

**Представлення Аналітичної записки  
«№3 Виробництво передового біометану з мікрководоростей вирощених на дигестаті  
біогазових станцій в Україні», Вебінар 26.09.2025**

# **Стан та перспективи виробництва біометану з мікрководоростей**

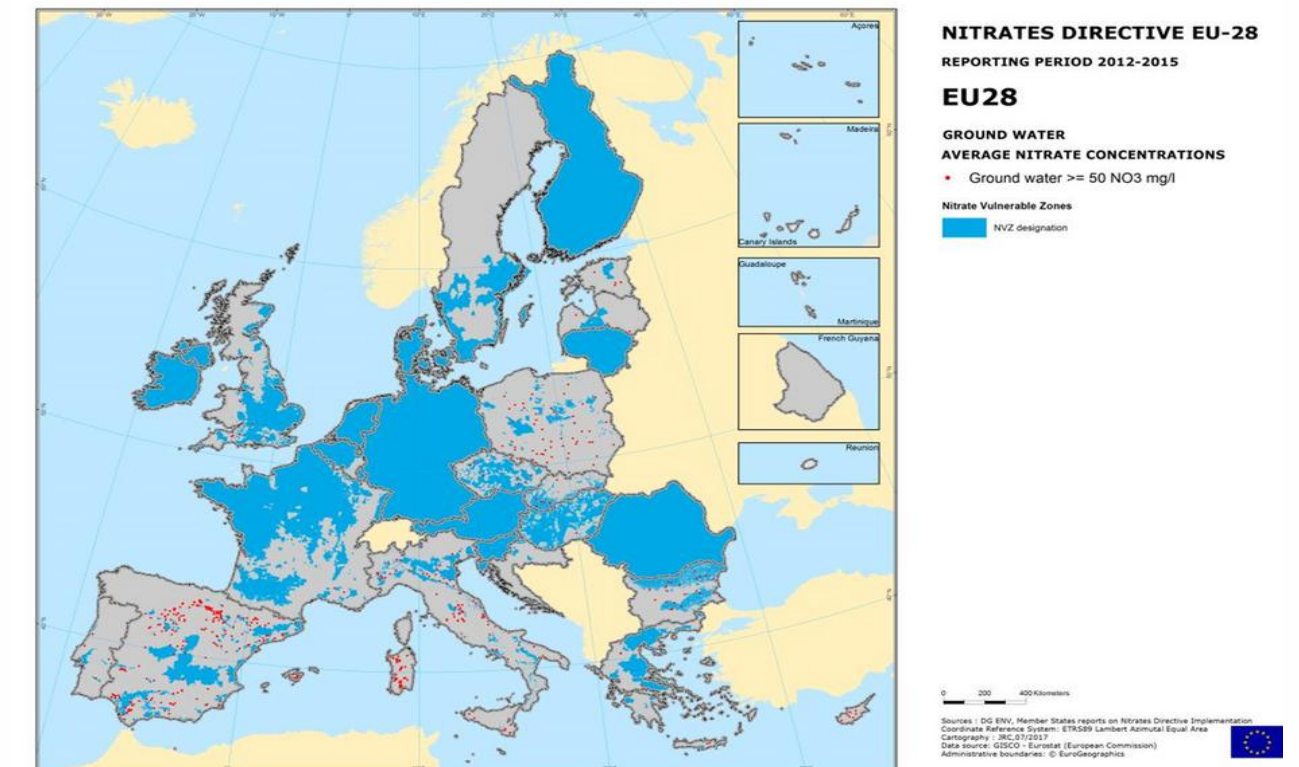
**Мар'яна Гивель,**  
Експертка Біоенергетичної асоціації України

# МОТИВАЦІЯ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ

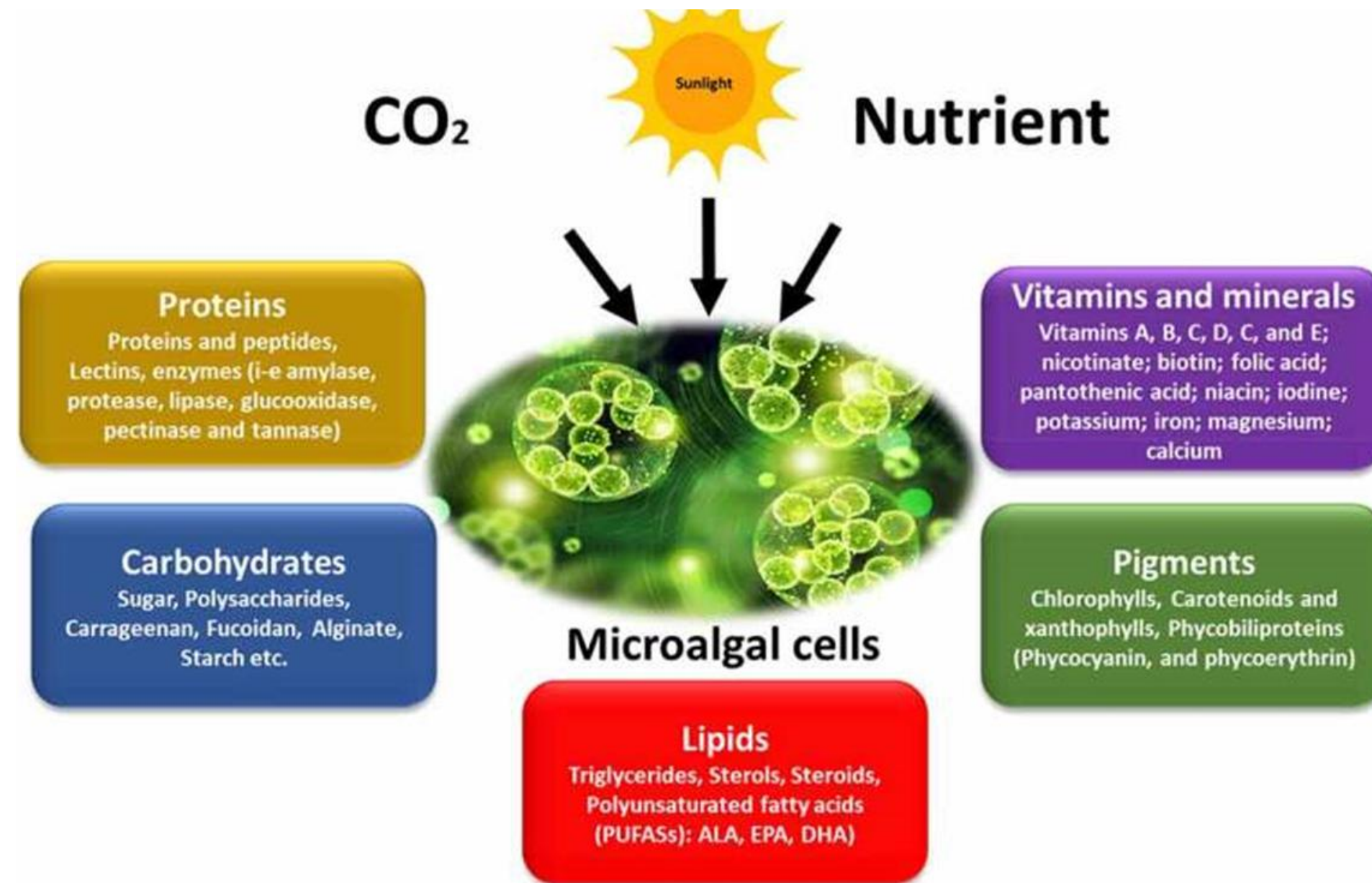
- **Директива RED II, Додаток 9, Частина А.** Сировина для виробництва біогазу для транспорту та передових біопалив, внесок якої до мінімальних часток, зазначених у першому та четвертому підпунктах статті 25(1), може вважатися подвоєним від їхньої енергетичної цінності: Водорості, якщо їх вирощують на землі у ставках або фотобіореакторах; [https://lexparency.org/eu/32018L2001/ANX\\_IX/](https://lexparency.org/eu/32018L2001/ANX_IX/)
- **Мікроводорості** пропонують інноваційне рішення, оскільки **здатні перетворювати надлишкові азот і фосфор із дигестату на цінну біомасу.** Це особливо актуально для регіонів із обмеженнями землекористування та вимогами Директиви ЄС щодо нітратів. Такий підхід зменшує евтрофікацію, забезпечує уловлювання CO<sub>2</sub> та сприяє сталому перетворенню поживних речовин.



**Renewable Energy Directive EU**



# Фундаментальні основи процесу



Фотосинтетичне перетворення CO<sub>2</sub> на метаболічну енергію (яка зберігається у формі вуглеводів та ліпідів) є фундаментальним для продуктивності водоростей.

Мікроводорості, як і наземні рослини, ростуть і розмножуються шляхом фотосинтезу, можуть фіксувати 1,83 тони CO<sub>2</sub> на 1 тону сухої маси.

Мікроводорості можуть перетворювати сонячне світло на хімічну енергію з високою ефективністю фотосинтезу (6%–8%) порівняно з наземною біомасою (1,8%–2,2%).





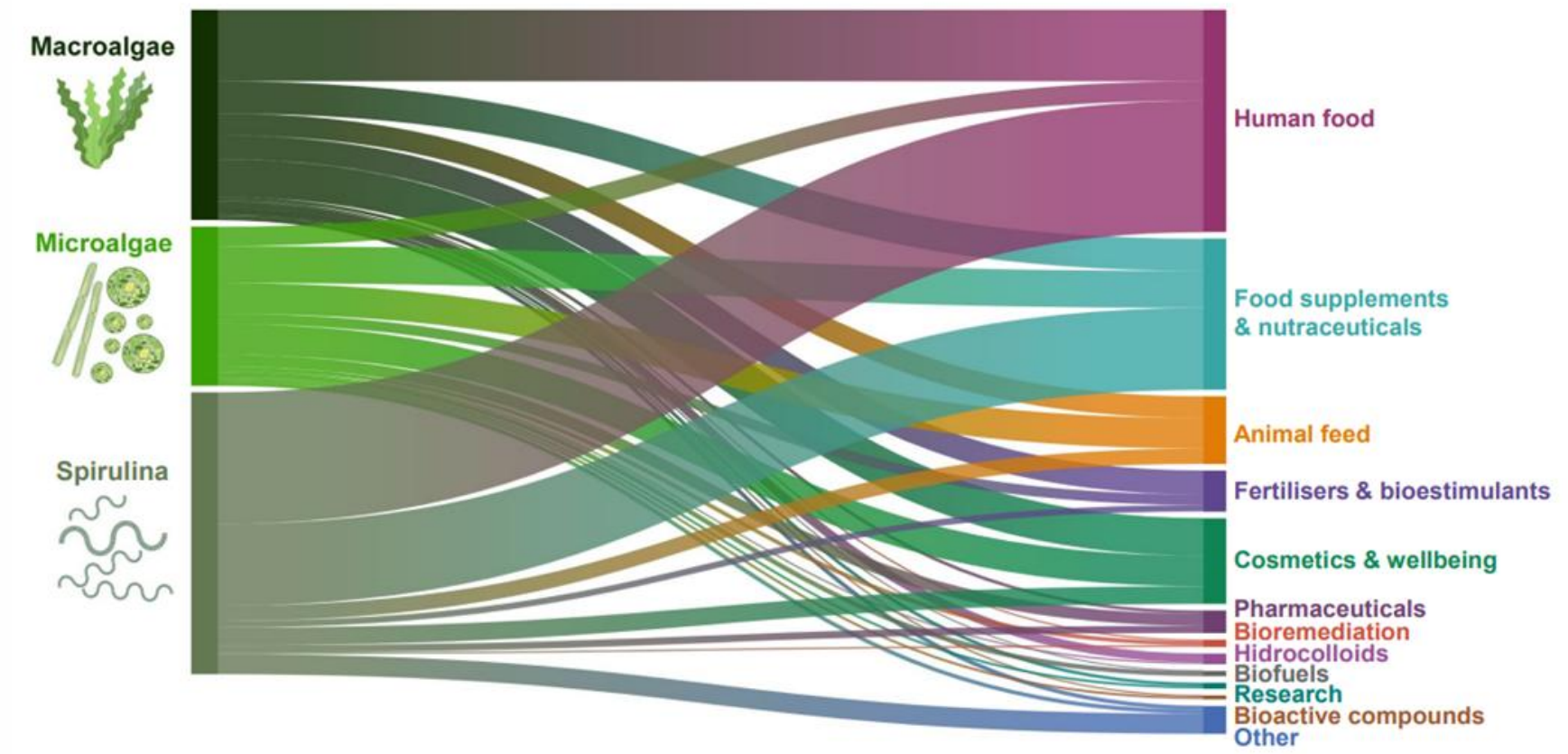
# Тренди переробки мікробіодоростей

Основні напрями застосування мікробіодоростей у 2022 році харчові продукти та добавки — 23%, кормові продукти — 19%, косметика — 19%, фармацевтика — 8%, добрива та біостимулятори — 7%.

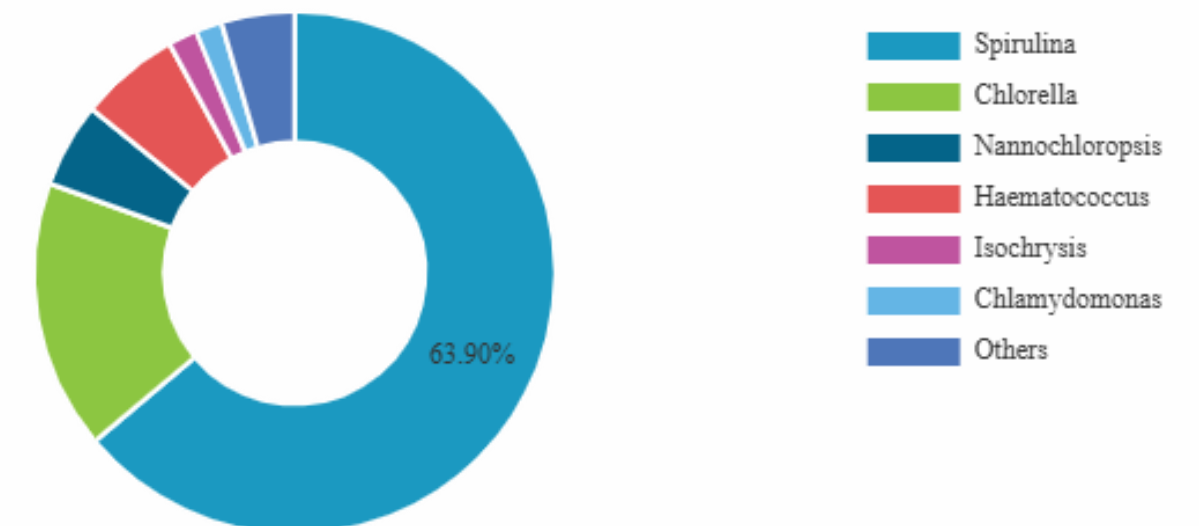
Разом ці напрями становлять 76% загального виробництва в ЄС.

Обмежене використання мікробіодоростей для енергетичних цілей зумовлене: високою собівартістю, енергоємними процесами, проблемами масштабування, браком політичної та регуляторної підтримки.

Водночас культивування мікробіодоростей на дигестаті біометанових заводів в Україні може суттєво знизити витрати та підвищити ефективність.



<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6af868a1-4071-11ed-92ed-01aa75ed71a1/language-en>



www.fortunebusinessinsights.com

Global microalgae market by microalgae type in 2024

# МІКРО- ВОДОРСТІ В СВІТІ ТА УКРАЇНІ

## Україна

Ранні етапи розвитку, сфера застосування — харчові добавки. Ключові промислові виробники (спіруліна у порошку, таблетках та функціональних продуктах):

ТОВ «Food Factory» (бренд Spirulina): виробнича потужність — 12 тонн їстівної спіруліни на місяць.

«Aqvatic Farm» (Дніпропетровська область): виробнича потужність — 1 тонна на місяць, відкрита ставкова система.

Інші учасники ринку (МСП): пропонують продукцію на основі спіруліни та хлорели.

## Microalgae based Products Market

### Microalgae based Products Market, by Region in 2023(%)



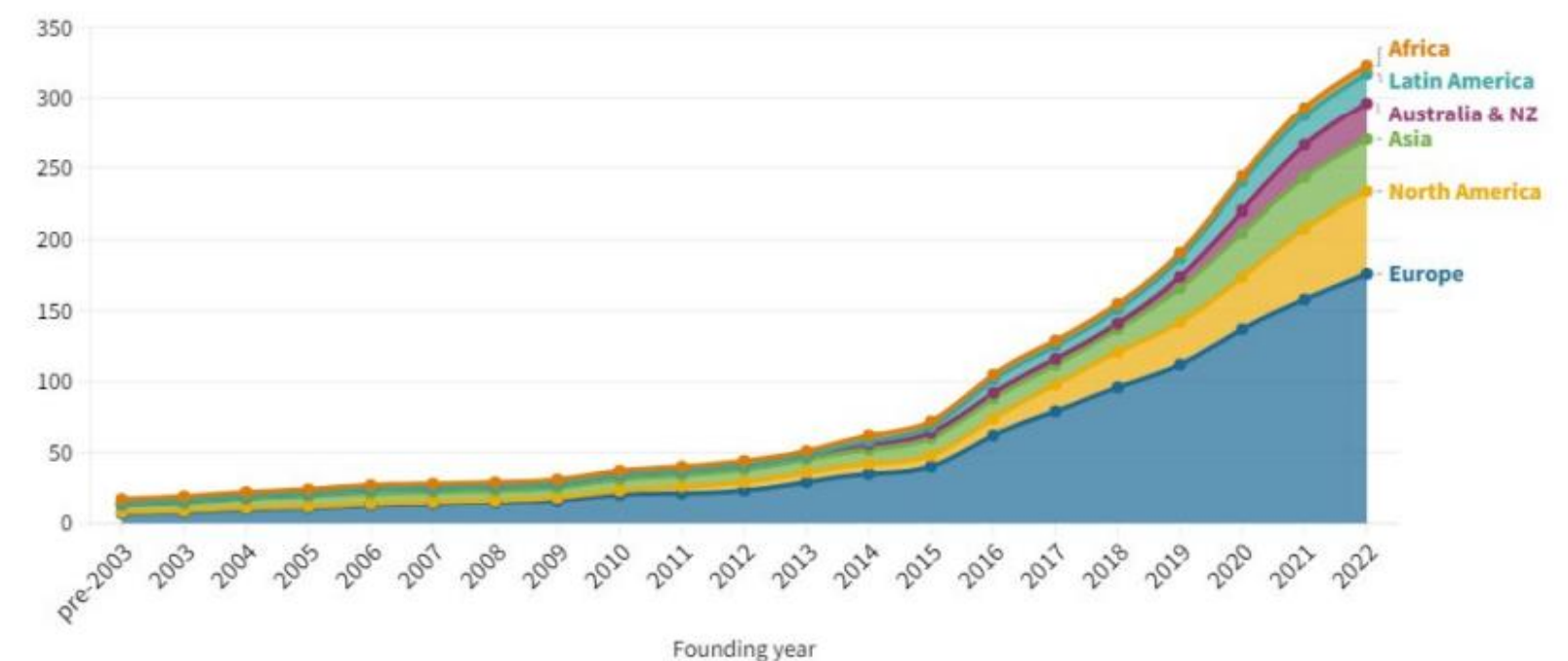
### Market Size

| Year | Market Size (USD Billion) |
|------|---------------------------|
| 2023 | USD 13.25                 |
| 2030 | USD 23.01                 |

### Market Size in Billion

<https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-microalgae-based-products-market/63970/>

Figure 16: Global development of algae start-ups by founding year, 2003 - 2022

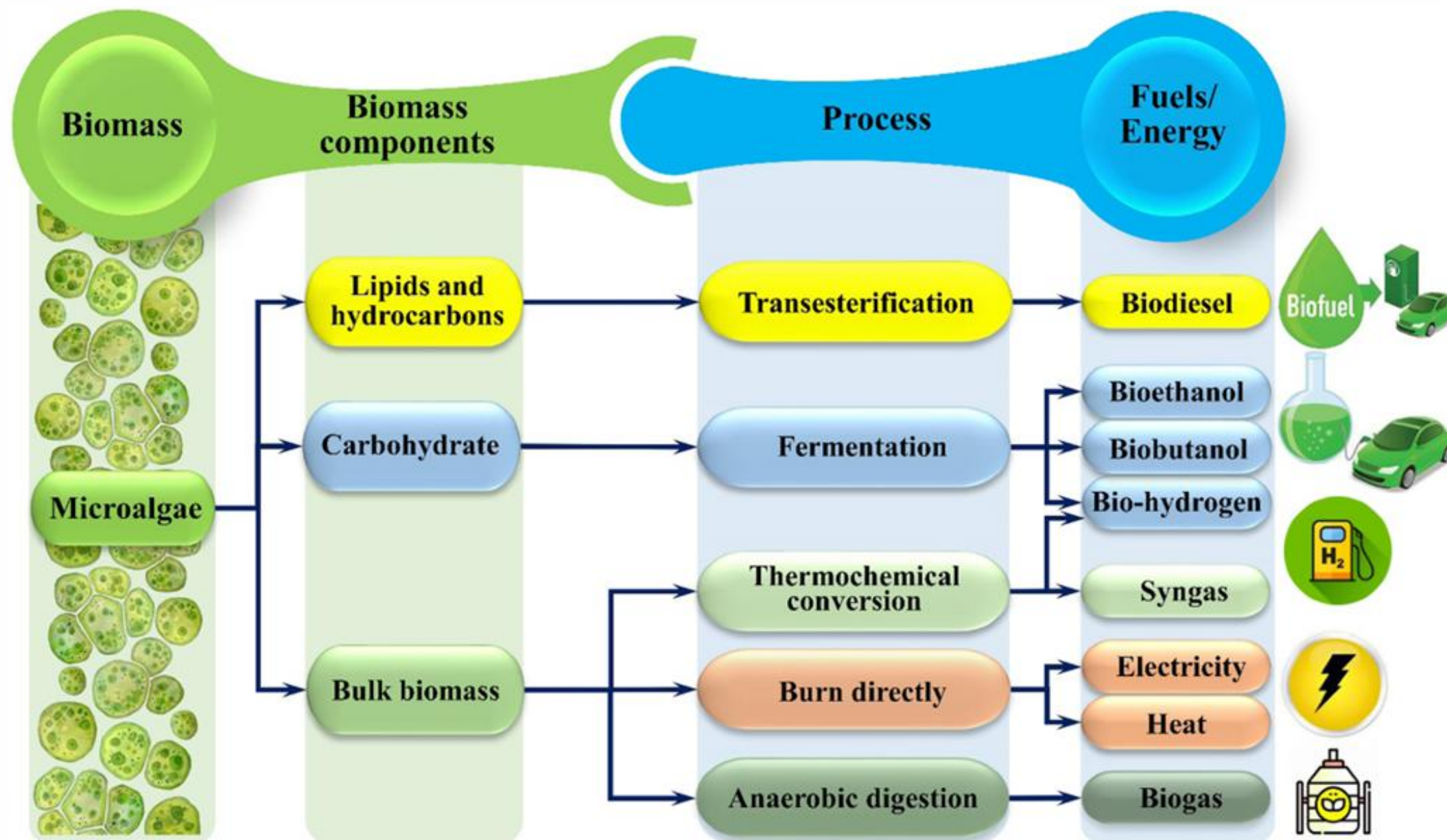


## Світові тенденції

Північноамериканський регіон у 2023 році очолив глобальний ринок продукції на основі мікробіодоростей із найбільшою часткою — 32%. Очікується, що регіон зростатиме зі середньорічним темпом (CAGR) 8,6% протягом прогнозованого періоду та збереже лідерство до 2030 року. Основними чинниками зростання визначаються зростання попиту на натуральні харчові барвники, підвищення популярності нутрицевтиків і дієтичних добавок, а також інвестиції в технології.



# МІКРОВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВ



- Ринкова вартість високотехнологічних продуктів із мікробіомаси (нутрицевтики, корми, біоматеріали) значно перевищує вартість біопалив, що робить енергетичні застосування менш привабливими з комерційної точки зору.
- Водночас інтеграція у існуючі ланцюги переробних заводів з виробництвом різних цільових продуктів з мікробіомаси (біопалива, корми, біодобавки, добрива тощо) утилізуючи побічні продукти такі як CO<sub>2</sub>, тепло та стічні води очікувано принесуть позитивний вплив на економіку та екологію виробництва як об'єкт циркулярної економіки.

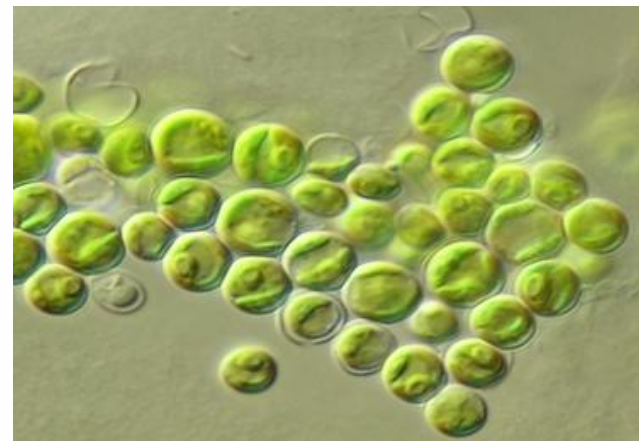
# МІКРОВОДОРОСТІ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ

| Штами                                      | Питомий вихід біогазу<br>[л/кг ОСР] | Питомий вихід<br>CH <sub>4</sub><br>[л/кг ОСР] | CH <sub>4</sub> вміст<br>[%] |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|
| <i>Chlorella kessleri</i>                  | 335 ± 8                             | <b>218</b>                                     | 65                           |
| <i>Chlorella vulgaris</i>                  | -                                   | <b>310 – 350</b>                               | 68 – 75                      |
| <i>Spirulina</i><br>( <i>Anthrospira</i> ) | 500- 556                            | <b>320 – 424</b>                               | 76.3                         |
| <i>Euglena gracilis</i>                    | 485 ± 3                             | <b>325</b>                                     | 67                           |
| <i>Scenedesmus obliquuus</i>               | 287 ± 10                            | <b>178</b>                                     | 62                           |
| <b><i>Chlamydomonas rein.</i></b>          | 587 ± 9                             | <b>387</b>                                     | 66                           |

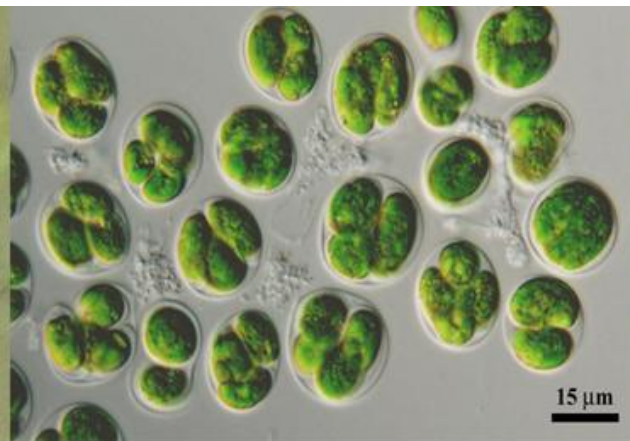
<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/02/IEA-Bioenergy-Algae-report-update-Final-template-20170131.pdf>

Оптимальним видом мікрроводоростей для виробництва біометану є такі які мають :

- тонку клітинну стінку або її відсутність ;
- великі клітини;
- високу швидкість росту в нестерильних середовищах;
- високу питому стійкість до природних забруднень;
- толейрантність до високих концентрацій амонію та аміаку;
- оптимальний хімічний склад та високий питомий вихід біометану ;



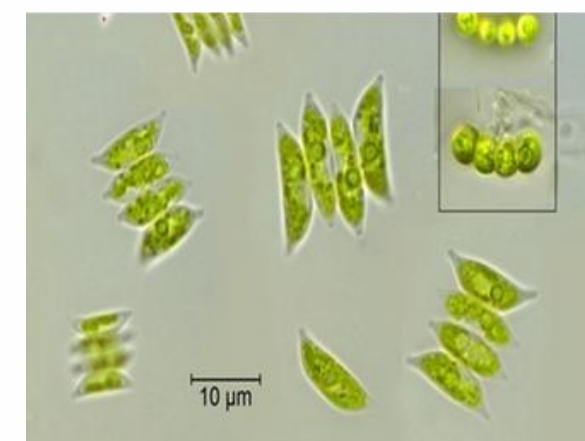
*Chlorella v.*  
5-10 μm



*Chlamydomonas reinhardtii*  
14-22 μm



*Spirulina*  
< 100 μm



*Scenedesmus*  
3-78 x 2-10 μm



*Euglena sp.*  
length 70 μm

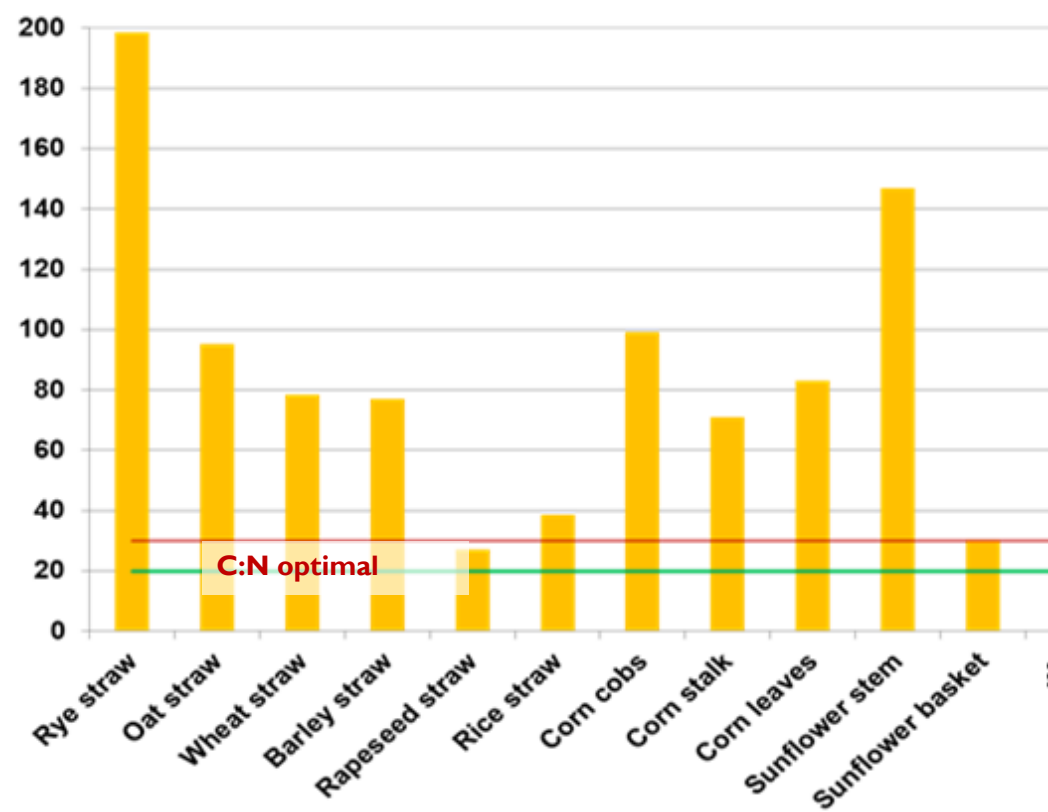


ПАРАМЕТРИ СУМІШІ: СУСПЕНЗІЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ  
ВИРОЩЕНИХ НА ДИГЕСТАТІ БГУ + СОЛОМА

| Показник | Солома | РФД з мікро-<br>водоростями | Мікс (1:8) |
|----------|--------|-----------------------------|------------|
| СР       | 80     | 1                           | 9,8        |
| С/Н      | 70     | 3-9                         | 19,8       |

**С:N –  
взаємодоповнюваніс  
ть агро сировини**

Переважає більшість  
потенціалу біометану в  
Україні — 69% походить з  
покривних культур та  
сільськогосподарських  
відходів, які мають високе  
співвідношення С/Н.



# АНАЕРОБНЕ ЗБРОДЖУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

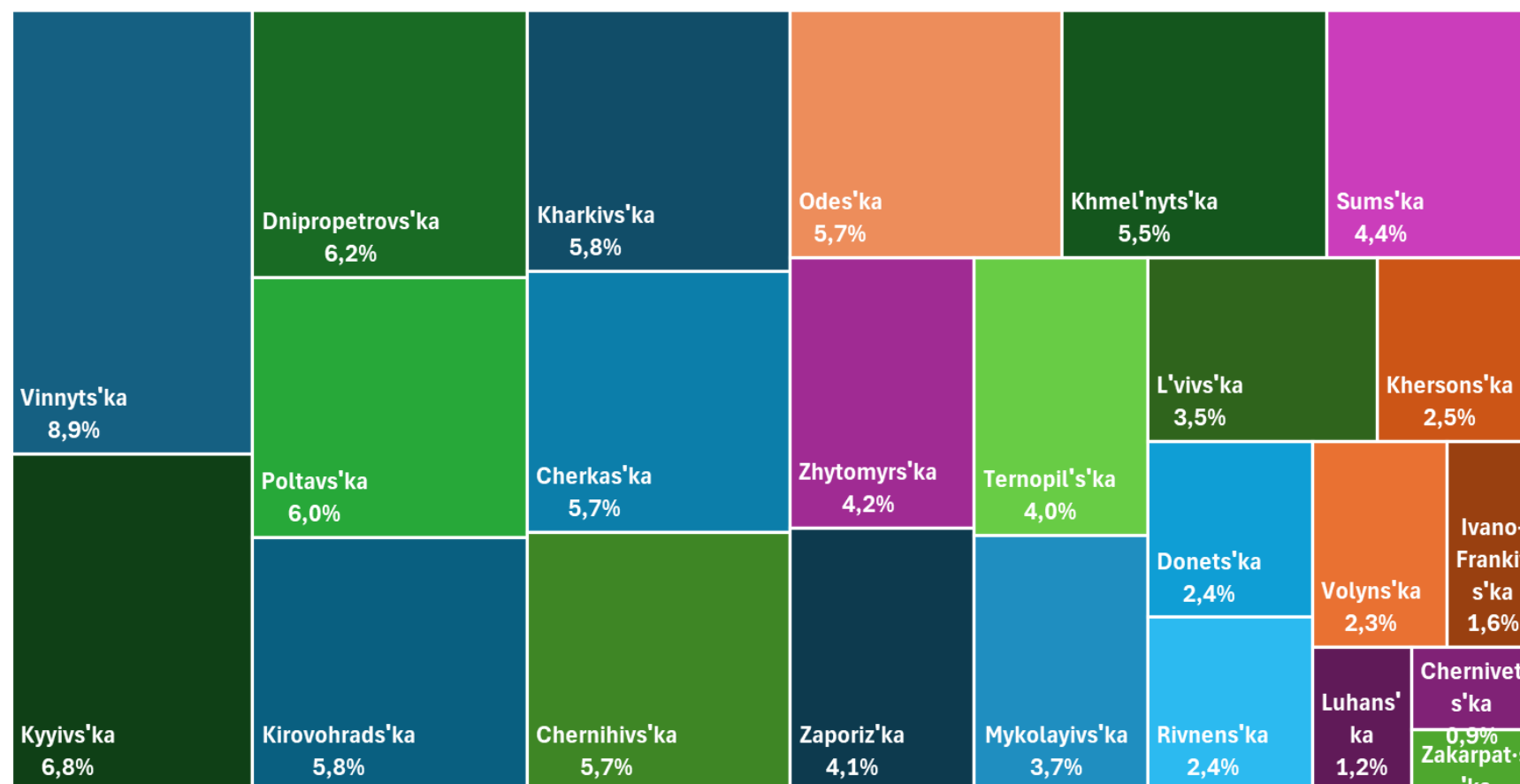
Спільне зброджування мікробіодоростей (C/N <10) поживними рештками (для соломи C/N >70) отримати оптимальний субстрат для анаеробного зброджування (C/N = 15-30). Це також зменшує потребу в зневодненні мікробіодоростей.

Ми можемо досягти оптимальної концентрації СР = 10-12% в результаті змішування соломи (СР = 80%) та мікробіодоростей (СР = 1-5 %)



**Принцип розподілу по регіонах:** пропорційно існуючому потенціалу виробництва біометану на біогазових заводах.

**Енергетичний та економічний сенс:** максимальне використання сонячної енергії та мінімальне споживання електро- і теплової енергії з інших джерел.

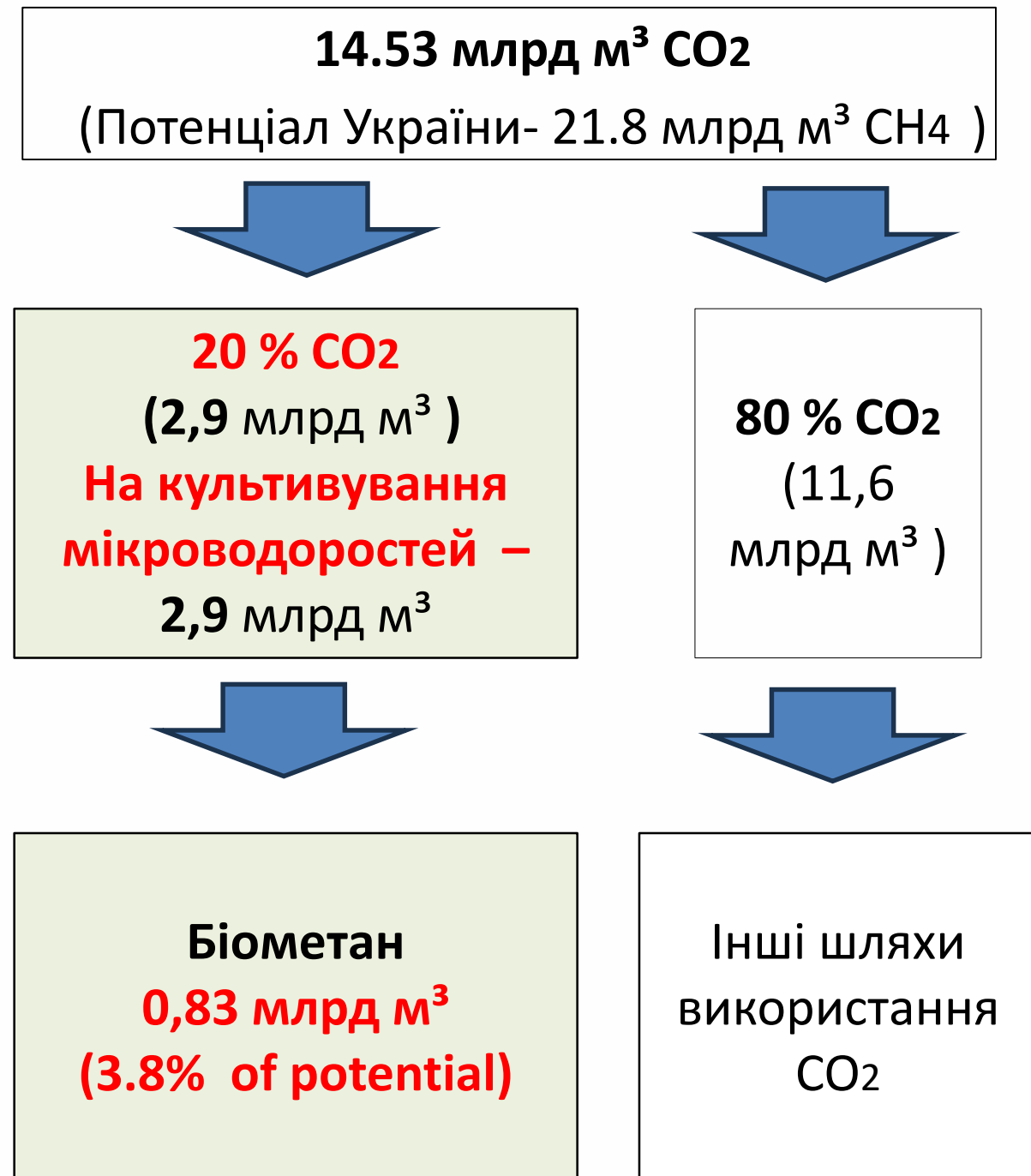


*Регіональний розподіл потенціалу виробництва біометану з МА, вирощеної з використанням CO<sub>2</sub>, отриманого в результаті збагачення біометану.*

# Біометановий потенціал в Україні з мікроводоростей

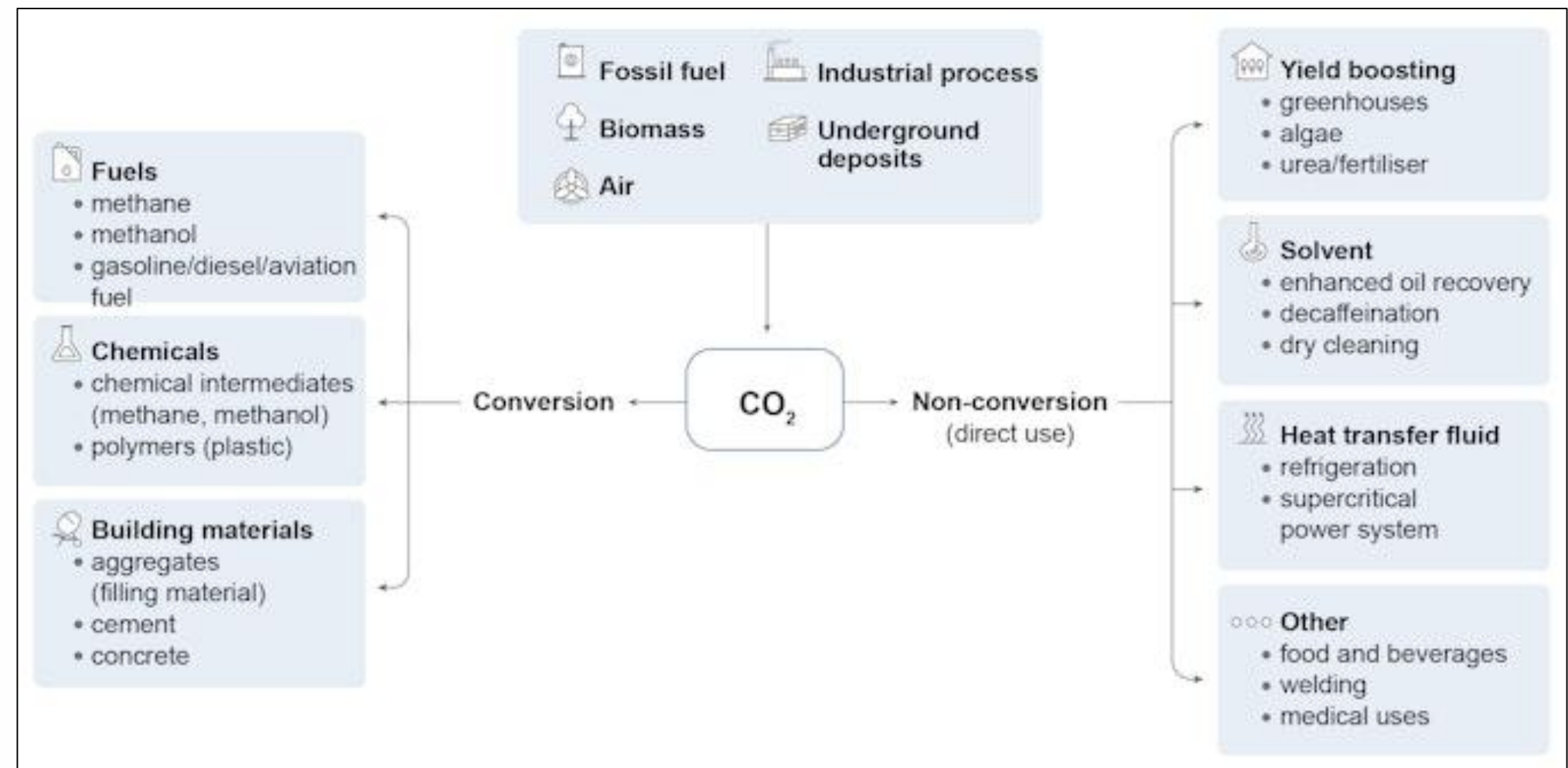
- **Теоретичний потенціал біометану з мікроводоростей :  $\approx 4,37$  млрд Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/рік**
- **Економічно досяжний потенціал: 673–800 млн Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/рік**
- Потенціал враховує вирощування мікроводоростей на CO<sub>2</sub> після збагачення біогазу та поживних речовинах дигестату .
- **Обмежувальний фактор: доступність CO<sub>2</sub>.**
- Можливість зменшення викидів CO<sub>2</sub> та додаткового виробництва біомаси

# Попередня оцінка потенціалу біометану з мікроводоростей



- Використання 20% викидів CO<sub>2</sub> з біометанових установок для вирощування мікроводоростей дає додаткові 0.8 млрд м³ біометану на рік.
- Це відповідає приблизно 3,8% від загального потенціалу біометану (21,8 млрд м³).

## Шляхи використання CO<sub>2</sub>





# CASE STUDY : ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ ЦЕНТР ALGAE BIOGAS (СЛОВЕНІЯ)



Main pond with paddlewheel



Демонстраційний центр складається з двох ставків для водоростей (основний ставок площею 100 м<sup>2</sup> та інокуляційний ставок площею 10 м<sup>2</sup>), розташованих у теплиці для забезпечення оптимальних умов роботи та зменшення сезонних коливань. Дигестат із біогазової установки подається в основний ставок.

Проект AlgaeBioGas демонструє високий рівень інтеграції технологій біогазових установок і біоремедіації з використанням мікрроводоростей, забезпечуючи:

- глибоке очищення дигестату,
- утворення додаткової біомаси,
- значне скорочення викидів CO<sub>2</sub> (1 100 т CO<sub>2</sub>/рік),
- економію землі для вирощування кормових культур — 9–27 гектарів (замість 335 гектарів, необхідних для силосу).



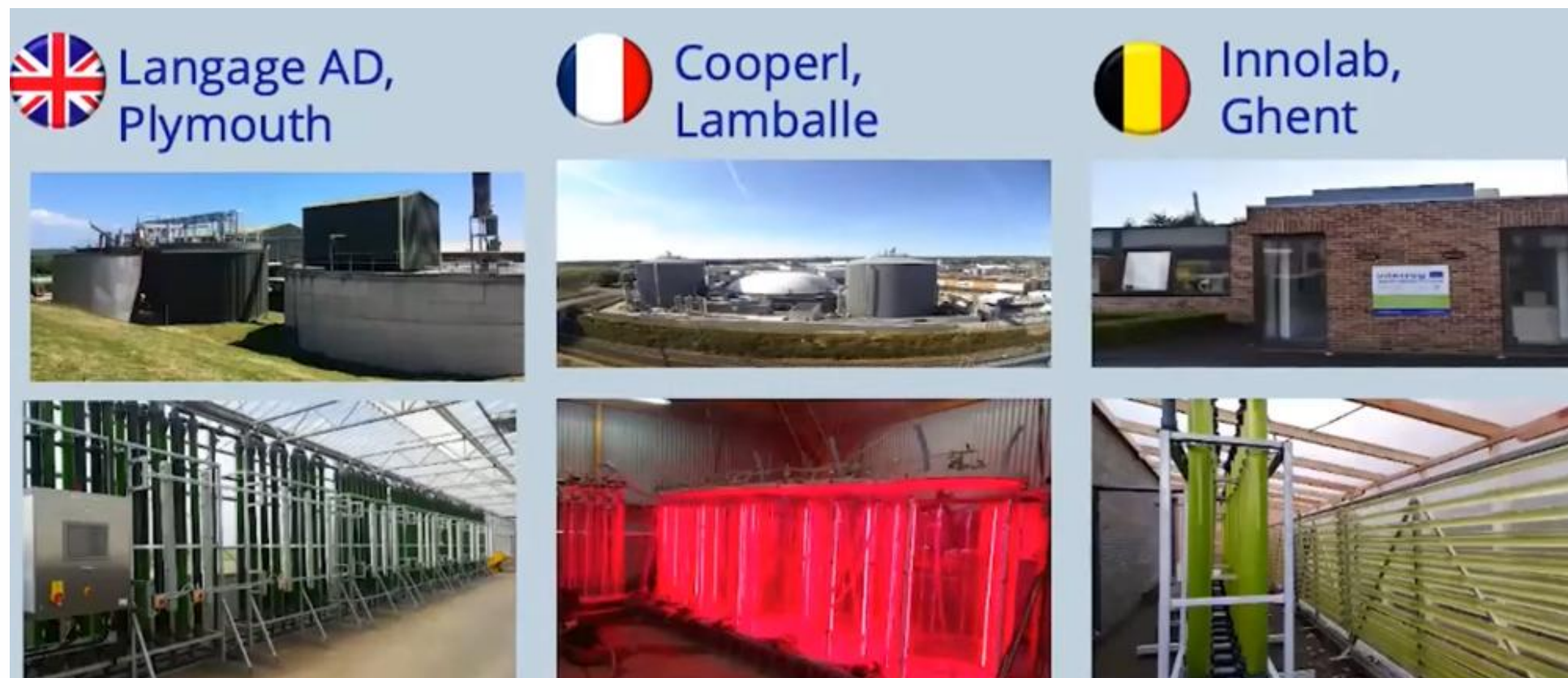
# ALG-AD Велика Британія, Франція, Бельгія

Проект ALG-AD реалізовувався в рамках програми Interreg North-West Europe з метою інтеграції систем анаеробного зброджування (AD) із культивуванням мікроводоростей.

- Основним завданням було знайти ефективне рішення для **переробки надлишкового дигестату**, збагаченого поживними речовинами, **який не можна вносити на поля як добриво через екологічні обмеження в ЄС.**

Проект реалізували на трьох пілотних майданчиках: Велика Британія (Суонсі), Франція (Бретань), Бельгія (Фландрія).

- На цих майданчиках використовували різні типи субстратів для анаеробного зброджування (харчові та сільськогосподарські відходи), а також різні конфігурації фотобіореакторів для оцінки ефективності культивування водоростей на попередньо обробленому дигестаті.





# ALL-GAS ВЕЛИКОМАСШТАБНЕ ВИРОБНИЦТВО БІОПАЛИВА З МІКРОВОДОРОСТЕЙ (ІСПАНІЯ)

Проект реалізовано в муніципалітеті Чиклана-де-ла-Фронтера (Іспанія) на території діючої станції очищення стічних вод.

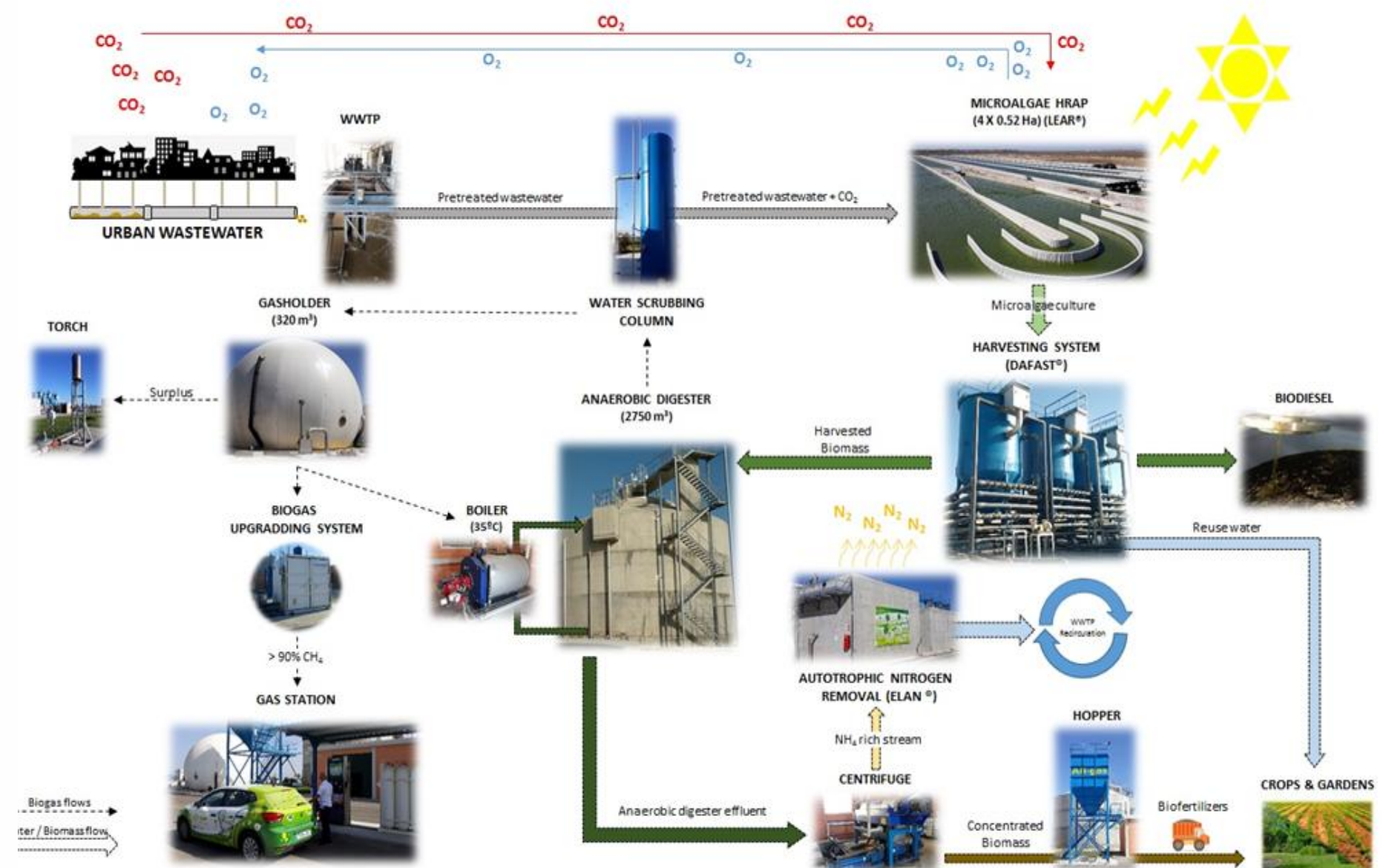
ALL-GAS (Іспанія) – перший у світі приклад повномасштабного застосування мікроводоростей для виробництва біопалива на основі очищення стічних вод.

## Технологія ALL-GAS включає:

- подачу стічних вод зі станції очищення у відкриті ставки/канали (до 4 га);
- культивування мікроводоростей у воді, збагаченій органічними речовинами, азотом і фосфором.

## Переробка біомаси:

- ліпідна фракція → трансестерифікація → біодизель;
- залишки та активний мул → анаеробне зброджування → біогаз + CO<sub>2</sub>;
- очищення та компресія біогазу → паливо для транспорту.





# ВИРОБНИЦТВА ПЕРЕДОВОГО БІОМЕТАНУ З МІКРОВОДОРОСТЕЙ, ВИРОЩЕНИХ НА ДИГЕСТАТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК Україна, 2024-2026 рр.

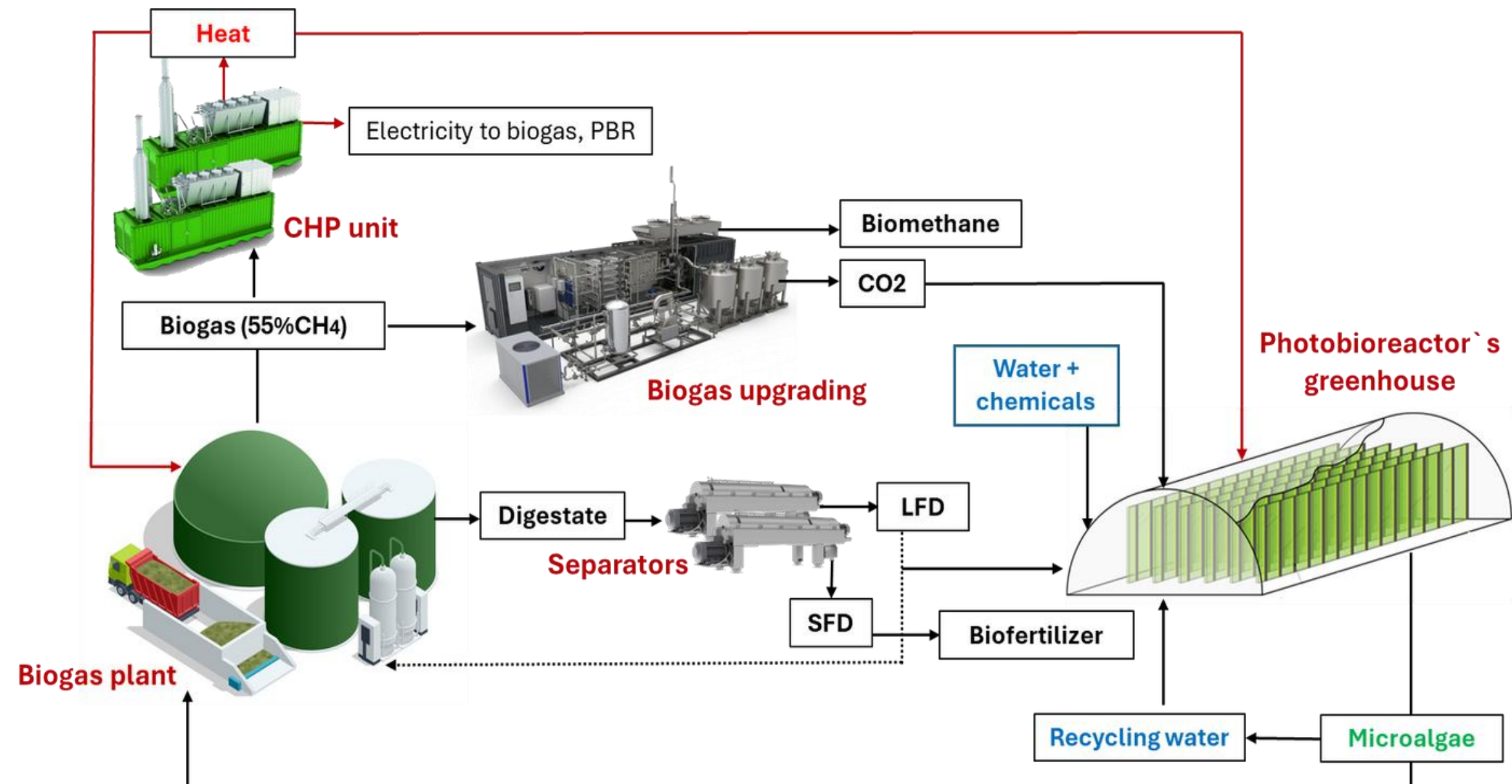
Проект поєднуватиме експерименти від лабораторних до пілотних масштабів, включаючи культивування мікробіодоростей у плоскостельних та трубчастих фотобіореакторах, з новими обчислювальними моделями для культивування мікробіодоростей та анаеробного зброджування, для оптимізації процесів та техніко-економічного аналізу.

Project Partners:



Innovate  
UK

UABIO



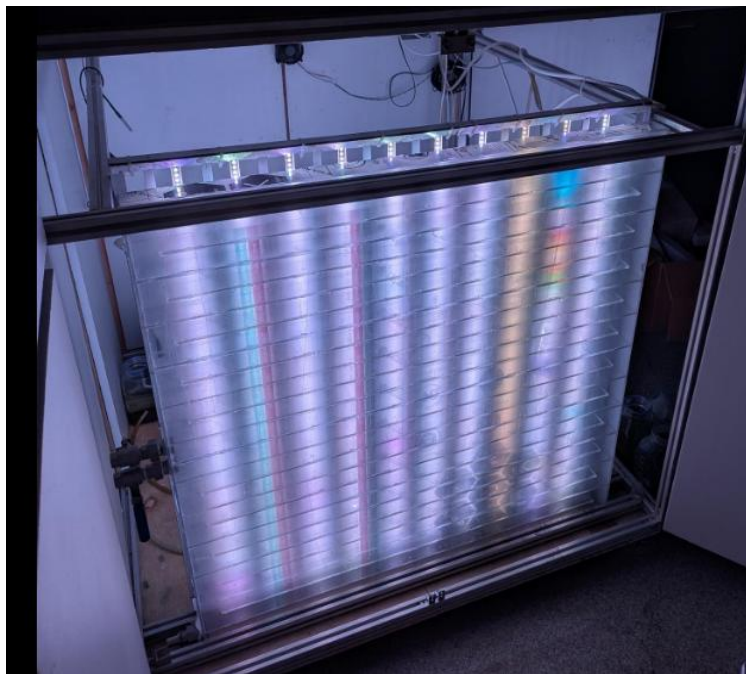


# Innovate Ukraine : ЛАБОРАТОРНА СТАДІЯ 2025 р

UABIO



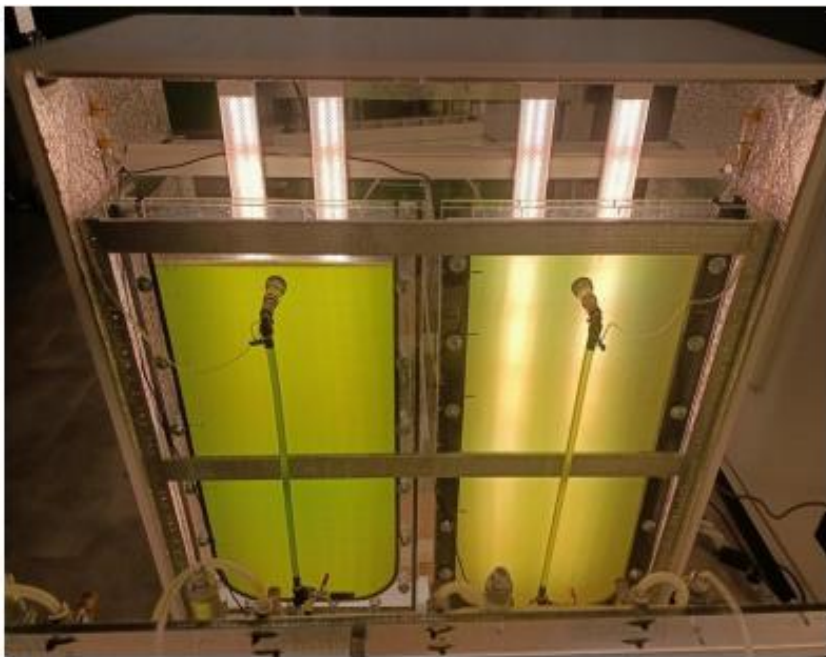
Плоско-панельний  
фотобіореактор з полікарбонату



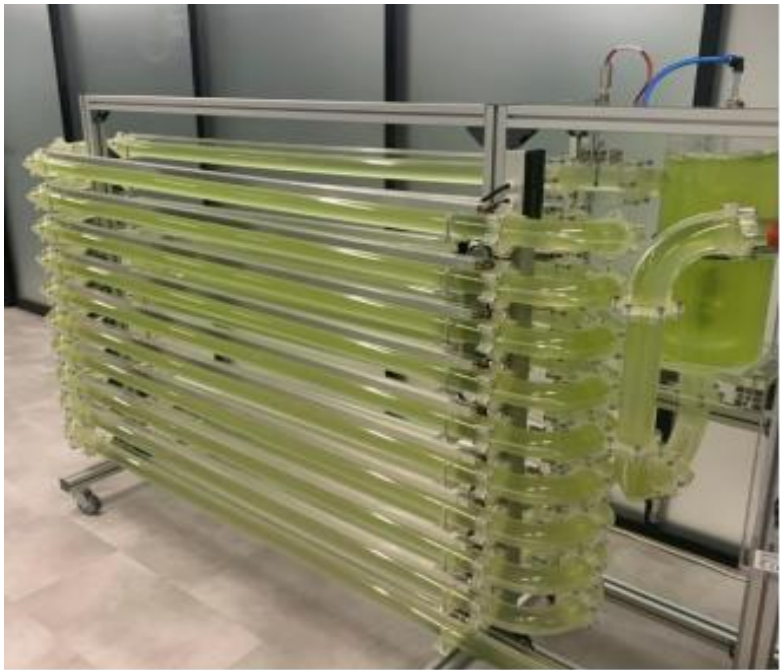
Chlorella  
10 g/L



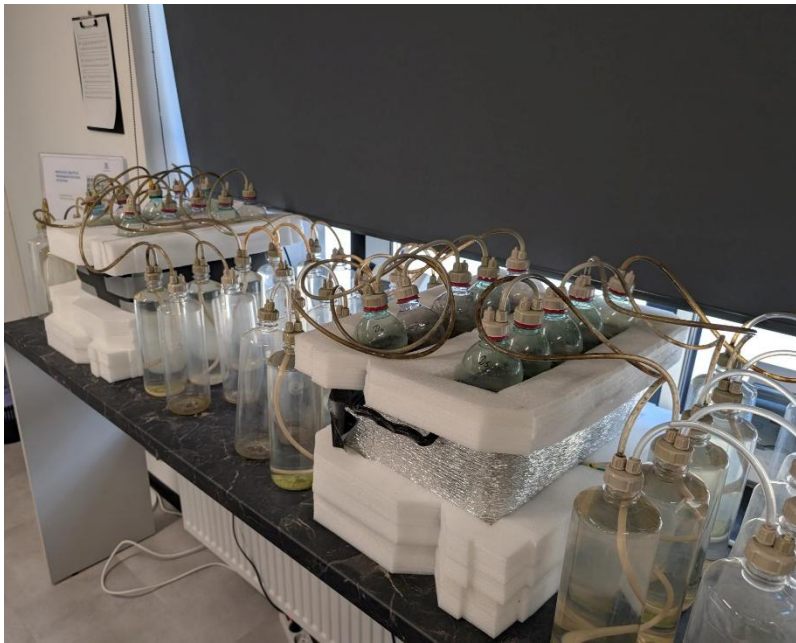
Плоский  
фотобіореактор



Трубний  
фотобіореактор



## AD БАТЧ-ТЕСТИ





# ВИСНОВКИ



- Мікроводорості перелічені в Додатку IX-A Директиви ЄС RED II як стала сировина для передового біопалива, що підлягає подвійному заліку.
- Вони пропонують високу продуктивність біомаси, уловлювання CO<sub>2</sub> та рециркуляцію поживних речовин — ідеально підходять для інтеграції з анаеробним зброджуванням, та використовують дигестат як середовище для росту.
- Спільне зброджування вологих водоростей із сухими сільськогосподарськими залишками, такими як солома (для балансування C/N), забезпечує оптимальні умови для анаеробного процесу розкладання. Оскільки виробництво біогазу шляхом мокрого бродіння не вимагає сушіння біомаси.
- Мікроводорості можуть перетворювати сонячне світло на хімічну енергію з високою ефективністю фотосинтезу (6%–8%) порівняно з наземною біомасою (1,8%–2,2%).
- В Світі та Україні вже реалізуються міжнародні проєкти, що підтверджують технічну й економічну доцільність цієї технології. Це відкриває нові можливості для розвитку зеленої енергетики, підвищення енергонезалежності та покращення екології.
- Проєкт Innovate Ukraine підкреслює, що Україна вже займається новаторськими дослідженнями щодо використання дигестату та мікроводоростей для сталого виробництва біометану у співпраці з провідними установами Великої Британії та за підтримки міжнародного фінансування.

**Дякую за увагу!**

**Гивель Мар'яна**

hyvel@secbiomass.com

<https://uabio.org/>

**UABIO**