



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Методи зберігання та підготовки сировини до анаеробного збродження

Кучерук П.П.

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

07/11/2023



Зміст

- 01** Мета та задачі зберігання та підготовки сировини до зброджування
- 02** Методи консервації та зберігання сировини. Їх вплив на вихід біогазу
 - A.** Силос
 - B.** Пожнивні рештки
 - C.** Жом
 - D.** Гній / Послід
- 03** Методи підготовки сировини до зброджування. Їх вплив на вихід біогазу та технологію





Мета та задачі зберігання та підготовки сировини до зброджування

Мета та задачі



Збереження потенціалу біогазу

Можливі шляхи втрати потенціалу біогазу

- аеробний або анаеробний розпад органічної речовини за участі бактерій, грибків
- зміна структури органіки при зниженні вологості
- вивітрювання ЛОС та пилових часток
- вимивання / стікання розчинних органічних сполук

Можливі рішення

- зниження рівня рН / закислення
- запобігання впливу вітру
- запобігання впливу атмосферних опадів
- збір та використання вимитої органіки

Збільшення поверхні масообміну

Можливі ефекти

- збільшення загальної швидкості масообмінних процесів в реакторі, і в результаті - швидкості виходу біогазу
- покращення доступу бактерій до органічних речовин
- збільшення виходу біогазу

Можливі рішення

- зменшення лінійних розмірів часток сировини
- руйнування зовнішньої оболонки волокон

Підвищення рівня біодоступності органіки

Можливі ефекти

- покращення доступу для бактерій до органіки, зокрема (гемі-) целюлози
- збільшення виходу біогазу

Можливі рішення

- руйнування зовнішньої оболонки волокон
- руйнування ЛЦК

Зниження рівня в'язкості та гомогенізація

Можливі ефекти

- підвищення ступеня розчинення / змішуваності
- зниження витрат енергії на переміщення / перемішування
- зниження ефекту стратифікації
- збільшення швидкості виходу біогазу

Можливі рішення

- подрібнення сировини
- подрібнення довгих волокон в сировині
- нагрівання сировини

Зниження рівня гідрофобності

Можливі ефекти

- покращення доступу для бактерій до органіки, зокрема (гемі-) целюлози
- зниження ефекту стратифікації з утворенням поверхневого шару
- зниження витрат енергії на перемішування

Можливі рішення

- руйнування зовнішньої оболонки волокон
- руйнування ЛЦК

Уникнення біологічного забруднення

Можливі ефекти

- запобігання розвитку бактерій та/або грибків, що призводять до аеробного або анаеробного розпаду органіки, а відтак – до втрати потенціалу біогазу
- запобігання утворенню мікотоксинів, шкідливих для анаеробного зброджування
- покращення дигестату як добрива

Можливі рішення

- створення умов для конкурентного розмноження групи мікроорганізмів, що не призводять до кінцевого розпаду органічних речовин
- створення умов, несприятливих для розвитку шкідливих бактерій та/або грибків
- гігієнізація сировини



Методи консервації та зберігання сировини. Їх вплив на вихід біогазу

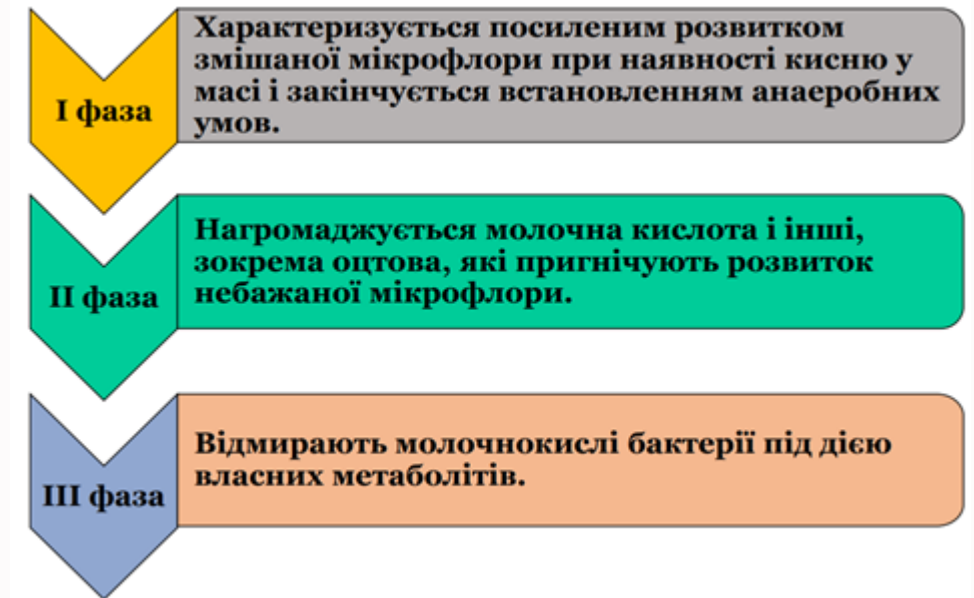
А. Силос

Біологічні основи технології силосування

- Біологічні основи силосування полягають у створенні умов для розвитку потрібної мікрофлори та пригніченні розвитку шкідливих мікроорганізмів, які погіршують якість силосу
- Суть природного силосування полягає в тому, що в процесі анаеробного (без доступу повітря) бродіння цукрів зеленої маси утворюються органічні кислоти (молочна, оцтова), які накопичуючись, понижують рН середовища до 4,0-4,2. За такого рівня рН зупиняється життєдіяльність бактерій, внаслідок чого зелена маса консервується.

- Основні умови для ефективного силосування:

- вологість сировини 65-70%
- розмір частинок біомаси 10-20 мм
- наявність цукру та буферних речовин
- достатнє ущільнення
- анаеробні умови



Заготівля та закладання силосу

Вміст СР = 30...35%

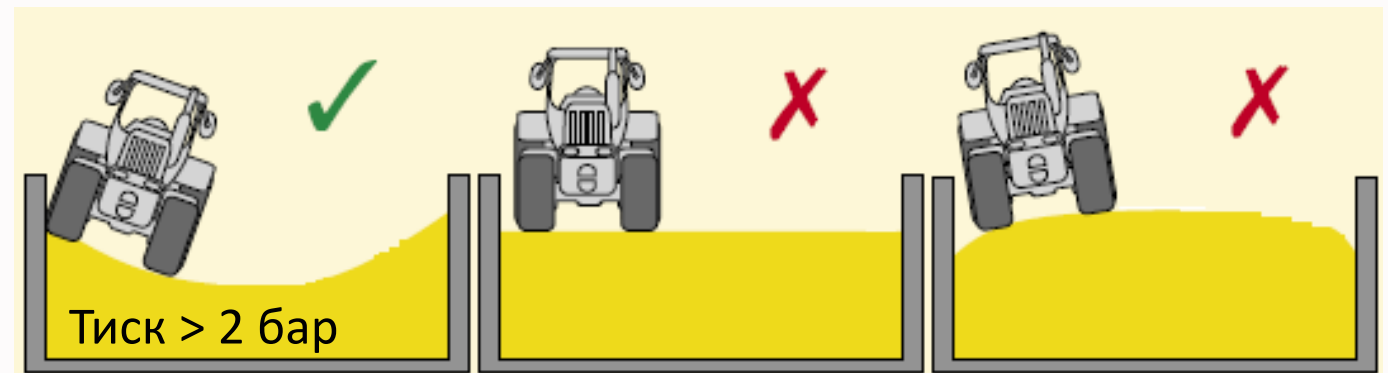
Вміст сирової клітковини < 240 г/кгСР

Розмір часток 10...20 мм

Укладання шарами < 20 см



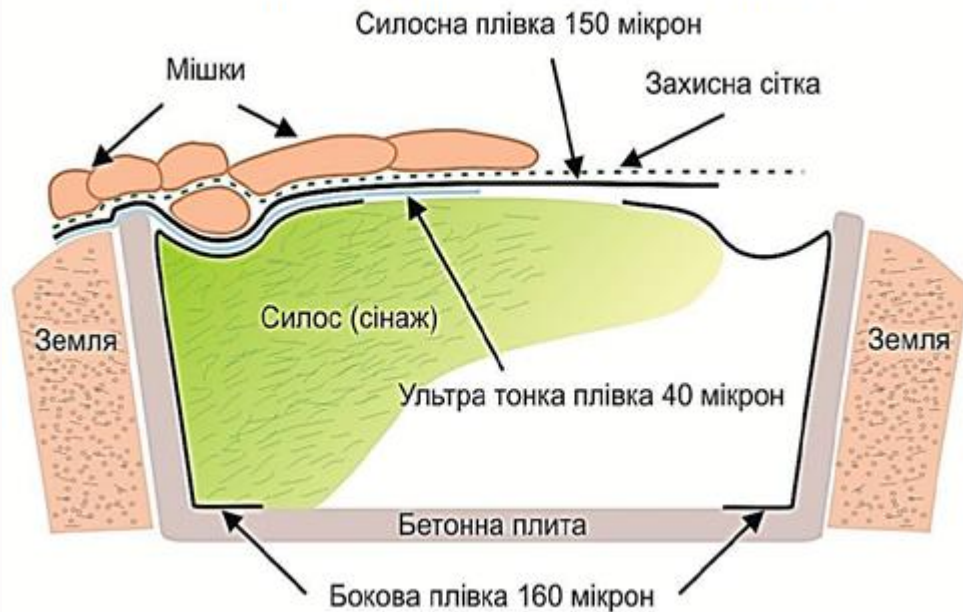
Щільність силосу > 0,65 т/м³



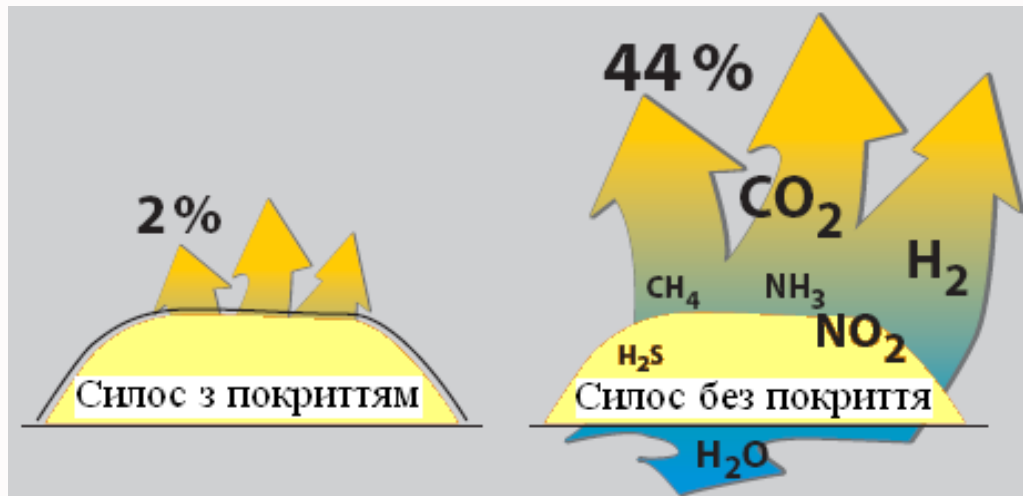
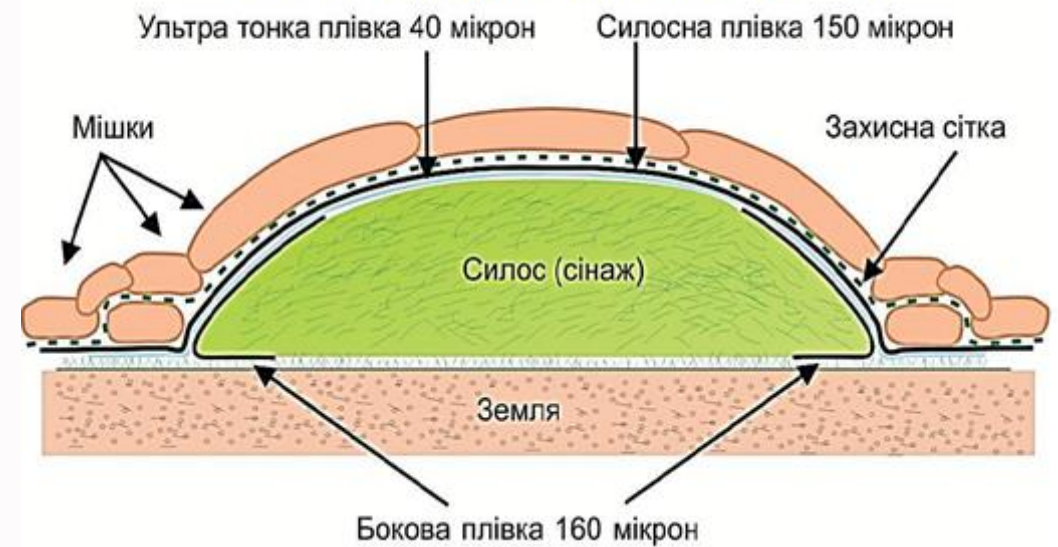
Швидкість трактора < 3...4 км/год

Укриття силососховищ

Приклад укриття силосної траншеї



Приклад укриття силосного кургану



Утворення фільтрату (соку) з силосу

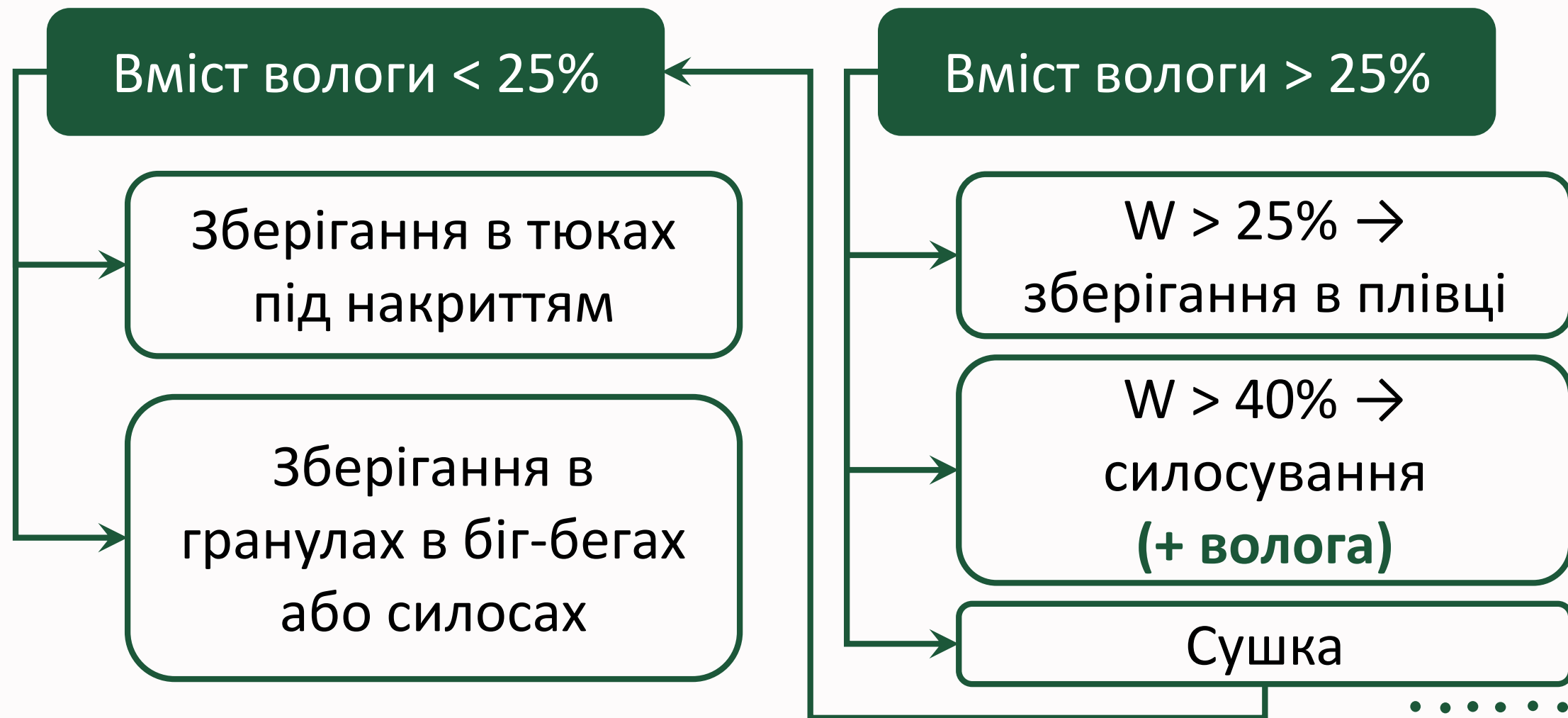
- В процесі закислення відразу після закладення силосу кукурудзи виділяється фільтрат – 10...30 л/т силосу
- Половина загального обсягу фільтрату виділяється в перші 10 днів з моменту закладення силосу в траншеї
- ХСК такого фільтрату може досягати 40-60 г/л, рН – 4,0-5,5
- Втрати біогазу при цьому складуть 0,14...0,63 м³СН₄/т силосу або не більше 0,5...0,6% потенціалу
- Силосний сік є сильнозабрудненим стоком, який доцільно збирати і направляти на переробку в біогаз
- На кожну 1 т силосу потрібно передбачити до 30 л резервуару для збору силосного соку



Методи консервації та зберігання сировини. Їх вплив на вихід біогазу

В. Пожнивні рештки

Способи зберігання пожнивних решток як сировини для виробництва біогазу



Зберігання тюкованої соломи

Закриті склади та навіси



Зберігання тюків/рулонів на відкритому повітрі

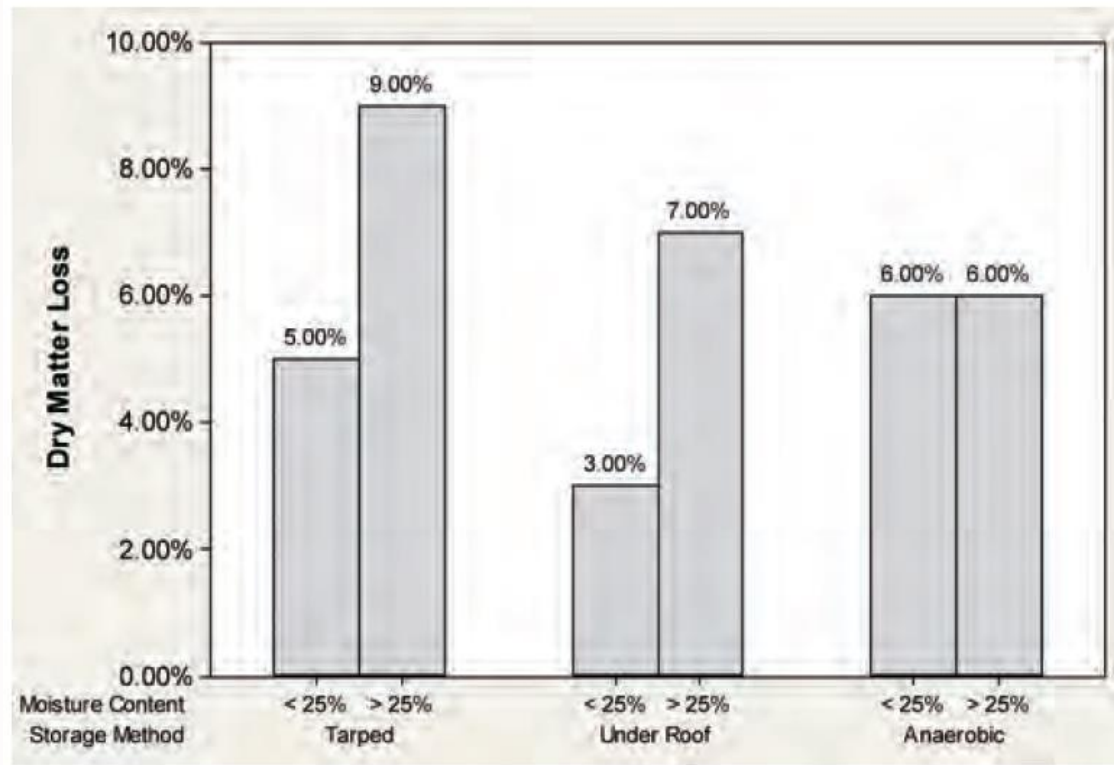


Використання гнучкого накриття і плівки для захисту тюків



Зберігання вологого кукурудзиння

- Мікробна активність сповільнюється, якщо **вміст води у біомасі менше 22%** і стає майже неактивною за вологості **менше 18%**.
- Типові втрати при зберіганні тюків кукурудзиння під гнучким накриттям, критому складі та в анаеробних умовах:



Рішення для зберігання в анаеробній упаковці забезпечують найбільш ефективний варіант зберігання сировини, коли вологість тюків перевищує 25%.



Джерело: Shah, A., Darr, M.J. 2014. Corn stover storage losses. Iowa State University Extension and Outreach, PM 3051E.

Можливі наслідки неправильного зберігання



Грибок проростає у вологості

- Поява цвілі / грибків, і як результат, мікотоксинів – інгібіторів метанового бродіння
- Втрата СР і, як результат, потенціалу біогазу



Source: BTS-group



Методи консервації та зберігання сировини. Їх вплив на вихід біогазу

С. Жом

Способи зберігання жому

Вміст СР 12...14%

Зберігання в ямах
(закислення жому)

Силосування з
іншими видами
рослинної сировини

Вміст СР 23...25%

Зберігання в рулонах

Зберігання в тюках у
плівці

Консервація та зберігання жому

Технологія тюкування

Витрати 4,3...5,5 євро/т

Потреба в землі 0,5 м²/т



Технологія рукавного зберігання

Витрати 6 євро/т

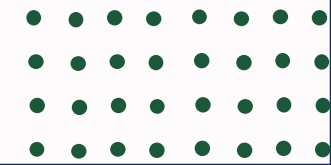
Потреба в землі 1,4 м²/т



Жомові ями (кислий жом)



Жомові ями («свіжий» жом)

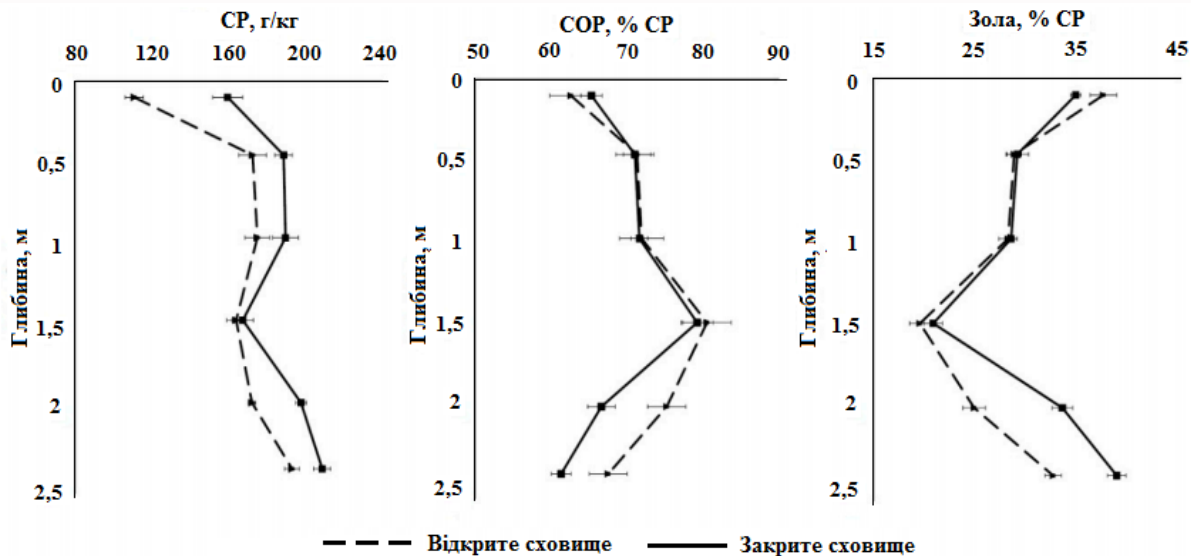


Вплив закислення жому на вихід біогазу

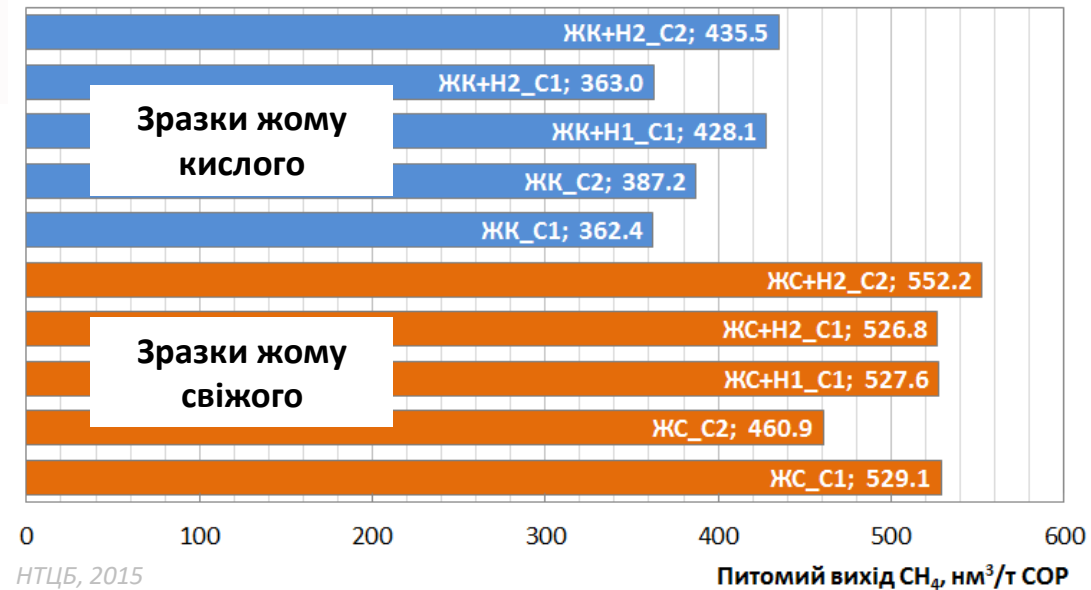
- Вміст СР змінюється з 19,5% в свіжій стружці до 15,9...20,9% (у закритих ямах) та 11,1...19,3% (у відкритих ямах) у кислому жомі.
- Це вказує на зниження загального вмісту СР під час зберігання
- Вміст СР в кислому жомі суттєво відрізняється по глибині ям

- У кислому жомі на 1/3 менший потенціал біогазу з одиниці маси органіки
- Середній вихід метану зі свіжого жому при вмісті 11,6% СР складає 529,1 нм³СН₄/т СОР
- Середній вихід метану зі свіжого жому при вмісті 11,6% СР складає 362,4 нм³СН₄/т СОР

Вміст СР, СОР та зольність в зразках кислого жому, відібраного з різних глибин жомових ям



Питомий вихід СН₄ зі зразків свіжого та кислого жому



НТЦБ, 2015



Методи консервації та зберігання сировини. Їх вплив на вихід біогазу

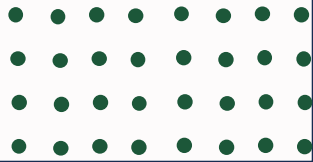
D. Гній / Послід

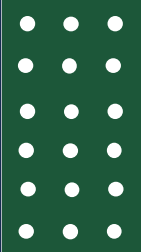
Мета консервації гною / посліду

- Запобігання викидам парникових газів в атмосферу (CH_4 , N_2O , НМЛОС)
- Запобігання поширенню неприємних запахів
- Запобігання втраті органічної речовини, а відтак потенціалу біогазу
- Гарантування санітарно- та вогнебезпечного зберігання



Source: BTS-group





Методи підготовки сировини до зброджування. Їх вплив на вихід біогазу та технологію

Методи попередньої обробки сировини

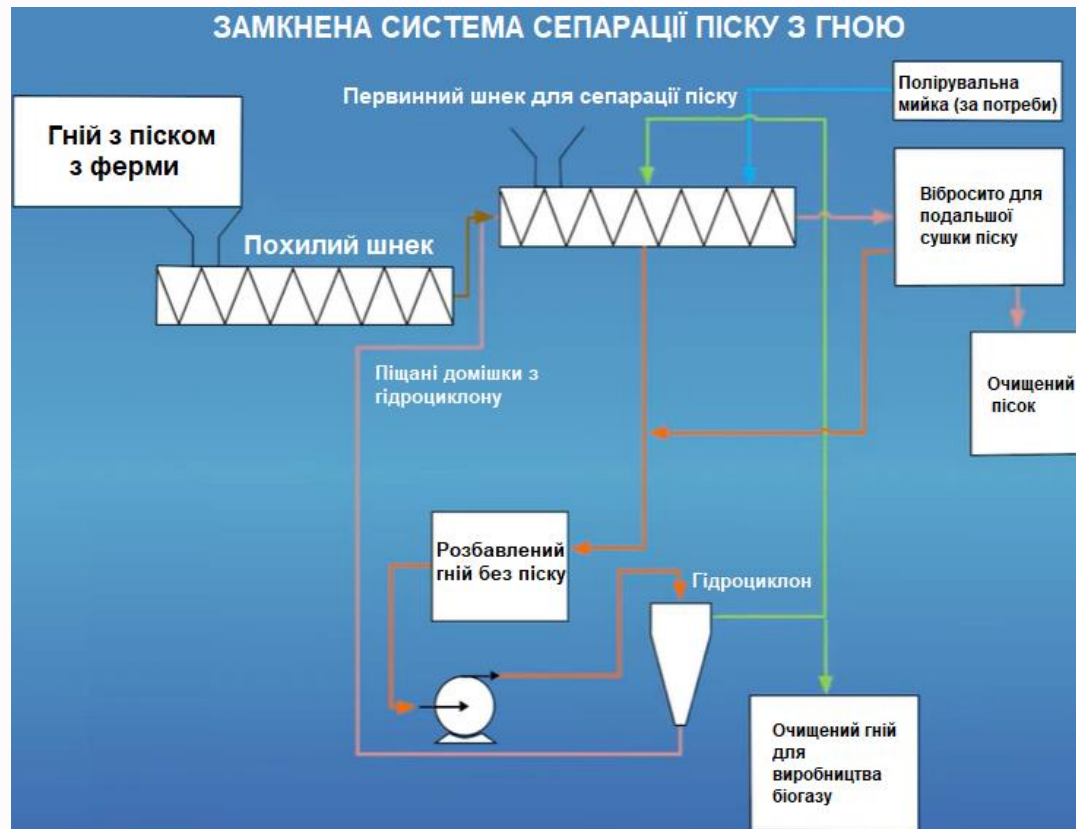
- Сировина з високим вмістом піску, напр. послід
- Сировина з вмістом каміння та інших крупних домішок
- Сировина з вмістом домішок здатних до флотації



- Силос (доподрібнення)
- Зернові відходи олійних культур, напр. ріпаку
- Гній на підстилці із соломи
- Харчові відходи

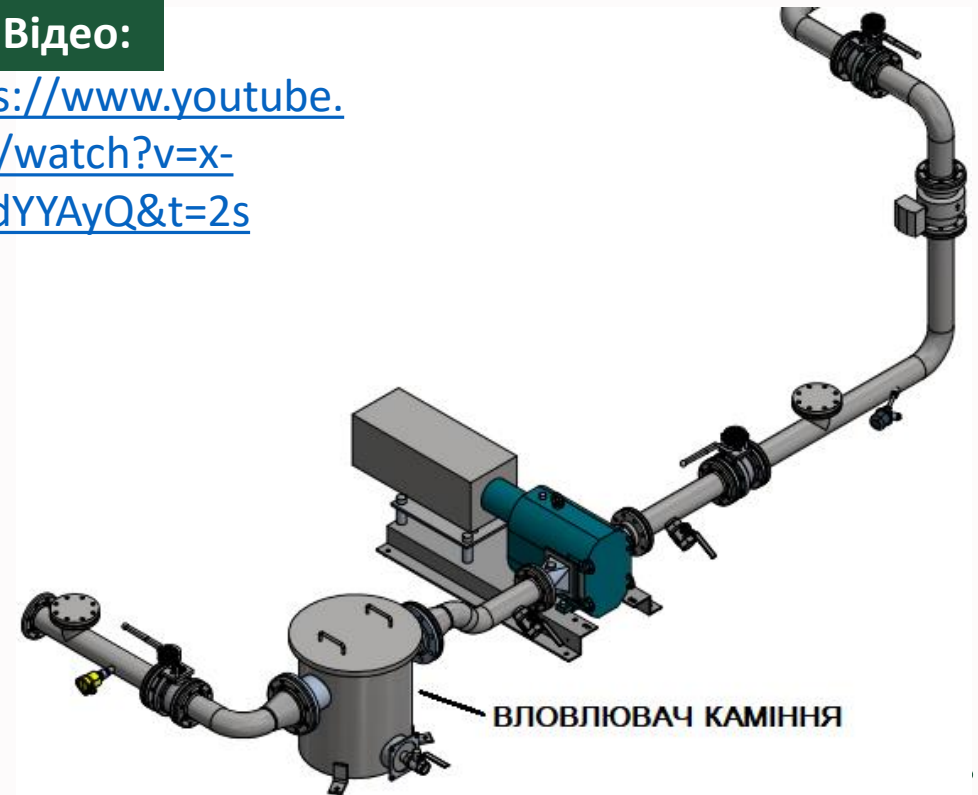
Видалення домішок

- Запобігання → зміна технології виробництва, ретельний відбір сировини
- Видалення → пісколовки гравітаційні або механічні, вловлювачі каміння
- Запобігання накопиченню в реакторі → правильний підбір системи змішування



Відео:

<https://www.youtube.com/watch?v=x-CGcdYYAyQ&t=2s>

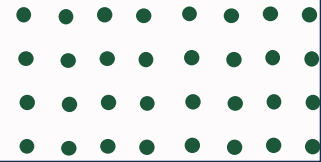


Проблеми, пов'язані з твердими домішками

Накопичення в реакторі

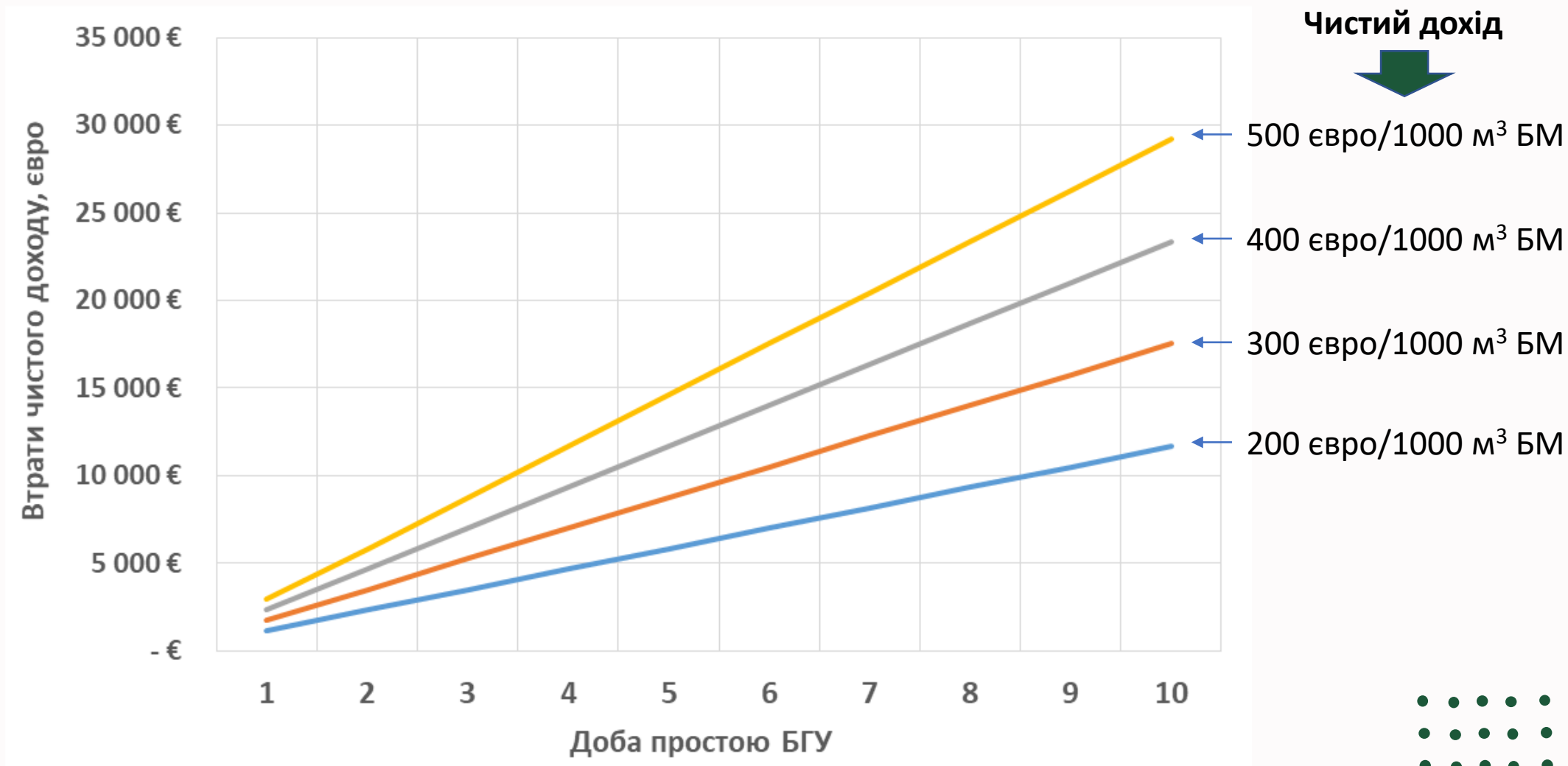


Накопичення в приймальній ємності



Втрати від простою технологічного процесу

Втрати чистого доходу на 1 МВт встановленої електричної потужності або ≈ 2 млн м³ біометану на рік



Стерилізація

- Стерилізації потребують, згідно Закону України 287-VIII «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною», побічні продукти II категорії, окрім гною, вмісту шлункового тракту, молока... *(Стерилізація під тиском - оброблення побічних продуктів тваринного походження після зменшення їх розміру до часток не більш як 50 мм при температурі вище 133 °C протягом не менш як 20 хвилин без перерви при абсолютному тиску не менш як 3 бари)*
- Гігієнізації потребують, згідно Закону України 86/95-ВР «Про пестициди та агрохімікати» з посиланням на Регламент (ЄС) 2019/1009, всі види сировини, окрім:
 - ❖ органічної частина змішаних побутових відходів, розділених шляхом механічної, фізико-хімічної, біологічної та/або ручної обробки,
 - ❖ осадів стічних вод, промислових осадів або осадів від днопоглиблювальних робіт (сапропелі),
 - ❖ побічні продукти тваринного походження або похідні продукти, що підпадають під дію Регламенту (ЄС) № 1069/2009, для яких не було визначено кінцевої точки у виробничому ланцюгу
- Вказані види сировини можуть потребувати стерилізації під тиском

Температурні режими гігієнізації

Мезофільне зброджування при $T = 37-40^{\circ}\text{C}$

З подальшим **компостуванням**:

- A) при $T = 70^{\circ}\text{C}$ протягом > 3 діб
- B) при $T = 65^{\circ}\text{C}$ протягом > 5 діб
- C) при $T = 60^{\circ}\text{C}$ протягом > 7 діб
- D) при $T = 55^{\circ}\text{C}$ протягом > 14 діб

Із застосуванням пастеризації

Термофільне зброджування при $T = 55^{\circ}\text{C}$

Термофільне зброджування протягом
 > 24 годин з подальшим
витриманням протягом > 20 діб

З подальшим **компостуванням**:

- A) при $T = 70^{\circ}\text{C}$ протягом > 3 діб
- B) при $T = 65^{\circ}\text{C}$ протягом > 5 діб
- C) при $T = 60^{\circ}\text{C}$ протягом > 7 діб
- D) при $T = 55^{\circ}\text{C}$ протягом > 14 діб

Із застосуванням пастеризації

Подрібнення / Гомогенізація (1)

BIOEXTRUDER LEHMANN



BIOGRINDER MEBA



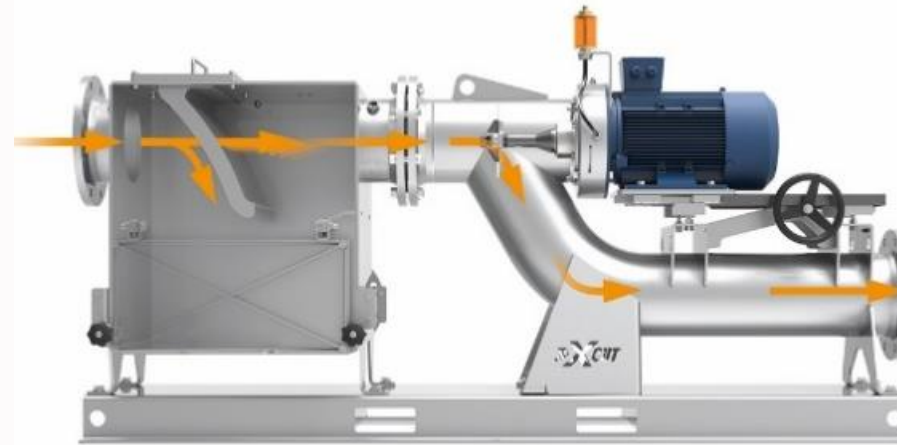
BIOCRUSHER BIO-G



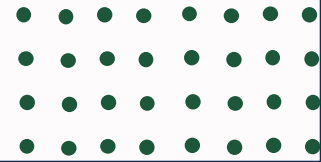
BIOGRINDER BHS



Система WANGEN X-TRACT + X-CUT.

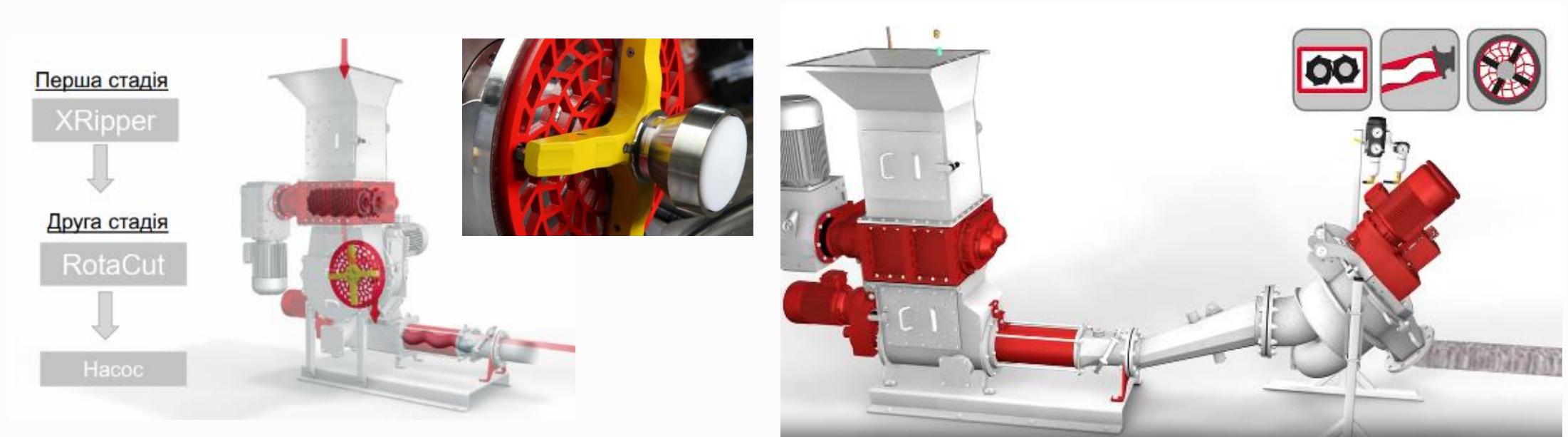


Молоткова дробарка для соломи

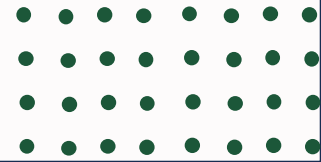


Подрібнення / Гомогенізація (2)

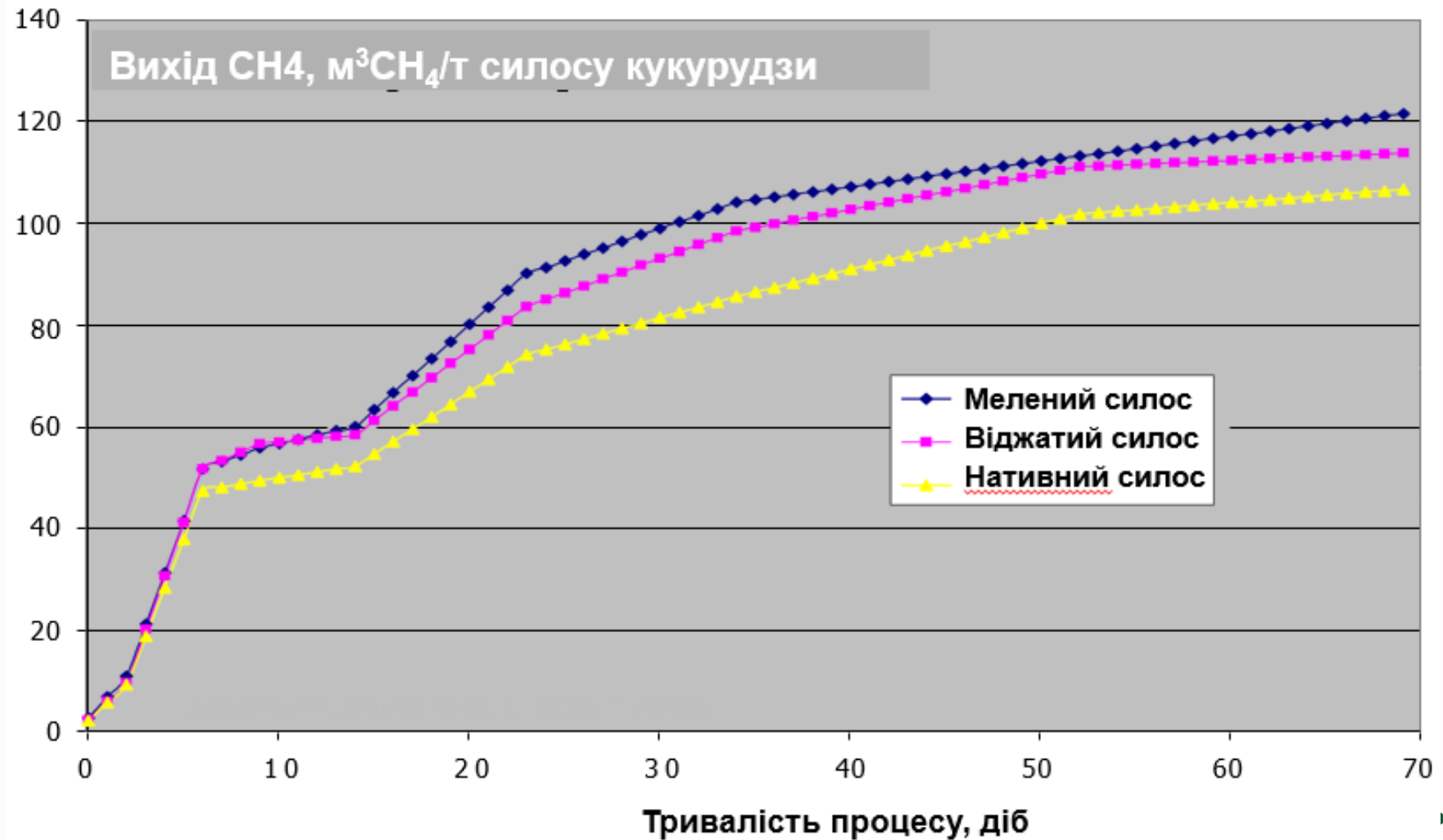
Система подачі VOGELSANG PreMax з додатковими подрібнювачами X-Ripper, RotaCut



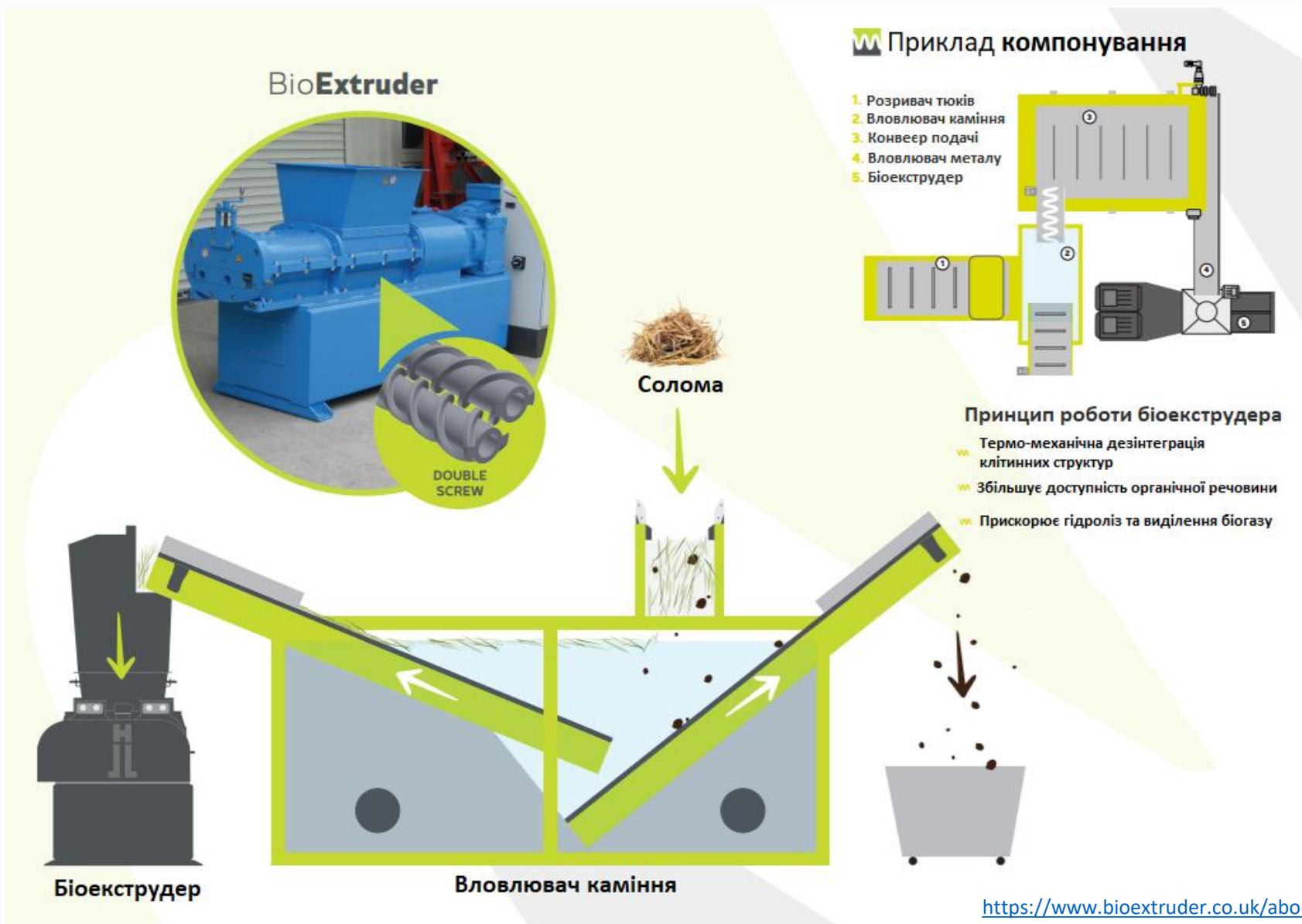
ТИПОВІ ЕФЕКТИ ВІД ПОДРІБНЕННЯ



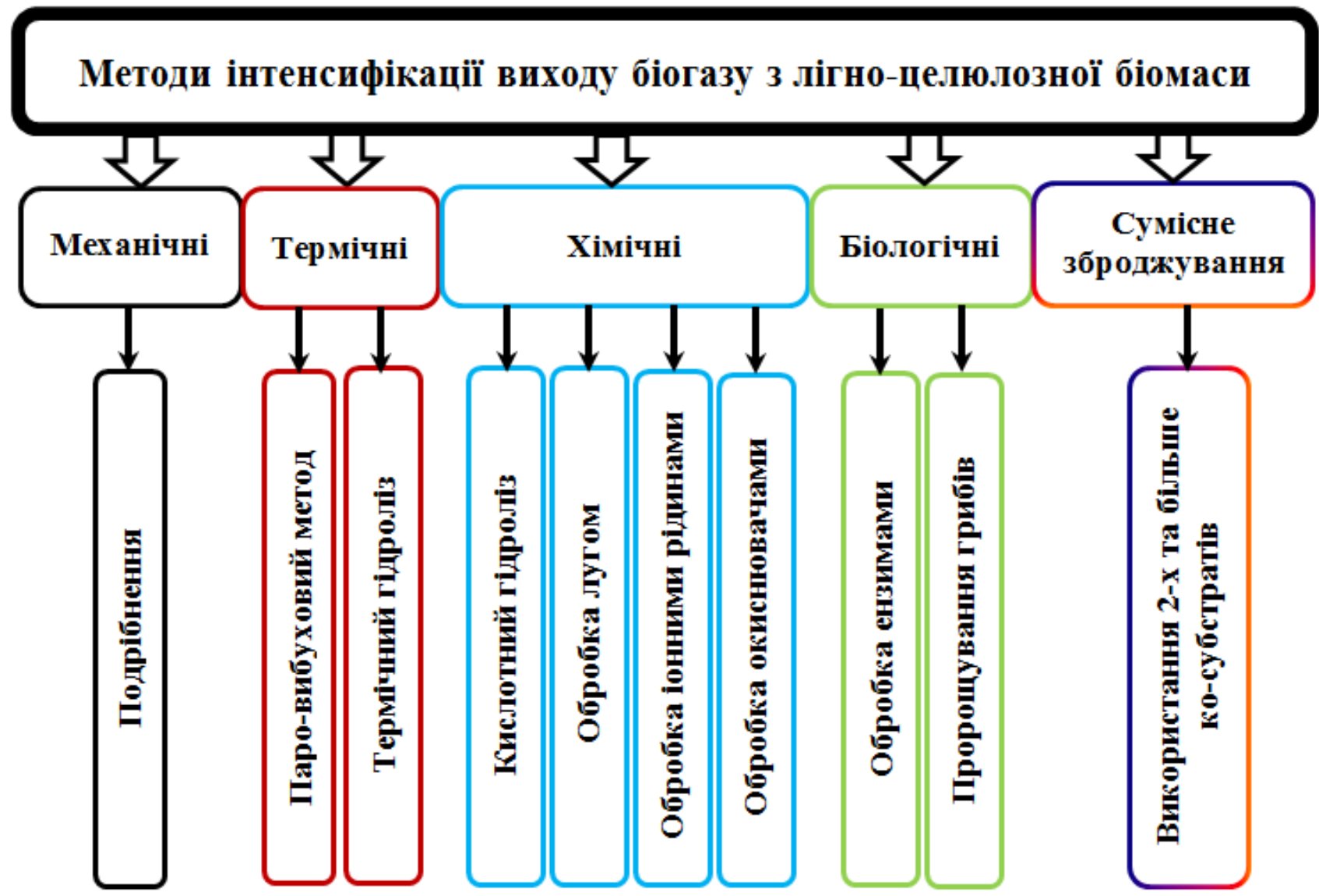
Вплив подрібнення силосу кукурудзи на кінетику виходу метану



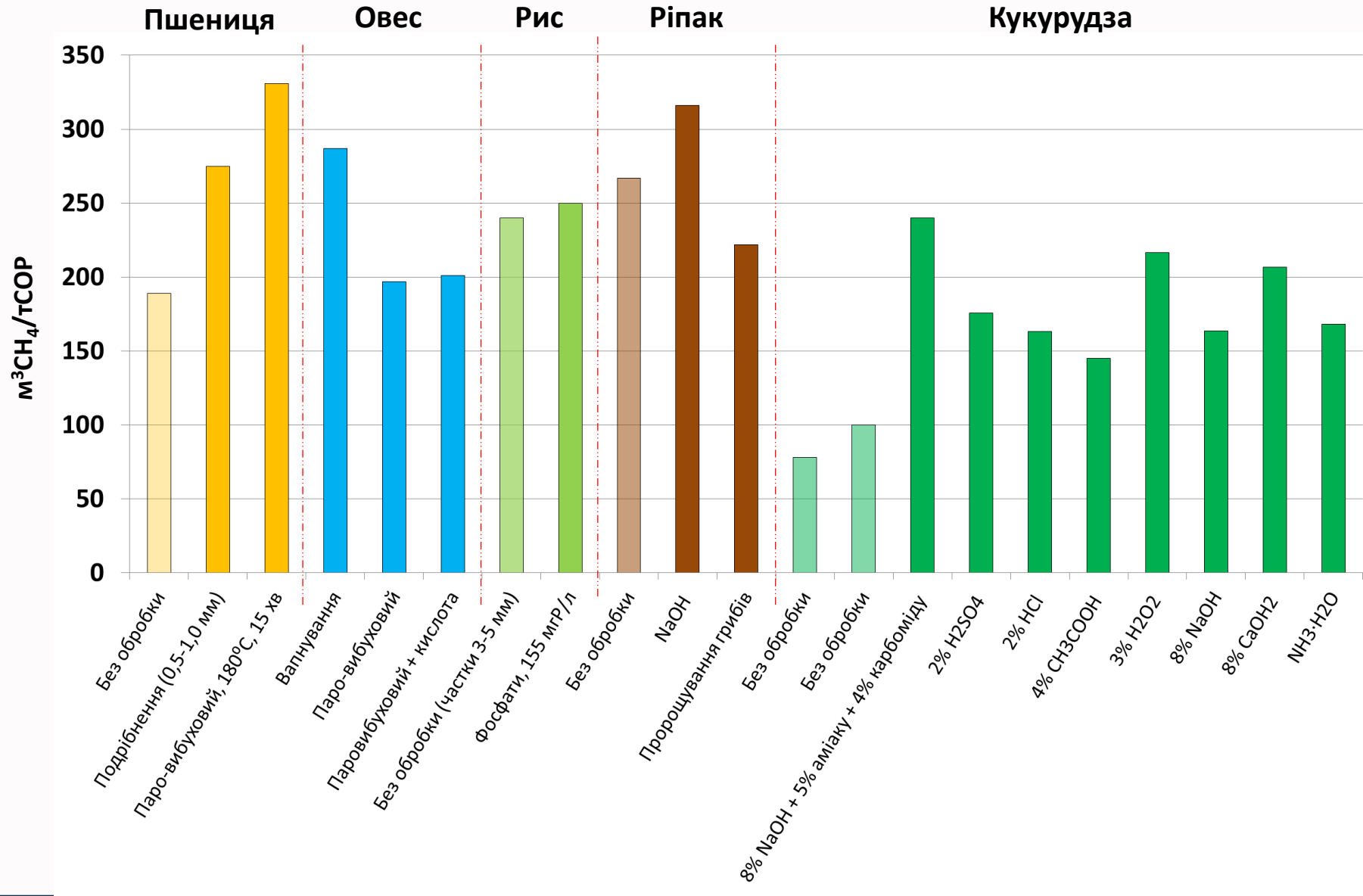
Підготовка тюкованої соломи з допомогою біоекструдера Lehmann



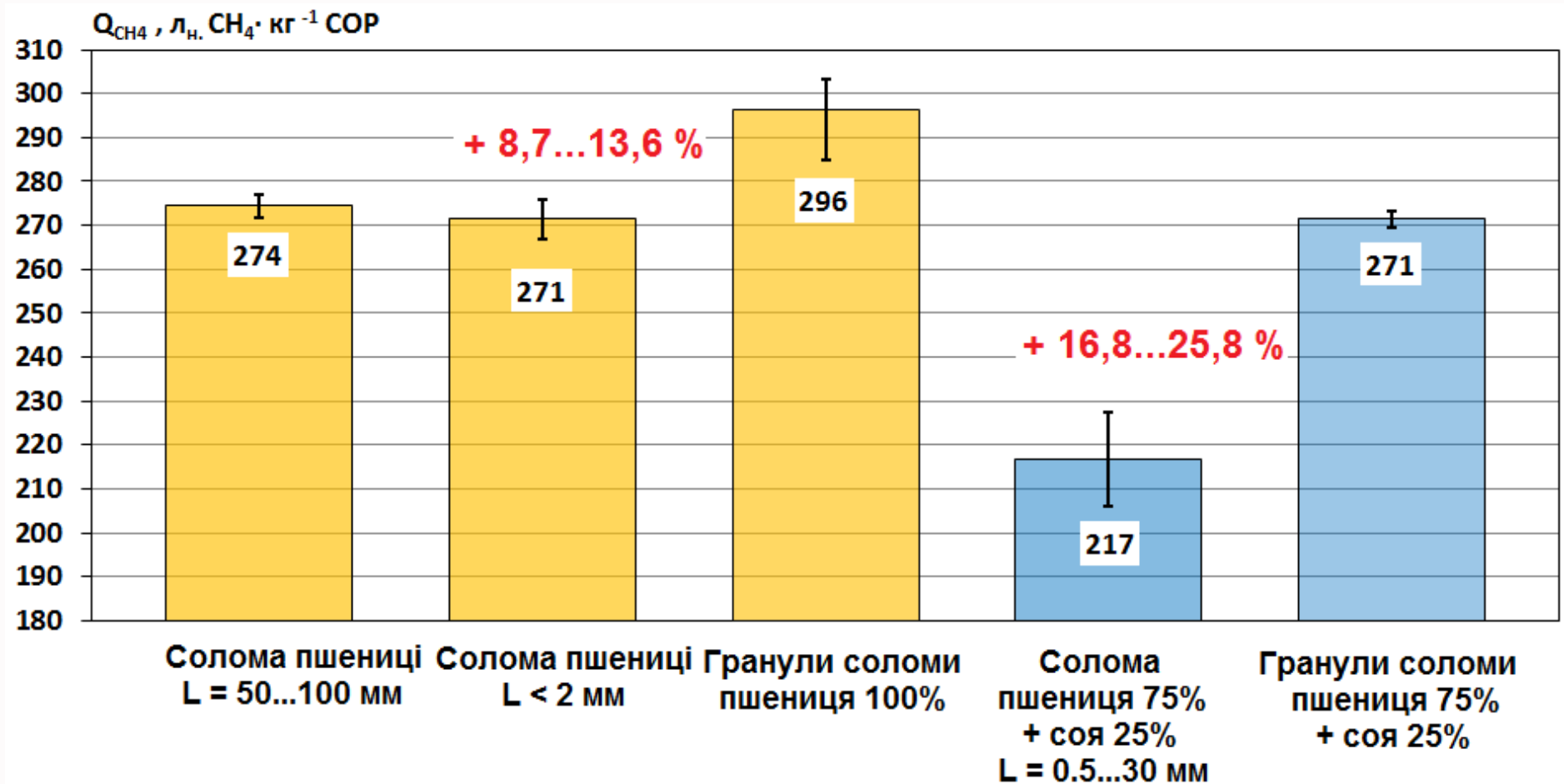
Підготовка лігно-целюлозної сировини



Вплив різних методів попередньої обробки на питомий вихід CH_4 з соломи

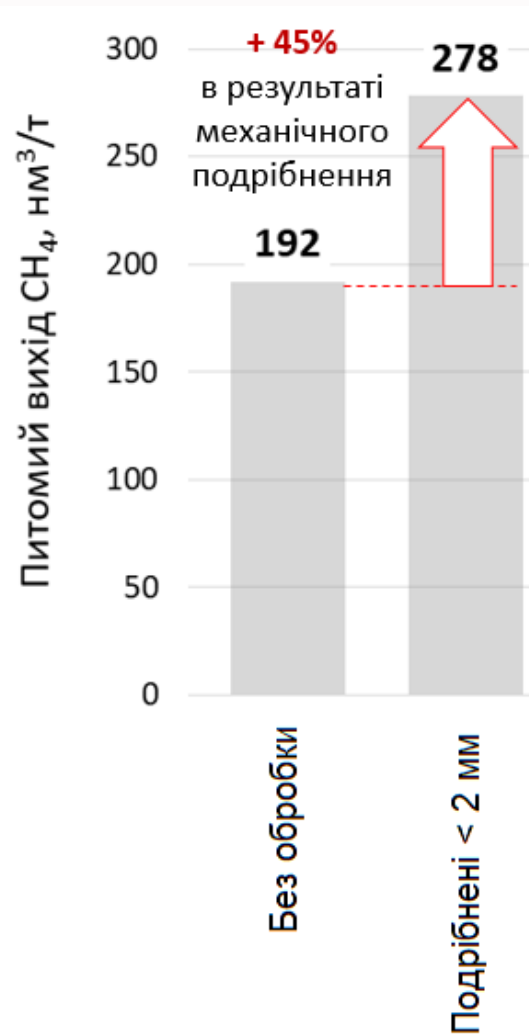


Вплив подрібнення та грануляції на вихід CH_4



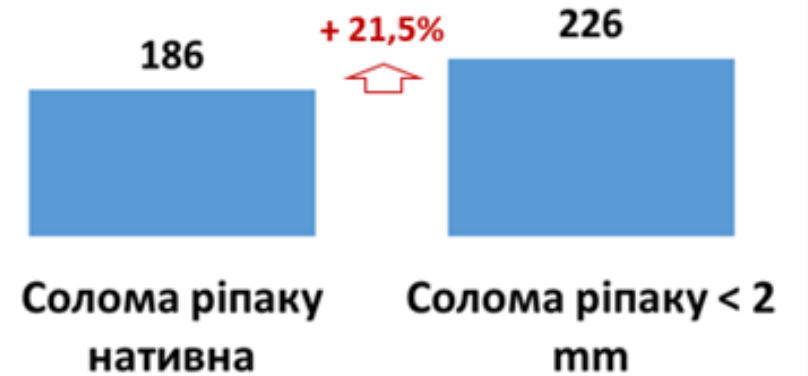
Вплив подрібнення та грануляції на вихід CH_4

Зернові відходи ріпаку (елеваторні)



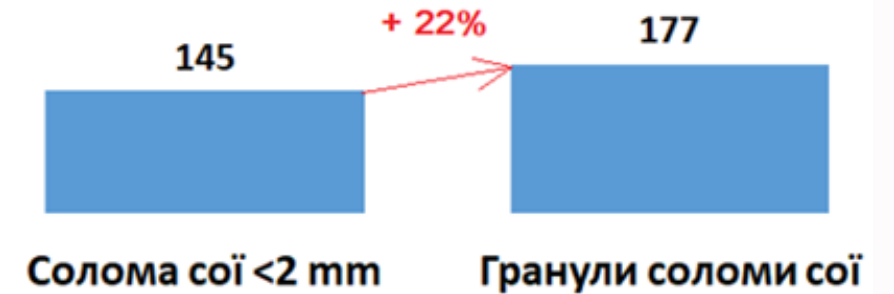
Солома ріпаку

Питомий вихід CH_4 , $\text{nm}^3\text{CH}_4/\text{t COP}$

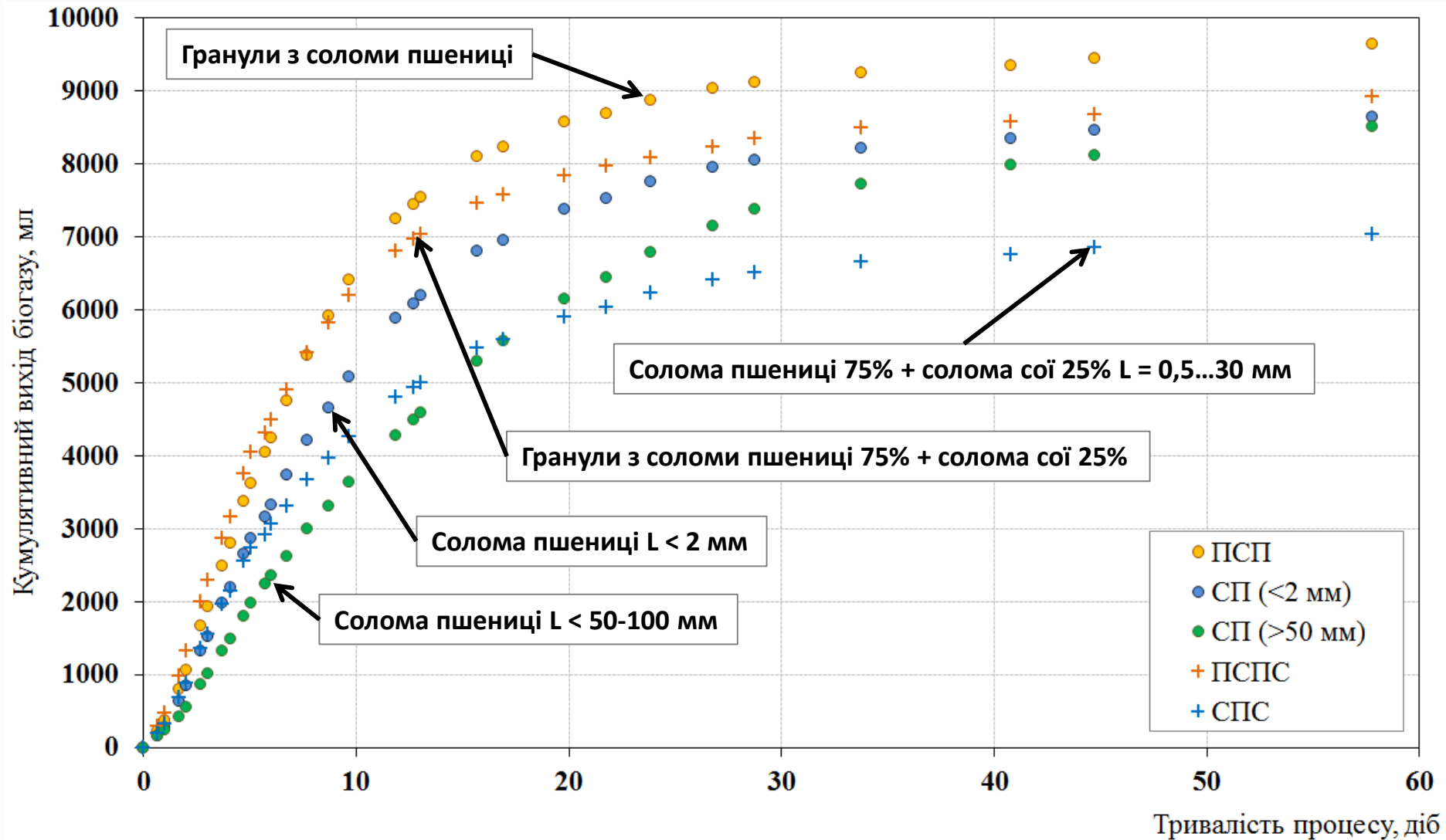


Солома сої

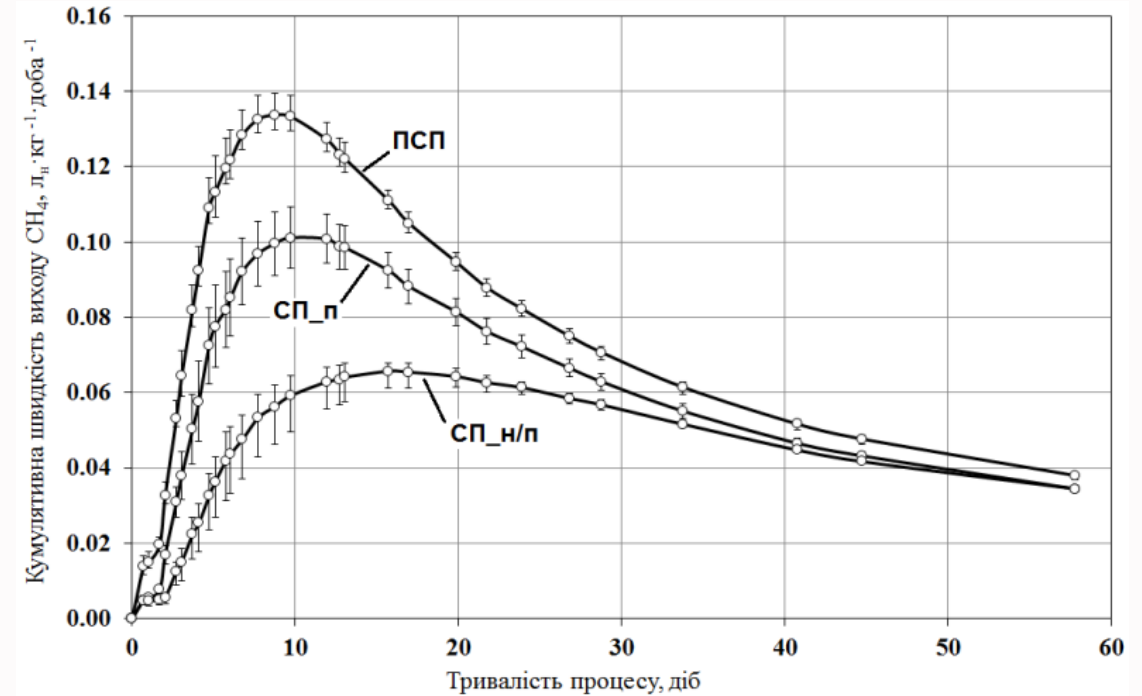
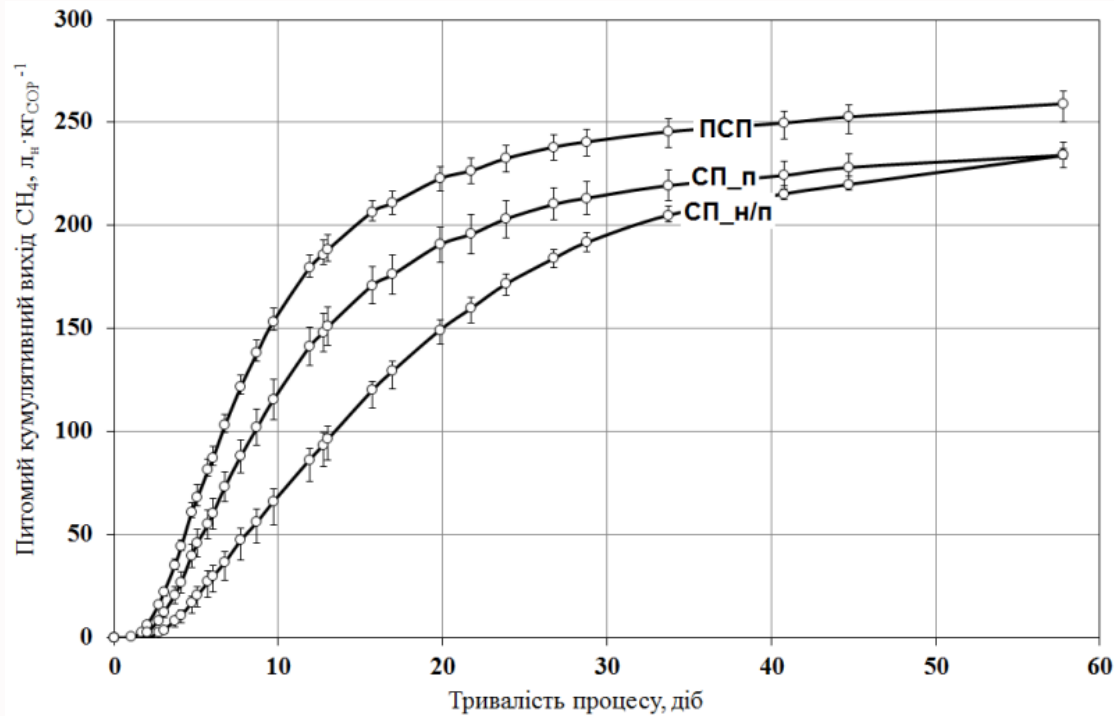
Питомий вихід CH_4 , $\text{nm}^3\text{CH}_4/\text{t COP}$



Вплив подрібнення та грануляції соломи на кінетику виходу біогазу

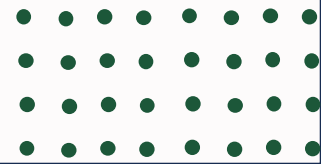


Вплив подрібнення та грануляції соломи на кінетику виходу біогазу

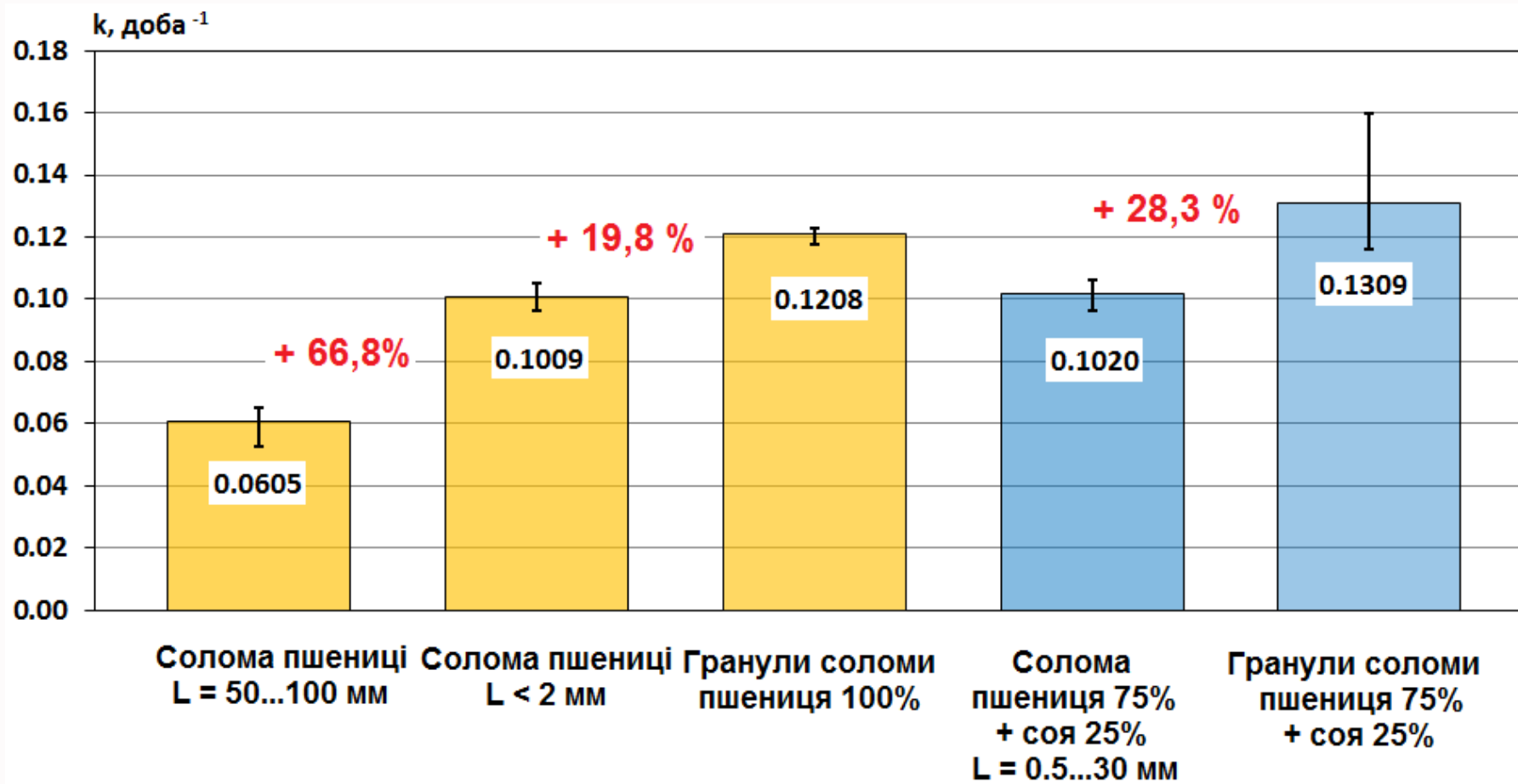


http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=vien_2018_2_12

ПСП – гранули з соломи пшениці
СП_п – солома пшениці подрібнена < 2 мм
СП_н/п – солома нативна



Константа швидкості виходу біогазу 1-го порядку



Вплив подрібнення соломи на швидкість виходу біогазу

Пшенична солома	10 днів	20 днів	30 днів
	м ³ / кг СОР		
Подрібнена (3 см)	0.11	0.17	0.23
Подрібнена (0,1 – 2,0 мм)	0.22	0.33	0.37

Reinhold und Noack, 1956

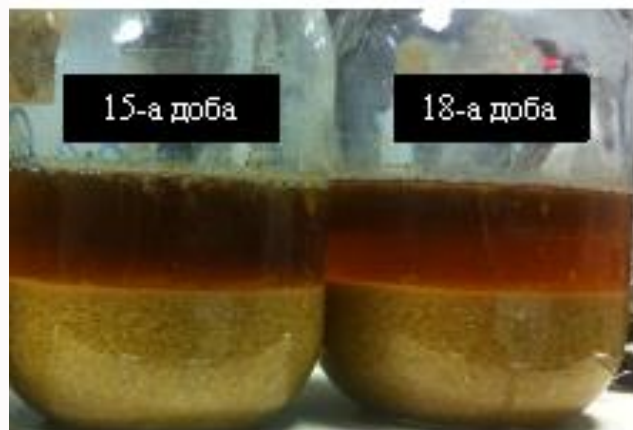
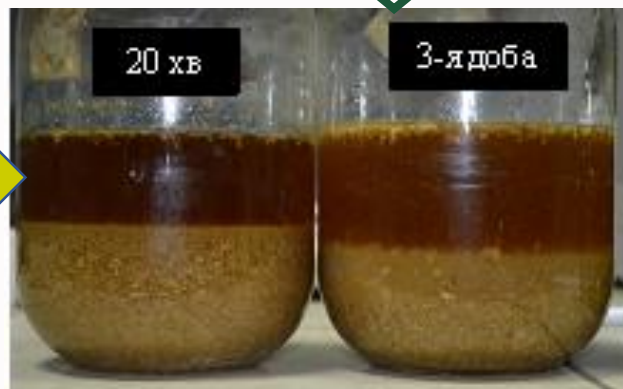
→ чим менший розмір частинок, тим швидше утворюється газ і тим більше біогазу можна отримати за певний проміжок часу

Порівняння змочуваності соломи та гранул

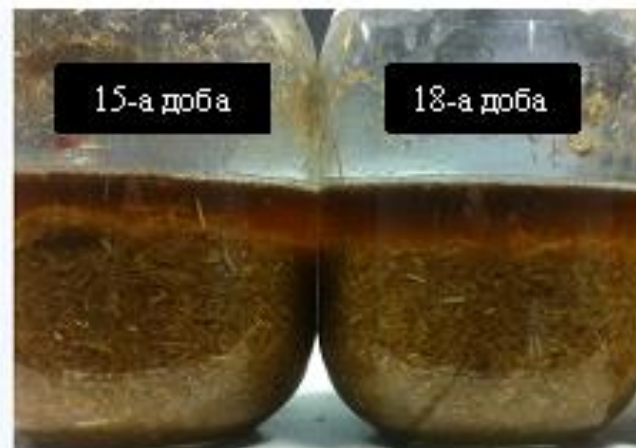
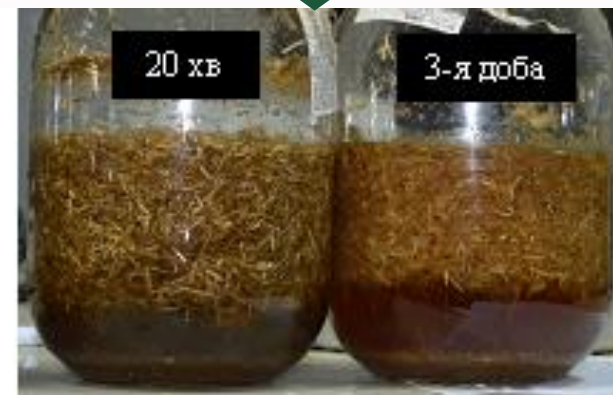
Гранула товарна,
5,5% по масі



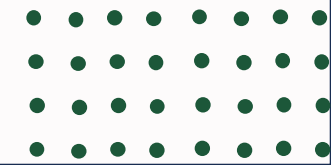
+ вода



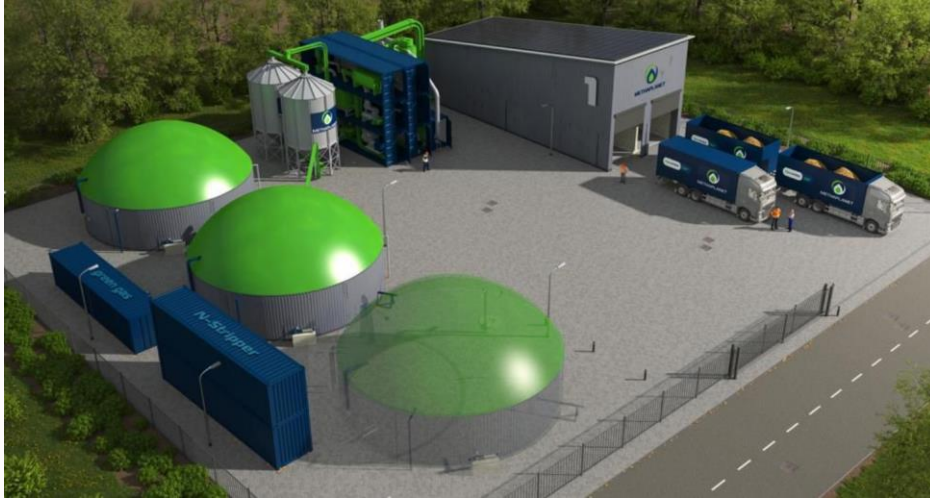
+ вода



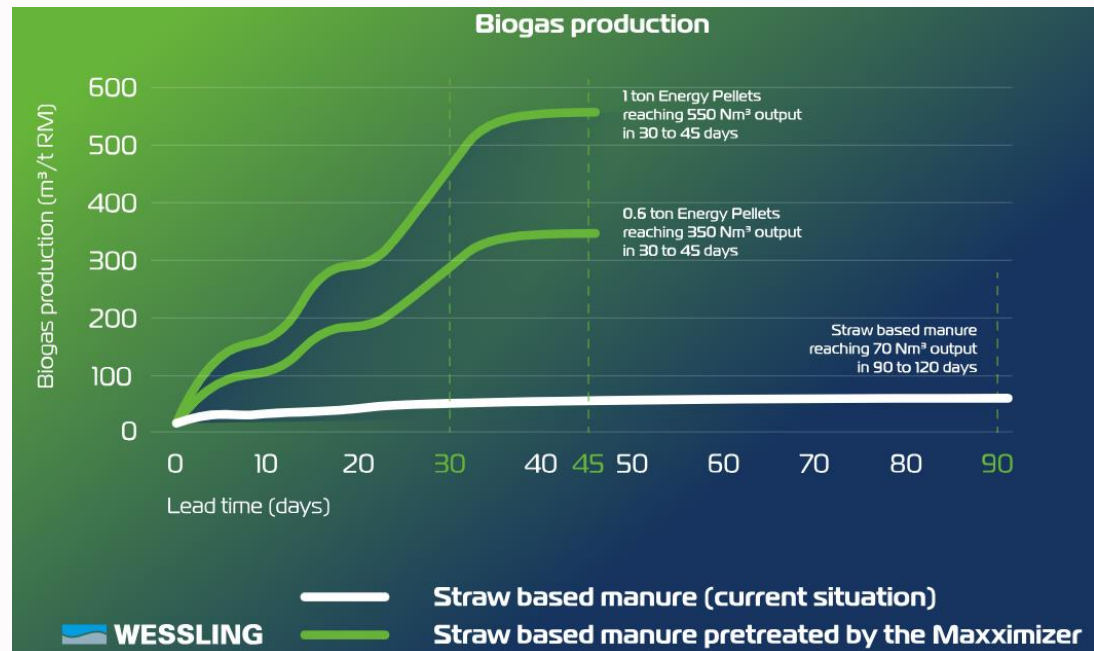
Солома подрібнена (до
гранулювання), 5,5% по
масі, найбільший лінійний
розмір 3 см



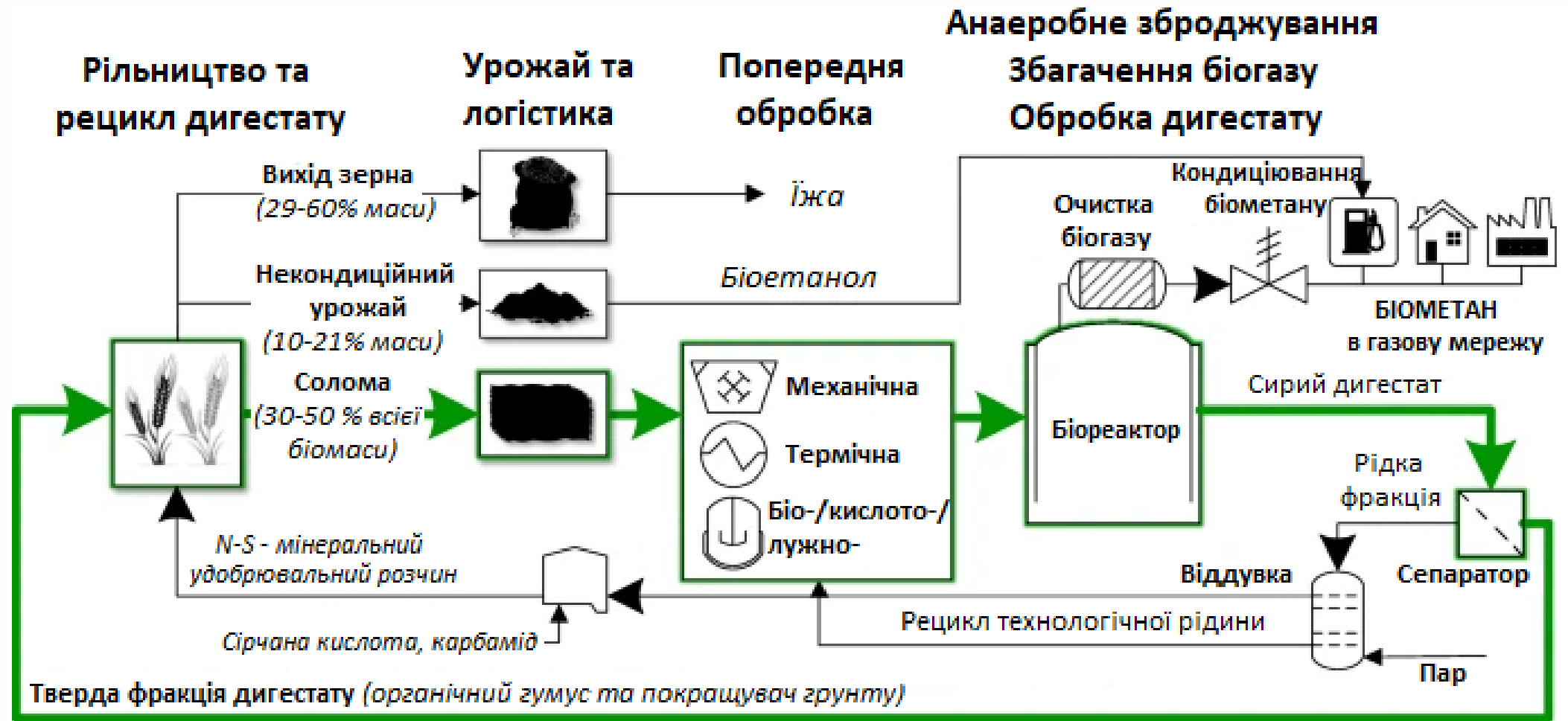
Енергетичні гранули для біогазу - технологія Maximizer



Фізичні показники	Розмірність	Лабораторні дані	
Суша речовина (CP)	% с.м.	92,1	
Суша органічна речовина 550°C (COP)	% с.м.	87,5	
COP / CP	%	95	
Біохімічний метановий потенціал BMP		Лабораторні дані	Практичні дані
Потенціал біогазу	м /т с.м.	544	630
Потенціал метану	м ³ CH ₄ /т с.м.	312	361
Метан (CH ₄)	%	57	57
Діоксид карбону (CO ₂)	%	43	43



Приклад схеми виробництва біометану на основі поживних решток (стебел/соломи)



* Джерело: відтворено на основі: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-020-00740-y#citeas>

Висновки

- Зберігання потребують переважно сезонні види сировини (жом, пожнивні рештки, силос)
- Раціональні підходи до зберігання сировини дозволяють зберігати потенціал виходу біогазу з неї та якість сировини для зброджування
- Попередньої підготовки потребують види сировини зі значним вмістом нерозчинних домішок (пісок, каміння, скло, метали, тощо)
- Попередньої підготовки потребують види сировини з ризиком шкідливого біологічного забруднення (патогени, грибки)
- Попередньої підготовки потребує лігно-целюозна сировина
- Попередня підготовка сировини до зброджування дозволяє збільшувати як швидкість виходу біогазу, так і величину виходу біогазу



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>

