



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Процес анаеробного зброджування:

*параметри та контроль процесу,
моніторинг ефективності*

Кучерук П.П.

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

08/11/2023



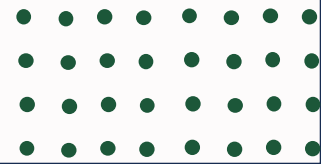
Зміст

- 01** Параметри та контроль процесу
- 02** Інгібітори та активатори процесу
- 03** Моніторинг та аналіз ефективності

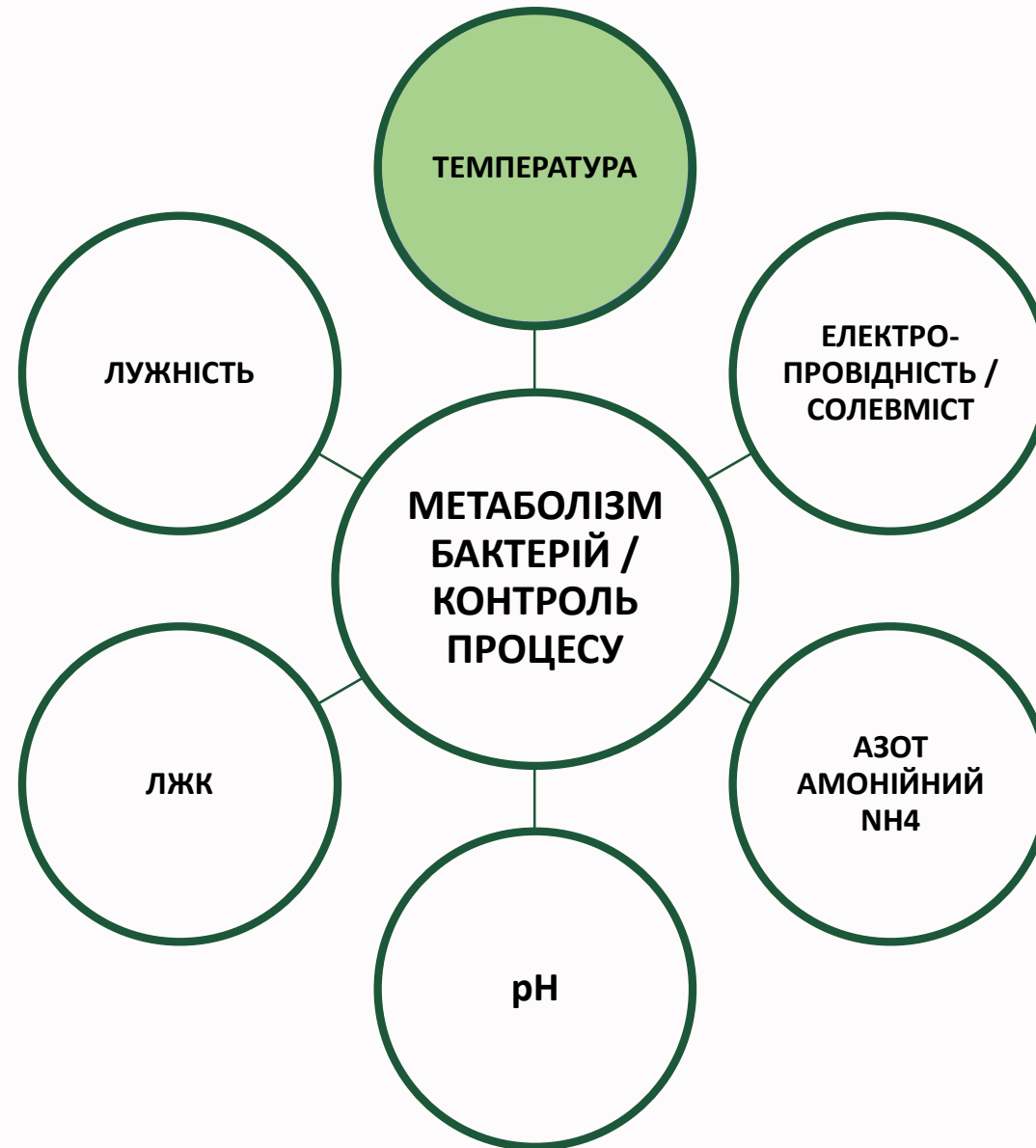




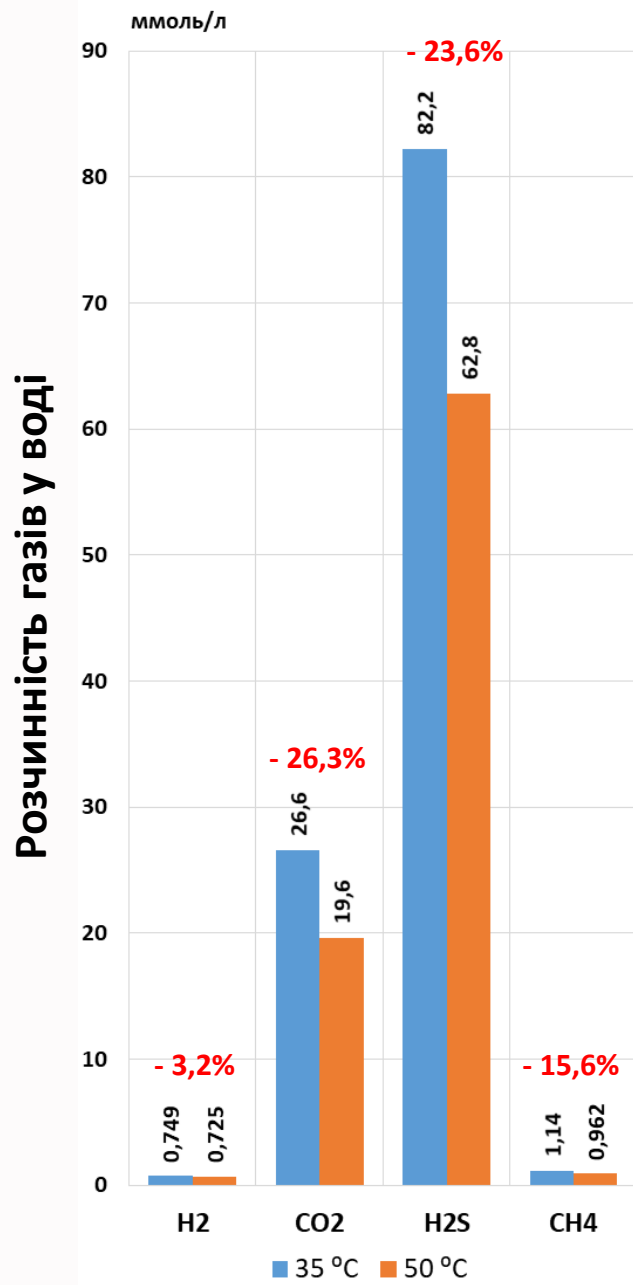
Параметри та контроль процесу



Основні параметри для контролю процесу



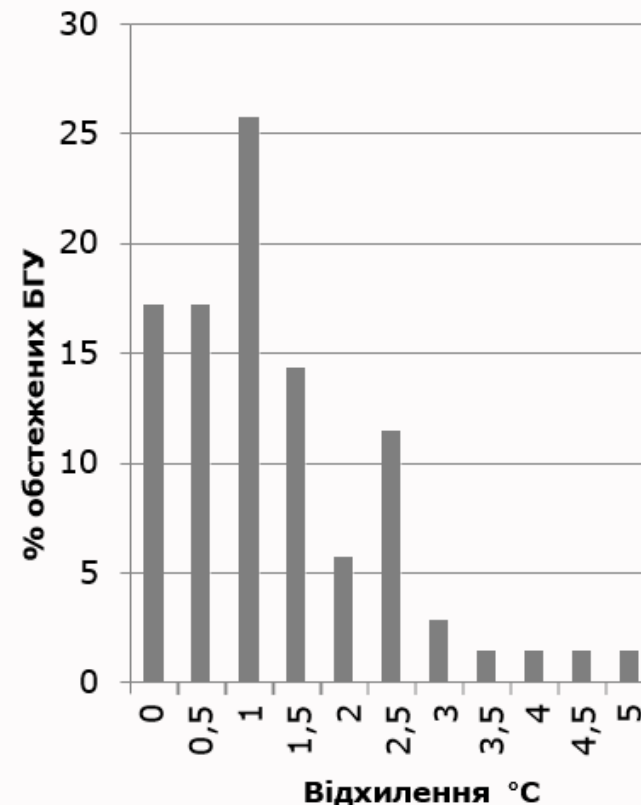
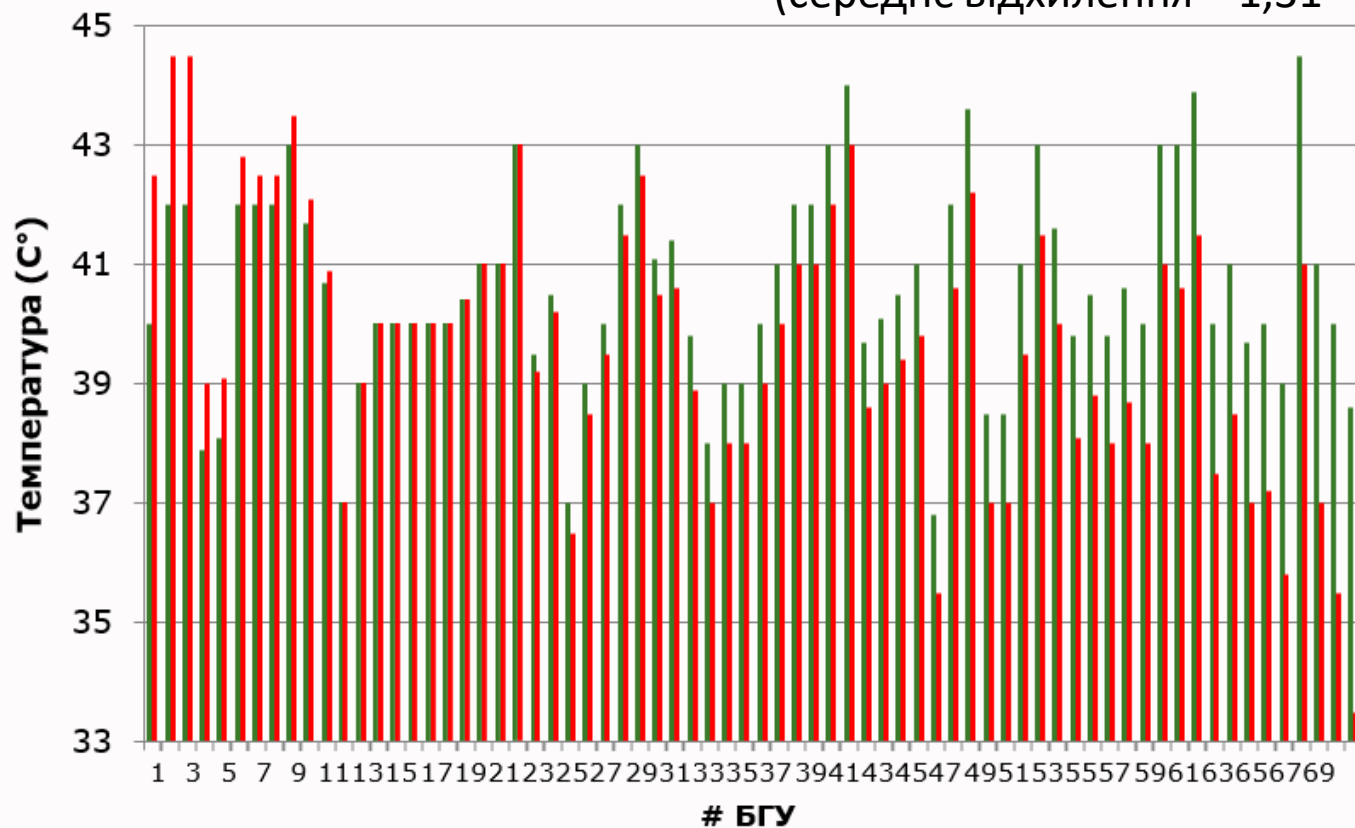
Вплив температури на технологічні параметри



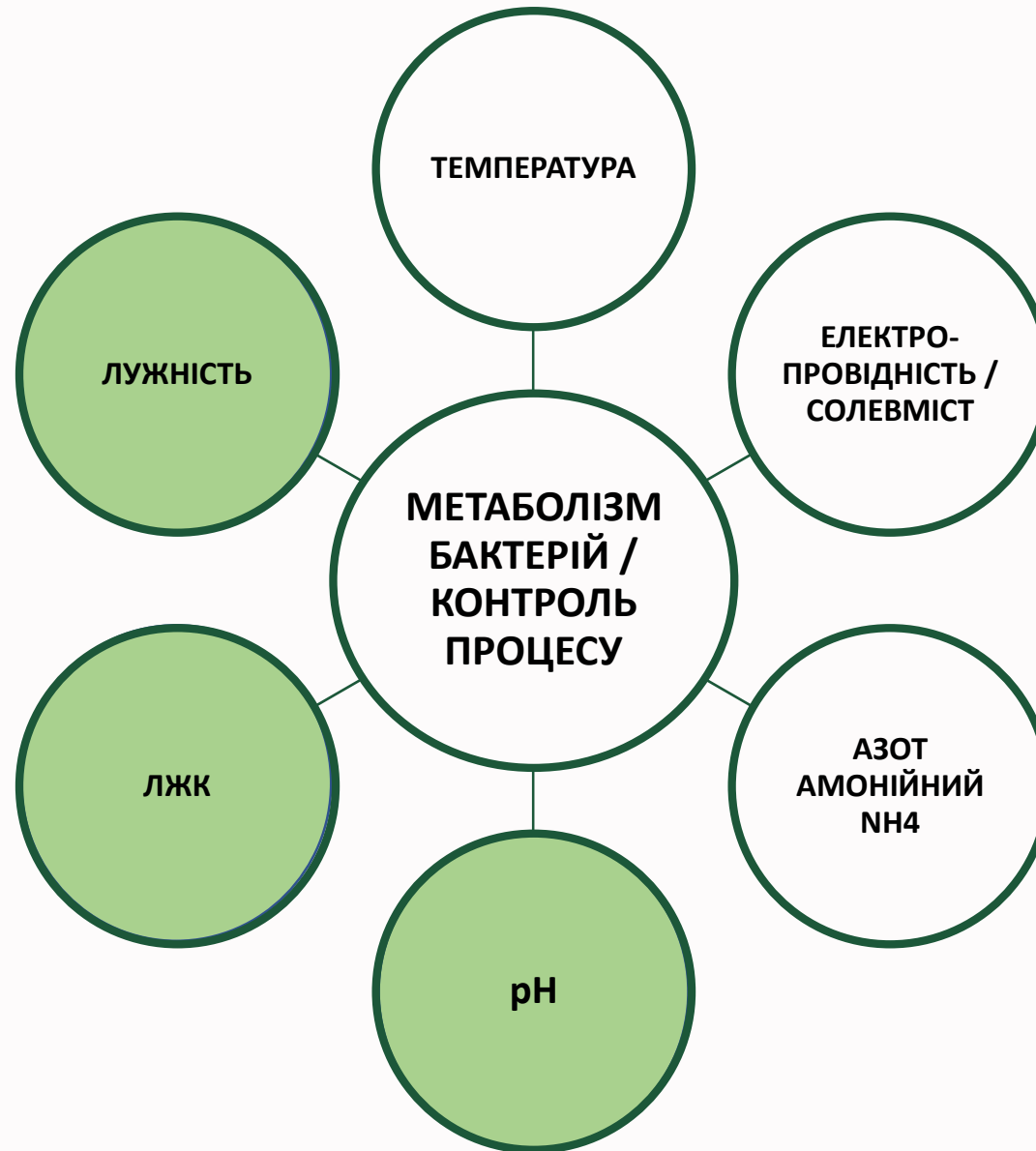
Температурні режими

Різниця між показами температури на моніторі (зелений колір) та температурою, виміряною безпосередньо в реакторі (червоний колір):

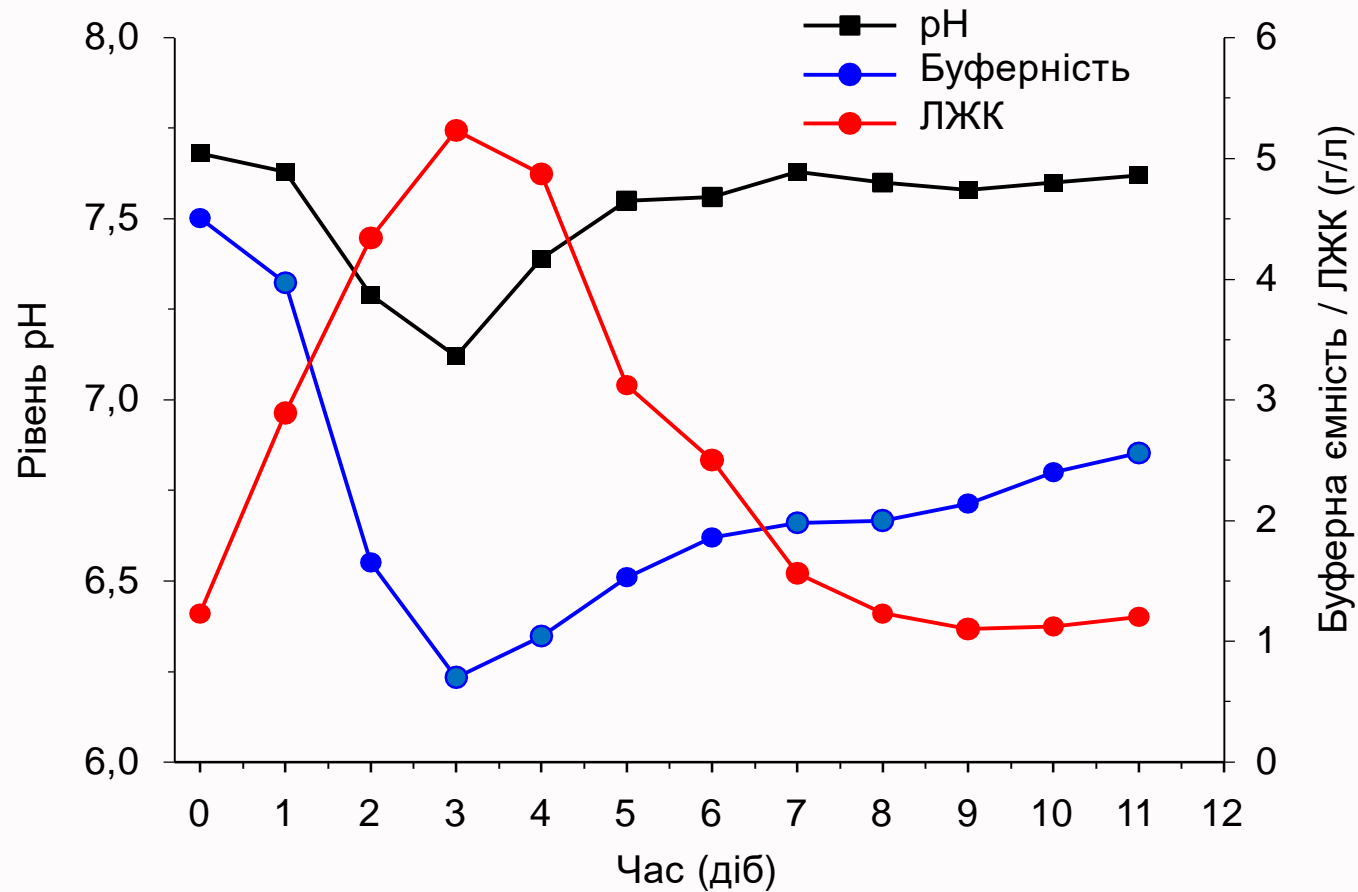
Лише на 10 з 70 досліджених біогазових станцій в Німеччині відхилення температури склало 0,3 °C (середнє відхилення = 1,31 °C)



Лужність - ЛЖК - рН



Лужність - ЛЖК - рН



- лужність (= буферна ємність) стабілізує рН
- контроль лише рівня рН не є достатнім

Джерело: М. Нехт,
(AnlagenTechnik)

Співвідношення (FOS / TAC)

На практиці контроль за закисленням проводиться за допомогою показника співвідношення FOS/TAC

TAC – загальний неорганічний карбон

Визначається титруванням сірчаною кислотою відібраної проби з реактора (фільтрованої, розбавленої) до рН 5,5

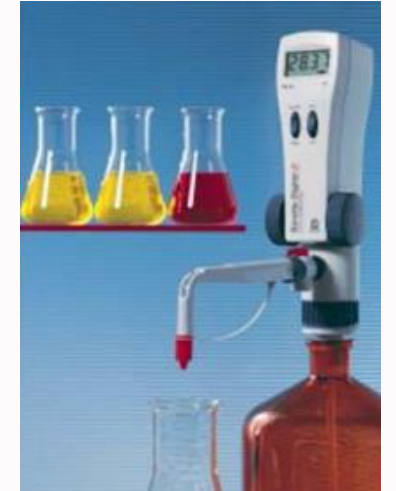
TAC = об'єм кислоти, спожитої на 1 етапі титрування x 250

FOS – леткі жирні кислоти (в еквіваленті оцтової кислоти)

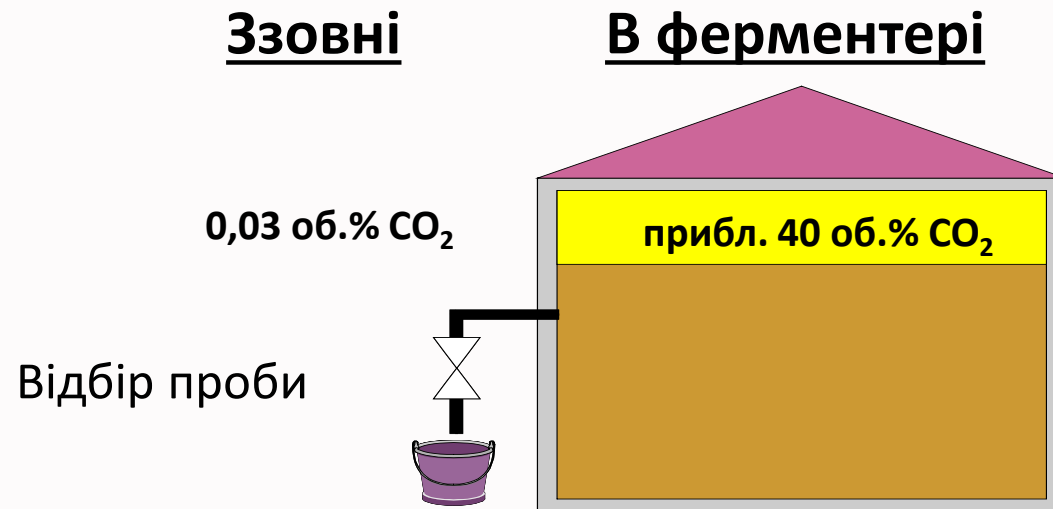
Визначається подальшим титруванням сірчаною кислотою проби з рН 5,5 до рН 4,4

FOS = (об'єм кислоти , спожитої на 2 етапі титрування $V \times 1.66 - 0.15$) x 500

Як правило, критичне значення FOS/TAC > 0,3. Однак, в окремих випадках, процес може бути ефективним і при FOS/TAC = 0,4...0,6, напр., при зброджуванні силосу кукурудзи. Потрібен регулярний контроль і аналіз впливу цього показника на процес



Рівень рН - Концентрація CO₂



- Одразу після відбору проби, CO₂ починає вивільнятися з проби в атмосферу



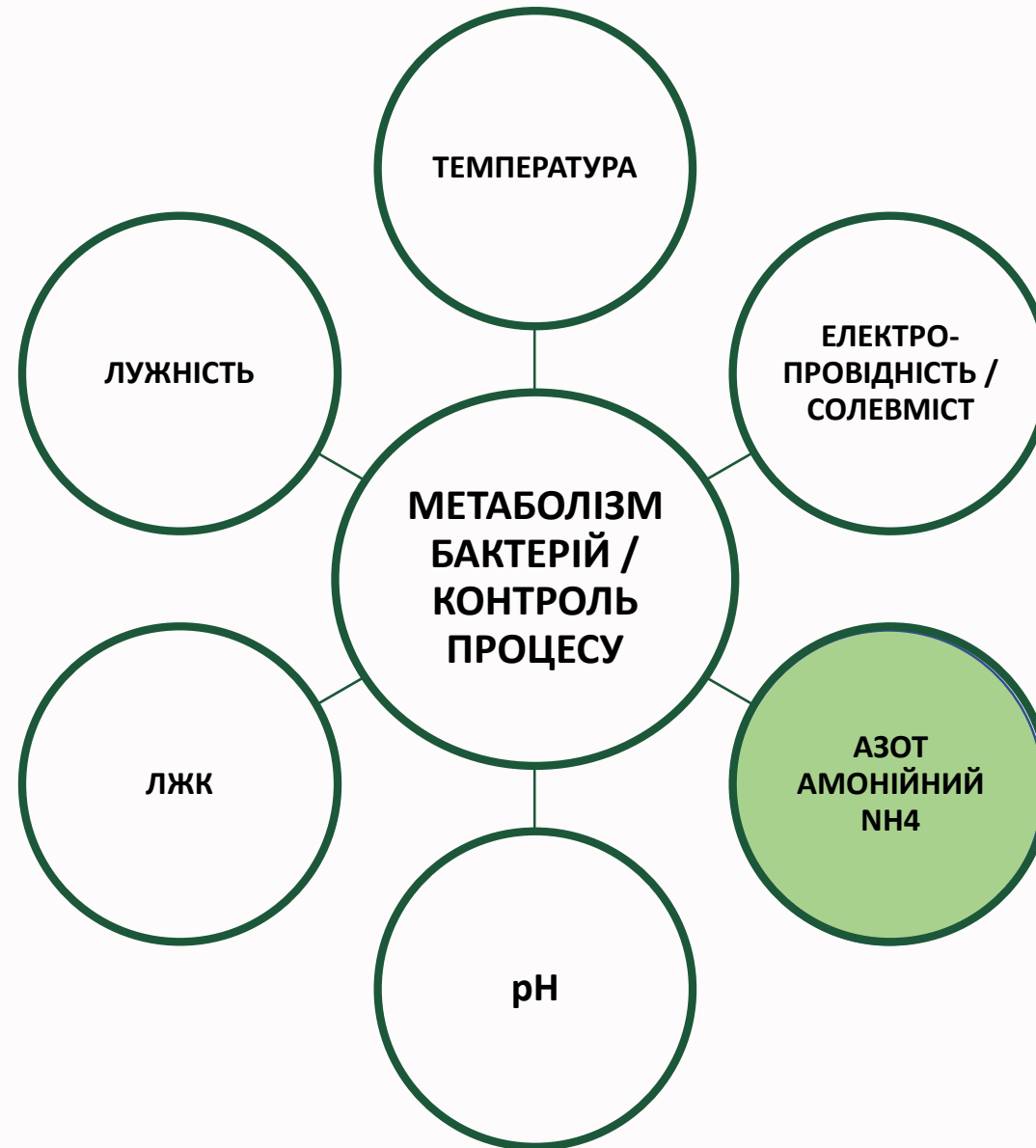
Рівень рН зростає



рН в пробі > рН в ферментері

- Використання спеціалізованих пробовідбірників закритого типу може бути рішенням

Лужність - ЛЖК - рН



Азот амонійний

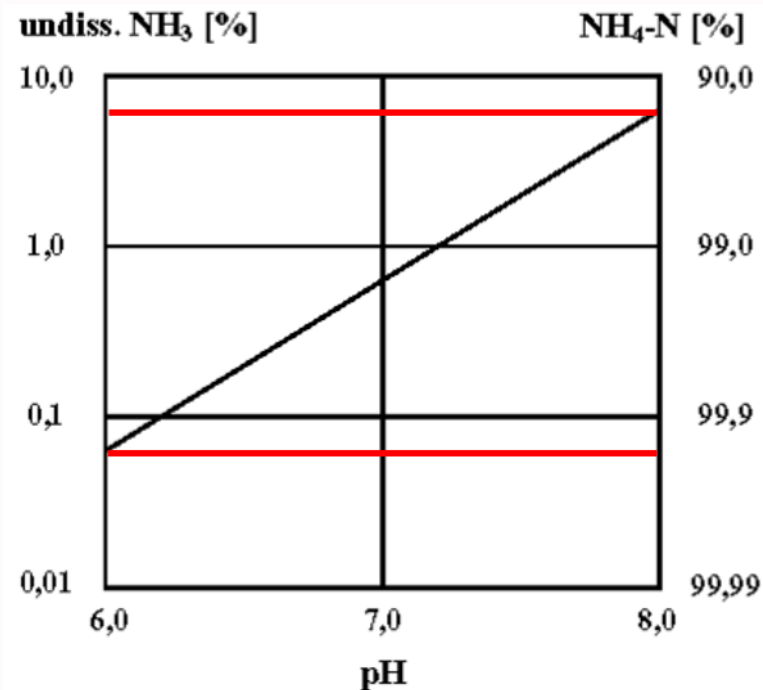


Азот амонійний (NH_4) \longrightarrow іон, доступне для рослин добриво

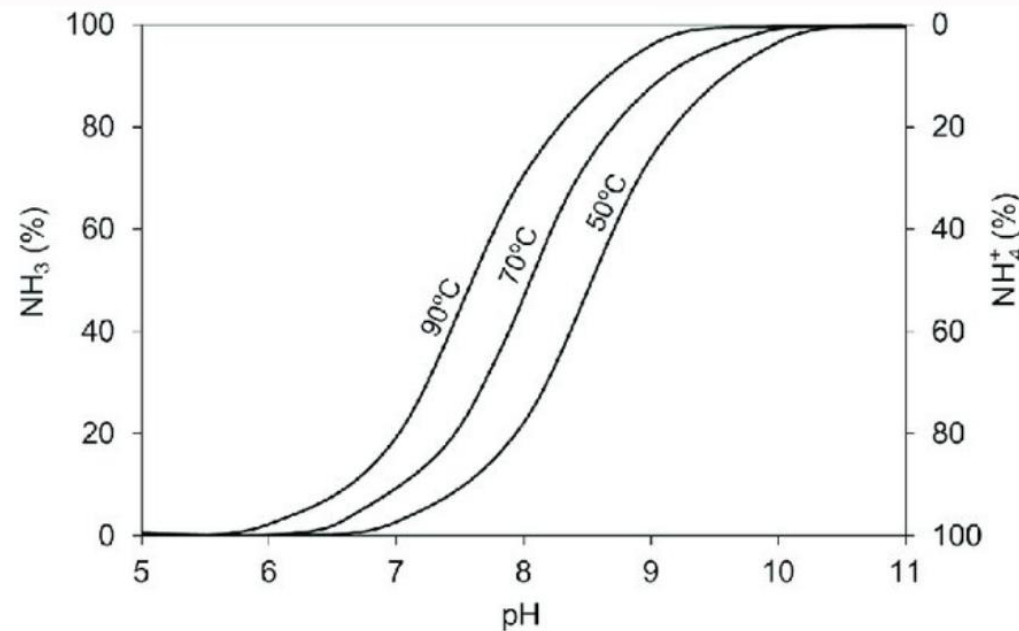
Аміак (NH_3) \longrightarrow газ, токсичний для бактерій

NH_4 ~ 1...2,5 г/л

при $\text{NH}_4 > 3$ г/л – можлива адаптація процесу

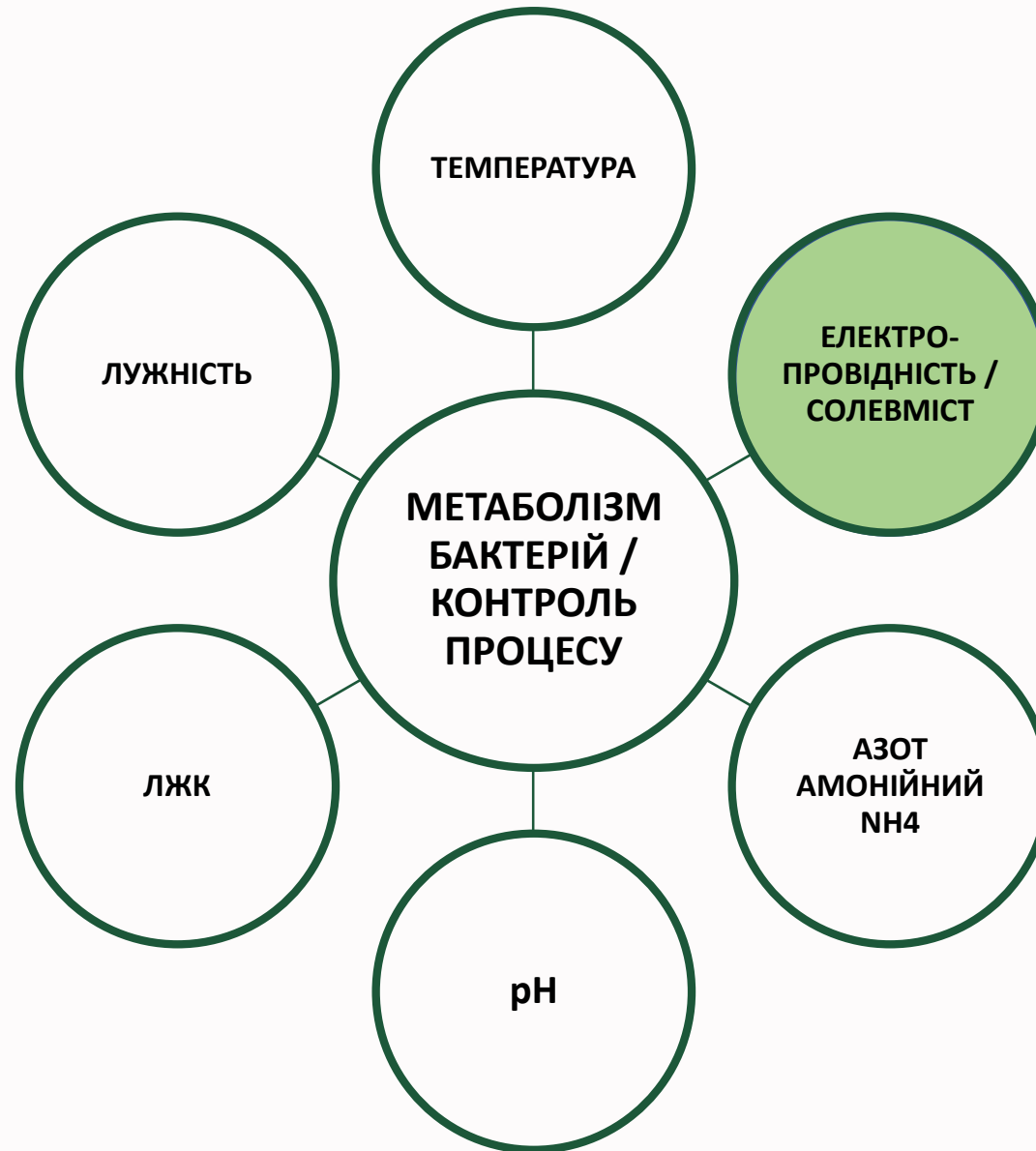


Рівновага $\text{NH}_3 / \text{NH}_4$



$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{T} - \text{NH}_3]}{\left(1 + \frac{H^+}{K_a}\right)}$$

Лужність - ЛЖК - рН



Електропровідність / солевміст

- Нормальний показник – 20...25 мS/см
- Критичний показник - > 60 мS/см (додати свіжу воду)
- Підвищує осмотичний тиск в клітинах бактерій
- Завжди потрібно міряти, коли незрозумілі причини нестабільності процесу зброджування
- Не критичний параметр при зброджуванні силосу кукурудзи
- Обов'язковий параметр для контролю при зброджуванні харчових відходів, продуктів з вмістом солі

Вимірюється
кондуктометром



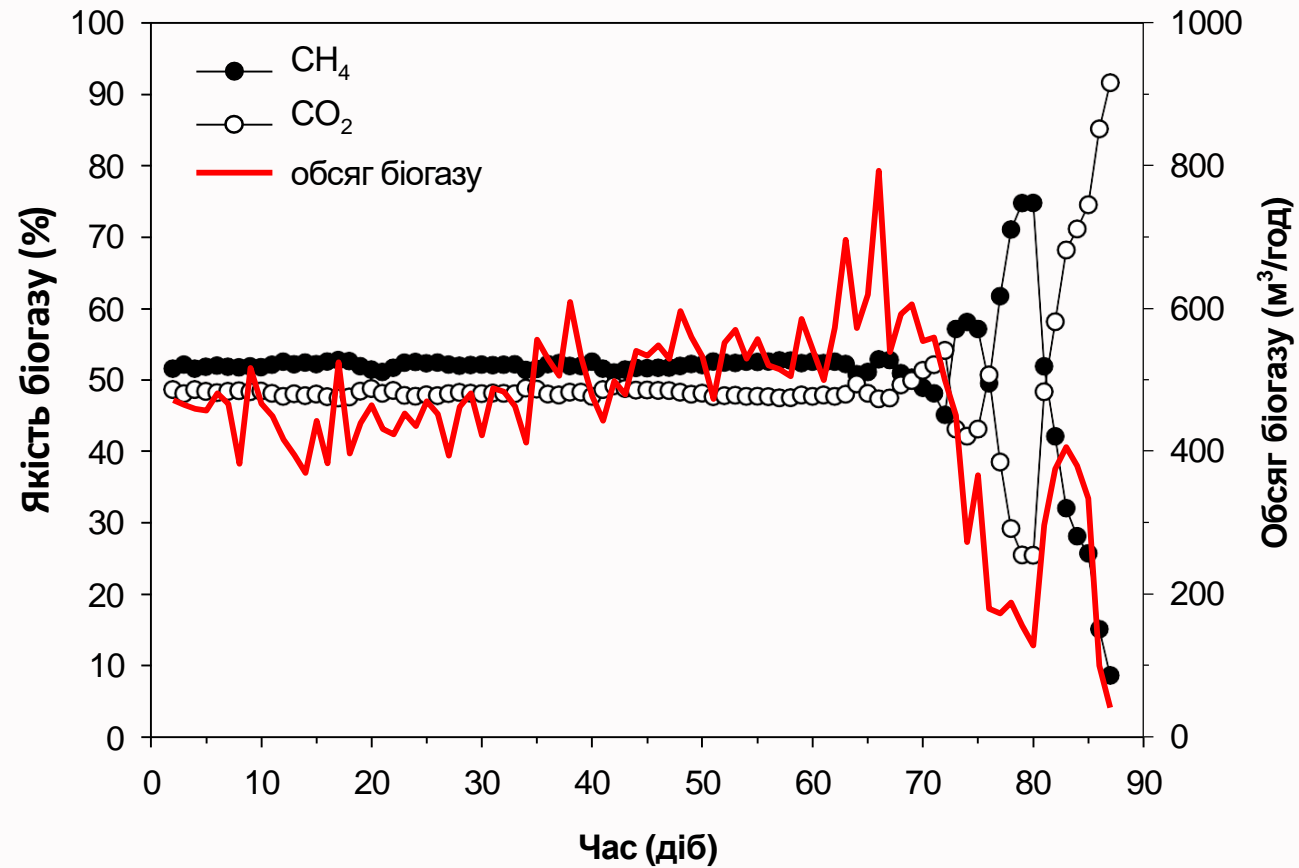
Склад біогазу - додатковий параметр для контролю

- Концентрація окремих газів в біогазі залежить від типу вхідної сировини, але розбалансування процесу також може впливати на співвідношення між газами
- Передозування реактора легкокорозщеплюваними органічними речовинами може спричинити збільшення концентрації кислот та обсягу виділення CO_2 , що вказуватиме на превалювання процесів гідролізу
- CO_2 буферизує розчин, процес здатен, до певної міри, стабілізуватись
- Вплив складу біогазу – індивідуальний, залежно від сировини
- **CH_4 , CO_2 , H_2S та O_2** повинні завжди вимірюватись



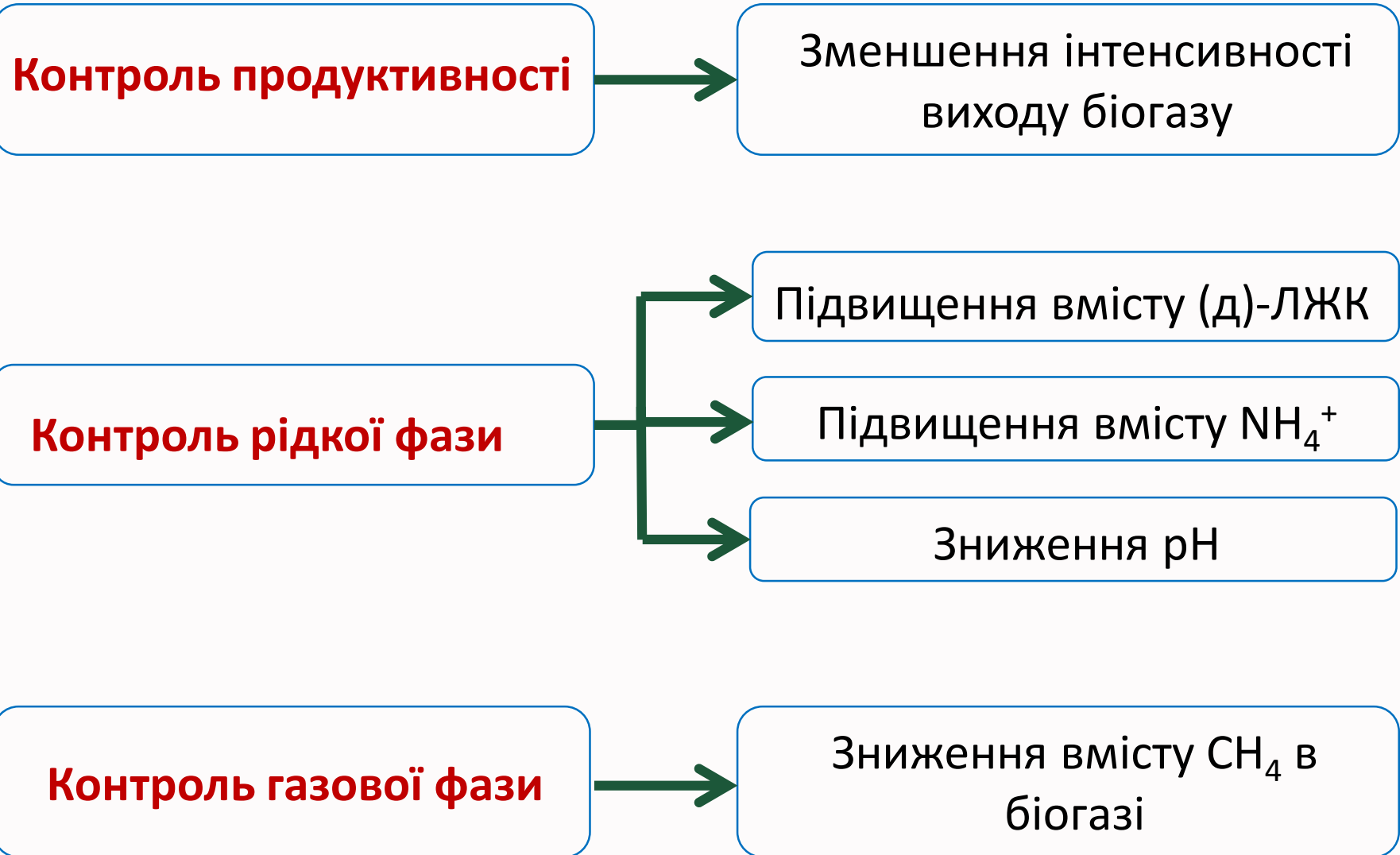
Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Суттєва зміна обсягів і складу біогазу



Джерело: М. Нехт,
(AnlagenTechnik)

Ключові напрямки контролю процесу та основні індикатори розбалансування процесу



Основні фактори розбалансування процесу метанового бродіння

Чинники

Причини

Наслідки

Перевищення **органічного навантаження** біореактора

- ↑ % органіки в сировині
- перевищення норми подачі сировини

- перевищення балансу подачі-споживання субстрату для лімітуючої реакції процесу
- накопичення продуктів проміжних реакцій процесу та інтоксикація мікрофлори

Перевищення **гідравлічного навантаження** біореактора

- зменшення робочого об'єму реактора через недосконалу систему перемішування та закупорення піском
- ↓ % органіки в сировині

- перевищення гідравлічного навантаження над швидкістю росту критичної популяції бактерій
- поступове вимивання

Накопичення **токсичних елементів** (NH_4 , (д)-ЛЖК, важкі метали)

- подача сировини з надмірним вмістом білку
- подача сировини з надмірним вмістом жирів
- потрапляння солей важких металів з сировиною

- утворення токсичної концентрації NH_3 при розпаді білків
- утворення токсичної концентрації д-ЛЖК
- інтоксикація критичної популяції бактерій важкими металами → ↑ ЛЖК

Раптова зміна параметрів процесу

- різке збільшення органічного навантаження
- різка зміна температури та рН

- різке збільшення концентрації NH_4
- різка зміна метаболічної активності біоценозу та накопичення метаболітів

Рекомендований режим контролю параметрів

Параметр контролю	Рекомендована частота контролю	Ким контролюється
температура	щоденно	оператор
рівень рН	1 раз на тиждень	оператор / лабораторія
солевміст	1 раз на тиждень (харчові відходи)	оператор / лабораторія
FOS/TAC	1 раз на тиждень	оператор / лабораторія
ЛЖК	1 раз на місяць або за потреби	лабораторія
азот амонійний	1 раз на тиждень/місяць (залежно від сировини)	лабораторія
мікроелементи	2-4 рази на рік	лабораторія
СР / СОР	на вході → за потреби в реакторі → 1 раз на місяць	оператор / лабораторія
склад біогазу	щоденно	оператор
аміак	1 раз на місяць	оператор

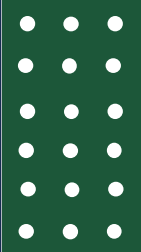
Діапазони значень параметрів

Параметр контролю	Розм.	Діапазон значень		
		ОК Допустимі значення	УВАГА Підвищені значення	РЕАКЦІЯ ! Перевищені значення
рН	[-]	7,5 – 8,1	7,1 – 7,4	< 7,1; > 8,3
FOS : ТАС	[-]	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0
СР	[%]	3 – 9	< 3	> 12
NH ₄ -N	[г/л]	< 4,0	4,0 - 5,5	> 5,5
NH ₃ -N *	[мг/л]	< 500	500 – 800	> 800
Оцтова кислота	[мг/л]	0 – 1.000	1.000 – 3.000	> 3.000
Пропіонова кислота	[мг/л]	0 – 250	250 – 1.000	> 1.000
д-ЛЖК	[мг/л]	0 – 50	50 – 300	> 300
Загальний ЛЖК	[мг/л]	0 – 1.500	1.500 – 4.500	> 4.500
Пропіонова : Оцтова к-та	[-]	0 – 0,2	0,3 – 1,0	> 1,0
Електропровідність	[mS/cm]	< 30	30 - 40	> 40

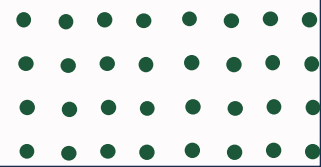
* залежить від концентрації NH₄-N, температури та рН

Основні правила ефективного управління процесом в біореакторі

- Підтримуйте сталий режим подачі сировини та її склад
- Уникайте перевантаження або раптових різких змін
- Уникайте утворення піни:
 - При додаванні сировини з низьким рН
 - При додаванні сировини з високим вмістом протеїну
 - При перевантаженні реактора
 - При неефективному та/або неналежному перемішуванні
- Перемішуйте так часто як необхідно і так рідко як можливо
- Підтримуйте регулярне перемішування
- Виберіть правильну температуру і підтримуйте її сталою



Інгібітори та активатори процесу



Інгібітори процесу



Концентрації інгібування

Інгібітор	Концентрація інгібування	Примітки
Кисень	> 0,1 мг/л O ₂	Пригнічення суворих анаеробів - метанових бактерій/архей
Сірководень	> 50 мг/л H ₂ S	Інгібуючий ефект посилюється зі зниженням значення рН
ЛЖК	> 2000 мг/л НАс (рН = 7,0)	Інгібуючий ефект посилюється зі зниженням значення рН. Висока адаптивність бактерій
Амонійний азот	> 3500 мг/л NH ₄ ⁺ (рН = 7,0)	Інгібуючий ефект посилюється зі збільшенням значення рН і підвищенням температури. Висока адаптивність бактерій.
Важкі метали	Cu > 50 мг/л Zn > 150 мг/л Cr > 100 мг/л	Інгібуючий ефект мають лише розчинені метали. Детоксикація шляхом осадження сульфідів
Дезінфектанти Антибіотики	індивідуально	Інгібуючий ефект специфічний кожному окремому продукту

Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Амонійний азот (NH_4^+) – Аміак (NH_3)

- Аміак (NH_3) утворюється під час розкладання багатої азотом сировини (білків, сечової кислоти)
- Ризикова сировина: трава, зернові культури, курячий послід/підстилка, багаті білком харчові відходи (наприклад, сир), барда від виробництва біоетанолу тощо.
- Аміак необхідний для росту клітин, але є ЦИТОТОКСИНОМ і пригнічує бактерії та археї, які беруть участь у виробництві біогазу



Вміст азоту в гноєві тварин

		Гній свиней		Гній ВРХ	
		діапазон	median	діапазон	median
					
Азот амонійний	NH ₄ -N (г/кг)	0,9 – 7,5	2,9	0,4 – 3,3	1,8
Азот загальний	tot-N (г/кг)	1,2 – 9,3	4,2	1,2 – 8,0	4,1

Приклад

HRT: 50 діб
pH: 8.0
T: 52 °C



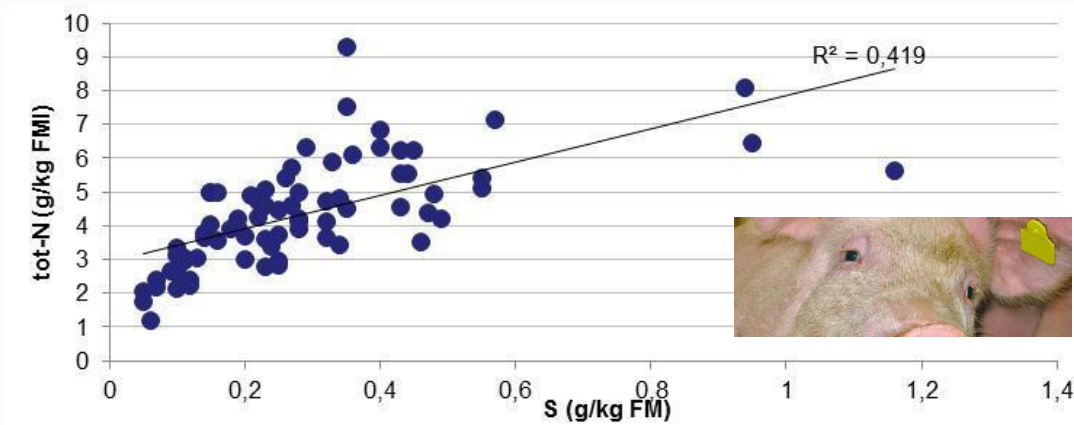
NH₃ в реакторі:

830 г/м³

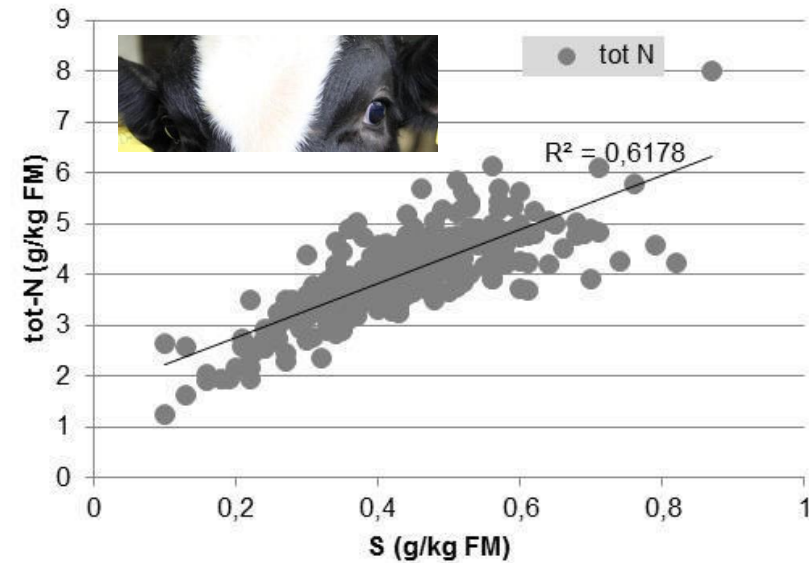
690 г/м³

Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Вміст азоту корелюється з вмістом сірки

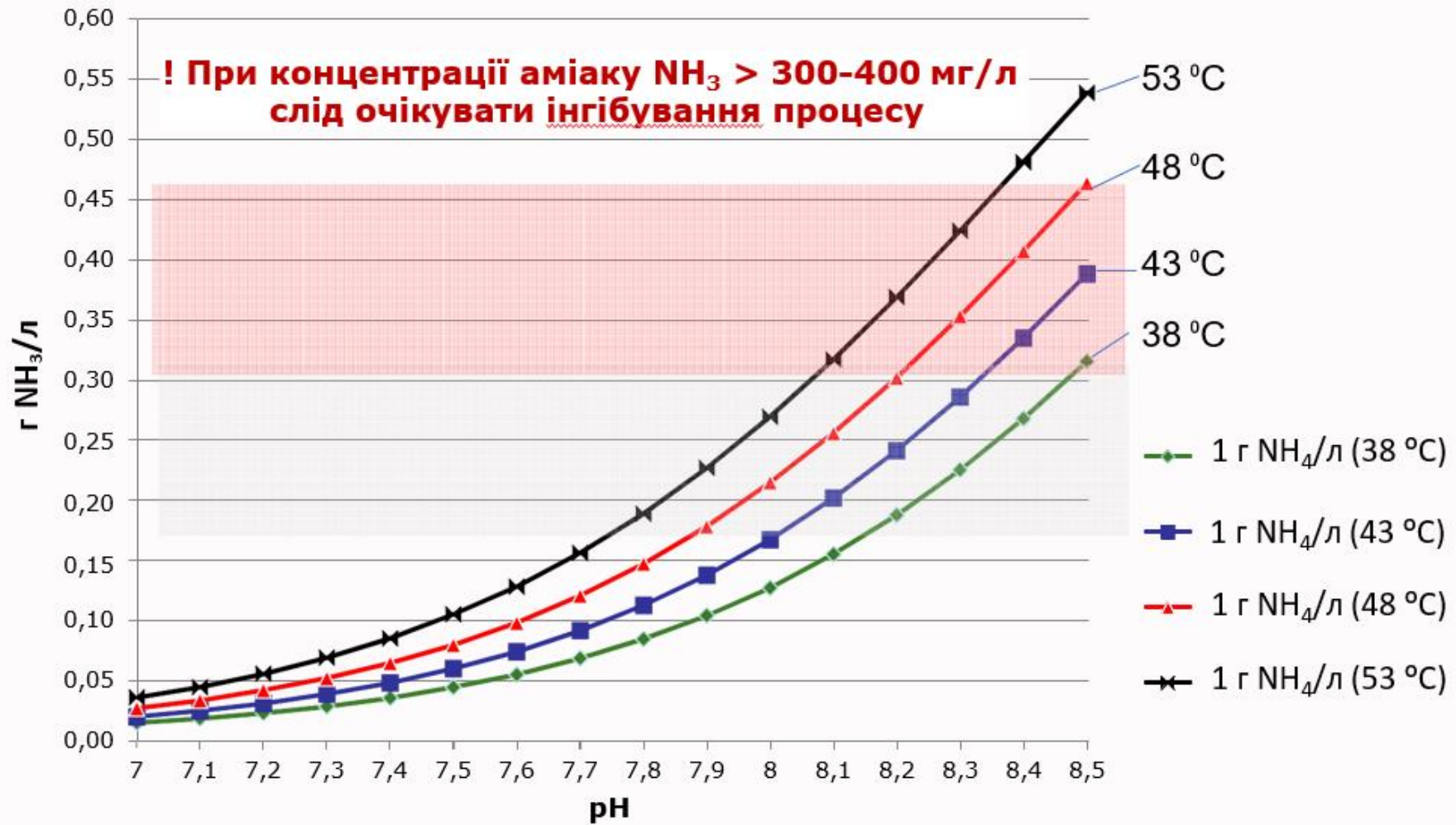


- H_2S в біогазі
- Низький рН: інгібує
- Високий рН: не інгібує, але...
... S зв'язує мікроелементи →
→ **низька біодоступність**



Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

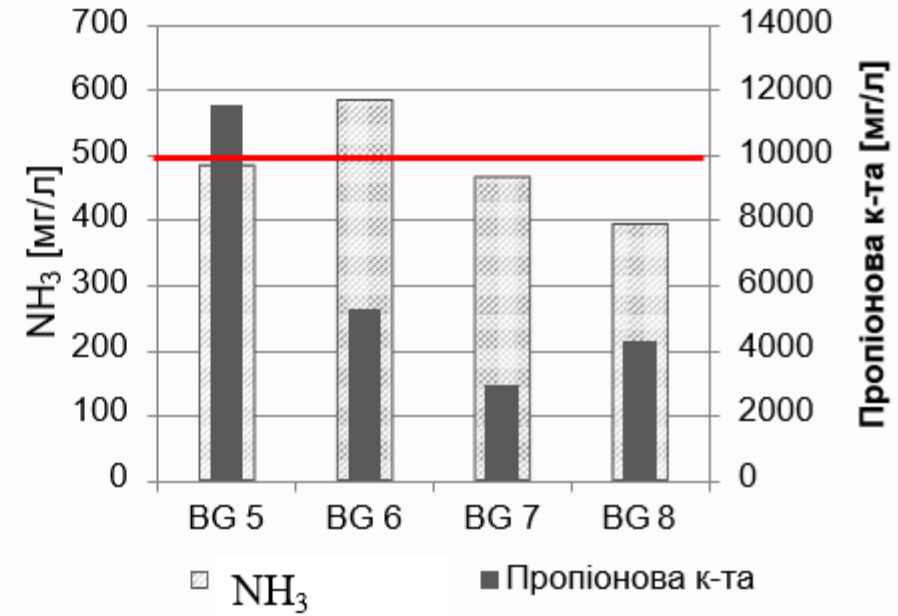
Підвищення температури інтенсифікує утворення NH_3



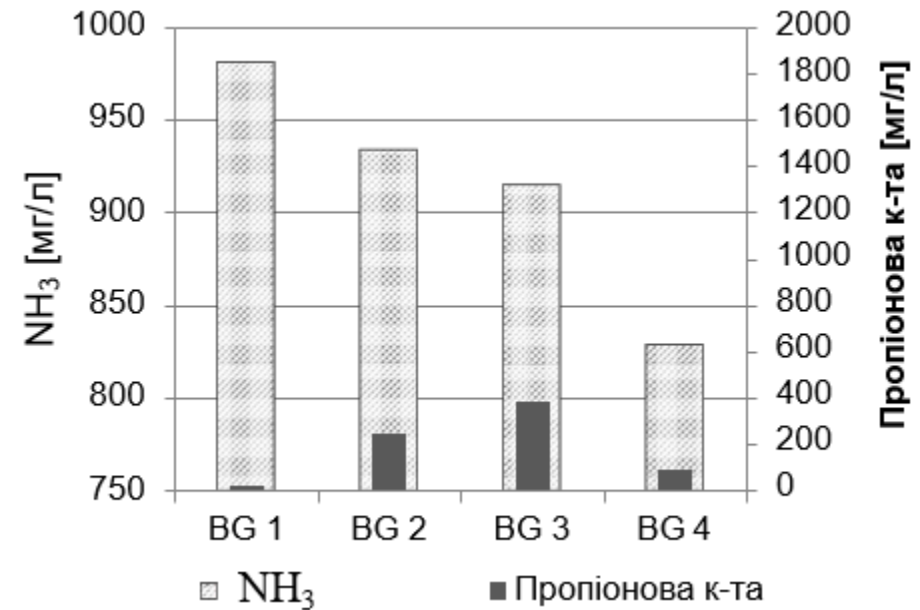
Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Адаптація бактерій до високого рівня NH_3

NH_3 інгібування



Адаптований біоценоз



Способи зниження інгібування NH_3

Контроль

- Зменшити подачу органічного N $\rightarrow \text{NH}_3$ ↓
- Знизити температуру процесу (мінімум до 38 °C)
- Знизити рН (якщо можливо, особливо при високому ТАС)
- Додати воду: температура ↓ HRT ↓ концентрація $\text{NH}_4\text{-N}$ ↓
вихід дигестату ↑

Добавки

- додати FeCl_2 : рН ↓, зв'язує NH_4^+
- Додати селективні зв'язувачі NH_4^+ (напр., цеолітовий пісок, спеціалізовані іонообмінники)

Кисень (O₂)

Джерела / Запобігання / Рішення

- Потрапляє з сипучою сировиною → попереднє змішування з рідкою сировиною
- Потрапляє в системах подачі сировини → забезпечення достатнього рівня стиснення
- Потрапляє в системах біологічної десульфуризації → ефективний контроль дозування повітря/O₂
- Потрапляє при розгерметизації системи → заміщення нейтральними газами (N₂)

! Вміст O₂ в біогазі також є критичним при виробництві біометану

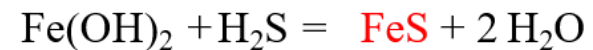


Сірководень (H₂S)

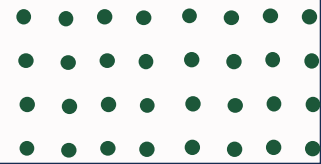
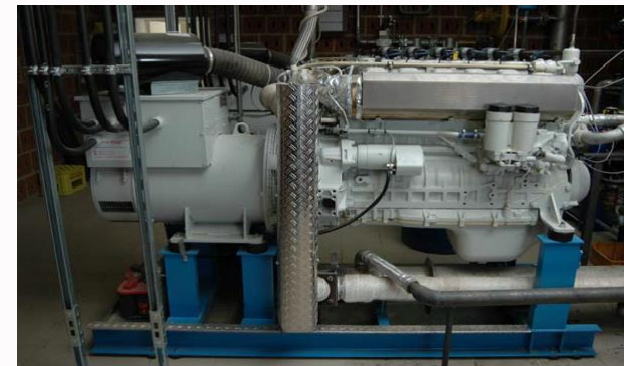
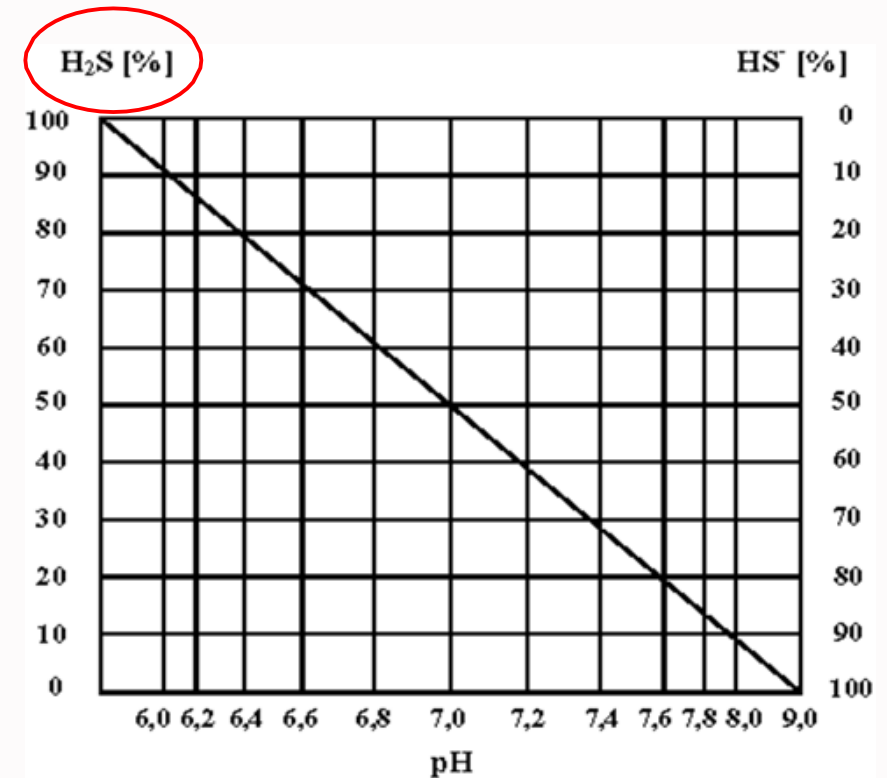
Джерела / Запобігання / Рішення

- H₂S зазвичай вимірюється в біогазі (ppm): запах тухлих яєць
- критичні субстрати: відходи бійні, кров, гній
- технічні проблеми: корозія, пошкоджує ТЕЦ
- хімічне осадження сірки в реакторі → рішення для запобігання інгібування процесу

В реакторі:



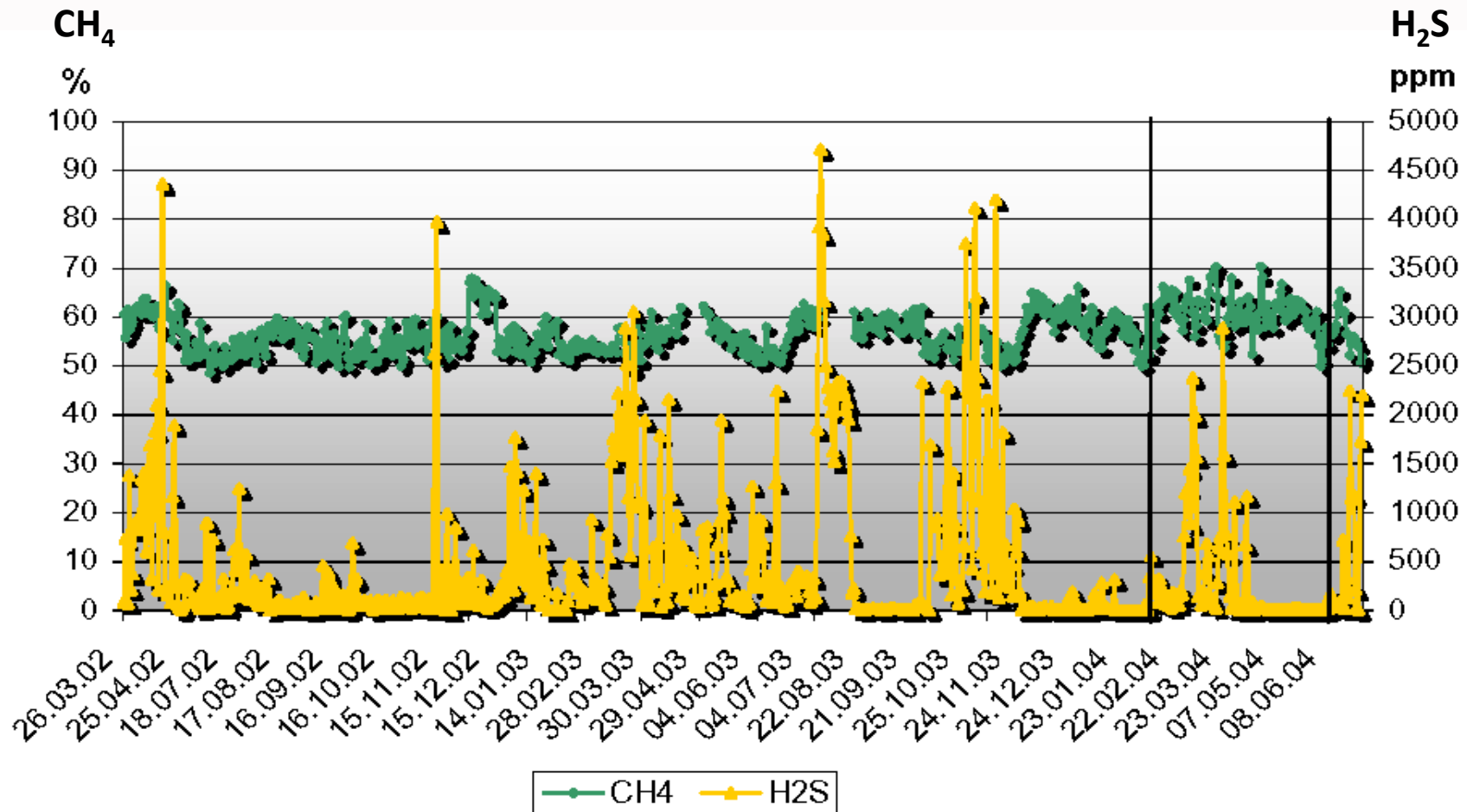
При внесенні на поля : $\text{FeS} + 2 \text{O}_2 = \text{SO}_4^{2-} + \text{Fe}$



Сірководень (H₂S)

Флуктуації

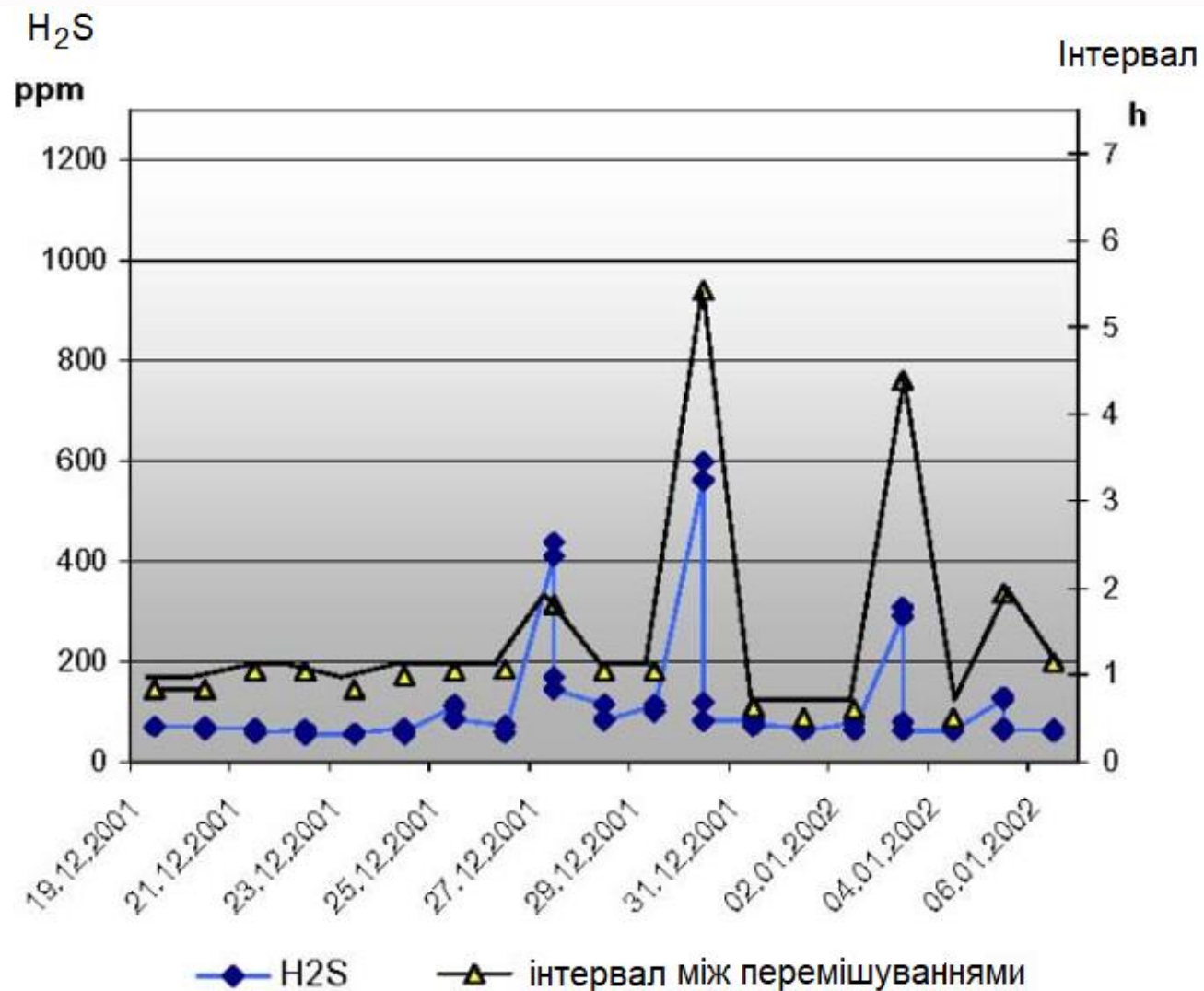
Якість біогазу на БГУ, що працює на силосі кукурудзи



Джерело: Besgen,
Kemkens 2004

Сірководень (H_2S)

Вплив інтервалів між перемішуванням
на концентрацію сірководню в біогазі



Джерело: Besgen,
Kemkens 2004

Леткі жирні кислоти (ЛЖК)

Джерела / Запобігання / Рішення

- ЛЖК – проміжні продукти анаеробного розпаду, постійно присутні в реакторі та в дигестаті
- При стабільному процесі в реакторі домінує оцтова кислота
- Підвищення концентрацій вищих кислот може свідчити про розбалансування як окремих стадій, так і процесу в цілому
- Низький вміст ЛЖК може свідчити про недостатнє органічне навантаження
- Нормальний рівень ЛЖК – 1...2 г/л НАс
- Критичний рівень > 3...4 г/л НАс
- Ефект інгібування посилюється зі збільшенням рН
- Бактерії здатні адаптуватись до високих концентрацій ЛЖК, особливо при достатній буферній ємності в реакторі
- Найбільш просте та швидке рішення при перевищенні концентрації ЛЖК → знизити обсяги подачі сировини (органічне навантаження)
- Наступний рівень вирішення → збільшити рівень лужності/ТАС (додавання гною, посліду або підлужнення з допомогою, напр., соди NaHCO_3)
- Наступний рівень рішення → детальний аналіз вмісту різних кислот та мікроелементів → вибір та дозування мікронутрієнтів

Комплексний аналіз ЛЖК

	Оцтова CH_3COOH	Пропіонова $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	Бутирова $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	Ізо-бутирова $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	Валеріанова $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	Ізо-валеріанова $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	Капронова $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$
Оптимум	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Перевантаження Інгібування	3,42	0,18	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00
	2,42	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3,31	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Інгібування	2,02	7,06	0,00	0,12	0,08	0,25	0,00
	0,64	9,67	0,02	0,19	0,10	0,64	0,01
	0,20	8,45	0,00	0,06	0,00	0,03	0,06
Дефіцит мікроелементів	2,38	0,72	0,03	0,61	0,02	0,24	0,04
	1,51	0,25	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00
	3,47	0,72	0,00	0,29	0,00	0,18	0,00

Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

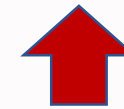
Недостатній рівень буферної ємності – причина перевищення ЛЖК

Kurzkettige aliphatische Säuren			
Probe Nr.	09-015408-01		
Bezeichnung	F 1		
acetic acid	mg/kg	OS	1.000
propionic acid	mg/kg	OS	<50
butyric acid	mg/kg	OS	<50
iso-butyric acid	mg/kg	OS	<50
valeric acid	mg/kg	OS	<50
iso-valeric acid	mg/kg	OS	<50
caproic acid	mg/kg	OS	<50
HAc equivalent	mg/kg	OS	1.000
buffer capacity	mg/kg	OS	14.000
FOS/TAC		OS	0,071
Nährwerte (Gesamtgehalte)			
Probe Nr.	09-015408-01		
Bezeichnung	F 1		
Ammonium (NH ₄)	kg/m ³	W/E	2,5
Ammonium (NH ₄ -N)	kg/m ³	W/E	1,94



Нормальний процес

Kurzkettige aliphatische Säuren			
Probe Nr.	09-015007-01		
Bezeichnung	Fermenter		
acetic acid	mg/kg	OS	9.800
propionic acid	mg/kg	OS	5.100
butyric acid	mg/kg	OS	1.600
iso-butyric acid	mg/kg	OS	750
valeric acid	mg/kg	OS	370
iso-valeric acid	mg/kg	OS	1.300
caproic acid	mg/kg	OS	91
HAc equivalent	mg/kg	OS	16.600
buffer capacity	mg/kg	OS	3.800
FOS/TAC		OS	4,4
Nährwerte (Gesamtgehalte)			
Probe Nr.	09-015007-01		
Bezeichnung	Fermenter		
Ammonium (NH ₄)	kg/m ³	W/E	2,28
Ammonium (NH ₄ -N)	kg/m ³	W/E	1,77



Закислення реактора

Джерело: М. Нехт,
(AnlagenTechnik)

Антибіотики / Дезінфектанти

- Хлороформ, альдегіди, феноли, спирти, кислоти та ін.
- Флавоміцин, Саліноміцин, Тетрациклін і ін.
- Інгібуючий ефект залежить від продукту та дози
- Більшість дезінфікуючих засобів і антибіотиків розкладаються протягом 2-3 тижнів
- Зберігання (рідкого) гною перед подачею в реактор
- Важливу роль відіграє спосіб введення антибіотиків



Антибіотики / Дезінфектанти

Джерела інгібіторів в гноєві

вакцини



антибіотики



боротьба зі шкідниками



знезараження на вході



дезінфектанти приміщень



Мікотоксини

- Мікотоксини виділяються пліснявою (грибками)
- Можуть розвиватись при тривалому зберіганні вологої сировини з доступом кисню (навіть незначним)
- Розвиваються в досить широкому діапазоні температур (5...37°C) та рівнях рН (2,5...8,0)
- Найкращий спосіб боротьби – запобігання
- Швидке формування молочної та оцтової кислот при закладанні силосу + достатнє ущільнення + накриття сховища – запорука тривалого зберігання силосу
- Спліснявілу сировину не рекомендується подавати в біореактор



Penicillium roqueforti



Monascus ruber

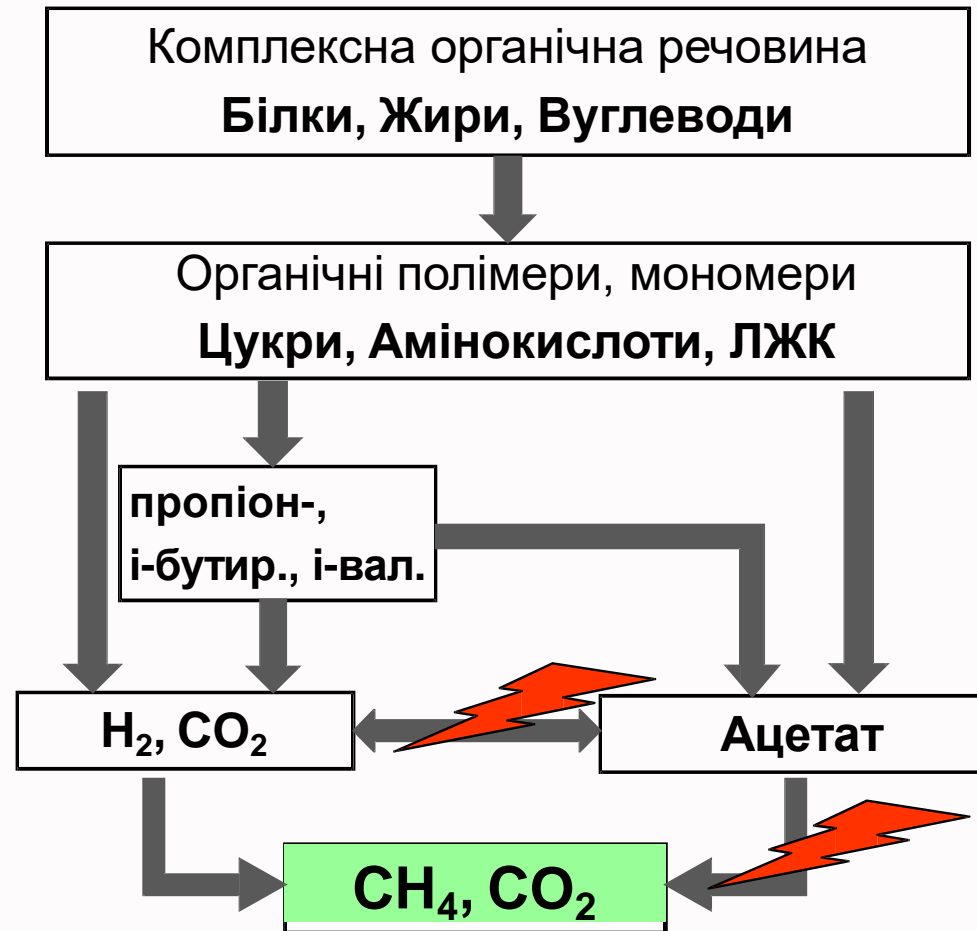


Aspergillus fumigatus

Спіснєвіла сировина



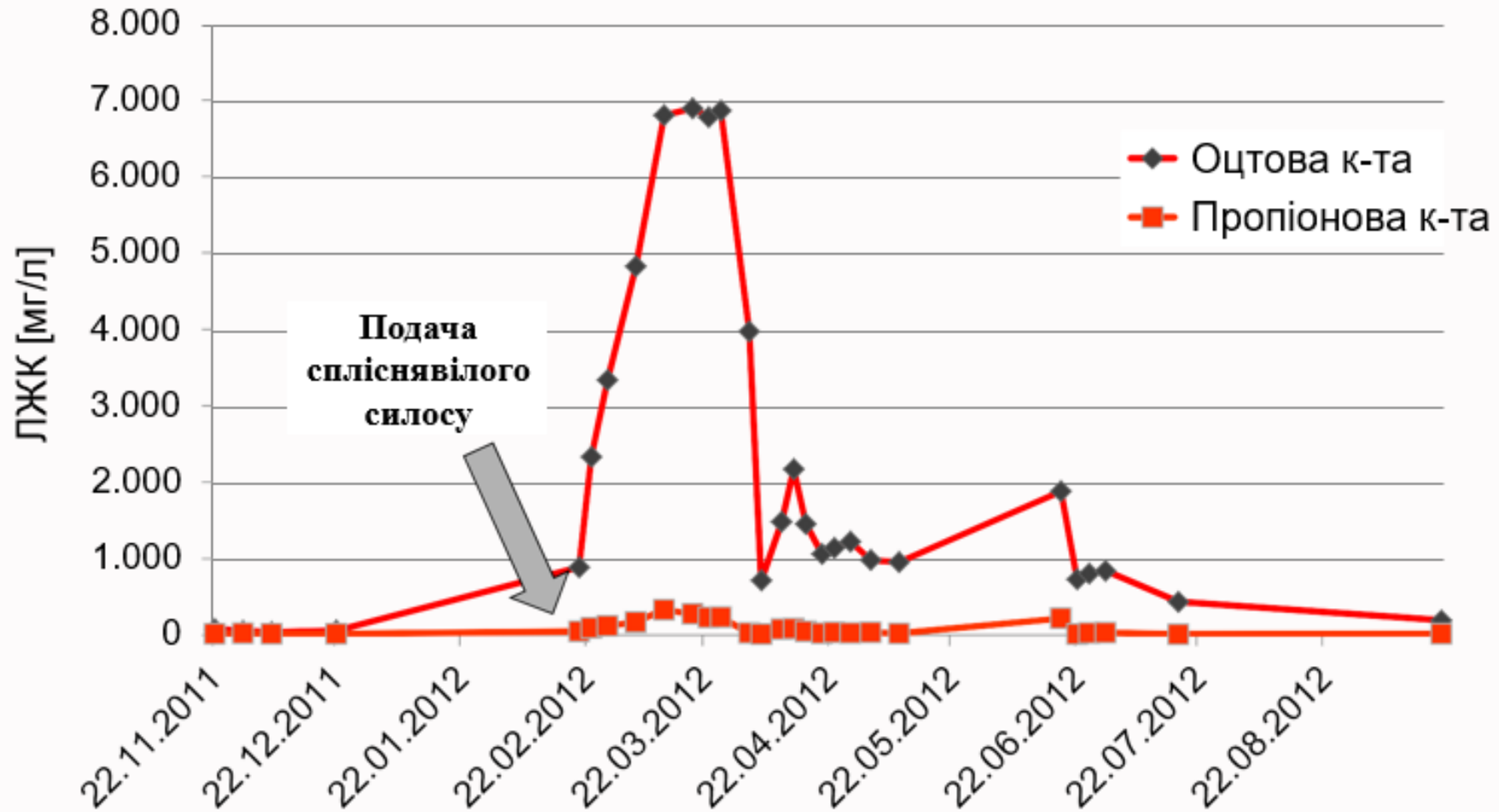
Напрямки впливу мікотоксинів на процес



МіКОТОКСИН

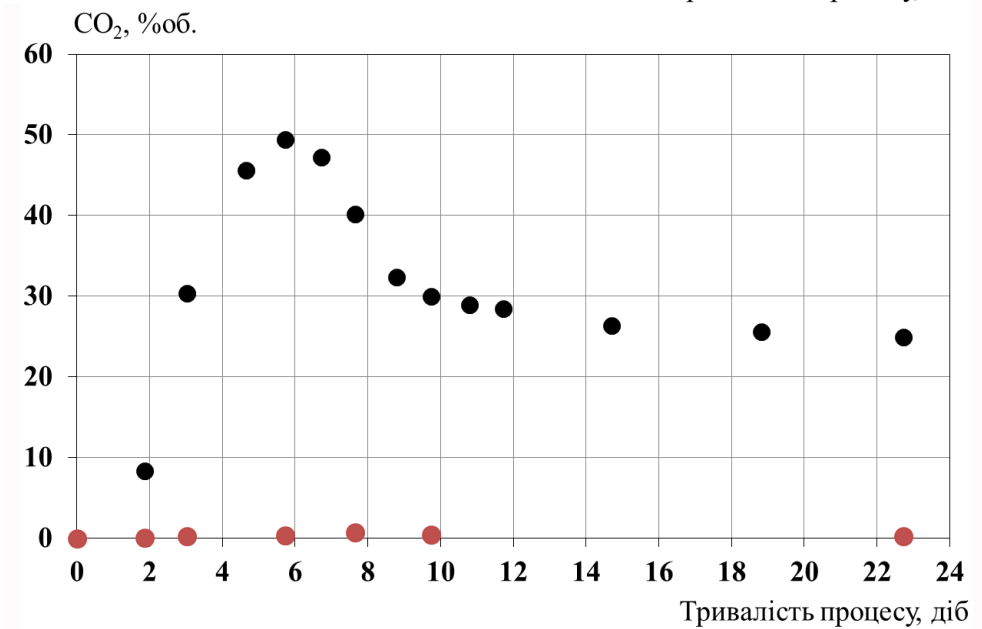
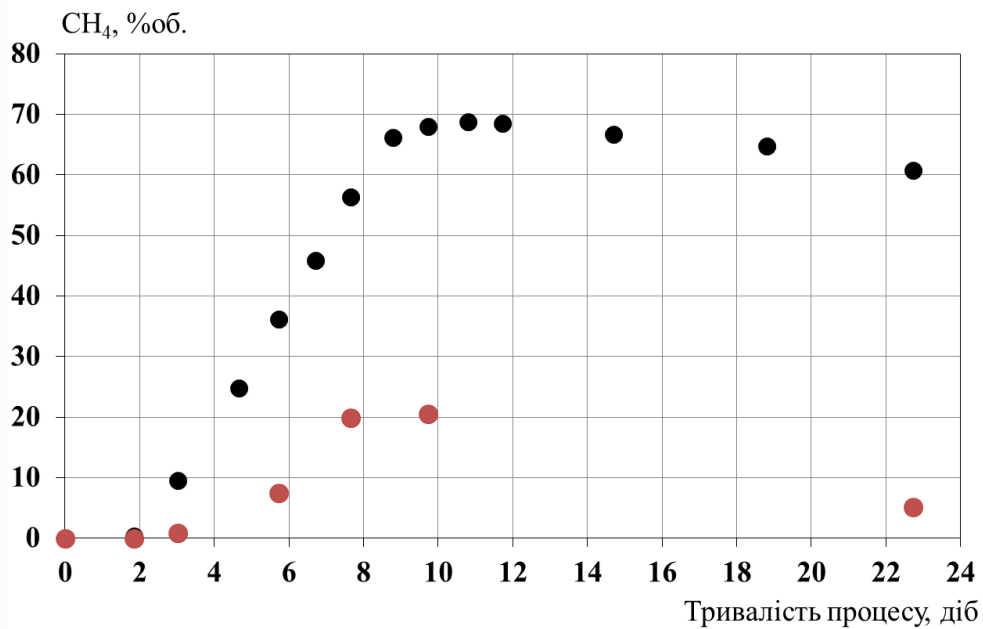
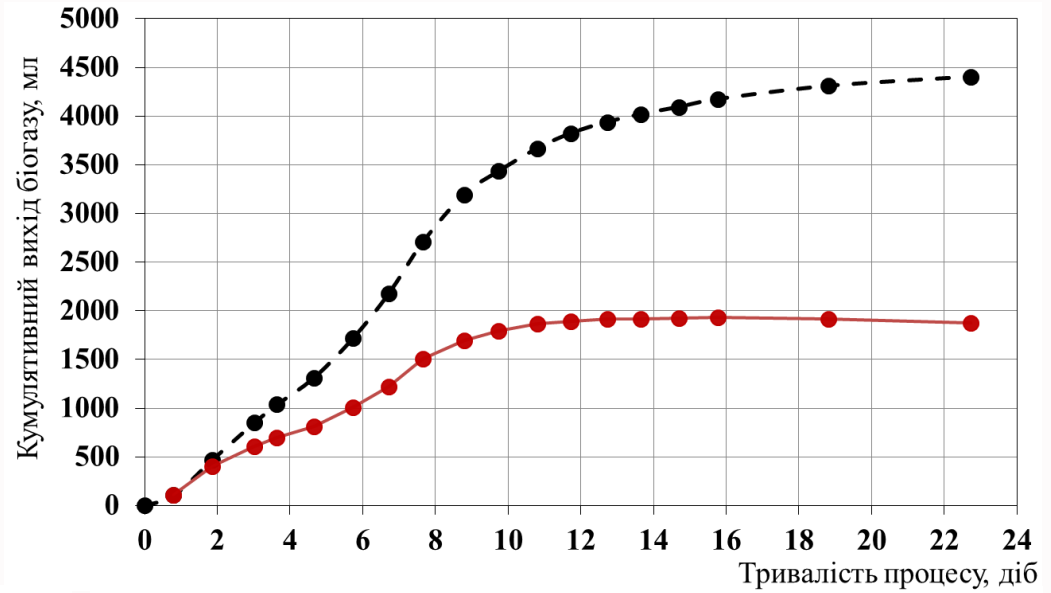
Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Вплив мікотоксинів на процес



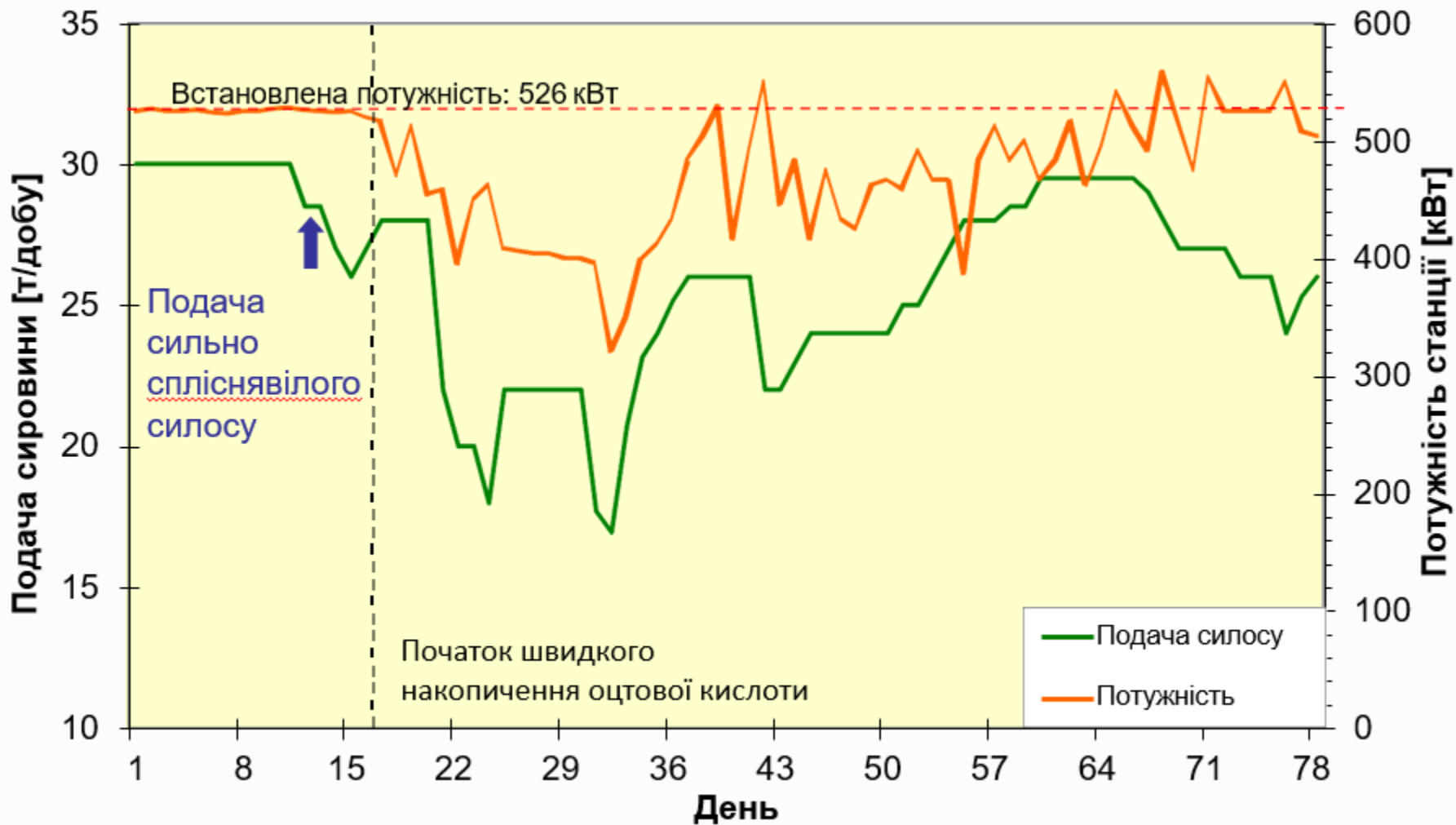
Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Вплив мікотоксинів на процес



Джерело: НТЦБ

Вплив мікотоксинів на процес



Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Важкі метали

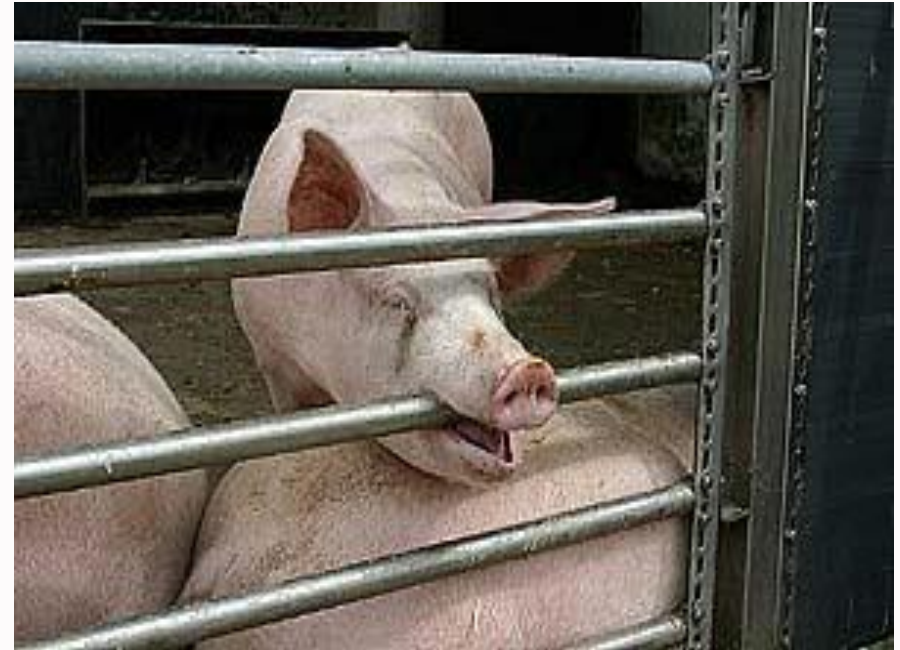
Мідь (Cu) > 50 мг/л

Цинк (Zn) > 150 мг/л

Хром (Cr) > 100 мг/л

також свинець (Pb), залізо (Fe),
кадмій (Cd)...

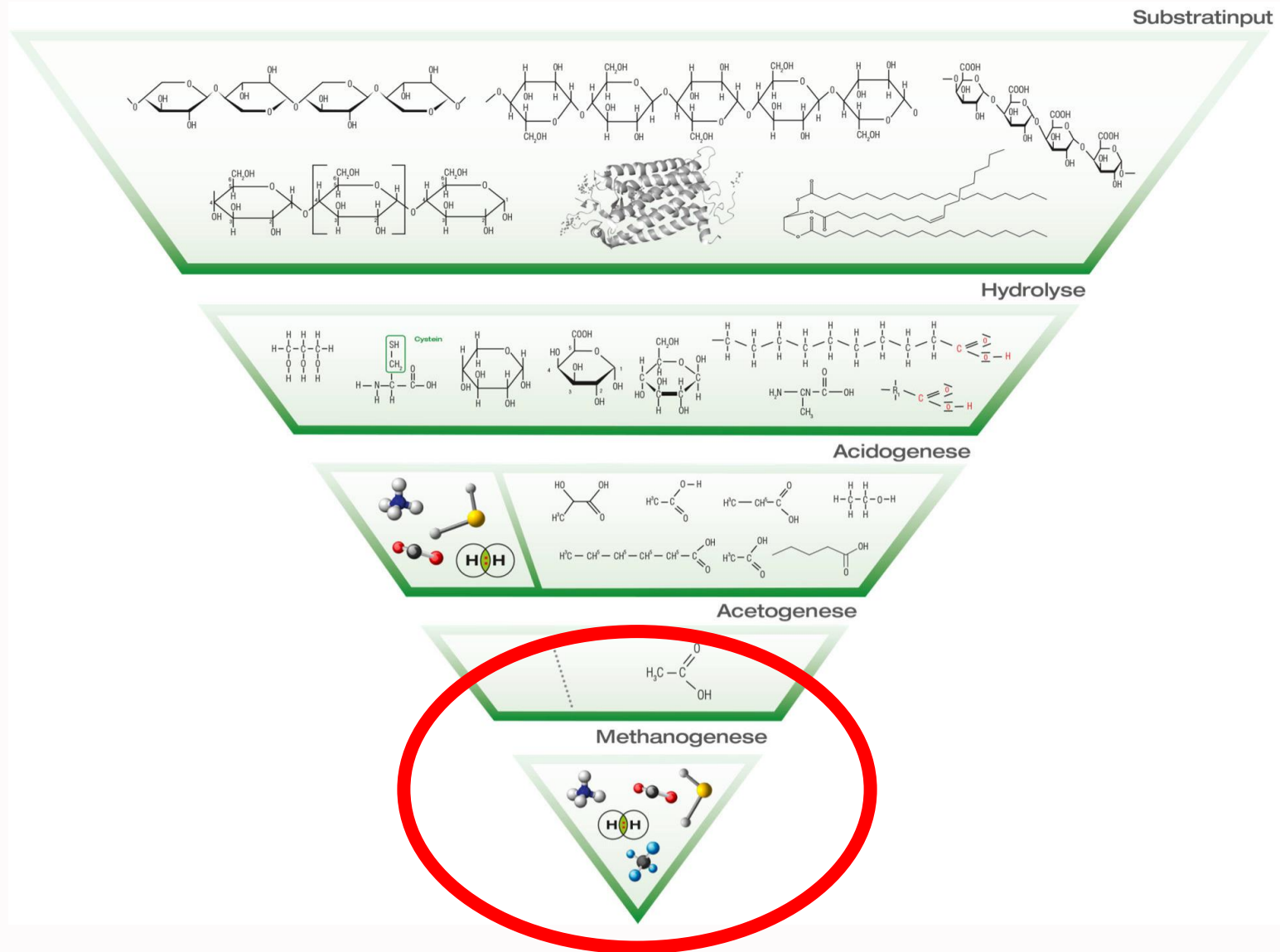
Метали справляють інгібуючий
ефект лише в дисоційованому
стані



Активатори процесу



Функція мікроелементів процесі метанового бродіння



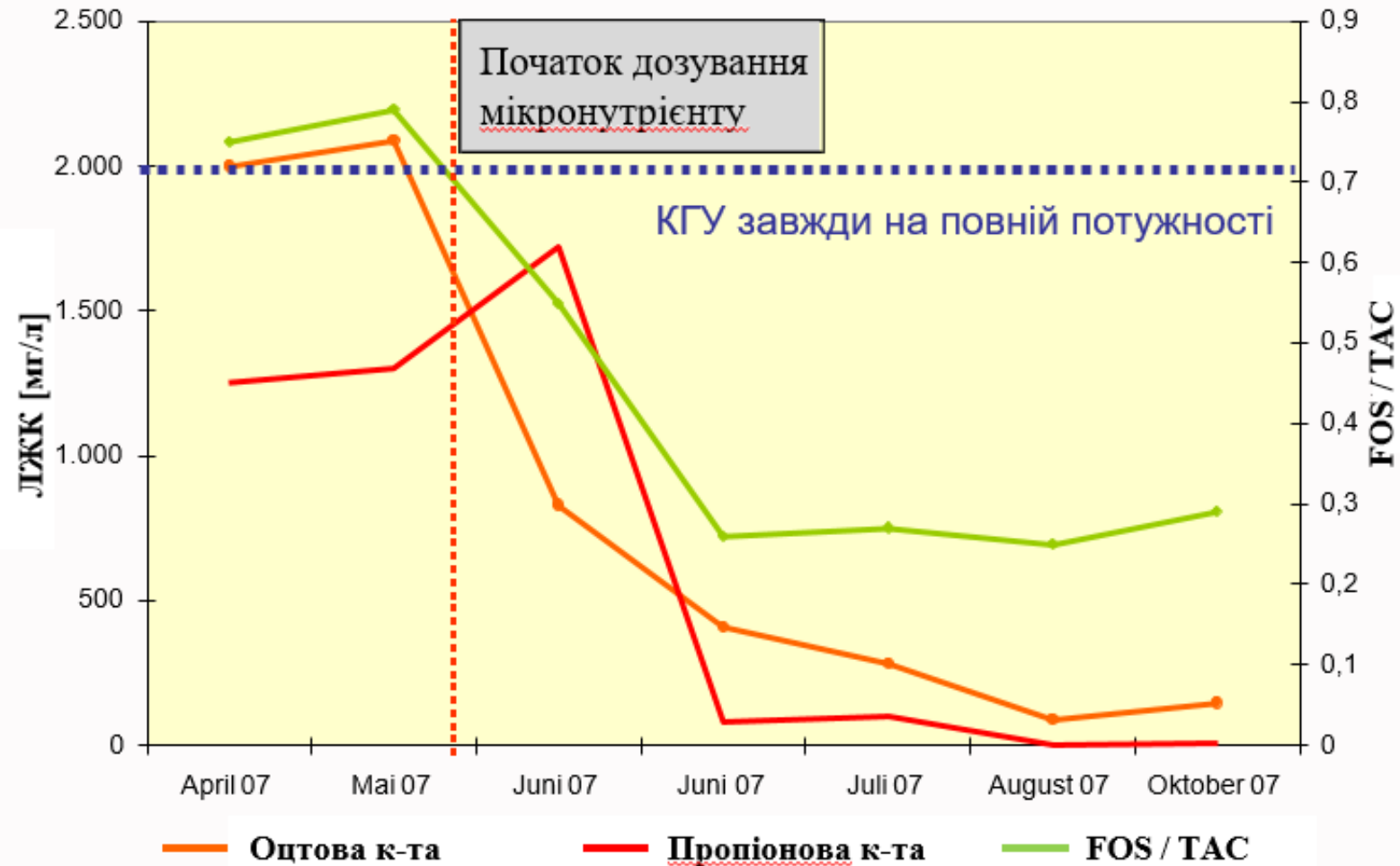
Вплив додавання мікроелементів на розпад органіки

Дані БГУ:

Потужність: 350 кВт

Органічне навантаження: 2,5 кг СОР/(м³·добу)

Сировина: силос кукурудзи, гній



Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Вплив додавання мікроелементів на вихід CH_4

Потужність станції: 2000 кВт

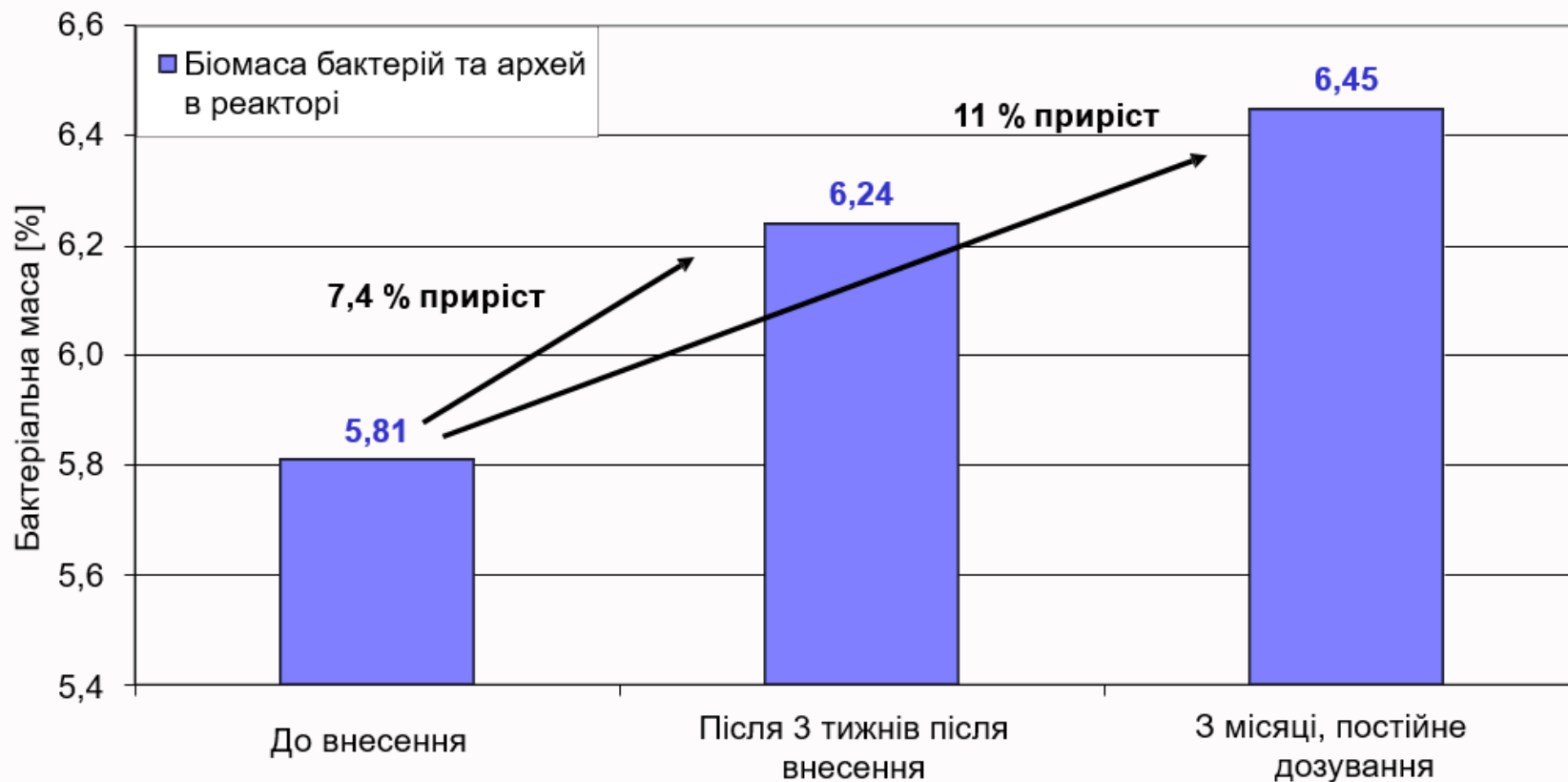
Органічне навантаження: **10,5 кг СР/(м³·добу)**

Сировина: Силос кукурудзяний, силос трав



Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

Вплив додавання мікроелементів на приріст біомаси бактерій та архей в реакторі



Джерело: U. Hoelker,
(Schaumann BioEnergy)

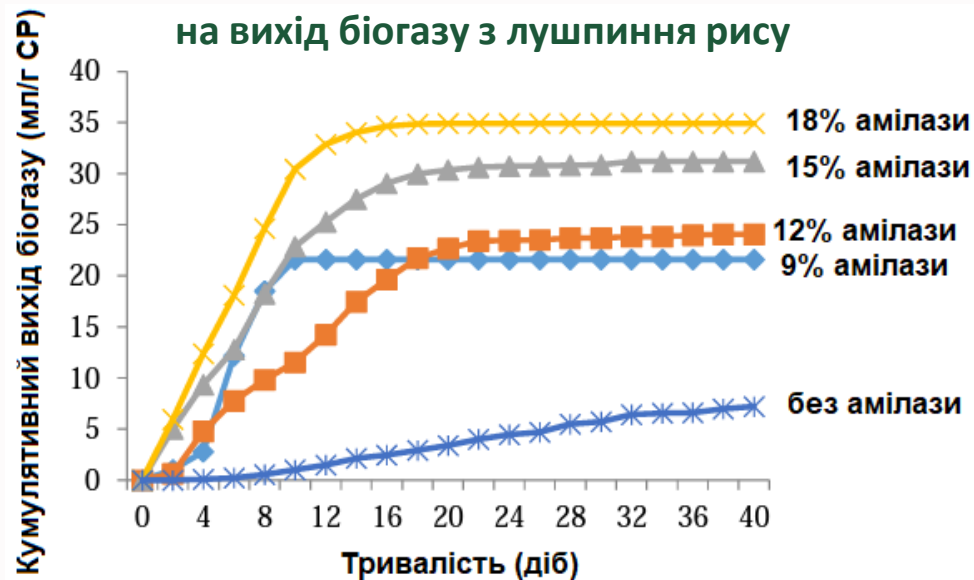
Вплив додавання ензимів

- Зменшення в'язкості
- Прискорення біодеградації сировини
- Покращення ступеня біодеградації сировини використання субстрату
- Запобігання утворенню поверхневого або донного шару сировини
- Дозволяє розблокувати «мертві зони» в реакторі

Вплив додавання ензимів на в'язкість дигестату



Вплив додавання ензимів амілази на вихід біогазу з лушпиння рису

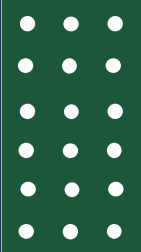


Після 8 тижнів дозування ензимів:
Д = 36 см, Н = 7 см

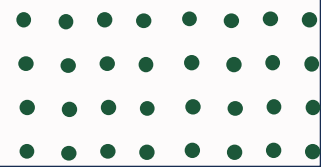


Після 8 тижнів дозування ензимів:
Д = 47 см, Н = 5 см

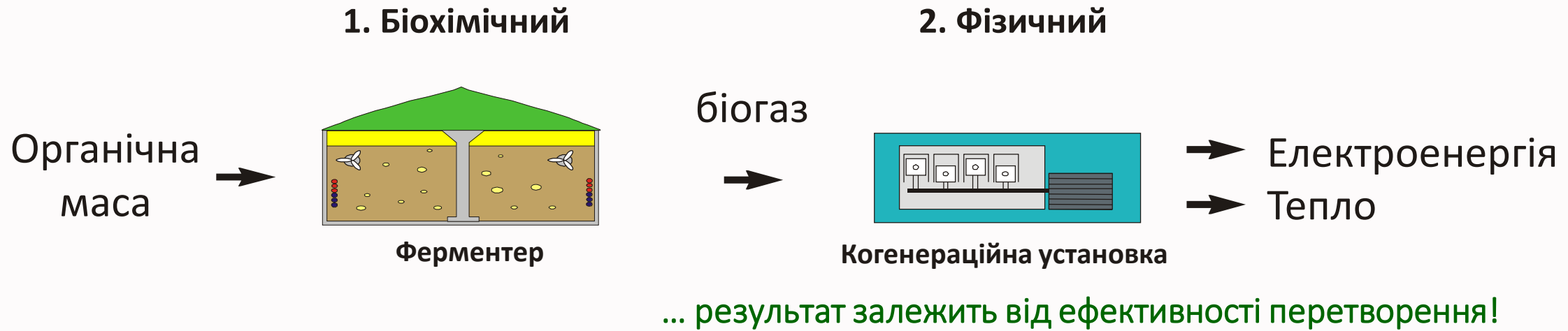
Джерело: U. Hoelker, (Schaumann BioEnergy)



Моніторинг та аналіз ефективності



Ключові фактори ефективності біогазової станції



- **Фактор ефективності перетворення вхідної речовини:**

Ефективний вихід біогазу
[$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{т СОР}$]

- **Фактор ефективності ферментера**

Ефективна продуктивність
[$\text{m}^3 \text{CH}_4 / (\text{m}^3_{\text{ОР}} \cdot \text{добу})$]

*ОР – об'єм реактора

- Електричний ККД [%]

- Тепловий ККД [%]



Бізнес
концепція
проекту

Технологія

Обладнання та
матеріали

ЦИКЛ СТВОРЕННЯ

Вибір об'єкту
впровадження та
аналіз сировинної
бази

- Вибір основного **гарантованого постачальника** сировини
- **Довгостроковий контракт** на постачання сировини
- **Аналіз сировинної бази** в доцільному радіусі доставки
- **Дослідження** вибраних типів сировини на **фізико-хімічні характеристики** і **потенціал виходу біогазу**

Прозорий
незалежний
консалтинг

- **ТЕО** з аналізом усіх можливих проектних та бізнес опцій та чутливості економічних показників
- **Комплексний аналіз** технологічних рішень та комерційних пропозицій
- **Бізнес-план** оптимального проекту

Вибір підрядників

- **Вибір постачальника технологічного рішення** на основі результатів ТЕО, комплексного аналізу та вивчення його референт-об'єктів
- **Вибір досвідчених підрядників** на проектні та будівельно-монтажні роботи
- Укладання окремого контракту на **біологічний запуск в експлуатацію** з технологічною картою та гарантованими термінами

Контроль фізико-хімічного складу сировини та потенціалу утворення біогазу

- Регулярний контроль якості сировини: вміст органіки, інгібіторів, нутрієнтів, біогазовий потенціал
- Ефективне управління потоками сировини на основі результатів контролю її якості
- Прив'язка вартості сировини до енергетичного еквіваленту біогазового потенціалу з сировини

Моніторинг показників роботи

- Регулярний аналіз рідкої фази (вміст органіки, pH, FOS/TAC, N-NH₄ ...) у власній лабораторії чи на аутсорсингу
- Потоковий контроль газової фази (вихід та склад біогазу)
- Систематизація та архівування даних

Аналіз технологічної ефективності та оптимізація

- Контракт на біологічний супровід біогазової станції
- Періодичний контроль ефективності технологічних процесів на основі даних експлуатації та контролю якості сировини
- Науково-технічне обґрунтування оптимізації
- Регулярне підвищення кваліфікації операторів станції

Оптимізація

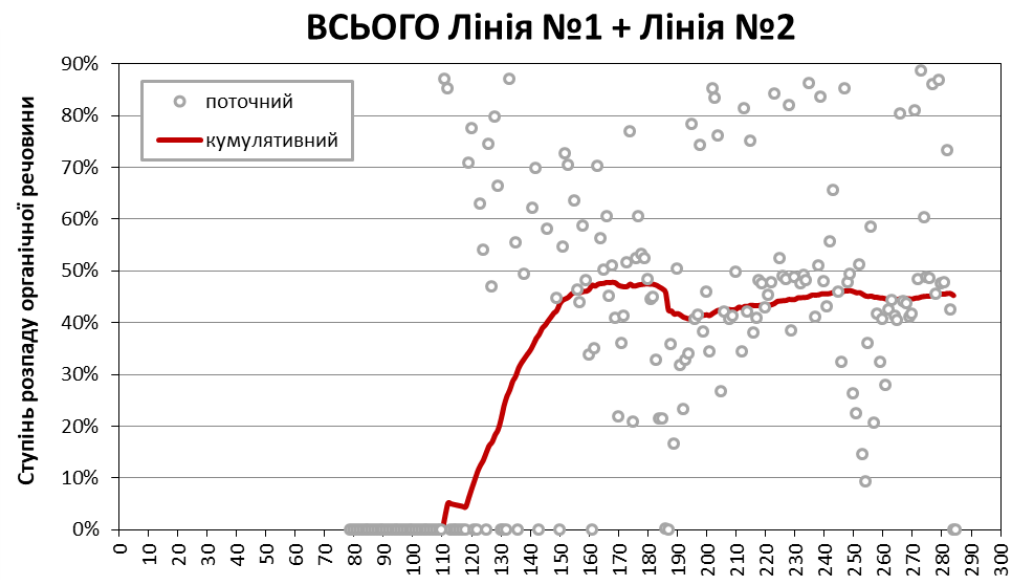
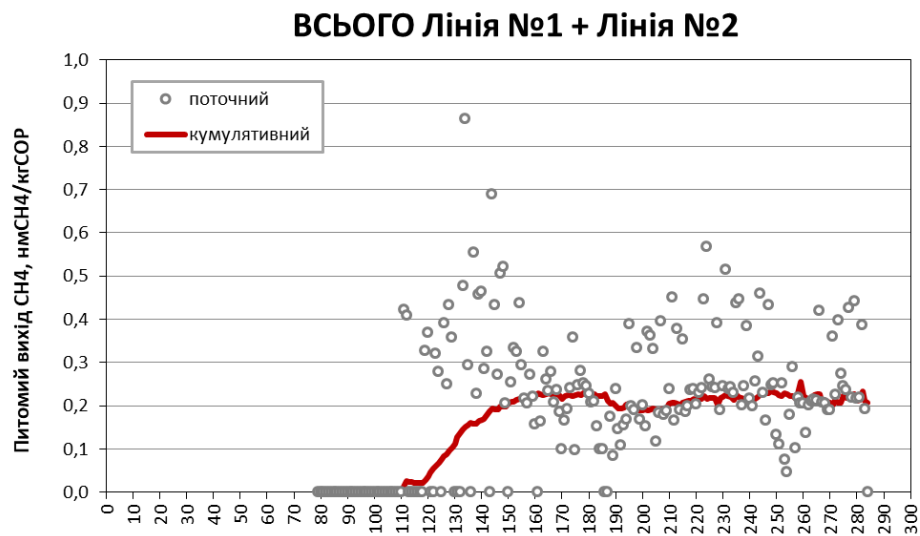
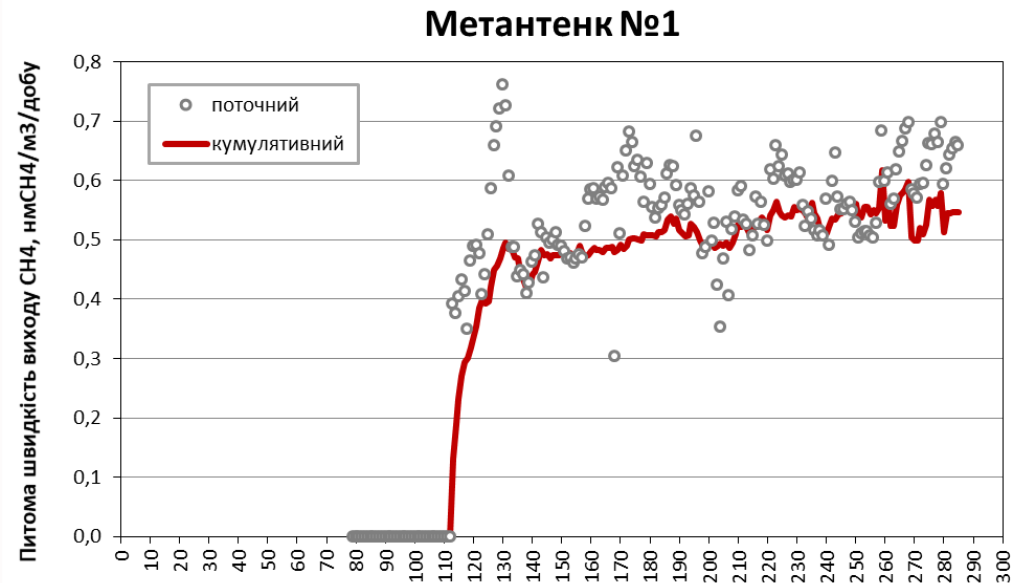
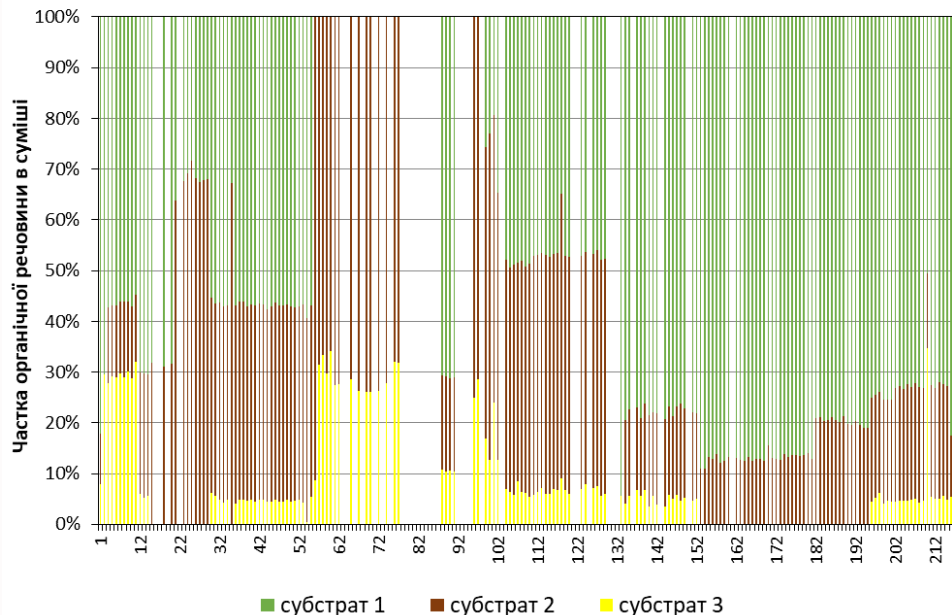
Важливо: до початку будь-якої оптимізації – **детальний аналіз факторів та причин незадовільної роботи**, порівняльний аналіз з показниками роботи аналогів, вивчення технічних можливостей та обмежень діючої біогазової установки

- Не довіряйте персоналу експериментувати на діючій установці без відповідного науково-технологічного обґрунтування
- Будь-які зміни технологічного регламенту повинні узгоджуватись з технічними можливостями встановленого обладнання
- Введення нових альтернативних видів сировини повинно проводитись на основі детального аналізу складу, показника BMR, та моделювання розпаду в існуючих біореакторах
- Варто пам'ятати: ефект від застосування різних методів інтенсифікації процесу розпаду органічної речовини потрібно обов'язково узгоджувати з розрахунком допустимого органічного навантаження, з урахуванням існуючого робочого об'єму біореакторів

Підтримка стабільної роботи

- Автоматизована система контролю параметрів типу SCADA може лише фіксувати небажані відхилення від нормальної роботи, але не виправляти їх. Наявність власної лабораторії на підприємствах з біохімічних виробництв (в т.ч. біогазових установках) – не розкіш, а необхідність
- Біологічний супровід біогазових проектів (аутсорсинг) не заміняє висококваліфікованих працівників на біогазовому заводі, **АЛЕ** доповнює і дозволяє зекономити «на експериментах»
- Організований порядок фіксації **УСІХ** можливих параметрів роботи біогазової установки – обов'язкова передумова швидкого та правильного діагнозу при порушенні штатного режиму роботи біогазової установки
- Контроль сировини на вході повинен здійснюватись на регулярній основі, в т.ч. питомий вихід біогазу для сезонної рослинної сировини. Зміна якості сировини потребуватиме коригування технологічних режимів роботи

Аналіз даних експлуатації біогазової установки





European Bank
for Reconstruction and Development



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>

