

UABIO



Виробництво та логістика біометану як
моторного палива, технічні та економічні
аспекти

27 березня, 2025

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

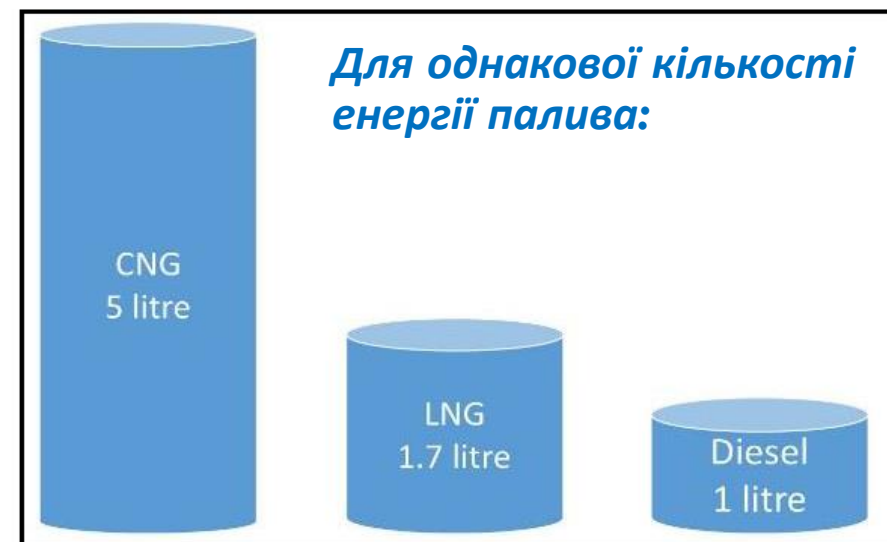
Біометан на транспорті

Метан на транспорті:

- ❖ можна спалювати з відносно низьким зносом двигуна та низькими викидами,
- ❖ можна оснащувати простішою технологією очищення вихлопних газів, щоб відповідати тим самим стандартам викидів.
- ❖ метан має значно вище октанове число (приблизно 120) ніж бензин



Характеристика	CNG (стиснений природний газ)	LNG (зріджений природний газ)
Фізичний стан	Газ	Рідина
Температура в паливній ємності	Навк. серед.	-162 °C
Типовий тиск в ємності	17,3-24,9 МПа	170-446 кПа
Типова густина, кг/л	0,13-0,19	0,42
Нижча теплота згоряння, МДж/л	6500-9500	21000

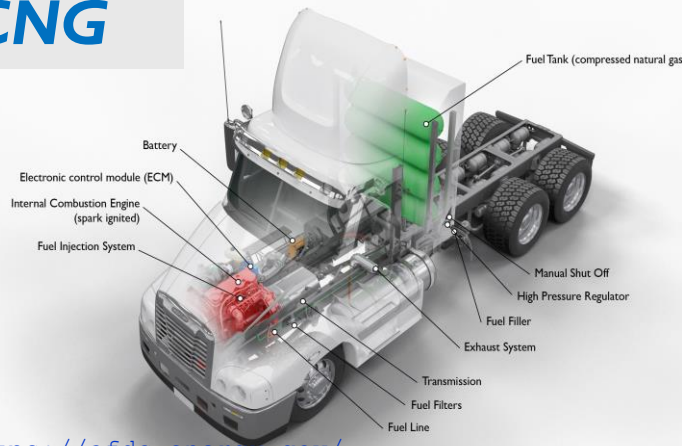


LNG, CNG – переваги та недоліки

Параметри	LNG	CNG	Перевага у:
Логістика	Доставка транспортом	Постійне постачання	Залежно від ситуації
Виробництво газового палива	Кілька технологій, що покривають весь діапазон потужностей	Переважно лише стиснення, але важливий контроль робочих параметрів	CNG
Завантаження/розвантаження	Звичайні або криогенні шланги	Шланги високого тиску з ризиком викиду вибухонебезпечного газу	LNG
Зберігання великих обсягів	Перевірені технології	Більш складні технології, ще не досить перевірені	LNG
Транспортування	Низький тиск і більша місткість для заданого об'єму	Високий тиск і менша місткість для заданого об'єму	LNG
	Потрібні спеціальні криогенні матеріали	Ніяких спеціальних матеріалів не потрібно	CNG
	Потрібно менше вантажівок для заданого обсягу газу	Потрібно більше вантажівок для заданого обсягу газу → менший масштаб заправок	LNG
Використання	Великий досвід	Досвід роботи з невеликими ємностями	Залежно від ситуації
Гнучкість	Зріджений або стиснений газ	Стиснений газ	LNG
Безпека	Високий рівень безпеки	Ризик вибуху через високий тиск. Відсутність досвіду	LNG

Робота двигунів транспортних засобів на природному газі

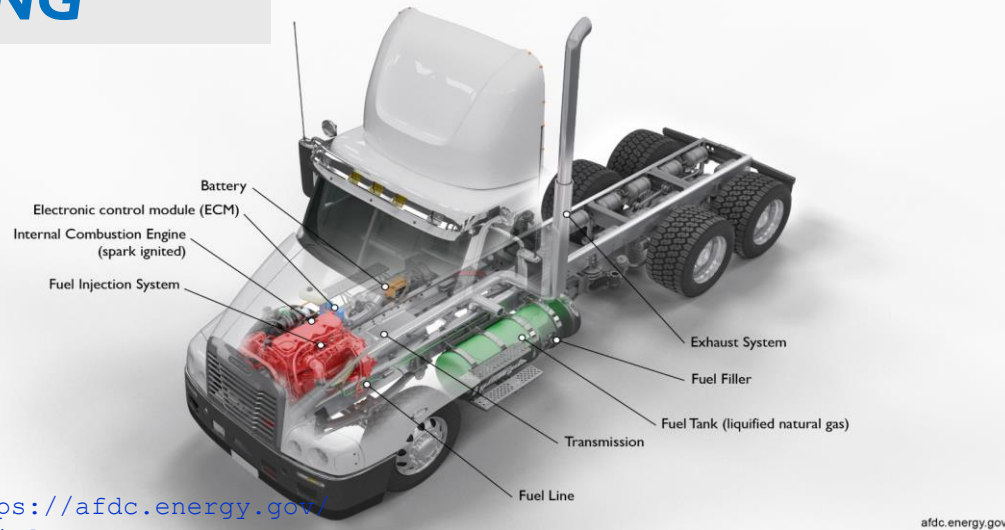
CNG



<https://afdc.energy.gov/vehicles>

<http://dx.doi.org/10.5772/62978>

LNG



<https://afdc.energy.gov/vehicles>

afdc.energy.gov

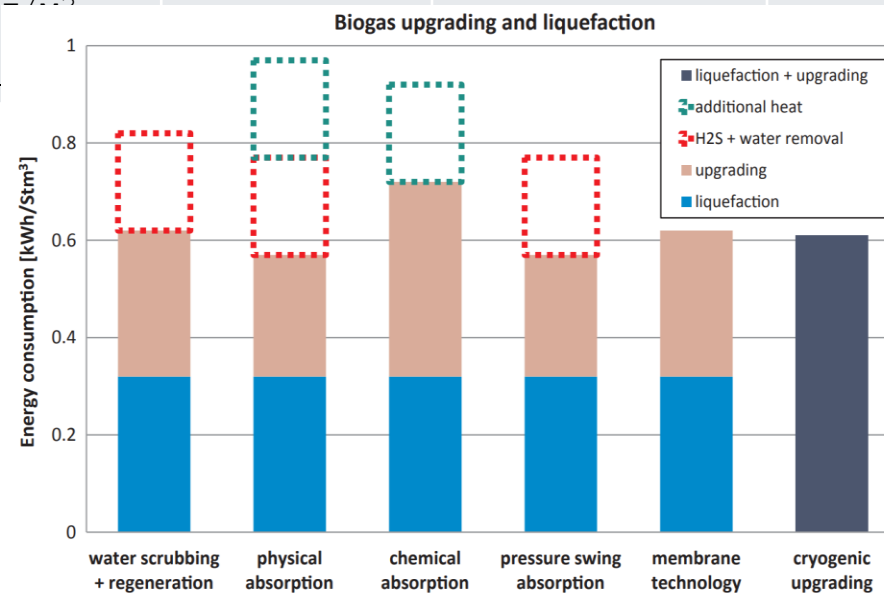
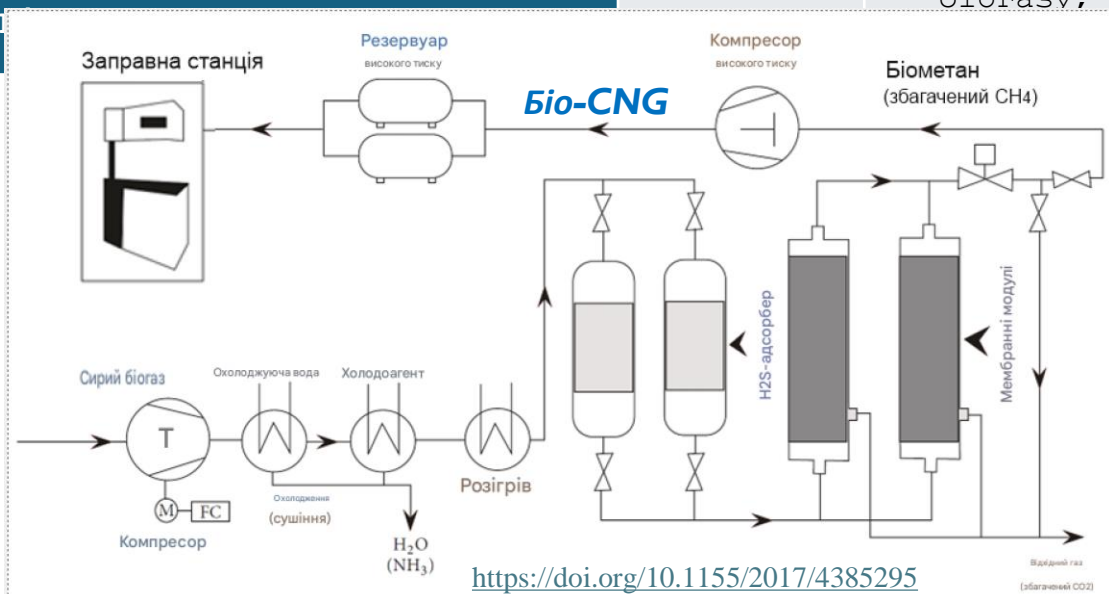
Транспортні засоби на природному газі, працюють так само, як і бензинові з двигунами внутрішнього згорання з іскровим запалюванням. Природний газ зберігається в паливному баку або балоні, як правило, у задній частині автомобіля. Паливна система **CNG** передає газ під високим тиском з паливного баку через паливопроводи, де регулятор тиску знижує тиск до рівня, сумісного з системою впорскування палива двигуна. Нарешті, паливо вводиться у впускний отвір колектора або камери згорання, де він змішується з повітрям, а потім стискається та запалюється свічкою **запалюванням від стиснення** не монопаливні, для їх запалювання.

Для роботи потрібна **комбінація дизеля та природного газу**. Найбільш багатообіцяюча стратегія впорскування для двигунів з прямим уприскуванням природного газу називається **прямим уприскуванням високого тиску (HPDI)**. Інший тип двигуна на природному газі **поєднує концепцію примусового запалювання та запалювання від стиснення**. Для роботи таких двигунів також потрібна комбінація дизеля та природного газу, і вони називаються **двопаливними двигунами непрямого запалювання**. У цій технології газ і повітря попередньо змішуються при низькому тиску на такті стиснення, як у двигуні з примусовим запалюванням. Попередньо змішана збіднена газоповітряна суміш запалюється від стиснення дизельним

Виробництво біометану для транспорту

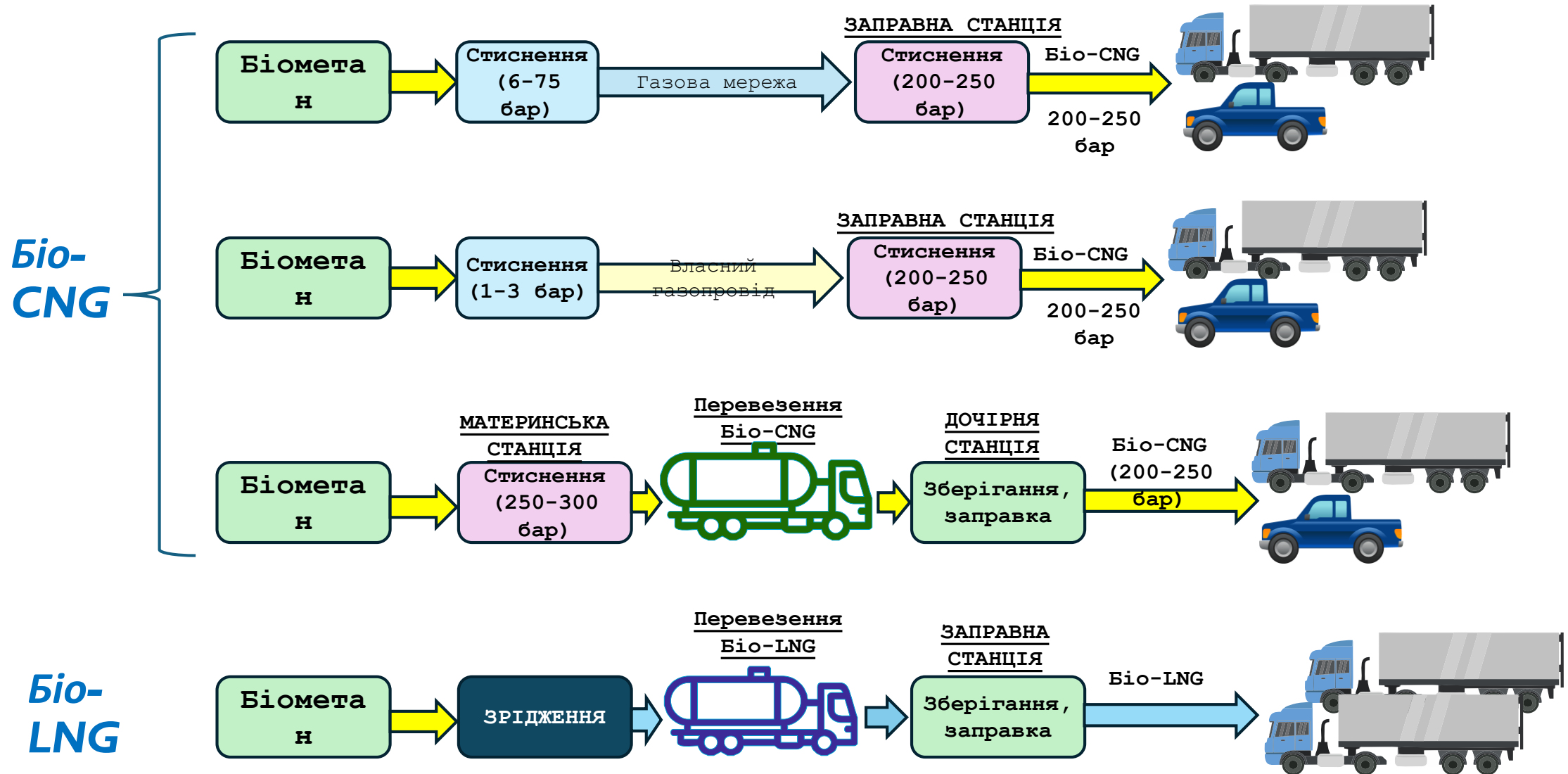
Збагачення біогазу

Parameter	Водяний скруббер	Органічний скруббер	Аміновий скруббер	PSA	Мембранна сепарація	Кріогенна сепарація
фізичний процес видалення CO ₂	Абсорбція водою	Абсорбція органічним розчинником	Абсорбція розчином амінів	Адсорбція на поверхні	Фільтрація	Кріогенне розділення газів
Діапазон технологічної продуктивності, м ³ /год біометану	200-1200	300-1500	400-2000	300-800	50-500	-
Типовий вміст метану в біометані, % об.	95.0-99.0	95.0-99.0	>99.0	95.0-99.0	95.0-99.0	99.0
Частка уловленого метану, %	98.0	96.0	99.96	98.0	80-99.5	98-99.9
Споживання електроенергії, кВт*год/м ³ біометану	0.3-0.9	0.49-0.67	0.05-0.27	0.29-1.0	0.14-0.26	-
Потреба в тепловій енергії та	-	<0,2 кВт/м ³ біогазу,	0,5-0,75 кВт/м ³ біогазу	-	-	-



https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.149

Логістичні ланцюги палива з біометану для наземного транспорту



Bio-CNG, Bio-LNG – обладнання та транспорт

Поршневий компресор



https://mncompressor.com/gas_compressor/cng-compressor

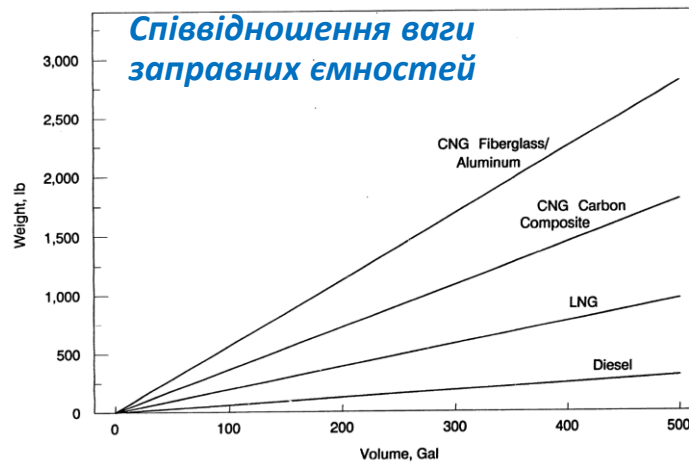
Контейнери для перевезення LNG, біо-LNG



Контейнери для перевезення CNG, біо-CNG



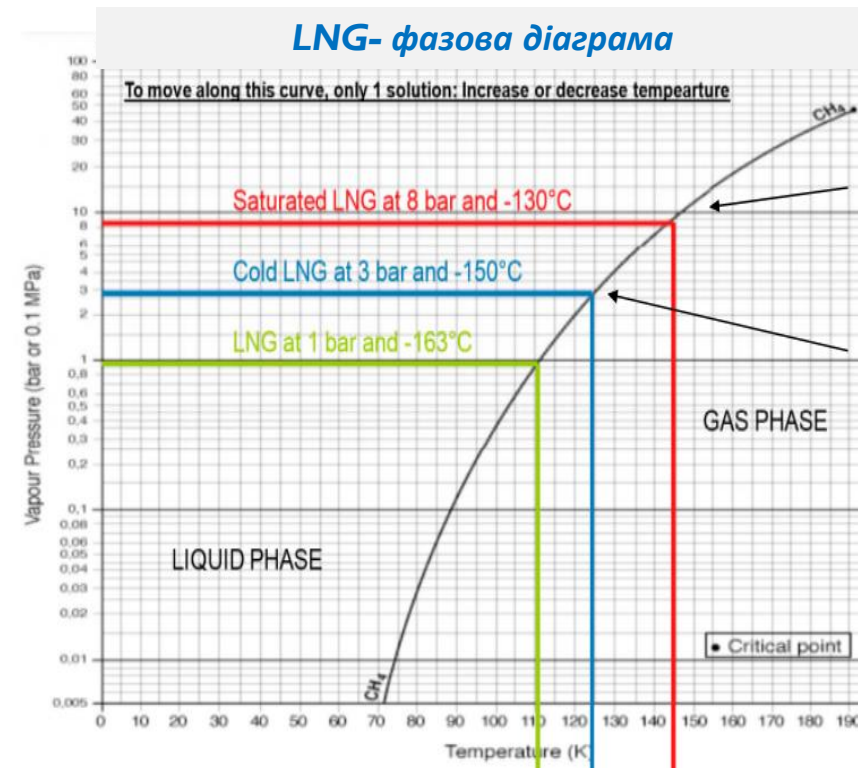
<https://crvo-tm.com.ua/uk/>



Parameter	Value	Unit
Model	14 Tube Quad Axle Jumbo	
Supplier	Fiba Canning	
No. of cylinders	14	
Cylinder specification	DOT/TC 3AA-2750	
Service pressure	2750	psig
Water volume (each)	2468	
Total capacity	8520	Sm ³
	300,900	Scf
Trailer Weight (empty)	41,000	kg
Loaded Weight (full)	47,152	kg

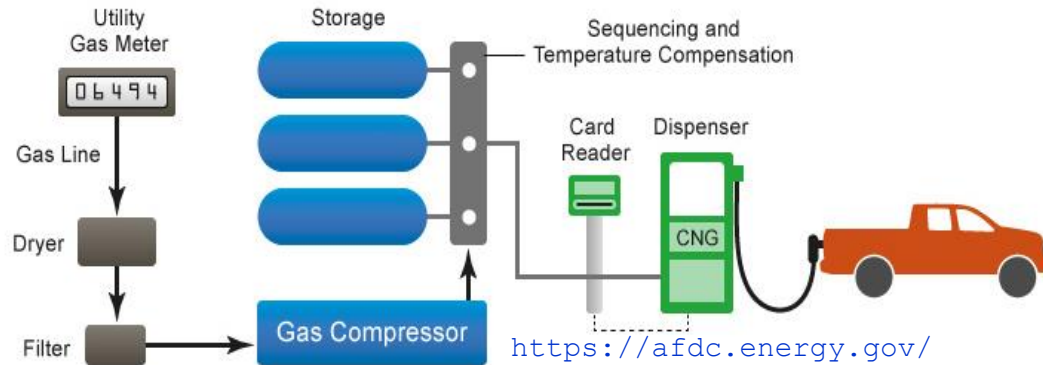
<https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/4638.pdf>

LNG- фазова діаграма



CNG, Bio-CNG – типи заправних станцій

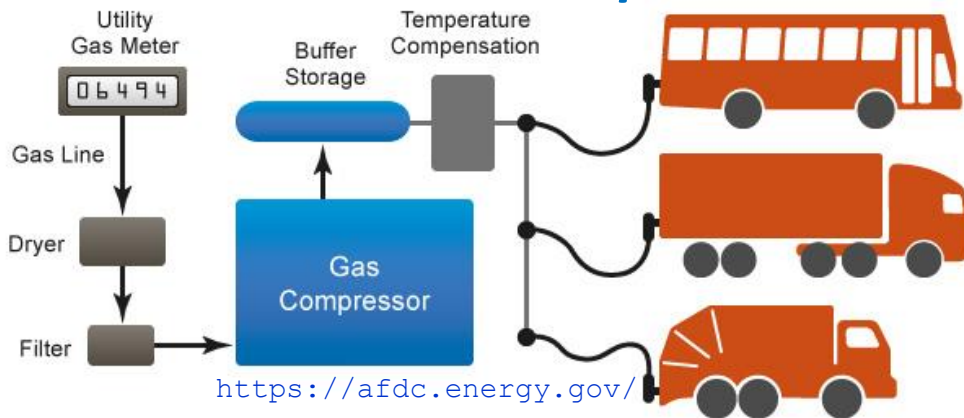
«Швидка» заправка



CNG зберігається в резервуарах під високим

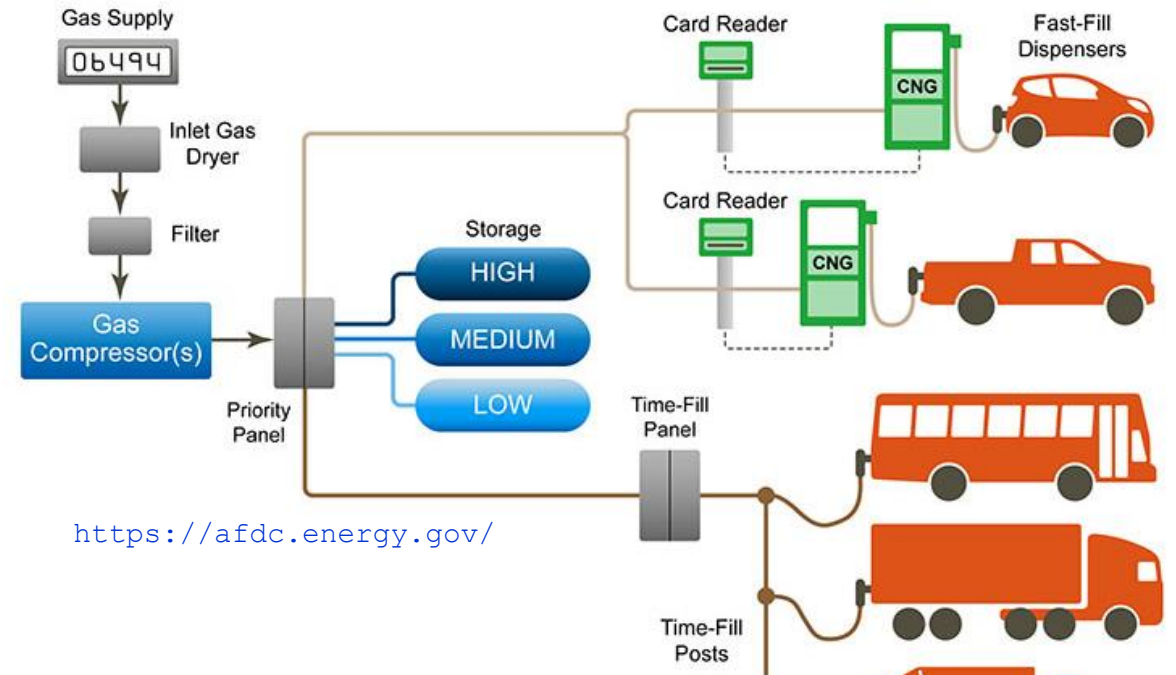
робочим тиском (30 МПа). Заправка – з резервуарів

«Повільна» заправка



Транспорт заправляється безпосередньо від компресора, а не від резервуарів високого тиску

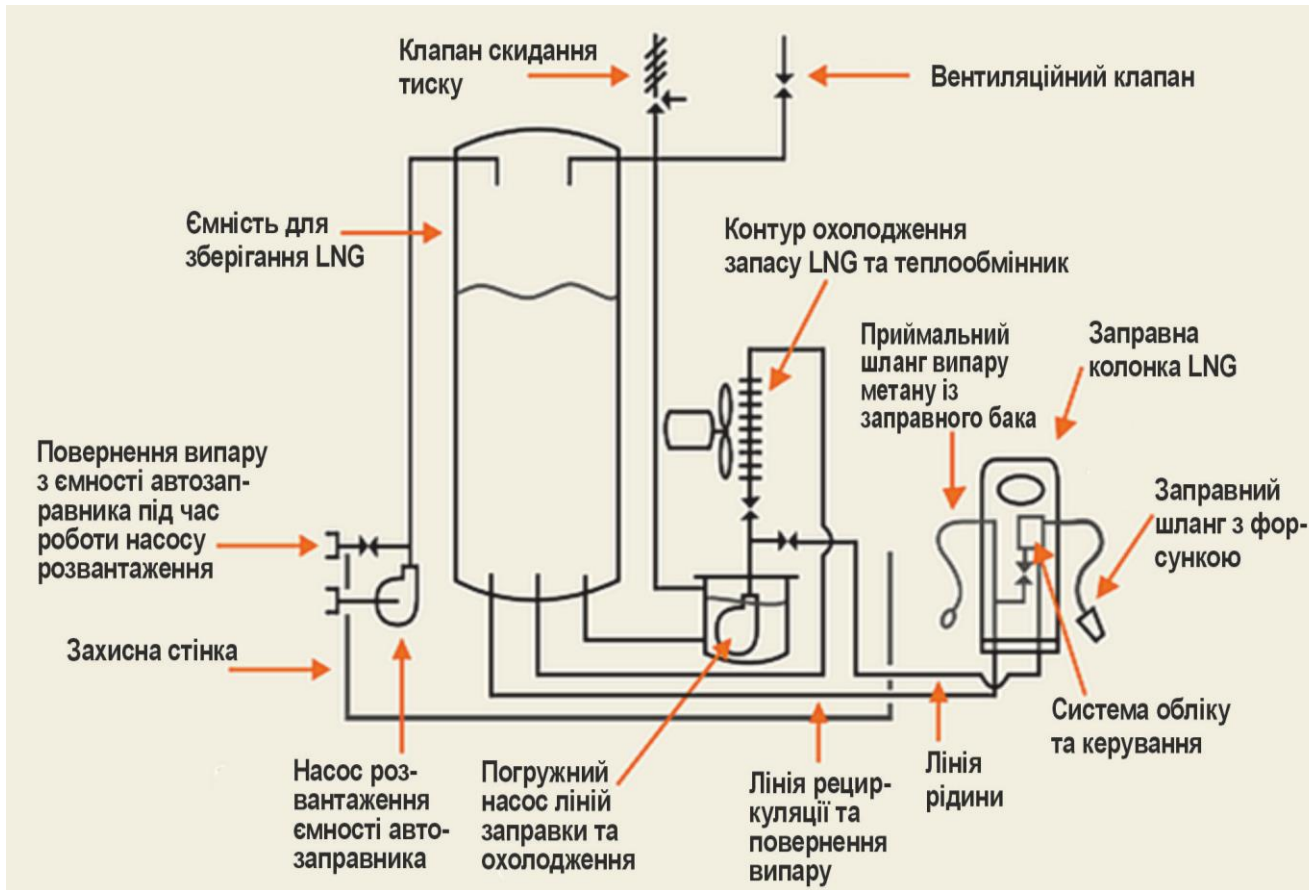
Комбінована заправка



Транспортні засоби на пунктах повільного заповнення заповнюються безпосередньо з компресора, зазвичай протягом ночі. Транспортні засоби на пунктах швидкого заповнення залежно від потреби заповнюються з ємностей для зберігання або з компресора. Така комплектація сприяє гнучкому забезпеченню потреб споживачів.

Заправні станції LNG

LNG-заправка, основні елементи



https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2012/05/11_1803_anga_module5_lng_dd9.pdf

LNG-заправка



Автотранспорт, що працює на CNG та LNG



MANUFACTURER	IVECO	IVECO	IVECO
MODEL	DAILY	EUROCARGO	S-WAY
RANGE	350+1500 KM (CNG+PETROL)	400 KM (CNG)	600 KM (CNG) 1600 KM (LNG)
EFFECT	136 HP (350 NM)	204 HP (750 NM)	340-460 HP (1500-2000 NM)
MAX LOAD	2700 KG	9-16 TONS	18-32 TONS
NO OF PASSENGERS	2	1-2	1-2



Photo:Gustav Lindh.



Photo:Dan Boman.

MANUFACTURER	SCANIA	SCANIA	SCANIA
MODEL	G-SERIES	L-SERIES	P-SERIES
RANGE	800 KM (CNG) 1600 KM (LNG)	800 KM (CNG) 1600 KM (LNG)	800 KM (CNG) 1600 KM (LNG)
EFFECT	280-460 HP (1350-2300 NM)	280-410 HP (1350-2000 NM)	280-340 HP (1350-1600 NM)
MAX LOAD	16-74 TONS	16-32 TONS	16-32 TONS
NO OF PASSENGERS	1-2	1-2	1-2



MANUFACTURER	SCANIA	VOLVO	VOLVO
MODEL	R-SERIES	FE CNG	FM LNG
RANGE	800 KM (CNG) 1600 KM (LNG)	400 KM (CNG)	1000 KM (LNG)
EFFECT	280-460 HP (1350-2300 NM)	320 HP (1350 NM)	420-500 HP (2100-2500 NM)
MAX LOAD	16-74 TONS	18-32 TONS	18-74 TONS
NO OF PASSENGERS	1-2	2	1-2

CNG:

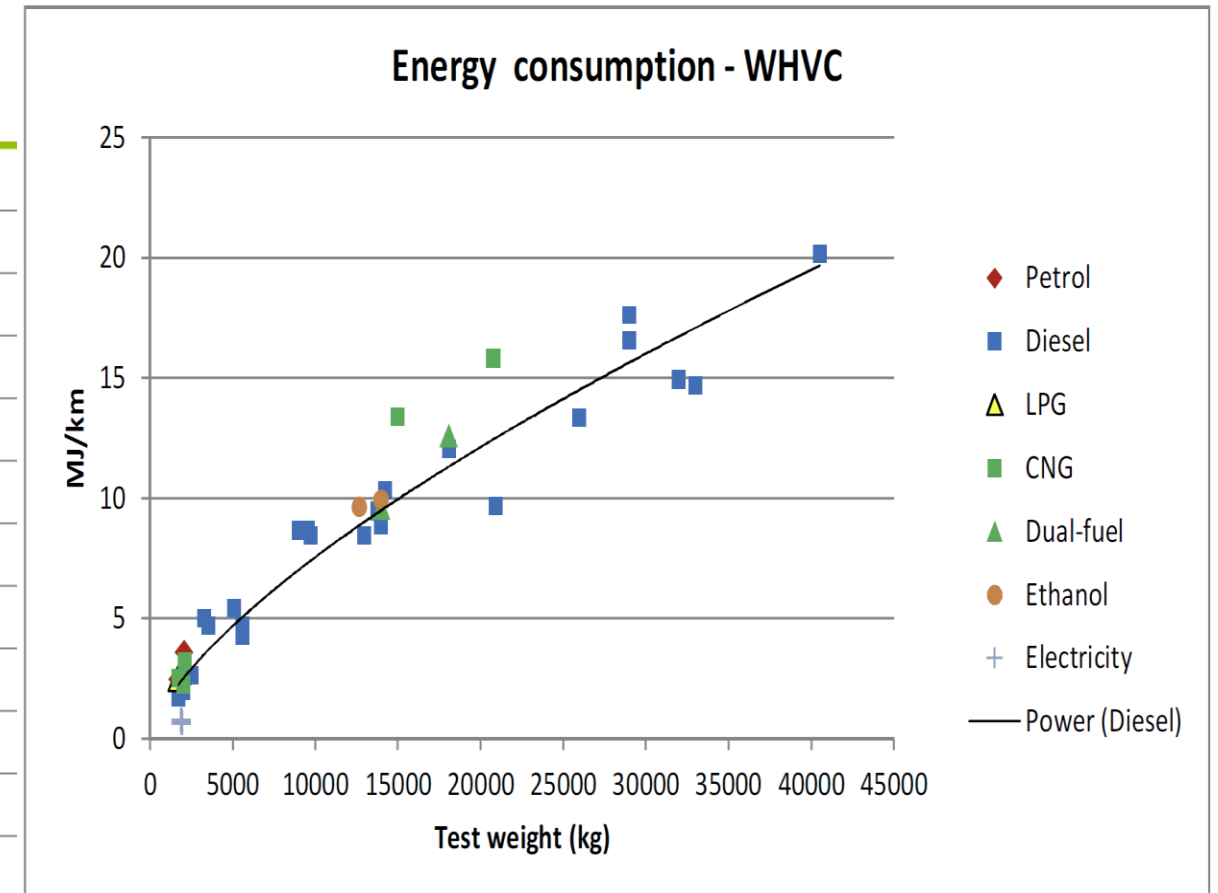


<https://doi.org/10.1007/s11356-020-10361-7>

Співвідношення витрат енергії автотранспорту, що працює на різних видах палива

Середній ступінь перевищення витрат енергії газових палив порівняно з дизельним становить 18-25%

Energy consumption relative to diesel engines	CO ₂ emissions relative to diesel engines	Source
21.5 %	N.A.	Langshaw et al. (2020)
19.0 %	-7.1 %	Cenex (2019)
24.1 %	N.A.	DLR; TUHH (2019)
N.A.	-10.1 %	TNO (2018)
N.A.	-8.9 %	TNO (2017)
16.8 %	-12.0 %	NGVA Europe (2017)
24.3 %	-3.2 %	LBST (2016)
11.1 %	N.A.	Burnham et al. (2016)
21.0 %	-0.5 %	IFEU (2015)
23.1 %	-7.4 %	IFEU (2015)
26.1 %	-3.6 %	dena (2014)
31.8 %	8.7 %	cenex (2012)

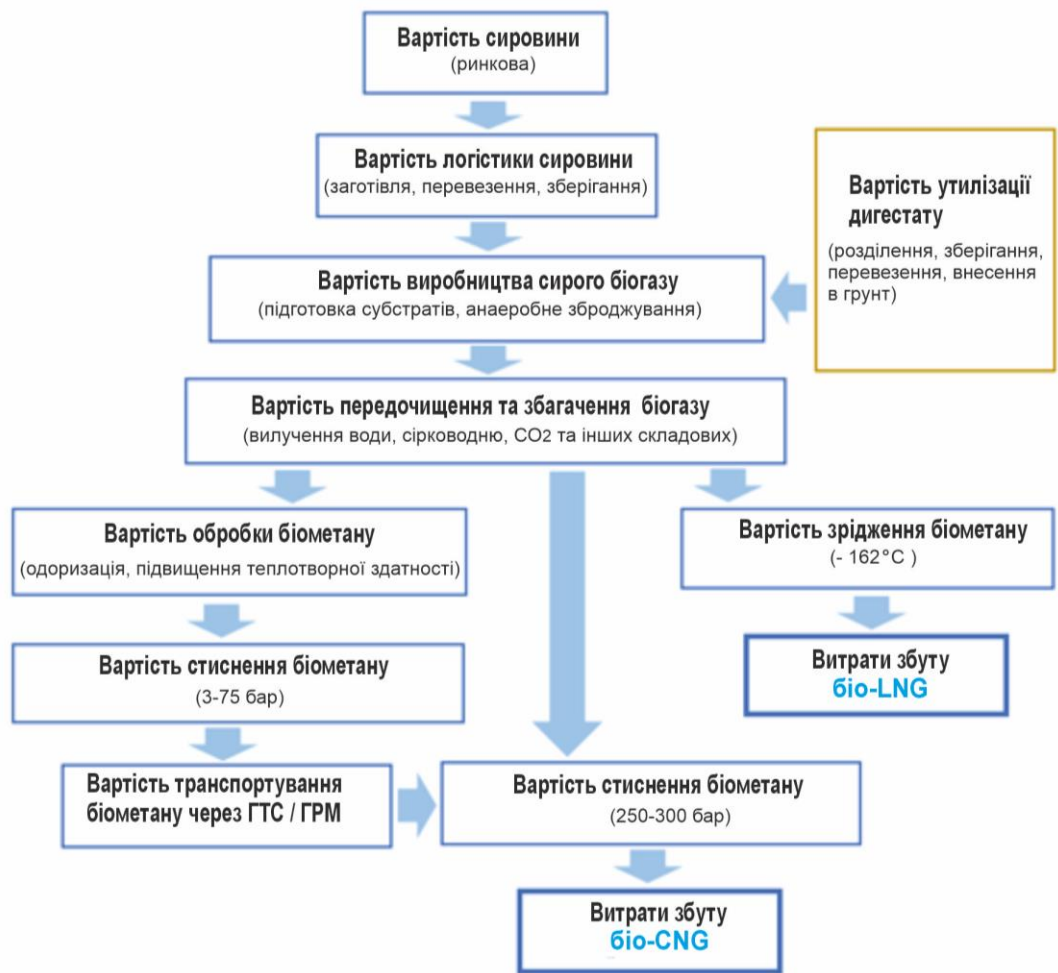


https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/LNG-in-trucks_May2020.pdf

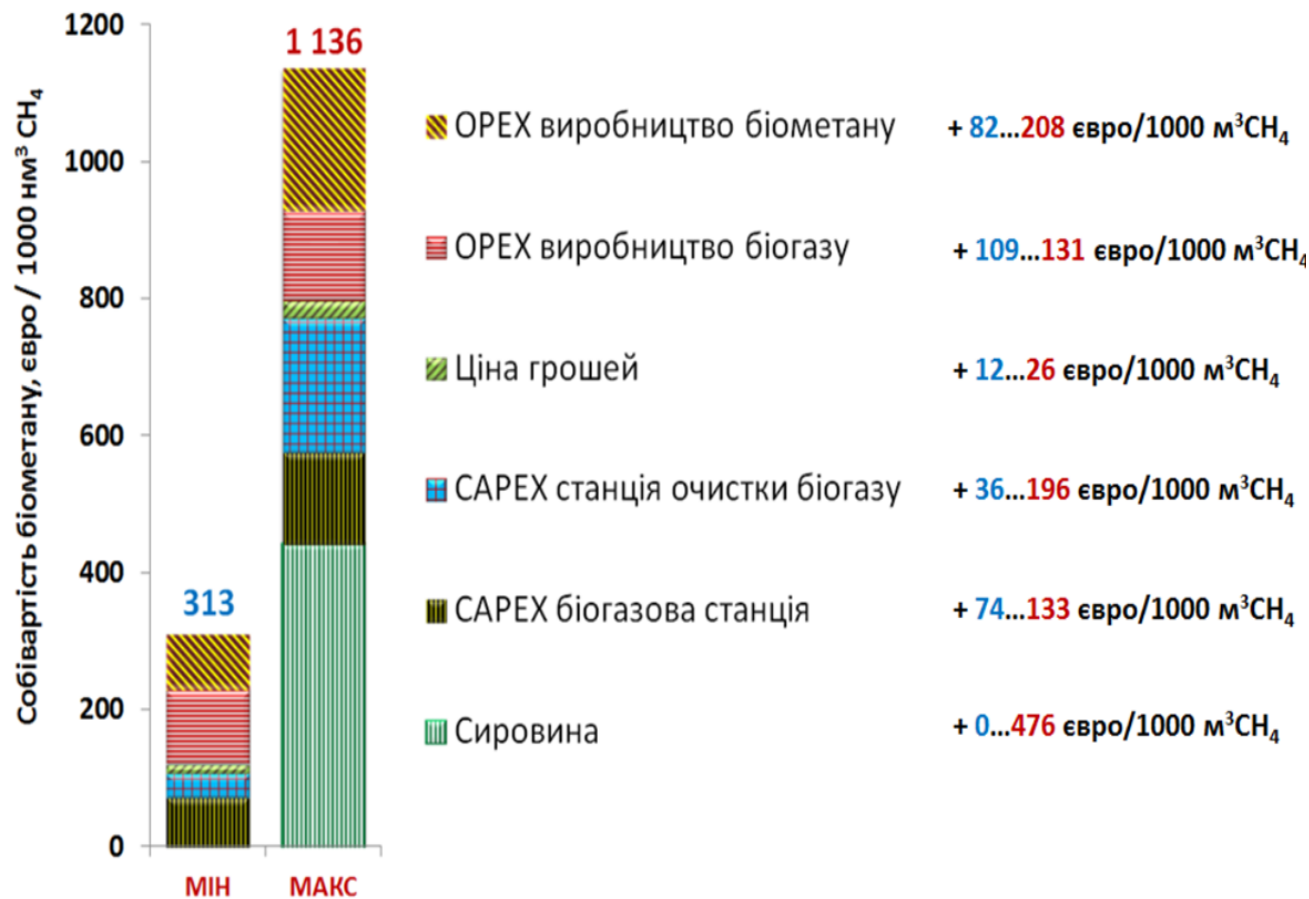
https://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Annex_49.pdf

Собівартість транспортних палив з біометану

Формування вартості біо-CNG та біо-LNG



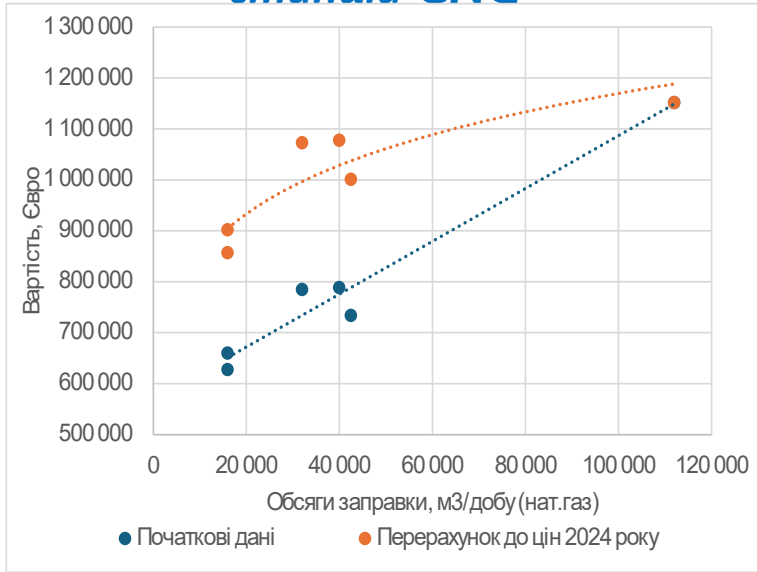
Структура повної собівартості біометану (БАУ)



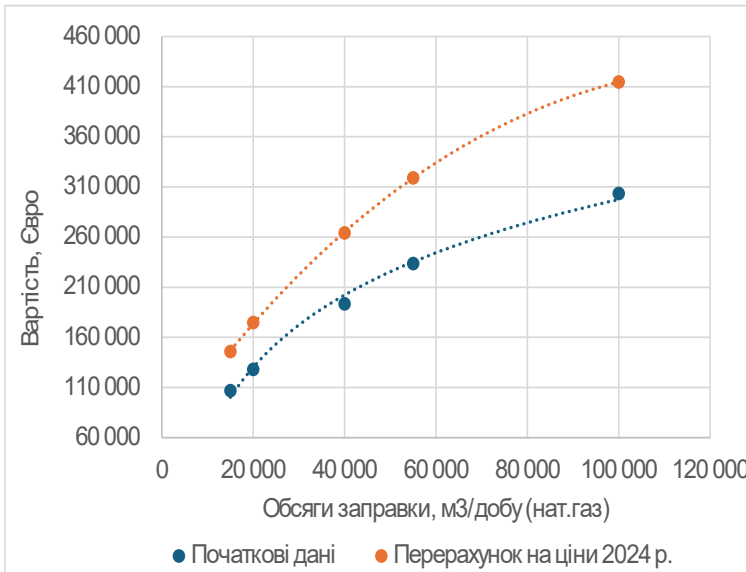
Середню виробничу собівартість (сировина+OPEX виробництва) можна прийняти ≈ 500 євро/1000 м³ CH₄

Вартість заправних станцій для палив з біометану

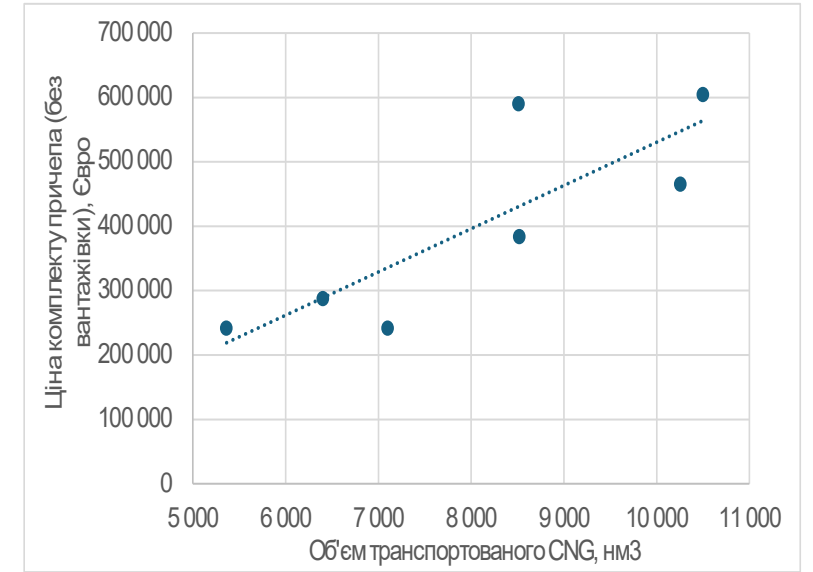
Вартість материнських станцій CNG



Вартість дочірніх станцій CNG



Вартість автозаправників CNG

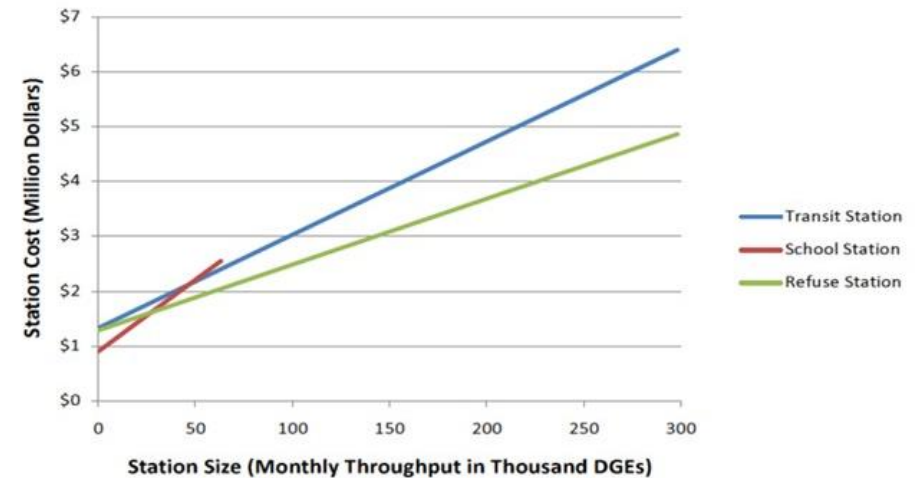


Вартість заправних станцій CNG повного циклу

Масштаб заправки, м ³ газу на день*		Межі вартості, тис. євро	
Повільні заправки			
18	36	8.6	9.6
72	143	33.6	48
359	717	240	480
1793	2870	528	816
Швидкі заправки			
72	143	43.2	72
359	717	384	576
1793	2870	672	864
5380	7174	1152	1728

* - природний газ за стандартних умов

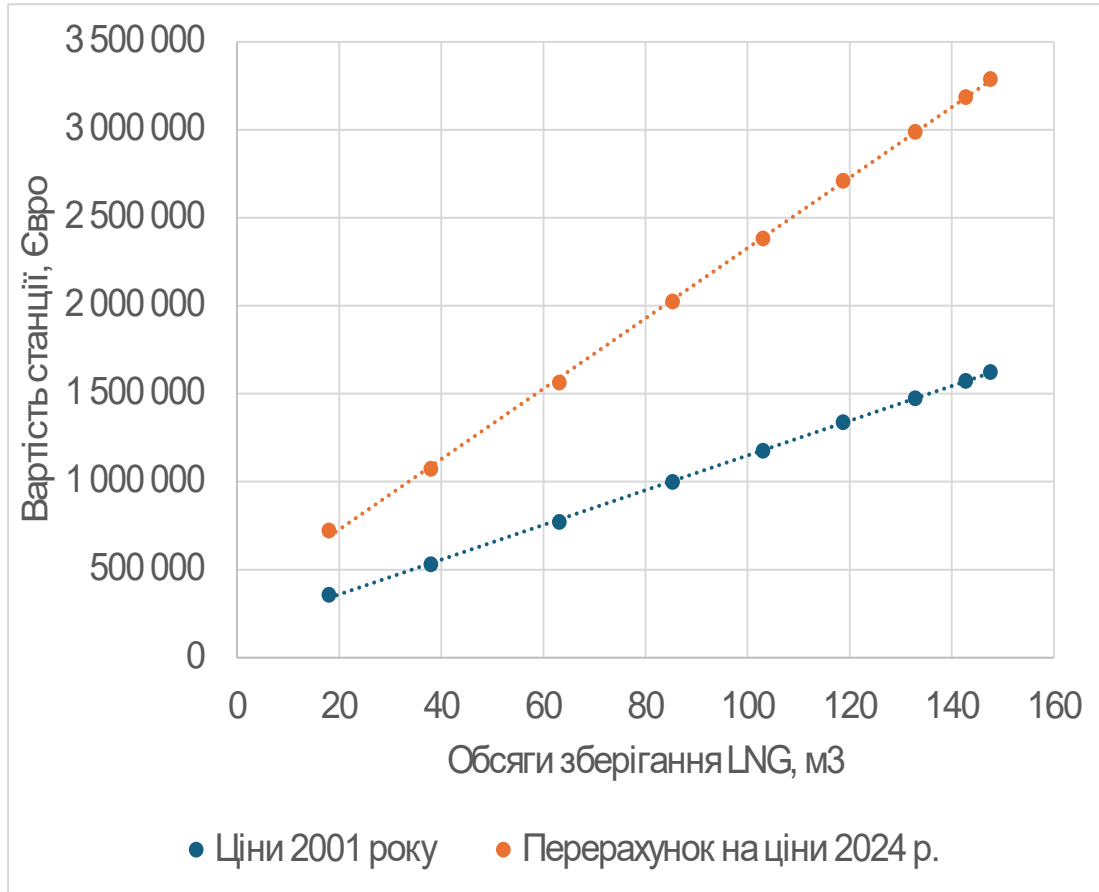
<https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62421.pdf>



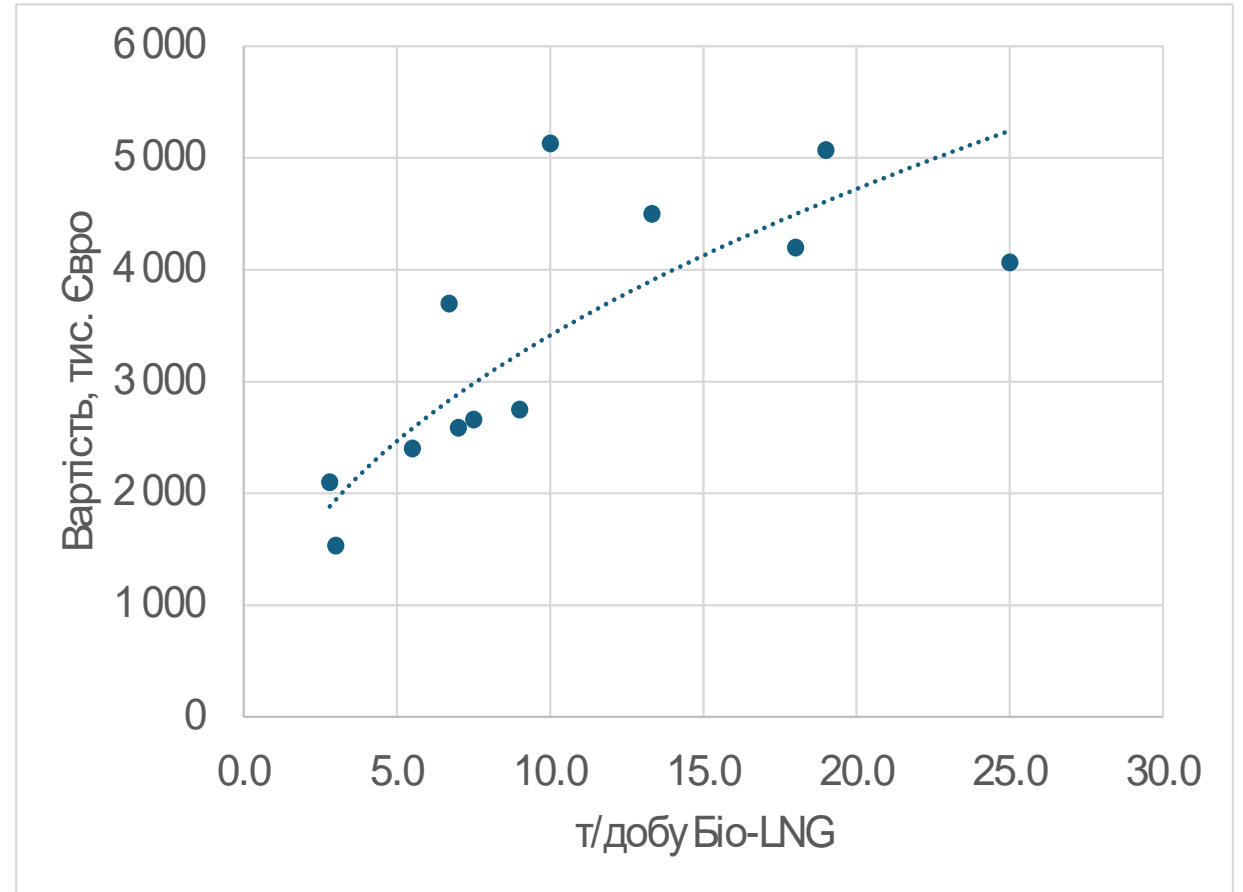
<https://novapublishers.com/shop/natural-gas-powered-cars-and-trucks-options-and-issues/>

Вартість заправних станцій для палив з біометану

Вартість заправних станцій LNG



Вартість обладнання з виробництва LNG

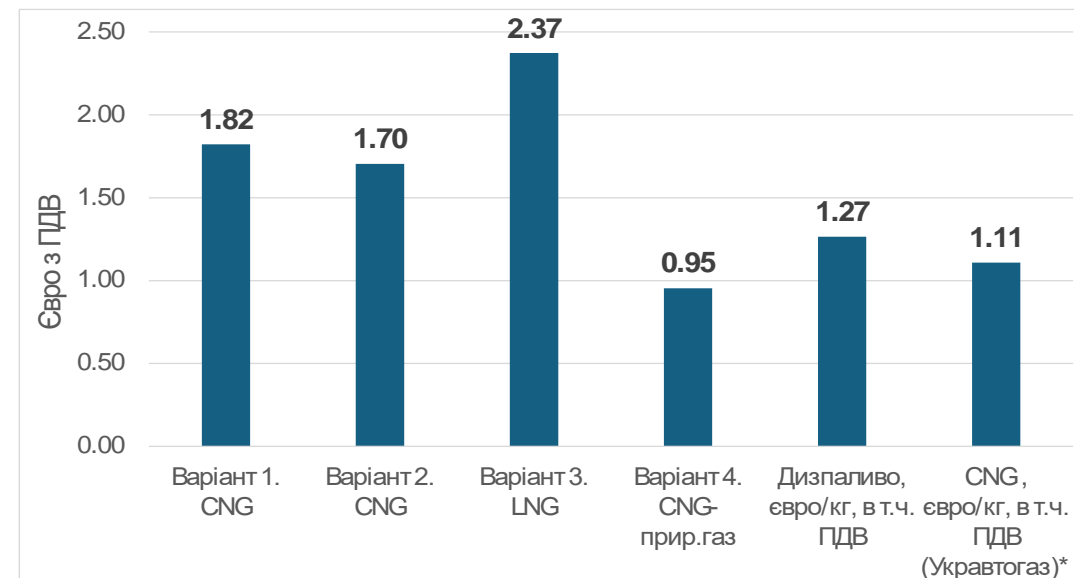
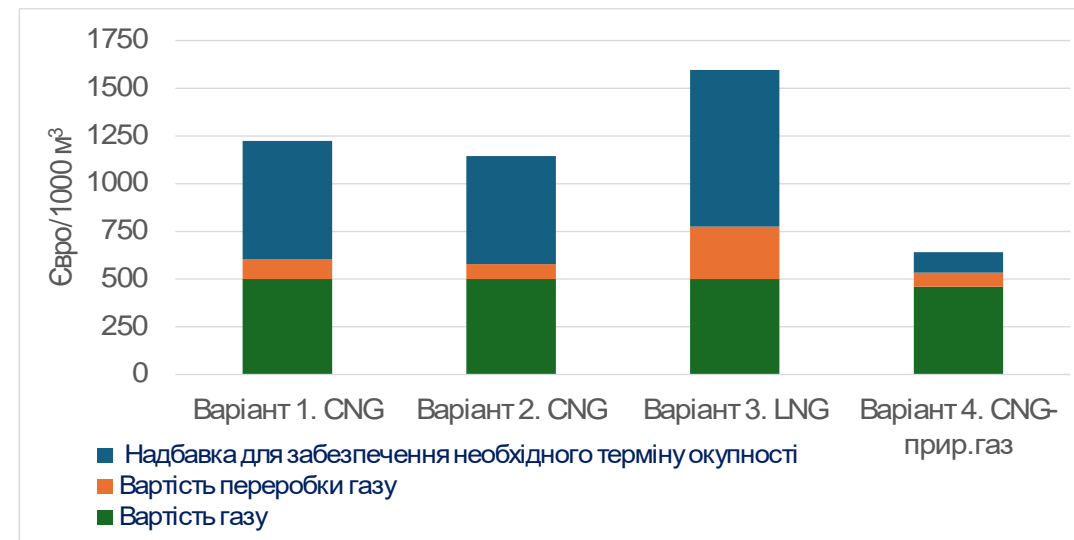


Розрахунок собівартості та ціни палив з біометану

Основні припущення

Курс UAH/EUR	43.4737			
Ціна електроенергії (роздрібний ринок, споживач 2-го класу напруги), без ПДВ	8.85			
Ціна природного газу, євро/1000 м3, без ПДВ	460.0			
Роздрібна ціна дизпалива, євро/кг, в т.ч. ПДВ	1.265			
Річне виробництво біометану, м3	6 000 000			
Добове виробництво біо-CNG, т	11.7			
Виробнича собівартість біометану, євро/1000 м3	500			
CAPEX біометанового заводу, млн. євро	10,2			
Відстань доставки біометану по трубопроводу, км	5			
Відстань доставки CNG/LNG автотранспортом, км	75			
Середнє перевищення енергоспоживання CNG порівняно з дизелем транспортними засобами, %	23.5			
Плановий простий термін окупності оператора біометанового заводу, років	5			
Те саме, для оператора CNG з природного газу, років	3			
г/кг палива	дизпаливо	43	74100	3.19
	природний газ	48	56100	2.69

Результати

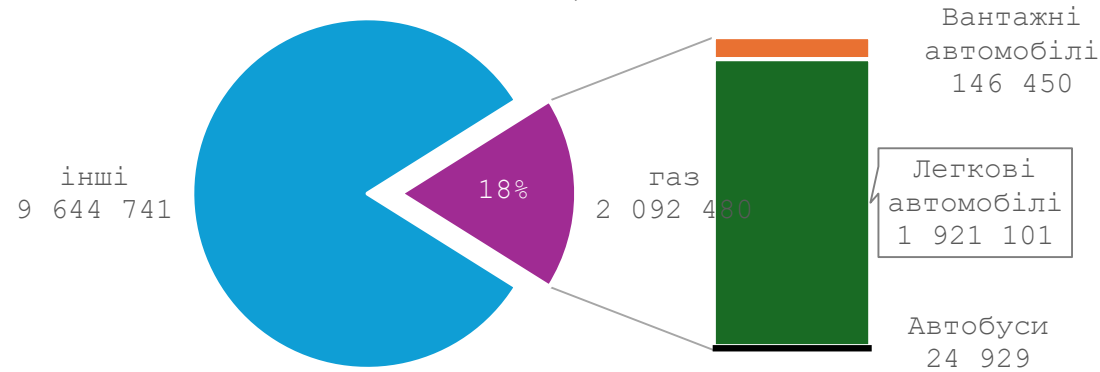


Розрахунок собівартості та ціни палив з біометану

Показники	Опції							
	Біометан				Природний газ			
	Варіант 1 (CNG, дві станції)	Коментарі	Варіант 2 (CNG, трубопровід + одна станція)	Коментарі	Варіант 3 (LNG, зрідження + одна станція)	Коментарі	Варіант 4 (CNG, трубопровід + одна станція)	Коментарі
Капітальні витрати, євро:	2 545 875	ВСЬОГО, в т.ч.:	1 422 456	ВСЬОГО, в т.ч.:	6 761 268	ВСЬОГО, в т.ч.:	1 329 119	ВСЬОГО, в т.ч.:
	907 810	Материнська станція CNG	266 574	Біометано- провід	4 949 329	Завод LNG	266 574	Газопровід
	1 483 329	Автозаправник и CNG (3 машини)	93 336	Компресорна станція	282 947	Автозаправник и LNG (1 машина)	0	Компресор на станція
	154 736	Дочірня станція CNG	1 062 546	Компресійно- заправна станція CNG	1 528 992	Заправна станція LNG	1 062 546	Компресійно- заправна станція CNG
Річні операційні витрати, євро:	619 617		464 494		1 653 617		441 079	
Вартість виробництва та дистрибуції, євро/1000 м3	103		79		276		74	
Загальна виробнича собівартість, євро/1000 м3	603		579		776		534	
Необхідна ціна біометану, євро/1000 м3 в т.ч. ПДВ	1225		1146		1596		642	
Необхідна ціна біометану*, євро/кг вкл. ПДВ	1,65		1.54		2.15		0,86	
Ціна біометану, еквівалентного 1 кг дизельного палива, євро в т.ч. ПДВ	1.82		1.70		2.37		0,95	
Загальні капітальні витрати, в т.ч. біометановий завод, євро	12 745 875		11 622 456		16 961 268		1 329 119	
Простий термін	5,0		5,0		5,0		2,0	

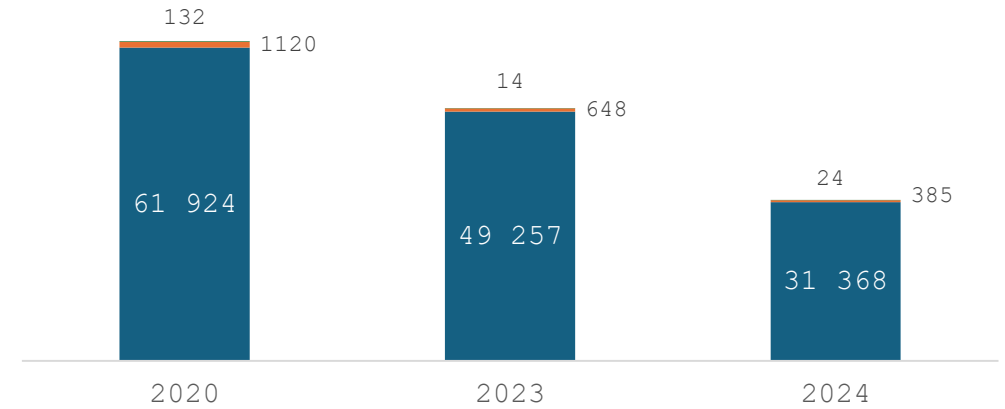
Транспорт на газовому паливі в Україні

Структура автотранспорту в Україні (бер. 2025)

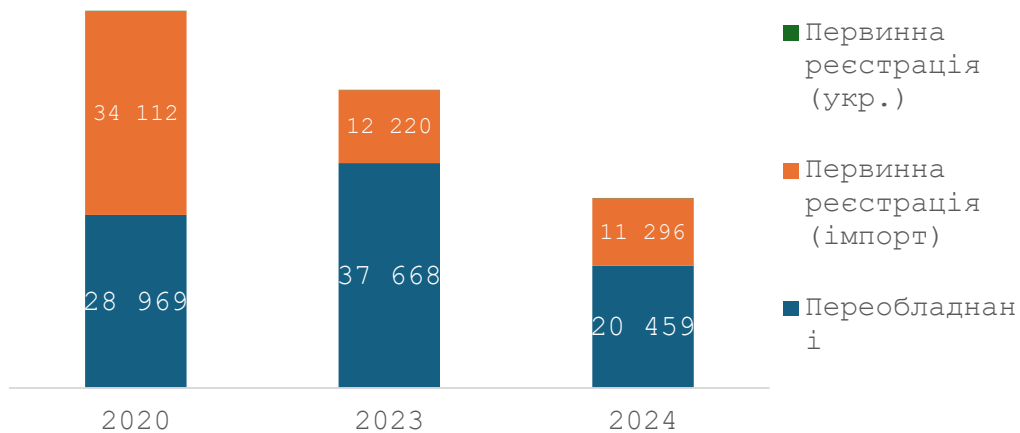


Реєстрація автотранспорту на газовому паливі за типом

■ Легковий ■ Вантажний ■ Автобус

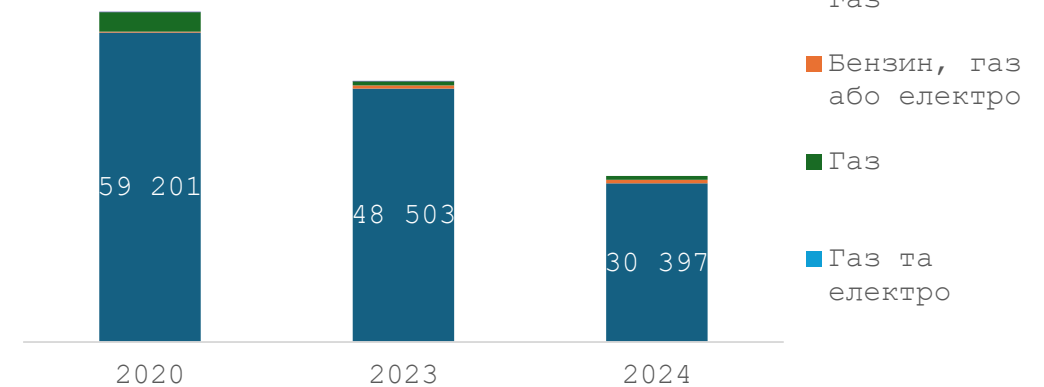


Тип реєстрації автотранспорту на газовому паливі



Реєстрація автотранспорту на газовому паливі за типом палива

■ Бензин або газ ■ Бензин, газ або електро ■ Газ ■ Газ та електро



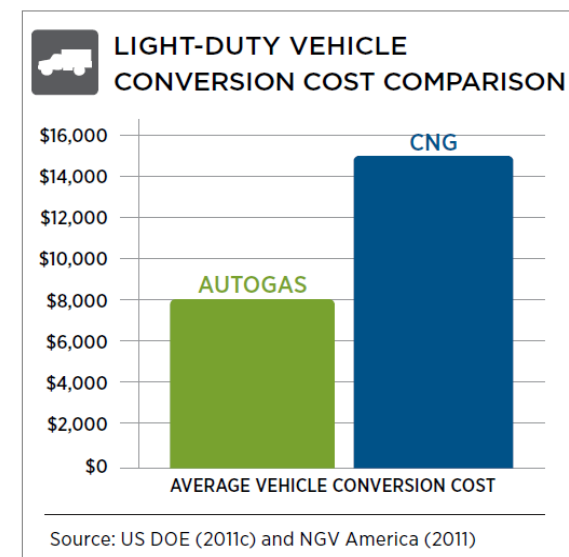
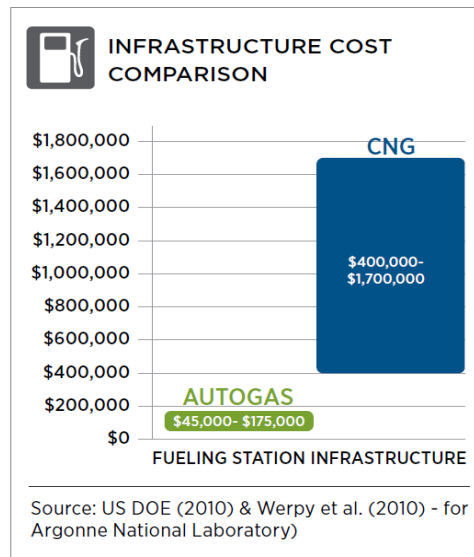
Бар'єри для використання транспорту на біометані в Україні

❖ ЕКОНОМІЧНІ:

- Очікувано висока ціна газового палива з біометану
- Дороге обладнання заправних станцій, відсутність цієї інфраструктури
- Конкуренція з LPG в т.ч. по ціні і наявній інфраструктурі
- Вартість нових автомобілів на газовому паливі є вищою в порівнянні з бензиновими/дизельними

❖ ТЕХНІЧНІ:

- не усі авто можна переобладнати або складно/дорого
- потреба в додатковому місці для розміщення балонного обладнання, що зменшує корисну масу та об'єм (балони дуже важкі)
- незначна втрата потужності
- запас ходу є меншим в порівнянні
- обмежена можливість холодного запуску і потрібен прогрів на класичному паливі
- спеціальне мастило для роботи на газовому паливі і короткий інтервал



<https://bluestargas.com/wp-content/uploads/2022/02/Cost-Analysis-of-Natural-Gas-Vehicles-and-Fueling-Infrastructure.pdf>

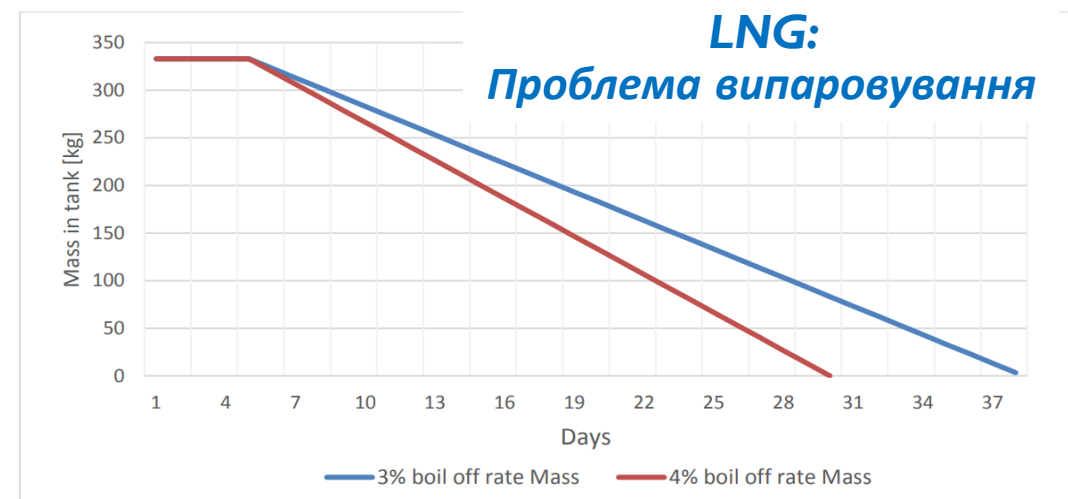


Figure 19 Time until an LNG tank is empty with 3 and 4% boil-off.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1324115/FULLTEXT01.pdf>

Дякую за
увагу!

UABIO

Біоенергетична асоціація
України
uabio.org

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