

**Властивості біогазу та біометану.
Стандарти якості та склад газу.
Безпека біогазових/біометанових
установок.**

Володимир Крамар
Біоенергетична асоціація України
(UABIO), експерт

Зміст

1. Вимоги Кодексів ГТС та ГРМ України щодо якості біометану
2. Вимоги для подачі біометану в європейські системи природного газу
3. ДСТУ EN 16726:2019. Газова інфраструктура. ЯКІСТЬ ГАЗУ. Група H
4. ДСТУ EN 16723-1:2023. Природний газ і біометан для використання...
5. Порівняння вимог стандарту EN 16726 та вимог українських Кодексу ГТС та Кодексу ГРМ
6. ДСТУ ISO 6976:2009. Природний газ. Обчислення теплоти згоряння
7. Властивості основних складових біогазу
8. Безпека біогазових/біометанових установок
9. Оцінка ризиків та запобіжні заходи
10. Принцип STOP: Ієрархія захисних заходів

Порівняння типового складу біогазу з біогазової установки та вимог до складу природного газу та біометану

Кодекс ГТСУ: біометан - біогаз, що за своїми фізико-хімічними характеристиками відповідає вимогам нормативно-правових актів до природного газу для подачі до газотранспортної або газорозподільної системи.

Склад та інші характеристики	Біогаз з відходів сільського господарства	«Усереднений» біогаз	Вимоги Кодексу газотранспортної системи (ГТС) України	Вимоги до якості біометану, що передається до газорозподільної мережі
метан (CH ₄), %об.	50-80	50-75	>90	Те ж що для ГТС
вуглекислий газ (CO ₂), %об.	19-50	30-45	< 2	
вода (H ₂ O), %об.	1-3 (насич.)	2-7	-	
азот (N ₂), %об.	0-5	1-5	< 5	< 1
кисень (O ₂), %об.	0-1	<2	< 0,2	
водень (H ₂), %об.	0-2	0-3	-	
сірководень (H ₂ S), ppm	до 20 000	0,1-0,5%	< 6 мг/м ³	Те ж що для ГТС
амоній (NH ₃), ppm	До 500	<1	-	
моноксид вуглецю (CO), %об.	0-1	0-0,3%	-	
загальний хлор (Cl) мг/м ³	-	-	-	
силоксани, %об.	сліди	-	-	
Нижча теплота згоряння, МДж/м ³	20,5-23	17,9-26,9	32,66-34,54 (при 20-25 °С)	

Вимоги Кодексу ГТС України щодо постачання природного газу та біометану до мережі ГТС

Кодекс ГТСУ: біометан - біогаз, що за своїми фізико-хімічними характеристиками відповідає вимогам нормативно-правових актів до природного газу для подачі до газотранспортної або газорозподільної системи.

Параметр	Значення
вміст метану (C1), мол. %	≥ 90
вміст етану (C2), мол. %	≤ 7
вміст пропану (C3), мол. %	≤ 3
вміст бутану (C4), мол. %	≤ 2
вміст пентану та інших важчих вуглеводнів (C5+), мол. %	≤ 1
вміст азоту (N2), мол. %	≤ 5
вміст вуглецю (CO2), мол. %	≤ 2
вміст кисню (O2), мол. %	$\leq 0,2$
вища теплотворна здатність (25°C / 20°C)	мін. 36,20 МДж/м ³ (10,06 кВт·год/м ³) макс. 38,30 МДж/м ³ (10,64 кВт·год/м ³)
вища теплотворна здатність (25 °C/0 °C)	мін. 38,85 МДж/м ³ (10,80 кВт·год/м ³) макс. 41,10 МДж/м ³ (11,42 кВт·год/м ³)
нижча теплотворна здатність (25 °C/20 °C)	32,66 МДж/м ³ (09,07 кВт·год/м ³) 34,54 МДж/м ³ (09,59 кВт·год/м ³)
температура точки роси за вологістю °C при абсолютному тиску газу 3,92 МПа	$\leq - 8$
температура точки роси за вуглеводнями при температурі газу не нижче 0 °C	$\leq 0^{\circ}\text{C}$
вміст механічних домішок:	відсутній
вміст сірководню, г/м ³	$\leq 0,006$
вміст меркаптанової сірки, г/м ³	$\leq 0,02$

Вимоги для подачі в європейські системи транспортування та розподілу природного газу

Для подачі в європейські системи транспортування та розподілу природного газу, біометан має відповідати гармонізованим стандартам та правилам ЄС. Основні документи, що визначають відповідні вимоги:

- EN 16726: «Якість газу групи H» — застосовується до природного газу. Цей стандарт встановлює загальні параметри (теплотворна здатність, гравіметричні властивості, граничні значення вмісту сірки та кисню). Наразі стандарт переглядається з метою включення вмісту водню та посилення порогових значень для сірки/кисню. Даний стандарт прийнятий та набув чинності в Україні.
- EN 16723-1: «Біометан для закачування в газову мережу» — доповнює EN 16726 додатковими обмеженнями для біометану. Він визначає вимоги до вмісту забруднювачів, притаманних саме біометану (силоксани, галогеновані вуглеводні, аміак, HF). Зокрема, максимальний загальний уміст летких сполук кремнію (у перерахунку на Si) має становити від 0,3 до 1,0 мг/м³, молярна частка монооксиду вуглецю (CO) має становити не більше 0,1%, масова частка аміаку (NH₃) - не більше 10 мг/м³, уміст амінів – також не більше 10 мг/м³. Біометан повинен відповідати вимогам EN 16726 щодо загальних параметрів і вищеперерахованим вимогам - лише для параметрів, характерних для біометану.

Даний стандарт також прийнятий та набув чинності в Україні.

- Регламент (ЄС) 2024/1789: Зобов'язання щодо прозорості параметрів якості газу - вимагає щоденної публікації індексу Воббе, вищої теплотворної здатності, вмісту метану, водню та кисню в точках входу/виходу.

Що таке «група H»? Див. ДСТУ EN 437:2018 Випробувальні гази. Випробувальний тиск. Категорії приладів (EN 437:2018, IDT)

ДСТУ EN 16726:2019 (EN 16726:2015 + A1:2018, IDT)

Газова інфраструктура. ЯКІСТЬ ГАЗУ. Група Н

Якщо не зазначено іншого, усі об'єми подано для реального сухого газу за стандартних умов, рекомендованих ISO, зокрема 15 °C (288,15 K) та 1013,25 мбар (101,325 кПа). Якщо не зазначено іншого, скрізь по тексту тиск є абсолютним.

Таблиця 1 — Вимоги

Параметр	Одиниці виміру	Межі на основі стандартних умов 15 °C/15 °C		Межі на основі нормальних умов 25 °C/0 °C (для довідки)		Рекомендовані стандарти для методів випробовування ^d (довідково)
		мін.	макс.	мін.	макс.	
Відносна густина	Не має одиниці виміру	0,555	0,700	0,555	0,700	EN ISO 6976, EN ISO 15970
Загальний уміст сірки без одорантів	мг/м ³	Не застосовно	20 ^a	Не застосовно	21 ^a	EN ISO 6326-5, EN ISO 19739
	Для сірки у системах високого тиску та на точках з'єднання максимально прийнятний уміст сірки для передавання становить 20 мг/м ³ , якщо застосування неодорованого газу в системах високого тиску є звичайною практикою. Водночас за наявної практики транспортування одорованого газу між системами високого тиску дозволено приймати вище значення вмісту сірки, що становить 30 мг/м ³ . Примітка. У розподільчих системах одорювання є питанням безпеки загальнонаціонального рівня. Деяку інформацію щодо вмісту сірковмісних одорантів подано в додатку B					
Сірководень + карбонілсульфід (у перерахунку на сірку)	мг/м ³	Не застосовно	5 ^a	Не застосовно	5 ^a	EN ISO 6326-1, EN ISO 6326-3, EN ISO 19739
Меркаптанова сірка без одоранту (у перерахунку на сірку)	мг/м ³	Не застосовно	6 ^a	Не застосовно	6 ^a	EN ISO 6326-3, EN ISO 19739

Цей стандарт установлює вимоги щодо якості газу для забезпечення вільного потоку газу між країнами- членами CEN та безпеки постачання з урахуванням впливу на весь виробничо-збутовий ланцюг від видобування та постачання газу до кінцевого споживача.

Однак на момент опублікування цього стандарту **не можна було визначити спільний діапазон числа Воббе через різні нормативні вимоги в країнах-членах CEN та обмежений досвід щодо впливу розширення діапазону числа Воббе на цілісність, ефективність і безпечність використання приладів у окремих країнах (див. додаток D).**

Кінець таблиці 1

Параметр	Одиниці виміру	Межі на основі стандартних умов 15 °C/15 °C		Межі на основі нормальних умов 25 °C/0 °C (для довідки)		Рекомендовані стандарти для методів випробовування ^d (довідково)
		мін.	макс.	мін.	макс.	
Кисень	моль/ моль	Не застосовно	0,001 % або 1 % (див. нижче)	Не застосовно	0,001 % або 1 % (див. нижче)	EN ISO 6974-3, EN ISO 6974-6, EN ISO 6975
У вхідних точках системи та в точках з'єднання мольна частка кисню повинна становити не більше ніж 0,001 %, виражена як ковзне середнє за 24 год. Однак, якщо може бути доведено, що газ не надходить до установок, чутливих до вищого рівня кисню, наприклад, у системах підземних сховищ, дозволено застосовувати верхню межу до 1 %.						
Діоксид вуглецю	моль/ моль	Не застосовно	2,5 % або 4 % (див. нижче)	Не застосовно	2,5 % або 4 % (див. нижче)	частини 1—6 EN ISO 6974, EN ISO 6975
У вхідних точках системи та в точках з'єднання мольна частка діоксиду вуглецю повинна становити не більше ніж 2,5 %. Однак, якщо може бути доведено, що газ не надходить до установок, чутливих до вищого рівня діоксиду вуглецю, наприклад, у системах підземних сховищ, дозволено застосовувати верхню межу до 4 %						
Точка роси за вуглеводнями ^{b,c} за будь-якого абсолютного тиску від 0,1 МПа до 7 МПа (70 бар)	°C	Не застосовно	мінус 2	Не застосовно	мінус 2	ISO 23874, ISO/TR 12148
Точка роси за водою ^{b,c} за тиску 7 МПа (70 бар) або, якщо менше ніж 7 МПа (70 бар), за максимального робочого тиску в системі подавання газу	°C	Не застосовно	мінус 8	Не застосовно	мінус 8	EN ISO 6327, EN ISO 18453, частини 1—3 EN ISO 10101
Метанове число	Не має одиниці виміру	65	Не застосовно	65	Не застосовно	Див. обов'язковий додаток А
Забрудники	Газ не повинен містити інших складників, окрім зазначених у таблиці 1, на рівні концентрації, що негативно впливає на транспортування, зберігання та/чи використання без коригування якості та оброблення					

^a Числа зазначено без цифр після коми через непевність аналітичних вимірів.

^b За певних кліматичних умов на національному рівні дозволено приймати вищі точки роси за водою та точки роси за вуглеводнями.

^c Додаткову інформацію щодо точки роси за водою та точки роси за вуглеводнями див. у додатку С.

^d Дозволено застосовувати інші методи випробування, ніж визначені в рекомендованих стандартах, зазначених у таблиці 1, за умови доведення їх придатності.

ДСТУ EN 16723-1:2023 (EN 16723-1:2016, IDT)

ПРИРОДНИЙ ГАЗ І БІОМЕТАН ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ТРАНСПОРТІ ТА БІОМЕТАН ДЛЯ ЗАКАЧУВАННЯ В МЕРЕЖУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Частина 1. Технічні характеристики біометану для закачування в мережу природного газу

Таблиця 1 — Загальні вимоги до застосування та методи випробувань для біометану у вхідній точці газової мережі для газів групи H та L

Параметр	Одиниця виміру	Граничні значення ^a		Метод випробування (довідковий)
		Мін.	Макс.	
Загальний уміст летких сполук кремнію (у перерахунку на Si)	мг/м ³		Від 0,3 до 1 ^b	EN ISO 16017-1:2000 TDS- GC-MS
Уміст компресорних олив		c		ISO 8573-2:2007
Уміст домішок пилу		c		ISO 8573-4:2001
Уміст хлоровмісних сполук		—	d, e	EN 1911:2010
Уміст фторвмісних сполук			d	NF X43-304:2007 ISO 15713:2006

Кінець таблиці 1

Параметр	Одиниця виміру	Граничні значення ^a		Метод випробування (довідковий)
		Мін.	Макс.	
Молярна частка монооксиду вуглецю (CO)	% моль	—	0,1 ^f	EN ISO 6974- серії
Масова частка аміаку (NH ₃)	мг/м ³		10	NEN 2826:1999 або VDI 3496 Blatt 1:1982-04 NF X43-303:2011
Уміст амінів	мг/м ³		10	VDI 2467 Blatt 2:1991-08

^a Граничні значення є абсолютними, кількість знаків після коми не накладає вимог щодо точності методів випробування.

^b Для цього стандарту пропонують діапазон граничних значень силосанів. Дослідження показали, що безперервна дія 100 % біометану протягом 15 років передбачає встановлення нижнього рівня вмісту летких сполук кремнію 0,1 мг/м³. Однак межа, встановлена на цьому рівні, буде спричиняти труднощі з погляду аналітичних вимірювань (поточні межі кількісного визначення кремнію становлять у кращому разі 0,10 мг/м³, що передбачає встановлення межі на рівні 0,30 мг/м³). Крім того, це не враховує пом'якшувальну дію розбавлення біометану, що закачується, природним газом. Тому пропонують, щоб граничне значення, яке будуть застосовувати (в угоді про доступ до мережі), було узгоджено між виробником біометану та транспортувальником газу (оператором мережі) з урахуванням як ефективності існуючих аналітичних методів, так і можливостей розведення, наприклад, дослідженням потужностей. Додаткові вказівки щодо режимів моніторингу див. у додатку C.

^c Біометан не повинен містити домішок, крім «мінімальних» рівнів домішок компресорної оливи та домішок пилу. У контексті цього стандарту «мінімальних» означає кількість, яка не робить біометан непридатним для транспортування та використання кінцевими користувачами.

^d Див. CEN/TR Proposed limit values for contaminants in biomethane based on health assessment criteria (WI 00408007).

^e Алкілгалогеніди є основними речовинами в тому сенсі, що задане граничне значення для галогенідів автоматично забезпечує задовільне граничне значення фтор- та хлорвмісних сполук – межа встановлюється за галогенідами.

^f Межу 0,1 % було взято із CLP-Regulation (EC) № 1272/2008.

Порівняння вимог стандарту EN 16726 та вимог українських Кодексу ГТС та Кодексу ГРМ

Показник	Кодекси ГТС та ГРМ	EN 16726
Відносна густина	вимоги немає	мін. 0,555 макс. 0,700
Вміст метану (C1), мол.%	мін. 90	вимоги немає
Вміст етану (C2), мол.%	макс. 7	вимоги немає
Вміст пропану (C3), мол.%	макс. 3	вимоги немає
Вміст бутану (C4), мол.%	макс. 2	вимоги немає
Вміст пентану та ін. (C5+), мол.%	макс. 1	вимоги немає
Вміст азоту (N2), мол.%	макс. 5	вимоги немає
Вміст діоксиду вуглецю (CO2), мол.%	макс. 2	макс. 2.5 або 4.0
Вміст кисню (O2), мол.%	макс. 0.2 –ГТС макс. 1,0 –ГРМ	макс. 0.001 (сер/24) або макс. 1,0
Вміст водню (H2), мол.%	вимоги немає	вимоги немає
Вища теплота згоряння (25 °C/20 °C):		
мінімум	36,20 МДж/м³ (10,06 кВт·год/м³)	
максимум	38,30 МДж/м³ (10,64 кВт·год/м³)	
Вища теплота згоряння (25 °C/0 °C):		
мінімум	38,85 МДж/м³ (10,8 кВт·год/м³)	
максимум	41,10 МДж/м³ (11,42 кВт·год/м³)	
Нижча теплота згоряння (25 °C/20 °C):		
мінімум	32,66 МДж/м³ (9,07 кВт·год/м³)	
максимум	34,54 МДж/м³ (9,59 кВт·год/м³)	
Число Воббе вище, кВт·год/м³	вимоги немає	вимоги немає згідно EN 437:2018
Метанове число	вимоги немає	мін. 65
Температура точки роси (°C) за вологістю при абс. тиску газу 3,92 МПа	не перевищує (– 8)	не перевищує (– 8) при тиску до 7 МПа
Температура точки роси (°C) за вуглеводнями при т-рі газу не нижче 0 °C	не перевищує 0 °C	не перевищує (–2) °C
Вміст механічних домішок	відсутні	вимоги немає
Вміст сірководню, мг/м³	макс. 6	макс. 5
Вміст меркаптанової сірки, мг/м³	макс. 20	макс. 6 (без одоранту)
Вміст загальної сірки, мг/м³	вимоги немає	макс. 21 (30)

Нормальні та стандартні умови вимірювання

Кодекс газотранспортної системи (ГТС) України встановлює, що визначення обсягу та фізико-хімічних показників природного газу здійснюється за нормальних та стандартних умов, а перерахунки обсягу та теплоти згоряння проводяться відповідно до міжнародного стандарту ISO 13443:1996 "Природний газ. Стандартні еталонні умови для проведення вимірювань і розрахунків"

Чому це важливо?

Обсяг газу, виміряний у реальних умовах, відрізняється від обсягу, виміряного за нормальних або стандартних умов, через зміни тиску та температури. Коректні перерахунки дозволяють визначати реальну кількість газу та його енергетичну цінність, що є важливим для розрахунків між постачальником і споживачем.

Вимірювання	Нормальні умови			Стандартні умови		
Визначення обсягу газу:	Тиск P_n	Температура T_n		Тиск P_c	Температура T_c	
	101,325 кПа	273,15 К (= 0 °C)		101,325 кПа (760 мм рт. ст.)	293,15 К (= 20 °C)	
Визначення вищої теплоти згоряння:	Тиск P_n	Температура згоряння T_{zg}	Температура вимірювання T_n	Тиск P_c	Температура згоряння T_{zg}	Температура вимірювання T_c
	101,325 кПа	298,15 К (= 25 °C)	273,15 К (= 0 °C)	101,325 кПа	298,15 К (= 25 °C)	293,15 К (= 20 °C)

ДСТУ ISO 6976:2009. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

Обчислення теплоти згоряння, густини, відносної густини і числа Воббе на основі компонентного складу



Стандартні умови згоряння (combustion reference conditions)- установлені температура t_1 і тиск p_1 . Це умови, за яких умовно спалюють паливо (див. рисунок 1)

Стандартні умови вимірювання (metering reference conditions) - установлені температура t_2 і тиск p_2 . Це умови, за яких кількість спалюваного палива визначають умовно, і не існує апіорі причини для того, щоб вони були такими самими, як стандартні умови згоряння (див. рисунок 1).

Компонент	Ідеальна об'ємна теплота згоряння компонента, $\tilde{H}^*$ (МДж · м ⁻³)											
	15/15 °C		0/0 °C		15/0 °C		25/0 °C		20/20 °C		25/20 °C	
	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча	вища	нижча
1 Метан	37,706	33,948	39,840	35,818	39,777	35,812	39,735	35,808	37,044	33,367	37,024	33,365

Таблиця J.3 — Коефіцієнти перетворення для значень теплоти згоряння і числа Воббе

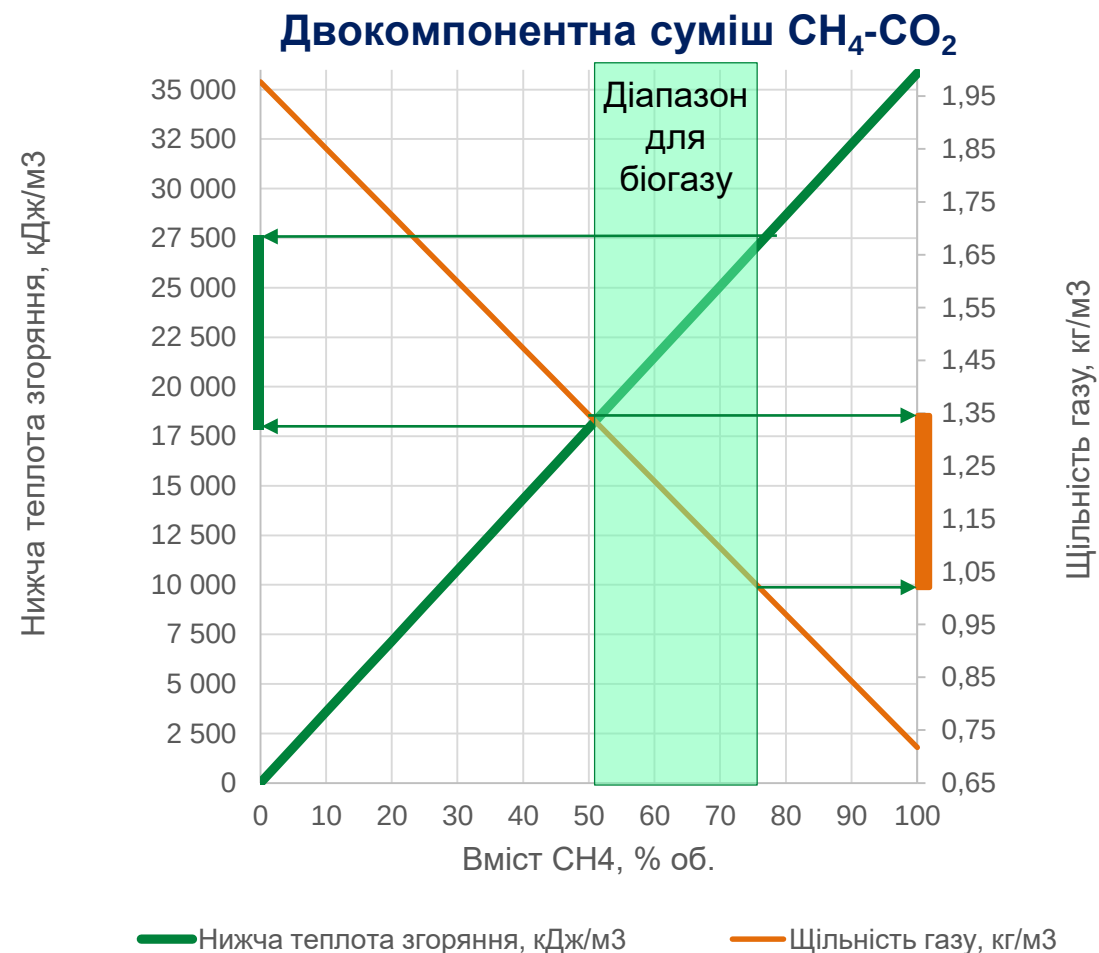
		Температура згоряння (°C) + вимірювання (°C)								
a)	від 25+20 до 25+0	від 25+20 до 15+15	від 25+20 до 15+0	від 25+20 до 0+0	від 25+0 до 15+15	від 25+0 до 15+0	від 25+0 до 0+0	від 15+15 до 15+0	від 15+15 до 0+0	
Вища об'ємна теплота згоряння для ідеального газу	1,073 2	1,018 4	1,074 3	1,076 0	0,948 9	1,001 0	1,002 6	1,054 9	1,056 6	
Нижча об'ємна теплота згоряння для ідеального газу	1,073 2	1,017 5	1,073 3	1,073 5	0,948 1	1,000 1	1,000 3	1,054 9	1,055 1	
Число Воббе для ідеального газу	1,073 2	1,018 4	1,074 3	1,076 0	0,948 9	1,001 0	1,002 6	1,054 9	1,056 6	
Вища об'ємна теплота згоряння для реального газу	1,073 8	1,018 5	1,074 9	1,076 6	0,948 6	1,001 0	1,002 6	1,055 3	1,057 0	
Нижча об'ємна теплота згоряння для реального газу	1,073 8	1,017 6	1,073 9	1,074 1	0,947 7	1,000 1	1,000 3	1,055 3	1,055 5	
Число Воббе для реального газу	1,073 6	1,018 5	1,074 7	1,076 4	0,948 7	1,001 0	1,002 6	1,055 2	1,056 9	

Властивості основних складових біогазу

При нормальних умовах, біогаз з об'ємним вмістом CH_4 55% має нижчу теплоту згоряння близько **19,7 МДж/м³** та щільність **1,28 кг/м³**

Теплота згоряння і щільність окремих газів

Чисті гази	Нижча теплота згоряння Q_n кДж/м ³	Щільність ρ , кг/м ³	Нижча теплота згоряння Q_n кДж/кг
Метан CH_4	35 820	0,717	49 958
Етилен C_2H_4	58 690	1,261	46 542
Етан C_2H_6	63 751	1,356	47 014
Пропан C_3H_8	91 256	2,020	45 176
Бутан C_4H_{10}	118 651	2,840	41 779
Пентан C_5H_{12}	145 833	3,218	45 318
Гексан C_6H_{14}	162 112	3,840	42 217
Окис вуглецю CO	12 636	1,250	10 109
Водень H_2	10 760	0,0898	119 822
Сірководень H_2S	23 150	1,539	15 042
Кисень O_2	-	1,429	-
Азот N_2	-	1,251	-
Двоокис вуглецю CO_2	-	1,977	-
Водяна пара H_2O	-	0,804	-
Сірчистий газ SO_2	-	2,852	-



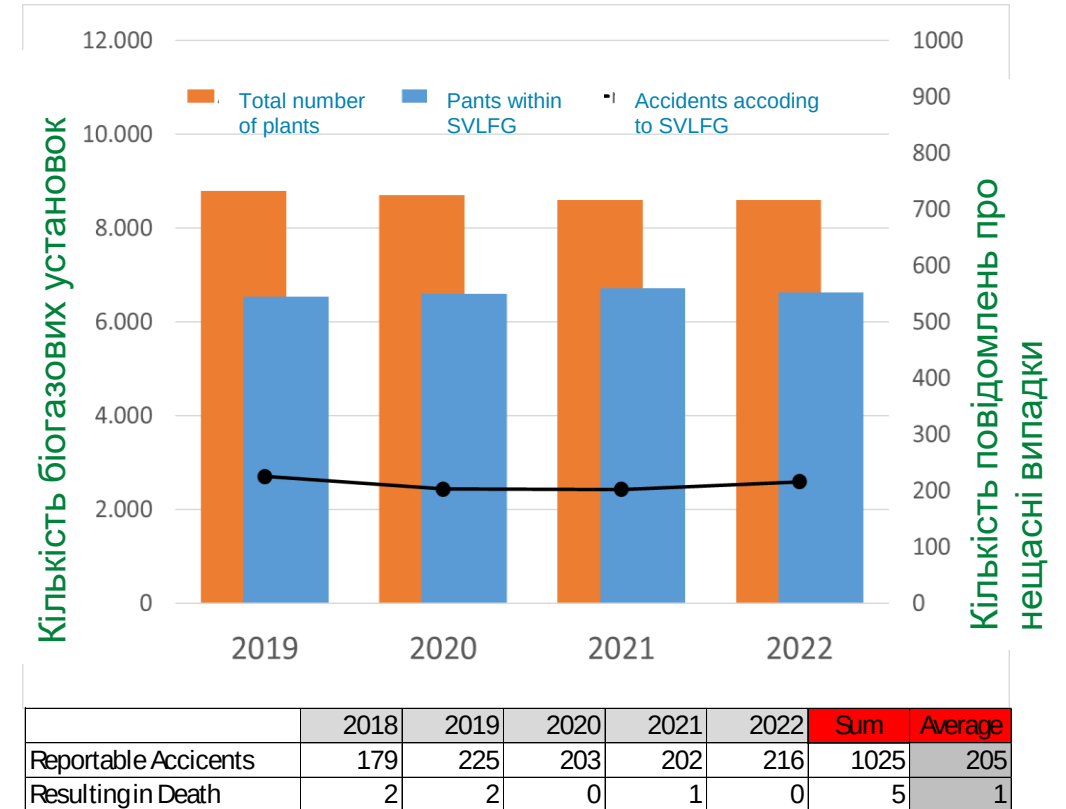
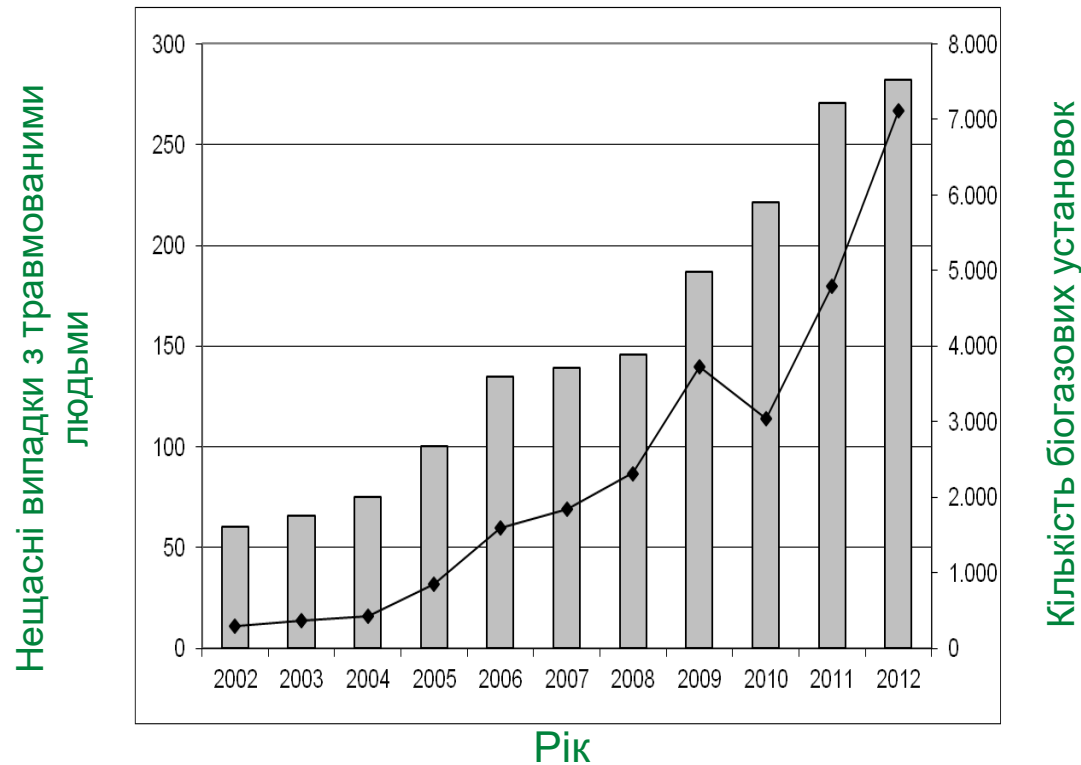
Властивості основних складових біогазу

- **CO₂ (діоксид вуглецю)** — безбарвний газ без запаху, що важчий за повітря, легко розчиняється у воді, утворюючи вугільну кислоту. Він сублімується (переходить з твердого стану в газоподібний) при -78.5°C. CO₂ є життєво важливим для фотосинтезу, але в високих концентраціях небезпечний для здоров'я, спричиняючи асфіксію та знижуючи когнітивні функції.
- **вода (H₂O)**, сприяє корозії шляхом утворення кислотних сполук, а також може пошкодити обладнання при конденсації чи замерзанні при низьких температурах;
- **сірководень (H₂S)**, що є токсичним газом та утворює ще більш токсичні сполуки при спалюванні, може детонувати при спалюванні в ДВЗ, сприяє корозії обладнання, отруює каталізатори та адсорбенти на подальших технологічних стадіях та при кінцевому використанні;
- **силоксани**, що утворюють оксид кремнію і мікрокристалічний кварц при спалюванні, які потім відкладаються на головках циліндрів двигунів, клапанах, свічках запалювання, посилюючи абразивний знос обладнання.
- **аміак (NH₃)**, що є токсичним газом та створює токсичні сполуки при спалюванні, сприяє корозії обладнання;
- **кисень**- може спричиняти займання при певних концентраціях;
- **леткі органічні сполуки (надалі- ЛОС)**, є канцерогенними та токсичними, утворюють діоксини та фурани, справляють корозійний вплив на двигуни внутрішнього згоряння, руйнують резину і пластики.

Безпека біогазових/біометанових установок

(підготовлено на основі матеріалів Німецької Біогазової Асоціації)

Аварії на біогазових установках



Джерело: SVLFG = German Agricultural Occupational Health and Safety Agency

Характерні аварії та небезпечні випадки на біогазових установках в країнах ЄС

1. H₂S / Вплив біогазу та задуха

- Франція, 2017 – ARIA № 49063: Двоє робітників зайшли в корпус біореактора, щоб очистити засмічення. Обоє були отруєні сірководнем, один загинув, іншого було врятовано непритомним. Не було застосовано засобів виявлення газу та вентиляції.
- Німеччина, 2015 – Звіт про випадок DGUV: Фермер та його син загинули після того, як зайшли в насосний відстійник на біогазовій установці фермерського масштабу. Концентрація H₂S перевищувала 500 ppm. Обидва потерпілі не використовували засоби захисту органів дихання.

2. Пожежі та вибухи (метан)

- Франція, 2018 – ARIA № 52263: Вибух у машинному відділенні ТЕЦ, спричинений витокм метану з фланця. Джерело займання: електричний щит. Пошкодження будівлі та ТЕЦ; постраждалих немає.
- Німеччина, 2013 – DGUV/BG RCI: Мембрана газгольдера розірвалася внаслідок надлишкового тиску; метано-повітряна суміш спалахнула, зруйнувавши купол. Причина: заблокований злив конденсату та несправний резервуарний клапан (PRV).

3. Надлишковий тиск / Структурні пошкодження

- Франція, 2019 – ARIA № 55541: Надлишковий тиск у мембранному газгольдері через те, що піна блокувала вихід газу. Мембрана розірвалася, що призвело до витoku біогазу; факел не зміг впоратися з повним потоком біогазу.
- Німеччина, 2014 – Звіт DBFZ: Бетонний дах резервуару дигестату обвалився внаслідок утворення внутрішнього надлишкового тиску під час перемішування. PRV був занижений та піддався корозії.

4. Викиди дигестату / субстрату

- Франція, 2016 – ARIA № 47888: Стіна резервуара для дигестату зруйнувалася через корозію, що призвело до витoku 1500 м³ у сусідню водойму. Значна загибель риби; оператора оштрафовано.
- Велика Британія, 2014 – Справа про правозастосування HSE: Переповнення лагуни дигестату під час перекачування призвело до переливу у водотік. Обвалування було недостатнім.

Характерні випадки аварій та небезпечних випадків на біогазових установках в країнах ЄС

5. Інциденти на установці збагачення біогазу

- Франція, 2020 – ARIA № 57415: Пожежа на установці збагачення PSA пов'язана з перегрітим шаром активованого вугілля після несправності дозування кисню. Автоматичне вимкнення не відбулося через помилку ПЛК.
- Італія, 2018 – JRC eMARS ID 100003: Пожежа на установці збагачення на основі аміну в компресорній секції. Причина: витік мастила на гарячу поверхню; установка зупинена на 3 місяці.

6. Смертельні випадки під час технічного обслуговування в замкнутому просторі

- Франція, 2015 – ARIA № 46854: Працівник впав всередину ями попередньої обробки; двоє колег спробували врятувати його без ЗІЗ, але також були травмовані. Один смертельний випадок, двоє зазнали серйозних травм.
- Німеччина, 2012 – Випадок DGUV: Працівник з технічного обслуговування потрапив у газовий простір реактора без дегазації та помер від задухи. Чергового персоналу не було.

7. Аномалії факелів та систем згоряння

- Франція, 2018 – ARIA № 52011: Згасання полум'я факела під час холодної погоди; метан виходив протягом 2 годин. Полум'ягасник був забруднений, і автоматичне запалювання не відбулося.
- Велика Британія, 2016 – Примітка HSE: Зворотний спалах у факельній трубі через відсутність полум'ягасника після технічного обслуговування; незначні пошкодження, постраждалих немає.

8. Транспортування та обробка

- Франція, 2019 – ARIA № 55672: Автоцистерна, що перевозила рідкий дигестат, перекинулася на сільській дорозі; розлив забруднень у придорожню канаву.
- Німеччина, 2017 – Короткий опис страхової претензії: Витік з віртуального трубопроводу (біометан) на з'єднанні під час розвантаження; об'єкт евакуйовано, займання не відбулося.

Наслідки аварій на біогазових установах

- total loss of 80,000 €
- commissioning of the biogas plant
- no injured persons

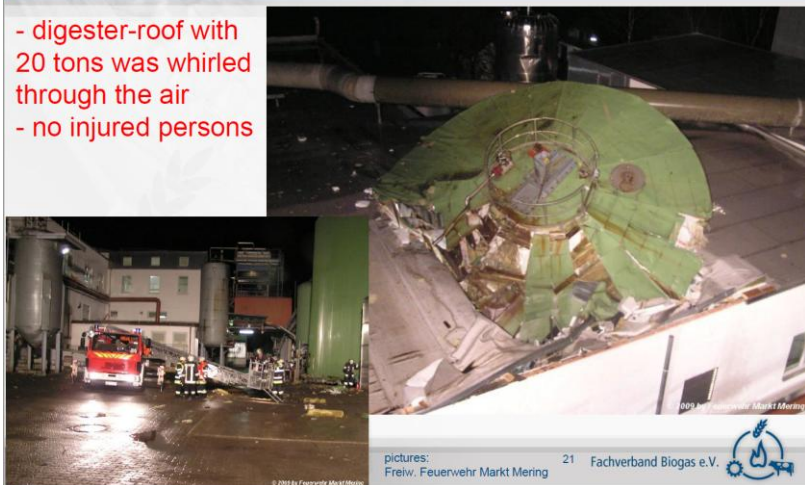


18 Fachverband Biogas e.V.



Explosion / deflagration due to welding

- digester-roof with 20 tons was whirled through the air
- no injured persons



pictures:
Freiw. Feuerwehr Markt Mering

21 Fachverband Biogas e.V.



- fire in a CHP-building
- no injured persons

Manuel Maciejczyk



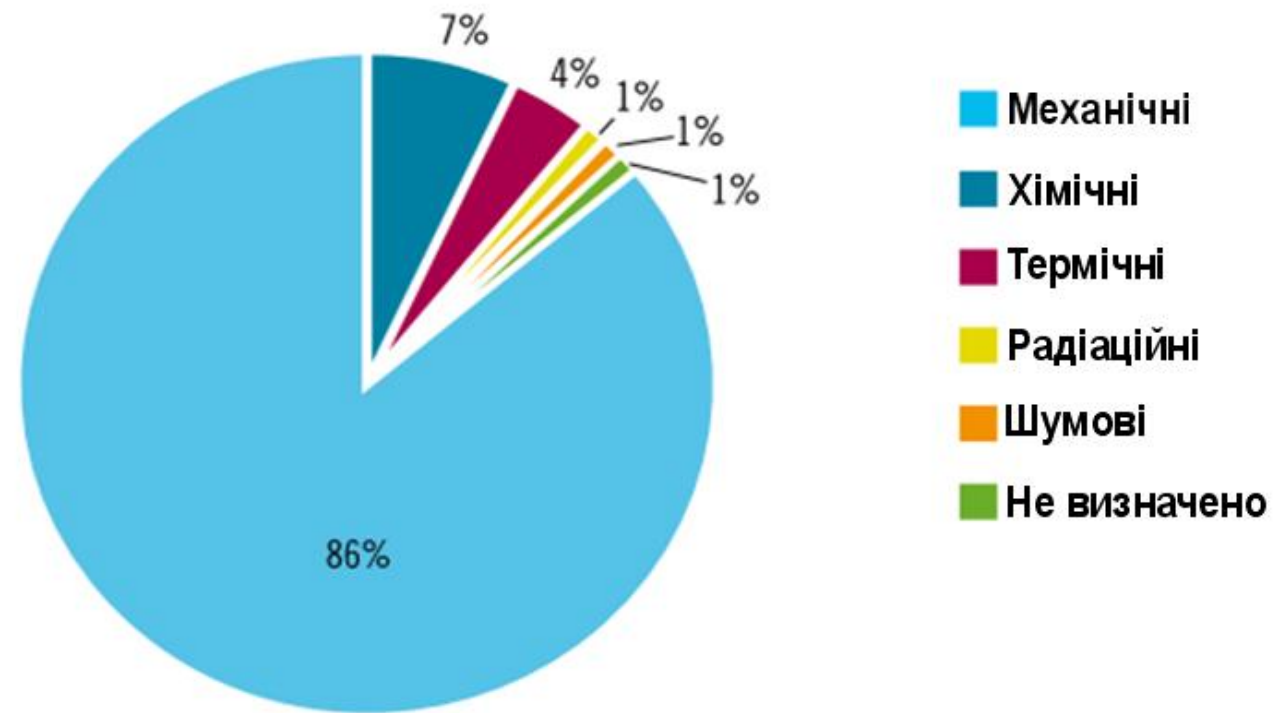
Джерело: Manuel Maciejczyk, German Biogas Association

Типи аварій на біогазових установах

Типи нещасних випадків з травмами на біогазових установах

У 2012 році в
Німеччині:
Близько 7500
біогазових установок

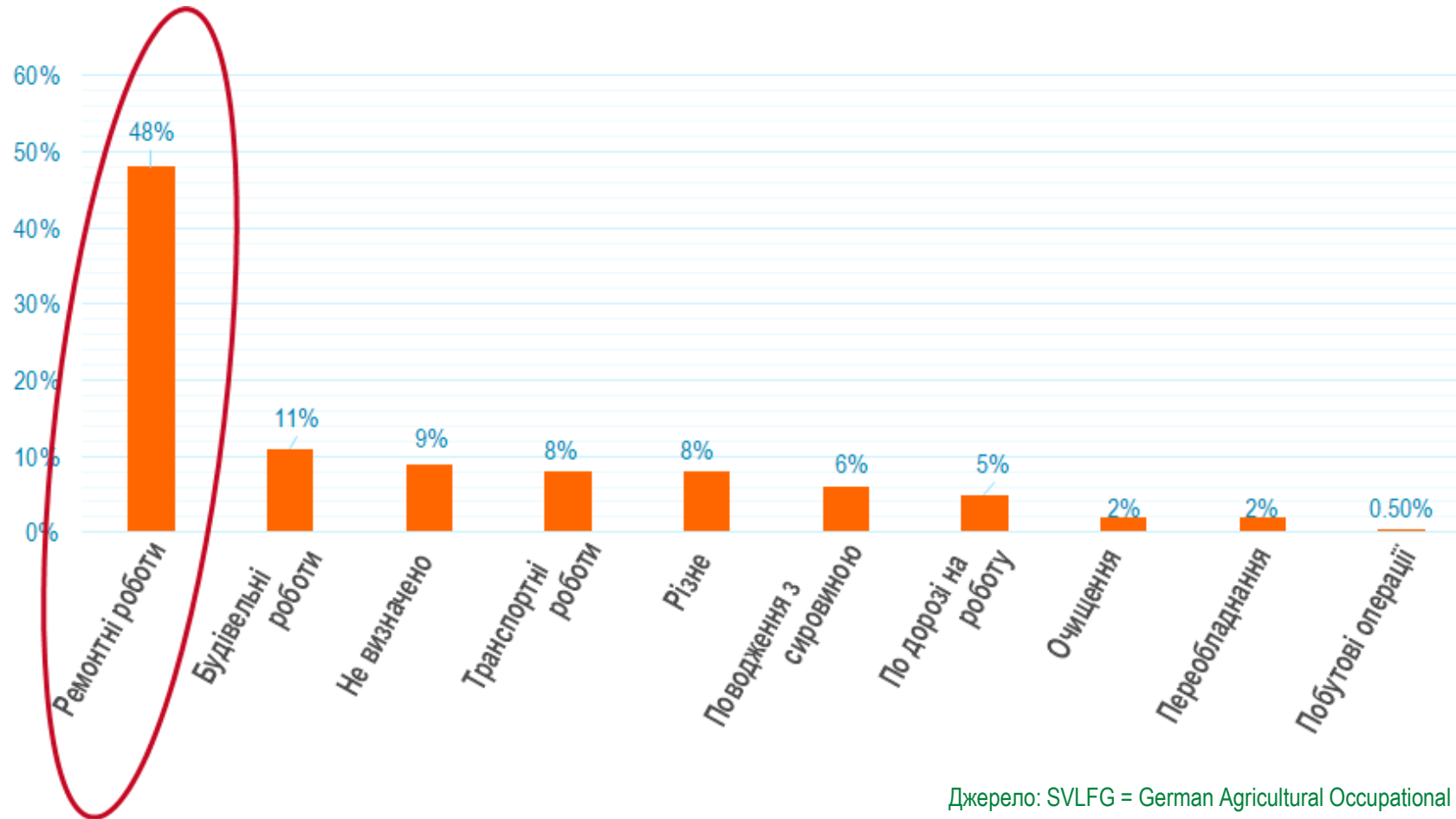
Близько 270 аварій
з травмованими
людьми



Джерело: SVLFG = German Agricultural Occupational Health and Safety Agency

Робочі зони, де відбулися аварійні ситуації

Аварії на біогазових заводах у Німеччині у період з 2009 по 2011 рік



Джерело: SVLFG = German Agricultural Occupational Health and Safety Agency

Статистика SVLFG:

Аварії на біогазових установках за 2018-2022 роки

Задіяні об'єкти	2018	2019	2020	2021	2022	Сума 2018-2022	Середнє 2018-2022
Подвір'я	9	7	9	15	11	51	10 
Інші пов'язані з нещасними випадками об'єкти	5	14	7	5	9	40	8 
Фронтальний навантажувач	7	9	7	8	8	39	8 
Розсувна драбина без подальшої деталізації	8	7	4	7	9	35	7 
Завантажувальні пристрої	9	5	7	6	6	33	7 
Металічні листи	5	9	5	8	3	30	6 
Природна земля , орна земля , луки або ліс. ґрунт	4	7	6	8	3	28	6 
Сходи або переходи	4	2	8	5	6	25	5 
Телескопічний навантажувач	4	4	3	7	5	23	5 
Трактор	4	5	6	3	3	21	4 
Шланги	1	5	3	3	6	18	4 
Металеві профілі	2	2	4	4	5	17	3 
Розсувна драбина 1 частина	4	4	5	2	2	17	3 
Багатовісний трейлер	1	3	3	3	7	17	3 
Відрізна/кутова шліфувальна машина	2	3	4	3	4	16	3 

Джерело: Herr Dr. Heuser SVLFG = Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau

Статистика SVLFG:

Аварії на біогазових установках за 2018-2022 роки

Виконувані дії (роботи)	2018	2019	2020	2021	2022	Сума 2018-2022	Середнє 2018-2022
Ходьба, біг	28	24	36	46	31	165	33 
Ремонтування	13	30	22	19	25	109	22 
Поводження з інструментами, обладнанням	20	25	22	17	20	104	21 
Вихід, спуск	12	16	16	18	21	83	17 
Підйом, сходження	10	16	9	10	10	55	11 
Обслуговування	15	12	8	9	9	53	11 
Відкривання/закривання	13	9	4	8	6	40	8 
Будівництво, монтаж	3	6	12	6	5	32	6 
Вставання, стояння	3	3	6	3	5	20	4 
Підймання	7	5	1	5	2	20	4 
Покриття, Накриття	1	6	5	3	5	20	4 
Керування, Рульове керування		4	4	5	4	17	3 
Вхід, підйом вверх	6	3	1	3	4	17	3 
Розбирання, складання	4	3		4	5	16	3 
Інші види діяльності	2	2	1	5	6	16	3 

Джерело: Herr Dr. Heuser SVLFG = Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau

Які ризики існують на біогазових установках?



Вибух

Вогонь,
пожежа

Падіння ,
руйнування
тощо.

Небезпеки
замкнутого
простору

Обертове
механічне
обладнання

Шум

Гідравлічний
удар

Отруєння
газом

Гарячі
поверхні

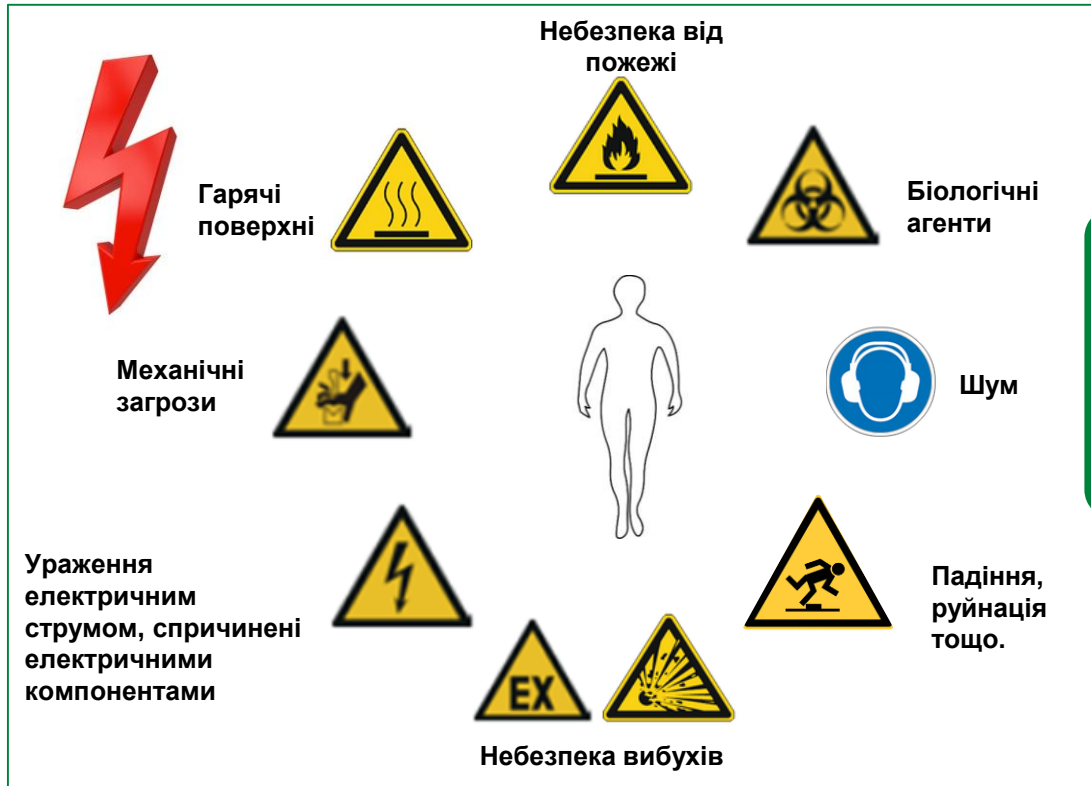
Патогени,
бактерії

Небезпеки
електричної
системи

Газ
високого
тиску

Витоки
рідин

Небезпеки на біогазових установках



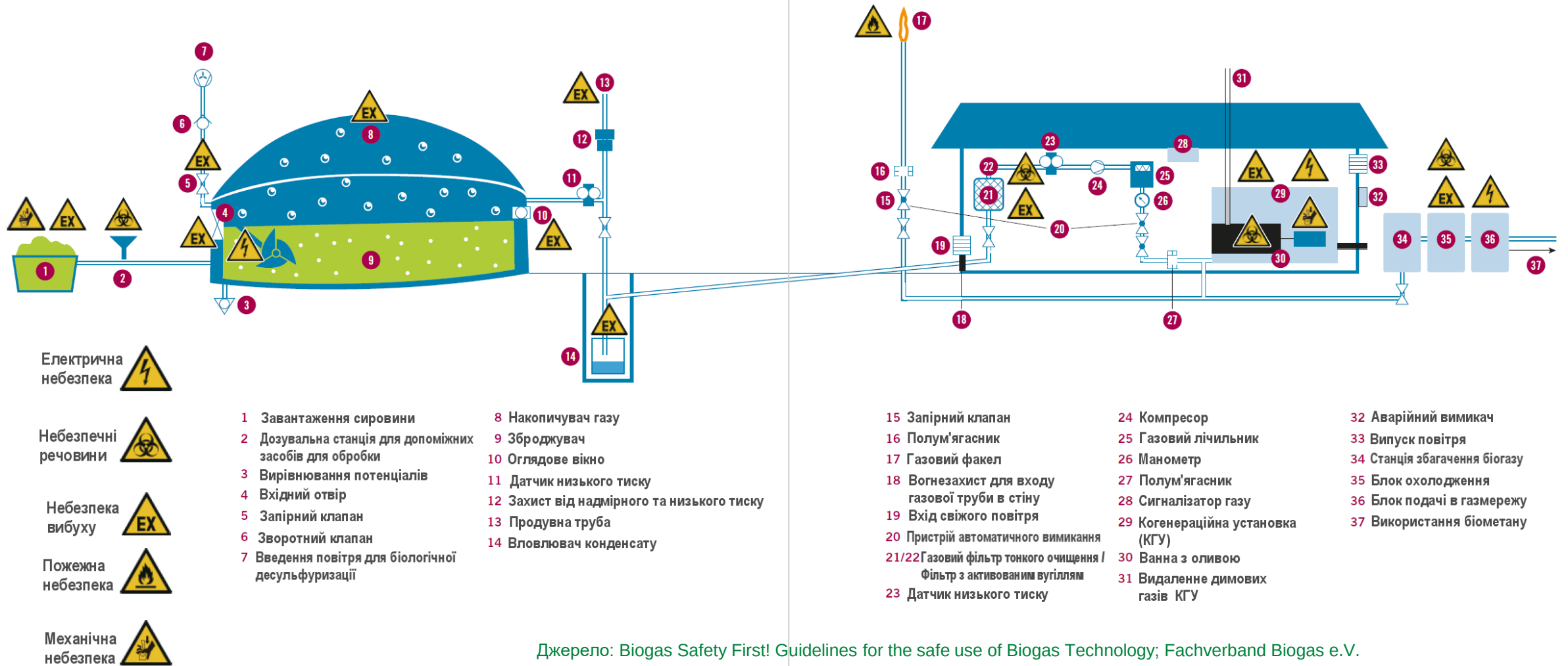
- Небезпека для здоров'я

- Газоподібні викиди (CH_4 , CO_2 , NH_3 , NO_x , SO_x , CH_2O ...)

- Екологічні небезпеки

- Викиди в ґрунт та воду (дигестат, силос, допоміжні речовини для переробки...)

Небезпека для здоров'я на біогазових/біометанових установках, КГУ



Джерело: Biogas Safety First! Guidelines for the safe use of Biogas Technology; Fachverband Biogas e.V.

Газова небезпека

Газова небезпека присутня на біогазових установках через небезпечні компоненти самого біогазу:

1. Аміак (NH_3)

- ❖ Характеристики: безбарвний, з різким запахом та легший за повітря
- ❖ Представляє пожежну небезпеку в концентраціях від 15 до 30%
- ❖ ГДК - 20 ppm (0,002%)
- ❖ При 30-40 ppm викликає подразнення слизових оболонок, дихальних шляхів та очей
- ❖ **При концентрації близько 1000 ppm (0,1%) викликає утруднення дихання, втрату свідомості**

2. Сірководень (H_2S):

- ❖ Характеристики: безбарвний, з запахом тухлих яєць, важчий за повітря, є сильною кров'яною та нервовою отрутою
- ❖ ГДК- 10 ppm (0,001%)
- ❖ При 50 ppm (0,005%) викликає подразнення дихальних шляхів
- ❖ **При 200 ppm = 0,02% = паралізує нюх**
- ❖ **При 700 ppm = 0,07% = зупинка дихання (смерть)**

3. Метан (CH_4)

- ❖ Характеристики: безбарвний, без запаху та легший за повітря
- ❖ Небезпека задухи
- ❖ **Діапазон вибухонебезпечності 4,4% - 16,5%**

4. Вуглекислий газ (CO_2)

- ❖ Характеристики: безбарвний, без запаху, важчий за повітря
- ❖ ГДК 5000 ppm = 0,5%; небезпечна зона вище 8 об.%
- ❖ Небезпека задухи

Запобіжні заходи:

Сигналізація, технічні запобіжні засоби, засоби індивідуального захисту

Небезпечні речовини

Хімічні речовини, такі як технологічні добавки (необхідні поживні речовини) та сполуки для десульфуризації: можуть бути токсичними та канцерогенними.

Біологічні агенти, такі як мікроорганізми: можуть спричиняти інфекції або мати сенсibilізуючу чи токсичну дію на людей.

Типові загрози:

- ❖ Вдихання пилу або аерозолів, що містять цвіль, бактерії або ендотоксини, наприклад, з вологого силосу або сухого курячого посліду.
- ❖ Наявність патогенів, таких як сальмонели, ентеробактерії, клостридії, лістерії



Механічні загрози

Рухомі частини машин

Небезпечні поверхні

Падіння:

•У резервуари

- ❖ •З будівельного майданчика
- ❖ •З силосу
- ❖ •З драбини
- ❖ •...



Електричні небезпеки

Електричні небезпеки присутні на біогазових установках через різноманітне електрообладнання:

- ❖ Обладнання керування, когенераційна установка, насоси, мішалки, вимірювальні прилади тощо.

Основними причинами нещасних випадків, пов'язаних з електричними небезпеками, є:

- ❖ несправне електрообладнання або електричні лінії
- ❖ несправний блискавкозахист
- ❖ несправні електроустановки

Це може призвести до вибухів, пожеж або навіть ураження електричним струмом!

Деякі профілактичні заходи включають: використання безпечного електрообладнання, вимикання електроенергії, звернення за порадою до кваліфікованого електрика.



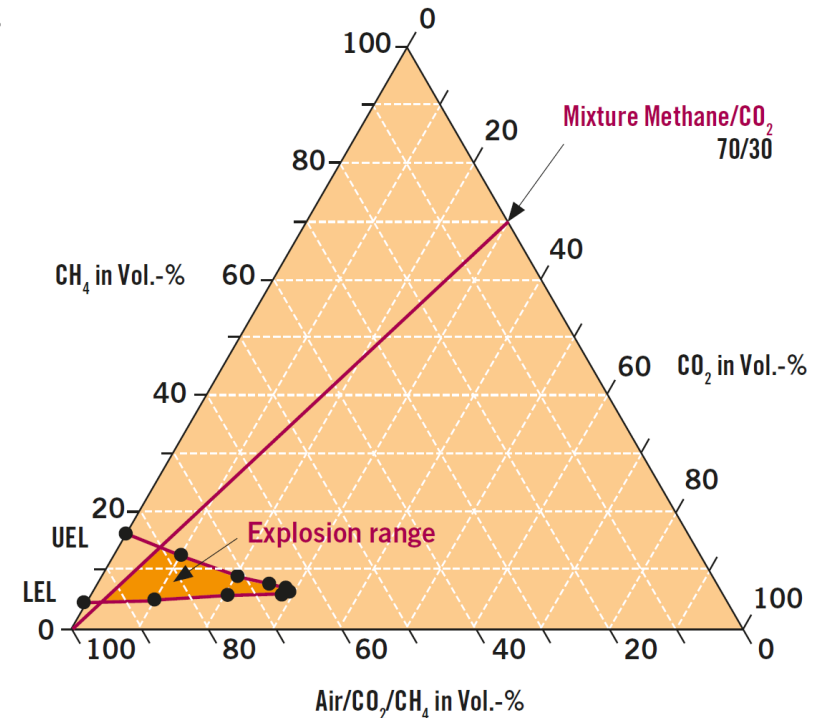
Джерело: ISO 7010

Небезпека вибуху

Біогаз може бути вибухонебезпечним, якщо одночасно виконуються три умови:

- ❖ Концентрація метану від 4,4 до 16,5 об.%
- ❖ Повітря (кисень) у концентрації понад 11,6 об.%
- ❖ Наявність джерела займання при температурі 700°C

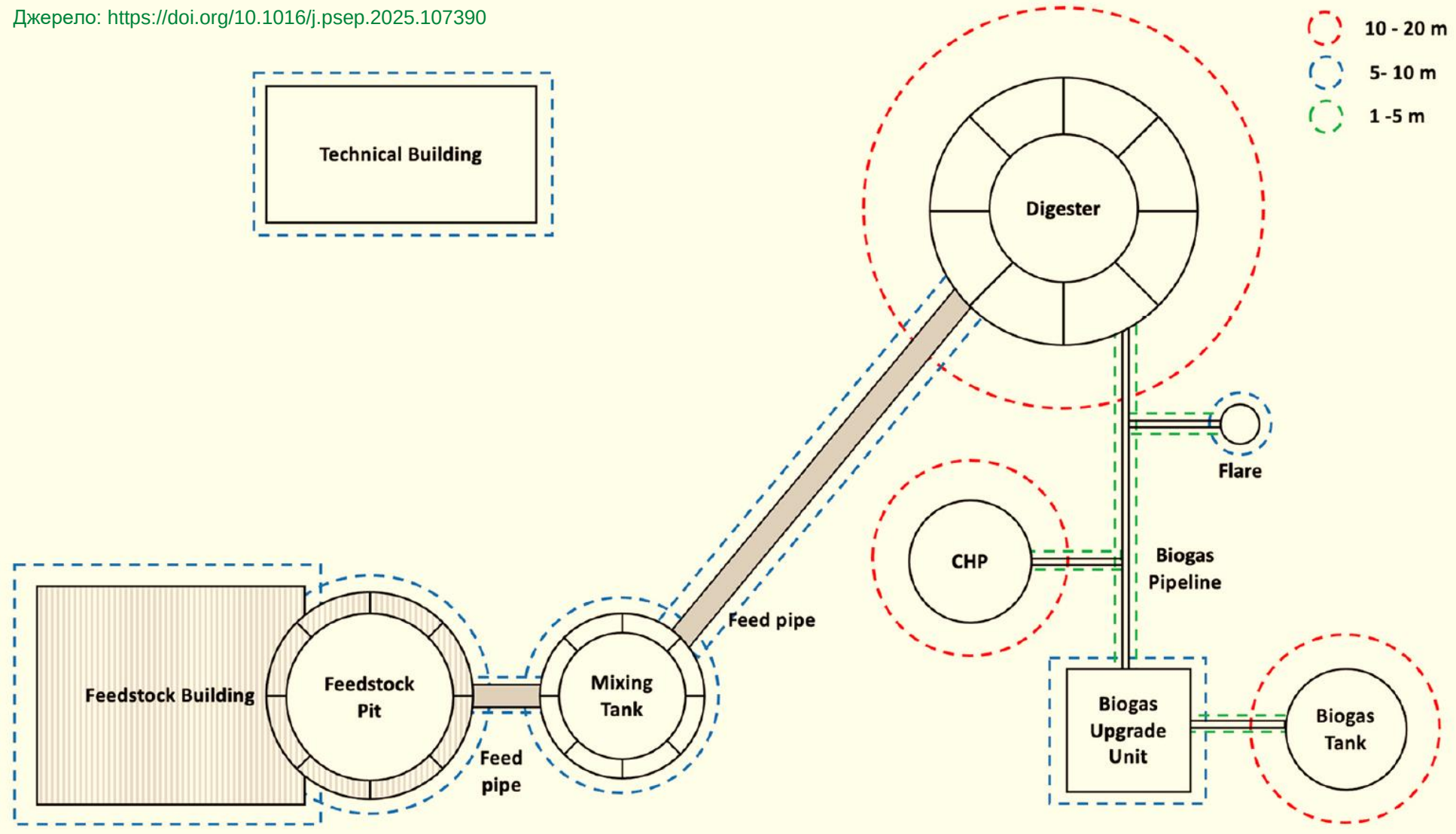
Трикутник вибуху біогазу показує діапазон вибухонебезпечності біогазу.



Джерело: Biogas Safety First! Guidelines for the safe use of Biogas Technology; Fachverband Biogas e.V.

Вибухонебезпечні зони на біогазових установках

Джерело: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107390>



Оцінка ризиків та запобіжні заходи

Оцінка ризиків

- Метою оцінки ризиків є захист та зменшення впливу ризиків та небезпек на працівників
- Роботодавець повинен визначати, оцінювати та мінімізувати небезпеки, а також повинен враховувати отримані знання шляхом:
 - ❖ проектування та вибору робочих інструментів
 - ❖ проектування робочих місць та виробничих процесів
 - ❖ встановлення робочих процедур
 - ❖ та взаємодії всіх вищезазначених факторів

7 кроків для успішної оцінки:

1. **Підготовка оцінки ризиків (небезпек):** Призначення відповідальних, реєстрація робочих зон, класифікація робочих зон, ...
2. **Визначення небезпек:** Фактори ризику, джерела небезпеки, небезпечні умови, поведінка працівників, ...
3. **Оцінка небезпек (аналіз ризиків):** Наскільки велика ймовірність того, що ця небезпека фактично виникне, і які наслідки?
4. **Визначення конкретних заходів з охорони праці та безпеки:** Визначення захисних заходів відповідно до принципу (S/K)-TOP...
5. **Впровадження необхідних захисних заходів:** Визначення чітких відповідальних за впровадження, навчання та інструктаж...
6. **Перевірка впровадження та ефективності заходів:** Чи мінімізуються нещасні випадки та захворювання...
7. **Оновлення оцінки ризиків:** Мінімум щорічно або після нещасних випадків, змін в робочих процедурах, з новим робочим обладнанням,...

Оцінка ризиків– Аналіз ризиків

Аналіз ризиків

			Потенційні наслідки				
			Незначні Незначні травми або дискомфорт. Медичне лікування не потрібне, або вимірні фізичні ефекти	Мінімальні Травми або захворювання, що потребують медичного лікування. Тимчасове порушення працездатності.	Помірні Травми або захворювання, що потребують госпіталізації.	Суттєві Травма або хвороба, що призвели до постійного порушення працездатності	Сильні Смертність
			Незначні	Мінімальні	Помірні	Суттєві	Сильні
Ймовірність	Очікується, що це трапляється регулярно за нормальних обставин	Майже певний	Середній	Високий	Дуже високий	Дуже високий	Дуже високий
	Очікується, що це станеться в певний момент	Ймовірний	Середній	Високий	Високий	Дуже високий	Дуже високий
	Може статися в певний момент	Можливий низький	Низький	Середній	Високий	Високий	Дуже високий
	Малоймовірно, що це станеться за звичайних обставин	Малоймовірно низький	Низький	Низький	Середній	Середній	Високий
	Може статися, але, ймовірно, ніколи не станеться	Рідкісний	Низький	Низький	Низький	Низький	Середній

Принцип STOP: Ієрархія захисних заходів

Буква	Значення (англ.)	Значення (укр.)	Описання
S	Substitution	Заміна	Замінити небезпечні речовини або процеси безпечнішими альтернативами
T	Technical measures	Технічні заходи	Інженерні засоби контролю: огорожі, вентиляція, автоматизація тощо
O	Organizational measures	Організаційні заходи	Робочі процедури, складання графіків, навчання, вивіски, контроль доступу
P	Personal protective measures	Засоби індивідуального захисту	ЗІЗ, такі як рукавички, маски, захисні окуляри, використовуються лише тоді, коли інших заходів недостатньо

Чому цей порядок важливий

- ❖ Заміна є найефективнішим методом — вона повністю усуває небезпеку.
- ❖ Технічні заходи зменшують вплив джерела небезпеки.
- ❖ Організаційні заходи керують ризиком через поведінку, інформування та навчання.
- ❖ Засоби індивідуального захисту є останнім заходом — найменш надійним і найбільш залежним від дотримання вимог людиною.

Ця ієрархія вбудована в багато європейських правил безпеки, включаючи німецький BetrSichV §4(2) та директиви ЄС, такі як 89/391/ЄЕС, і широко використовується в оцінці ризиків для промислового та енергетичного секторів.

Захист від вибухів

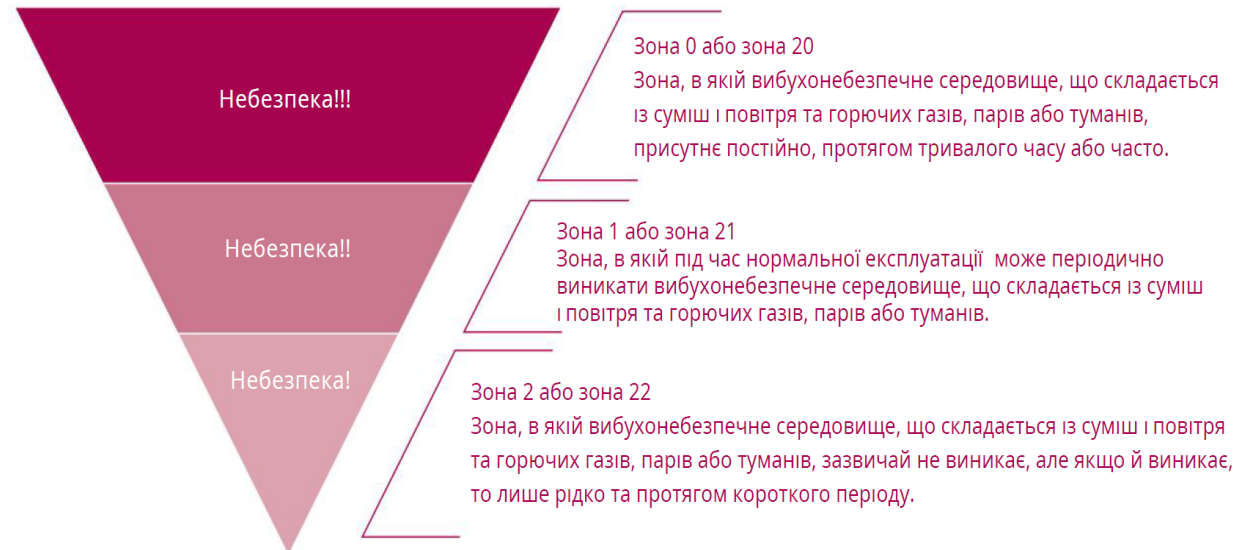
Інтегрований вибухозахист

Первинний Вибухозахист	Запобігання утворенню вибухонебезпечних середовищ Заміщення, інертна атмосфера, обмеження концентрації, інтенсивна вентиляція
Вторинний Вибухозахист	Запобігання займанню Екстрозонування, запобігання джерелам займання, організаційні заходи
Третинний Вибухозахист	Зменшення наслідків вибуху Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), вибухогасіння, стійкість до вибухового тиску Евакуація або достатня дистанція

Вибухонебезпечне зонування:

Потенційно вибухонебезпечні середовища поділяються на зони залежно від частоти та тривалості виникнення небезпечного вибухонебезпечного середовища. Ця класифікація служить основою для визначення заходів, зокрема для запобігання займанню вибухонебезпечних середовищ.

Класифікація вибухонебезпечних зон

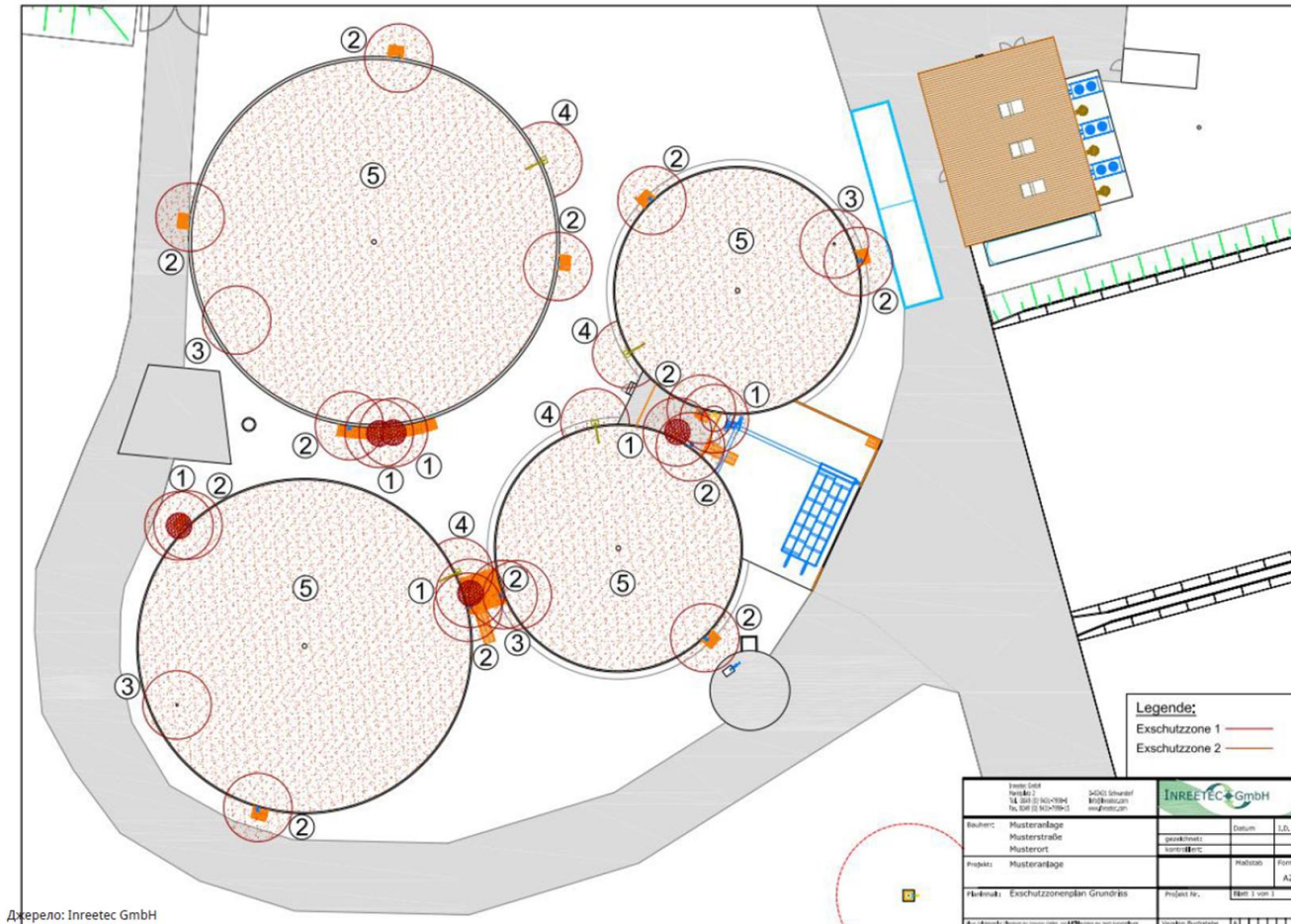


Джерело: Biogas Safety First! Guidelines for the safe use of Biogas Technology; Fachverband Biogas e.V.

Захист від вибухів

Приклад плану вибухонебезпечної зони для біогазової установки (червоний = зона 1, помаранчевий = зона 2)

- 1 - Захист від надлишкового та зниженого тиску
- 2 - Стінний канал для зануреної мішалки
- 3 - Вихідний отвір мембранного резервуара для зберігання газу
- 4 - Вентилятор мембранного резервуара для зберігання газу
- 5 - Простір між мембранами резервуару для зберігання газу



Кожна біогазова установка вимагає плану вибухонебезпечної зони та документа про вибухозахист.

У вибухонебезпечних зонах оператор повинен використовувати обладнання та захисні системи, що відповідають вимогам Директиви 94/9/ЄС (ATEX/95). Це вказує на сферу застосування, передбачену виробником для виробу.

Джерело: Biogas Safety First! Guidelines
for the safe use of Biogas Technology;
Fachverband Biogas e.V.

Основні джерела займання

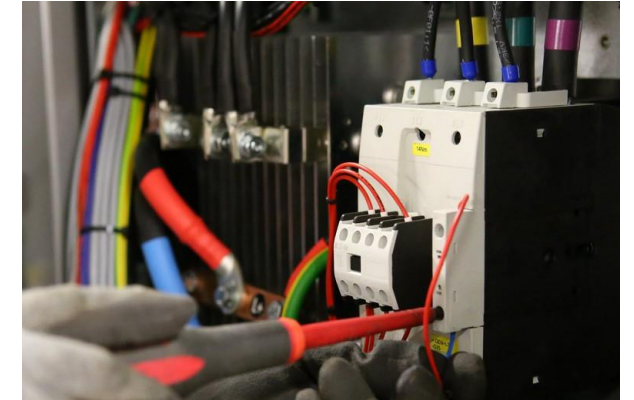
Гарячі поверхні



Механічні іскри



Електричні прилади



Електростатичний розряд



Відкрите полум'я



Блискавка



Picture credits (t.l.-b.r.): IBBK, M.Hunter (flickr), T. Reckmann (flickr), klexikon.de, T.Reckmann (flickr), H. Richter (flickr)

Протипожежна профілактика

Структурна пожежна безпека

- ❖ Теплоізоляція ферментерів/резервуарів: зазвичай легкозаймиста B 2 DIN 4102, вогнестійка B 1 DIN 4102
- ❖ Захисна відстань у горизонтальному напрямку між газосховищем та іншими будівлями, що не належать до біогазової установки (нижче 7,5 м), або маршрутами громадського транспорту повинна бути не менше 6 м.

Технічна пожежна безпека

- ❖ Персональний вогнегасник для класів пожежі А, В та С
- ❖ CO₂-вогнегасник
- ❖ Пожежний сповіщувач

Небезпечні біологічні речовини

Запобігання впливу небезпечних речовин можна здійснити за допомогою санітарних заходів:

- ❖ Контроль здоров'я худоби: не слід використовувати гній та рідку рідину від худоби з проблемами зі здоров'ям.
- ❖ Контроль кормів: види біомаси з високим ризиком зараження патогенами повинні бути виключені з агрономічної обробки.
- ❖ Окрема попередня санітарна обробка певних категорій сировини є обов'язковою, як це передбачено Європейським регламентом ЄС 1774/2002. Залежно від категорії сировини, регламент вимагає:
 - Пастеризацію (при 70°C протягом однієї години)
 - Стерилізацію під тиском (133 °C, 20 хвилин, 3 бар)
 - Контрольовану санітарну обробку (температура процесу A3, MGRT*)

*MGRT: Minimum guaranteed retention time

Якщо використовується небезпечна добавка або допоміжний матеріал, завжди необхідно проводити тест на заміщення

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

- Роботодавець повинен забезпечити засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)
- Працівники повинні використовувати ЗІЗ, якщо існує ризик
- Наприклад, фільтруючі пристрої, захисні окуляри, захисні рукавички, захисний одяг під час використання небезпечних добавок,
- захист органів дихання під час роботи з викидами біогазу



PHOTO: POLYCONATRO GMBH

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)



Джерело: Biogas Safety First! Guidelines for the safe use of Biogas Technology; Fachverband Biogas e.V.

Інші важливі фактори безпеки

Обов'язки оператора установки:

- ❖ Підготувати оцінку небезпеки та інструкції з експлуатації.
- ❖ Впровадити відповідні захисні заходи.
- ❖ Забезпечити відповідне робоче обладнання та засоби індивідуального захисту.
- ❖ Проінструктувати всіх осіб, які працюють на біогазовій установці, перед початком будь-яких робіт та переконайтеся у своїй кваліфікації для цієї діяльності.

Обов'язки виробників обладнання:

- ❖ Надати оператору документи, необхідні для безпечної експлуатації машини, наприклад, інструкції з експлуатації виробу, декларацію про введення в експлуатацію
- ❖ Звіти про введення в експлуатацію / випробування на герметичність
- ❖ Декларацію про відповідність СЕ
- ❖ Інструкції з технічного обслуговування
- ❖ Паспорти безпеки тощо

На кожній біогазовій установці повинні бути дві особи, відповідальні за її роботу, які пройшли навчання з експлуатації установки.

Регулярне навчання оператора та працівників має бути обов'язковим для того, щоб підтримувати технічні знання в актуальному стані з урахуванням останніх знань та технічних вимог.

Щодо будівельних та ремонтних робіт, лише затверджені спеціалізовані компанії/кваліфіковані працівники повинні мати дозвіл на роботу з електрообладнанням та виконання зварювальних робіт на трубах та газопровідних системах.

Кожна біогазова установка повинна мати та виконувати план самомоніторингу, план технічного обслуговування, план зовнішніх перевірок



BIOGAS

Safety first!

Guidelines for safe use
of biogas technology

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Fachverband
BIOGAS

German Biogas Association
www.biogas.org

Safety first!

*Німецький досвід показує, як можна
запобігти аваріям за допомогою
відповідного регулювання та контролю
починаючи від планування заводу через
будівництво і до щоденної експлуатації.*

Доступно англійською, іспанською,
французькою, португальською, сербською,
індонезійською та голландською мовами!

www.biogas-safety.com

Деякі вимоги безпеки в Україні

При виконанні робіт, що спрямовані на охорону праці персоналу біогазових комплексів необхідно дотримуватися норм безпеки роботи на підприємствах відповідно до НПАОП 01.0-1.02-18 "Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві", а також – передбачені правилами техніки безпеки експлуатації біогазових установок.

Розміщення ферментаторів та інших споруд на плані підприємства повинні відповідати вимогам ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій", ДБН В.2.5-20-2018 "Газопостачання" та ВНТП-АПК-09.06 "Система видалення, обробки, підготовки та використання гною".

Щоб гарантувати безпеку персоналу необхідно встановлювати обладнання, що сповіщає про небезпеку вибуху газів.

На видних місцях необхідно встановити первинні засоби пожежогасіння, що призначені для певних категорій приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою згідно ДБН В.1.1-7:2016 та ДСТУ Б В.1.1-4, а саме: ферментатор – В; резервуари з/б – Д; технічні приміщення – Д.

Вибухонебезпечні зони: територія в радіусі 1,0 метра навколо газової системи, горловини вивідного трубопроводу і на відстані 5,0 метрів від накопичувача газу (газгольдера) і резервуара для бродіння (ферментатора), вважаються вибухонебезпечними.

В межах цих зон все електрообладнання та техніка виконуються в вибухозахищеному варіанті.

У разі виникнення аварійних ситуацій, необхідно передбачити протипожежні заходи згідно вимог ДБН В.2.5-74:2013.

UABIO

Дякую за увагу!

Біоенергетична асоціація України
uabio.org

e-mail: kramar@secbiomass.com