

**Використання проміжних культур для
виробництва біогазу та біометану.
Регіональні аспекти і досвід України**

Тетяна Желєзна

Біоенергетична асоціація України
(UABIO), експерт

Сільськогосподарські культури



Основні культури займають поле протягом більшої частини вегетаційного періоду



Проміжні (покровні) культури (ПК) вирощуються в інтервалі часу, вільного від вирощування основних культур сівозміни



- ✓ За рахунок проміжних культур з однієї площі протягом року можна мати принаймні **два врожаї**. Це підвищує коефіцієнт використання сонячної радіації, внаслідок чого **продуктивність гектара ріллі зростає в 1,5-2 рази**.
- ✓ Ґрунт значно довше перебуває під покривом рослин, які синтезують **органічну масу**. Більше половини її залишається в ґрунті у вигляді післяжнивних-коренових решток, що активізують мікрофлору, розкладаються на легкодоступні поживні речовини, поліпшують агрофізичні властивості, відновлюють родючість ґрунту та підвищують урожайність сільськогосподарських культур

Проміжні культури в Директиві RED III

- Проміжні культури **виключені з поняття харчових та кормових культур** за умови, що їх використання **не викликає попиту на додаткові землі**.
- **Додаток IX, частина А** «Сировина для виробництва біогазу для транспорту та **передових** рідких біопалив": «**Проміжні культури**, такі як міжпосівні та покривні, що вирощуються на територіях, де через короткий вегетаційний період виробництво продовольчих і кормових культур обмежується одним урожаєм, і за умови, що їх використання **не викликає попиту на додаткові землі**, а також за умови **збереження вмісту органічної речовини в ґрунті**, і якщо вони використовуються для виробництва **рідкого біопалива для авіаційного сектора**».
- **Додаток IX, частина Б** («Сировина для виробництва рідких біопалив та біогазу для транспорту»): **проміжні культури** включені з таким же формулюванням, що у частині А, за виключенням того, що вони **не використовуються** для виробництва рідкого біопалива для авіаційного сектора.

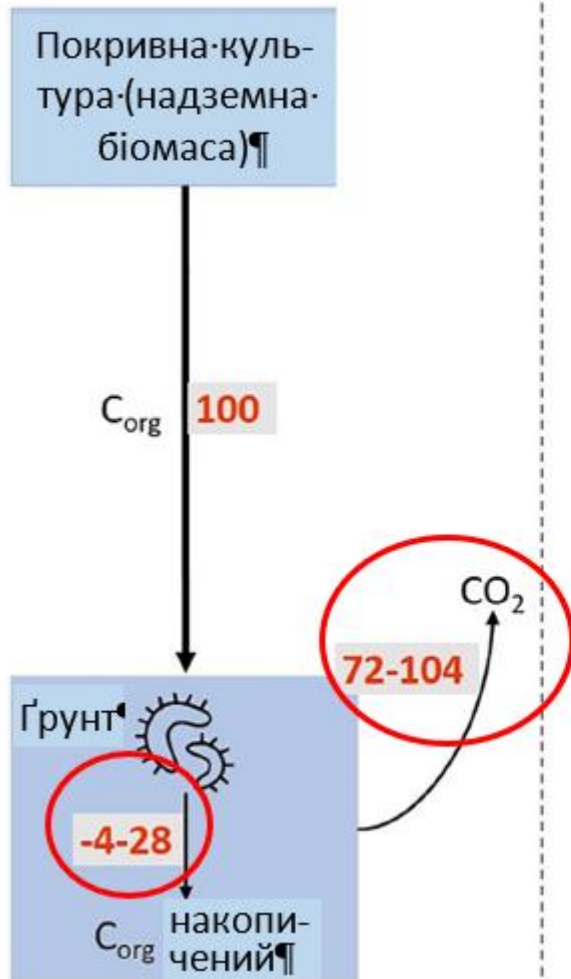


Вплив на ґрунт від використання проміжних культур для виробництва біогазу

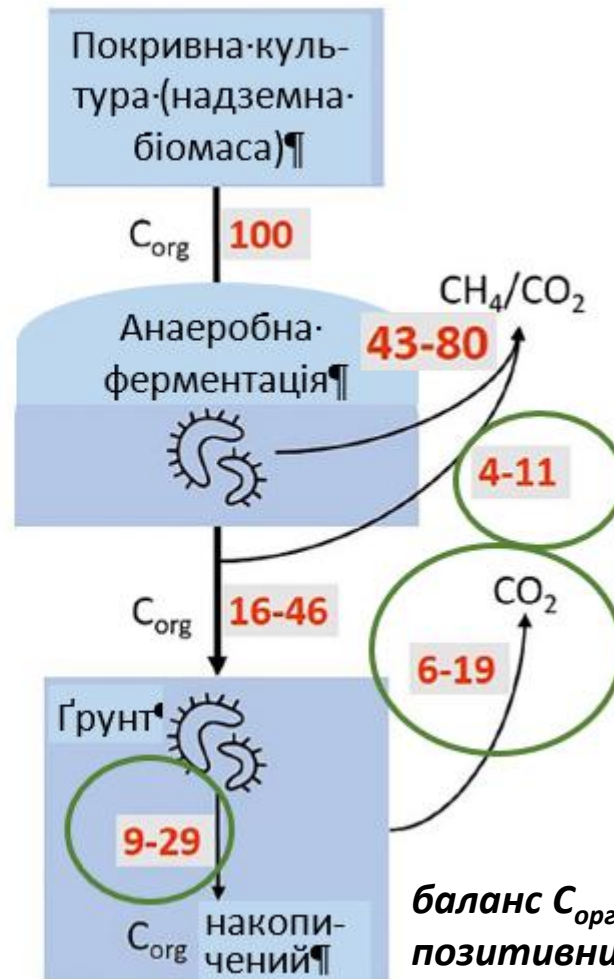
- ❑ Вуглецевий баланс від внесення в ґрунт надземної біомаси ПК та від повернення дигестату після її зброджування

Теоретичне дослідження французьких фахівців 2022 р.

<https://doi.org/10.1007/s13593-022-00790-8>



баланс C_{org}
від -4 до 28

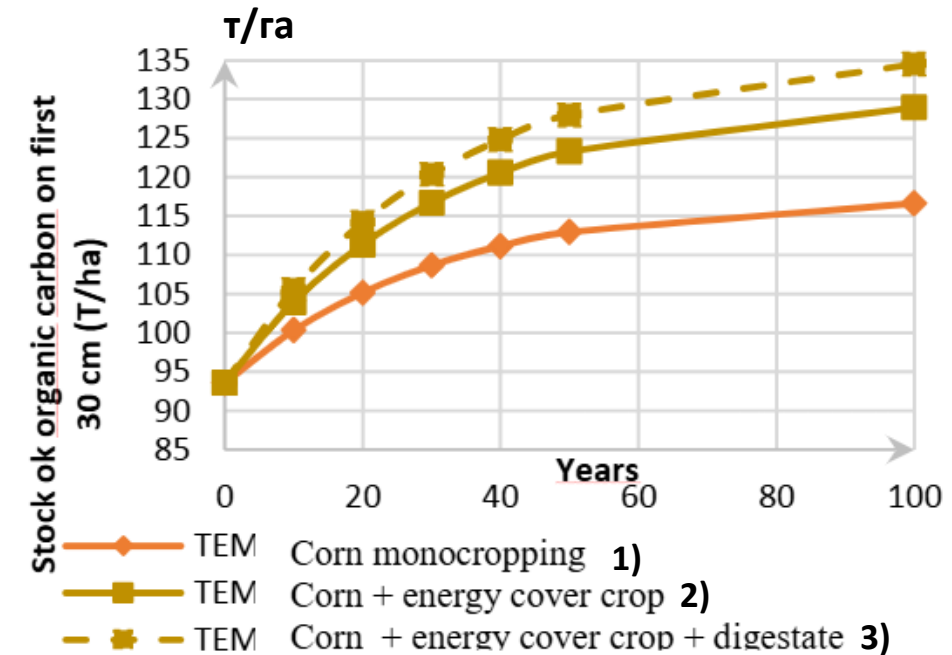


баланс C_{org}
позитивний: 9...29

- ❑ Моделювання вмісту C_{org} у ґрунті (30 см) за кількома сценаріями. Базується на даних експериментального дослідження французьких фахівців 2019 р.

дослідження французьких фахівців 2019 р.

<http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=16294>



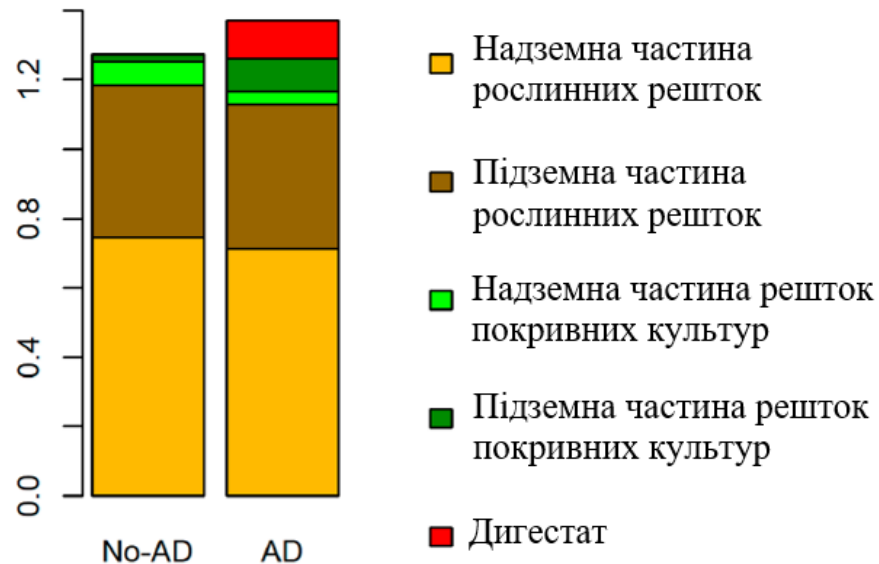
- 1) – кукурудза як монокультура
- 2) – кукурудза + покривна культура
- 3) – кукурудза + ПК + дигестат

Вплив на ґрунт від використання проміжних культур для виробництва біогазу (2)

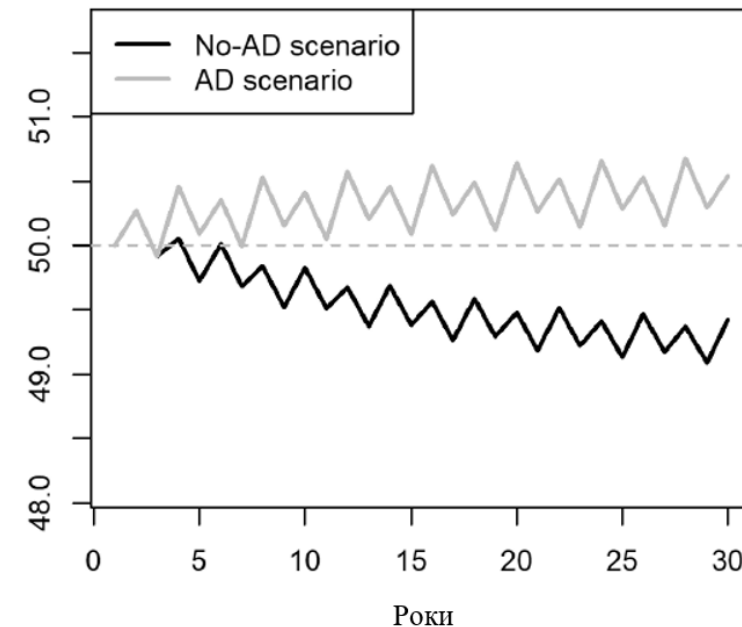
- ❑ **Польове дослідження та моделювання у Франції** (4 типи ґрунту, 2-5 сівозмін з ПК). Результати представлено для Паризького регіону: три сівозміни з ПК, врожайність ПК 2-10 т с.р./га.

https://www.researchgate.net/publication/365637796_Energy_cover_crops_for_biogas_production_increase_soil_organic_carbon_stocks_a_modeling_approach

Середній річний обсяг внеску гуміфікованого вуглецю у ґрунт, т С/га/рік



Моделювання динаміки запасу C_{org} у ґрунті (0-25 см), т С/га



- ❑ **Польове дослідження та моделювання в Австрії** (2010-2015 рр., 5 варіантів ПК, врожайність 2,5 т с.р./га): **надходження С гумусу** в ґрунт – **112 кг/га** при зброджуванні ПК та поверненні дигестату на поле; **80 кг/га** – при прикопуванні ПК у ґрунт як зелене добриво. <https://publications.waset.org/10005395/biogas-from-cover-crops-and-field-residues-effects-on-soil-water-climate-and-ecological-footprint>

Модель BiogasDoneRight™ (Італія)

Biogasdoneright™ – модель сталого отримання продуктів харчування, кормів і біогазу, розроблена в Італії (2017 р.): **основна** культура вирощується на продукти харчування або корми, тоді як **проміжна** культура може використовуватися для виробництва **біогазу/біометану**. Дигестат з БГУ застосовується як органічне добриво. Biogasdoneright™ використовується на більш ніж 600 фермерських господарствах в Італії, а також у Франції.

Приклад впровадження Biogasdoneright™ на фермерському господарстві на півночі Італії

До:

Земля 320 га: силос кукурудзи як монокультури для біогазової установки (БГУ) 1 МВт_е (270 га) і як корм для корів (30 га); люцерна як корм для корів (20 га)

Купівля силосу кукурудзи для БГУ (еквівалент 70 га)

BiogasDoneRight

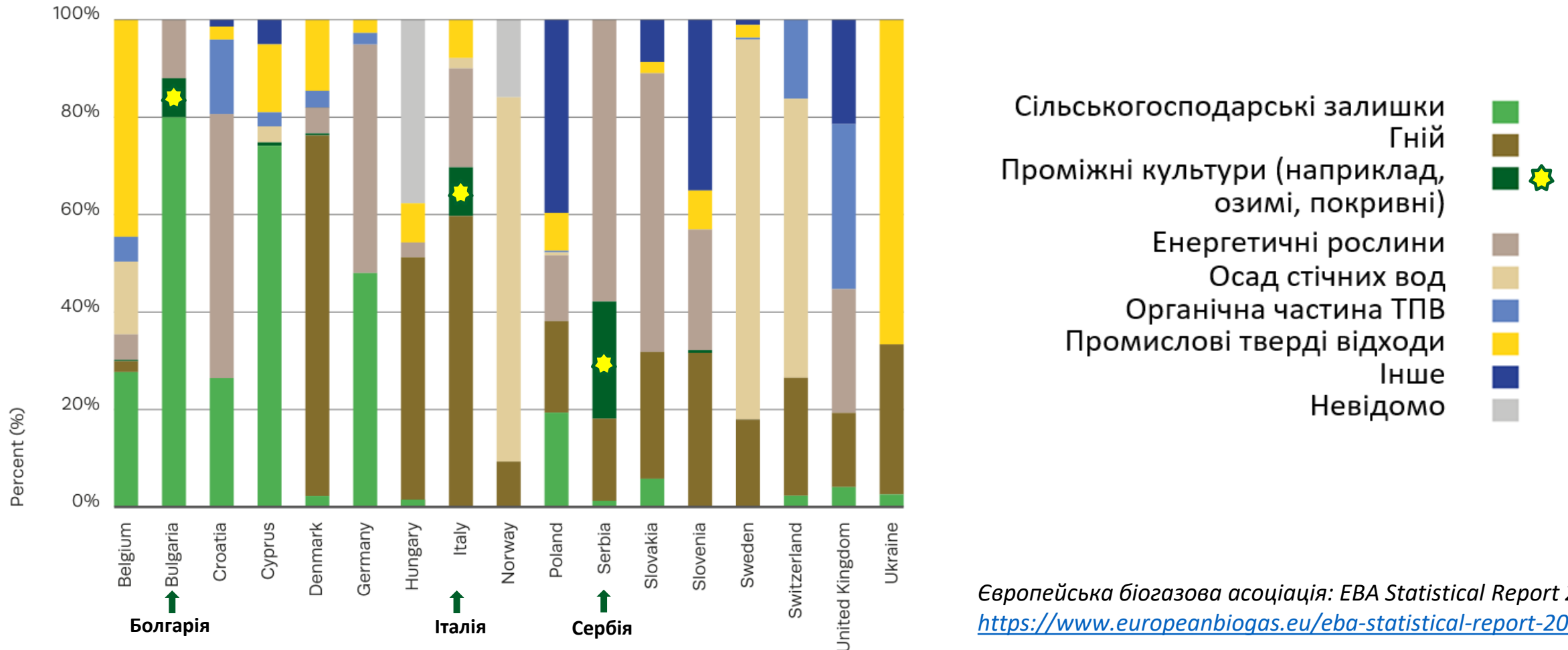
Після:

Земля 320 га: ділянки 110, 100*, 60, 30 га з вирощуванням основних і проміжних культур; 20 га з люцерною (корм для корів). *Єдине виключення з моделі: силос сорго (основна культура) на 10 га – сировина для БГУ.

Повне забезпечення БГУ **власною сировиною**.

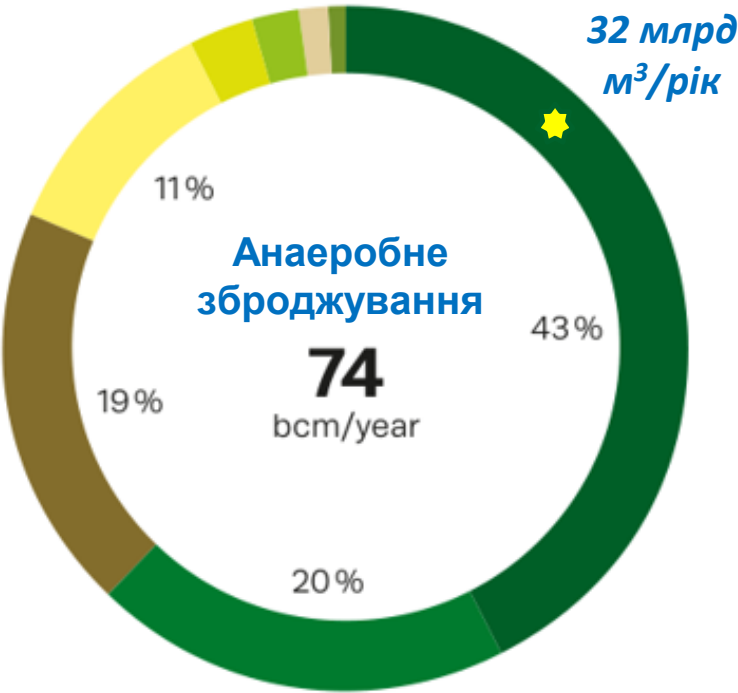
Дигестат повертається на поле.
Не купуються мінеральні добрива.

Структура сировини для виробництва біогазу у вибраних країнах Європи, 2023 р.



Європейська біогазова асоціація: EBA Statistical Report 2024
<https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2024/>

Структура потенціалу виробництва біометану в Європі, 2040 р.



Потенціал в Європі (ЄС), млрд м³/рік

2030: 44 (40)

2040: 111 (101), у т.ч. 32 з ПК

2050: 165 (150)

Потенціал 2040 р.:

67% – анаеробне зброджування,
33% – термічна газифікація біомаси

☀ Проміжні культури
С/г залишки
Гній тварин
Промислові стічні води
Луки
Біовідходи
Осад стічних вод
Трави на узбіччі

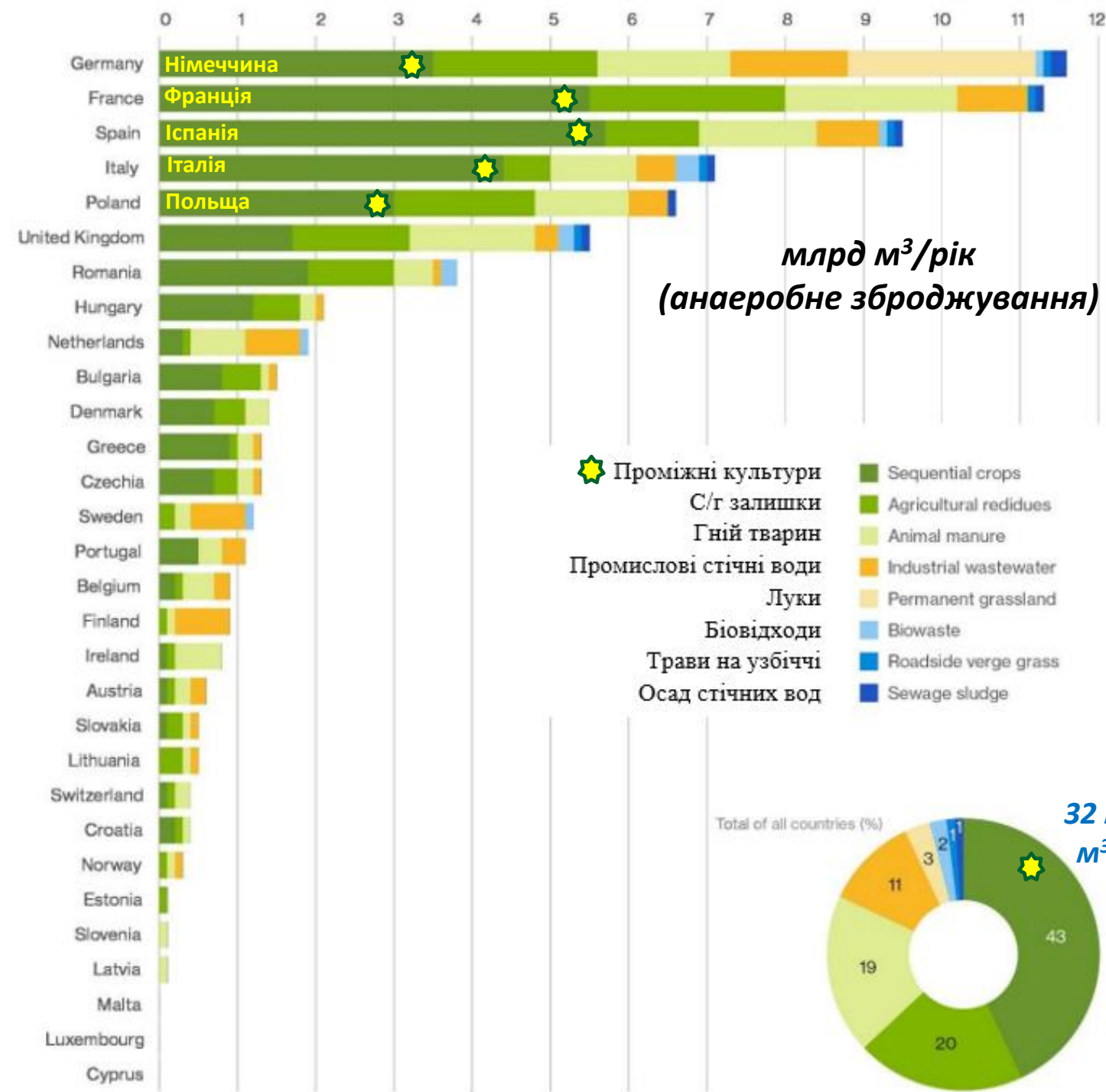
Sequential crops
Agricultural residues
Animal manure
Industrial wastewater
Permanent grassland
Biowaste
Sewage sludge
Roadside verge grass

Деревні відходи
ТПВ
Лісові залишки
ДДЛ
БМ від обрізки дерев

Wood waste
Municipal solid waste
Forestry residues
Landscape care wood
Prunings

БМ – біомаса, ДДЛ – деревина від догляду за ландшафтом

Європейська біогазова асоціація: EBA Statistical Report 2024
<https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2024/>



Потенціал виробництва біометану за видами сировини в країнах Європи, 2040 р.

Очікується, що **лідерами** виробництва біометану з проміжних/покривних культур у 2040 р. будуть (млрд м³/рік) **Іспанія (5,7), Франція (5,5), Італія (4,4), Німеччина (3,5), Польща (3,0).**

Biogases towards 2040 and beyond. Guidehouse, EBA, 2024.
<https://guidehouse.com/-/media/new-library/services/sustainability/documents/2024/biogases-towards-2040-and-beyond.ashx>

Потенціал виробництва біометану з проміжних культур в Європі

ДОСЛІДЖЕННЯ / ОЦІНКА	РЕЗУЛЬТАТ, млрд м ³ /рік	КОМЕНТАР
Консорціум Gas for Climate* (2022 р.) https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/07/GfC_national-biomethane-potentials_070722.pdf	9 (2030 р.) 21% від загального ЄС-27	* Група європейських газотранспортних компаній та асоціацій відновлюваної газової промисловості, яка виступає за інтеграцію відновлюваних та низьковуглецевих газів в енергетичну систему.
Європейська біогазова асоціація (2024 р.) https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2024/	32 (2040 р.) 43% від загального; ЄС-27+	Лідери (млрд м ³ /рік): Іспанія (5,7), Франція (5,5), Італія (4,4), Німеччина (3,5), Польща (3,0).
Гентський університет, Бельгія (2021 р.) https://doi.org/10.3390/Agronomy11112102	46 (2050 р.) ЄС-27+	Консервативний сценарій (20% посівної площі) на основі Biogasdoneright™; 3 типи клімату; ярі, озимі ПК. Найбільший потенціал для країн континентального клімату: Німеччина, Люксембург, Данія, Польща, Австрія, Швейцарія, Чехія, Словаччина, Угорщина, Румунія, Болгарія, Балкани.
Експерти з США, Італії, Франції, Аргентини, Об'єднаного Королівства (2020 р.) https://doi.org/10.1002/bbb.2134	40 (2050 р.) ЄС-28	Консервативний сценарій на основі Biogasdoneright™.
Консорціум Gas for Climate (2022 р.)	46 (2050 р.) 47% від загального; ЄС-27	Оцінка використовує основні підходи Гентського університету (2021 р.).
Робоча група 3.1 платформи «Промислове партнерства з біометану» (BIP, 2025 р.) https://bip-europe.eu/wp-content/uploads/2025/04/BIP-Task-Force-3.1_Biomethane-Potential-Novel-Cropping-Systems_April2025.pdf	44 (2050 р.) ЄС-27	Реалістичний сценарій; розвинене підходи Гентського університету. Новітній підхід до моделювання сівозмін; 5 корегувальних коефіцієнтів враховують аспекти сталості. Лідери (млрд м ³ /рік): Франція (9,5), Італія (6,4), Польща (5,4), Німеччина (5,1), Іспанія (3,7).

	Максимальний потенціал біометану від нових сівозмін (млрд м³)	КОРИГУВАЛЬНІ КОЕФІЦІЄНТИ						Реальний потенціал виробництва біометану з нових сівозмін (млрд м³)
		їжа проти палива	Конкуренція за біомасу ¹⁾	Сумісність з рільництвом ²⁾	Готовність ріллі ³⁾	Вплив зміни клімату ⁴⁾	Невизначеність	
Австрія	0,2	100%	98%	89%	78%	Не визначено	80%	0,1
Бельгія	0,9	95%	98%	71%	78%		80%	0,4
Болгарія	2,8	100%	98%	94%	78%		80%	1,6
Хорватія	1,1	95%	98%	92%	78%		80%	0,6
Кіпр	0,2	100%	98%	78%	78%		80%	0,1
Чехія	2,2	100%	98%	92%	78%		80%	1,2
Данія	1,9	95%	98%	86%	78%		80%	0,9
Естонія	0,1	90%	98%	90%	78%		80%	0,0
Фінляндія	0,7	90%	98%	84%	78%		80%	0,3
Франція	18,4	95%	98%	89%	78%		80%	9,5
Німеччина	9,5	100%	98%	88%	78%		80%	5,1
Греція	2,8	100%	98%	84%	78%		80%	1,4
Угорщина	3,7	100%	98%	91%	78%		80%	2,1
Ірландія	0,2	90%	98%	95%	78%		80%	0,1
Італія	12,7	100%	98%	83%	78%		80%	6,4
Латвія	0,2	90%	98%	90%	78%		80%	0,1
Литва	0,3	90%	98%	89%	78%		80%	0,1
Люксембург	0,1	100%	98%	96%	78%		80%	0,1
Мальта	0,0	100%	98%	68%	78%		80%	0,0
Нідерланди	0,8	90%	98%	59%	78%		80%	0,3
Польща	10,0	100%	98%	88%	78%		80%	5,4
Португалія	0,6	95%	98%	70%	78%		80%	0,2
Румунія	6,2	100%	98%	95%	78%		80%	3,6
Словаччина	0,1	100%	98%	92%	78%		80%	0,1
Словенія	0,1	100%	98%	94%	78%		80%	0,1
Іспанія	10,4	95%	98%	61%	78%		80%	3,7
Швеція	0,8	90%	98%	89%	78%		80%	0,4
ВСЬОГО ЄС-27	87,0							44,0

Потенціал виробництва біометану з проміжних культур у сівозмінах в ЄС-27

Оцінка Робочої групи 3.1 платформи «Промислове партнерства з біометану»

- 1) 2% ріллі під вирощування культур на біоетанол/біодизель. Не враховано сталє авіаційне паливо.
- 2) Не підходять землі, зайняти багаторічними с/г насадженнями (сади, виноградник, плантації оливкових та інших дерев).
- 3) Поки виключено землі в поганому стані, головним чином, з низьким рівнем органічного вуглецю ґрунту. З покращенням стану ґрунтів зростатиме й потенціал виробництва біометану в ЄС.
- 4) Важко оцінити кількісно. Винесено за рамки цього дослідження.

Є опис агро-кліматичних умов України (східно-континентальний клімат)

Biomethane Industrial Partnership (квітень 2025 р.)
https://bip-europe.eu/wp-content/uploads/2025/04/BIP-Task-Force-3.1_Biomethane-Potential-Novel-Cropping-Systems_April2025.pdf

Оцінка потенціалу виробництва біометану з проміжних культур в Україні

ПОКАЗНИКИ	ЗНАЧЕННЯ	КОМЕНТАР
Посівна площа, млн га (I)	28,4	Дані 2021 р.
Частка посівної площі під вирощування проміжних культур (II), %	20	Прийнято з урахуванням даних дослідження бельгійських фахівців з Гентського університету (2021 р.)*
Середня врожайність проміжних культур, т с.р./га/рік (III)	5	
Вихід біогазу з проміжних культур, м³/т с.р. (IV)	570	
Концентрація метану в біогазі (V), %	57	Відповідає показнику з оцінки потенціалу біометану консорціуму компаній Gas for Climate (2022)**
Потенціал отримання біометану з проміжних культур, млрд м³/рік (I × II/100 × III × IV × V/100)	9,23	Оцінка згідно консервативного підходу. Збільшення вихідних показників (площа під проміжними культурами, їх врожайність дасть більш високий результат оцінки потенціалу.

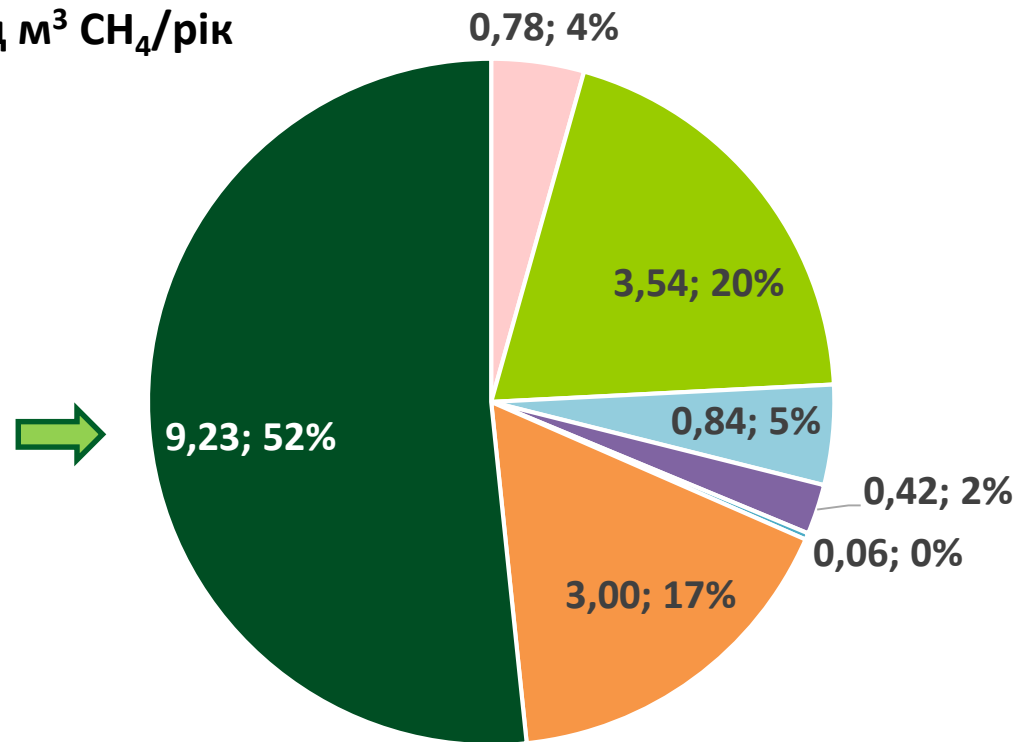
с.р. – суха речовина

* <https://doi.org/10.3390/Agronomy11112102>

** https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2023/12/Guidehouse_GfC_report_design_final_v3.pdf

Структура економічного потенціалу виробництва біометану в Україні (2023 р., попередня оцінка)

млрд м³ CH₄/рік



- Відходи тваринницьких підприємств (гній)
- Післяжнивні рештки с/г культур
- Побічна продукція харчової переробної промисловості
- Тверді побутові відходи
- Осад стічних вод (комунальні очисні споруди)
- Енергетичні рослини (силос кукурудзи з 1 млн га)
- Проміжні культури *

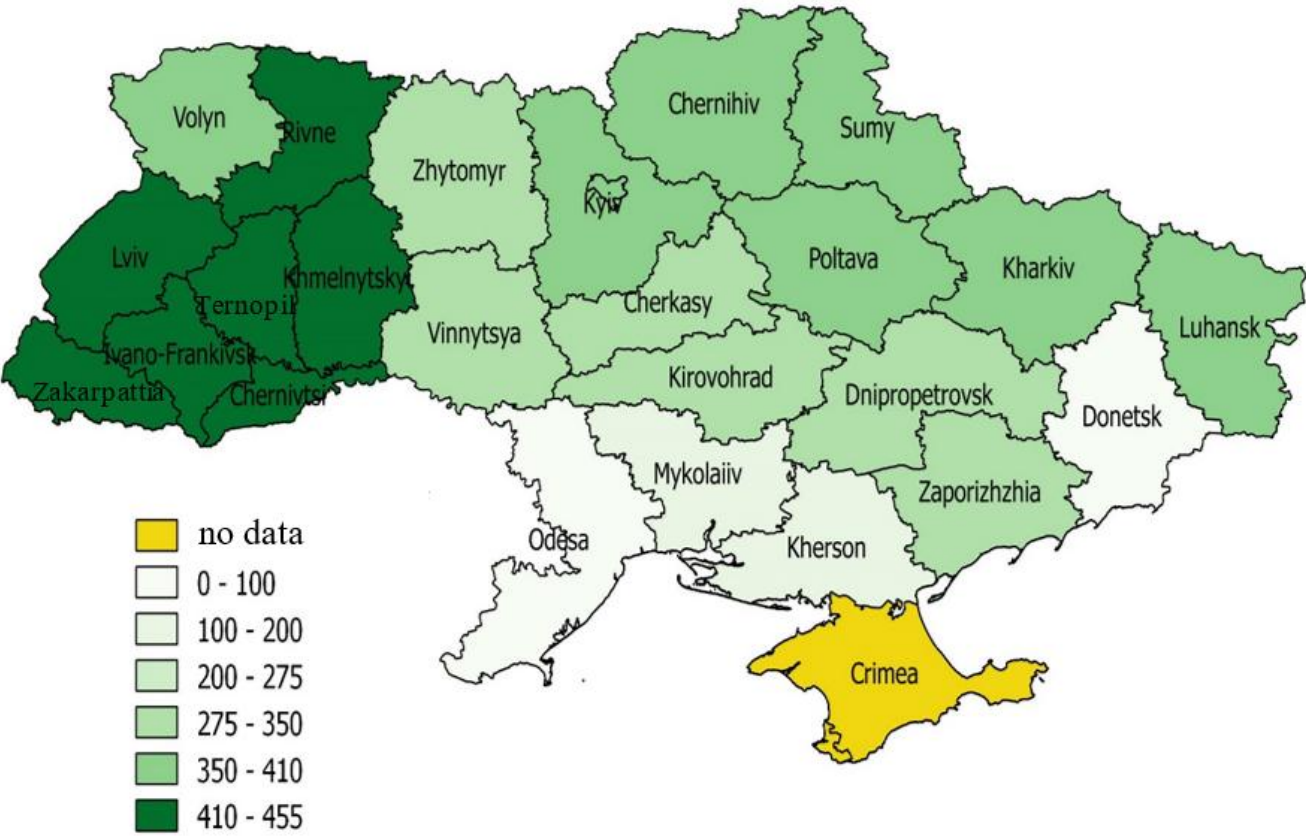
Всього: 17,9 млрд м³ CH₄/рік
(тільки анаеробне зброджування)



* 25% посівної площі (5,7 млн га) за даними 2023 р.
Посівна площа, млн га: 2023 р. – 22,8; 2024 р. – 23,2;
2025 р. – остаточних даних немає,
по підприємствам ріст на 3%.

Регіональний потенціал виробництва біометану з проміжних культур

Питомий потенціал, м³ CH₄/га посівних площ сільськогосподарських культур регіону



Вищий **питомий** вихід біометану можна отримати в областях, де випадає більша кількість **опадів**: Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька та Чернівецька

Області	Площі для вирощування проміжних культур, тис. га		Орієнтовна врожайність проміжних культур, т с.р./га		Об'єм біометану, млн м ³ CH ₄ /рік
	озимі	після-жнивні	озимі	після-жнивні	
Вінницька	165	165	7,0	3,5	564
Волинська	61	61	8,0	3,5	229
Дніпропетровська	197	197	7,0	3,5	673
Донецька	52	—	5,2	—	88
Житомирська	115	—	6,0	—	225
Закарпатська	17	17	9,0	4,5	76
Запорізька	171	171	8,0	3,5	640
Ів.-Франківська	38	38	9,0	5,0	174
Київська	119	119	8,0	3,5	445
Кіровоградська	171	171	7,0	3,5	582
Луганська	86	86	8,0	3,5	320
Львівська	71	71	9,0	5,0	321
Миколаївська	160	—	6,0	—	312
Одеська	92	—	5,2	—	156
Полтавська	173	173	8,0	3,5	647
Рівненська	62	62	9,0	5,0	282
Сумська	121	121	9,0	3,5	491
Тернопільська	84	84	9,0	5,0	382
Харківська	182	182	8,0	3,5	681
Херсонська	148	—	6,0	—	288
Хмельницька	121	121	9,0	5,0	548
Черкаська	122	122	7,0	3,5	415
Чернівецька	31	31	9,0	5,0	140
Чернігівська	135	135	9,0	3,5	550
ВСЬОГО					9229

Досвід і можливості вирощування проміжних (покровних) культур в Україні

Кількість опадів (мм) за теплий період (квітень-жовтень), що розподіляється аналогічно річній кількості



- ❑ В Україні напрацьовано значний досвід вирощування ПК культур для **кормовиробництва**, який можна використати для біоенергетики.
- ❑ ТОВ «Суффле Агро Україна» випустила **довідник «Покровні культури»** (20 культур). https://soufflet-agro.com.ua/media/filer_public/16/53/16534540-9186-4839-a09a-06261cc1c53b/sa_cover_crop_guide_ua_web.pdf
- ❑ **Приклади ПК, що збираються в поточному році:** ярі зернові (після ранніх попередників); кукурудза (ранньостиглі гібриди за сприятливих умов); сорго, вика, амарант.
- ❑ **Приклади озимих ПК:** зелене жито, тритикале, озима пшениця і озимий ячмінь (на ранніх стадіях розвитку).



➔ **На більшій частині території України основним лімітуючим фактором врожайності ПК є волога**

Досвід і можливості вирощування проміжних (покровних) культур в Україні (2)

Екологічно обґрунтоване районування кормових культур для використання в проміжних посівах різних ґрунтово-кліматичних зон України

Культура	Лісостеп	Степ	Полісся і західні райони України	Нечорноземна зона
Жито кормове	4	4	4	4
Пшениця кормова	4	4	4	4
Кукурудза	1; 2	1; 2	1; 2	1
Суданська трава	1; 3	1; 2; 3	1; 0	1; 0
Ріпак				
озимий, свиріпа	2; 4	4	1; 2; 4	1; 2; 4
ярий	1; 0; 2	2; 0	1; 2	1; 2
Сорго	1; 0	1	1; 2	1; 2
Соя	1	1	1	—
Вика				
яра	1	—	1; 2; 0	1; 0
озима паннонська	4	4	4	4
Горох	2	2	1; 2	1; 2
Люпин	—	—	1; 2	1
Соняшник	1; 2	1; 2	1; 2	1
Овес	2	2	1; 2	1; 2
Редька олійна	1; 2	1; 2	1; 2	1; 2
Ячмінь ярий	2; 0	2; 0	2; 0	2; 0
Однорічна конюшина	3	3	3	—

Види ПК: 1 – післяукісні; 2 – післяжнивні; 3 – підсівні; 4 – озимі проміжні.

Джерело: Зінченко О. І. Кормовиробництво: Навчальне видання, 2025.

https://www.isgkr.com.ua/images/sampled/oc/doc/literatura/kormovirobnictvo_zinchenko_o_i.pdf

Приклад опису рослини з довідника

«Покровні культури»

ТОВ «Суффле Агро Україна»



Медонос

ВИКА ЗВИЧАЙНА

Vicia sativa, Fabaceae

Вика – дуже добра кормова та покровна культура, що продукує багато біомаси і дає гарний ефект закриття ґрунту. Зазвичай вона повільно розвивається на початкових фазах розвитку, але може бути дуже агресивною на пізніх. Вика найбільш ефективна у поєднанні з прямостоячими рослинами. Вона є сильним фіксатором азоту і сприяє розвитку інших культур у суміші.

Характеристики покровної культури

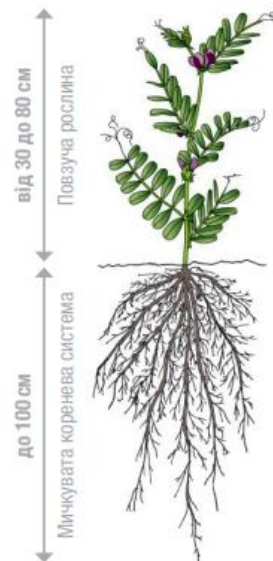
- Чутливість до низьких температур
- Середня чутливість до нестачі вологи
- +N Виробник азоту
- Можна використовувати як корм
- 60–80 днів
- Стойка до високих температур
- Висока конкурентоспроможність

Основні характеристики

Маса 1000 зерен 30–75 г Густота посіву 60–100 кг/га Глибина посіву 2–5 см

Як культура проявляється в сумішах?

Дуже добрий результат. Вона заповнює прогалини і може піднятися до висоти найвищої рослини у суміші. Ідеальна для поєднання з великою кількістю культур.



від 30 до 80 см

Повзуча рослина

до 100 см

Мичкувата коренева система

https://soufflet-agro.com.ua/media/filer_public/16/53/16534540-9186-4839-a09a-06261cc1c53b/sa_cover_crop_guide_ua_web.pdf

Приклад впровадження проміжних культур у існуючу сівозміну

Вирощування 2-х видів ПК між озимим ріпаком та кукурудзою на 2000 га у Лісостеповій зоні

- ✓ **Післяжнивна** культура (наприклад, вико-вівсяну суміш) сіється у липні на частині площі 1000 га після озимого ріпаку, який збирається у червні-липні.
- ✓ **Озима** ПК (наприклад, гібридне жито) сіється у серпні на решті площі 1000 га після озимого ріпаку. **Післяжнивна** ПК збирається у жовтні-листопаді того ж року, а **озима** ПК – у травні наступного до початку сівби кукурудзи.
- ✓ Вибір ПК обумовлений їх здатністю швидкого формування зеленої маси з липня до листопада для **післяжнивних** ПК та з серпня до травня для **озимих** ПК.

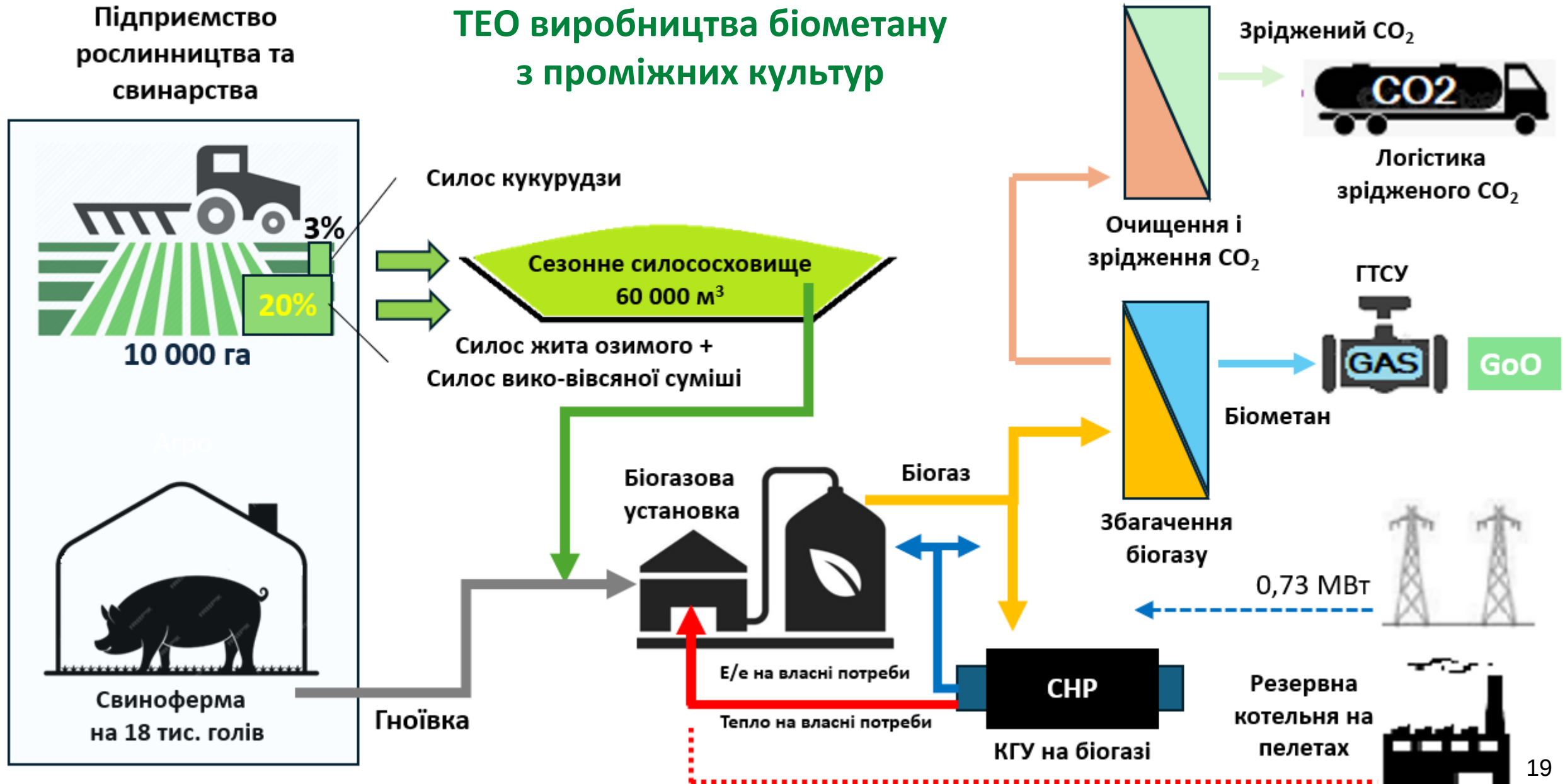
1 рік (місяці)												2 рік (місяці)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Існуюча практика																							
Озимий ріпак							Пар									Кукурудза							
Нова практика (післяжнивна культура)																							
Озимий ріпак						Післяжнивна культура					Пар					Кукурудза							
Нова практика (озима проміжна культура)																							
Озимий ріпак						Озима проміжна культура										Кукурудза							

Оцінка питомих витрат на вирощування і збирання проміжних культур

I – озиме жито, II – вико-вівсяна суміш

Стаття витрат	Проміжні культури	Витрати, євро/т	Частка, %	Примітка
Оплата праці	I	0,26	2,0%	4 євро/год або 32 євро/зміна (8 годин), 0,22 нормозміни/га
	II	0,35	2,0%	4 євро/год або 32 євро/зміна (8 годин), 0,15 нормозміни/га
Витрати на паливо і мастильні матеріали	I	3,26	24,3%	Дизельне паливо (ДП): 74,9 л/га. Мастильні матеріали: 15% від вартості ДП
	II	4,52	25,2%	Дизельне паливо: 52 л/га. Мастильні матеріали: 15% від вартості ДП
Витрати на технічне обслуговування і ремонт	I	1,75	13,0%	5% від вартості техніки
	II	2,02	11,3%	5% від вартості техніки
Амортизація техніки	I	4,36	32,6%	8 років
	II	5,05	28,2%	8 років
Витрати на насіння, засоби захисту рослин	I	3,75	28,0%	Насіння: 2 посівні одиниці/га. Засоби захисту рослин
	II	6,00	33,4%	Насіння: 2 млн од./га вики та 1,5 млн од./га вівса
ВСЬОГО	I	13,38 (44,7 євро/т с.р.)	питомі витрати на вирощування і збирання зеленої маси озимого жита з площі 1000 га за врожайності 26,7 т/га з доставкою до силососховища	
	II	17,95 (60 євро/т с.р.)	питомі витрати на вирощування і збирання зеленої маси вики та вівса з площі 1000 га за врожайності 13,3 т/га з доставкою до силососховища	

Концептуальна схема проекту для виконання ТЕО виробництва біометану з проміжних культур



Розрахункові показники виходу біогазу та складу сировини

ПОКАЗНИК	РОЗМІРНІСТЬ	СУМІШ, ВСЬОГО	СИРОВИНА:			
			Силос жита озимого	Гноївка свиней	Силос вико-вівсяної суміші (30%/70%)	Силос кукурудзи
Прийнятний біохімічний потенціал виходу метану	нм ³ CH ₄ /т СОР*	328,6	340,0	360,0	340,0	350,0
	нм ³ CH ₄ /т	114,6	93,8	12,2	93,8	113,9
Біогаз	нм ³ /т СОР	581,3	618,2	553,8	618,2	636,4
Ефективність	%	95,0	95	95	95	95
Виробництво CH ₄	нм ³ CH ₄ /добу	16 206	6 122	2 867	3 061	4 155
	нм ³ CH ₄ /рік	5 915 203	2 234 673	1 046 520	1 117 292	1 516 718
Виробництво біогазу	нм ³ /добу	28 664	11 132	4 411	5 566	7 555
	нм ³ /рік	10 462 181	4 063 042	1 610 031	2 031 440	2 757 669
Виробництво CO ₂	нм ³ CO ₂ /добу	12 171	4 898	1 500	2 449	3 324
% CH ₄	%	56,5	55	65	55	55
% CO ₂	%	42,5	44,0	34,0	44,0	44,0
Вміст азоту загального	кг N/т	3,7	5,4	2,8	6,2	4,5
C : N**	-	16,6	25,6	5,7	21,6	34,4

* СОР – суха органічна речовина. ** Рекомендоване значення для процесу бродіння 15...30.

Оцінка величини карбонового сліду біометану

Складова оцінки викидів	Сумарні викиди для кінцевого продукту за видами сировини, гCO _{2-екв} /МДж кінцевого продукту (біометан)			
	Силос зеленої маси жита озимого	Силос вико-вівсяної суміші	Вологий гній	Силос кукурудзи
Викиди при видобутку та вирощуванні [<i>eec,n+etd,n+el,n-esca,n</i>]	7,63	10,45	0,00	18,10
Кредити для гною	0,00	0,00	-147,50	0,00
Застосування бонусу eВ (відновлення деградованих земель), г CO _{2екв} /МДж	0,00	0,00	0,00	0,00
Викиди при виробництві (<i>ep</i>)	17,76	17,76	17,76	17,76
Викиди при транспортуванні та розподіленні готового продукту (<i>etd, product</i>)	4,60	4,60	4,60	4,60
Викиди від кінцевого використання (<i>eu</i>)	0,36	0,36	0,36	0,36
Зниження викидів від уловлення і заміщення CO ₂ (<i>eccr</i>)	-34,66	-34,66	-34,66	-34,66
Сумарні викиди (E) для всього кінцевого продукту (БІОМЕТАН)	-4,32	-1,49	-159,44	6,15
Потенціал скорочення викидів ПГ для кінцевого продукту, %	104,59%	101,59%	269,62%	93,45%

- Всі види сировини забезпечують потрібний рівень зниження викидів ПГ в 65% для транспортних палив.
- Усереднені сумарні викиди (E) для всього кінцевого продукту (БІОМЕТАН): **-13,0 г CO_{2-екв}/МДж.**

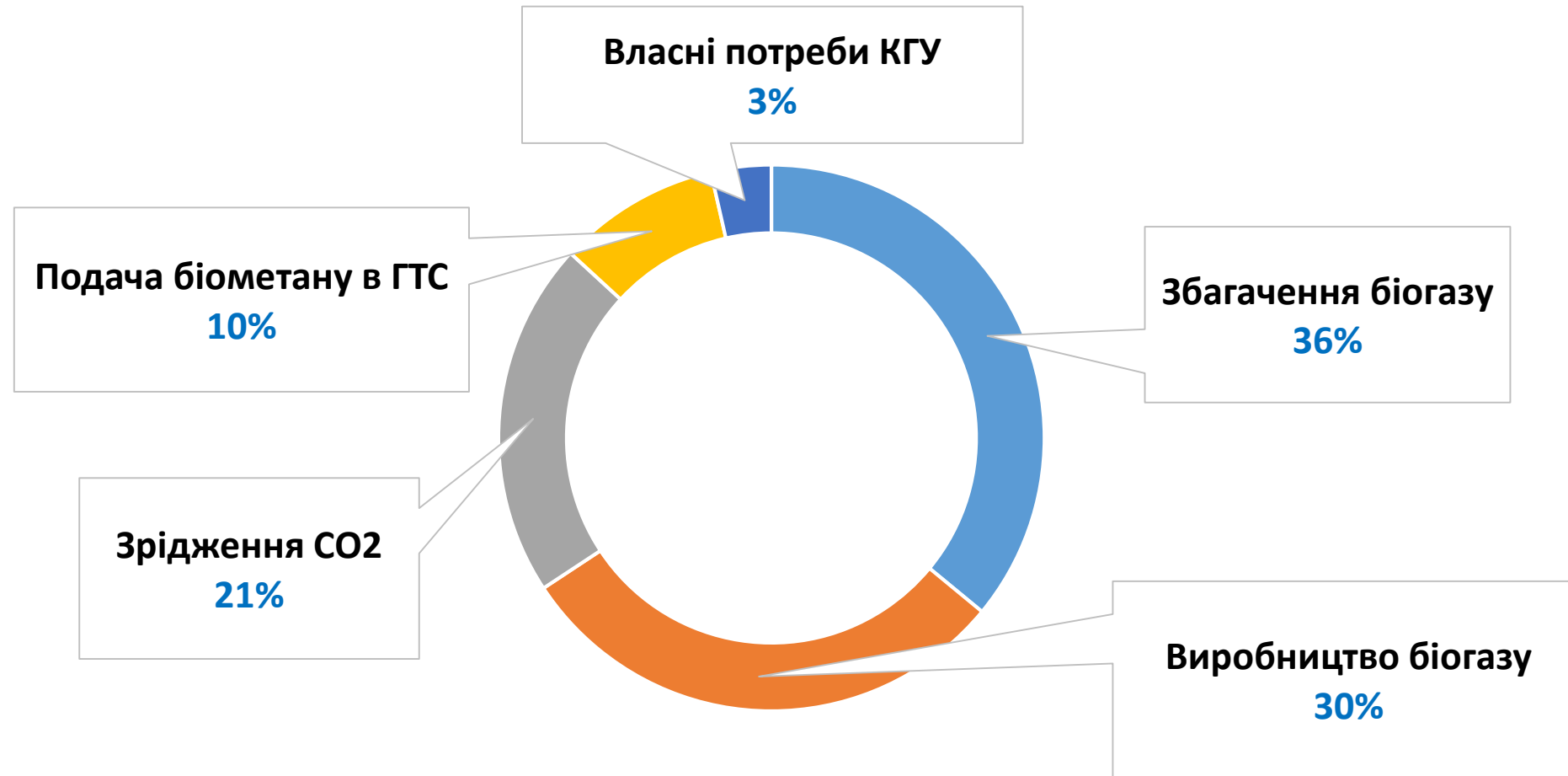
Сировина і вихід метану

Вид сировини	Споживання сировини	Питомий вихід CH ₄	% CH ₄ в біогазі	Вихід CH ₄
	т/рік	нм ³ CH ₄ /т	% об.	нм ³ CH ₄ /рік
Гноївка свиней (СР 4%)	90 000	12	65%	1 046 520
Силос жита озимого (СР 30%)	25 067	89	55%	2 234 673
Силос вико-вівсяної суміші (СР 30%)	12 533	89	55%	1 117 292
Силос кукурудзи (СР 35%)	14 014	108	55%	1 516 718
ВСЬОГО	141 614	-	57%	5 915 203
в т.ч. на збагачення →				4 398 485

Виробничі показники проєкту

Показник	Розмірність	Значення
Біогаз сирий, в т.ч.:	нм ³ /рік	10 462 181
біогаз на власні потреби	нм ³ /рік	2 757 669
біогаз на збагачення	нм ³ /рік	7 704 512
Біометан (98% CH ₄)	нм ³ /рік	4 461 320
	МВт·год/рік	43 599
Зріджений CO ₂	т/рік	5 620
Дигестат	т/рік	128 249
Споживання електричної енергії	МВт·год/рік	6 386
Споживання теплової енергії	МВт·год/рік	7 485

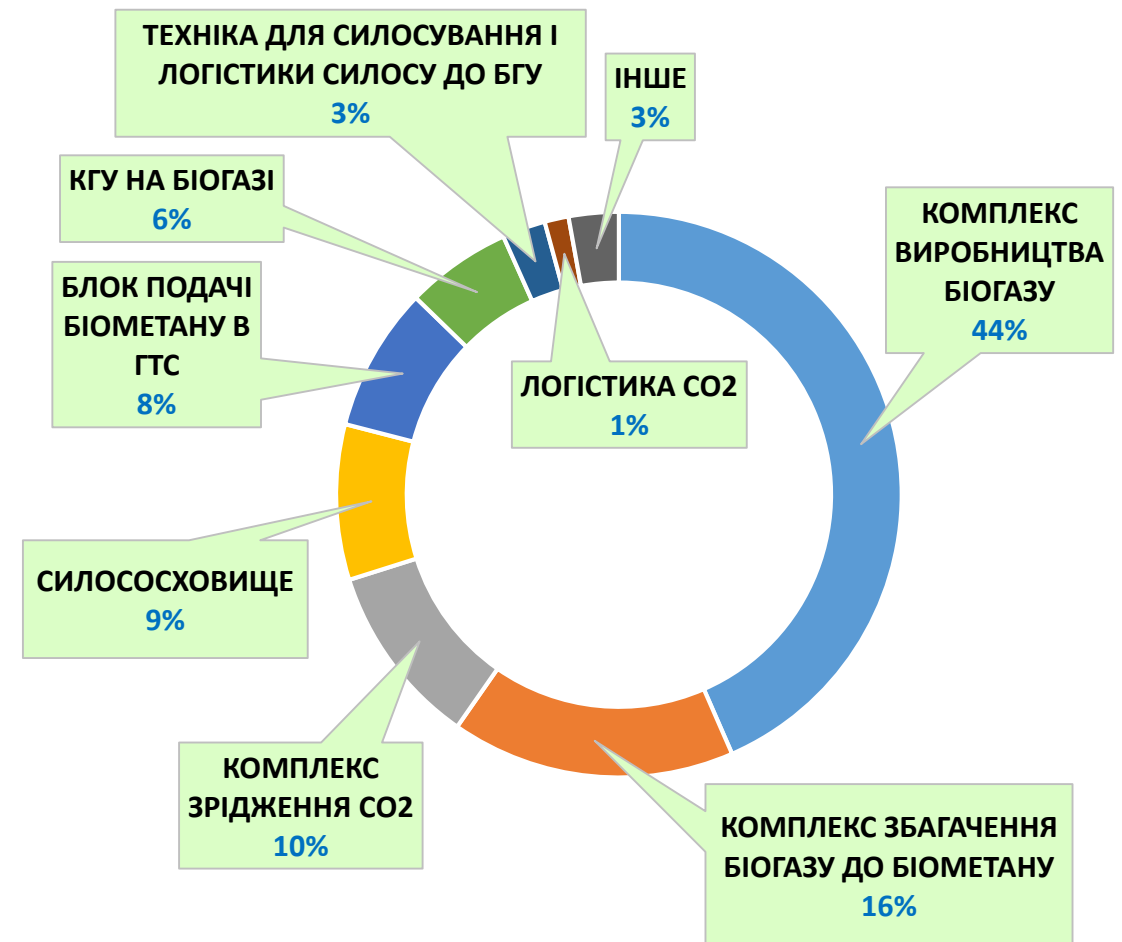
Структура споживання електричної енергії



Для забезпечення власних потреб **усього біометанового комплексу** в електричній та тепловій енергії передбачено виробництво частини біогазу з **силосу кукурудзи** з наступним спалюванням його в КГУ

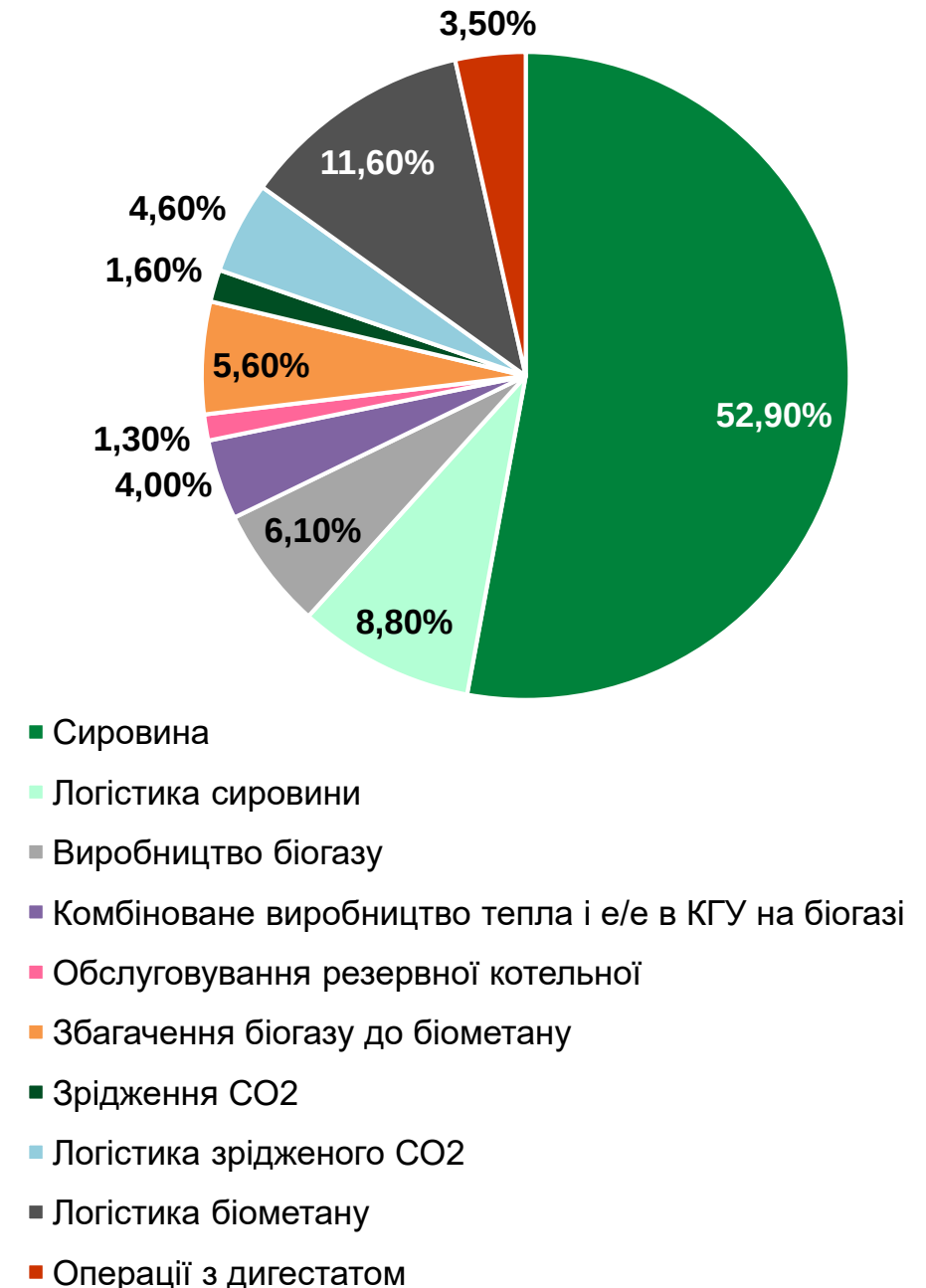
Складові інвестицій	Всього, євро
CAPEX, ВСЬОГО (з ПДВ)	14 222 304
Техніка та обладнання	8 360 040
Будівництво та монтаж	5 045 029
Інше	817 235
Комплекс виробництва біогазу	6 179 005
Машини, техніка для силосування та транспортування силосу до біогазової станції	351 000
Силососховище	1 263 511
КГУ на біогазі	859 974
Резервна котельня	155 506
Комплекс збагачення біогазу до біометану	2 309 954
Комплекс зрідження CO ₂	1 485 498
Блок трансферу біометану в ГТС (основний + резервний компресор, газопровід 5 км, вузол обліку газу, хроматограф)	1 172 070
Машини та техніка для логістики CO ₂	195 077
Приєднання до електромережі	68 987
Машини, техніка для операцій з дигестатом	61 724
Проектування	120 000

Оцінка CAPEX проекту



Оцінка OPEX проекту

Складова операційних витрат	Всього, євро/рік
OPEX, ВСЬОГО (з ПДВ)	2 358 495
Сировина	1 247 296
Логістика сировини	208 332
Операційні витрати	342 243
Логістика цільових продуктів	464 102
Оплата праці	96 522
Сировина	1 247 296
Логістика сировини	208 332
Виробництво біогазу	143 756
Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії в КГУ на біогазі	94 273
Обслуговування резервної котельної	31 711
Збагачення біогазу до біометану	131 889
Зрідження CO ₂	37 137
Логістика зрідженого CO ₂	107 911
Логістика біометану	273 679
Операції з дигестатом	82 512



Вихідні параметри фінансової моделі

Параметр	Розмірність	Значення, без ПДВ
ЦІЛЬОВІ ПРОДУКТИ		
Ціна на біометан	євро/МВт·год (*)	90
Ціна на зріджений CO ₂	євро/т	133
Ціна на дигестат	євро/т	1,5
СИРОВИНА		
Силос жита озимого	євро/т	17,82
Гноївка свиней	євро/т	0
Силос вико-вівсяної суміші	євро/т	23,87
Силос кукурудзи	євро/т	20,95
СИЛОСУВАННЯ ТА ЛОГІСТИКА СИЛОСУ		
Силос жита озимого	євро/т	3,45
Силос вико-вівсяної суміші	євро/т	3,45
Силос кукурудзи	євро/т	3,14
ЛОГІСТИКА ЦІЛЮВИХ ПРОДУКТІВ		
Зріджений CO ₂	євро/(т·км)	0,05
Біометан: тариф для точки входу в ГТСУ	грн/(1000 м ³ /добу)	464,37
Біометан: тариф для точки входу та виходу на міждержавних з'єднаннях	євро/(1000 м ³ /добу)	25,66

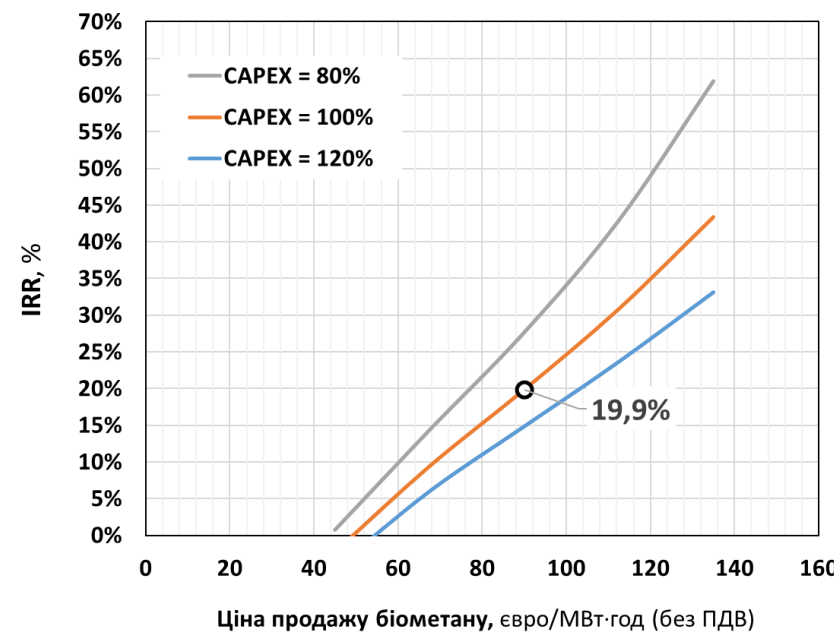
* 1 МВт·год енергії біометану = близько 100,28 нм³CH₄

Економічні показники проєкту

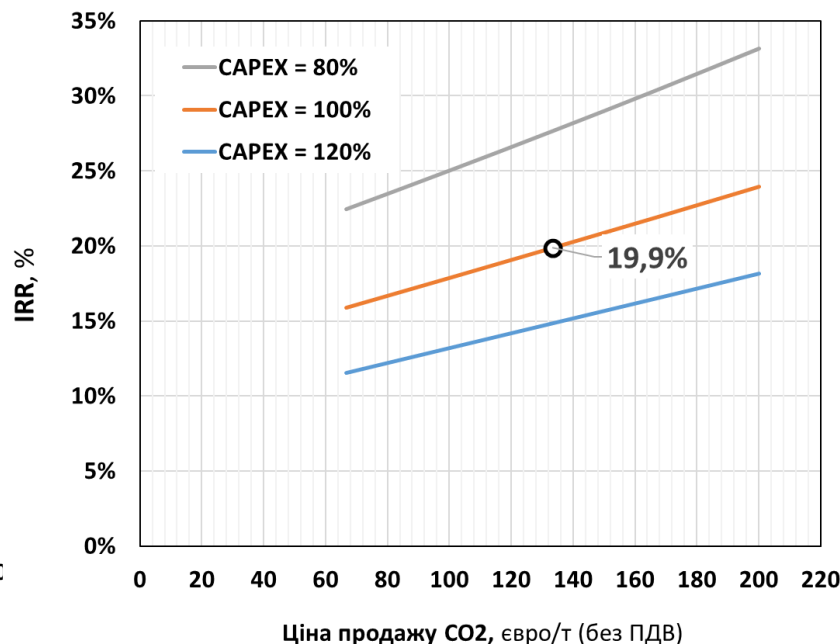
Показник	Розмірність	Значення
Інвестиції (CAPEX), в т.ч.:	млн євро	14,22
Запозичені кошти	млн євро	8,53
Власні кошти	млн євро	5,69
Річні операційні витрати (OPEX), у т.ч.:	млн євро	1,98
Сировина	млн євро, без ПДВ	1,21
Операційні витрати	млн євро, без ПДВ	0,29
Логістика цільових продуктів	млн євро, без ПДВ	0,39
Річний дохід, у т.ч.:	млн євро, без ПДВ	4,87
Біометан	млн євро, без ПДВ	3,92
Зріджений CO ₂	млн євро, без ПДВ	0,75
Дигестат	млн євро, без ПДВ	0,19
Чиста приведена вартість (NPV)	млн євро	5,78
Внутрішня норма рентабельності (IRR)	%	19,9%
Індекс прибутковості (PI)	-	0,41
Простий термін окупності (SPP)	років	5,9
Дисконтований термін окупності (DPP)	років	7,8

Аналіз чутливості

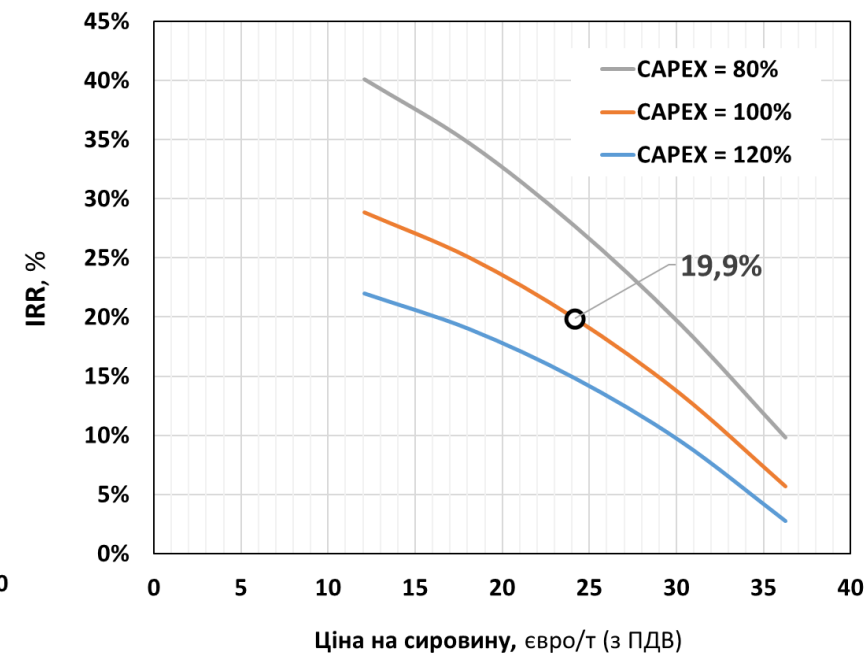
Вплив ціни на біометан



Вплив ціни на CO₂



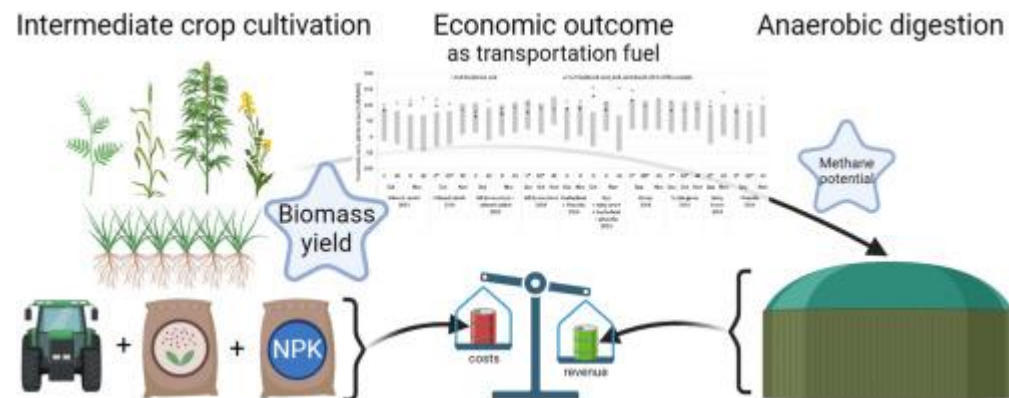
Вплив ціни на сировину



- На рентабельність проєкту більшою мірою впливає **ціна продажу біометану** та **ціна на сировину**, меншою мірою – **ціна продажу зрідженого CO₂**.
- Проєкт також чутливий до збільшення **CAPEX**: при збільшенні CAPEX на 20% проєкт може бути на межі інвестиційної привабливості з дисконтованим терміном окупності 10,3 роки та IRR 14,8%.
- Зменшення **ціни реалізації біометану** лише на 10% до 81 євро/МВт·год призводить до збільшення терміну окупності до 9,7 років з IRR 15,7%.

Висновки

- ❑ Проміжні культури – потенційне джерело сталої біомасової сировини, у тому числі для виробництва біогазу/біометану.
- ❑ Перспективний сегмент біоенергетики для ЄС і для України. До 2040 р. проміжні культури можуть зайняти найбільшу частку структури потенціалу отримання біометану шляхом анаеробного зброджування.
- ❑ Біометан з проміжних культур – найбільший в загальній структурі потенціалу біометану в Україні.
- ❑ Запорукою успішної реалізації проєктів виробництва біометану з ПК є гарантування задовільної ціни продажу біометану на довгостроковий період та пошук ринків збуту зрідженої вуглекислоти з більшою дохідністю.
- ❑ Зменшення інвестицій в проєкт також дозволить зробити його більш економічно стійким, втім імовірність істотного (на 15-20%) зменшення розміру інвестицій оцінюється як невисока.
- ❑ Необхідні подальші дослідження для практичного впровадження даного напрямку в Україні.



UABIO

Дякую за увагу!

Тетяна Желєзна

Біоенергетична асоціація України

uabio.org

e-mail: zhelyezna@uabio.org