



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Використання біогазу та біометану в енергетичних системах

Юрій Матвеев

Біоенергетична асоціація України,
Член експертної ради, к.ф.м.н.

10/11/2023

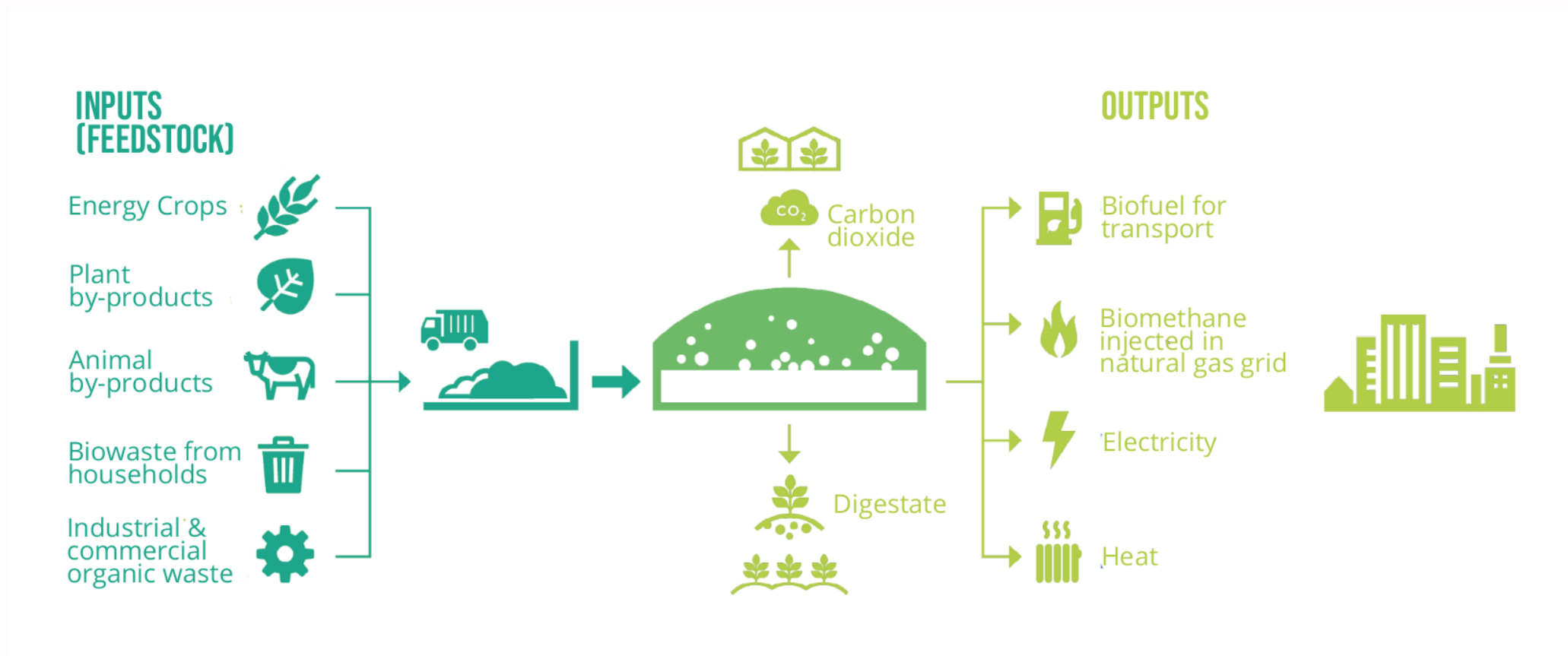


Зміст

- 01** Можливості використання біогазу/
біометану
- 02** Виробництво та використання біогазу/
біометану в ЄС
- 03** Біогаз для виробництва електроенергії
(електроенергії та тепла)
- 04** Біогаз для виробництва тепла
- 05** Особливості використання біометану
- 06** Використання біометану на транспорті

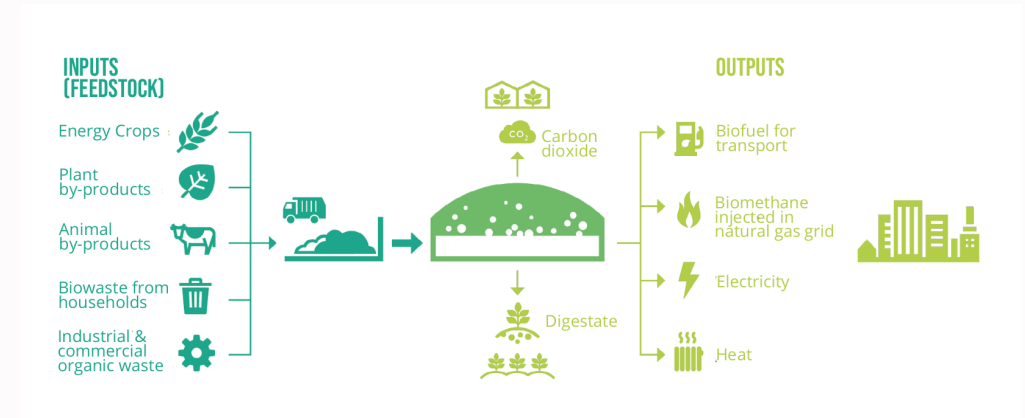


Загальна технологія виробництва біогазу



Можливості використання біогазу/ біометану

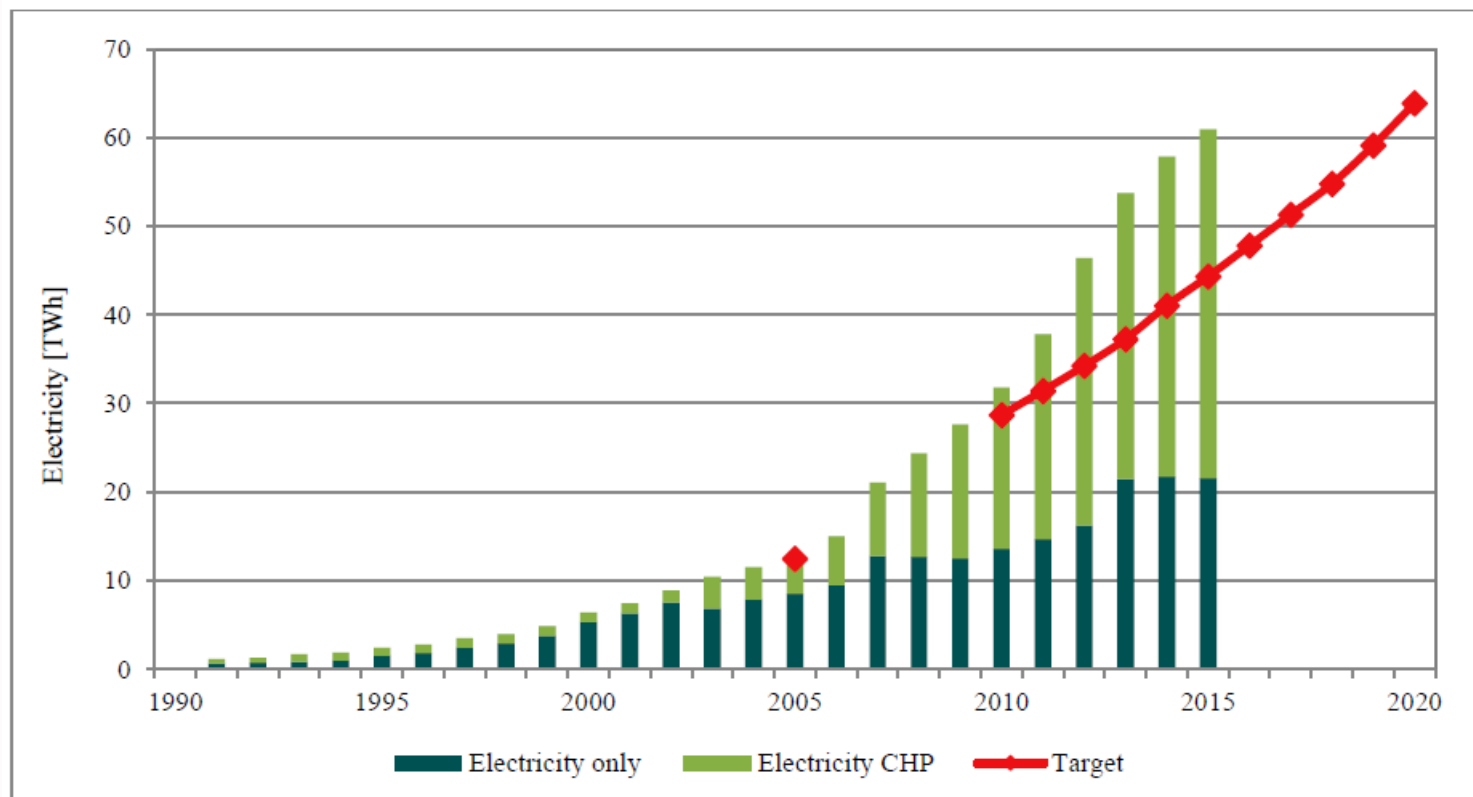
- **Виробництво електроенергії /тепла:** газові двигуни внутрішнього згоряння (газові двигуни Отто, дизельні двигуни з пілотним упорскуванням), газові турбіни та мікротурбіни, паливні елементи, ORC (цикл Ренкіна), двигуни Стірлінга
- **Виробництво/використання тепла /опалення:** в біогазових пальниках, котлах, газових плитах
- **Сушка:** деревини (паливна деревина, будівельна деревина), зернових та промислових продуктів у різних типах сушарок
- **Охолодження:** в абсорбційних чиллерах
- **Моторне паливо:** транспортні засоби, що працюють на стисненому або зрідженого біометані
- **Замінник природного газу:** збагачення до біометану з подальшим закачуванням у мережу природного газу
- **Зберігання енергії:** у спеціальних системах зберігання біогазу (низького та високого тиску), або як біометан у мережі природного газу, щоб збалансувати електричне та теплове навантаження





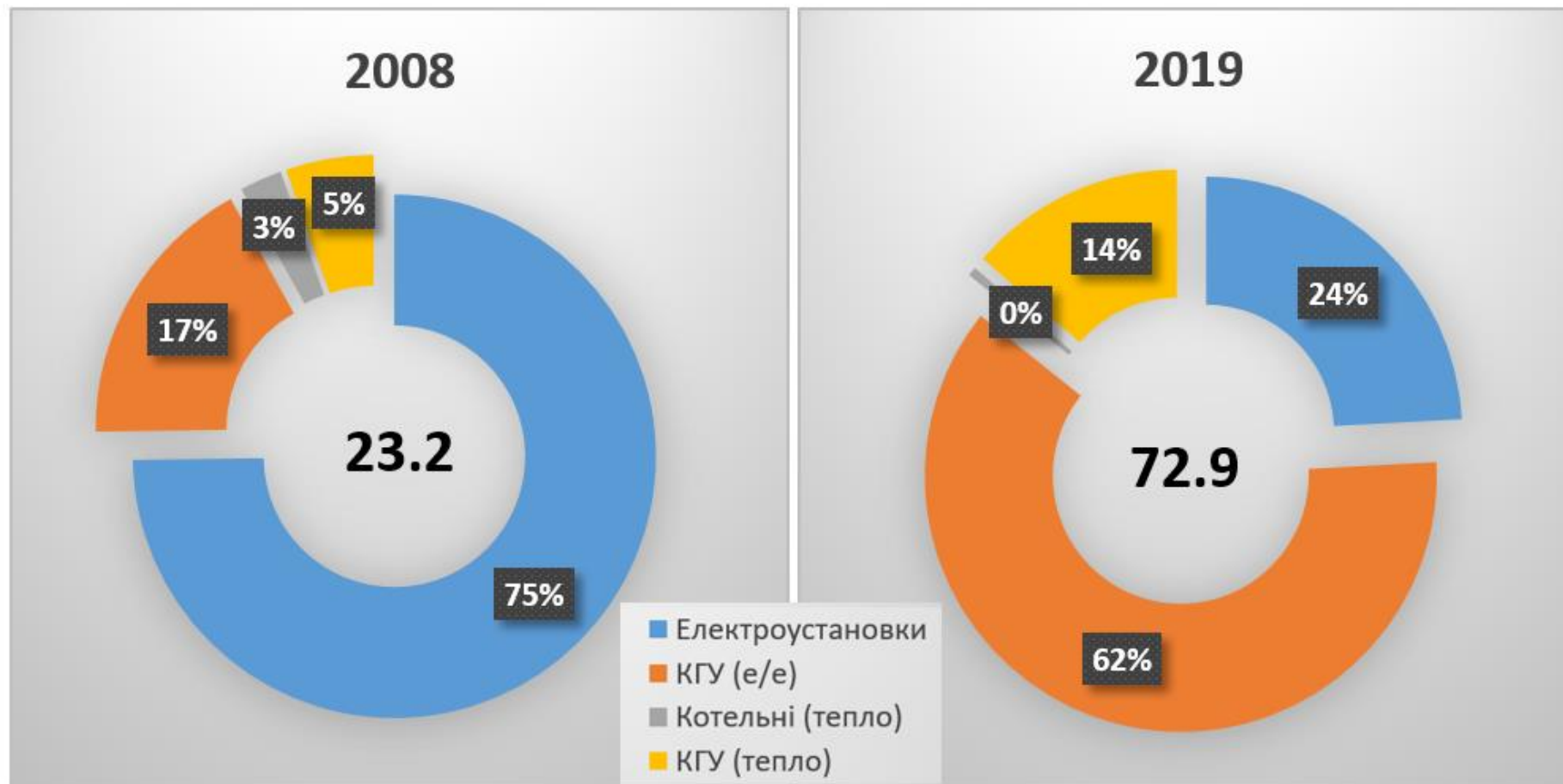
Виробництво та використання біогазу/біометану в ЄС

Виробництво електроенергії з біогазу в ЄС



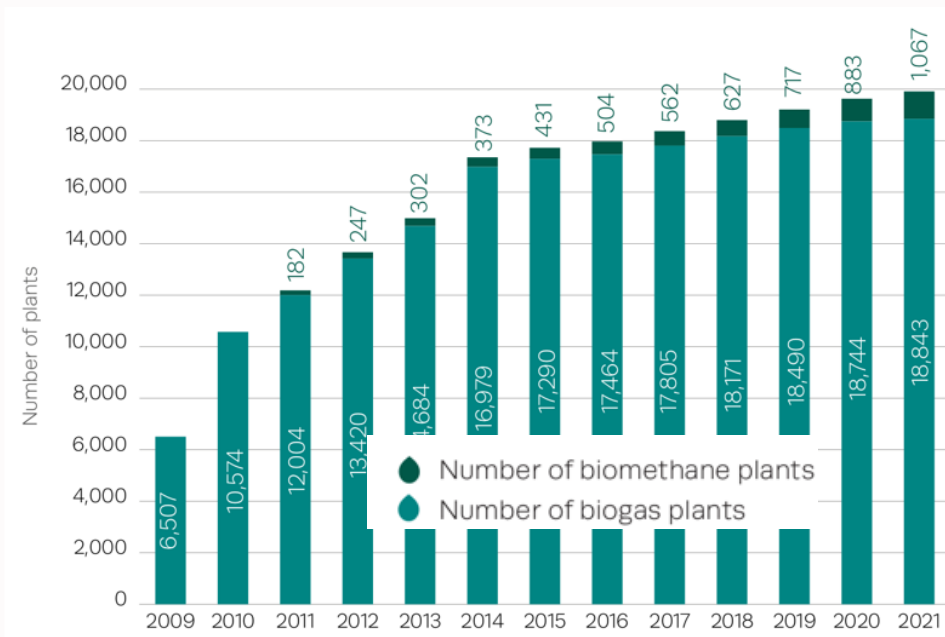
- Відмова від використання електроустановок на біогазі за рахунок широкого впровадження спільного виробництва тепла та електроенергії (КГУ)

Виробництво тепла та електроенергії з біогазу в ЄС (ТВт·год)



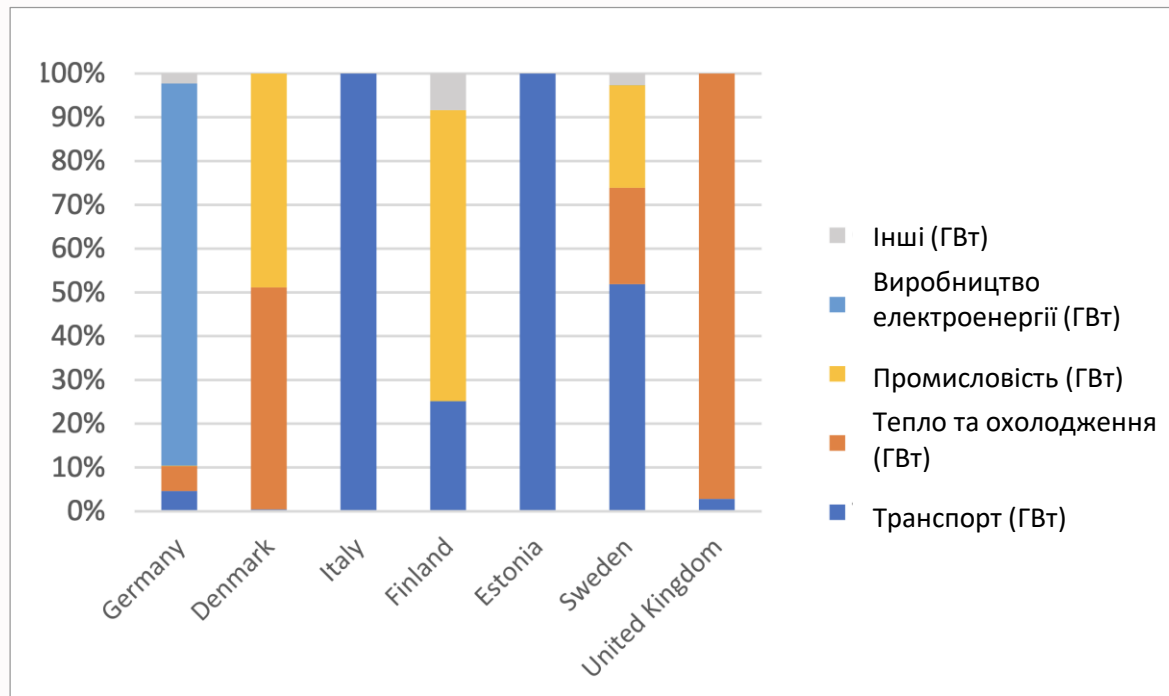
- Відмова від використання електроустановок та котлів на біогазі за рахунок широкого впровадження спільного виробництва тепла та електроенергії

Виробництво біогазу та біометану в ЄС



- В 2021 році: 18 843 біогазових та 1 067 біометанових установок
- Середні значення виробництва енергії: біогаз – 8 ГВт·год/рік, біометан - 35 ГВт·год/рік
- Сукупне виробництво біогазу та біометану = 196 ТВт·год енергії (становить 4.5% споживання природного газу в ЄС в 2021 році)
- Перехід від базисно-орієнтовної до маневреної електрогенерації та виробництва біометану

Споживання біометану в країнах ЄС



Результати проекту
Regatrace (2020)

- Використання біометану як моторного палива на транспорті (Швеція, Естонія, Фінляндія, Італія)
- Використання біометану для виробництва тепла (Великобританія, Данія)
- Використання в промисловості (Данія, Фінляндія)
- Виробництво електроенергії (Німеччина)



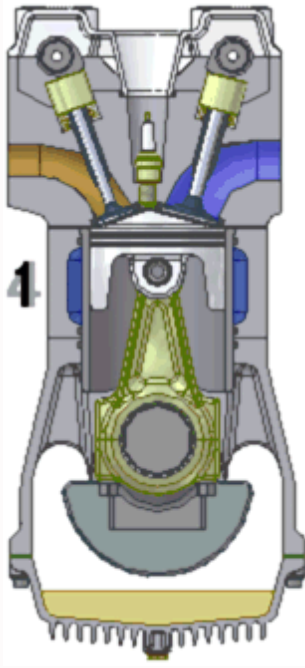
Біогаз для виробництва електроенергії (електроенергії та тепла)



Виробництво електроенергії з біогазу

- Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)
- Виробництво електроенергії з біогазу в Україні
- Мікротурбіни
- Паливні елементи (комірки)
- Органічний цикл Ренкіна (ORC)
- Двигуни Стірлінга

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)



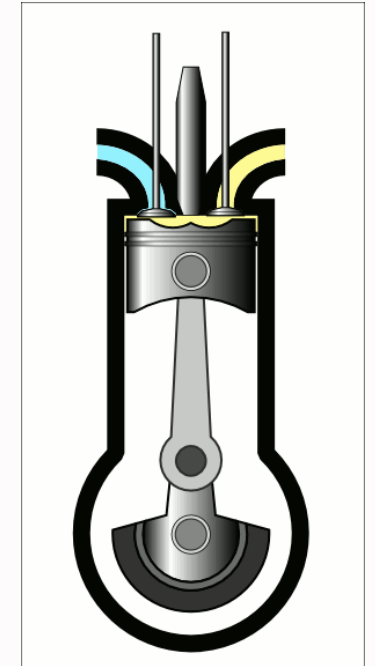
Принцип роботи чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння.

Такти:

1. Впуск.
2. Стиснення.
3. Робочий хід.
4. Випуск

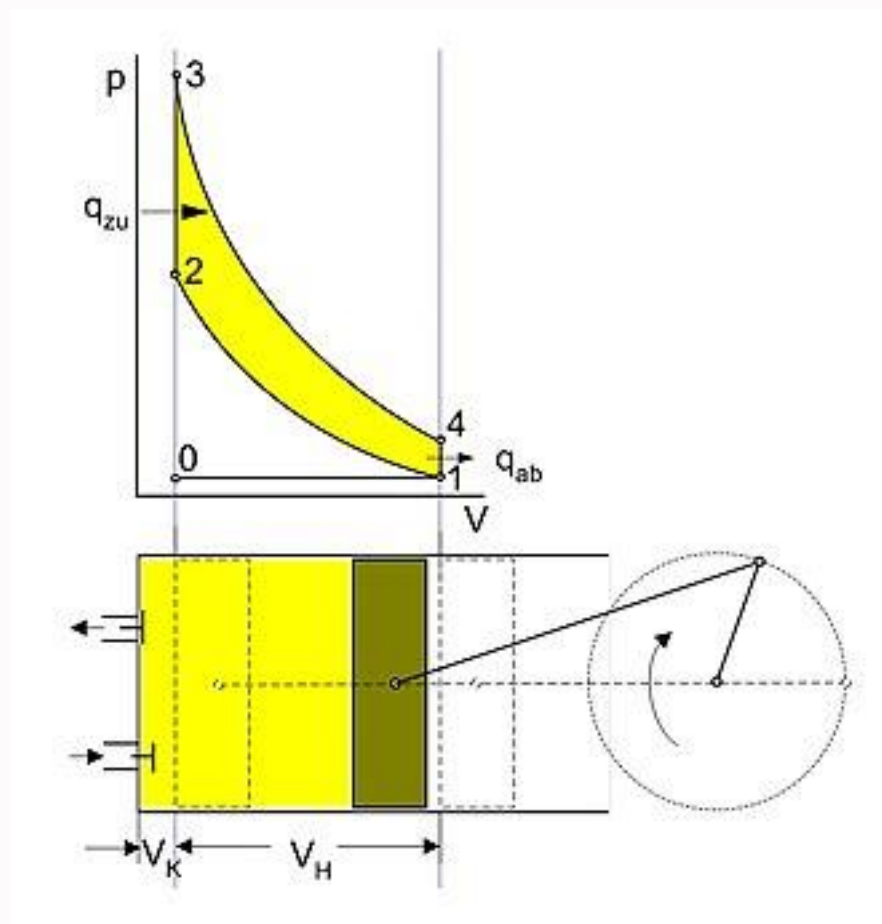
ДВЗ - різновид теплового двигуна, в якому паливна суміш згорає безпосередньо в робочій камері (*всередині*) двигуна.

Серед різноманітних конструкцій ДВЗ найчастіше зустрічаються [дизельні](#), інжекторні (з моно- чи розподілим впорскуванням) та [карбюраторні](#)



Робота 4-тактного дизельного двигуна. Клапани: ліворуч — впуск повітря; праворуч — вихлопні гази.

ДВЗ – термодинамічний цикл Отто



PV-діаграма циклу Отто та її зв'язок із положеннями поршня

- Цикл Отто - ідеалізований термодинамічний цикл, на якому ґрунтується робота чотиритактного двигуна внутрішнього згорання поршневого типу. Цикл складається із двох адіабатичних та двох ізохоричних процесів.
- Максимальний коефіцієнт корисної дії циклу Отто визначається формулою:

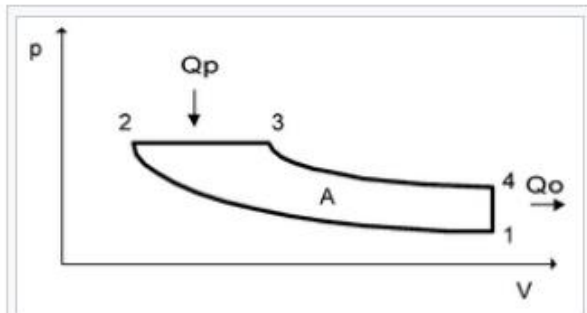
$$\eta = 1 - (1/r^{(1-\gamma)}),$$

Де r — ступінь стиску;

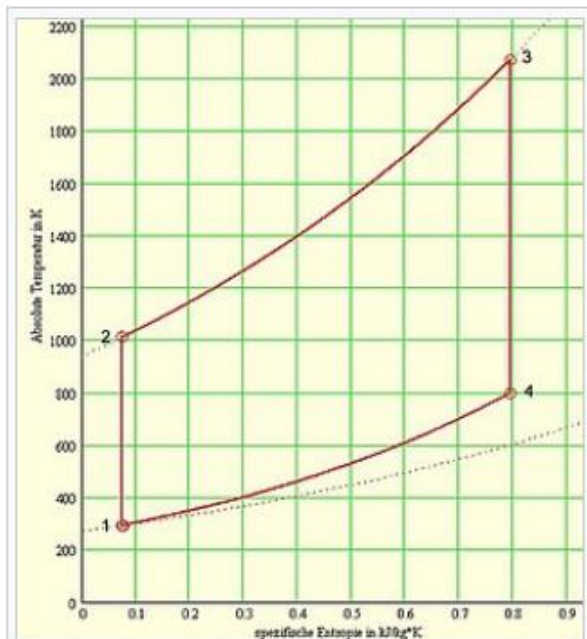
$\gamma = c_P/c_V$ — показник адіабати

(c_P та c_V — теплоємності газу при постійному тиску й при постійній температурі, відповідно)

ДВЗ - термодинамічний цикл Дізеля



p-V діаграма циклу Дізеля



T-s діаграма циклу Дізеля

○ Цикл Дізеля ([англ. Diesel cycle](#)) — [термодинамічний цикл](#), що описує робочий процес [двигуна внутрішнього згоряння](#) із займанням пального, що впорскується від нагрівання робочого тіла (цикл [дизельного двигуна](#)).

- Ідеальний цикл Дізеля складається з чотирьох процесів:
- 1—2 [адіабатичне стиснення](#) робочого тіла;
- 2—3 [ізобаричне](#) підведення теплоти до робочого тіла;
- 3—4 адіабатичне розширення робочого тіла;
- 4—1 [ізохоричне](#) охолодження робочого тіла.
- [ККД](#) циклу Дізеля:

$$\eta = 1 - \frac{1}{k} \left(\frac{m^k - 1}{m - 1} \right) \frac{1}{n^{k-1}},$$

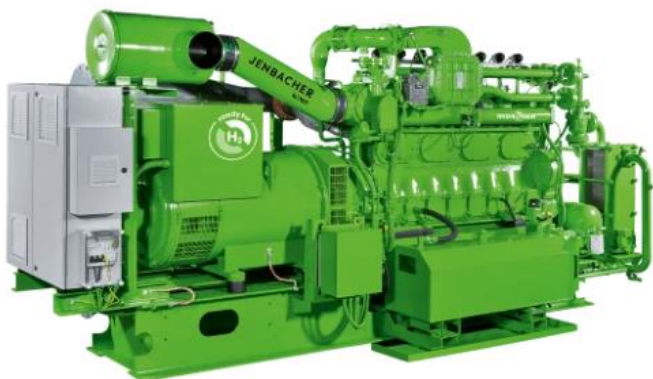
де $n = V_1/V_2$ — [ступінь стиску](#);

$m = V_3/V_2$ — коефіцієнт попереднього розширення;

k — [показник адіабати](#).

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)

JENBACHER TYPE 2: J208



Electrical Output > 249 – 330 kW
Thermal Output > 266 – 409 kW
Voltage > 400V, 6.3kV, 10.5kV
Electrical Efficiency > up to 39.1 %
Thermal Efficiency > up to 52 %

JENBACHER TYPE 3



Electrical Output > 472 – 1,067 kW
Thermal Output > 530 – 1,311 kW
Voltage > 400V, 6.3kV, 10.5kV
Electrical Efficiency > up to 43.3 %
Thermal Efficiency > up to 49.9 %

JENBACHER TYPE 4



Electrical Output > 749 – 1,562 kW
Thermal Output > 750 – 1,906 kW
Voltage > 400V, 6.3kV, 10.5kV
Electrical Efficiency > up to 44 %
Thermal Efficiency > up to 50.5 %

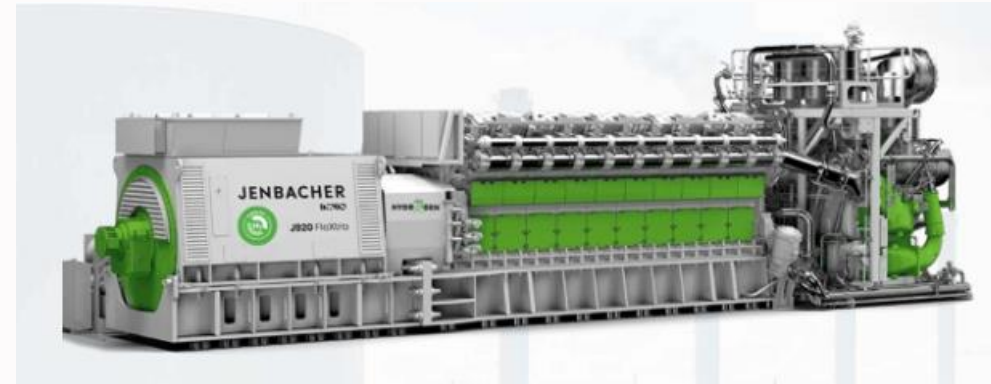
Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)

JENBACHER TYPE 6



Electrical Output > 1,634 – 4,507 kW
Thermal Output > 1,668 – 4,706 kW
Voltage > 400V, 6.3kV, 10.5kV
Electrical Efficiency > up to 47.1 %
Thermal Efficiency > up to 47.7 %

JENBACHER TYPE 9: J920 FLEXTRA



Electrical Output > 10,400 kW
Thermal Output > 10,021 kW
Voltage > 6.3kV, 10.5kV
Electrical Efficiency > up to 48.7 %
Thermal Efficiency > up to 45.3 %
Fuel Type > Natural Gas

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)

JENBACHER TYPE 4



Продуктивність та ККД

Біогаз		1,500 л/хв 50 Гц				
NOx <	Тип	Р _{ел} (кВт)	Р _{тепл} (кВт)	η _{ел} (%)	η _{тепл} (%)	η _{сум} (%)
500 мг/м ³ _N	J412	749	750	42.1	42.2	84.3
	J412	901	919	42.6	43.5	86.1
	J412	934	914	43.3	42.3	85.6
	J416	999	993	42.3	42.1	84.4
	J416	1,202	1,221	42.8	43.5	86.2
	J416	1,248	1,225	43.3	42.4	85.7
	J420	1,498	1,524	42.7	43.5	86.2
250 мг/м ³ _N	J420	1,561	1,548	43.3	42.9	86.2
	J412	889	922	42.0	43.6	85.6
	J416	1,190	1,229	42.2	43.5	85.7
	J420	1,487	1,537	42.1	43.6	85.7

Технічні характеристики

Характеристика	Опис	Переваги
Утилізація тепла	Гнучкість в розташуванні теплообмінника, за потреби комплектується двоступеневим масляним пластинчастим теплообмінником	- Високий тепловий ККД навіть при високих та плаваючих температурах в зворотньому трубопроводі
Газовий дозувальний клапан	Газовий дозувальний клапан з електронним високоточним управлінням	- Дуже висока швидкодія - Миттєве коригування показника газ/повітря - Регулювання теплотворної здатності в широких межах
Чотирьохпоршнева головка блоку циліндрів	Покращена геометрія вихрекамер та пазів; досягається застосуванням передових методів обчислення та симуляції (CFD - Computational fluid dynamics)	- Зменшені втрати на перезаряд (charge exchange losses) - Центральне розміщення свічки запалювання дало можливість створити оптимальні умови для процесів охолодження та згорання газів
Розщеплений шатун	Для наших потужних стаціонарних двигунів застосовується перевірена в автомобілебудуванні технологія	- Висока точність та стійкість до деформацій - Зменшене спрацювання підшипників шатуну - Простота технічного огляду

Джерело: <https://www.jenbacher.com/en/gas-engines>

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ)

Приклади успішних проектів



Chengdu Chang'an (Китай)

ПРОЕКТ УСТАНОВКИ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАЦІЇ НА ЗВАЛИЩНОМУ ГАЗІ
Генерує відновлювану електроенергію з низькими викидами

Розташування	> Ченду, провінція Сичуань, Китай
Встановлене обладнання	> 20 x J420
Електрична потужність	> 29.7 МВт
Загальний ККД	> 41.7%

Тип палива	> Звалищний газ
Введена в експлуатацію	> 2017, 2018



🌐 Китай – материкова частина > Китай



Istanbul Enerji (Туреччина)

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ НАЙБІЛЬШОГО МІСТА ЄВРОПИ
Станцією на біомасі досягається як виконання екологічних цілей, так і постачання Станбулу 37 МВт електроенергії

Розташування	> Станбул, Туреччина
Встановлене обладнання	> 20 x J420
Електрична потужність	> 36.4 МВт
Об'єм буферного резервуару	> 41.7%

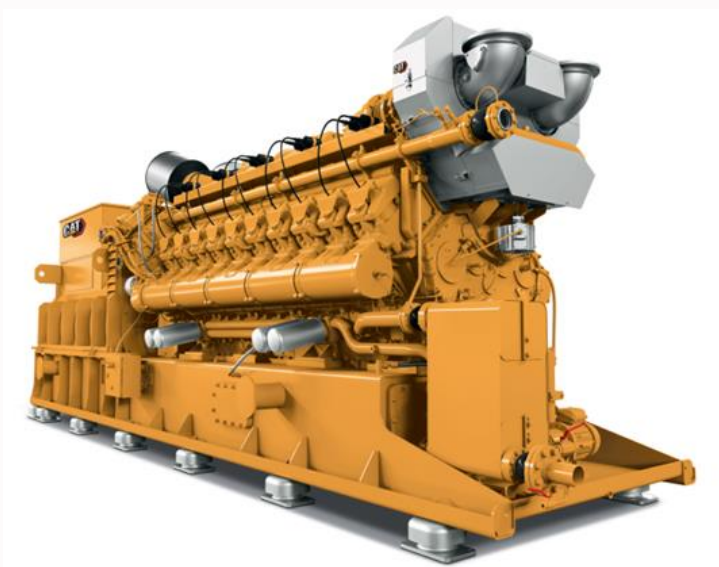
Електричний ККД	> 41.3%
Тип палива	> Звалищний газ
Введена в експлуатацію	> 2017, 2018



🌐 Туреччина > Європа (включно з ЄЕЗ та Швейцарією)



Двигуни внутрішнього згоряння (Cat)



ЕКОНОМІЧНІ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

- > Високі значення ККД, низький рівень споживання мастила (0.15 г/кВт·год) та експлуатація до 80000 годин без потреби проведення кап. ремонту забезпечують економічність експлуатації та високу рентабельність



ПІДВИЩЕНА НАДІЙНІСТЬ

- > Надійний та перевірений часом газогенератор двигуна оснащений передовими технологіями
- > Довші інтервали проведення технічного обслуговування



ОПТИМАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

- > Підвищений електричний ККД – до 45% (паливо – природний газ), та до 43.6% (паливо – біогаз)
- > Підвищений рівень продуктивності – до 2 300 кВт_{ен}
- > Оптимальна комбінація ефективності та безперебійності експлуатації



ГНУЧКІСТЬ В ВИБОРІ ВИДУ ПАЛЬНОГО ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ

- > Рішення доступні для широкого спектру задач; двигуни при цьому здатні працювати на природному газі, біогазі, звалищному газі та пропані



ПРАЦЮЮТЬ ЗА СТАНДАРТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ТРЕМ

- > Апаратне та програмне забезпечення для двигунів та комплексне управління всією установкою
- > Дозволяє досягти повної енерговіддачі генераторної установки з максимальною надійністю, експлуатаційною здатністю, продуктивністю та ергономічністю



ПІДВИЩЕНА ПИТОМА ПОТУЖНІСТЬ

- > Компактний дизайн: Двигуни серії CG170B є на 18% потужнішими при тих самих розмірах ніж їх попередники

РОБОТА НА БІО-, ЗВАЛИЩНОМУ, ТА АЕРАЦІЙНОМУ ГАЗАХ – ДАНІ ПО ПРОДУКТИВНОСТІ НА ЧАСТОТІ 50 ГЦ

NO_x ≤ 500 мг/нм³

ТИП ДВИГУНА	CG170B-12 X ³	CG170B-16 X ³	CG170B-20 X ³	CG170B-20 XV ⁷
Електрична потужність	1380 кВт	1840 кВт	2300 кВт	2000 кВт
Електрична ефективність	43.6%	43.6%	43.6%	43.2%
Теплова ефективність	42.7%	42.7%	42.8%	43.5%
Тепловіддача ±8%	1351 кВт	1802 кВт	2254 кВт	2015 кВт
Робота до кап. ремонту	До 64 000 експл. год	До 64 000 експл. год	До 64 000 експл. год	До 64 000 експл. год
Споживання мастила	0.15 г/кВт·год	0.15 г/кВт·год	0.15 г/кВт·год	0.15 г/кВт·год
Загальний ККД	86.3%	86.3%	86.4%	86.7%

Джерело: https://www.cat.com/en_US/by-industry/electric-power/electric-power-industries/biogas-higher-efficiency.html

Виробництво електроенергії з біогазу в Україні (2022)

Параметр	Біогаз	Біометан
Встановлена потужність, МВт _е	140 (33 МВт – біогаз із ТПВ)	3 млн м ³ /рік
Вироблена електроенергія, ГВт·год	505.4 (122.2)	–
Кількість БГУ	83 (33 – біогаз із ТПВ)	1

- Абсолютна більшість проектів виробляє електроенергію з подачею у розподільчу мережу з використанням зеленого тарифу
- Окремі проекти мають встановлену потужність від 125 кВт_е до 26 МВт_е.
- Широкий спектр галузей і різних видів сировини
- Перший проект з біометану розпочав роботу в квітні 2023 року на базі існуючої БГУ



Виробництво електроенергії з біогазу в Україні (агро)

№	Компанія	Види сировини	Потужність, МВт	Обладнання (тип двигунів, од. потужність, кількість)
1	ТОВ «Теофіпольська енергетична компанія» (4 черги)	Жом, силос кукурудзи, послід, барда, солома	26,1	<u>Jenbacher</u> 3 x JMC 416 (1.2 MW) + 1 x JMC 420 (1.5 MW) 7 x JMC 420 (1.5 MW) 4 x JMC 420 (1.5 MW) 3 x JMC 420 (1.5 MW)
2	ТОВ «Вінницька птахофабрика»	Послід пташиний, силос, гній ВРХ, флотошлам ОС	12,0	<u>Caterpillar</u> 6 x CG170 20 (2 MW) (12 MW)
3	ТОВ «Городище-Пустоварівська аграрна компанія» (4 БГУ)	Жом, меляса, свинячий гній, гній ВРХ, силос	14,7	<u>Jenbacher</u> 2 x JMC 416 + JMC 420 (1.2+2.7=3.9 MW) 2 x JMC 416 + 3 x JMC 420 (2.4+4.5=6.9 MW) 2 x JMC 416 (2.4 MW) 1 x JMC 420 (1.5 MW)
4	ТОВ «Корсунь Еко Енерго»	Відходи підприємств АПК	7,5	<u>Jenbacher</u> 5 x JMS 420 (1.5 MW)
5	ПрАТ «Оріль-Лідер»	Послід курячий, силос сорго.	5,7	<u>Jenbacher</u> 4 x JMC 320 (1.067 MW) 1 x JMS 420 (1.5 MW)
6	ТОВ «Юзефо-Миколаївська біогазова компанія»	Жом	5,2	<u>Caterpillar</u> 2 x CG170-12 (1.6 MW) 1 x CG170-20 (2 MW)
7	I&U Group (Капітанівський цукровий завод)	Жом цукрових буряків	6,0	<u>Jenbacher:</u> 4 x JMS 420 (1.5 MW)
8	Каліпсо Біогаз	Силос кукурудзяний	3,2	<u>2G AVUS:</u> 2 x 1600D (1.6 MW) (3.2 MW)
9	ТОВ «Комерцбудпласт»	Послід курячий	3,1	<u>Jenbacher</u> 2 x JMC 420 (3.1 MW) (?)
10	ТОВ «Рокитнянський цукровий завод»	Жом, гній ВРХ, послід курячий	2,4	<u>Jenbacher</u> 2 x JMC 416 (2.4 MW)
	Усього для 10 найбільших проектів (агрокомпаній)		85,9 (80%)	32 x JMS 420 + 11 x JMC 416 + 4 x JMC 320 2 x CG170-12 + 7 x CG170-20

Виробництво електроенергії в Україні (полігони ТПВ)

Компанія / полігон ТПВ	Види сировини	Потужність, МВт	Обладнання (тип двигунів, од. потужність, кількість)
ТОВ Кліар Енерджі-Одеса/ Одеса	Тверді побутові відходи	4,996	<u>Jenbacher</u> : 1 x JGS 412 (0.889 MW) + 1 x JMS 416 (1.131 MW) + 1 x JMS 420 (1.489 MW)
ТОВ Біогаз-Енерджі/ Запоріжжя	Тверді побутові відходи	3,201	<u>Jenbacher</u> : 2 x JMS 320 GS-B.L. (2 x 1.067 MW = 2.134 MW) + 1 x JMS 320 GS-B.L. (1.067 MW).
ТОВ Кліар Енерджі/ Кривий Ріг (2 полігона ТПВ)	Тверді побутові відходи	2,217	<u>Jenbacher</u> : 1 x JWS 316 GS + JWC 312 GSB (1.154 MW in total) 1 x JMC 320 GS-B.L. (1.063 MW).
ТОВ ЛНК/ Київ	Тверді побутові відходи	2,216	<u>Jenbacher</u> : 1 x JMC 320 GS-B.L. (1.063 MW).
ТОВ Енерго Січ/ Дніпро	Тверді побутові відходи	2,044	<u>Jenbacher</u> : 1 x JMC 316 GS-B.L. (0.851 MW). +???
ТОВ Кліар Енерджі/ Харків (2 полігона ТПВ)	Тверді побутові відходи	1,908	<u>Jenbacher</u> : 1 x JMC 320 GS-B.L (1.063 MW) 1 x JMC 412 GS-B (0.845 MW)
ТОВ Кліар Енерджі/ Чернігів	Тверді побутові відходи	1,131	<u>Jenbacher</u> : 1 x JMS 416 GS-B.L. (1.13 MW)
ТОВ ТІС Еко/ Маріуполь	Тверді побутові відходи	1,122	<u>Jenbacher</u> : 1 x JMC 412 GS-B.L (0.922 MW) +1 x JMC 320 GS-B (1.063 MW)
ТОВ ЛНК/ Бориспіль	Тверді побутові відходи	1,063	<u>Jenbacher</u> : JMC 320 (1.063 MW)
ТОВ ЛНК/ Житомир	Тверді побутові відходи	1,063	<u>Jenbacher</u> : JMC 320 (1.063 MW)
ТОВ ЛНК/ Миколаїв	Тверді побутові відходи	1,063	<u>Jenbacher</u> : JMC 320 (1.063 MW)
Усього для 11 найбільших проектів на полігонах ТПВ		22,0 (67%)	

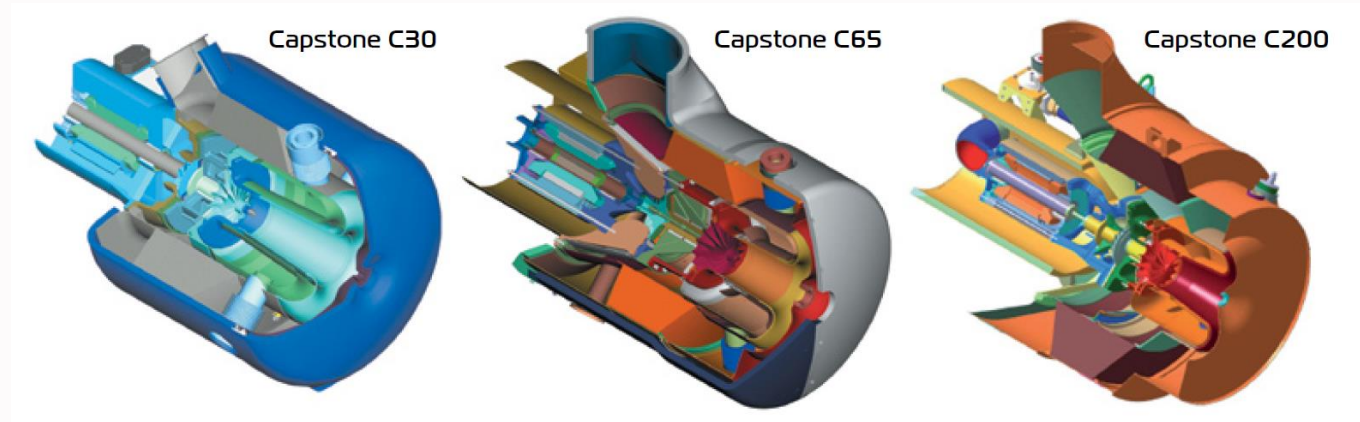
Двопаливний двигун

	Газові двигуни Отто	Двигуни з пілотним впорскуванням (ДПВ)
Встановлена ел. потужність	Може бути > 1 МВт, < 100 кВт зустрічається рідко	< 340 кВт
Вміст CH ₄	> 45%	Також підходить для біогазу з дуже низьким вмістом CH ₄
Електричний ККД	34-42%	30-44%
Ресурс експлуатації	60 000 годин	35 000 годин
Додаткове паливо	немає	1-5% запального дизпалива
Придатність	Радше для великих БГУ	Радше для менших БГУ
Переваги	+ спеціально розроблений для газів + хороші показники викидів вихлопних газів + низькі витрати на ТО + сумарний ККД вище	+ менші інвестиційні витрати + вищий електричний ККД + знижені вимоги до якості газу
Недоліки	- інвестиційні витрати трохи вищі, ніж для ДПВ - вищі витрати через загальну меншу кількість двигунів - менший ел. ККД	- високі витрати на ТО - загальний ККД менший - потрібне додаткове дизпаливо - вищі викиди вихлопних газів (NO _x)



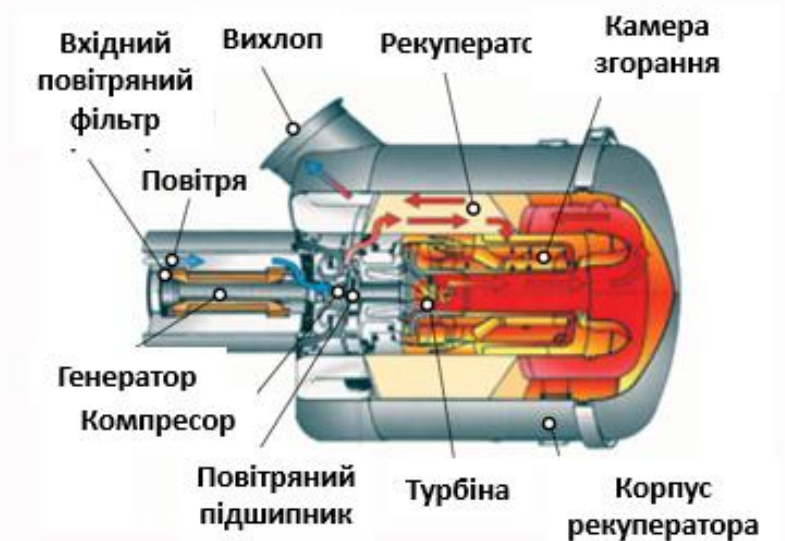
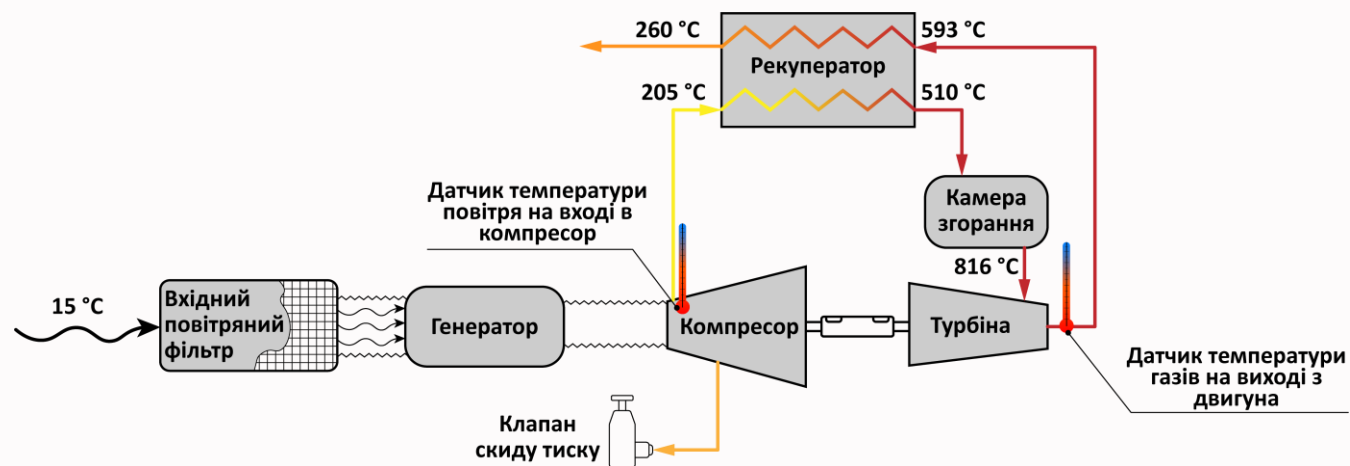
Двопаливний двигун з пілотним впорскуванням потужністю 235 кВт_е з інтегрованою турбіною на вихлопних газах потужністю 30 кВт_е (Schnell Motoren AG)

Мікротурбіни Capstone



- Масштабованість та модульність/ Широкий діапазон потужностей від 30 кВт до 20 МВт, постачання блоками необхідної потужності
- Компактність та мобільність. Невеликі розміри, можливість швидкого підключення додаткових енергоблоків до вже працюючої станції.
- Проста конструкція і відсутність деталей, що труться, що забезпечують високу надійність;
- Унікальні повітряні підшипники, що виключають необхідність використання моторної олії, охолоджуючої рідини та лубрикантів.
- Низький рівень шуму (до 60 dBA) та вібрацій, що дають широкі можливості для вибору розташування.
- Гнучкість до навантажень, здатність працювати у діапазоні навантаження від 0 до 100% без зупинок та зниження ресурсу.
- Споживання широкого спектру палива, в тому числі нестабільними характеристиками складу та змістом сірководню до 7%.

Мікротурбіни Capstone



Енергетичний цикл мікротурбін сімейства Capstone

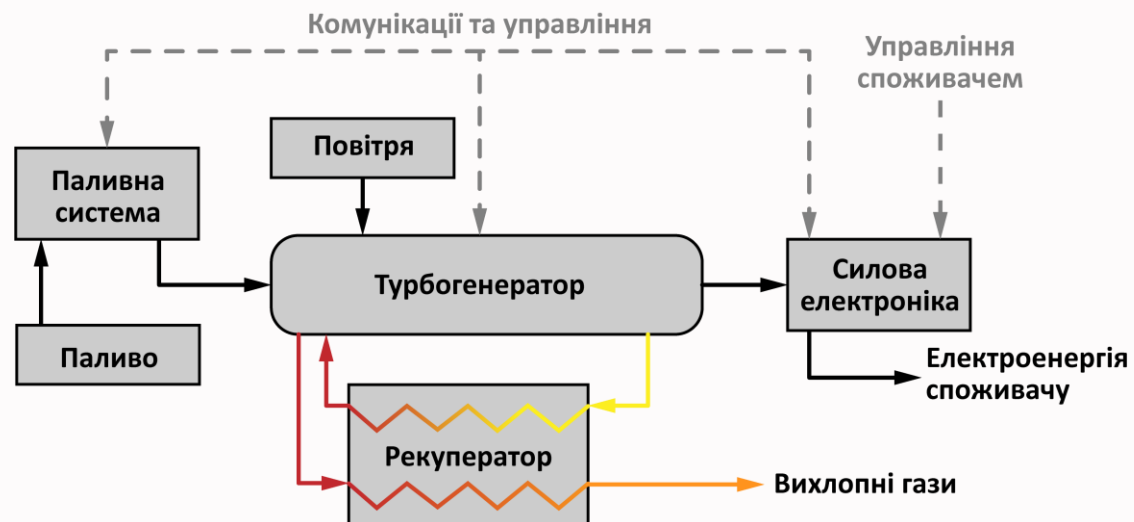


Схема мікротурбінної установки Capstone



Технічні характеристики мікротурбін Capstone



Capstone C30



Capstone C65



Capstone C200



Мікротурбінні системи серії C1000

Параметри мікротурбіни	Capstone C30	Capstone C65	Capstone C200	Capstone C600	Capstone C800	Capstone C1000
Електрична потужність, кВт	30	65	200	600	800	1000
Електричний ККД, %	26 (±2)	29 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)	33 (±2)
Загальний ККД електростанції (з утилізацією тепла), %	80–90	80–90	66–90	66–90	66–90	66–90
Діапазон робочої напруги, В	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480	380–480
Вага, кг	578	1121	3180–3640	8142–9534	12 600–14 400	15 875–18 144
Довжина x Ширина x Висота, мм	1516 x 762 x 1943	1956 x 762 x 2110	3660 x 1700 x 2490	9144 x 2438 x 2896	9144 x 2438 x 2896	9144 x 2438 x 2896
Вид палива	Газ, гас, дизель	Газ, гас, дизель	Газ, гас, дизель	Газ, гас, дизель	Газ, гас, дизель	Газ, гас, дизель

Приклади успішних проектів (мікротурбіни Capstone)

Муніципальна станція очистки стічних вод Edar de Lloret de Mar

Замовник

Станція очистки стічних вод Edar de Lloret de Mar

Розташування

Жерона, Іспанія

Рік введення в експлуатацію

Липень 2019

Паливо

Біогаз

Технології

- Дві мікротурбіни типу C65
- Віддалений моніторинг
- Установка регенерації тепла (122 кВт)
- Пергола (навіс) зі змонтованим масивом фотомодулів (5 кВт)

Дистриб'ютор Capstone Green Energy

Micropower Europe



Мікротурбіна Capstone C65

- Мікротурбіни є передовими рішеннями в системах очистки стічних вод через їх здатність витримувати вищий, аніж в поршневих машин, рівень силосанів.
- Дві мікротурбіни Capstone C65 виробляють як електро-, так і теплову енергію з біогазу, отриманого в процесі очистки стічних вод - 1048 МВт·год/рік електроенергії та 1773 МВт·год/рік теплової енергії, що дозволило досягти сумарного ККД установки $\eta = 78\%$.
- Період окупності складає 3.7 років, а дисконтована норма прибутку оцінюється на рівні 26.4%.

Паливні елементи (комірки)

- Паливний елемент (ПЕ) на біогазі виробляє електроенергію постійного струму за допомогою електрохімічного процесу, а не спалювання.
- Електрохімічний процес призводить до значно менших викидів забруднюючих речовин.
- Стаціонарні біогазові паливні елементи це зазвичай високотемпературні твердооксидні або карбонатні ПЕ.
- Завдяки високим внутрішнім температурам вони здатні перетворювати метан за допомогою пари в водень, який реагує з киснем для виробництва енергії.
- ККД перетворення біогазу в електроенергію за допомогою біогазових ПЕ внутрішнього риформінгу - 42-54% нетто
- У Каліфорнії є близько чотирьох сотень стаціонарних ПЕ, одинадцять з яких є біогазовими ПЕ, які разом мають потужність 180 MW_е.
- Вартість електроенергії для біогазових ПЕ коливається від 0,164 \$/кВт·год для ПЕ потужністю 200 кВт до 0,079 \$/кВт·год для ПЕ 6000 кВт



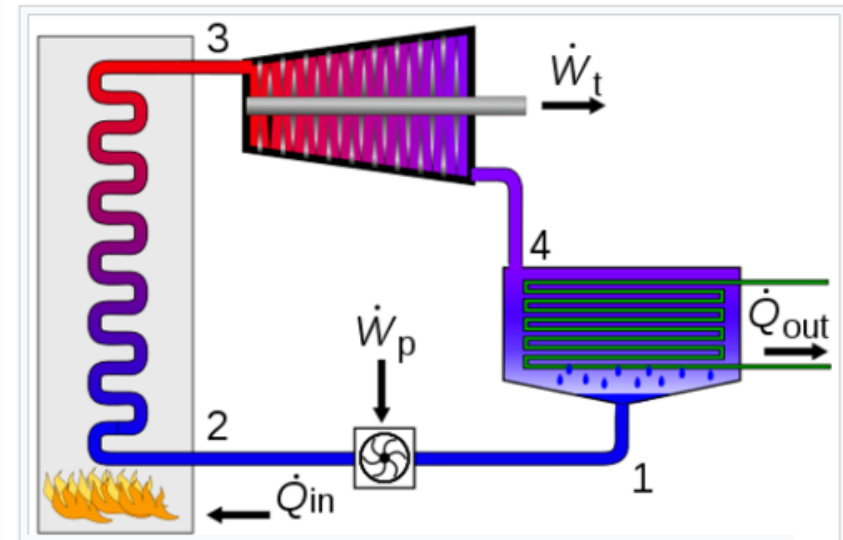
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC) for biogas in Leonberg, Germany (Source: Rutz)

Цикл Ренкіна

Цикл Ренкіна — термодинамічний цикл перетворення тепла в роботу з використанням робочого тіла, що здійснює фазовий перехід пар-рідина (конденсація) і зворотний фазовий перехід рідина-пар (випаровування). В якості робочого тіла виступають вода, ртуть, різні фреони та інші речовини.

Ефективність циклу Ренкіна залежить від різниці величин початкових та кінцевих параметрів (тиску та температури) пари и виражається як:

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{l_a^T - l_a^H}{q_1}.$$



Структурна схема паросилової установки з використанням класичного циклу Ренкіна.

- 1 – Конденсат робочого тіла після конденсатора;
- 2 – Рідке робоче тіло після конденсатора перед випарником;
- 3 – Пар робочого тіла перед тепловою машиною, наприклад, турбіною;
- 4 – Пар робочого тіла, що здійснив роботу, на вході в конденсатор;

$\dot{Q}_{in}$ – така, що подається у випарник;

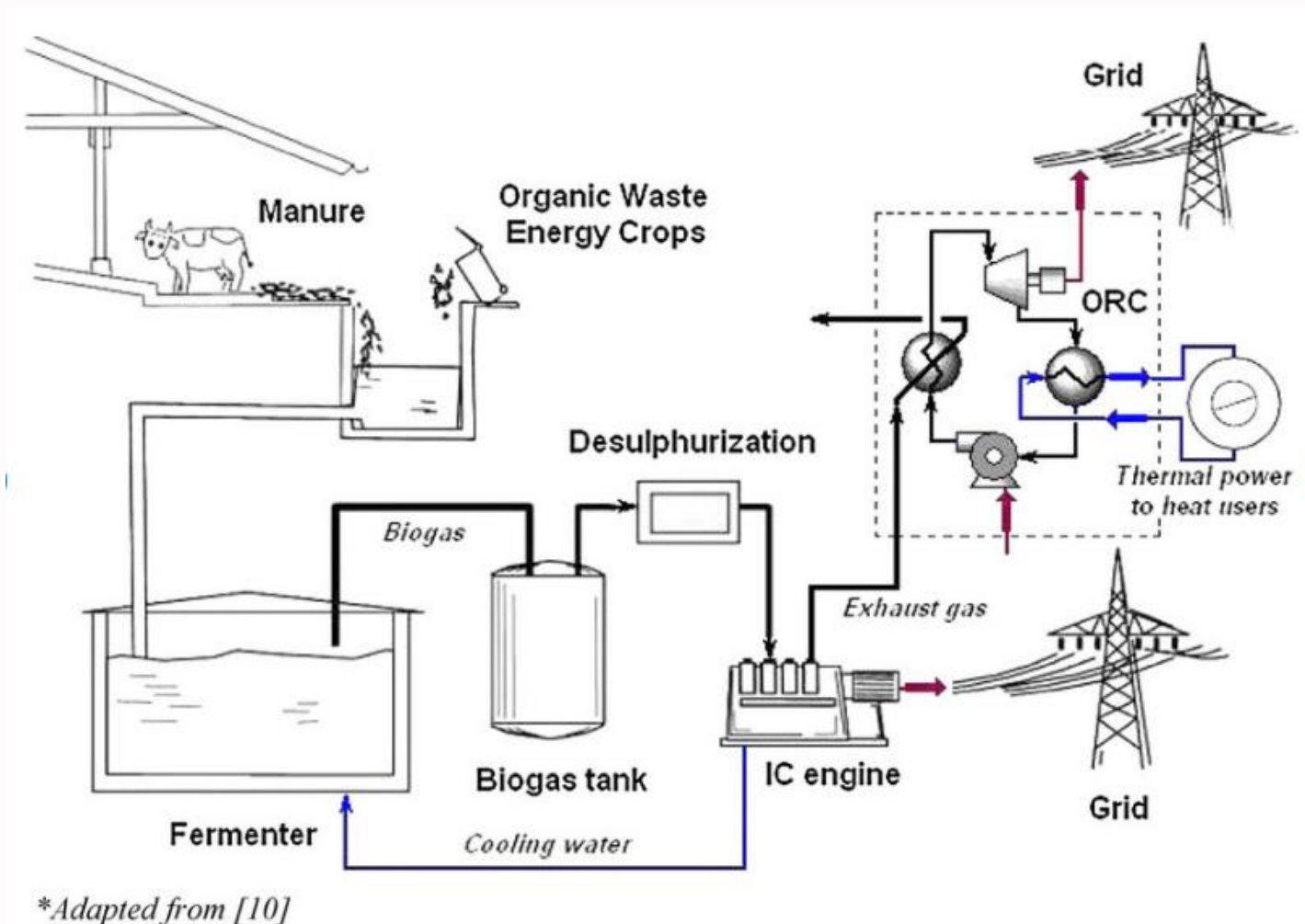
$\dot{Q}_{out}$ – теплова потужність, що відбирається від конденсатора;

$\dot{W}_t$ – корисна механічна потужність теплової машини;

$\dot{W}_p$ – механічна потужність, що затрачується на подачу під тиском робочого тіла у випарник (насос живлення);

Органічний цикл Ренкіна (ORC)

Органічний цикл Ренкіна (ORC) використовує органічну рідину замість води та пари. Це дозволяє використовувати низько-температурні джерела тепла, наприклад, відпрацьоване тепло БГУ з температурою 70–90°C. Це пояснюється нижчою температурою кипіння органічних рідин порівняно з температурою кипіння води при 100°C. Окрім цієї різниці, принцип роботи ORC такий самий, як і циклу Ренкіна. Робоча рідина перекачується в котел, де вона випаровується, пропускається через турбіну і, нарешті, знову конденсується.

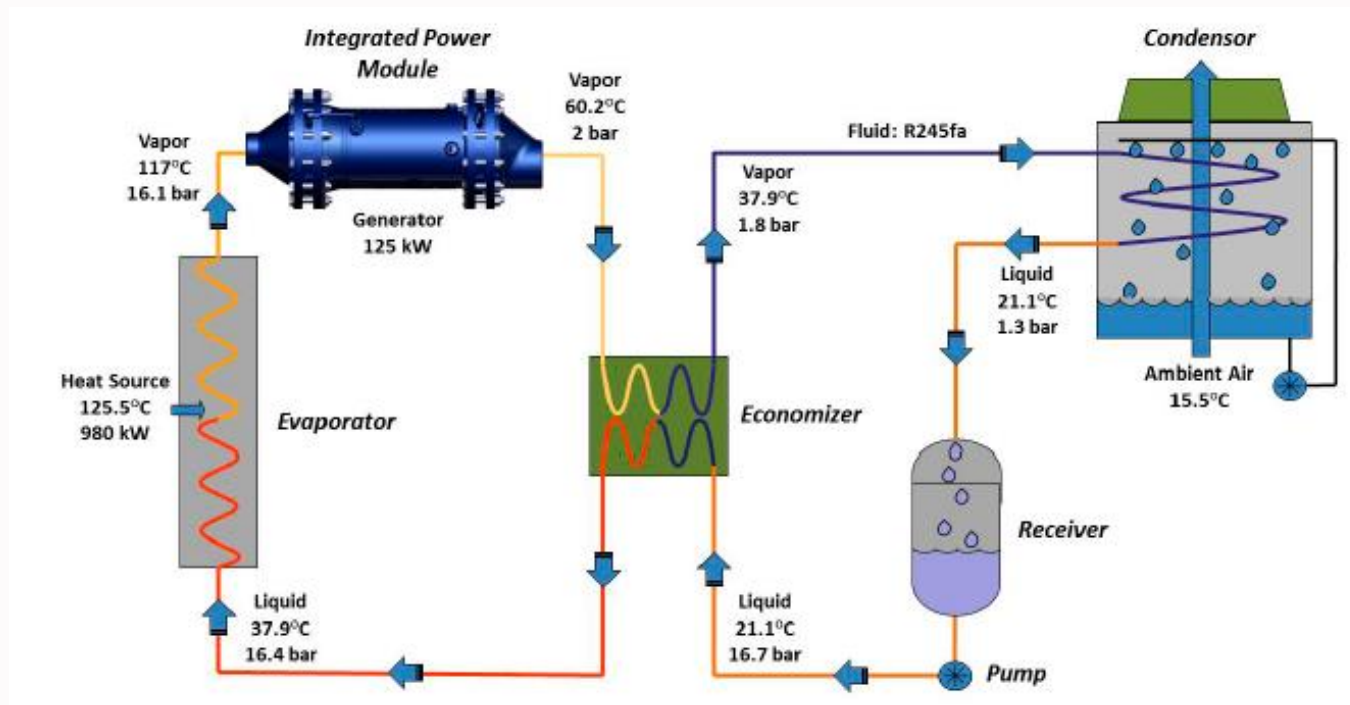


Органічний цикл Ренкіна (ORC)

За оцінками, із відхідного тепла КГУ потужністю 1 МВт можна виробити близько 7-10% додаткової електроенергії (70-100 кВт). Таким чином, загальний електричний ККД біогазової установки може зрости приблизно до 45%.



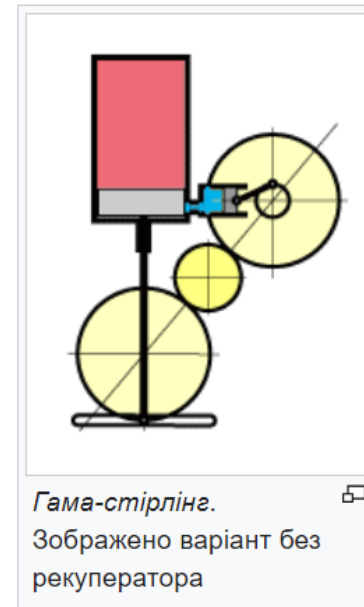
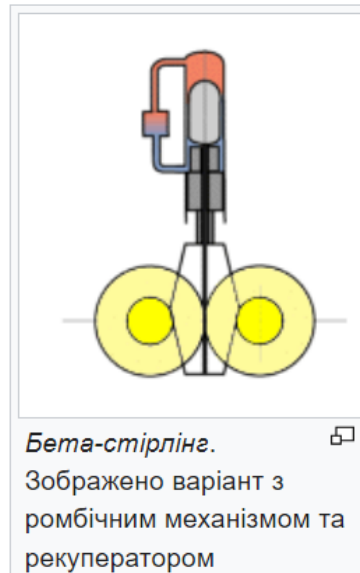
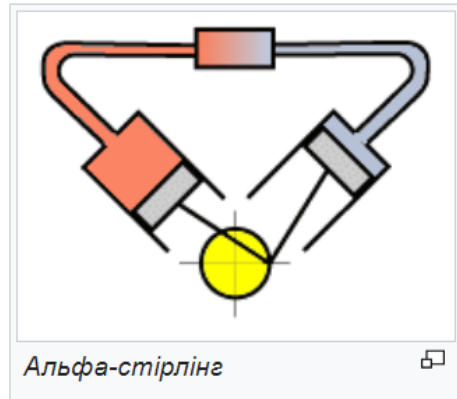
Схема модуля ORC «Clean Cycle» 125 кВт компанії GE Energy



Приклад модуля ORC для БГУ. У цьому прикладі один блок може генерувати до 125 кВт електроенергії від джерела тепла потужністю близько 980 кВт. Основна частина тепла надходить від рекуперації вихлопних газів, а менша частина від попереднього нагріву рідини в циклі охолодження двигуна.

Двигун Стірлінга

Двигун Стірлінга (ДС) — [тепловий двигун](#) із [зовнішнім підводом тепла](#). Він працює за замкненим [термодинамічним циклом Стірлінга](#). Незмінна кількість робочої речовини циркулює між двома камерами із різними температурами, де по черзі нагрівається та охолоджується. За рахунок цього змінюється тиск робочої речовини, який і рухає робочі поршні.



Наразі двигуни Стірлінга комерційно доступні лише з невеликою потужністю близько 40 кВт. Крім того, інвестиційні витрати все ще дуже високі. Інші проблеми включають корозію та забруднення на теплообміннику, оскільки вихлопні гази містять діоксид сірки (SO_2).



Біогаз для виробництва тепла

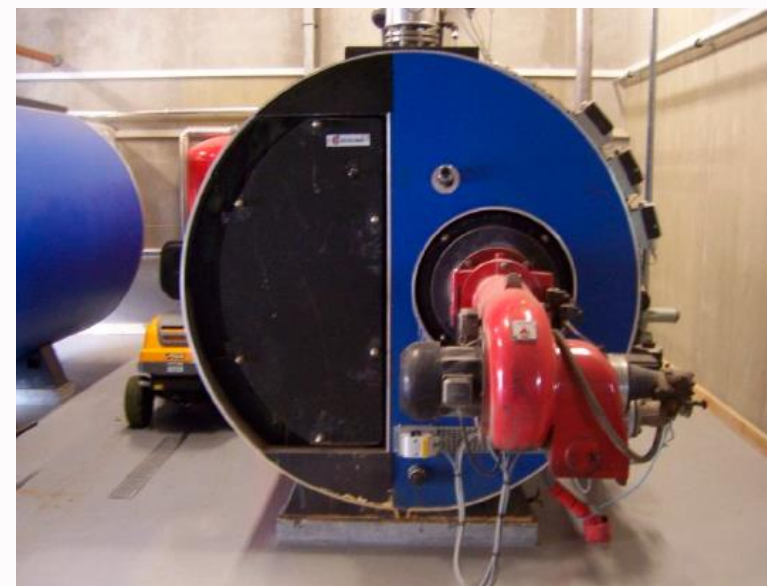


Виробництво тепла з біогазу

- Опалення та гаряче водопостачання
- Теплиці
- Сушіння
- Контейнери для накопичення тепла
- Охолодження
- Виробництво тепла з біогазу в Україні

Виробництво тепла з біогазу

- **Сезонність:** для обігріву метантенків влітку потрібно менше тепла. Крім того, опалення, напр. будівель, потрібне тільки взимку. Таким чином, влітку часто спостерігається надлишок тепла.
- **Віддаленість:** сільськогосподарські біогазові установки часто розташовані у віддалених сільських районах, де неможливо знайти споживачів тепла (наприклад, малі підприємства, громадські будівлі).
- **Якість і кількість тепла:** встановлена потужність типових с/г біогазових установок, принаймні у Європі, становить близько 500 кВт·год, що є занадто малим для використання тепла більшими промисловими підприємствами. У деяких галузях промисловості потрібні вищі температури, ніж ті, які може забезпечити БГУ.



Біогазовий котел потужністю 1500 кВт в Данії



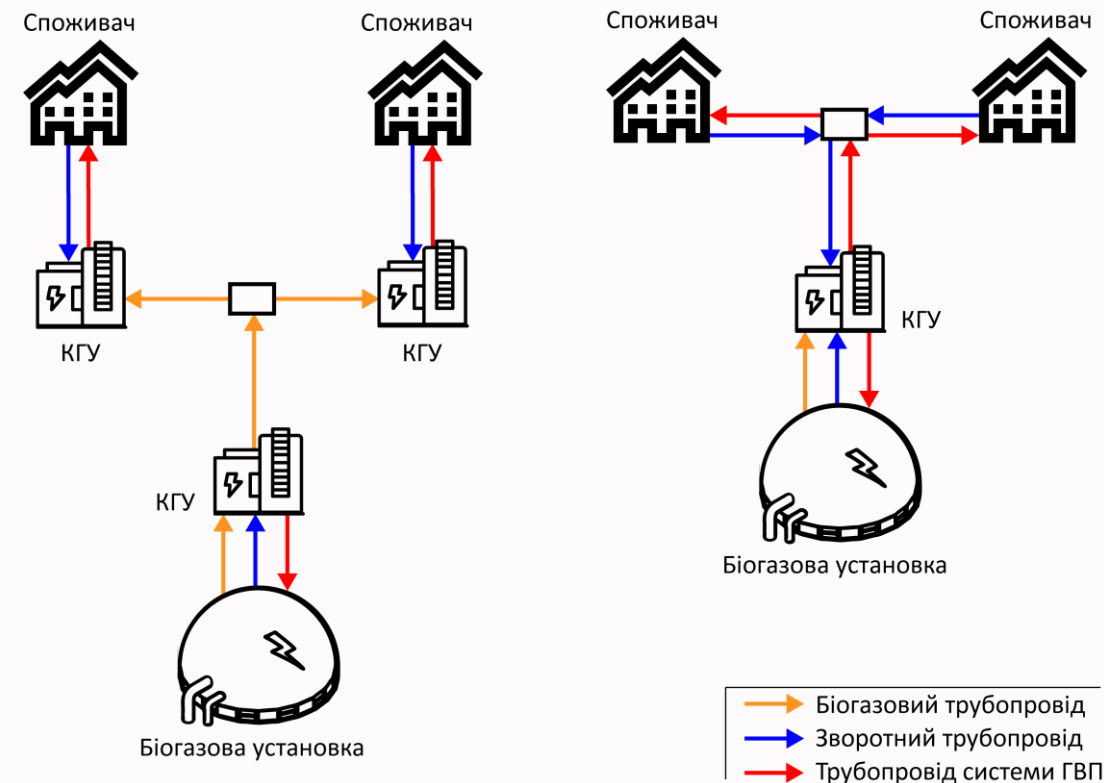
Biogas burner STG146/2 23,5-144 kW DMV-DLE 512/11



Biogas Burner BG700-2 300-1500 kW DMV-DLE 525/11

Виробництво тепла з біогазу (ЦТ)

- **Економічні ризики:** Оператори БГУ, які «залежні» від зовнішніх споживачів тепла, можуть зіткнутися з економічними ризиками у разі зміни попиту. Довгострокові контракти можуть допомогти зменшити цей ризик.
- **Високі витрати:** деякі варіанти використання тепла вимагають додаткового обладнання з високими інвестиційними витратами, наприклад встановлення ORC-модулів або будівництво теплових мікро-мереж.
- **Ціни на викопне паливо:** використання тепла біогазових установок має бути конкурентоспроможним з цінами на викопне паливо та інші відновлювані джерела енергії.
- **Схвалення та підтримка громадськості:** будівництво нових мікро-мереж можливе лише за умови забезпечення попиту на тепло, що означає, що достатньо споживачів бажають підключитися. Крім того, місцеві органи влади повинні підтримувати таке будівництво.



Одним із підходів, який дозволяє ефективно використовувати енергію біогазу, є транспортування біогазу через газопроводи (мікро-мережі біогазу) до так званих супутникових КГУ, які розташовані поблизу споживача тепла.

Теплиці



$$\dot{Q} = A \times u' \times (t_i - t_a)$$

$\dot{Q}$ Потреба в теплі [Вт]

A Поверхня прозорого покриття [m^2] (або площа підлоги в [m^2] x 1,4)

u' Коефіцієнт теплової потреби [$\text{Вт}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

t_i Внутрішня температура теплиці [$^{\circ}\text{C}$]

t_a Мінімальна температура навколишнього середовища [$^{\circ}\text{C}$]

- Умови використання теплиць - близьке розташування до біогазової установки
- Коефіцієнт теплової потреби u' може коливається від 4,6 для теплиць зі склопакетами зі змішаною системою опалення до 10 для простих теплиць з плівкою та тепловими трубами, що знаходяться над землею.
- Використання CO_2 з потоку вихлопних газів КГУ, оскільки CO_2 покращує ріст рослин.

Сушіння

Відпрацьоване тепло біогазових установок також можна використовувати для сушіння матеріалів. Найважливішими для БГУ є сушіння дигестату, осаду стічних вод, твердої біомаси (деревної тріски, тирси, дров) і сільськогосподарської продукції. Однак сушіння також використовується для промислових виробів, що вимагає нагрівання (синтетичні матеріали, бетон)

Терміни і температури сушіння різних матеріалів

Матеріал	Сезон сушіння	Температура сушіння [°C]
Деревна тріска та дрова з лісового господарства	Зима	55-150
Деревна тріска та колода від догляду за ландшафтом	Весь рік	55-150
Щепа з плантацій короткої ротації	Зима	55-150
Зернові	Липень – серпень	30-65
Лікарські рослини та прянощі	Червень - жовтень	25-50
Дигестат і осад стічних вод	Весь рік	55-95



Збірні залізобетонні елементи щойно виймаються із сушильної камери

Сушіння дигестату і осаду стічних вод

- Першим кроком у системі переробки дигестату є розділення твердої та рідкої фракцій. Це розділення часто виконується механічно, наприклад, за допомогою шнекових сепараторів або декантерних центрифуг. Тверду фракцію дигестату можна додатково компостувати або сушити.
- Сушіння дигестату можна здійснювати за допомогою сонячних осушувачів у теплицях або відпрацьованого тепла біогазових установок. Обидві системи також можна комбінувати (гібридна сушка).
- У стрічковій сушарці дигестат транспортується на перфорованій стрічці через зону сушіння, де гаряче повітря або відпрацьований газ протікає крізь або над вологим дигестатом.
- Висушений матеріал можна використовувати в садівництві безпосередньо або в гранульованому вигляді.



**Стрічкова сушарка
для сушіння дигестату перед
біогазовою установкою,
(STELA Laxhuber GmbH,
Німеччина**

Сушіння тріски, дров та гранул

- Чим вищий вміст води, тим менш енергоефективним є спалювання, оскільки частина енергії «втрачається» на випаровування. Нижча теплотворна здатність вище, якщо деревина суха.
- Зберігання краще, якщо вміст води в деревині нижче 25%, оскільки умови життя для мікроорганізмів (грибів і бактерій) складніші в сухих умовах.
- Зростання мікроорганізмів призводить до втрати матеріалу, що зменшує вміст енергії.
- Виділені спори грибів (у деревній трісці) можуть становити ризик для здоров'я.
- Подальша обробка деяких продуктів вимагає мінімального вмісту вологи. Наприклад, тирса свіжої деревини потребує сушіння перед гранулюванням.
- Логістичні переваги для транспортування на далекі відстані, оскільки зменшуються вага та об'єм.



**Контейнер
для сушіння деревної тріски
на біогазовому заводі
в Мюнхені, Німеччина**

Сушіння сільськогосподарських продуктів

- Сільськогосподарські продукти необхідно висушувати з дотриманням певних вимог щодо вологості для підвищення здатності до зберігання. На вміст води в цих продуктах впливає сезон збору врожаю та погодні умови під час збору врожаю, а також загальні кліматичні умови.
- Потреба в теплі для сушіння є сезонною і зазвичай стосується переважно літа. Влітку часто існує надлишок тепла від БГУ, який ідеально можна використовувати для сушіння
- Серед найпоширеніших застосувань сушіння в сільському господарстві – сушіння зернових, особливо в сезони з тривалими періодами дощу. Максимальна вологість для гарного зберігання становить 14,5%.
- Щоб зберегти поживні речовини або здатність до проростання насіння, температура сушіння не повинна бути вищою, ніж показано в таблиці. Отже, максимальна температура знижується разом із вологістю.
- Технології сушіння зернових, як правило, включають шихтові сушарки (charge driers) та поворотні сушарки (feed-and-turn)

Вологість [%]	Пшениця [°C]	Жито, овес, ячмінь [°C]	Насіння [°C]
16	55	65	49
18	49	59	43
20	43	53	38
22	37	47	34
24	35	40	30

Контейнери для накопичення тепла

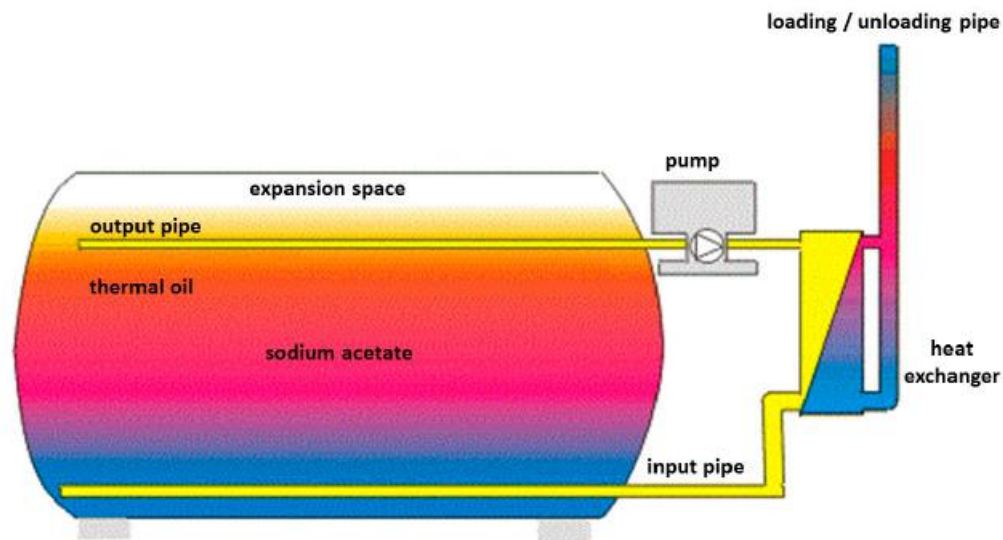


Схема системи накопичення тепла (TransHeat GmbH)



Залізничний вагон із системою накопичення тепла (TransHeat GmbH)



Причіп з контейнером і системою накопичення тепла (LaTherm GmbH)

- Ідея полягає у зберіганні тепла біогазової установки в мобільних стандартизованих неізолюваних 20-футових контейнерах (6,10 м x 2,44 м).
- Тепло зберігається переважно хімічно, а не за рахунок підвищення температури.
- Збереження за допомогою тепла плавлення (зміни фази), яка називається phase change material (PCM). Під час завантаження PCM змінює свою фазу з твердої на рідку, тоді як температура не підвищується (ізотермічна зміна фази).
- Після завантаження контейнера його можна транспортувати вантажівками до споживача тепла. Відстань транспортування може складати від 1 до 30 км.
- Контейнер 20 футів (вагою близько 26 тон має теплоємність близько 2,5 МВт·год, що еквівалентно приблизно 250 л мазуту (Schulz et al. 2007). Потужність навантаження становить близько 250 кВт при температурах 70/90°C і час завантаження близько 10 годин.
- Як PCM може використовуватися ацетат натрію (sodium acetate) або гідроксид барію (barium hydroxide)

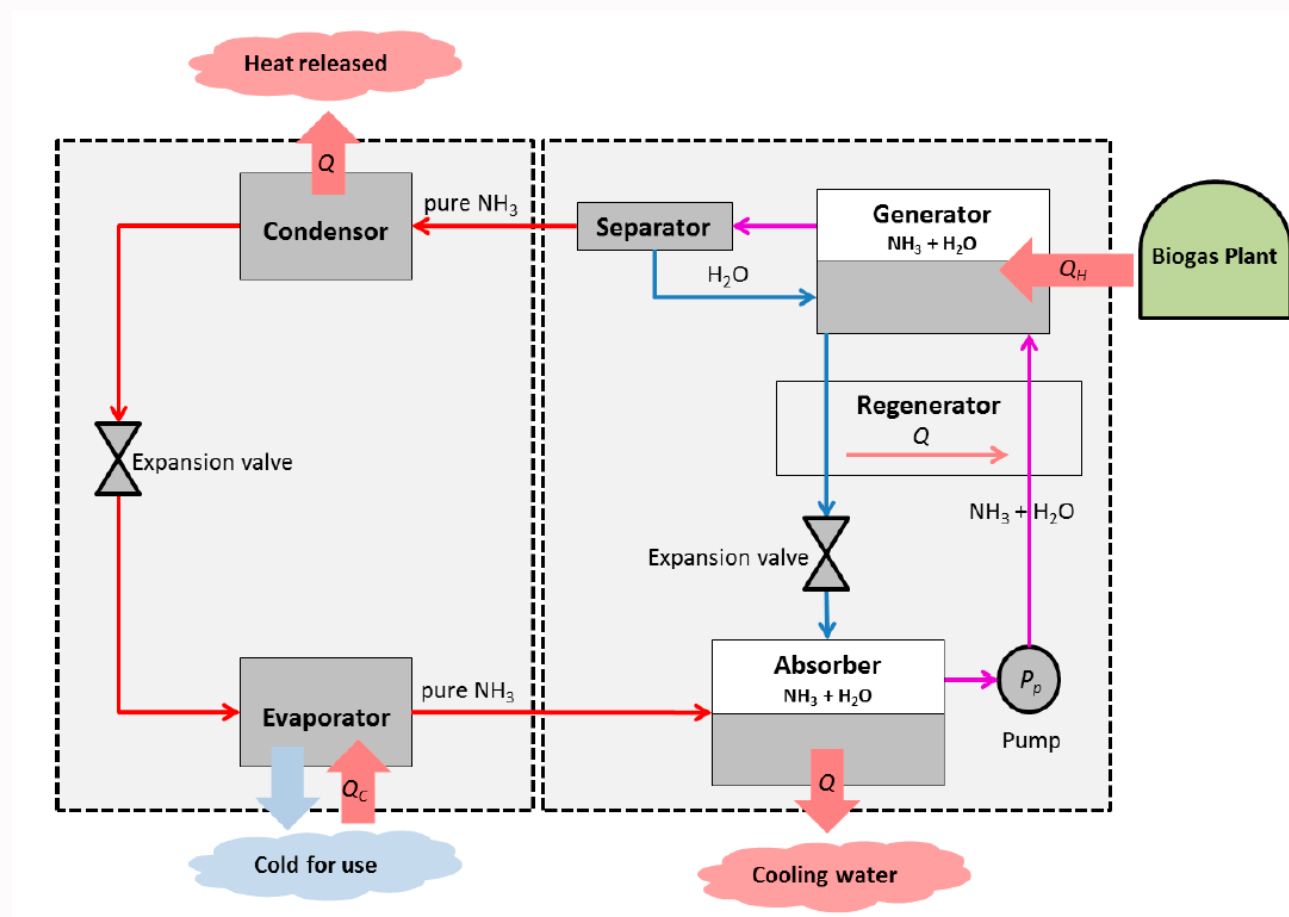
Охолодження

- Відпрацьоване тепло біогазових установок також можна використовувати для створення холоду. Існує два основних принципи охолоджуючих пристроїв, а саме **абсорбційні** та **парокомпресійні** чиллери.
- **Парокомпресійні чиллери** є найбільш широко використовуваними пристроями для кондиціювання повітря, а також для охолодження в побутових і комерційних холодильниках. Основою цієї системи є компресор, що працює від електрики
- **Абсорбційні чиллери** використовують джерело тепла як основну енергію для процесу охолодження. Абсорбційні чиллери є альтернативою звичайним компресорним чиллерам, де електроенергія є ненадійною, дорогою або недоступною, де шум від компресора є проблематичним або де є надлишок тепла, як у випадку біогазових установок.



Охолодження

Процес типового абсорбційного чиллера з аміаком та водою



Переваги абсорбційних чиллерів порівняно з парокомпресійними чиллерами:

- Нижчі потреби в електриці для роботи холодильної машини
- Низький рівень шуму та вібрації під час роботи
- Здатність використовувати тепло і перетворювати його в холод
- Розчини холодоагентів зазвичай не становлять загрози для озонового шару в атмосфері.

Виробництво тепла з біогазу в Україні



Цукровий завод Астарта (Глобино), Полтавська обл

- Виробництво біогазу (заміщення ПГ) – до 150 000 м³/добу
- Метантенки – 4х9000 м³ + 2х5800 м³
- Сировина – жом цукрових буряків – 120 тис. т/год., силос кукурудзяний.
- Початок експлуатації – 2013-2014
- **Подача біогазу на соєвий завод для технологічних потреб (біогазопровід завдовжки 2 км)**



Біогазовий комплекс Вінницької птахофабрики (агрохолдинг МХП)

- Виробництво біогазу для виробництва електроенергії та тепла – до 150 000 м³/добу
- Метантенки – 12 х 8000 м³
- Сировина – курячий послід (460 т/добу)
- Початок експлуатації – 2019
- **Подача біогазу спеціальним біогазопроводом від БГУ до птахофабрики (10 км), виробництво електроенергії (12 МВт), тепла та пари (13 бар) для технологічних потреб**



Особливості використання біометану

Особливості використання біометану

- **Виробництво електроенергії та тепла з біометану з використанням газової мережі.**

Дозволяє виробляти електрику та теплову енергію в безпосередній близькості від споживача і, таким чином, підвищити ефективність використання палива за рахунок більш повного використання теплової енергії. Наразі біогаз в Україні використовується з ефективністю, що не перевищує 50%.

- **Зберігання біометану в мережі природного газу для виробництва електроенергії при піковому навантаженні.**

Дозволяє використовувати біометан в періоди максимального навантаження на енергосистему і тим самим знизити потребу в регулюванні електричної потужності, яке в Україні забезпечується переважно вугільними електростанціями. Використання біометану для цієї мети може значною мірою компенсувати обмежені можливості регулювання відновлюваних джерел енергії, що швидко розвиваються, - сонця і вітру.

- **Використання біометану як моторного палива для автомобільного транспорту, в сільському господарстві, в авіації та морському транспорті.**

Дозволяє замінити викопне моторне паливо – бензин, дизель, авіаційні палива, CNG, LNG, LPG. Це відмінна можливість для сільгоспвиробників отримувати паливо за рахунок відходів і вторинних продуктів власного виробництва. Використання біометану як палива для громадського транспорту може значно зменшити забруднення повітря у великих містах. Використання біометану легковими автомобілями також можливе, воно популярне в деяких, в тому числі розвинених, країнах (європейський приклад - Італія).



Використання біометану на транспорті

Стиснений природний газ CNG



- Легкові, автобуси, місцевий (вантажний) **автопарки**, трактори
- Температура навколишнього середовища.
- Стиснутий до 200 бар

Скrapлений природний газ LNG



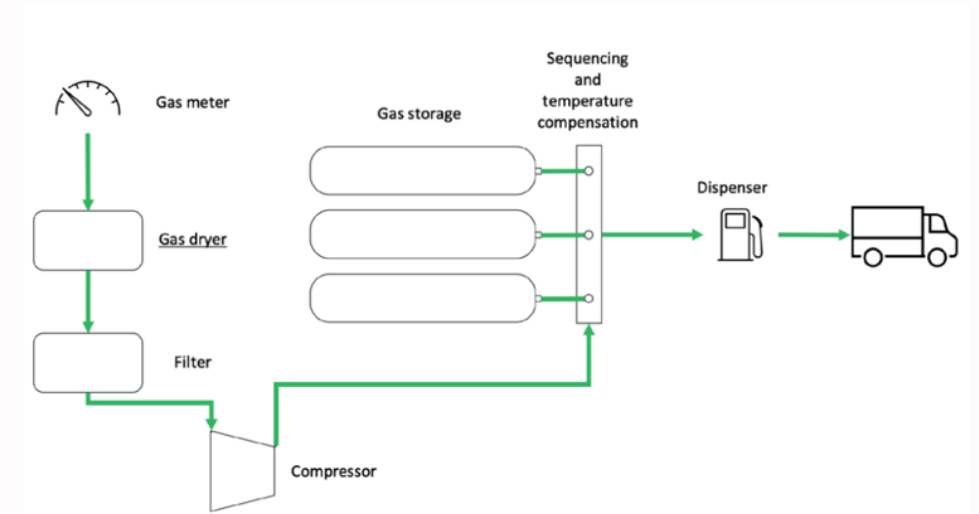
- Важкі транспортні засоби та перевезення на далекі відстані.
- Охолоджується до -162°C
- Атмосферний тиск.

Стиснений біометан (CNG)

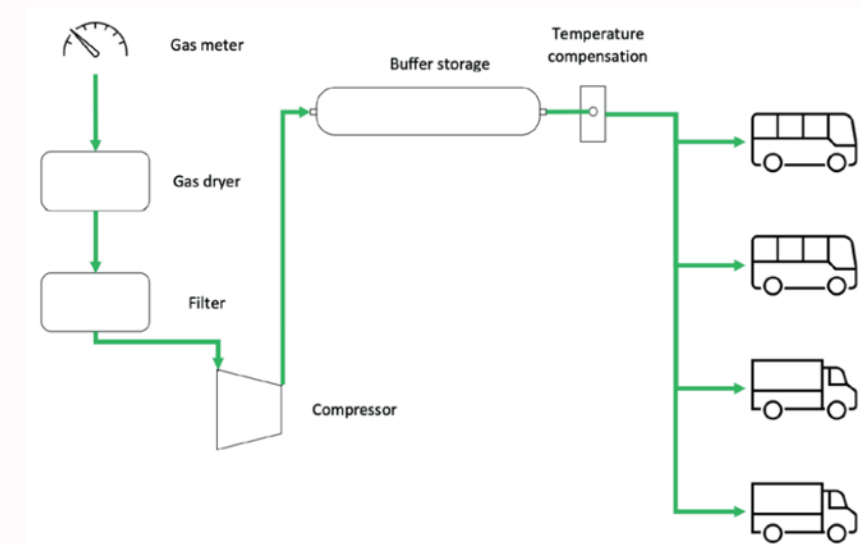
- Стиснений біометан може використовуватись як автомобільне паливо аналогічно стисненому природному газу. Для використання як палива біометан стискають до 200 бар і заправляють *балони (баки)*, встановлені на паливних системах автомобілів.
- Стиснений біометан (15 °C, 200...250 бар) має енергетичний вміст 9064 МДж/м³, що в 275 разів більше, ніж у нестисненому біометані, втім це в 3,97 рази менше, ніж у дизельному паливі, в 3,53 рази менше, ніж у бензині, і в 2,34 рази менше, ніж в bio-LNG.
- 1 м³ біометану (15°C, 1.01325 бар) отримують 3,6 л bio-CNG (15°C, 250 бар). Для стиснення біометану від 1 до 200 бар потрібно 2-3% еквіваленту енергії біометану.



Контейнери для зберігання та транспортування стиснутого природного газу



Принцип дії та основні вузли CNG заправки швидкої дії



Принцип дії та основні вузли CNG заправки повільної дії

Зріджений біометан (LNG)

- Зрідження біометану є доцільним при необхідності його транспортування на *значні відстані* за *відсутності* можливості подачі в ГТС або ГРС, а також для збільшення шляху транспорту на одній заправці.
- Біометан, як і природний газ, зріджується при атмосферному тиску при температурі мінус 162 °С. При збільшенні тиску зрідження, необхідна температура може бути вищою. Енергетичний вміст біо-LNG складає 21206 МДж/м³. З 1 м³ біометану (15°C, 1.01325 бар_{абс}) отримують 1,6 л біо-LNG (-162°C, 1.01325 бар_{абс}).
- Зрідження біометану потребує від 14 до 20% первинного енергетичного вмісту виробленого рідкого біометану, залежно від використовуваної технології.
- Транспортування біо-LNG до заправної станції здійснюється спеціалізованими автоцистернами-напівпричепами з необхідною арматурою та вимірювальними приладами. Типова ємність таких цистерн складає 52 м³, що дозволяє транспортувати близько 20 т біо-LNG.
- Слід зауважити, що в Україні наразі немає LNG інфраструктури, в т.ч і станцій заправки LNG.



Цистерна-напівпричіп для транспортування біо-LNG

Технології зрідження біометану

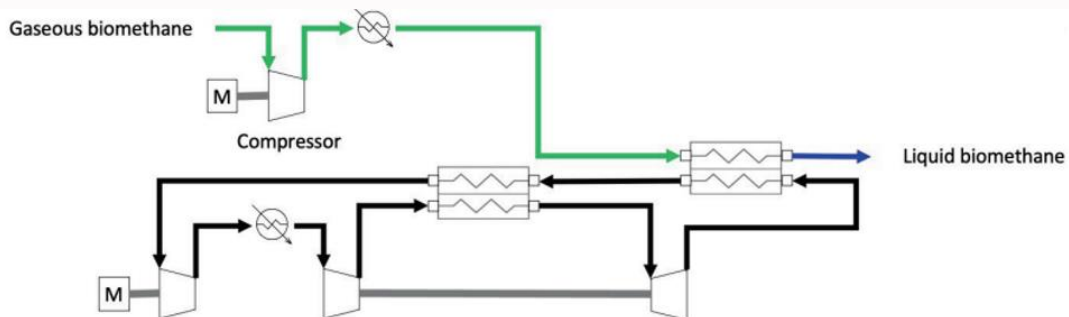


Схема зрідження біометану в зворотному циклі Брайтона

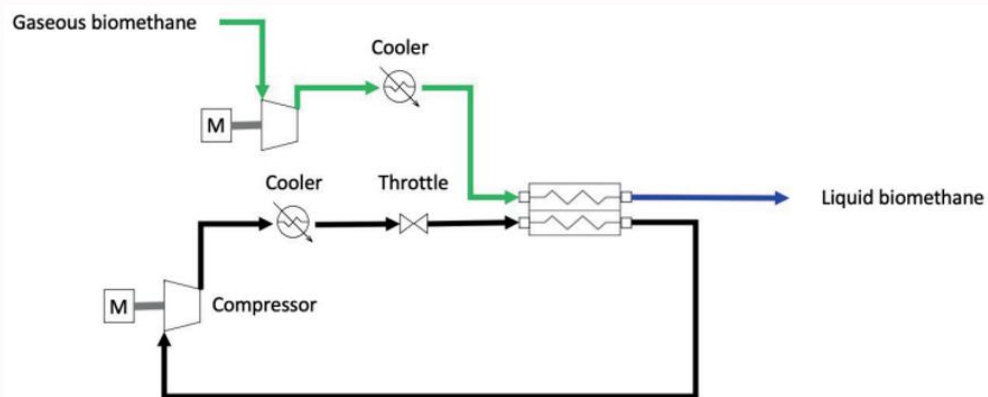


Схема зрідження біометану в зворотному циклі Ренкіна

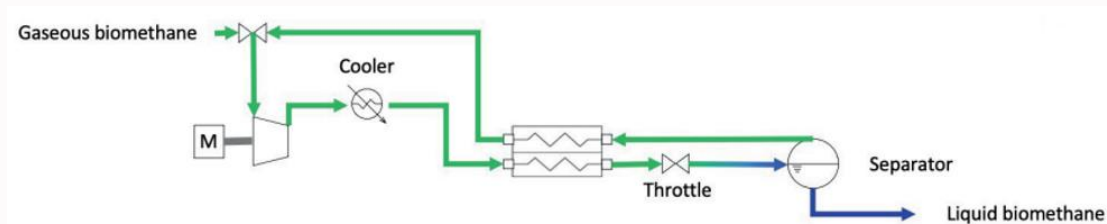


Схема зрідження біометану в циклі Лінде

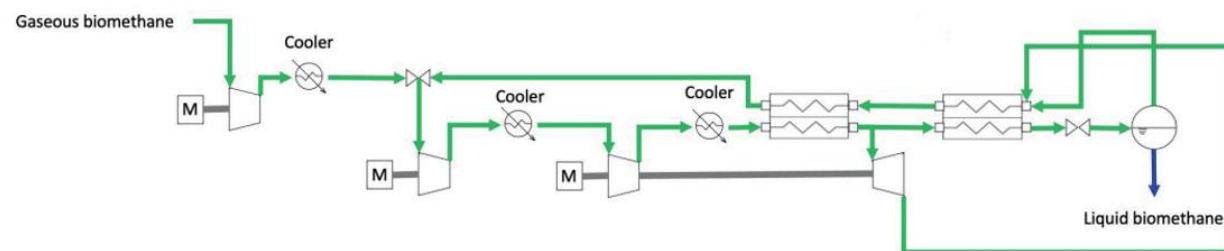


Схема зрідження біометану в циклі Клоде

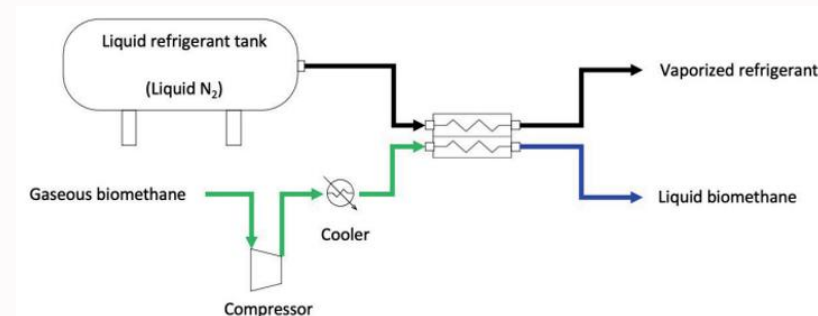
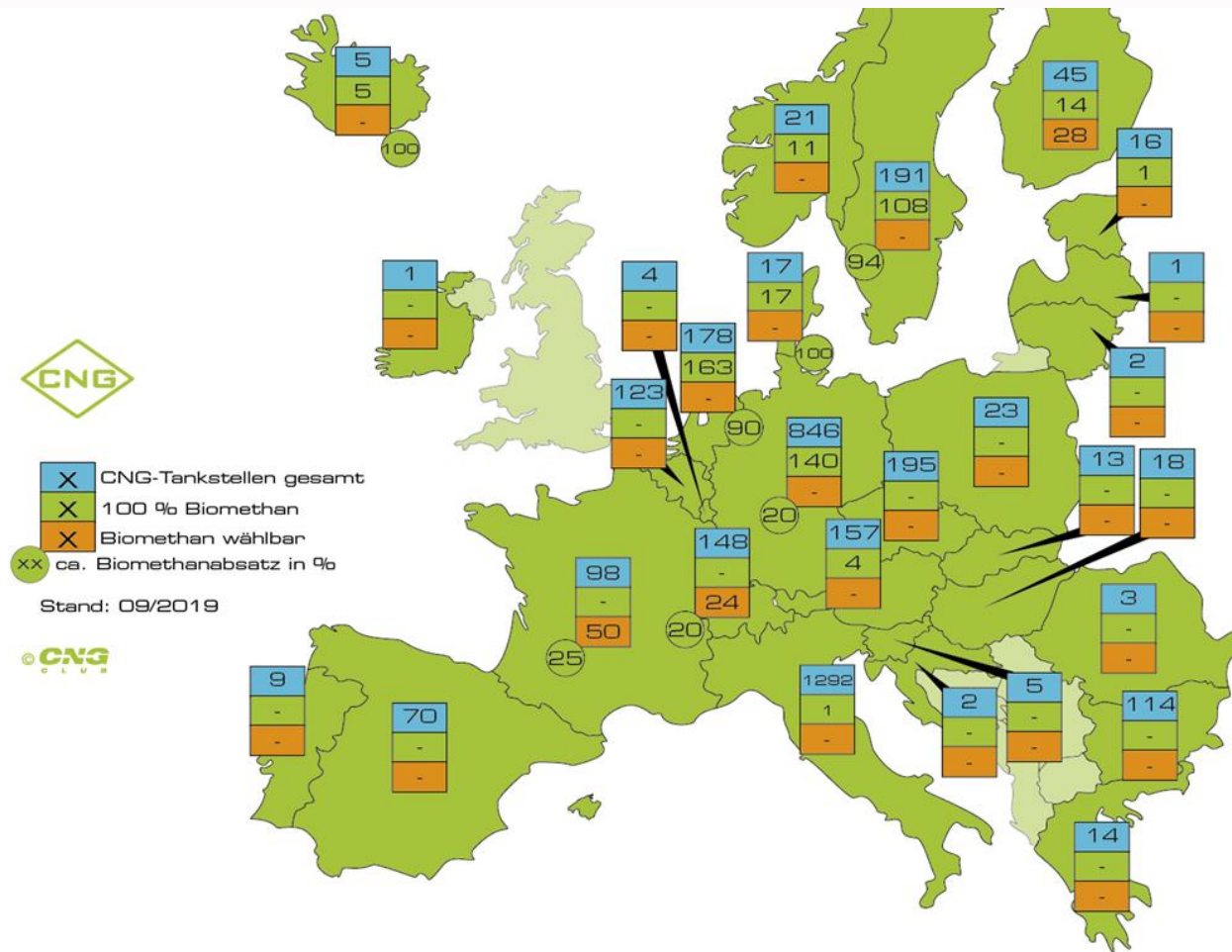


Схема зрідження біометану рідким азотом

CNG мобільність в Європі



4.100 CNG заправок в
Європі

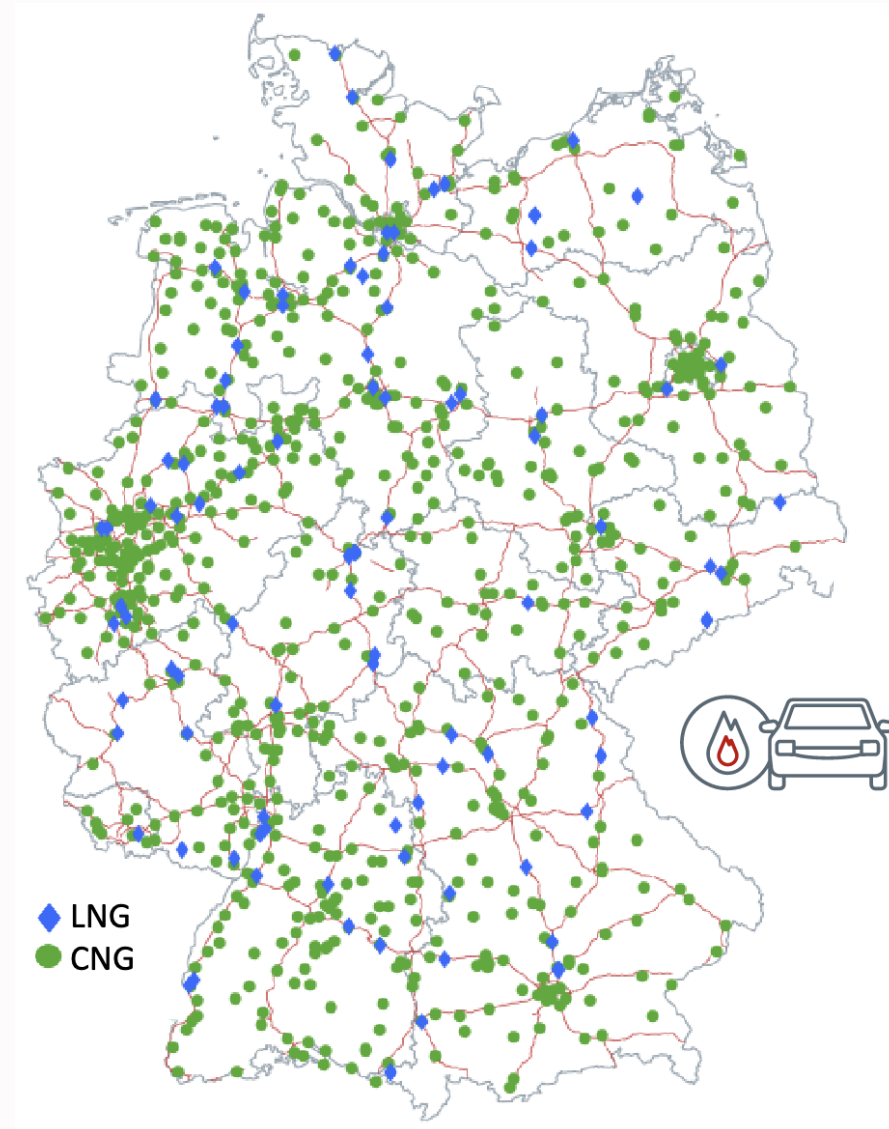


Заправні станції в Німеччині

786 CNG заправних станцій в Німеччині.

Для **LNG** транспортних засобів є **107** заправних станцій .

LNG = скраплений природний газ
CNG = стиснений природний газ



As of 04/2022
EasyMap-Kartengrundlage:
(C) infas LT, Lutum+Tappert
DV-Beratung GmbH, Bonn

Приклад: Проста заправна станція (Швейцарія, тип BV12)



З некаліброваною
вимірювальною системою:

- Вимірювання Коріоліса
- Автоматичний паливний термінал



Серійний транспорт на природному газі/біометані з заводським газобалонним обладнанням



AUDI A5 SPORTBACK 2.0 GTRON

Двигун 170 к.с.
Ємність CNG 24,7 м3
Розхід CNG 4,5 м3/100 км
Ємність бензину 25 л
Загальний запас ходу на 950 км
Запас ходу на CNG 500 км



AUDI A3 SPORTBACK GTRON

Двигун 110 к.с.
Ємність CNG 18,7 м3
Розхід CNG 4,3 м3/100 км
Ємність бензину 50 л
Загальний запас ходу на 1380 км
Запас ходу на CNG 420 км



AUDI A4 AVANT GTRON

Двигун 170 к.с.
Ємність CNG 24,7 м3
Розхід CNG 5,2 м3/100 км
Ємність бензину 25 л
Загальний запас ходу на 950 км
Запас ходу на CNG 500 км



FIAT PANDA HÍBRIDO 0,9

Двигун 80 к.с.
Ємність CNG 19,6 м3
Розхід CNG 4,0 м3/100 км
Ємність бензину 35 л
Загальний запас ходу на 1060 км
Запас ходу на CNG 300 км



FIAT DOBLÒ PANORAMA 1.4 T

Двигун 120 к.с.
Ємність CNG 21 м3
Розхід CNG 6,3 м3/100 км
Ємність бензину 22 л
Загальний запас ходу 627 км
Запас ходу на CNG 330 км



FIAT 500L 0,9 TWINAIR NATURAL POWER

Двигун 80 к.с.
Ємність CNG 18,2 м3
Ємність бензину 50 л
Розхід CNG 5,0 м3/100 км
Загальний запас ходу 1180 км
Запас ходу на CNG 340 км



VOLKSWAGEN GOLF TGI

Двигун 110 к.с.
Ємність CNG 19,5 м3
Розхід CNG 4,4 м3/100 км
Ємність бензину 50 л
Загальний запас ходу на 1340 км
Запас ходу на CNG 400 км



SEAT MII ECOFUEL

Двигун 80 к.с.
Ємність CNG 19,5 м3
Розхід CNG 5,0 м3/100 км
Ємність бензину 50 л
Загальний запас ходу на 1202 км
Запас ходу на CNG 359 км



SEAT IBIZA TGI

Двигун 90 к.с.
Ємність CNG 16,9 м3
Розхід CNG 4,6 м3/100 км
Ємність бензину 40 л
Загальний запас ходу на 1320 км
Запас ходу на CNG 390 км



SEAT LEON TGI

Двигун 80 к.с.
Ємність CNG 15,6 м3
Розхід CNG 3,1 м3/100 км
Ємність бензину 35 л
Загальний запас ходу на 1110 км
Запас ходу на CNG 350 км



SKODA OCTAVIA SEDÁN GTEC

Двигун 110 к.с.
Ємність CNG 19,5 м3
Розхід CNG 4,5 м3/100 км
Ємність бензину 50 л
Загальний запас ходу на 1360 км
Запас ходу на CNG 420 км



FIAT PROFESSIONAL FIORINO COMBI 1.4 NATURAL POWER

Двигун 71/77 к.с.
Ємність CNG 18,2 м3
Розхід CNG 5,0 м3/100 км
Ємність бензину 50 л
Загальний запас ходу 1180 км
Запас ходу на CNG 340 км



VOLKSWAGEN ECO UP

Двигун 68 к.с.
Ємність CNG 14,3 м3
Розхід CNG 3,7 м3/100 км
Ємність бензину 10 л
Загальний запас ходу на 600 км
Запас ходу на CNG 380 км



VOLKSWAGEN POLO TGI

Двигун 90 к.с.
Ємність CNG 15,0 м3
Розхід CNG 2,6 м3/100 км
Ємність бензину 40 л
Загальний запас ходу на 1200 км
Запас ходу на CNG 500 км



FIAT PROFESSIONAL DOBLÒ CARGO BASE 1.4 TJET NATURAL POWER GNC

Двигун 120 к.с.
Ємність CNG 21 м3
Розхід CNG 6,3 м3/100 км
Ємність бензину 22 л
Загальний запас ходу 627 км
Запас ходу на CNG 330 км



VOLKSWAGEN CADDY MAXI TGI

Двигун 110 к.с.
Ємність CNG 32,5 м3
Об'єм 1395 куб
Крутий момент 200 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 2415/2345 кг
Корисне навантаження 572/656 кг



IVECO DAILY 35S14VN (16M)

Двигун 136 к.с.
Ємність CNG 38,81 м3
Об'єм 2998 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 882 кг



IVECO DAILY 70C14VG (16M)

Двигун 136 к.с.
Ємність CNG 42,46 м3
Об'єм 2998 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 694 кг



IVECO DAILY 50C14NZ

Двигун 136 к.с.
Ємність CNG 45,60 м3
Об'єм 2998 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 1183 кг



SCANIA CONSTRUCCIÓN

Двигун 280/340/410 к.с.
Об'єм 9 300/9 300/12 700 куб
Крутий момент 1350/1600 /2000 Нм МКПП
Потужність на CNG-різні комбінації



IVECO STRALIS AD260S33Y/PS GNCGNL

Двигун 330 к.с.
Ємність CNG 180 м3
Об'єм 7800 куб
Крутий момент 1300 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 27000 кг
Корисне навантаження 17670 кг



VOLKSWAGEN CADDY TGI

Двигун 110 к.с.
Ємність CNG 32,5 м3
Об'єм 1395 куб
Крутий момент 200 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 2175/2225 кг
Корисне навантаження 495/659 кг



FIAT PROFESSIONAL DUCATO

Двигун 140 к.с.
Ємність CNG 11,5 м3
Об'єм 2999 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 1190 кг



FIAT DUCATO COMBI MAXI

Двигун 140 к.с.
Ємність CNG 11,5 м3
Об'єм 2999 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 1015 кг



IVECO DAILY 35C14N

Двигун 136 к.с.
Ємність CNG 45,60 м3
Об'єм 2998 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 3500 кг
Корисне навантаження 1313 кг



IVECO DAILY 70C14G

Двигун 136 к.с.
Ємність CNG 55,45 м3
Об'єм 2998 куб
Крутий момент 350 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 7200 кг
Корисне навантаження 4549 кг



SCANIA DISTRIBUCIÓN 4X2 280/340CV LNG/CNG

Двигун 280/340 к.с.
Об'єм 9 300 куб
Крутий момент 1350/1600 Нм
АКПП



IVECO STRALIS AS440S46T/P 2xGNL

Двигун 460 к.с.
Ємність CNG 533 м3
Об'єм 12900 куб
Крутий момент 2000 Нм
АКПП
Вага авто 20000 кг

Серійний транспорт на природному газі/біометані з заводським газобалонним обладнанням



IVECO EUROCARGO ML120EL21

Двигун 204 к.с.
Ємність CNG 164,5 м3
Об'єм 6728 куб
Крутний момент 750 Нм
МКПП та АКПП
Вага авто 12000 кг
Корисне навантаження 7102 кг



IVECO STRALIS AT440S33T/
P CNG/LNG

Двигун 330 к.с.
Ємність CNG 180 м3
Об'єм 7800 куб
Крутний момент 1300 Нм
МКПП
Вага авто 19000 кг



MERCEDES - BENZ ECONIC
NGT 2630 LL

Двигун 302 к.с.
Ємність CNG 117 м3
Об'єм 7700 куб
Крутний момент 1200 Нм
АКПП



RENAULT D WIDE

Двигун 320 к.с.
Об'єм 8 900 куб
Крутний момент 1357 Нм
Ємність CNG 117/156 м3
АКПП
Корисне навантаження 11,336 /
18,154 кг
Загальна вага 18 000/26 000 кг



MAN LION'S CITY 313

Двигун 310 к.с.
Об'єм 12 816 куб
Крутний момент 1,250 Нм
Ємність CNG 499 м3
АКПП



MERCEDES BENZ CITARO

Двигун 300 к.с.
Довжина авто 12 м 13 см
Ємність CNG 423 м3
Об'єм 7 700 куб
Крутний момент 1200 Нм
АКПП



SCANIA INTERLINK LNG/CNG

Двигун 320 к.с.
Довжина авто 13,20 м
Ємність CNG 551 м3
Об'єм 9300 куб
Крутний момент 1500 Нм
АКПП



IVECO STRALIS AS440S40T/
P 2xGNL

Двигун 400 к.с.
Ємність CNG 533 м3
Об'єм 8700 куб
Крутний момент 1700 Нм
АКПП
Вага авто 20000 кг



MERCEDES - BENZ
ECONIC NGT 1830 LL

Двигун 302 к.с.
Ємність CNG 117 м3
Об'єм 7700 куб
Крутний момент 1200 Нм
АКПП



SCANIA LARGA DISTANCIA
RIGIDO 6X2-4 410CV LNG/CNG

Двигун 410 к.с.
Ємність CNG 117 м3
Об'єм 12700 куб
Крутний момент 2000 Нм
АКПП



VOLVO FE CNG (26/18 T)

Двигун 320 к.с.
Об'єм 9000 куб
Крутний момент 1356 Нм
Ємність CNG 148/197 м3
АКПП



IVECO URBANWAY CNG

Двигун 290/330 к.с.
Довжина авто 10,5-12,18 м
Ємність CNG 264/319 м3
Об'єм 7 800 куб
Крутний момент 1100/1300 Нм
АКПП



SCANIA CITY WIDE LE

Двигун 280/320 к.с.
Довжина авто 18 м
Ємність CNG 468 м3
Об'єм 9300 куб
Крутний момент 1500 Нм
АКПП



IVECO CROSSWAY CNG

Двигун 360 к.с.
Довжина авто 18 м 12 см
Ємність CNG 260 м3
Об'єм 8 700 куб
Крутний момент 1620 Нм
АКПП



Характеристики	Значення
Модель	New Holland T6.180 Methane Power
Робочий об'єм (см3)	6728
Макс. потужність (Whp)	129/175
Номінальна частота обертів двигуна	2200
Макс. крутний момент (Нм при об/хв.)	738/1500
Інтервал обслуговування (год)	750
Об'єм балонів (л/м3)	185-270/46-67

Приклад лімітів домішок для двигунів

	SCANIA	Liebherr		TEDOM				MTU
	Каталізатор	Каталізатор	Без каталізатора	Micro T7 to T30	Cento T80 to T200	Cento M50, Micro T50, cento L200 to L500	Quanto D400 to D2000 cento L200 to L501	
Метан	40 - 65 %			> 50 %	> 40 %	> 50 %	> 45 %	
Кисень	2.0 об. %	2.0 об. %	2.0 об. %					
Сірководень	5 ppm (8 мг/м³)	5 ppm (8 мг/м³)	150 ppm (228 мг/м³)	0.047 об.% Nm³	0.15 об.%Nm³	228 мг /Nm³ (150 ppm/Nm³)	2130 мг /Nm³	850 мг/м³
Аміак	100 ppm (76 мг/м³)	40 ppm	40 ppm	0.83 мг/МДж (30 мг /Nm³)	0.83 мг/МДж (30 мг /Nm³)	0.83 мг/МДж (30 мг /Nm³)	0.83 мг/МДж (30 мг /Nm³)	70 ppm
Водень	40 ppm (450 мг/м³)	100 ppm	100 ppm					
Хлор	30 ppm (50 мг/м³)	3 ppm	26 ppm	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	2.2 мг/МДж (80 мг /Nm³)	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	40 мг/м³
Фтор	30 ppm (25 мг/м³)	3 ppm	25 ppm	1.38 мг/МДж (50 мг /Nm³)	1.38 мг/МДж (50 мг /Nm³)	1.1 мг/МДж (40 мг /Nm³)	1.4 мг/МДж (50 мг /Nm³)	20 мг/м³
Хлор&Фтор	60 ppm (50 мг/м³)	5 ppm	42 ppm	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	2.2 мг/МДж (80 мг /Nm³)	2.8 мг/МДж (100 мг /Nm³)	
Кремній	5 ppm (5 мг/м³)	3 мг/м³	3 мг/м³	0.27 мг/МДж (10 мг /Nm³)	0.27 мг/МДж (10 мг /Nm³)	0.05 мг/МДж (2 мг /Nm³)	0.5 мг/МДж (20 мг /Nm³)	4 мг/м³ (20 мг /Nm³)
Пил	100 мг/м³ (розмір часток < 3 µm)	2 мг/м³	2 мг/м³					5 мг/м³ (розмір часток 3 – 10 µm)
Важкі метали		7 мг/м³						
Відносна вологість						60 %	80 %	80 % (28 g/kg)

Використання “сирого” біогазу в дизельному двигуні



Трактор із двигуном Cummins 6T-590

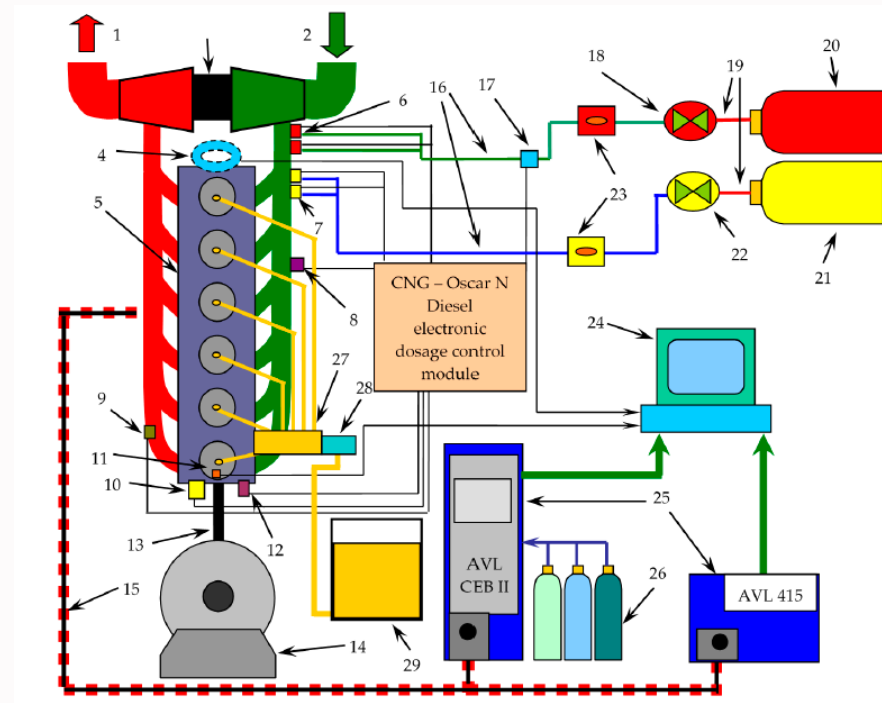


Схема випробувального стенду з двигуном адаптованим для двопаливного живлення

- Випробування показали, що двигун стабільно працює на двох паливах, коли дизельне паливо заміщене біогазом на 40% (біогаз містить 50% CO_2).
- Додавання біогазу істотно не вплинуло на динаміку та інші корисні властивості транспортного засобу.
- Біогаз, який містить максимум 50% CO_2 , за умови переважного видалення H_2S , вологи та силексанів, підходить як паливо для тракторів.

Використання біометану на транспорті

- Біометан можна використовувати в усіх двигунах, що працюють на природному газі.
- На ринку представлена значна кількість сучасних газових двигунів для автомобілів, важких транспортних засобів, кораблів і поїздів, які можуть працювати на біометані.
- Більшість виробників автомобілів пропонують моделі, що працюють на стисненому або скрапленому метані.
- Існує також можливість переобладнати автомобіль з бензиновим двигуном для роботи на газі.
- Важливою умовою для розвитку є наявність необхідної інфраструктури – достатньої кількості газових заправних станцій (CNG або LNG).



European Bank
for Reconstruction and Development



Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую!

Юрій Матвєєв



UABIO, член експерт. ради, к.ф.м.н.



+380 67 790 75 08



matveev@uabio.org



<https://uabio.org>

