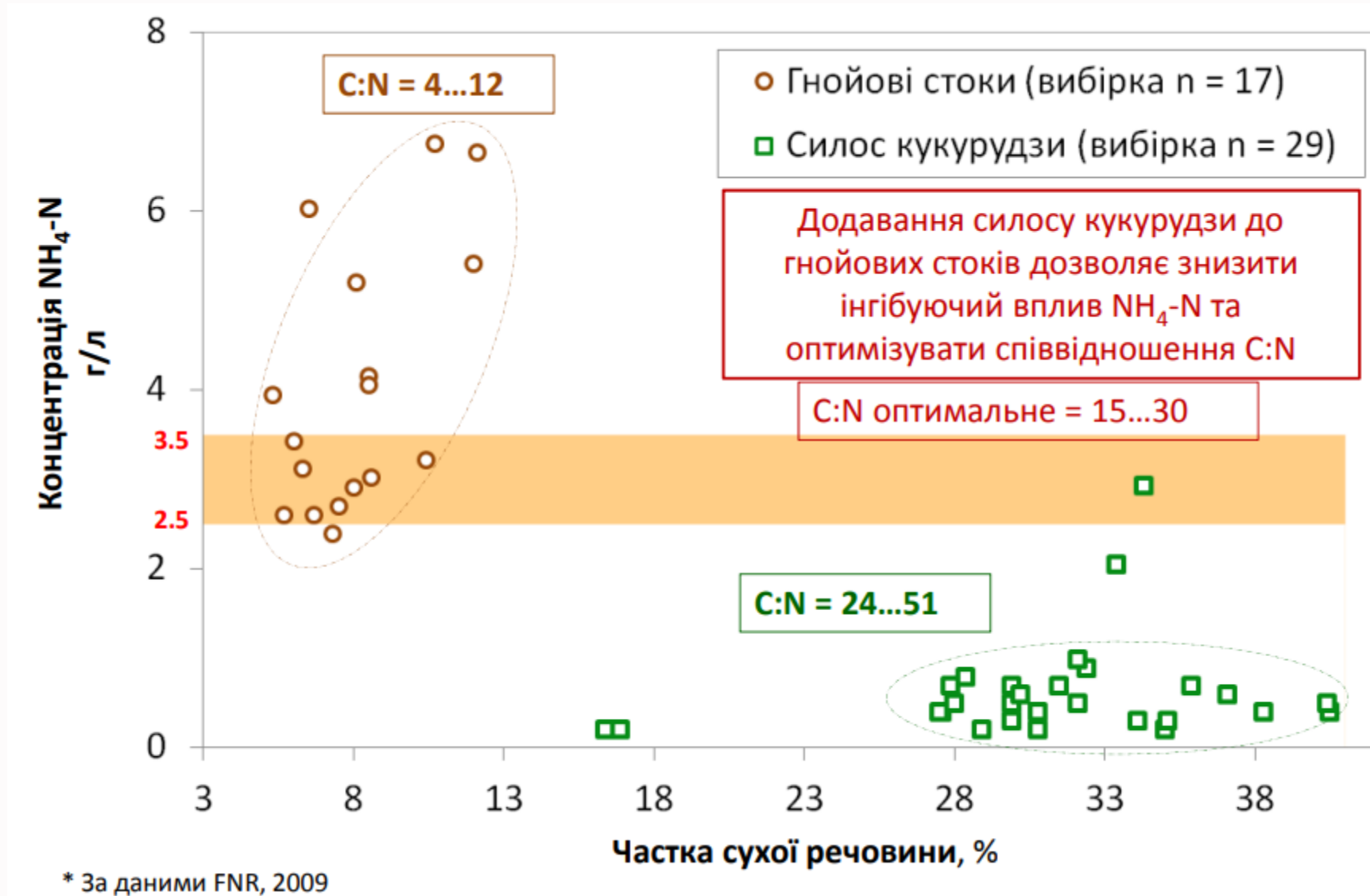
Мікроелемент	Оптимальне значення, мг/кгСР	Рекомендований діапазон концентрації, мг/кгСР	
		Від	До
Ni	16	4	30
Co	1,8	0,4	1
Mo	4	0,05	16
Fe	2400	750	5000
W	0,6	0,1	30
Mn	300	100	1500
Cu	40	10	80
Se	0,5	0,05	4
Zn	200	30	400

Oechsner, H.-W.; Lemmer, A.; Hamhold, D.; Mathies, E.; Mayrhuber, E.; Preißler, D. Method for Producing Biogas in Controlled Concentrations of Trace Elements. Patent US20100304457 A1, 2 December 2008.

# C:N – фактор взаємодоповнення (1)



# C:N – фактор взаємодоповнення (2)



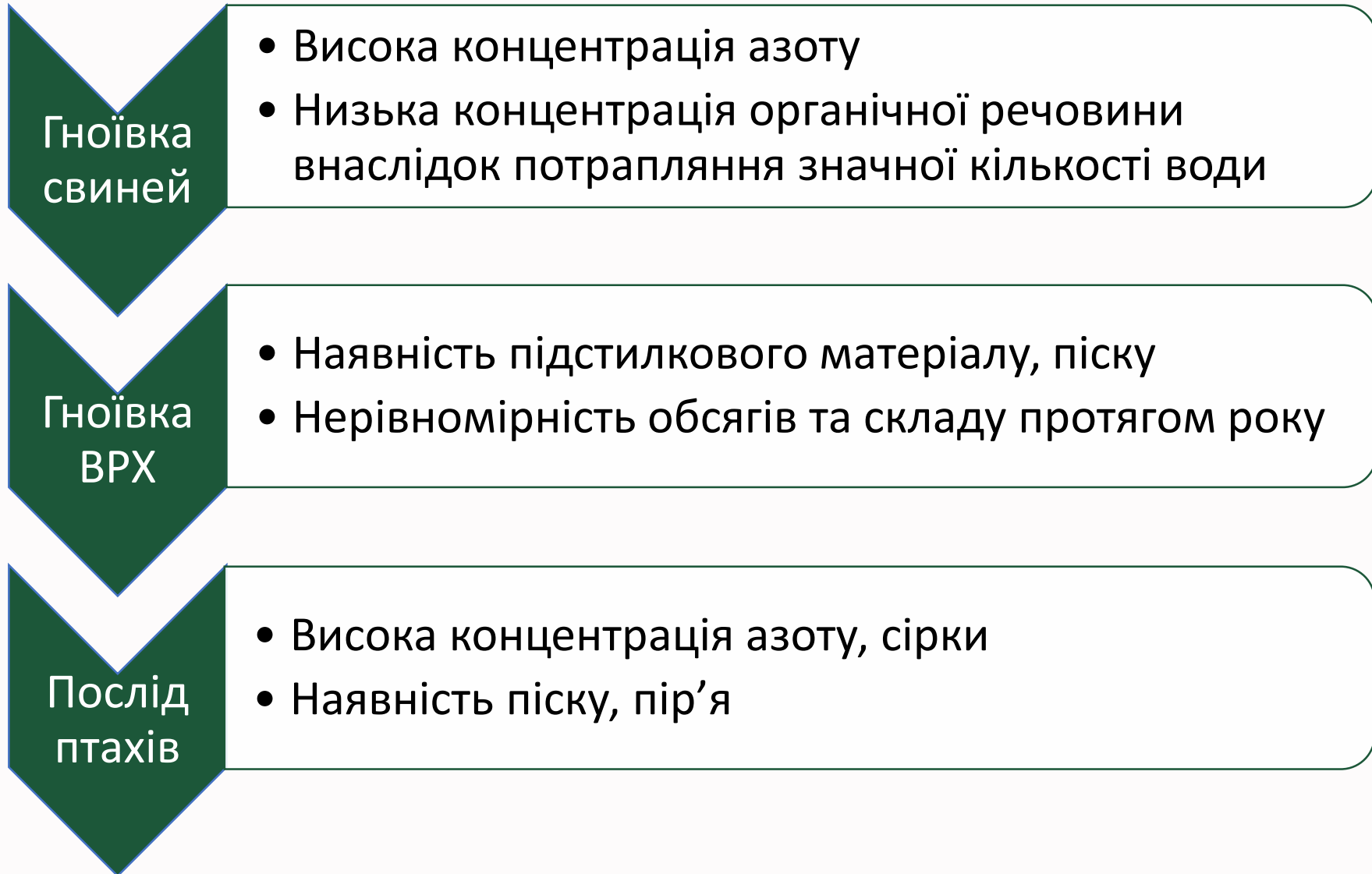
# Тваринний гній

- Відома сировина та поширена на території України (переважно послід курячий, гній свиней та гній ВРХ)
- Добре підходить для сумісного зброджування з іншою сировиною, наприклад, харчовими відходами
- Економічно доцільне використання лише в тому випадку, якщо біогазовий реактор розташований поблизу місця утворення гною – транспортування гною коштує дорого
- Гній свиней та ВРХ має відносно низький вихід біогазу
- Виробництво біогазу з гною / посліду призводить до значного скорочення викидів парникових газів, а тому при виробництві біометану на експорт має розглядатись як пріоритет

# Властивості рідкого гною

Типи рідкого гною	pH	C/N	Властивості
Рідкий гній ВРХ	6.8–7	10–17	<ul style="list-style-type: none"><li>• Висока буферна здатність</li><li>• Багатий метановими бактеріями</li></ul>
Гноївка свиней	7	5–10	<ul style="list-style-type: none"><li>• Висока буферна здатність</li><li>• Високий вміст важких металів (Zn 700–2000; Cu 250–760 [мг/кг СР])</li></ul>
Курячий рідкий послід	7–7.3	7	<ul style="list-style-type: none"><li>• Висока буферна здатність</li><li>• Сильне накопичення осаду</li></ul>

# Основні проблеми при зброджуванні гною/послідіду





# Солома та інші пожнивні рештки

- Біомаса, що містить значну кількість закритих для доступу бактерій лігноцелюлозних комплексів
- Навіть в нативній соломі є потенціал виходу  $\text{CH}_4$ , пов'язаний з вмістом розчинних органічних сполук
- Для ефективного зброджування та збільшення потенціалу виходу біогазу потребує спеціальної попередньої обробки
- Карбоннасичена сировина, комплементарна до гною, посліду...
- Має значний потенціал для використання на переважній території України



# Властивості окремих типів сировини

## Підстилковий гній ВРХ



CP = 25% CM

OP = 80% CP

Вихід біогазу = 80 Nm<sup>3</sup>/т CM

CH<sub>4</sub> = 60%

C:N= 13:1

Сира клітковина (XF) =

Сирий протеїн (XP) =

Сирий жир (XL) =

Зола (XA) =

Крохмаль (XS) =

Цукри (XZ) =

Можливість перекачати?

Плавучість ?



# Властивості окремих типів сировини

## Солома пшениці



CP = 86% CM

OP = 81% CP

Вихід біогазу = 320 Nm<sup>3</sup>/т CM

CH<sub>4</sub>-вміст = 51%

C:N = 80:1 ... 100:1

Сира клітковина (XF) = 370 г/кг

Сирий протеїн (XP) = 34 г/кг

Сирий жир (XL) = 11 г/кг

Зола (XA) = 65 г/кг

Крохмаль (XS) = 0

Цукри (XZ) = 7 г/кг

Можливість перекачати?

Плавучість ?

# Властивості окремих типів сировини

## Зерно пшениці



[zandland](#) on [wikimedia.org](#)

CP = 87% CM

OP = 85% CP

Вихід біогазу = 600 Nm<sup>3</sup>/т CM

CH<sub>4</sub> = 53 %

C:N = 20:1

Сира клітковина(XF) = 26 г/кг

Сирий протеїн(XP) = 121 г/кг

Сирий жир (XL) = 18 г/кг

Зола (XA) = 17 г/кг

Крохмаль (XS) = 594 г/кг

Цукри (XZ) = 28 г/кг

Можливість перекачати?

Плавучість ?

# Властивості окремих типів сировини

## Яблучні вичавки



by Craig Wyzik aus Olympia, WA, USA - Flickr, CC BY 2.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=383882>

CP = 25% CM

OP = 88 % CP

Вихід біогазу = 150 Nm<sup>3</sup>/т CM

CH<sub>4</sub> = 60 %

C:N = 13:1

Сира клітковина(XF) = 48 г/кг

Сирий протеїн(XP) = 15 г/кг

Сирий жир (XL) = 9 г/кг

Зола (XA) = 5 г/кг

Крохмаль (XS) = 0 г/кг

Цукри (XZ) = 24 г/кг

Можливість перекачати?

Плавучість ?



# Властивості окремих типів сировини

## Сироватка



СР = 6% СМ

ОР = 83 % СР

Вихід біогазу = 40  $\text{Nm}^3/\text{т СМ}$

$\text{CH}_4$  = 60 %

С:N = 80:1

Сира клітковина(XF) = 0 г/кг

Сирий протеїн(XP) = 9 г/кг

Сирий жир (XL) =1 г/кг

Зола (XA) =6 г/кг

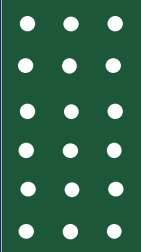
Крохмаль (XS) = 0 г/кг

Цукри (XZ) = 43 г/кг

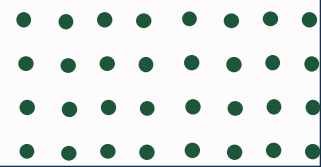
Можливість перекачати?

Плавучість ?





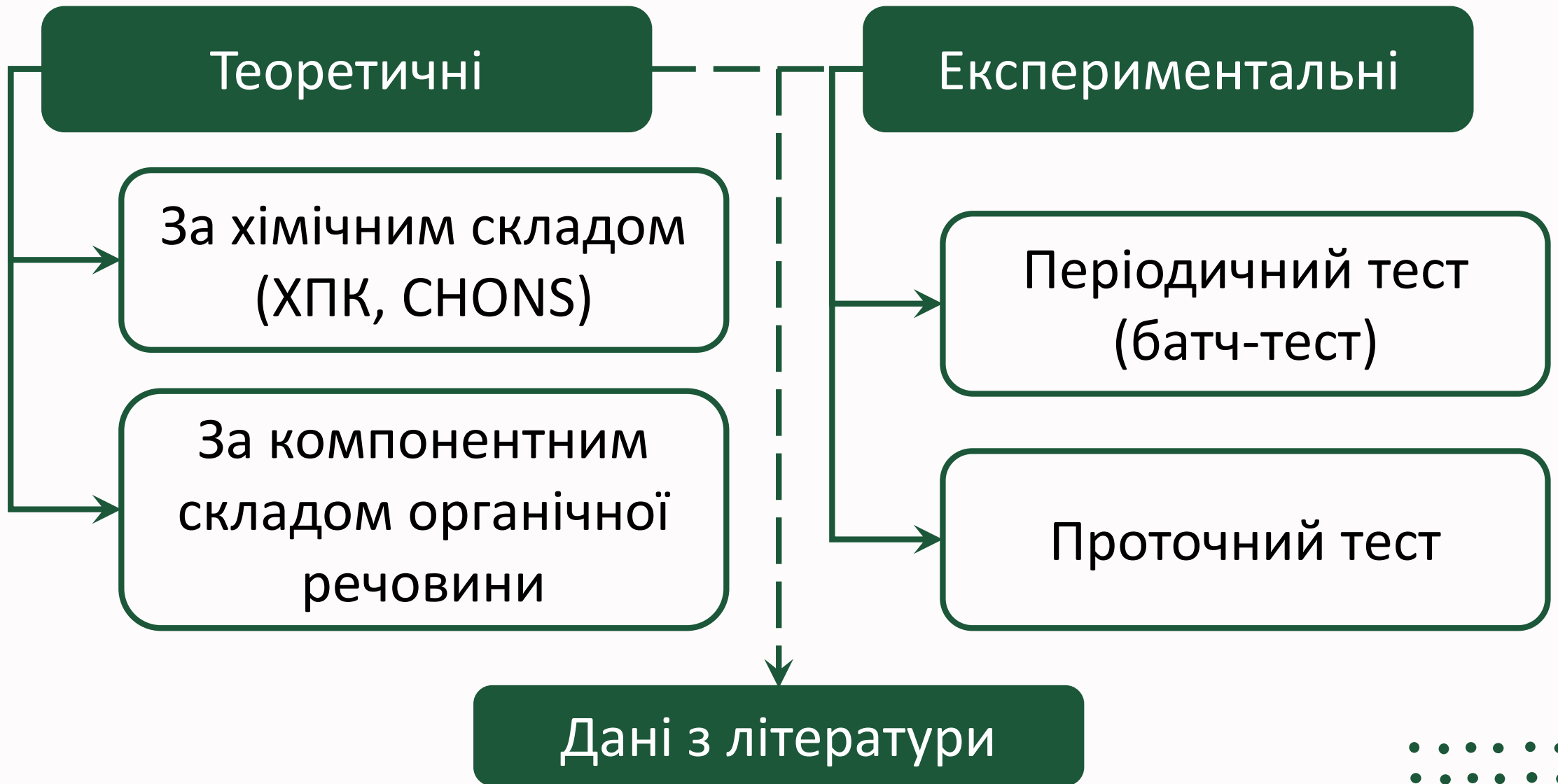
# Питомий вихід біогазу



# BMP (biochemical methane potential) – ключовий показник сировини для виробництва біогазу

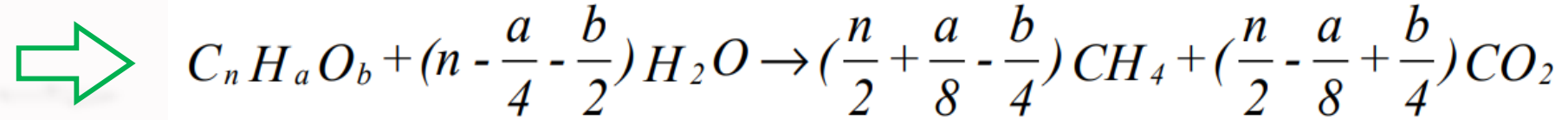
- Необхідний для попередньої оцінки доцільності виробництва біогазу з окремих видів сировини
- Необхідний для прогнозування масштабу біогазового виробництва та розробки бізнес моделі
- Необхідний для оцінки ефективності виробництва біогазу /  $\text{CH}_4$  в технологічному процесу
- Необхідний при сертифікації біометану, енергії з біогазу

# Методи визначення питомого виходу біогазу

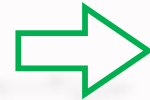


# Оцінка за хімічним складом

За рівнянням  
Басвела



Питомий вихід  $CH_4$



$$B_{o,th} = \frac{\left(\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4}\right) 22.4}{12n + a + 16b}$$

$л_{ст.у.} CH_4 / г СОР$

За величиною ХПК



$$1 \text{ г ХПК} = 0,25 \text{ г } CH_4 = 350 \text{ мл}_{ст.у.} CH_4$$

*ст. у.* – стандартні умови газу 20 град С, 760 мм.рт.ст.

*СОР* – абсолютно суха беззольна органічна речовина

22.4 – об'єм 1 моля газу при ст. у.

*ХПК* – хімічна потреба в кисні, г $O_2$

# Оцінка за відомим компонентним складом органічної речовини

Вуглеводи



790 л/кг СР

50 % об.

50 % об.

—

—

Жири



1 250 л/кг СР

68 % об.

32 % об.

—

—

Білки



700 л/кг СР

71 % об.

15 % об.

8 % об.

6 % об.

Вода



—

—

—

—

—

pictures: pushdoctor / flickr.com

**Вихід газу**

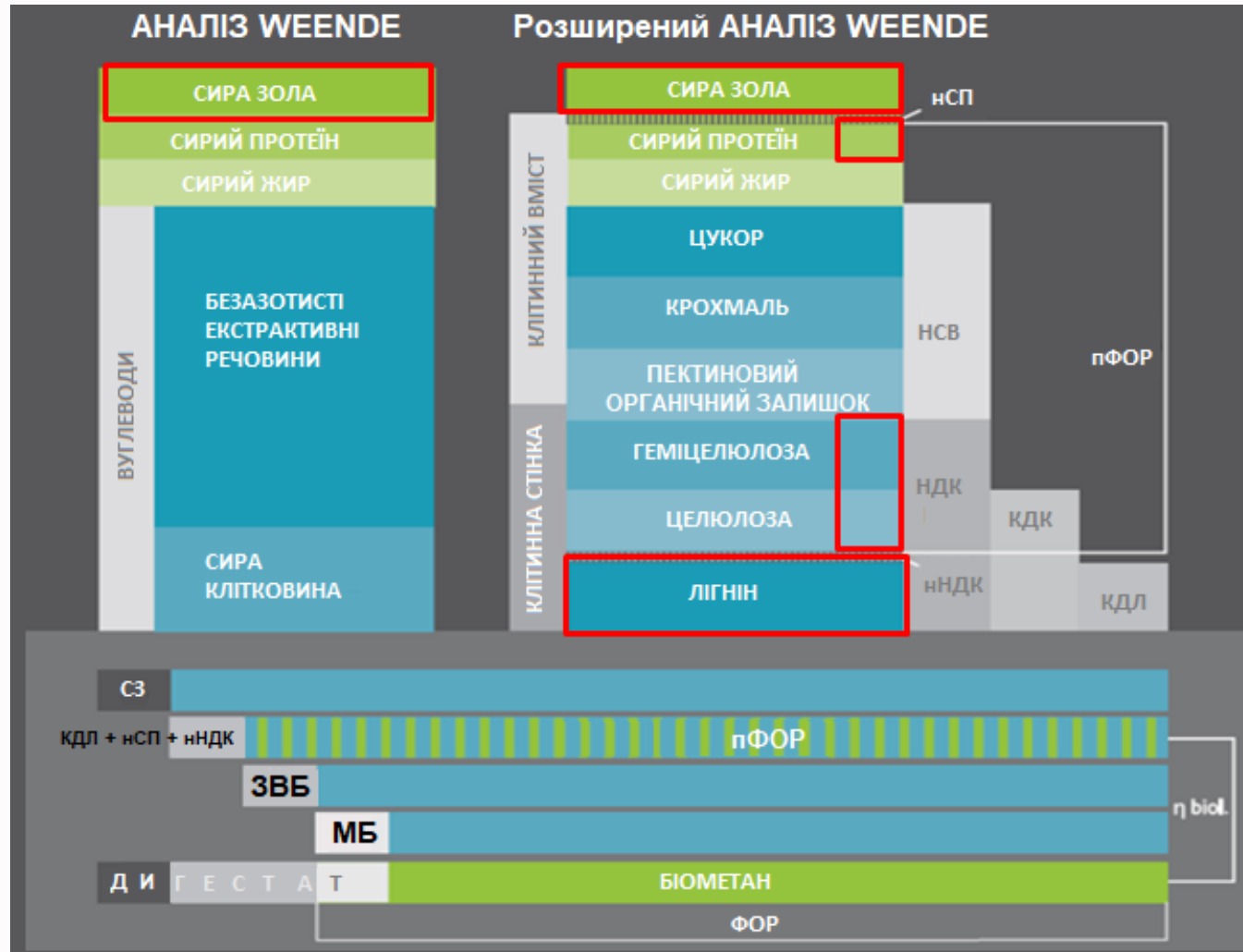
**CH<sub>4</sub>-концентрація**

**CO<sub>2</sub>- концентрація**

**NH<sub>3</sub>- концентрація**

**H<sub>2</sub>S- концентрація**

# Зброджуваність сировини за аналізом Weende



Речовини, що не зброджуються

**пФОР**

Загальна потенційна здатність органічної речовини до зброджування



- приріст біомаси бактерій  
- залишковий біогаз



**ФОР**

Фактично зброджувана органічна речовина

Source: BTS-group

НДК - нейтрально детергентна клітковина  
КДК - кислотно детергентна клітковина (целюлоза, лігнін)  
НСВ - неструктурні вуглеводи  
КДЛ - кислотно детергентний лігнін

нНДК- не зброджувана нейтрально детергентна клітковина  
нСП – не зброджуваний сирий протеїн  
ЗВБ – залишковий вихід біогазу  
МБ – приріст бактеріальної маси



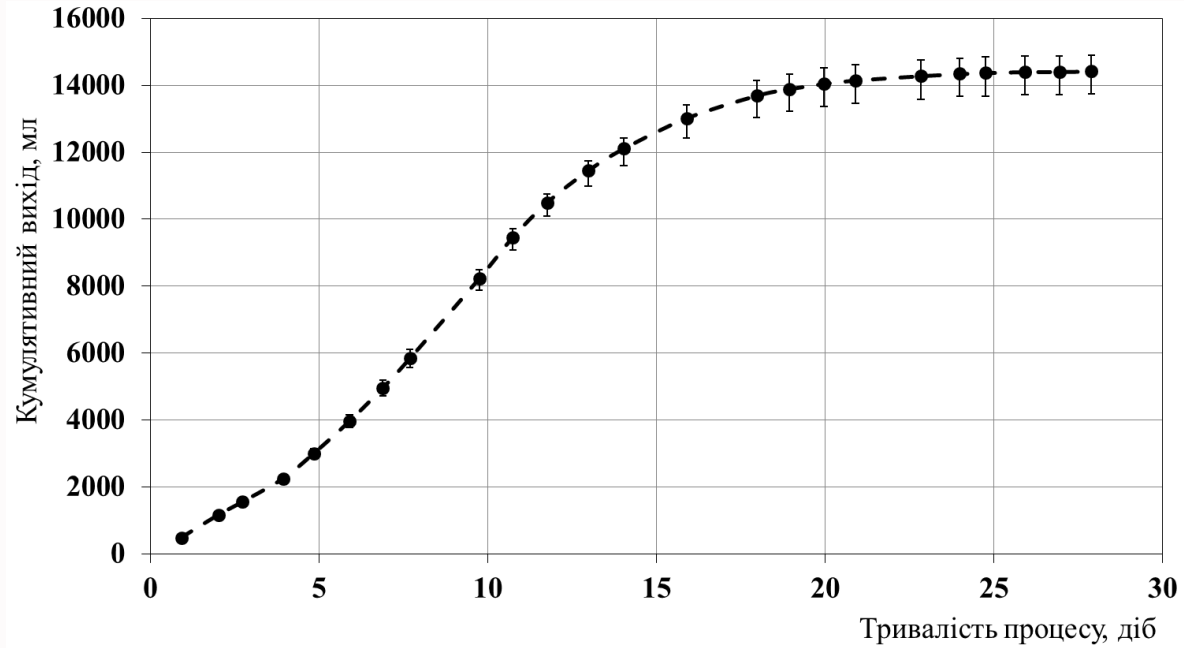
# Приклад впливу засвоюваності на питомий вихід CH<sub>4</sub>

- При однаковому вмісті CP і COP у сировині певного виду величина питомого виходу CH<sub>4</sub> може бути різною
- Таблиця нижче показує, що силос В має вищий вміст лігніну і, відповідно, нижчу засвоюваність

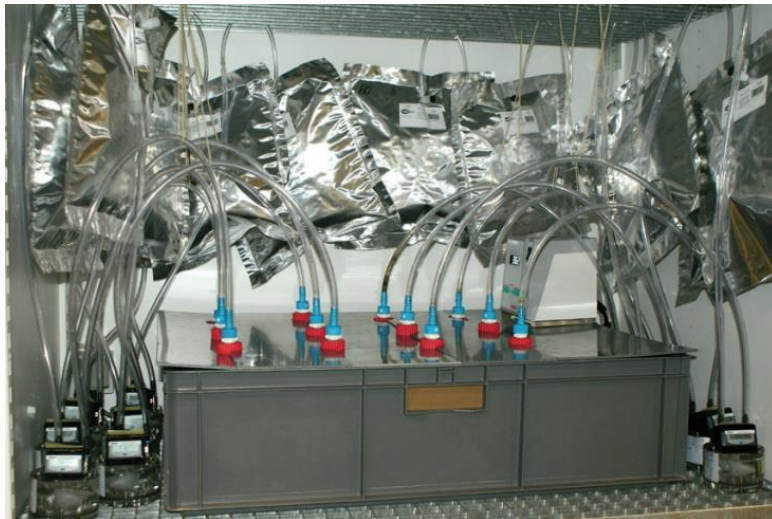
Сировина	CP%	ОСР	Крохмаль	Клітковина	Лігнін	uNDF	CH <sub>4</sub> нм <sup>3</sup> /т
Кукурузи силос А	35.0	96.5	33.0	42.0	2,5	8,25	119,38
Кукурузи силос В	35.0	96.5	33.0	42.0	4	13,2	112,6

uNDF = неперетравна клітковина

# Визначення з допомогою ВМР батч-тесту



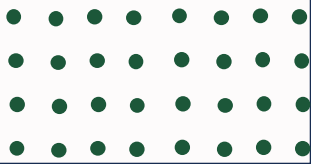
picture: DBFZ



picture: IKTS



picture: bpcinstruments



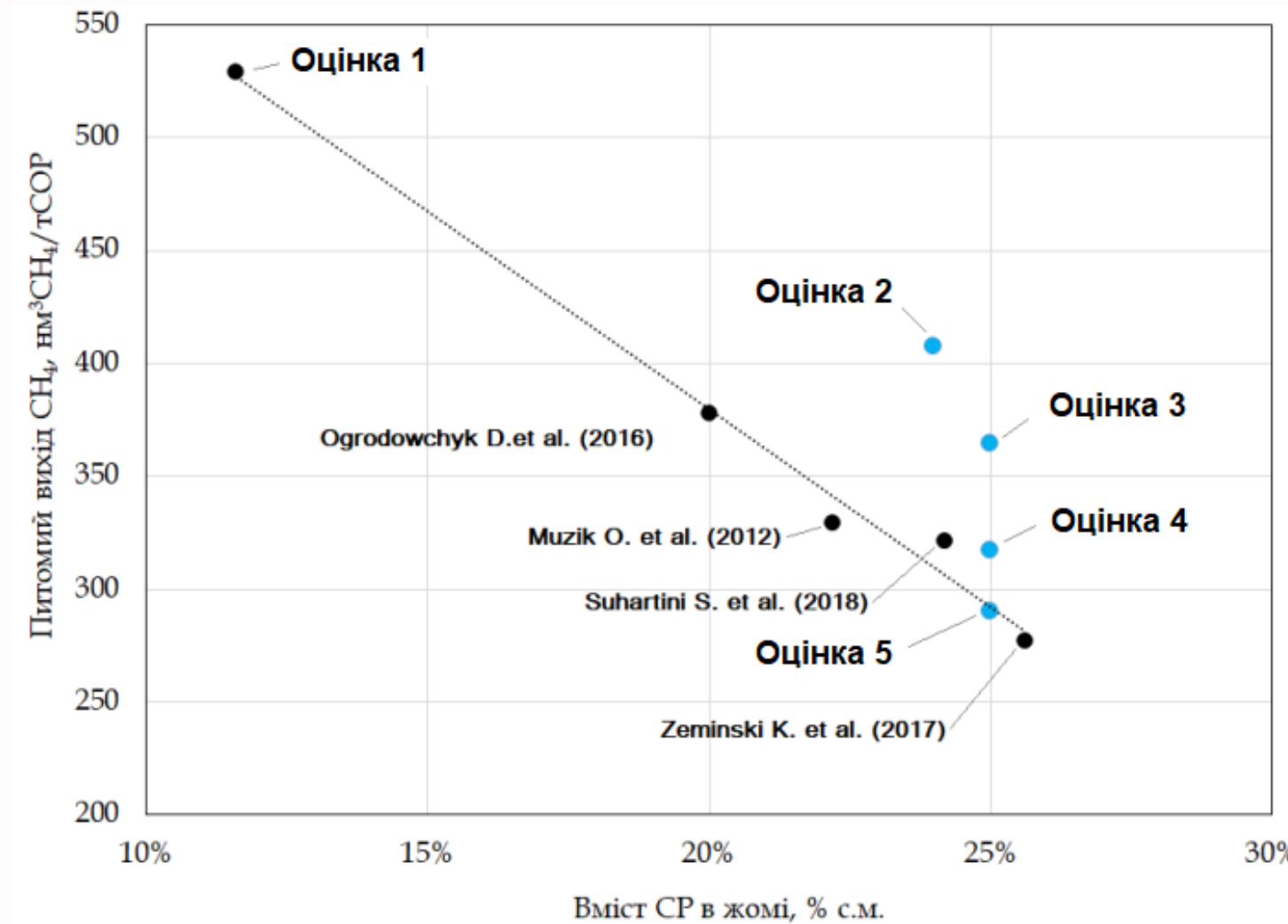
# Результати BMP тестів за німецьким стандартом VDI 4630

	м3 біогазу / тCOP				% CH4 в біогазі				м3 біогазу / т свіжої маси				% CP в свіжій масі				% COP у свіжій масі			
	Медіанне		від	до	Медіанне		від	до	Медіанне		від	до	Медіанне		від	до	Медіанне		від	до
	Середнє				Середнє				Середнє				Середнє							
Силос кукурудзи (N = 142)	594	<b>590</b>	340	822	53	<b>53</b>	50	56	196	<b>192</b>	105	317	33	<b>33</b>	22,3	47	31,5	<b>31</b>	16,9	45
Силос трав'яний (N = 31)	445	<b>442</b>	200	747	55,1	<b>54</b>	53,8	65	142	<b>121</b>	48,6	274	32,3	<b>31</b>	11,7	72,8	29,8	<b>27</b>	9,8	68,2
Силос (вся рослина) (N = 25)	551	<b>558</b>	287	658	53,7	<b>54</b>	51	57	175	<b>164</b>	75	278	31,9	<b>30</b>	18,4	48,7	29,6	<b>28</b>	16,4	44,9
Силос сорго (N = 45)	499	<b>502</b>	359	622	54,3	<b>54</b>	52,4	57,3	127	<b>129</b>	85,1	182	25,6	<b>27</b>	17,3	33,9	24,2	<b>25</b>	15,9	32,5
Гній кінський (N = 15)	313	<b>311</b>	58	555	55	<b>54</b>	51	62	89	<b>92</b>	11	203	34,2	<b>33</b>	24,2	52,6	28,9	<b>27</b>	19,4	48,3
Гній ВРХ	322	<b>336</b>	161	498	57	<b>57</b>	53	64	66	<b>62</b>	28	152	24,2	<b>23,1</b>	15	55	20	<b>19</b>	12	35
Послід курячий (N = 7)	306	<b>352</b>	143	436	58,6	<b>59</b>	55	62	87	<b>69</b>	26	158	44	<b>48</b>	21,2	71,4	31,1	<b>27</b>	13,8	60,9
Послід індичий / курячий (N = 16)	404	<b>417</b>	137	653	58,3	<b>58</b>	54,8	64,5	194	<b>190</b>	42	370	57,6	<b>59</b>	27,8	91,2	48	<b>49</b>	22,5	78
Послід курячий (N = 23)	437	<b>426</b>	238	554	57,5	<b>58</b>	51	62	180	<b>184</b>	69	274	54,5	<b>57</b>	19,6	89,2	41,8	<b>43</b>	16,5	65,7
Рідка гноївка ВРХ (N = 214)	381	<b>374</b>	100	673	58,9	<b>59</b>	48,8	65,3	26,4	<b>26</b>	4,7	55	8,7	<b>9</b>	1,5	15,5	6,8	<b>7</b>	0,67	13
Рідка гноївка свиней (N = 49)	397	<b>334</b>	61	890	60,7	<b>60</b>	54,3	68,8	8,3	<b>7</b>	0,7	28	3,7	<b>3</b>	0,6	13,5	2,55	<b>2</b>	0,2	7,4
Тверда фракція дигестату (N = 14)	225	<b>240</b>	93,9	318	55,7	<b>55</b>	51,7	61,1	45	<b>48</b>	15,9	67,9	20	<b>20</b>	12,1	25,3	17	<b>17</b>	5	22,8

Schaumann Bioenergy

**Важливо:** вид та якість використаного інокуляту, методологія оцінки показників та похибок вимірювань, кратність повторів 1-го тесту

# Оцінка за даними з літератури



- Співставлення даних з різних джерел потрібно робити на основі спільного показника –  $\text{нм}^3 \text{CH}_4/\text{кг СОР}$  або  $\text{нм}^3$  біогазу /  $\text{кг СОР}$
- Важливо порівняти при якому вмісті СР отримано вихід біогазу

# Фактичний вихід і склад біогазу

- Частина органіки використовується для синтезу бактеріальної маси, як правило, 5-10 % органічного матеріалу
- До 10-15% органіки, в умовах обмеженого часу утримання в біореакторі, не збродиться і перейде в дигестат
- Лігнін не розкладається анаеробно
- Часто частина органічного матеріалу є недоступною через зв'язування в закритих структурних частинах, напр. лігно-целюлозні комплекси
- Розпад органіки може обмежуватись також дефіцитом окремих макро-мікроелементів
- Прогнозування складу виробленого газу є більш складним і залежить насамперед від кількості утворених  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$ , а також від рН в реакторі
- Утворений  $\text{CH}_4$  в основному виділяється в газову фазу, але  $\text{CO}_2$  частково розчиняється в рідкій фазі реактора або перетворюється на бікарбонат, в залежності від рН
- Відсоток  $\text{CH}_4$  у виробленому біогазі, як правило, буде вищим, ніж оцінений за стехіометричним співвідношенням



# Сировинні концепції виробництва біогазу

# Мотивація

Управління відходами

Виробництво енергії  
(паливо, енергія, тепло)

Додаткові вигоди/  
створення робочих  
місць

Утилізація гною /  
Виробництво добрив

Зменшення викидів  
парникових газів

...

ШЛЯХ 1

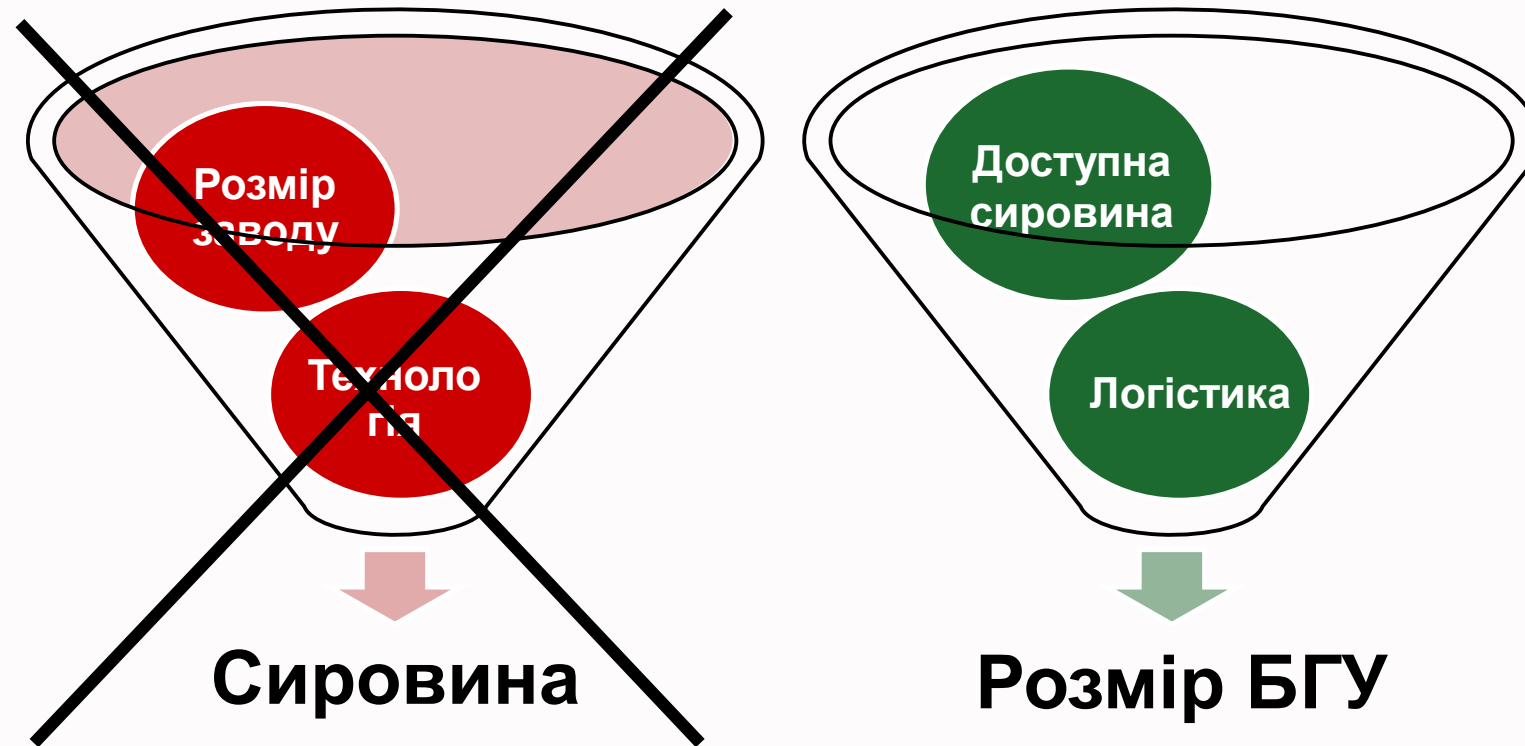
Мотивація та передумови проєкту впливають на вибір сировини

ШЛЯХ 2

Доступна сировина визначає технологію виробництва біогазу



# Кореляція між сировиною та розміром заводу



В ідеалі доступна сировина визначає розмір заводу. Можна розглянути додаткове збільшення потужності в майбутньому. Інакше (не)доступність сировини може стати ризиком для економічного успіху.



# Критерії підбору сировини

- Доступність
- Вплив на дозвільні та законодавчі вимоги для будівництва та експлуатації
- Вплив на технологію та експлуатаційні витрати
- Здатність до консервації та збереження (за потреби)
- Вплив на ефективність використання об'єму реакторів
- Вплив на біологію процесу
- Рівень отримання доходу (тариф на електроенергію, ціна продажу біометану, тощо )

# Попередня оцінка доцільності використання сировини

Субстрат	Кількість [т/рік]	СР	ОСР	Ціна [..../т]	Вартість транспортування [.../т]

- Дослідити наявність, обсяги та доступність інших видів побічних продуктів та відходів

# Сировинна складова собівартості $\text{CH}_4$

Вид сировини	Питомий вихід $\text{CH}_4$ , $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{т}$	Вартість сировини (конкурентна), грн/т	Сировинна складова собівартості $\text{CH}_4$ , євро/1000 $\text{m}^3\text{CH}_4$
Жом (СР 25%)	83	200	60
Послід курячий (СР 40%)	90	300	83
Солома пшениці	220	1500	170
Гній ВРХ (СР 25%)	44	500	284
Силос кукурудзи (СР 33%)	107	1600	374
Меяса	224	4800	536

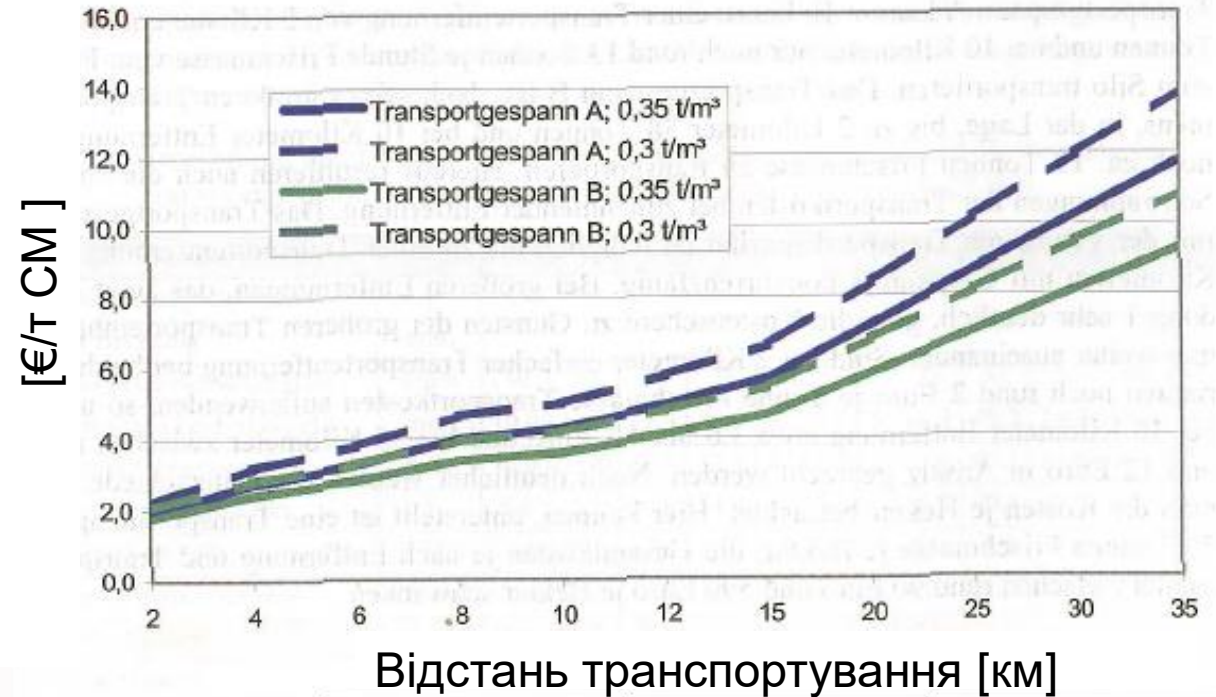
Логістика сировини: + 0,04...0,12 євро/(т·км), в залежності від типу сировини та відстані транспортування

# Доцільна відстань транспортування

Доцільна відстань транспортування  
(для умов Німеччини)

- Гній < 5 км
- Енергетичні культури < 12–15 км, максимум 20 км)

Вартість транспортування [€/т СМ ]



# Висновки

- Сировина впливає на майже всі аспекти біогазового проєкту, а тому раціональний вибір сировини є ключем до успіху
- Спектр видів сировини, придатних для виробництва біогазу, є досить значним, що дозволяє оптимізувати сировинну концепцію проєкту відповідно до задач
- Ключовими характеристиками сировини є вміст СР, домішок, структура органічної речовини, вміст та співвідношення макро- та мікроелементів, питомий вихід біогазу/ $\text{CH}_4$
- Довгострокова доступність сировини важлива для економічної життєздатності проєкту → напр. власна сировина або довгострокові контракти на постачання





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>

