



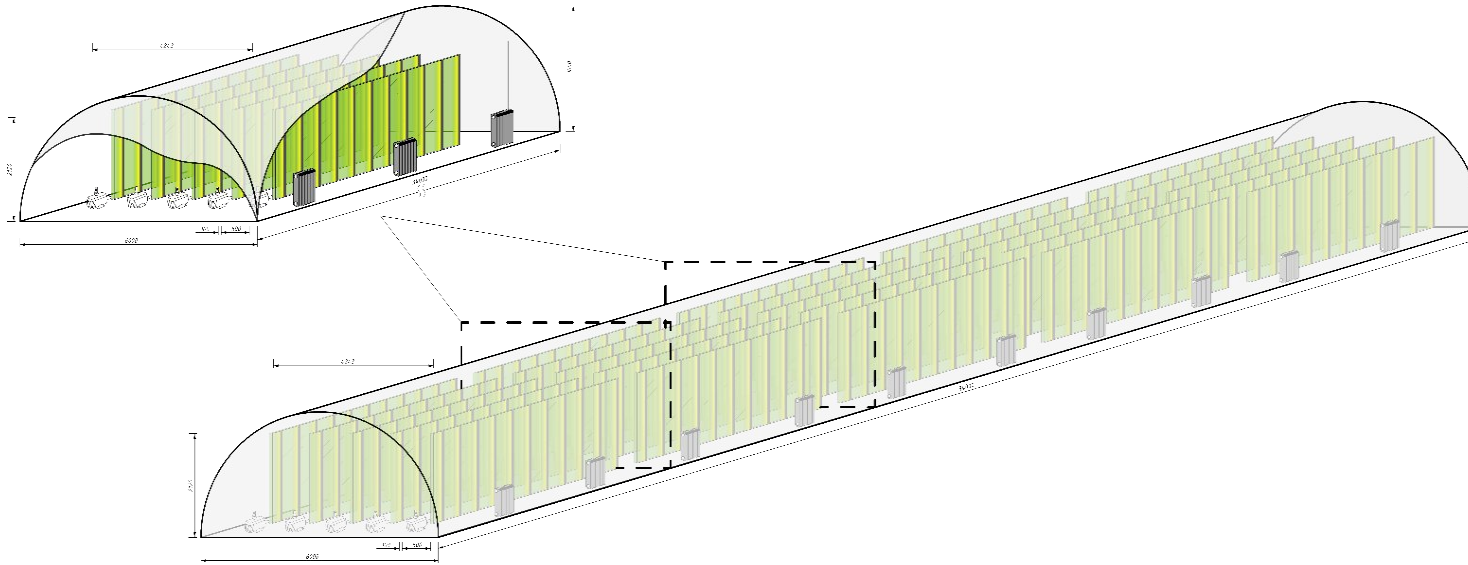
Економічні аспекти технології та
перспективи впровадження виробництва
біометану з мікроводоростей в Україні

Володимир Крамар, к.т.н.,
експерт Біоенергетичної
асоціації України

26 вересня 2025 р.

Збірна теплиця з фотобіореактором для вирощування мікроводоростей

Поперечний розріз теплиці



Джерело: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.09.005>

Фотобіореактори
типу “Green Wall
Panel-II” (GWP® -II)



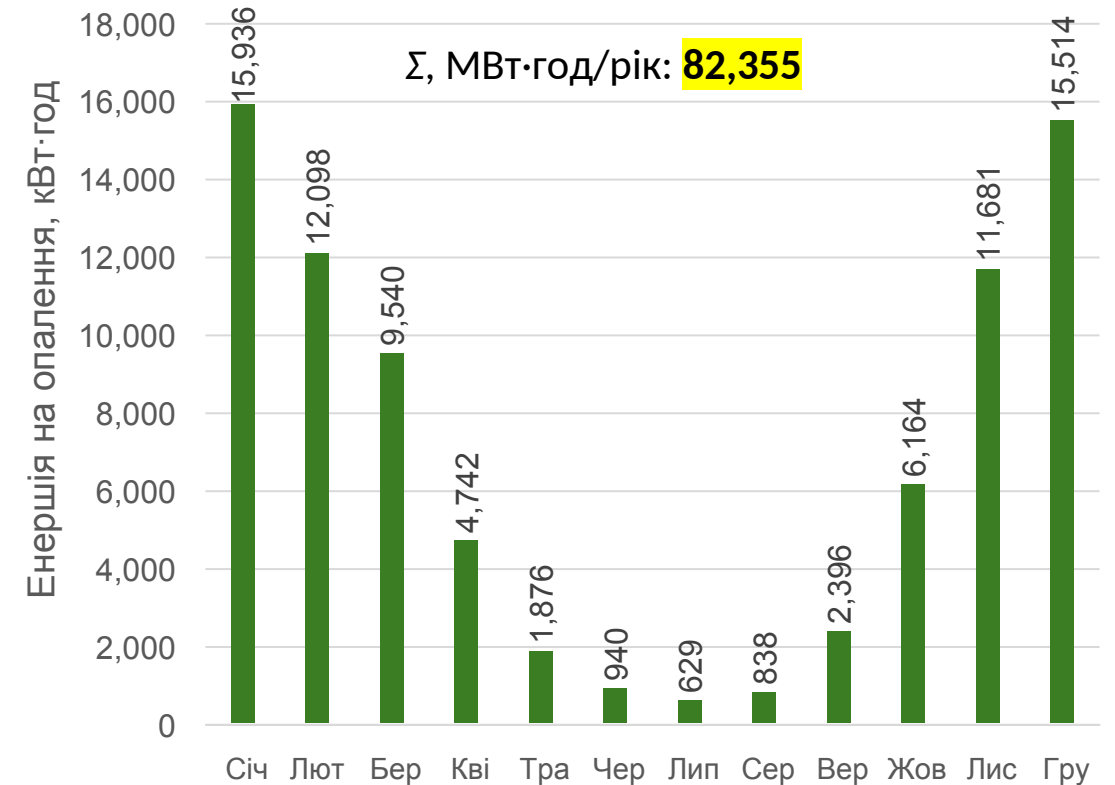
Параметри	Значення
Довжина, м	34
Ширина, м	6
Висота, м	3
Довжина секції ФБР, м	6
Кількість рядів (ФБР*+LED)	5
Відстань від ФБР до світлодіодної панелі, м	0,03
Відстань між рядами ФБР, м	0,5
Загальний об'єм ФБР у теплиці, м ³	6,4
Загальна площа ФБР у теплиці, м ²	318,20
Питома потужність штучного освітлення, Вт/м	7,2
Кількість світлодіодних стрічок на м ² ФБР, стрічок/м ²	4
Щільність потоку штучного освітлення, Вт/м ²	28,8
Поверхня освітлення ФБР на ряд, м ²	63,64
Потужність освітлення на ряд, Вт	1833
Потужність освітлення на теплицю, кВт	9,2
* ФБР - фотобіореактор	

Потреби в енергії для вирощування мікроводоростей (1 теплиця)

Потреби в електричній енергії

Сезон (середній день середнього місяця)	Споживання е/е на штучне освітлення, кВт·год/кг	Сумарна питома потреба в електроенергії, кВт·год/кг	Повне споживання е/е на культивування, МВт·год
Літо (15 липня)	0,14	2,92	1,67
Осінь (15 жовтня)	4,41	7,20	4,10
Зима (15 січня)	6,28	9,06	5,12
Весна (15 квітня)	2,14	4,93	2,82
Середньорічне	3,24	6,03	3,43
Сума за рік	-	-	13,72

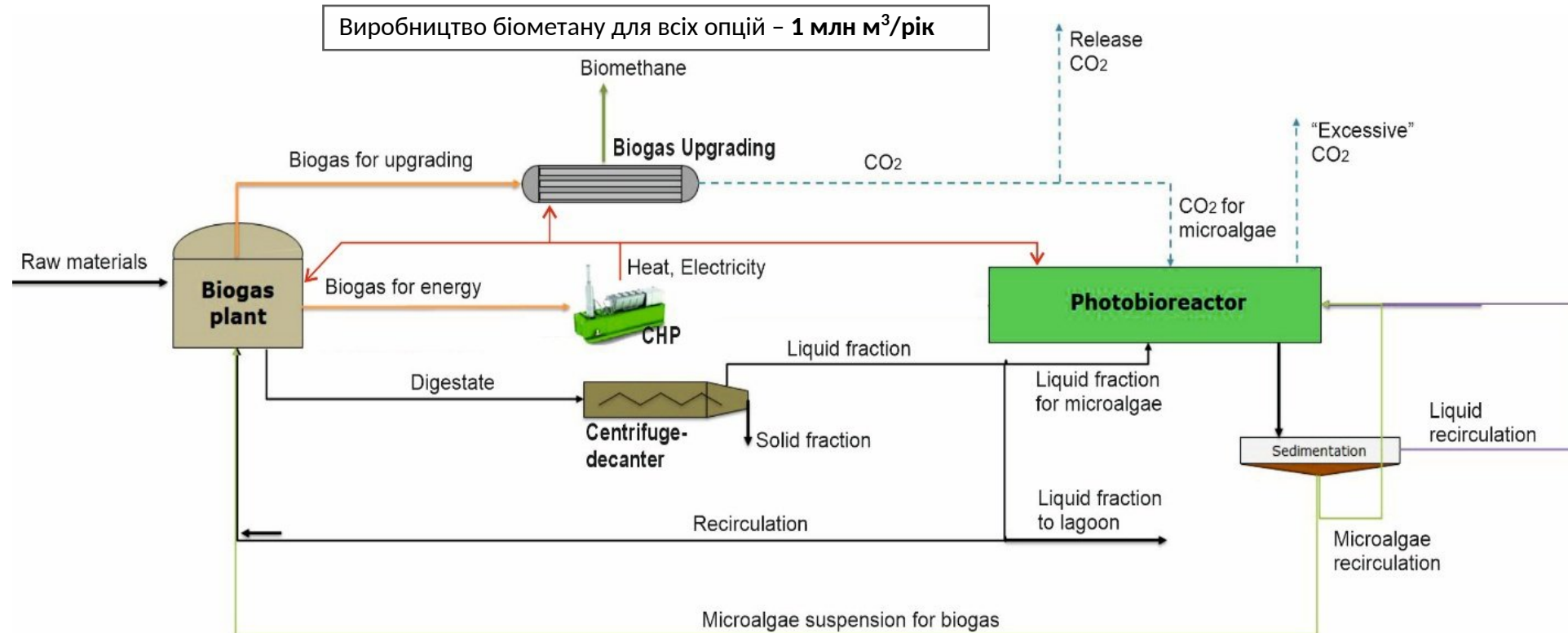
Потреби в тепловій енергії



Основні припущення

Сировина	% сухих речовин	Вихід біометану, м ³ CH ₄ /т	С, % СР	Н, % СР	Вміст CH ₄ в біогазі, %	CO ₂ , %	Вихід біогазу, м ³ /т
Солома	85	195,00	45,00	0,50	55%	45%	354,55
Курачий послід	32	76,00	36	5,30	55%	45%	138,18
Мікрроводорості	2,203%-Змінна	7,79	40	8,00	55%	45%	14,16

Загальна схема інтеграції вирощування мікрроводоростей та виробництва біогазу/біометану



Опція 1. Вирощування зі штучним освітленням цілий рік. Максимальне використання CO₂ від станції збагачення біогазу.

Основні показники вирощування мікроводоростей

Показник	Значення
Обсяг вловленого CO ₂ , доступного для вирощування мікроводоростей, т/рік	1 418
Необхідна кількість CO ₂ для вирощування 1 кг СР мікроводоростей, кг	1,8
Ефективність утилізації CO ₂ мікроводоростями, %	80%
Плановий обсяг вирощування мікроводоростей, т СР/рік	630,1
Продуктивність однієї теплиці по вирощуванню водоростей, т СР/рік	2,3
Необхідна к-ть теплиць, шт	276
Необхідна площа для розміщення теплиць, га	7,7
Загальний об'єм фотобіореакторів, м3	1 756
Вміст СР в суспензії, що виходить з фотобіореактора, %	0,22%
Загальний вихід суспензії з фотобіореакторів, т/рік	315 064
Те ж, т/день	863
Те ж, м3/год	36
Загальний вихід мікроводоростей (2,203 %СР) з седиментатора, т/рік	28 603

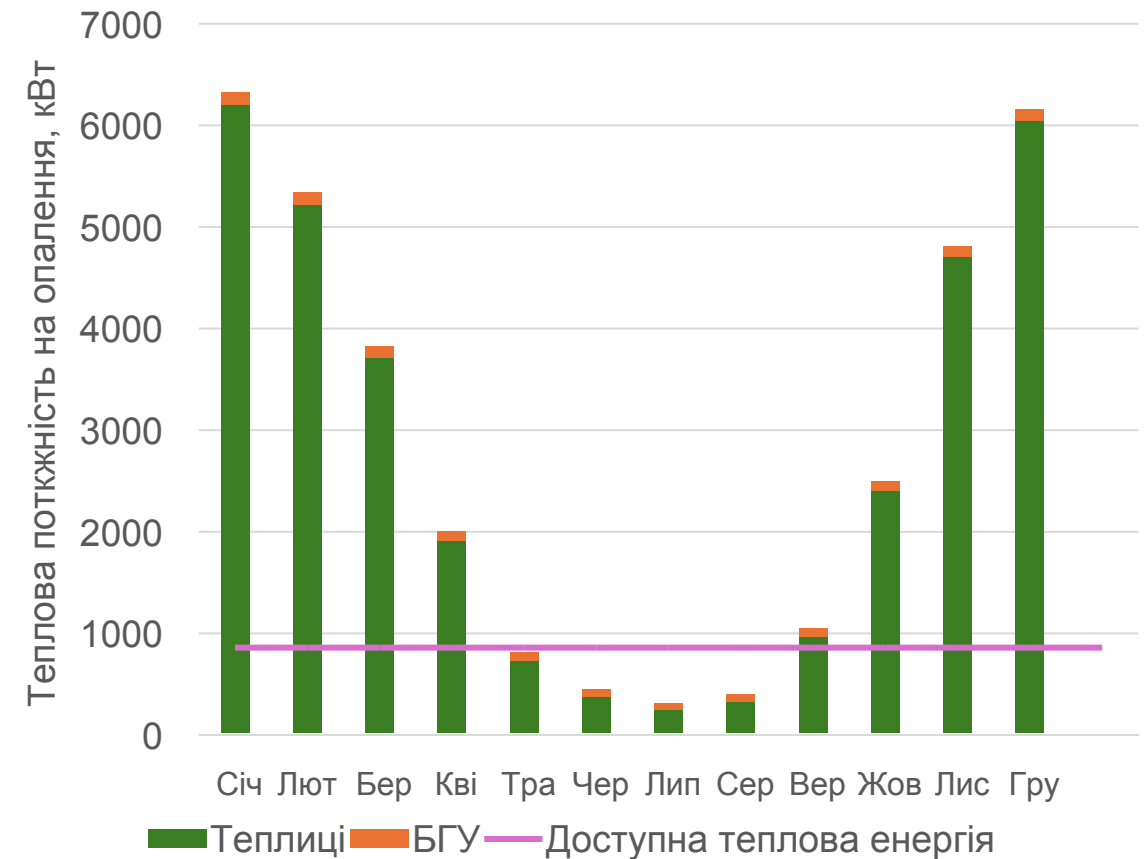
Споживання електроенергії всім виробничим комплексом

Споживач	Споживана потужність, кВт	Частка, %
Підготовка сировини (солома, стебла)	43,3	6%
Біогазова установка+декантер	90,5	13%
Котельня	26,6	4%
Збагачення біогазу	69,1	10%
Компресор для закачування біометану в газову мережу	11,0	2%
Власні потреби КГУ	7,2	1%
Вирощування мікроводоростей (середньорічне значення)	442,6	64%
ВСЬОГО	690,3	100%

Опція 1. Енергетичні баланси

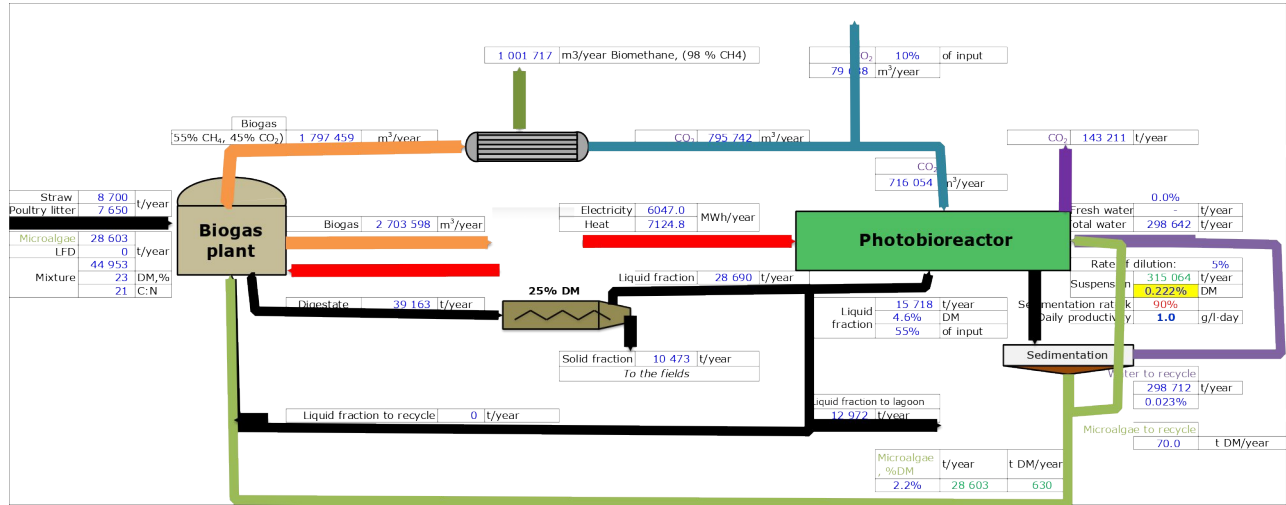
БАЛАНС ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	
Необхідно на обігрів БГУ та теплиць для вирощування мікродоростей, МВт•год/рік	25 586
Необхідність подачі теплової енергії на установку збагачення біогазу, МВт•год/рік	0
Утилізація теплоти від збагачення біогазу, МВт•год/рік	303
Утилізація теплоти від КГУ, МВт•год/рік	7 125
Утилізація теплоти від рідкої фракції дигестату, МВт•год/рік	106
Баланс ("+"-надлишок, "-" - нестача), МВт•год/рік	-18 053
Баланс ("+"-надлишок, "-" - нестача), кВт	-2 061
БАЛАНС ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В/П	
Загальне необхідне споживання, МВт•год/рік	6 047
Корисне виробництво від КГУ, МВт•год/рік	6 047
Баланс ("+"-надлишок, "-" - нестача), МВт•год/рік	0

Споживання теплової енергії всім виробничим комплексом



Опція 1. Енергетичний баланс вирощування мікрроводоростей

Вид сировини	Витрата, т/рік	Потенціал виходу CH ₄ , тис. м ³	Частка потенціалу біометану, %	Вміст метану в біогазі, %	Вироблено біогазу, м ³
Мікрроводорості	28603	222 687	8,9%	55,0%	404 886
Курячий послід	7650	581 400	23,3%	55,0%	1 057 091
Солома зернових	8700	1 696 500	67,8%	55,0%	3 084 545
ВСЬОГО за всіма видами сировини:	44 953	2 500 587	100%	55,0%	4 546 522



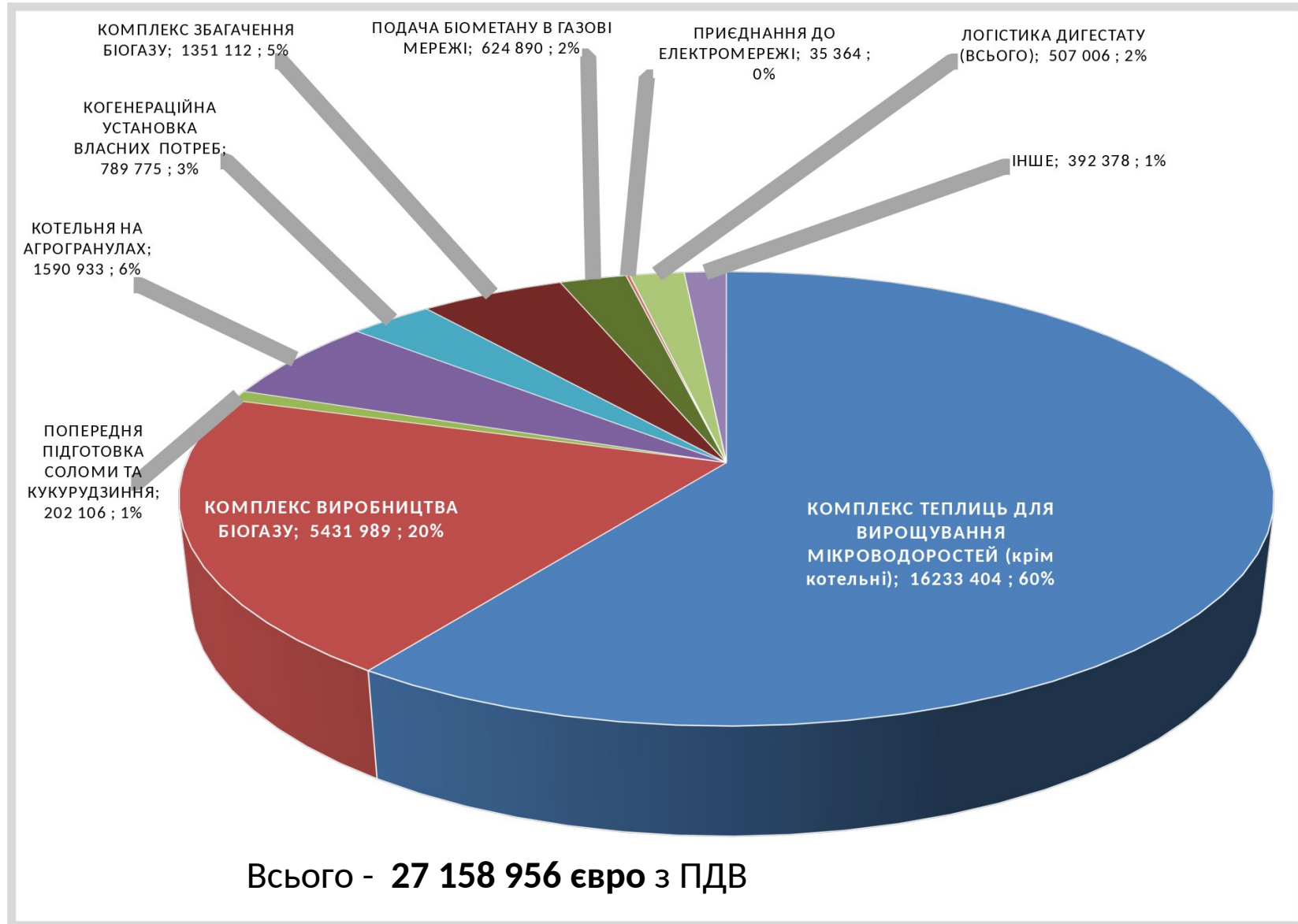
Показник	Значення
Отримали мікрроводоростей, т СР/рік	630,12
Питомий вихід метану при зброджуванні мікрроводоростей, м ³ CH ₄ /т СОР	380
Вміст СОР, %СР	93%
Можемо отримати метану з вирощених мікрроводоростей, нм ³ /рік	222 684
Нижча теплота згоряння метану, МДж/м ³	35,80
Енергія в метані, кВт·год/рік	2 214 473
Потреба в тепловій енергії на вирощування, кВт·год/рік	22 730 009
Потреба в електричній енергії на вирощування, кВт·год/рік	3 877 093
Всього потреба в енергії на вирощування, кВт·год/рік	26 607 102
Відношення енергії, необхідної для вирощування, до потенційної енергії в метані	12,0

Опція 1. Вирощування мікроводоростей- CAPEX, OPEX

CAPEX	Ціна, євро з ПДВ
ВСЬОГО теплиця	4 280
Фотобіореактор в зібраному вигляді	25 124
Труби, фітінги, запірна арматура	2 512
Електричні роботи та обладнання, вимірювальні прилади (крім освітлення)	622
Вартість LED світильників	9 164
Вартість насосного обладнання контуру фотобіореактора	1 020
Вартість насосного обладнання контуру опалення	1 020
Вартість опалювальних приборів	7 368
Обладнання для подачі та дозування CO2	2 197
Монтаж всього комплексу внутрішнього обладнання теплиці, включаючи додаткові матеріали	2 328
ВСЬОГО обладнання 1 теплиці	55 635
Задіяна кількість теплиць, шт	
ВСЬОГО обладнання для 276 теплиць	15 355 326
Загальні додаткові витрати:	
Декантер (Центрифуга)	261 000
Насоси подачі на центрифугу/декантер	8 845
Збірники технологічні	58 548
Монтаж комплексу відділення продукту	32 839
Котельня (опалення теплиць)	1 144 675
+ трубна розводка теплоносія по теплицям	367 104
Всього будівлі та обладнання	17 228 338
Загальний інжиніринг, проектування, авторський нагляд, пусконаладження	516 850
ВСЬОГО ВИТРАТ	17 745 188

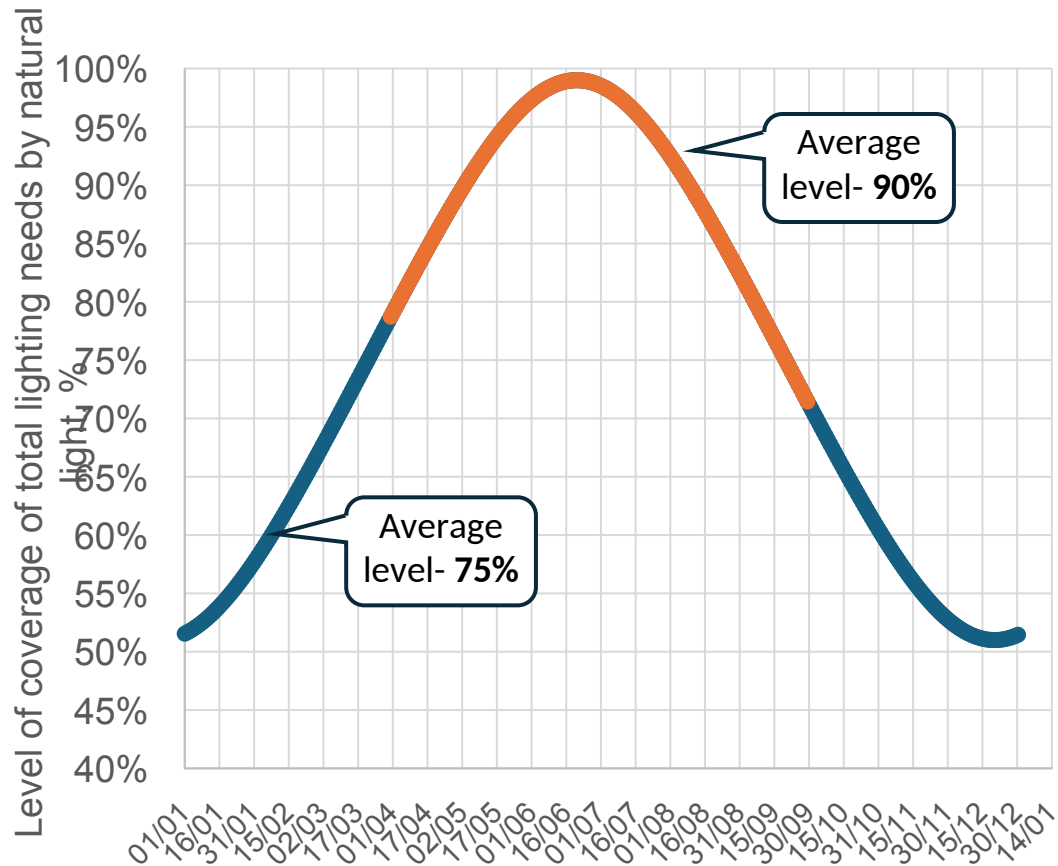
OPEX	Вартість, євро/рік з ПДВ	Частка, %
Вода	24 865	0,9%
CO2	0	0,0%
Витрати електроенергії на:		
освітлення	403 819	15,0%
циркуляцію	349 347	13,0%
перекачування субстратів з/на декантер	6 716	0,3%
Речовини для підживлення		
Азот	0	0,0%
Фосфор	0	0,0%
Калій	0	0,0%
Оплата праці	72 796	2,7%
Обслуговування та ремонт обладнання	14 277	0,5%
Витрати на опалення теплиць	557 608	20,8%
Непередбачувані витрати	71 471	2,7%
ВСЬОГО	1 500 901	55,9%
Амортизація	1 182 995	44,1%
ВСЬОГО З АМОРТИЗАЦІЄЮ	2 683 896	100,0%
Собівартість мікроводоростей, євро/т СР	4 259	
євро/кг СР	4,26	

Опція 1. CAPEX всього виробничого комплексу



Можливості економії енергії

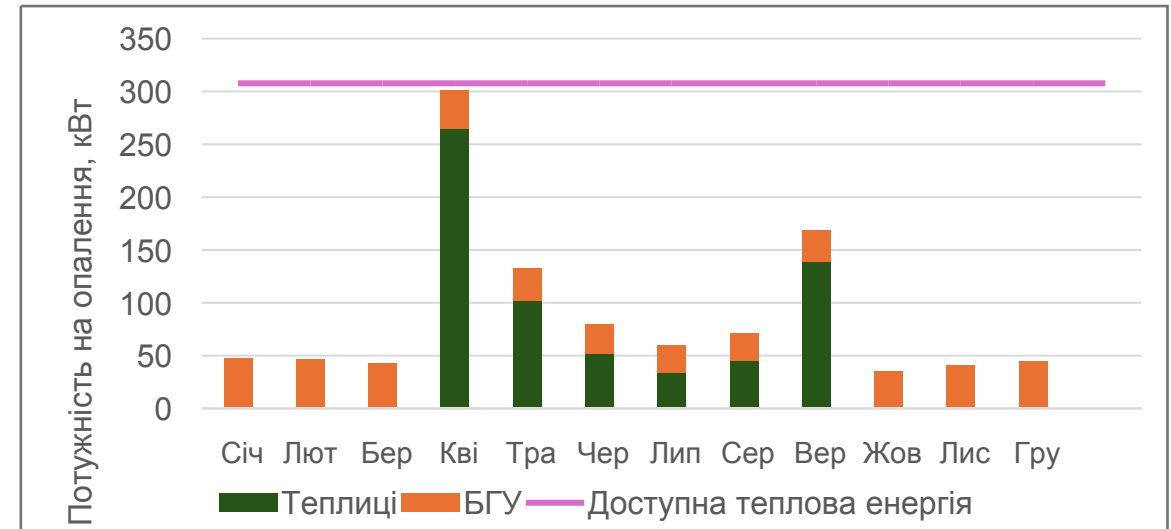
Середній рівень покриття природним освітленням загальної потреби в освітленні за цілий рік (синя крива) та за півроку з квітня по вересень (червона лінія)



Можлива економія на опаленні – вирощування в теплу пору року



Приведення у відповідність до доступних обсягів тепла



Опції інтеграції вирощування мікрородоростей та виробництва біометану

ОПЦІЇ:	1	2	3	4	5
Спосіб опалення	Котельня		Загальна КГУ (вторинне тепло)		
Режим вирощування	З ШО*, цілий рік	Без ШО, півроку	Без ШО, півроку		З ШО, цілий рік
Базова продуктивність вирощування мікрородоростей, г/л/добу (по сухій речовині)	1,0	1,0	1,0	5,0	5,0
Продуктивність вирощування мікрородоростей, скоригована на умови вирощування, г/л/добу (по сухій речовині)	0,98	0,86	0,86	4,32	4,91
Тривалість вирощування діб/рік	365	183	183	183	365
Припущення щодо необхідної кількості вирощування мікрородоростей	Кількість достатня для утилізації всього CO2	Кількість, що може бути вирощена в тих же теплицях	Кількість, що не потребує окремої котельні для опалення теплиць, а може бути вирощена при теплозабезпеченні від КГУ та інших джерел вторинної теплоти від біометанового заводу		
* ШО- штучне освітлення					

Виробництво біометану для всіх опцій – **1 млн м³/рік**

Основні результати розрахунків для п'яти опцій

ОПЦІЯ	1	2	3	4	5
Спосіб опалення	Котельня		Загальна КГУ (вторинне тепло)		
Режим вирощування	3 ШО, цілий рік	Без ШО, півроку	Без ШО, півроку		3 ШО, цілий рік
Приріст мікродоростей, г _{ср} /л/добу:	0,98	0,86	0,86	4,32	4,91
Тривалість вирощування діб/рік	365	183	183	183	365
Отримано мікродоростей у вигляді суспензії, т ср/рік:	630,12	277	37	186	103
Задіяно теплиць для вирощування, шт	276	276	37	37	9
Баланс витраченої та отриманої енергії при використанні мікродоростей	12,02	4,29	4,28	0,86	2,40
Частка мікродоростей у виробництві біогазу, %	8,9%	6,0%	0,9%	4,6%	2,6%
Частка CO ₂ , що використовується для культивування мікродоростей, % від тієї, що утворюється під час збагачення біогазу:					
- включаючи неабсорбований:	90,0%	39,7%	5,3%	26,6%	14,7%
- лише абсорбований мікродоростями:	72,0%	31,8%	4,3%	21,3%	11,7%

Основні результати розрахунків для п'яти опцій

ОПЦІЯ	1		2		3		4		5	
Статті витрат	частки, %	Те ж, євро/т СР	частки, %	Те ж, євро/т СР	частки, %	Те ж, євро/т СР	частки, %	Те ж, євро/т СР	частки, %	Те ж, євро/т СР
Вода	0,9%	39	1,0%	45	1,0%	45	1,0%	9	1,0%	8
CO2	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Витрати електроенергії на: освітлення	15,0%	641	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	16,2%	128
Витрати електроенергії на: циркуляцію	13,0%	554	14,1%	630	14,6%	630	14,1%	126	14,0%	111
Витрати електроенергії на: перекачування субстратів з/на декантер	0,3%	11	0,2%	11	0,4%	16	0,6%	5	1,0%	8
Речовини для підживлення	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Оплата праці	2,7%	116	2,9%	132	3,8%	163	3,7%	33	7,5%	59
Обслуговування та ремонт обладнання	0,5%	23	0,4%	20	0,5%	20	0,5%	4	0,7%	6
Опалення теплиць	20,8%	885	6,5%	292	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Витрати на охолодження теплиць	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0
Непередбачувані витрати	2,7%	113	1,3%	56	1,0%	44	1,0%	9	2,0%	16
Амортизація	44,1%	1 877	73,4%	3 280	78,7%	3 387	79,1%	705	57,6%	456
Всього	100,0%	4 259	100,0%	4 465	100,0%	4 306	100,0%	891	100,0%	791
Собівартість мікрроводоростей (у вигляді суспензії):	Євро/кг СР	Євро/т СР	Євро/кг СР	Євро/т СР	Євро/кг СР	Євро/т СР	Євро/кг СР	Євро/т СР	Євро/кг СР	Євро/т СР
З урахуванням амортизації	4,26	4 259	4,47	4 465	4,31	4 306	0,89	891	0,79	791
Без урахування амортизації	2,38	2 382	1,19	1 186	0,92	919	0,19	186	0,34	335

ВИСНОВКИ

1. Орієнтація на максимальне поглинання CO₂, що утворюється при збагаченні біогазу, шляхом вирощування мікроводоростей потребує отримувати стільки мікроводоростей, що енергетичні потреби такого вирощування не можна забезпечити за рахунок тепла когенераційної установки чи інших теплових вторинних ресурсів комплексу з виробництва біометану.
2. Отримання біометану з мікроводоростей методом анаеробного зброджування, принаймні за прийнятими припущеннями, є енергодефіцитним, тобто енергія в отриманому біометані не покриває енергетичних витрат на вирощування мікроводоростей. Єдиним виключенням є Опція 4, де поєднано **високу базову інтенсивність вирощування мікроводоростей та максимальну економію використання енергії**.
3. Таким чином, енергетично доцільне вирощування мікроводоростей для виробництва біометану можливе за умови їх вирощування в **теплу половину року без застосування штучного освітлення** за умови високої базової продуктивності вирощування (**5 г/л/добу і вище**).
4. Виходячи з собівартості отриманих мікроводоростей (**790-4300 євро/т СР**) видається сумнівною доцільність їх використання для виробництва біометану за поточної ринкової ситуації щодо цін на біометан, навіть в «найдешевших» опціях 4 і 5. Проте, така собівартість дозволяє розглядати ці мікроводорості **як сировину для інших застосувань** (корми, протеїни, косметичні засоби, тощо).
5. Резерви покращення енергетичного балансу та зменшення собівартості мікроводоростей полягають у **зменшенні капітальних витрат**, оскільки амортизаційні нарахування становлять для різних розглянутих опцій від 44% до 78% собівартості.
6. Також важливим є **максимальне використання природного сонячного освітлення та опалення за рахунок вторинних теплових ресурсів**.
7. Резервом економії є також **зменшення потреби в опаленні**. Порівняно з розглянутими опціями, більш перспективним з теплотехнічної точки зору є використання загальних тепличних приміщень на всю кількість задіяних фотобіореакторів, що дозволило б зменшити площу огороджуючих поверхонь, через які йде втрата теплоти.
8. Значним резервом покращення енергетичного балансу та зменшення собівартості є **підвищення продуктивності вирощування мікроводоростей в перерахунку на одиницю площі чи об'єму фотобіореакторів**, що потребує подальших технологічних вдосконалень режимів вирощування та застосування більш продуктивних штамів мікроводоростей.

Дякую за
увагу!

UABIO

Біоенергетична асоціація
України
uabio.org

Володимир Крамар, к.т.н.,
експерт Біоенергетичної
асоціації України,
kramar@secbiomass.com