



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Технології та обладнання для виробництва біогазу

Кучерук П.П.

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

22/05/2024

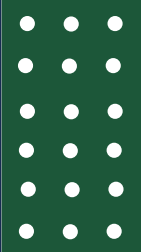


Зміст

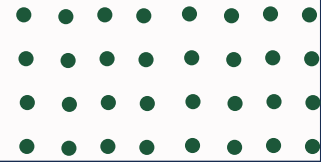
- 01** Сировина для виробництва біогазу
- 02** Технології виробництва біогазу
- 03** Обладнання біогазових станцій
- 04** Основи технологічного проектування
- 05** Контроль технологічного процесу







Сировина для біогазу

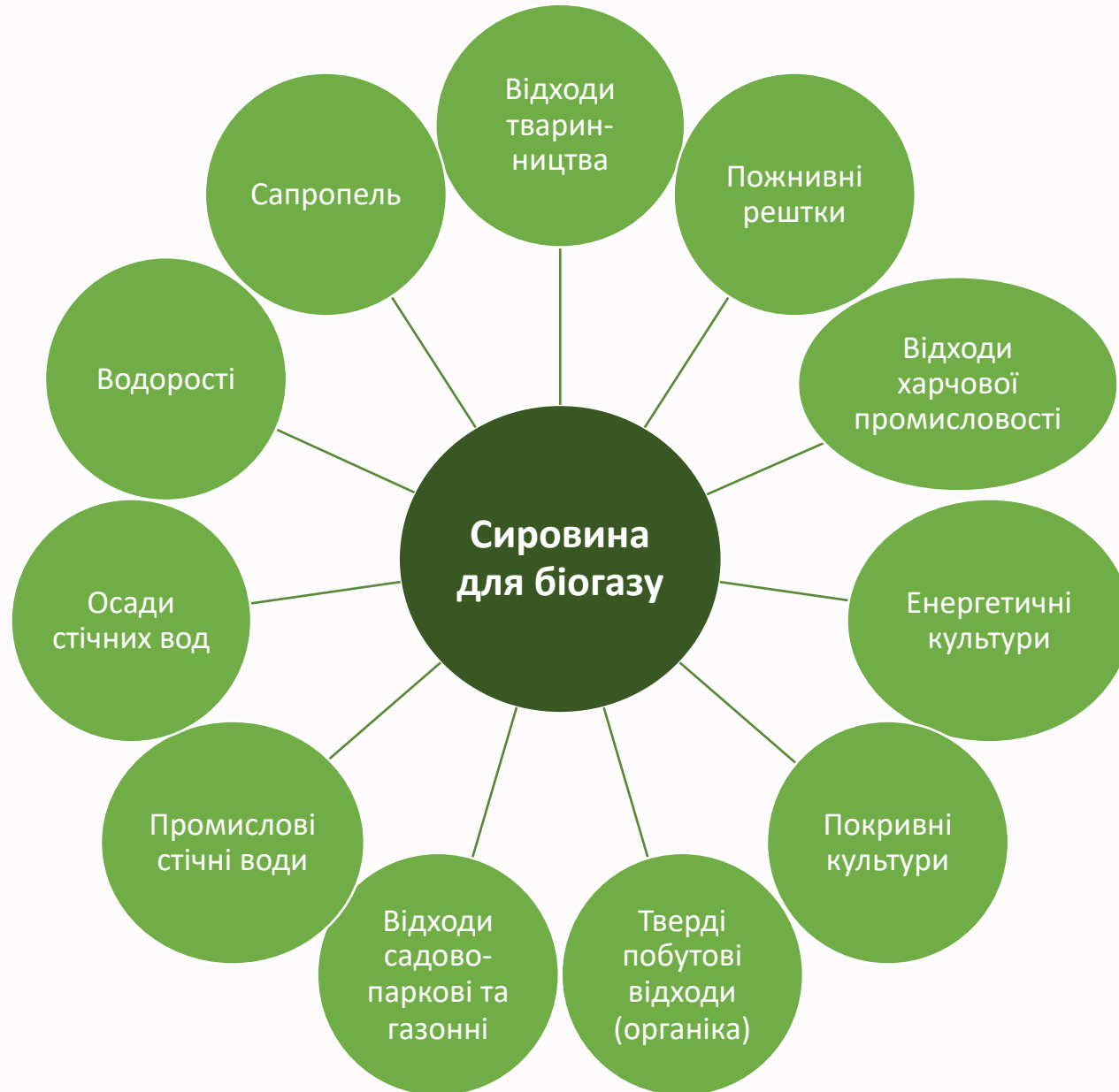


Вибір сировини для біогазу



Сировина впливає на майже кожен аспект біогазового проекту

Види сировини для біогазу



- гній, послід
- солома, кукурудзиння
- ботвина овочевих та технічних культур
- зернові відходи, полова
- жом цукрових буряків, м'яса
- дробина пивна
- спиртова барда
- вичавки та відходи фруктові, овочеві та виноградні
- винний осад
- жмих/шрот та фуз олійні, лушпиння соняшнику
- побічні продукти тваринного походження
- сироватка
- висівки, крохмаль, пентозани
- енергетичні культури (кукурудза на силос, сорго на силос, сільфій, інші)
- покривні (жито, тритикале озиме, вика, ріпа / редька, бобові, конюшина, інші)
- харчові відходи
- органічна фракція ТПВ
- осади стічних вод
- висококонцентровані стічні води
- скошені трави та листя з садово-паркових господарств
- мікрководорості (ціанобактерії)
- макрофіти (вища водна рослинність)
- сапропелі

Основні властивості вихідної сировини для виробництва біогазу

Вологість

Волога – необхідний агент для масообмінних процесів в усіх типах біореакторів

Волога – необхідний агент для змішування та усереднення в біореакторах з «вологим» типом збродження (мінімум 90% вологи в біореакторі, оптимум – 92-94%)

Структура

Швидкість виходу біогазу

Потенціал виходу біогазу /CH₄

Ступінь біодеструкції органічної речовини

Здатність до перекачування насосними системами

Чим менший розмір частинок – тим більша швидкість виходу біогазу

Температура

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 °C

В'язкі види сировини (фуз олійний, м'яса) можуть потребувати попереднього розігріву до більш високих температур, ніж в реакторі

Вміст твердих домішок

Зношуваність частин обладнання

Потреби в енергії для змішування

Гідравлічний час утримання сировини в біореакторі

Вміст в дигестаті домішок пластику, металу та скла розміром > 2 мм регулюється Директивою ЄС 2019/1009

Ключові характеристики сировини для виробництва біогазу

Обсяги постачання

т/рік, м³/рік

Режим постачання

сезонність, добова (місячна) нерівномірність

Категоризація

кормова/харчова база, продукти/відходи, базовий карбоновий слід

Хімічний склад

сухі речовини, зольність, макро- та мікроелементи, компонентний склад органічної речовини

Фізико-механічні характеристики

реологічні властивості, гідравлічні властивості, фракційний склад, питома вага

Питомий вихід основних компонентів біогазу (CH₄, CO₂, H₂S)

план BMP тестів, прив'язка величини BMP до вмісту ключових компонентів в складі сировини

Наявність та вміст небажаних компонентів

нерозчинні частки, здатні до седиментації/флотації, інгібітори процесу, біологічні забрудники

Фактори, що впливають на зберігання

цукри, активні бактерії

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

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

Логістика та підготовка сировини

Спосіб заготівлі

контроль потрапляння небажаних компонентів, швидкість заготівлі

Спосіб та засоби транспортування

гідролічні системи, механічні системи, рухомий транспорт (авто, з/д, водний)

Потреба і тривалість зберігання

обсяг зберігання, перехідні запаси, поточне споживання

Споруди для зберігання

контроль витоків і викидів в навколишнє середовище, контроль втрати якості сировини

Потреба в попередній підготовці

баланс витрат / вигоди, узгодженість з типом біореактора

Засоби попередньої підготовки

відповідність типу, складу та обсягам сировини, інтеграція в загальну технологічну схему

Система подачі сировини

Аналіз складу сировини

регулярний лабораторний контроль сировини, методики відбору і аналізу проб

Змішування та буферизація

усереднення складу суміші, буферний запас подачі

Обсяги та режим подачі

контроль органічного та гідравлічного навантаження, масовий баланс подачі-вивантаження

Засоби подачі

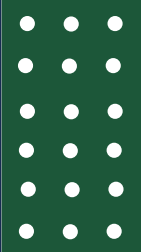
гідравлічні системи, механічні системи, комбіновані системи підготовки та подачі

Подача хімічних реагентів та/або мікронутрієнту

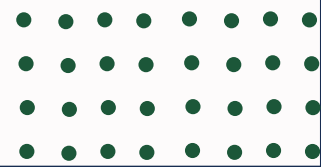
контроль дозування відповідно до обсягу сировини або параметрів процесу

Рецикл дигестату та/або подача свіжої води

контроль концентрації окремих компонентів в реакторі, контроль тривалості утримання (HRT)



Технології виробництва біогазу



Технологічні режими анаеробного зброджування



Класифікація ферментерів

За сферою застосування

- Побутові
- Для очистки стічних вод
- Для переробки гетерогенної сировини

За продуктивністю

- Пасивного типу
- Низько- та середньо навантажувані
- Високонанвантажувані

За геометрією

- Горизонтального типу
- Вертикального типу

За гідравлічним режимом

- Повного змішування
- З поступальним рухом субстрату
- З циркулюючим рухом субстрату

За режимом роботи

- Проточного типу
- Квазіпроточного типу
- Періодичної дії
- Квазіперіодичної дії

За матеріалом несучих конструкцій

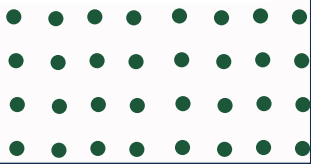
- Бетонні
- Металеві
- Пластикові
- Інші

За типом реакційного середовища

- Вологого типу
- Сухого типу

За наявністю *in-situ* газгольдера

- З газгольдером
- Без газгольдера



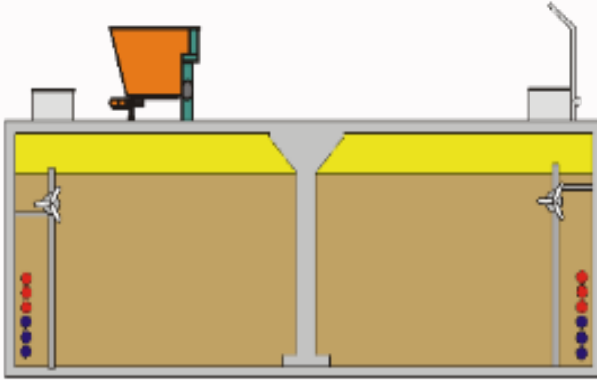
Вибір типу ферментера за видом сировини



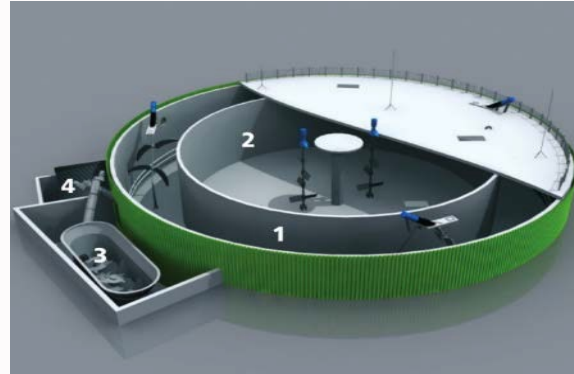
CSTR* реактори горизонтального типу

3 монолітним (нерухомим) перекриттям

Односекційний з центральною колоною



Двонизний типу «кільце в кільці»



1: Основний ферментер, 2: Доброджувач, 3: Система подачі, 4: Насосна станція

Переваги:

- Контрольоване середовище (solid feeding...)
- Здатні підтримувати певний тиск біогазу (20 мбар)
- Простіше обслуговування системи перемішування
- Якісна теплоізоляція → менші втрати тепла
- Захист від дії вітру

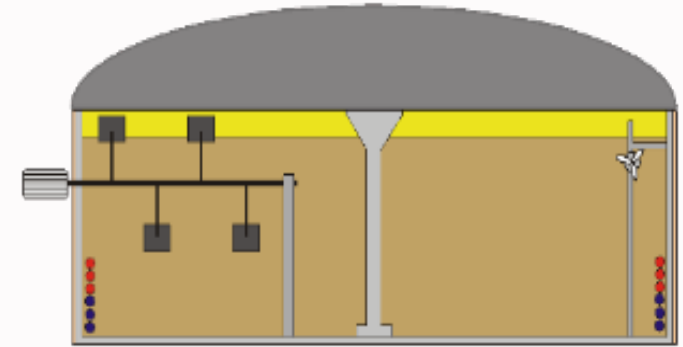
Недоліки:

- Обмежені в діаметрі через несучу здатність прольотів (по ширині)
- Немає вбудованого газгольдера
- Складність внутрішнього ремонту та очистки ферментера
- Бетон не є абсолютно газонепроникним
- Складність фіксації витоків газу

CSTR – continuous stirred tank reactor

3 гнучким перекриттям (газгольдерного типу)

з 1- або 2-шаровим газгольдером

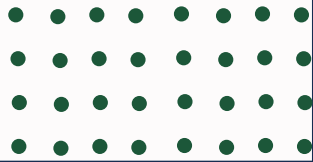


Переваги:

- Найбільш поширені типи реакторів в агроБГУ
- Можливість накопичення/усереднення біогазу
- Можливість попередньої десульфуризації біогазу
- Більший можливий діаметр і об'єм реактора

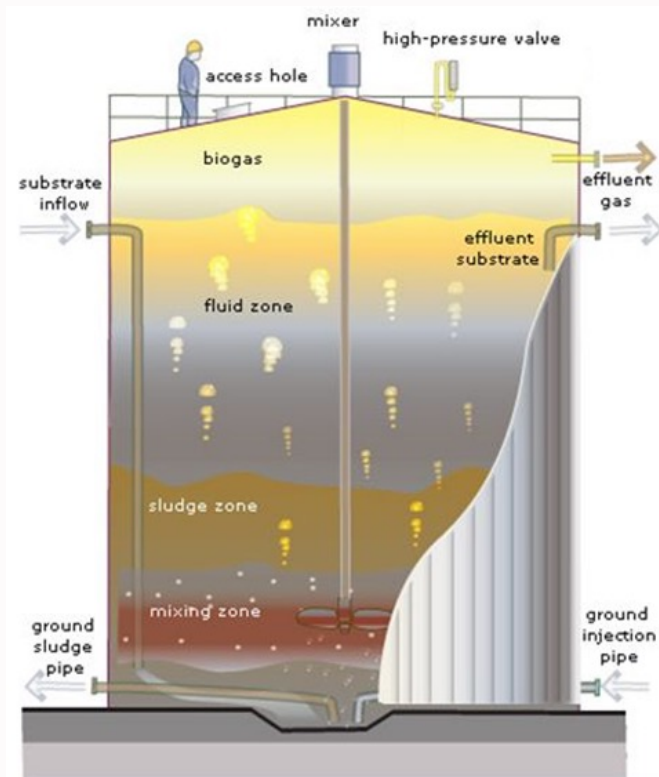
Недоліки:

- Менша герметичність, що призводить до викидів CH_4
- Біологічна десульфуризація біогазу може обмежувати подальше використання біогазу для виробництва біометану
- Необхідність розгерметизації реактора (деконструкція газгольдера) для проведення операцій із заміни внутрішнього обладнання та очистки ферментера



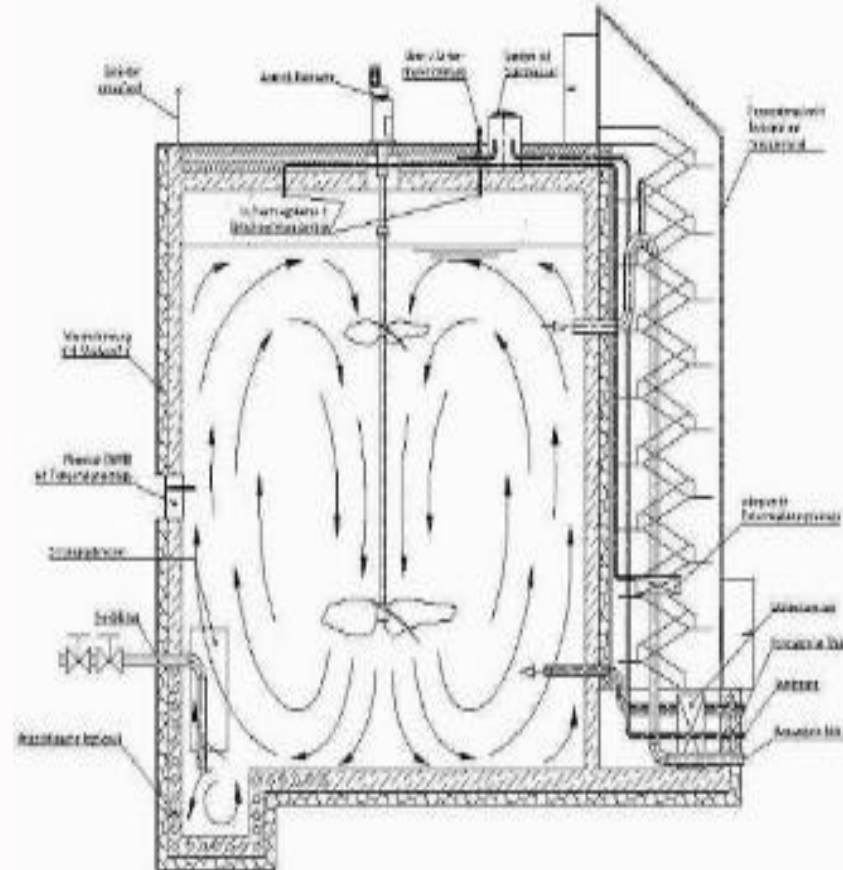
CSTR реактори вертикального типу

3 нижнім пропелером



Source: Renewable Energy Association

3 нижнім та верхнім пропелером



Переваги:

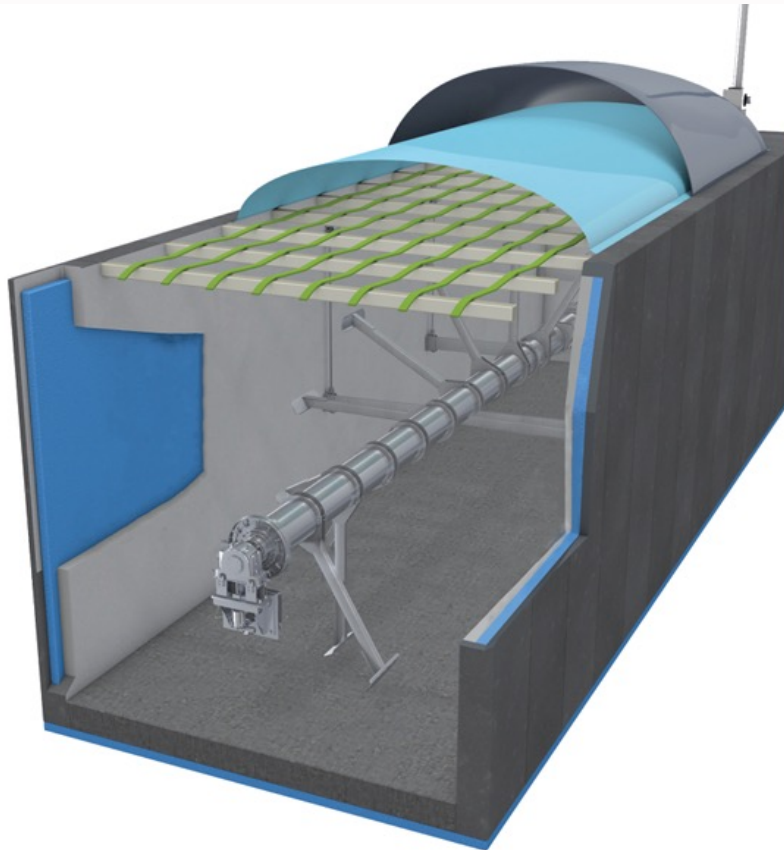
- Дуже якісно теплоізольовані → малі тепловтрати та рівномірна температура
- Мінімальні втрати біогазу крізь перекриття
- Більш рівномірне змішування сировини
- Не сприйнятливі до погодних умов
- Деталі, що спрацювуються розташовані за межами реактора → простота тех. оглядів та ремонтів
- Менша необхідна площа під реактор
- Більш ефективні при боротьбі з піноутворенням

Недоліки:

- Можливий байпас ефект
- Складність очистки дна від осаду
- Відсутність газгольдера
- Зняття мішалки можливе лише спецтехнікою

PFR* реактори

Горизонтальний PFR реактор газгольдерного типу



Переваги:

- Можуть працювати при високих концентраціях сухої речовини (15-35% СР)
- Можливість використання для досить гетерогенної та волокнистої сировини (часто використовують для переробки силосу кукурудзи або оТПВ)
- Як правило використовується як 1 стадія перед подачею в SCTR реактор
- Більша середня швидкість виходу біогазу
- Дешевше будівництво за рахунок прямокутної форми

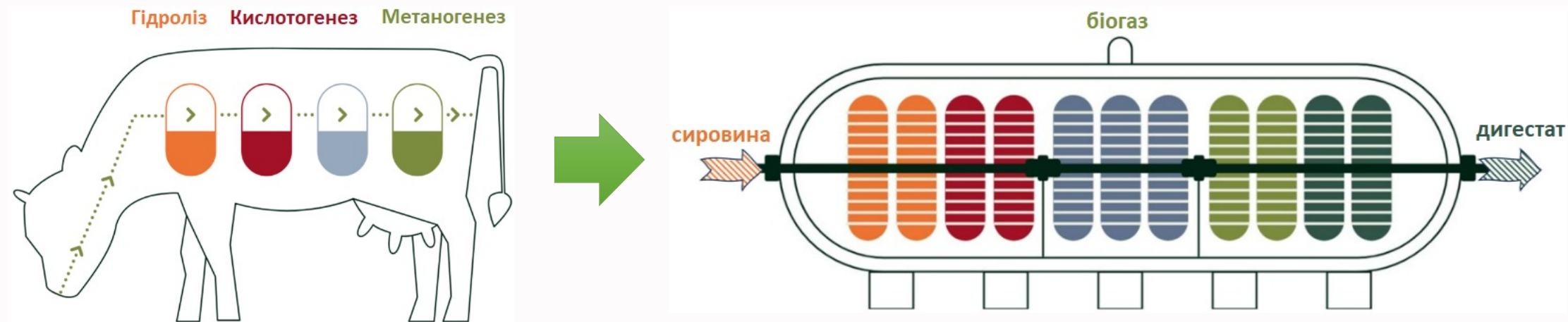
Недоліки:

- Можливе утворення застійних зон в нижніх кутах прямокутного реактора і зменшення ефективного об'єму реактора в процесі експлуатації
- Складність очищення днища від накопиченого осаду
- Складність заміни міксерів чи його елементів всередині реактора

PFR – plug flow reactor

PFR реактори

Горизонтальний PFR реактор з іммобілізованою біомасою бактерій

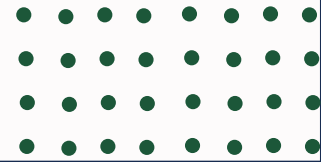


Переваги:

- Суттєво менша тривалість процесу (8 діб)
- Більш повний розпад органіки
- Зменшене енергоспоживання
- Можливість розміщувати в приміщенні
- Можливість масштабування за рахунок модульної конструкції
- Відсутність будівельних робіт за рахунок поставки префабрикованих реакторів

Недоліки:

- Потребує ретельної підготовки сировини (гомогенізації)
- Більш складна система



Технології періодичного зброджування

Контейнерний процес з циркуляцією перколяту



Основні особливості технології

Переваги:

- Придатні для зброджування штабельованих твердих типів сировини
- Менш чутливі до домішок в сировині
- Менш чутливі до параметрів середовища
- Менше споживають електричної енергії
- Мінімальний вихід рідкої фракції дигестату

Тонельний процес без перколяту



Недоліки:

- Потребують попереднього змішування свіжої сировини зі зброженою масою
- Викиди метану при завантаженні сировини
- Нестабільний склад та обсяг біогазу

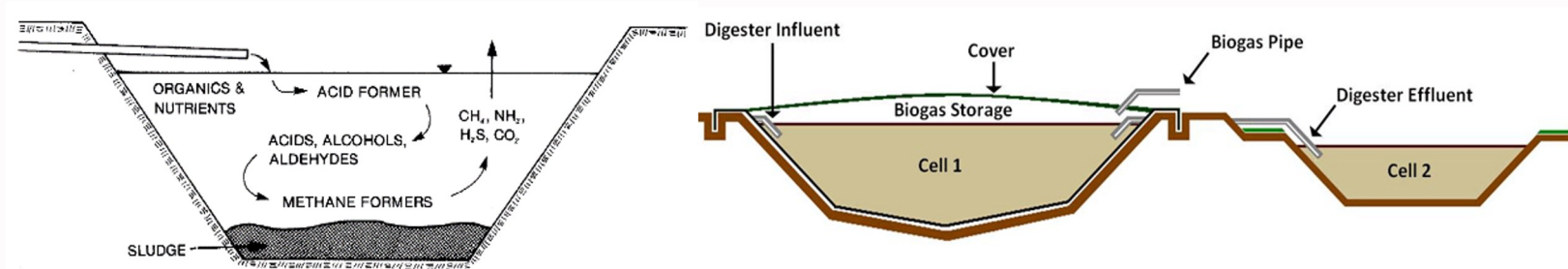
Реактори пасивного типу (лагуни)

Переваги:

- Дешевизна та простота технології
- Простота проектування

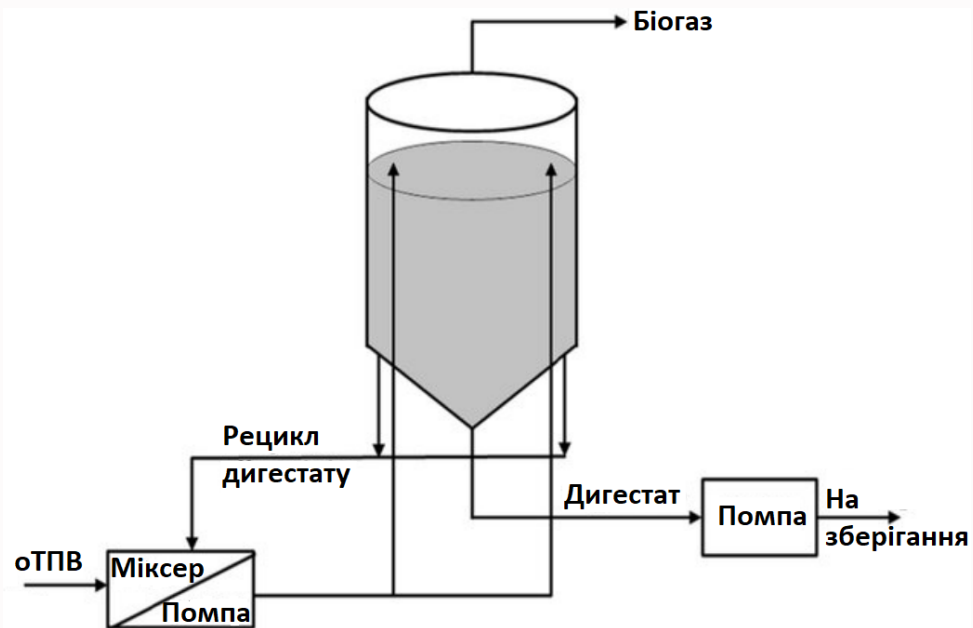
Недоліки:

- Низька швидкість виходу біогазу
- Висока нерівномірність виходу та складу біогазу
- Значна необхідна площа під реактором
- Складно забезпечити герметичність покриття
- Не пристосовані до зон з високим рівнем ґрунтових вод
- Важко виявити зону витікання (субстрату) при пошкодженні ізолюючого покриття
- Перемішування можливо шляхом впорскування газу → відкладення можуть заважати
- Відсутність обігріву, ізоляція тільки зі сторони землі → технологія не пристосована для країн з холодним кліматом

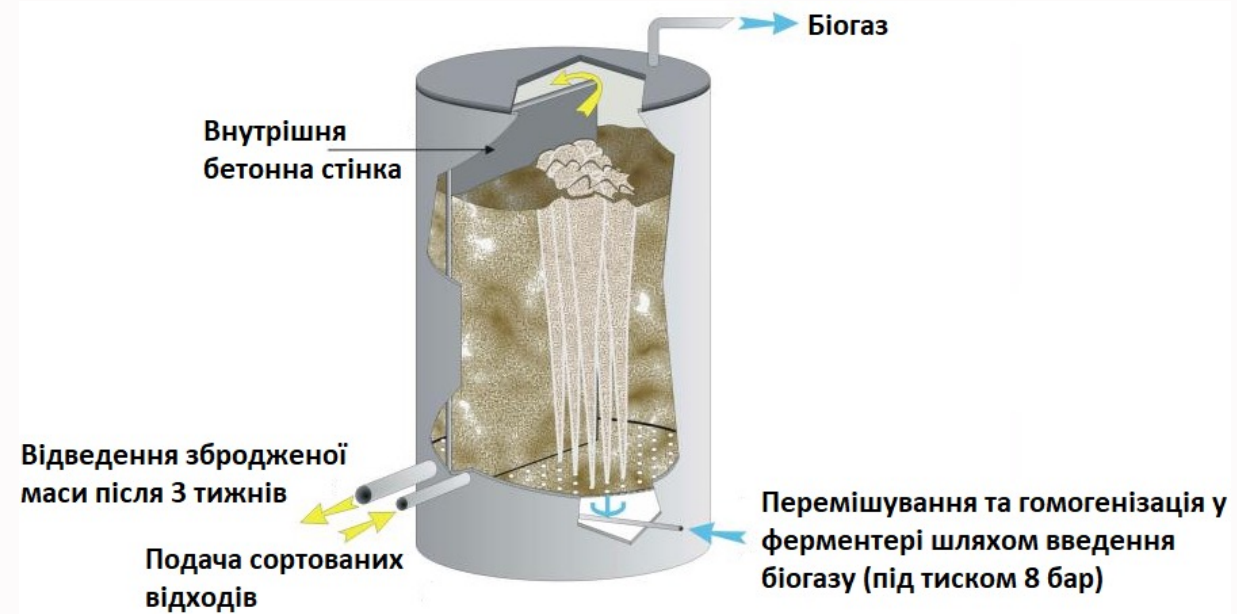


Реактори для переробки оТПВ*

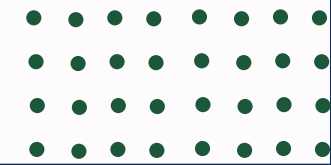
DRANCO



VALORGA

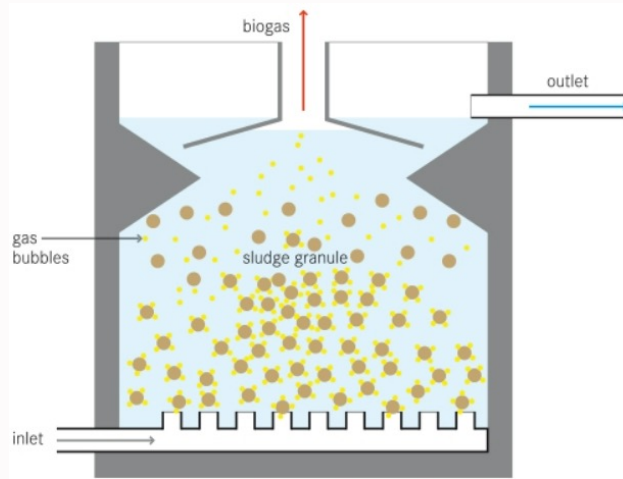


оТПВ – органічна фракція твердих побутових відходів



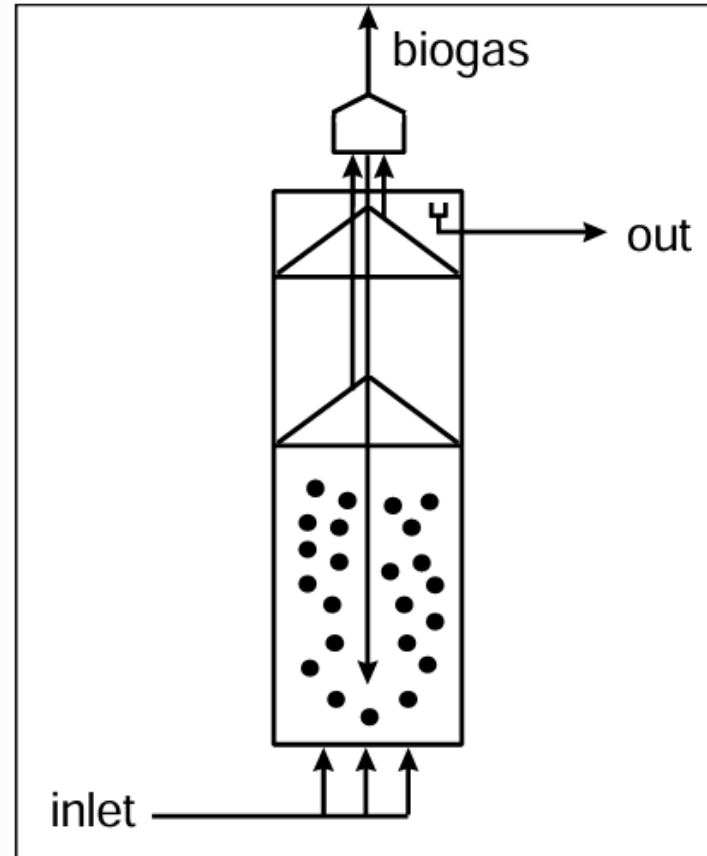
Реактори для анаеробної очистки СВ

UASB



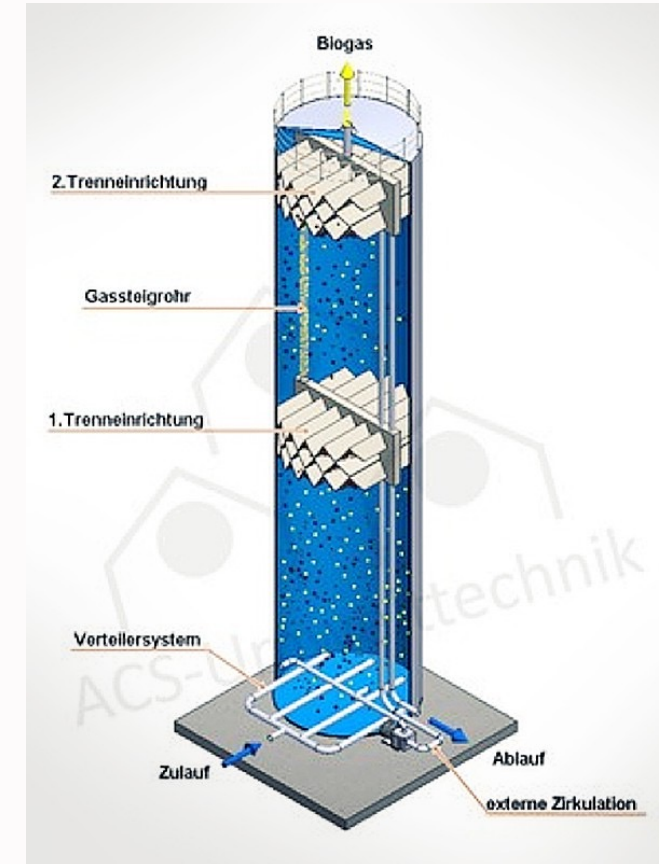
UASB – upflow anaerobic sludge blanket

IC

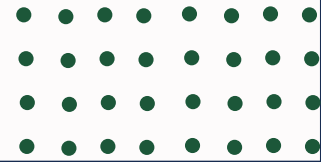


IC – internal circulation

EGSB

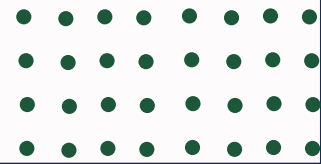


EGSB – expanded granular sludge bed





Обладнання біогазових станцій



Системи подачі сировини у стані суспензій

Помпа
коловоротного типу

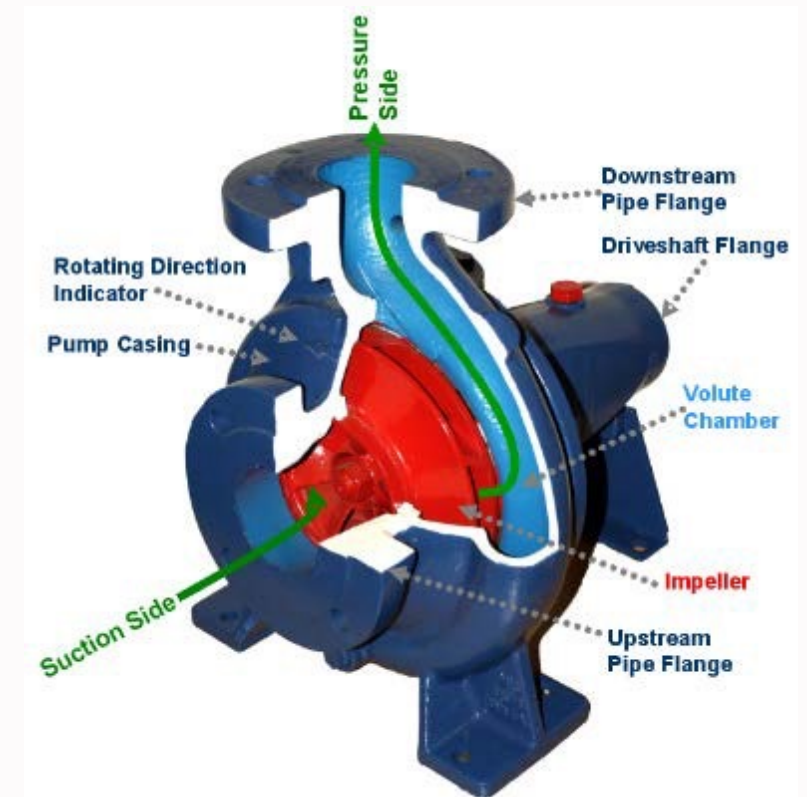


Використовуються як правило для подачі гною, сумішей рідких та твердих видів сировини з вмістом СР до 12-14% (наприклад, рідка гноївка свиней з силосом кукурудзи)

Помпа шнекового
типу



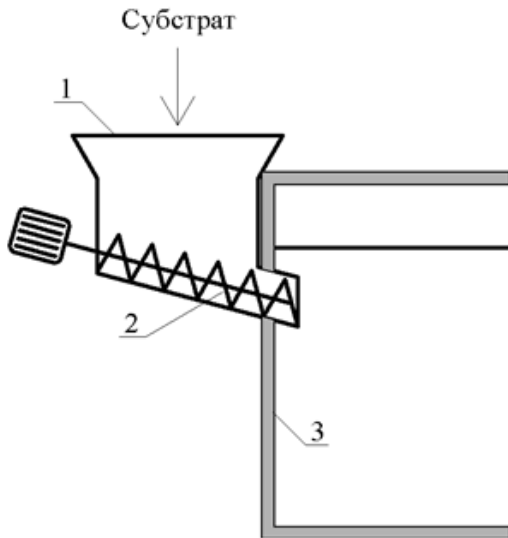
Відцентрова помпа



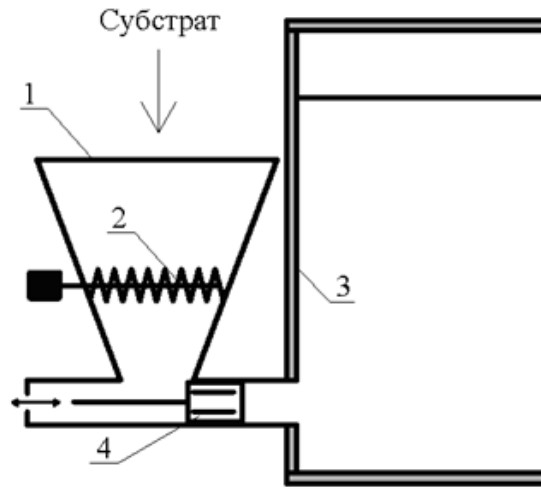
Використовується як правило для подачі досить гомогенних суспензій з вмістом СР < 8% (наприклад, осади стічних вод, рідка фракція дигестату)

Системи подачі твердих типів сировини

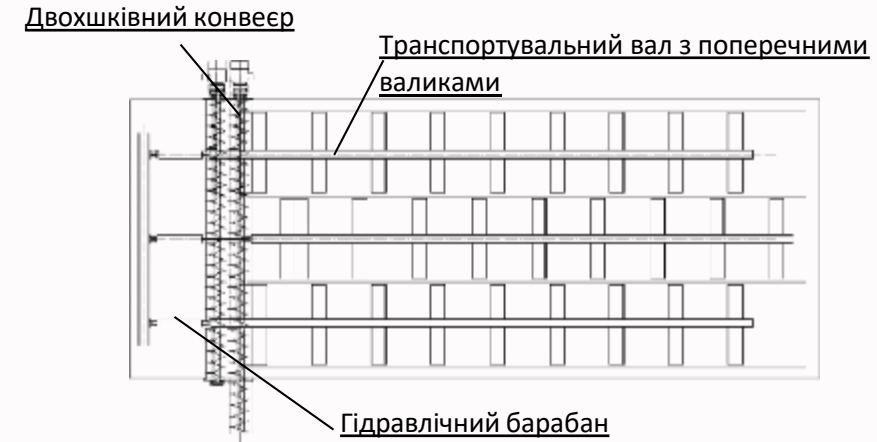
Шнекова прямого вводу



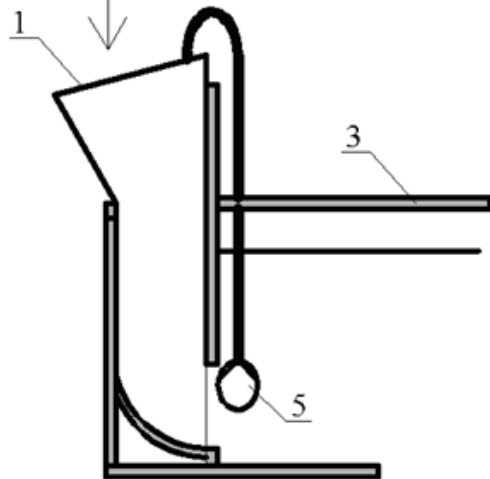
Поршнева



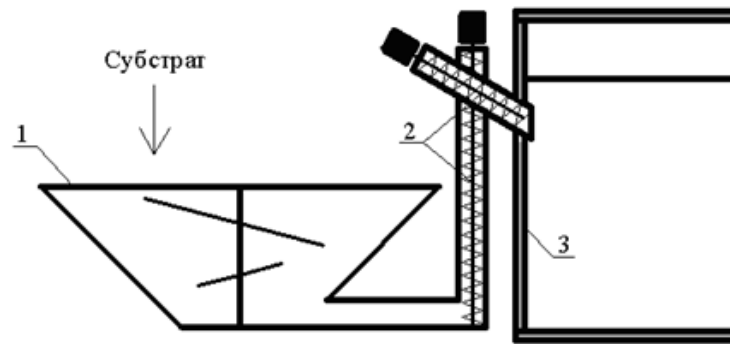
Система «рухома підлога»



Помпова



Шнеково-дозувальна



1 – загрузочна ємність; 2 - шнек; 3 - біореактор; 4 - поршень; 5 - заглиблена помпа

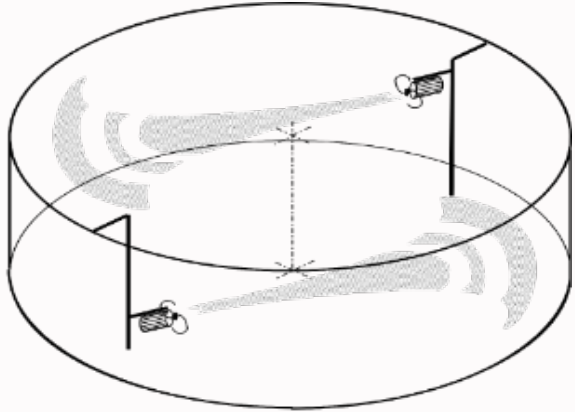
Системи перемішування

Мета перемішування:

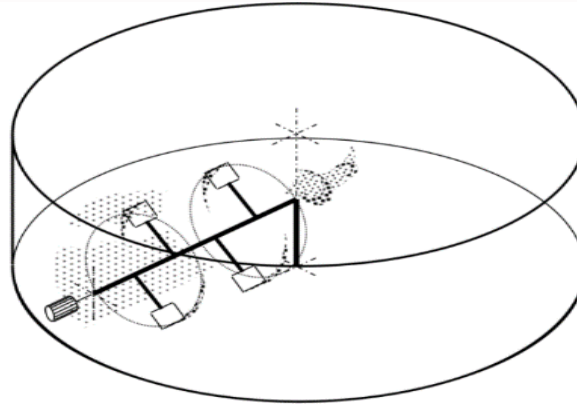
- Дотримання однорідності структури
 - запобігти появі кірки на поверхні субстрату
 - запобігти осаджуванню субстрату
- Однорідний розподіл свіжого субстрату по об'єму ферментера
 - Забезпечити наявність мікроорганізмів у свіжому субстраті
- Врівноваження температурного градієнту по об'єму ферментера
 - Нагрівальні елементи зазвичай вбудовуються в стінки реактора; також можливе встановлення нагрівальних елементів ззовні
- Підвищити швидкість виходу біогазу

Основні типи систем перемішування

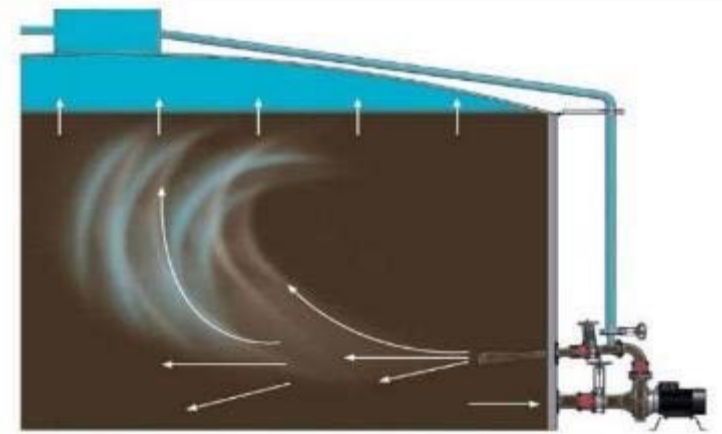
Занурювані пропелерні міксери



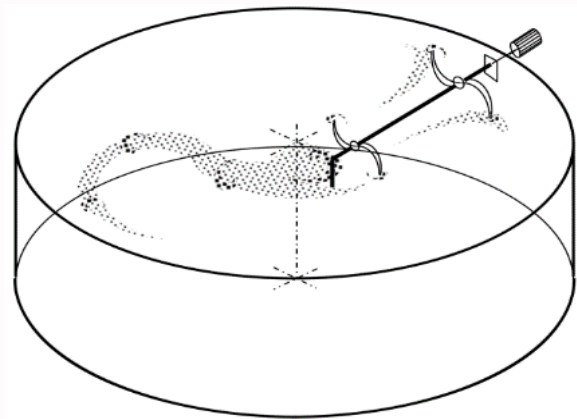
Горизонтальні міксери



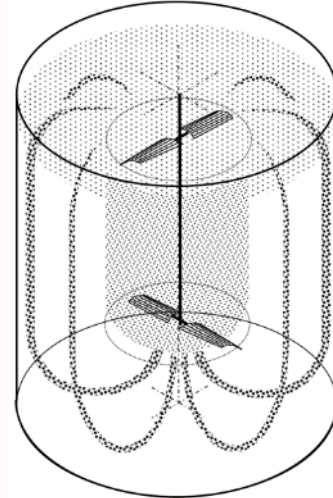
Газо-рідинні системи



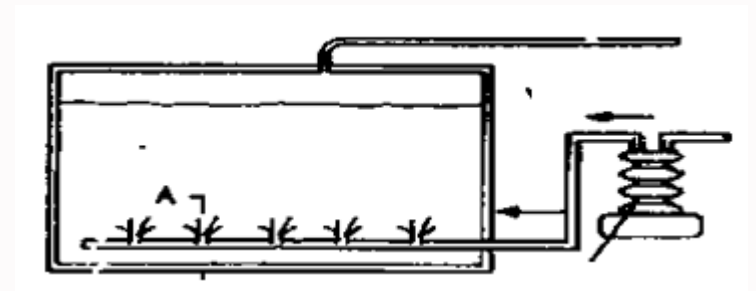
Бічні нахилені міксери

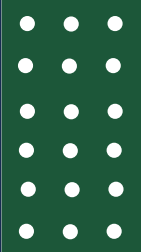


Вертикальні міксери

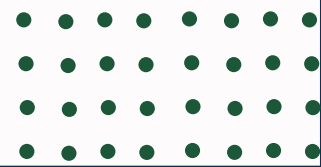


Газові системи





Основи технологічного проектування



Базові принципи технологічного проектування

Аналіз наявної сировинної бази

Обсяги, режими утворення, вміст CP, COP, макро- та мікронутрієнтів, тощо

Попередній вибір типу основного біореактора

Вид та структура сировини, обсяги сировини, типові рішення

Аналіз необхідності / доцільності додавання ко-субстратів, рідини

Доцільна потужність, збалансованість макро- та мікроелементів, ліміт вмісту CP в реакторі

Аналіз доцільних технологічних схем

Стадійність процесу зброджування в залежності від виду сировини, доцільний тип реакторів на кожній стадії, необхідність доброджування, збору залишкового біогазу, рециклу дигестату

Розрахунок загальної тривалості зброджування та об'єму реакторів

Тип реактора, кінетика розпаду окремих видів сировини в залежності від глибини їх попередньої підготовки, вплив специфічних заходів (мікронутрієнти, ензими, тощо), економічно доцільна ефективність розпаду органіки

Підбір необхідного обладнання

Види сировини, склад розрахункової суміші, обсяги подачі, домішки в сировині, тощо

Основні параметри технологічного процесу

Параметр	Гідроліз/окислення	Метаногенез
Температура	25 – 35 °C	Мезофільний: 32 – 42 °C Термофільний: 50 – 58 °C
Рівень рН	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
Відношення C:N	10 - 45	20 - 30
Вміст твердої речовини	< 40 % CP	< 30 % CP
Редокс (окисно-відновний) потенціал	+400 – 300 мВ	< -250 мВ
Потреба в C:N:P:S	500 : 15 : 5 : 3	600 : 15 : 5 : 3
Мікроелементи	Конкретні вимоги відсутні	Ключові: Ni, Co, Mo, Se
FAL – TB	Environmental requirements for the fermentation of raw – and residual substrates	W0104124CDR

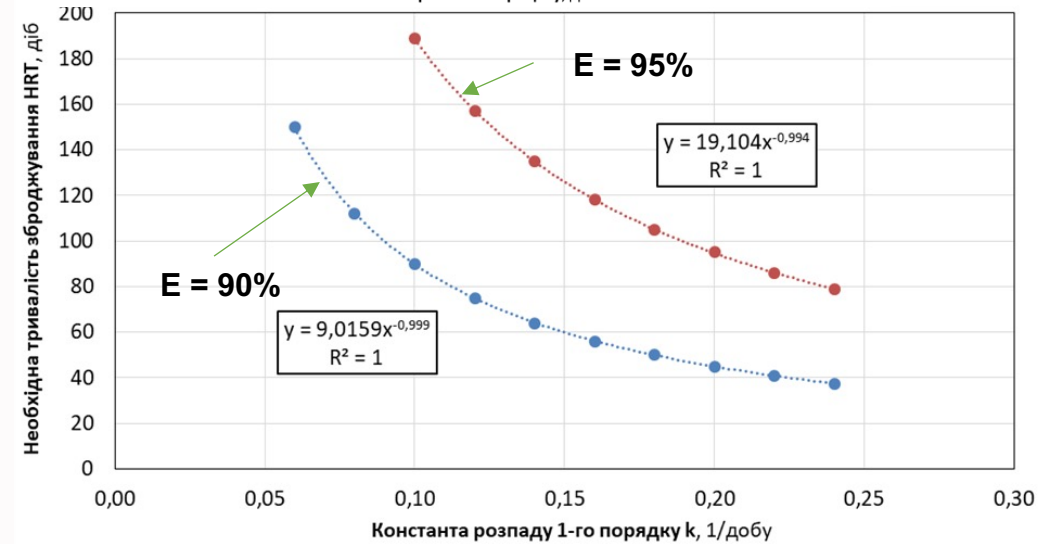
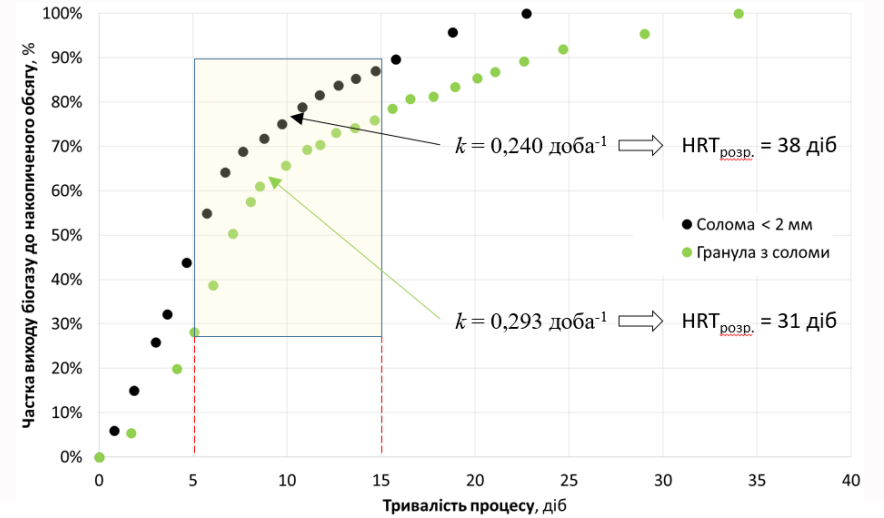
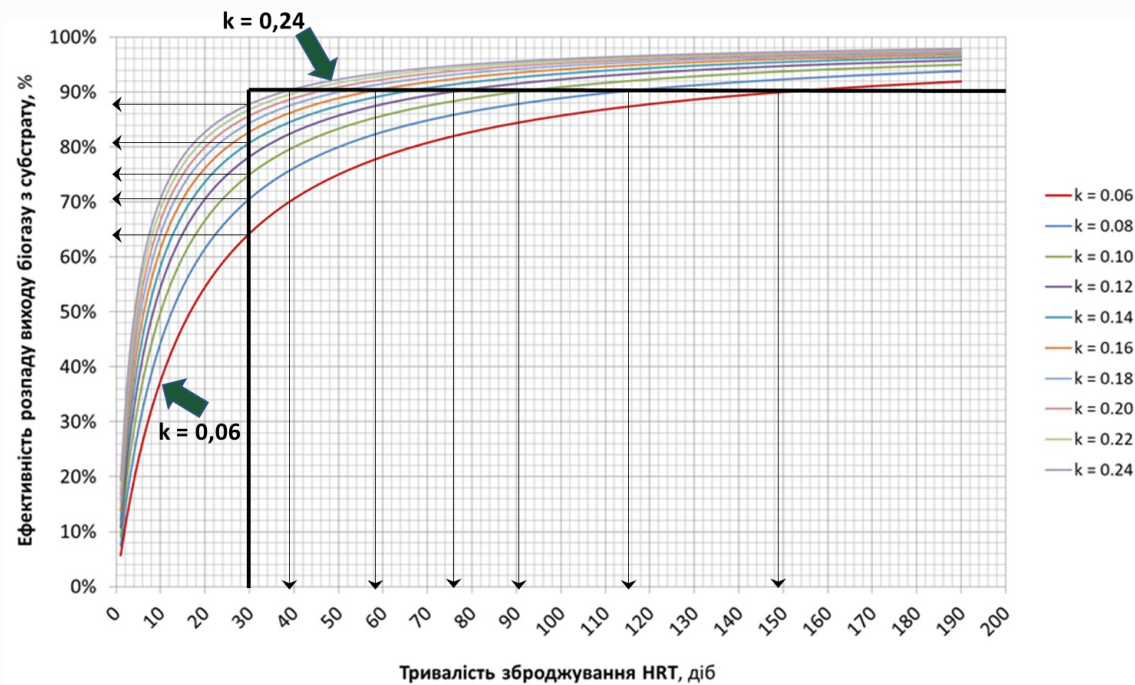
Оцінка необхідної / доцільної тривалості зброджування (HRT)



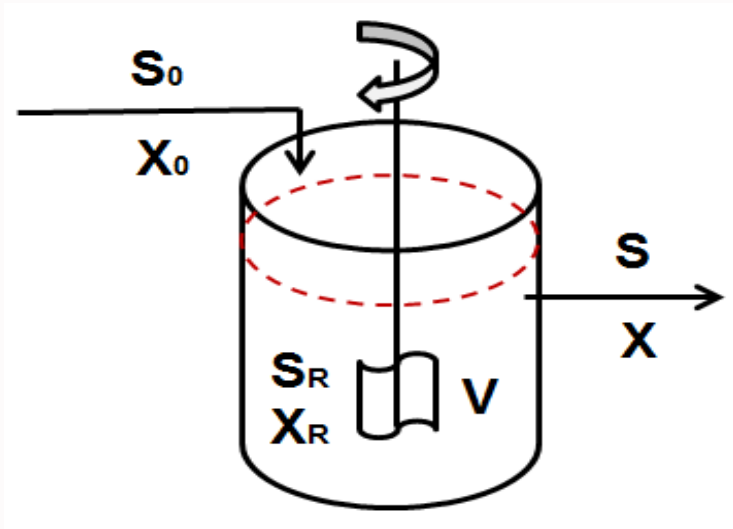
Оцінка необхідної тривалості зброджування з використанням кінетичної моделі розпаду 1-го порядку

$$C = \frac{C_{in}}{1 + k \cdot HRT}$$

- C Концентрація органічної речовини в реакторі (кгСОР/м³)
- C_{in} Концентрація органічної речовини на вході в реактор (кгСОР/м³)
- k Константа розпаду 1-го порядку (1/добу)
- HRT Середній гідравлічний час утримання в реакторі (діб)



Числова модель CSTR реактора



$$F = DX = \frac{D(K_S + S_0)}{Y_{X/S}(k_{\max} - D)} \left[\frac{k_{\max} S_0}{K_S + S_0} - D \right]$$

D – гідравлічне навантаження, доба⁻¹

S_0 – вхідна концентрація субстрату, г СОР · л⁻¹

X – концентрація бактеріальних клітин, г СОР · л⁻¹

$Y_{X/S}$ – коефіцієнт приросту бактеріальних клітин, гСОР · гСОР⁻¹

K_S – константа напівнасичення, гСОР · л⁻¹

K_{\max} – максимальна швидкість росту бактеріальних клітин, гСОР · л⁻¹ · доба⁻¹

Питома швидкість виходу CH₄, нм³/м³/добу



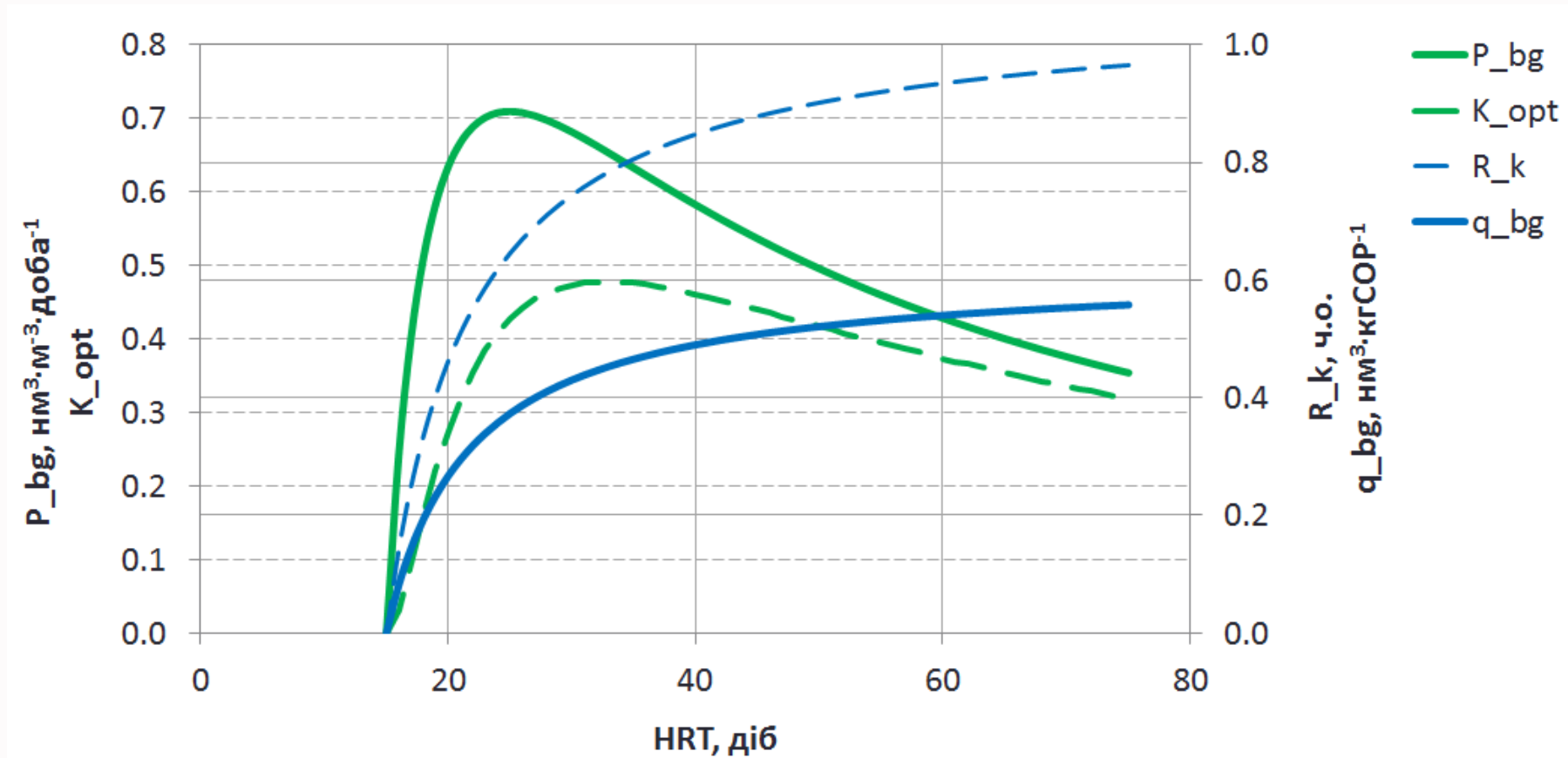
$$P_{CH_4} = \frac{1.43 D X Y_{CH_4/S}}{\rho_{CH_4} Y_{X/S}},$$

Питомий вихід CH₄ з 1 кг СОР, нм³/кгСОР



$$Q_{CH_4,T} = \frac{P_{CH_4}}{D S_0}$$

Приклад моделювання процесу моно-зброджування гною свиней (СР = 5,8%)



T_{min} – 15.0 діб

T_{opt_1} (за макс. інтенсивністю виходу біогазу) – 25.0 діб

T_{opt_2} (за комплексним критерієм) – 33.0 діб

R_{vs_lim} – 3.1 кгСОР/м³/добу

R_{opt} – 1.9 кгСОР/м³/добу

R_{opt} – 1.4 кгСОР/м³/добу

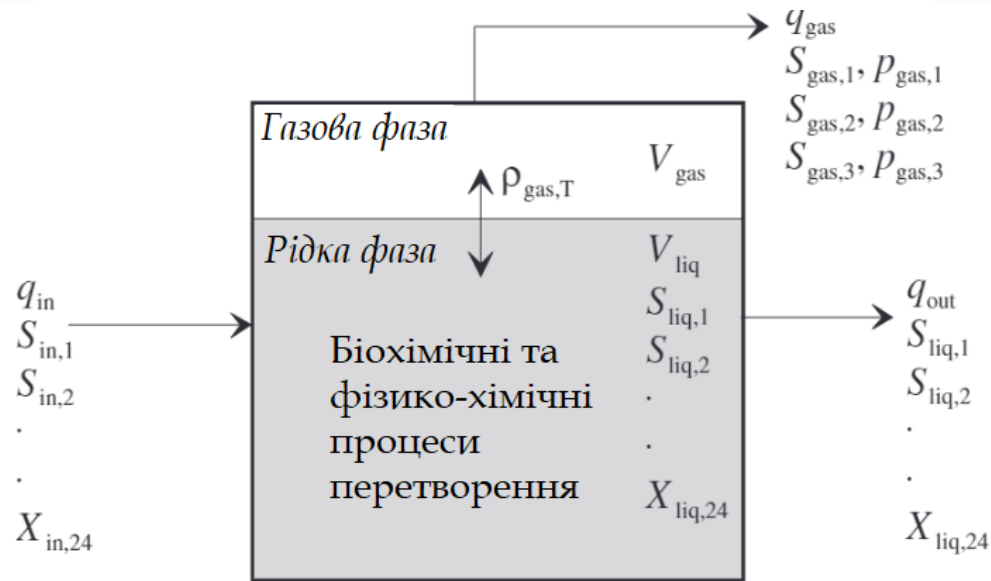


P_{bg_opt} – 0.65 м³/м³/добу

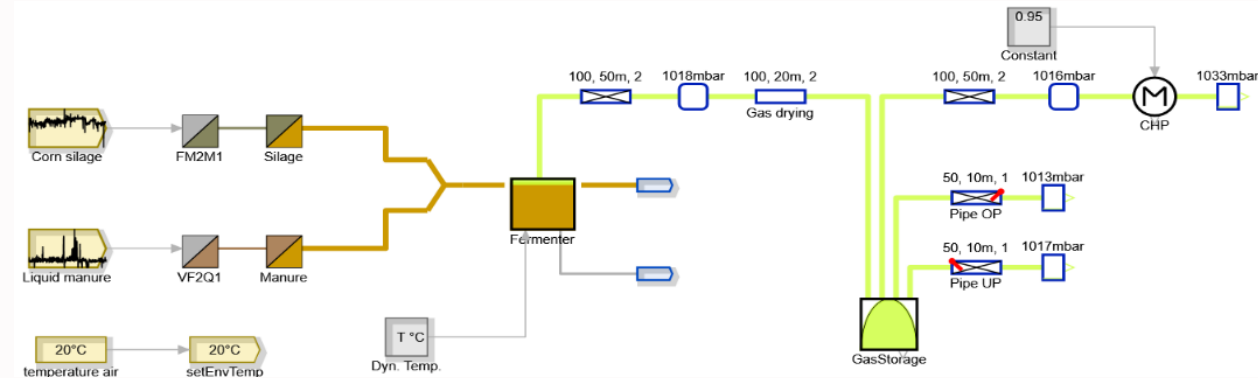
Комплексні моделі процесів метанового бродіння

ADM 1 (anaerobic digestion model) – є найбільш повною математичною моделлю метанового бродіння, що фактично є матрицею вирішення 19 послідовних та паралельних біохімічних та фізико-хімічних процесів для 24 компонентів

$$\frac{dS_{liq,i}}{dt} = \frac{q_{in} S_{in,i}}{V_{liq}} - \frac{S_{liq,i} q_{out}}{V_{liq}} + \sum_{j=1-19} \rho_j v_{i,j}$$



Комерційний пакет моделювання на основі ADM1

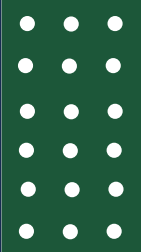


Області застосування:

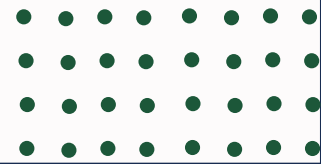
- Проектування біогазових установок
- Розробка та тестування індивідуальних рішень управління процесами в режимі реального часу
- Оцінка продуктивності заводу
- Оптимізація стратегії годівлі та роботи заводу

Ключові функції:

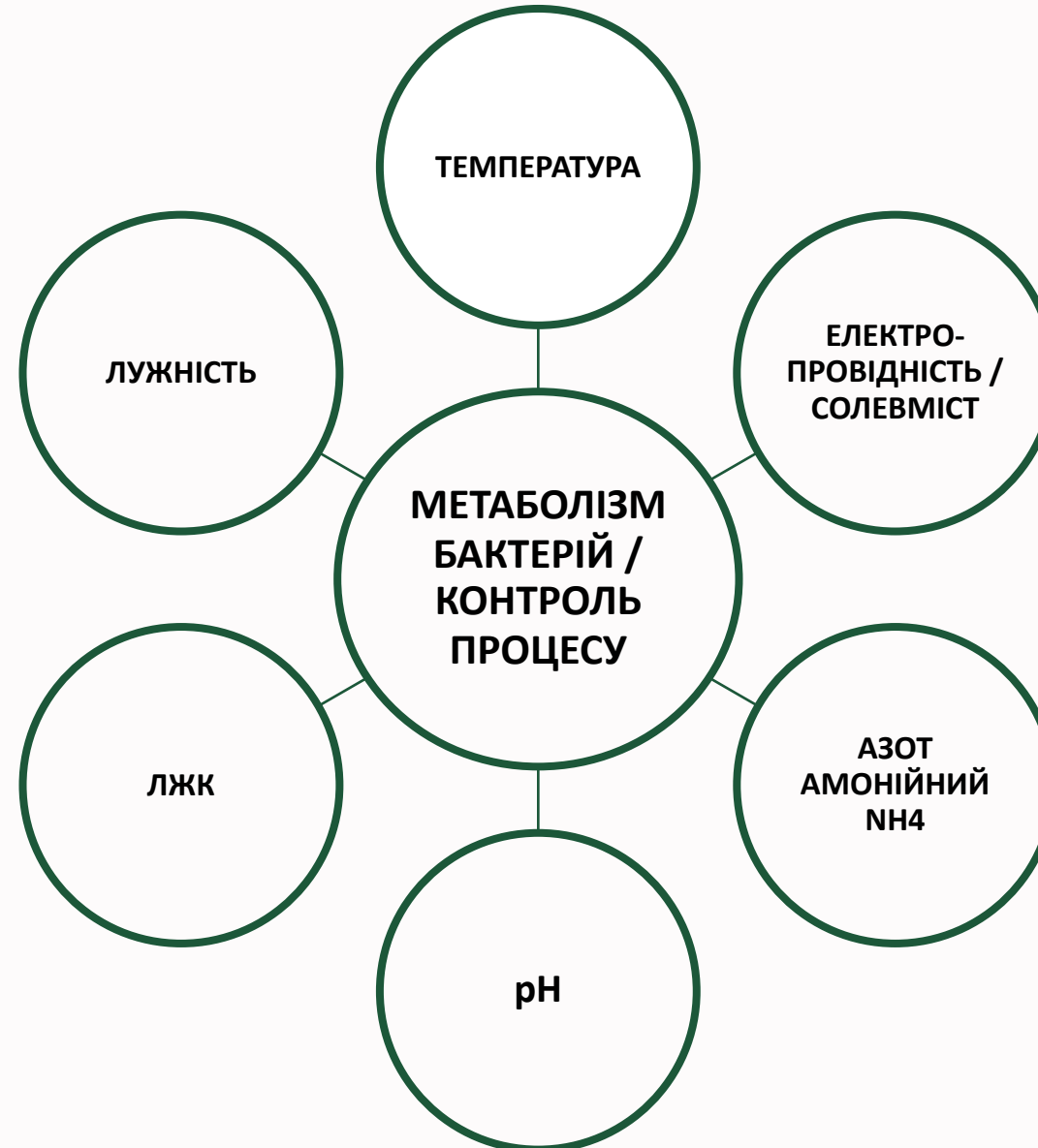
- Попередньо налаштовані моделі введення для різних джерел сільськогосподарських відходів
- Найсучасніша біокінетична модель на основі ADM1
- Підтримка різних концепцій керування процесом (функціональні блоки, мережі Петрі, PLC коди)
- Прогнозування COD, TSS, VSS, NH₄, N, pH, CH₄, VOA, TAC
- Зручні редактори для розробки та розширення моделей



Контроль технологического процесса



Основні параметри для контролю процесу



Інгібітори та активатори процесу

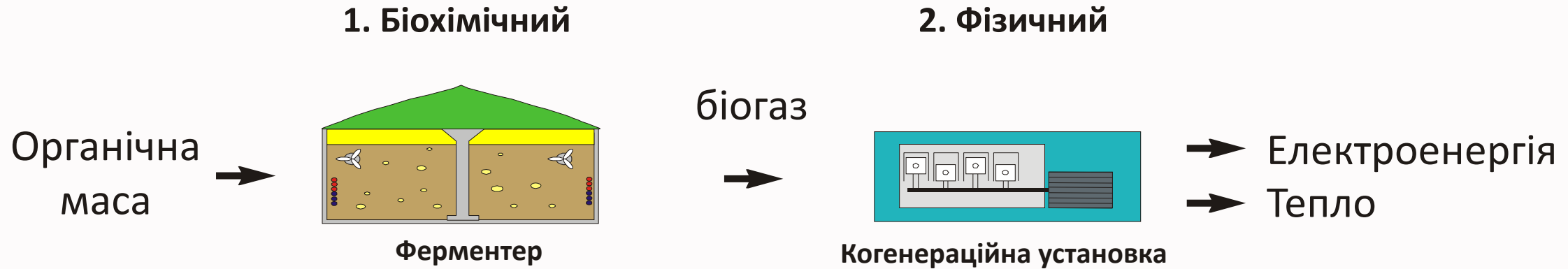


Діапазони значень параметрів

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 : TAC	[-]	0,2 – 0,5	0,5 – 1,0	> 1,0
CP	[%]	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

Ключові фактори ефективності біогазової станції



... результат залежить від ефективності перетворення!

➤ **Фактор ефективності перетворення вхідної речовини:**

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

➤ **Фактор ефективності ферментера**

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

➤ Електричний ККД [%]

➤ Тепловий ККД [%]

< 0,5 – низькоефективні

0,5...0,7 – малопродуктивні

0,7...2,0 – середньопродуктивні (типові)

> 2 – високопродуктивні

*ОР – об'єм реактора

Перелік рекомендованої літератури

1. Біогазові установки. Практичний посібник. Барбара Едер, Хайнц Шульц, 1996 р.
2. Довідник з біогазу https://energypedia.info/wiki/File:Biogas_Handbook.pdf
3. Біогаз – вступ <https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/brosch.biogas-2013-en-web-pdf.pdf>
4. Керівництво по біогазу. Від виробництва до використання <https://mediathek.fnr.de/guide-to-biogas-from-production-to-use.html>
5. Значення батч-тестів для аналізу потенціалу біогазу. Порівняння методів та проблеми оцінки субстрату та ефективності біогазових установок https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Batch_tests_web_END.pdf
6. Анаеробні реактори Карлос Аугусто де Лемос Чернічаро Кафедра санітарної та екологічної інженерії Федеральний університет Мінас-Жерайс, Бразилія <https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2020/09/volume-4.pdf>
7. Значення батч-тестів для аналізу потенціалу. Порівняння методів та проблеми оцінки субстрату та ефективності біогазових установок https://task37.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/32/2022/02/Batch_tests_web_END.pdf
8. Process monitoring in biogas plants -Technical Brochure written by: Bernhard Drosch, 2013 https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/12/Technical-Brochure-process_monitoring.pdf
9. Biogas HANDBOOK https://energypedia.info/wiki/File:Biogas_Handbook.pdf
10. BIOGAS an introduction <https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/brosch.biogas-2013-en-web-pdf.pdf>



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>

