Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Екологічні та безпекові аспекти виробництва біогазу

Кучерук П.П.
Біоенергетична асоціація України
член Експертної ради, к.т.н.

09/11/2023

Зміст

01 Кліматична роль біогазових технологій

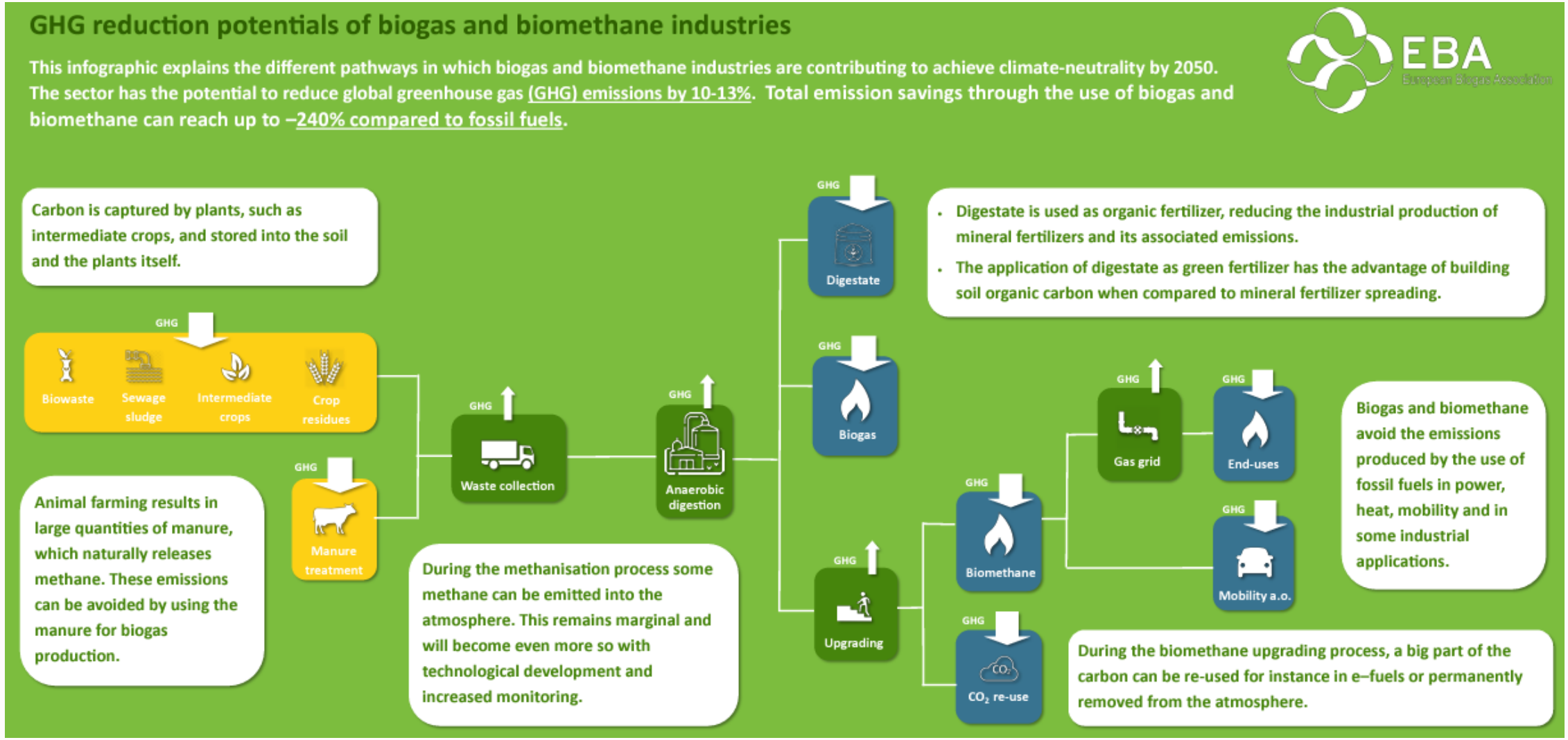
02 Оцінка викидів GHG при виробництві біогазу

03 Основні ризики та безпека при виробництві біогазу

Кліматична роль біогазових технологій

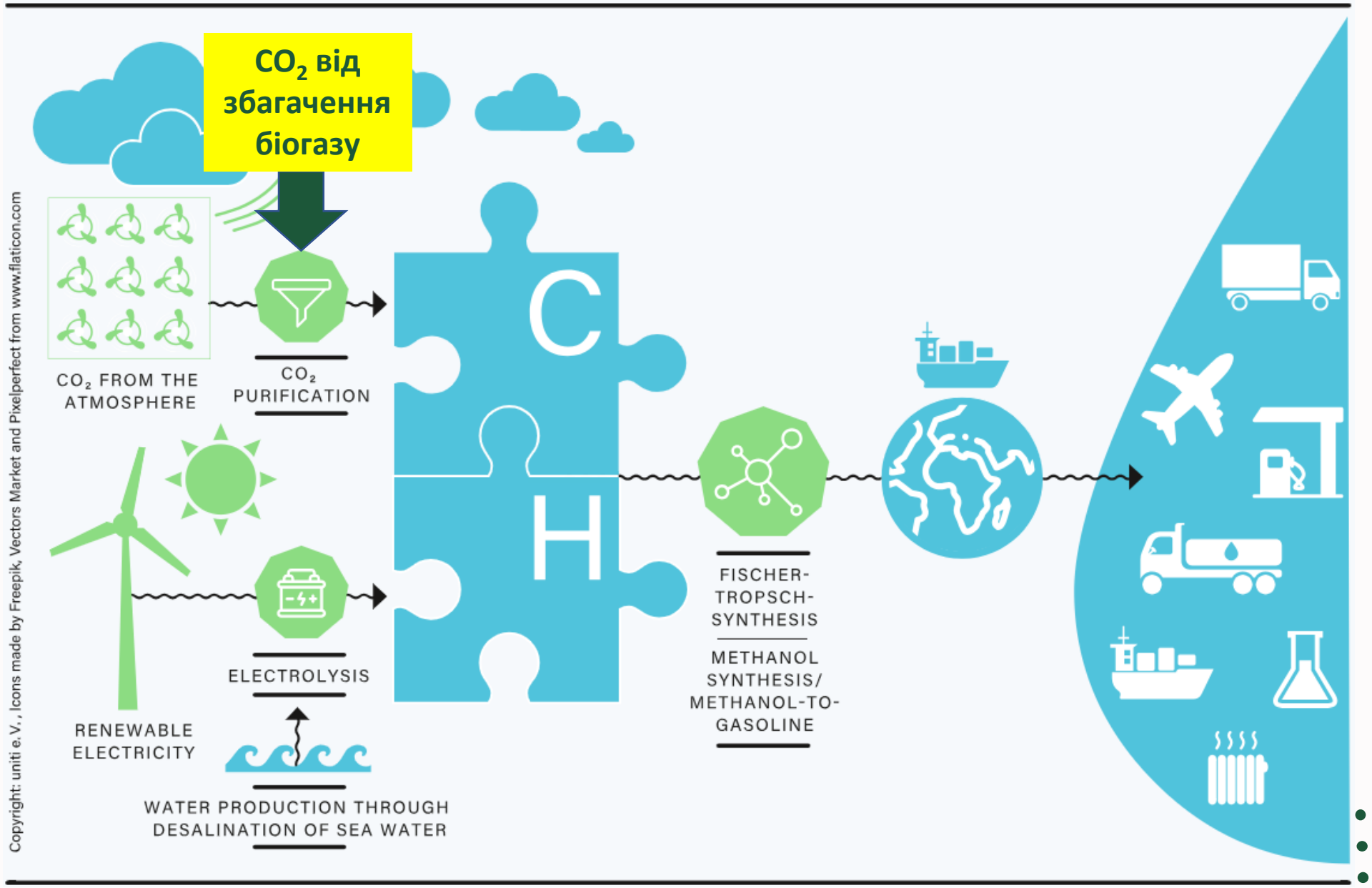
Роль біогазу в запобіганні змінам клімату

Роль біогазових технологій у запобіганні викидам ПГ



Джерело: Європейська біогазова асоціація

Використання CO_2 при виробництві e-палив (процес P-t-L)

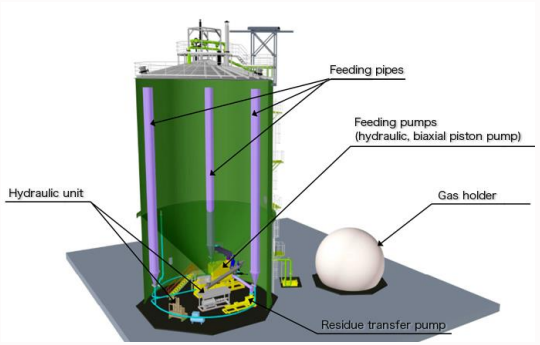


efuel-alliance

Ключові переваги використання біогазових технологій

! Ефективний метод знешкодження та біологічної стабілізації рідких та твердих видів органічних відходів

оТПВ



Осади СВ

Гній, послід

БІОГАЗ

Ключові переваги використання біогазових технологій

! Скорочення викидів парникових газів

→ **В результаті запобігання викидам CH_4, N_2O та НМЛОС при відкритому зберіганні відходів**

Парниковий газ	Потенціал глобального потепління для 100-річного горизонту часу (AR5) [1], т CO_2 екв / т
Метан (CH_4)	28
Закис азоту (N_2O)	265

→ **В результаті заміщення енергії з викопних енергоресурсів**

- ✓ електроенергії з мережі – 0,91 т $CO_{2\text{-екв}}$/МВт·год [2]
- ✓ природного газу – 66,20…67,59 г $CO_{2\text{-екв}}$/МДж [3]
- ✓ дизелю – 87,64 г $CO_{2\text{-екв}}$/МДж [3]

→ **В результаті заміщення мінеральних добрив при використанні дигестату як добрива**

- ✓ при заміщенні азотних добрив – 5,881 т $CO_{2\text{-екв}}$ на 1 т N [4]

[1] https://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
[2] CoM Default Emission Factors for the Eastern Partner countries. Dataset Version 2017.
[3] European Commission: Standard values for emission factors, v 1.0. 2015
[4] *Джерело: ISCC EU 205 Greenhouse Gas Emissions/ Version 4.0. Valid from: 1st July 2021. European Commission: Standard values for emission factors, v 1.0. 2015*

Джерела викидів GHG в сільському господарстві

Джерело викидів	Категорія забруднювачів	Парникові гази
Кишкова ферментація	Всі групи сільськогосподарських тварин	CH_4
Поводження з гноєм	**Всі групи сільськогосподарських тварин**	**CH_4, N_2O, НМЛОС**
Вирощування рису	Рисові поля	CH_4
Грунти	➢ Оброблювані грунти з внесенням азотних мінеральних та органічних добрив, **пожнивних решток** ➢ Пасовища тварин ➢ Мінералізація/іммобілізація, пов'язана з втратою/приростом органічної речовини ґрунту ➢ Культивування органічних ґрунтів (гістосолей) ➢ Непрямі викиди від засвоєння атмосферного азоту, а також вимивання та стікання азотних речовин	N_2O
Грунти	Внесення вапняку або доломіту	CO_2
Грунти	Внесення сечовини (карбаміду)	CO_2

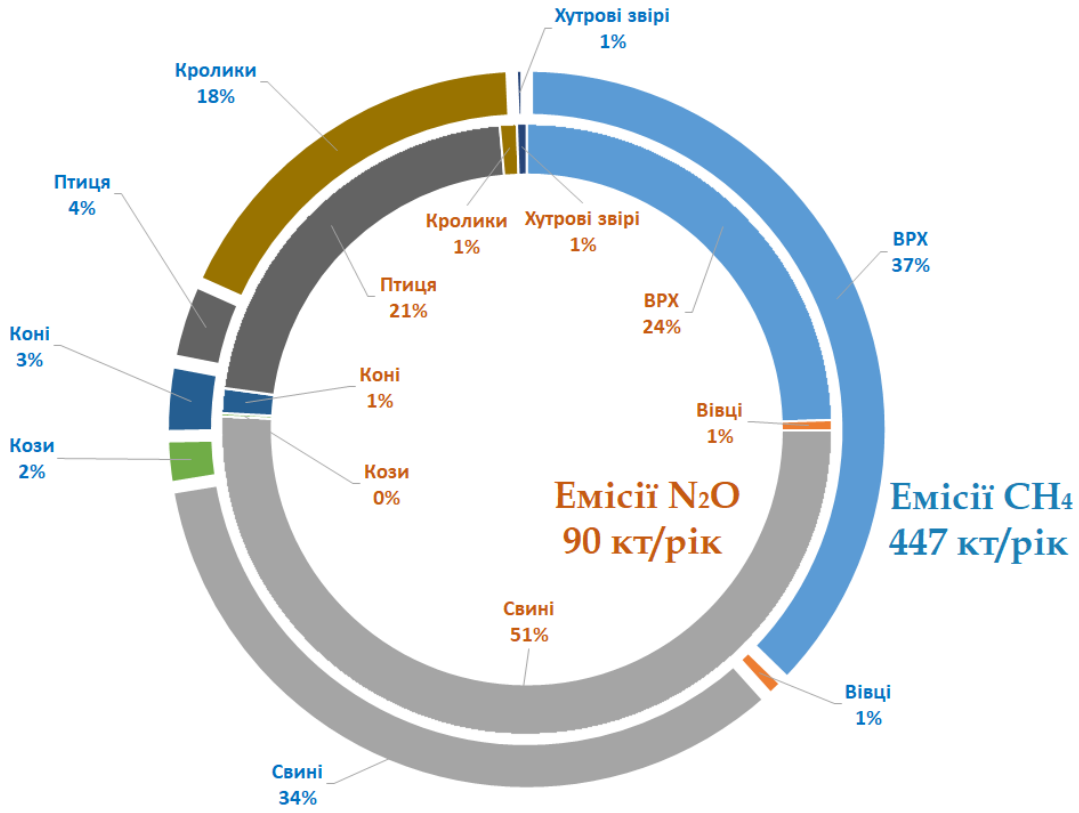
Джерела викидів GHG в сфері управління відходами

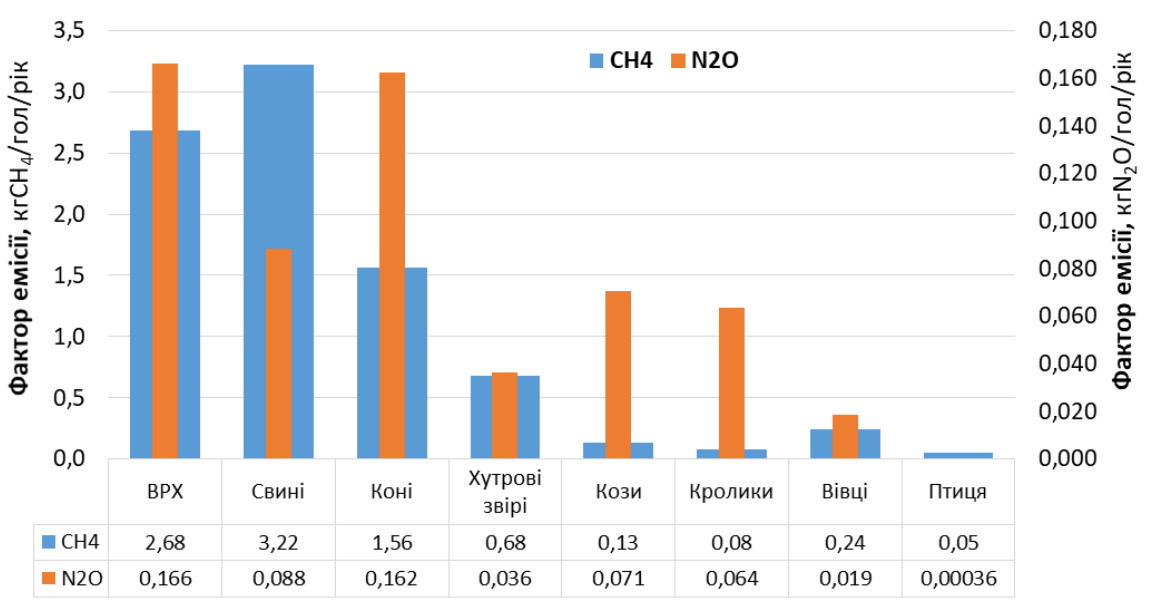
Джерело викидів	Категорія забруднювачів	Парникові гази
Відкрите накопичення ТПВ	**Керовані та некеровані полігони ТПВ**	**CH_4**
Компостування	Станції компостування органічної фракції ТПВ або аграрної біомаси	CH_4, N_2O
Виробництво біогазу	**Біогазові установки**	**CH_4, N_2O**
Спалювання відходів	➢ Сміттєспалювальні заводи ➢ Відкрите спалювання	CO_2, CH_4, N_2O,
Обробка стічних вод	➢ Очисні споруди каналізації (комунальні та **промислові**) ➢ **Мулові майданчики**	CO_2

Емісії GHG в системах поводженням з гноєм/послідом

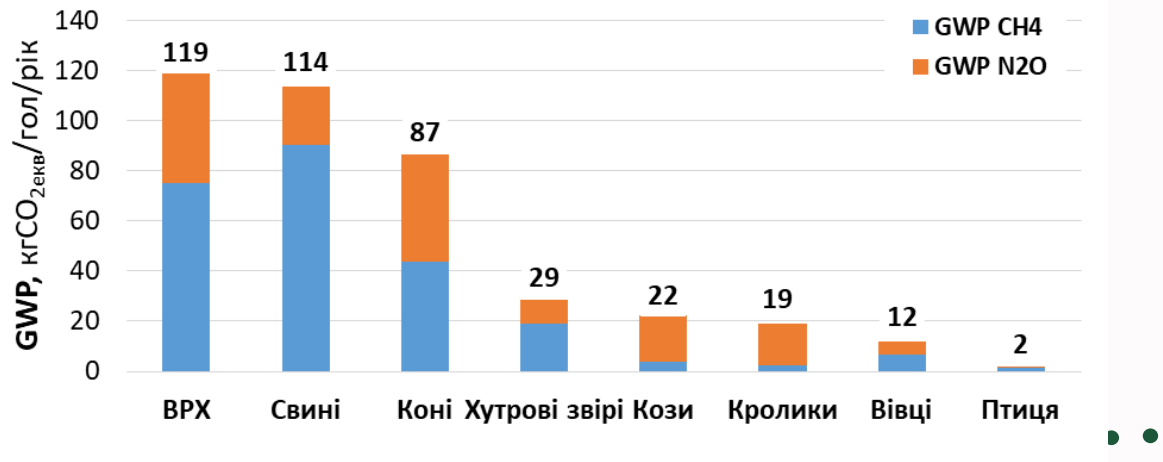
(2020 рік, Україна)

ВСЬОГО: 36,4 млн тCO$_{2екв}$/рік





	ВРХ	Свині	Коні	Хутрові звірі	Кози	Кролики	Вівці	Птиця
CH4	2,68	3,22	1,56	0,68	0,13	0,08	0,24	0,05
N2O	0,166	0,088	0,162	0,036	0,071	0,064	0,019	0,00036

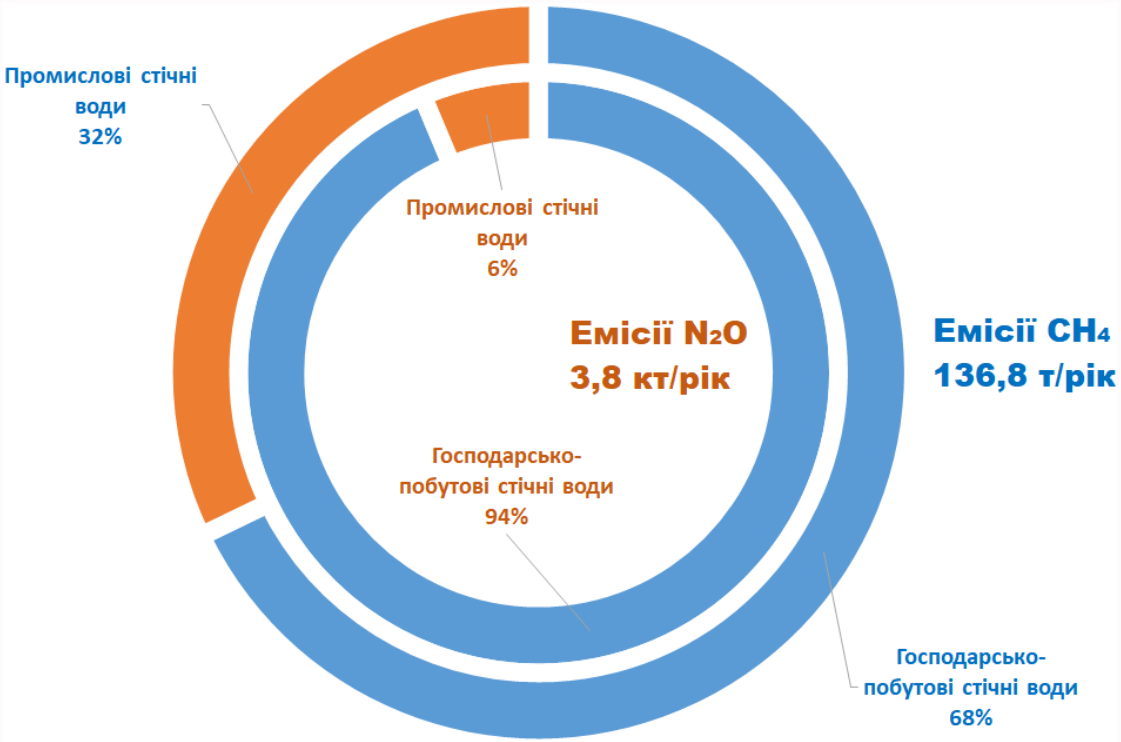


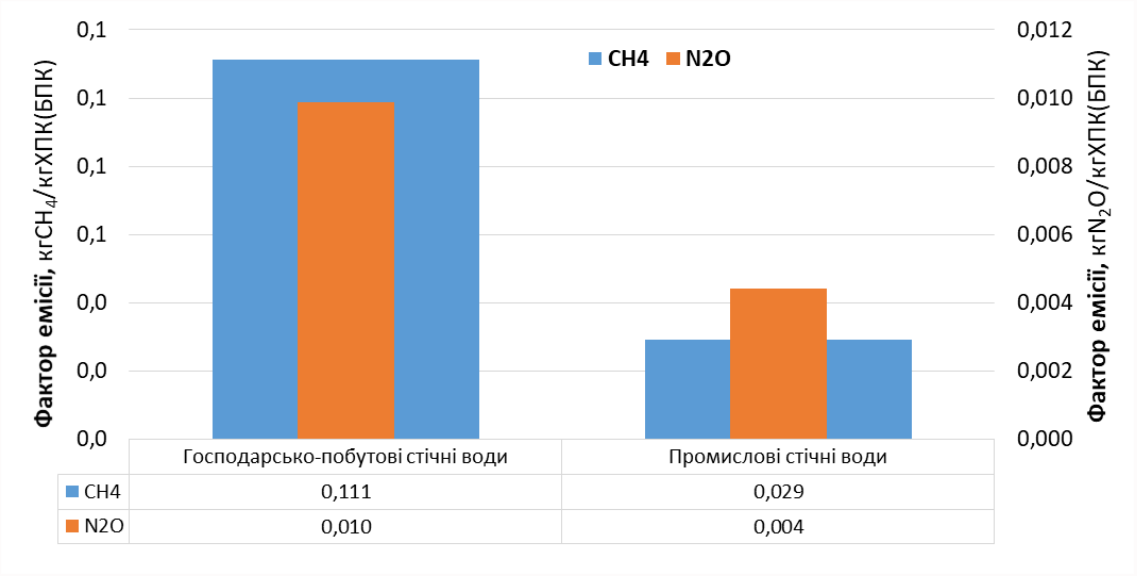
https://nci.org.ua/inventory_activity.html

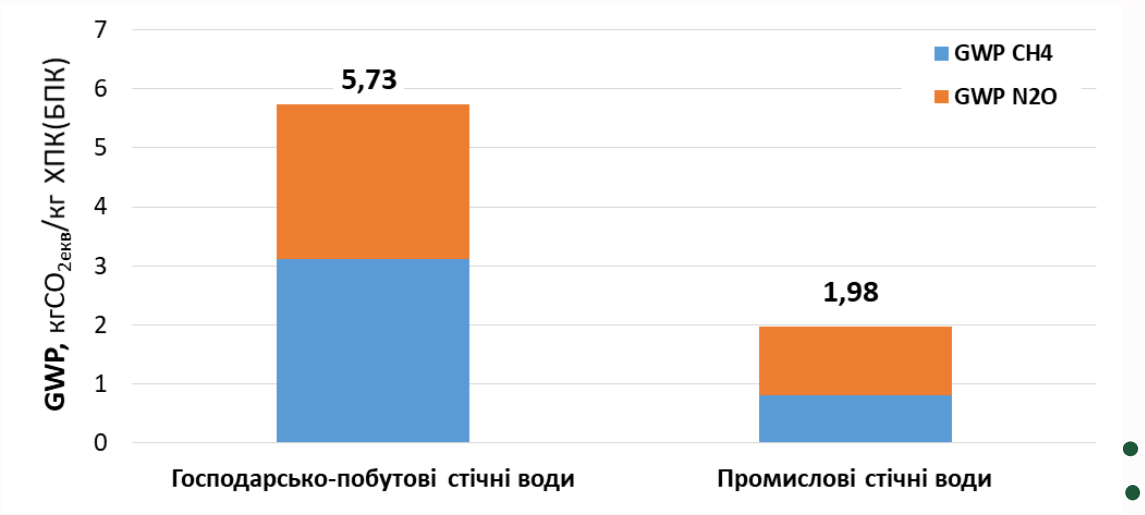
Емісії GHG в системах поводження зі стічними водами

(2020 рік, Україна)

ВСЬОГО: 4,9 млн т$CO_{2екв}$/рік





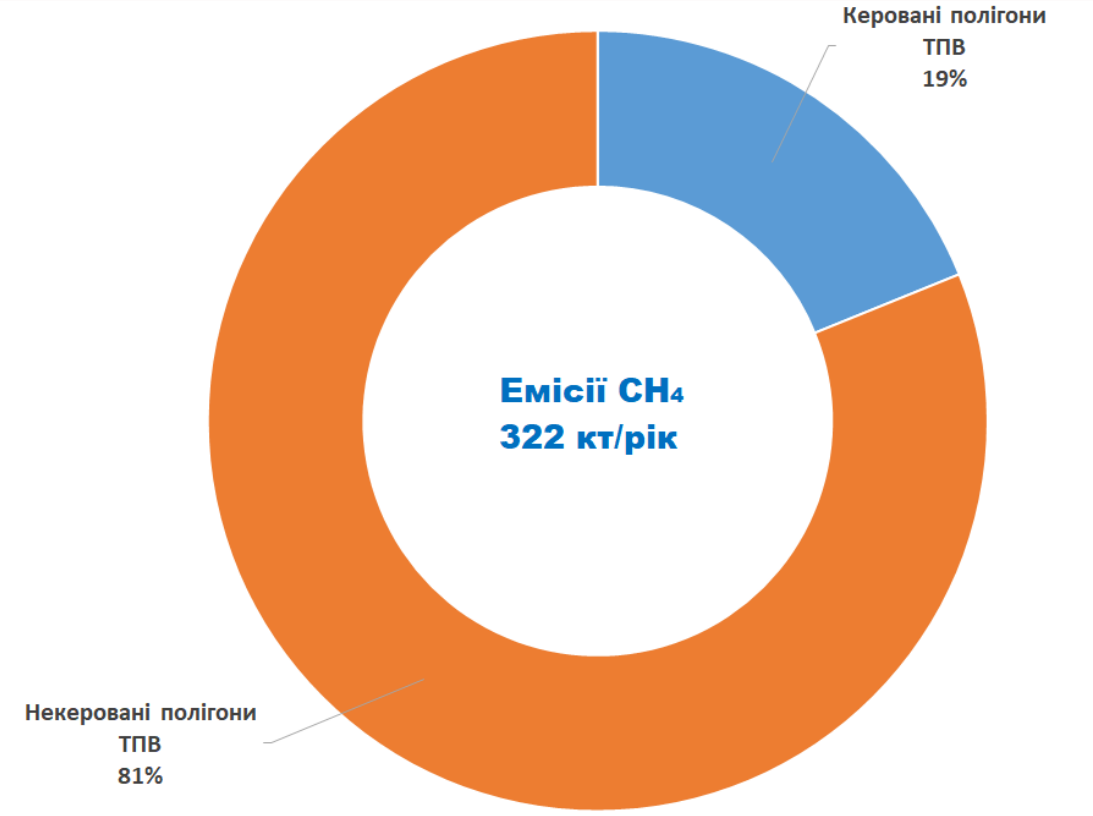


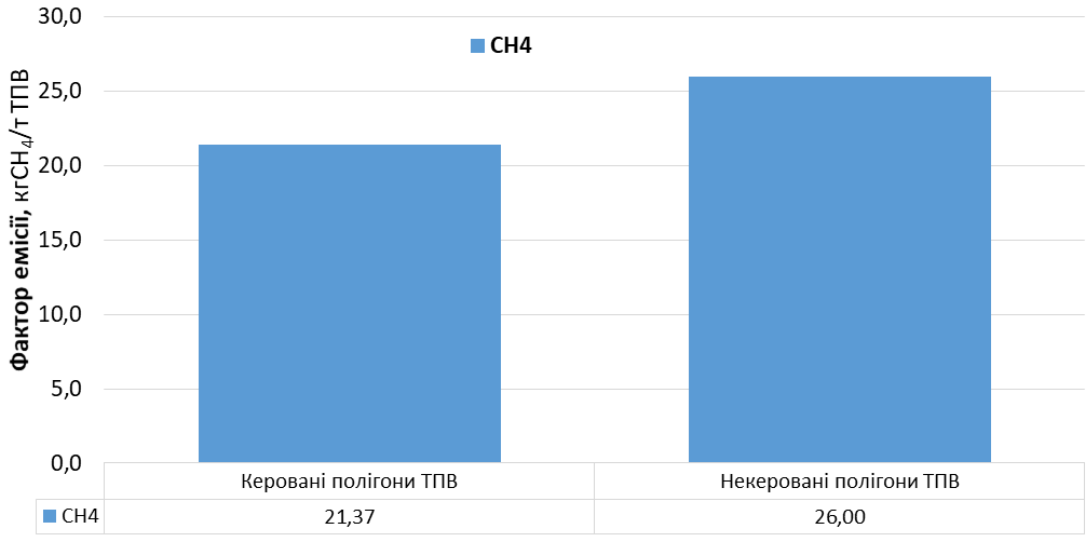
https://nci.org.ua/inventory_activity.html

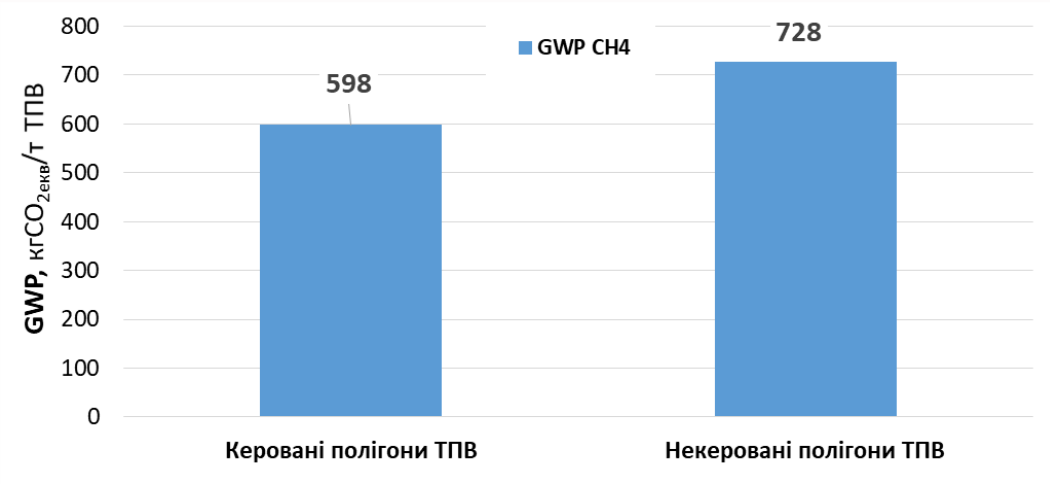
Емісії GHG з полігонів ТПВ

(2020 рік, Україна)

ВСЬОГО: 9 млн т$CO_{2екв}$/рік

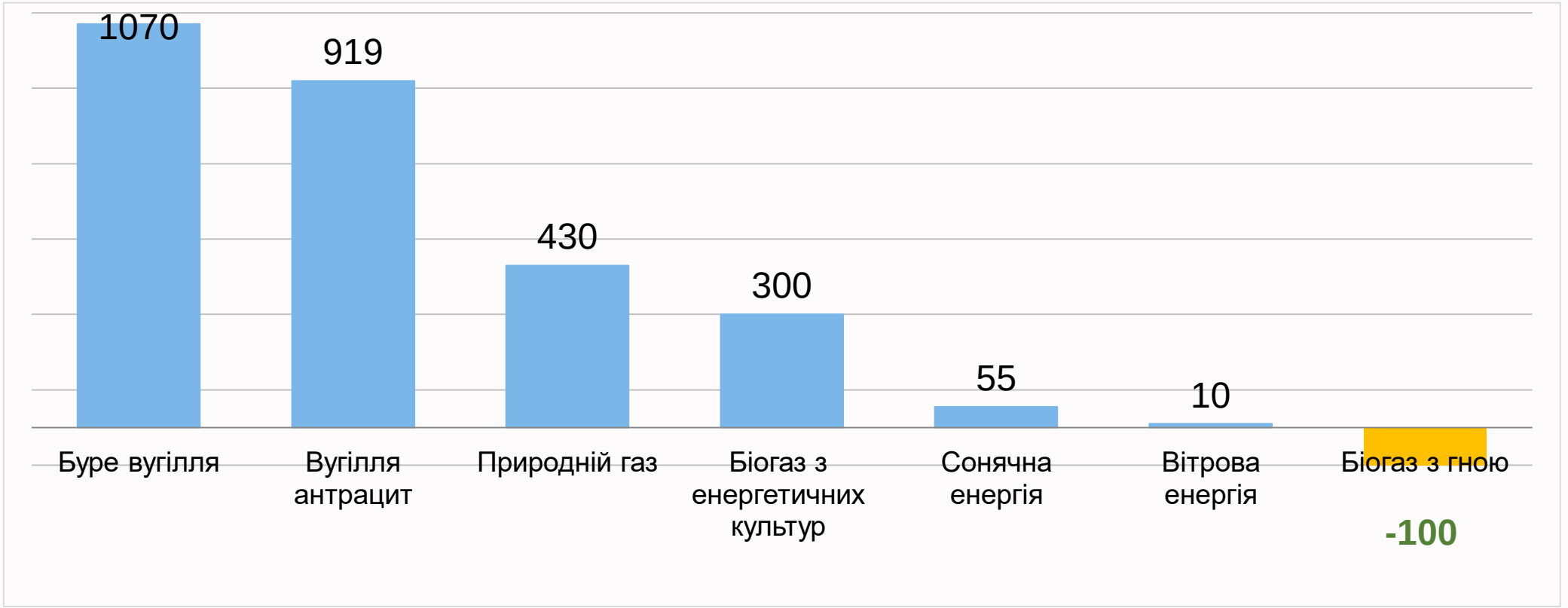






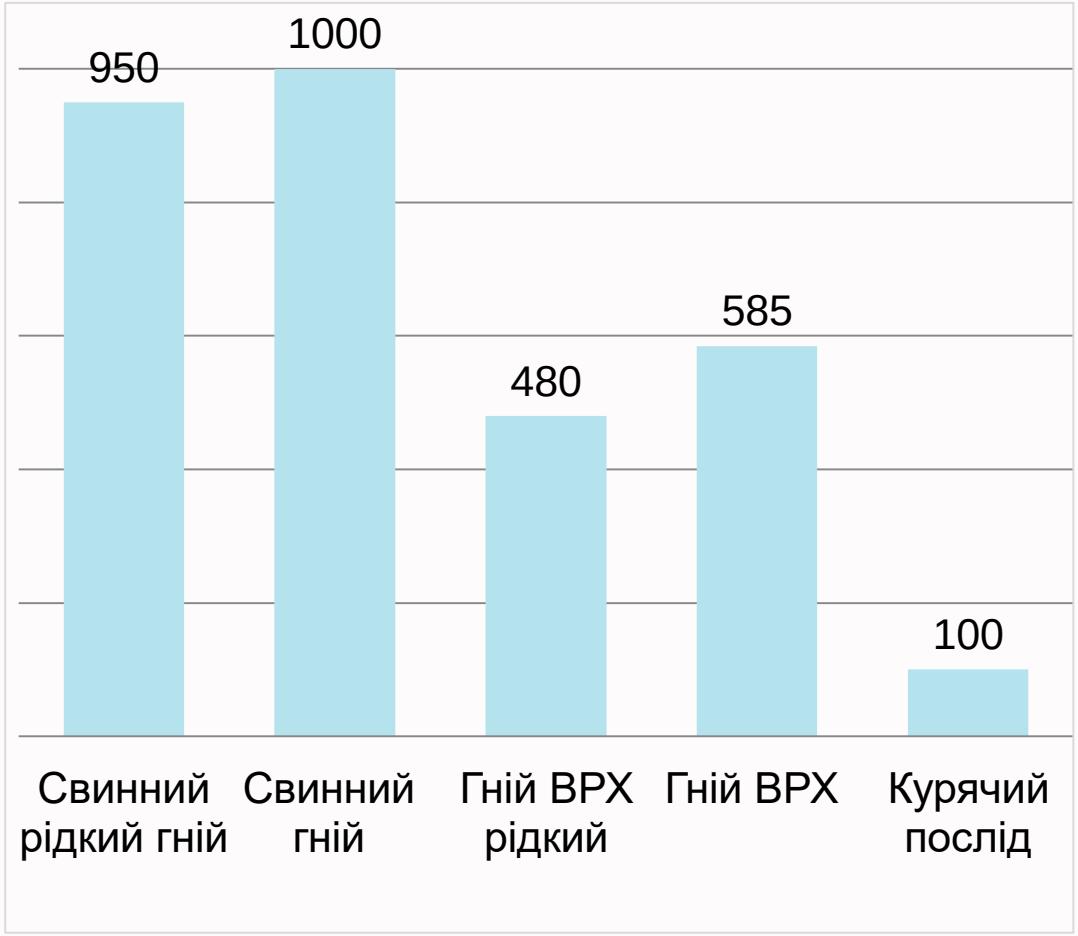
https://nci.org.ua/inventory_activity.html

Викиди парникових газів в системах виробництва електричної енергії [г $CO_{2\ екв.}$/кВт·год $_{ел}$]



Джерело: FNR

Запобігання викидам парникових газів [т $CO_{2\ екв.}$/т СР]



- Метан (1 кг): еквівалентно 25 кг $CO_{2екв.}$
- Закис азоту (1 кг) : еквівалентно 298 кг $CO_{2екв.}$
- Приблизно 40% гною в Німеччині було перероблено на біогазових станціях в 2021 році
  → наявний потенціал для збільшення цієї частки

Запобігання викидам $CO_{2екв}$ на кожну тону сухої речовини, якщо гній надходить на біогазову станцію не пізніше місяця після його утворення.

Оцінка викидів GHG при виробництві біогазу

Загальний порядок оцінки викидів GHG

1. Окреслення меж впливу від планованої проєктної діяльності
2. Окреслення меж проєктної діяльності, що впливатиме на оцінку викидів GHG
3. Визначення джерел викидів GHG за відсутності проєкту в визначених межах впливу
4. Визначення джерел викидів GHG в ході проєктної діяльності
5. Вибір відповідної методики оцінки викидів по кожному з джерел викидів
6. Оцінка вхідних потоків забруднюючих речовин, що призводять до викидів GHG
7. Складання масових балансів забруднюючих речовин
8. Вибір відповідних факторів конверсії та інших коефіцієнтів для моделей оцінки викидів
9. Оцінка викидів GHG по кожному джерелу та їх сумація
10. Віднесення суми викидів GHG до енергії виробленого біогазу (розрахунок карбонового сліду)

Основні джерела викидів парникових газів

БАЗОВИЙ СЦЕНАРІЙ

(до впровадження проєктної діяльності)

- Викиди від спалювання викопних видів енергоресурсів (національний рівень, власне споживання підприємством)
- Викиди від розкладання органіки в існуючій системі поводження з відходами
- Викиди при транспортуванні відходів до місця їх споживання чи утилізації.
- Викиди при виробництві мінеральних добрив, що використовуються на полях підприємства (при подальшому внесенні дигестату в грунти)
- Викиди від внесення мінеральних добрив (того обсягу, який буде заміщено внесенням дигестату)
- Викиди від споживання CO_2 з викопних джерел (при використанні біоCO_2 з біогазу)
- Викиди при транспортуванні природного газу (біометанові проєкти)

Основні джерела викидів парникових газів

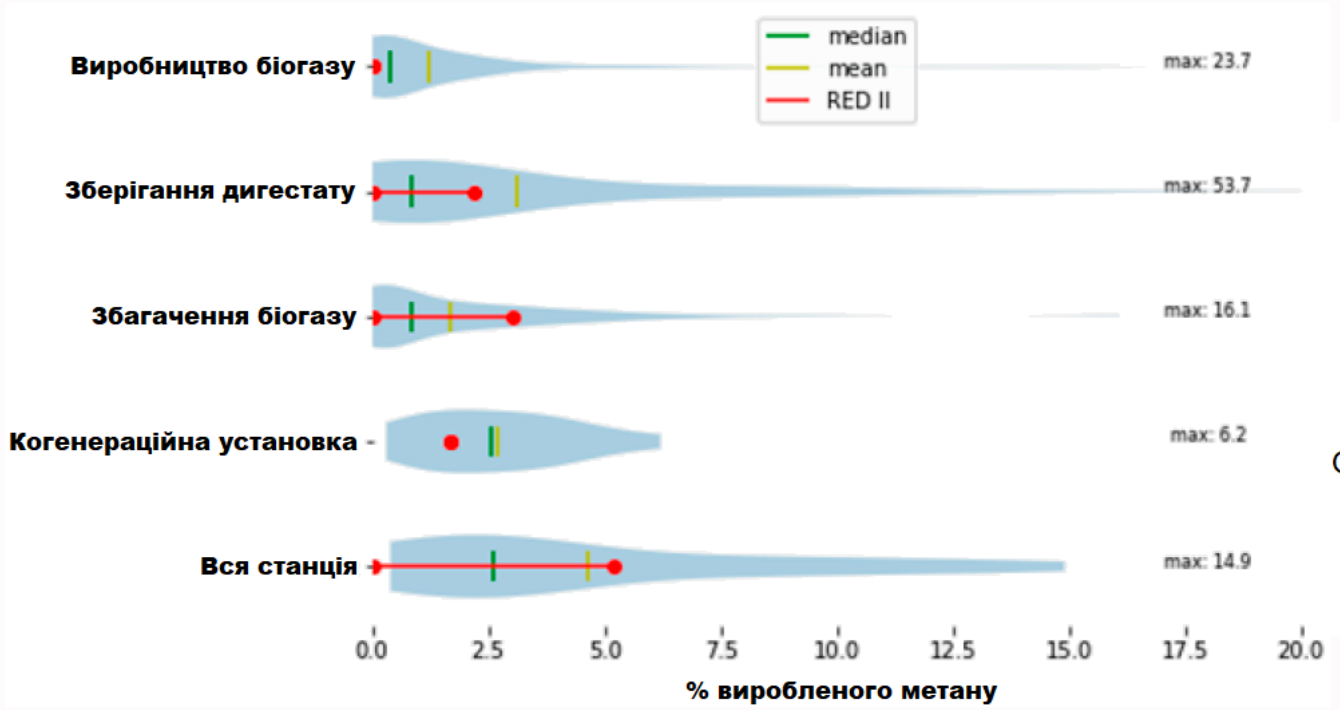
ПРОЄКТНИЙ СЦЕНАРІЙ

(в результаті впровадження проєкту)

- Викиди від спалювання викопних видів енергоресурсів (на власні потреби біогазової станції)
- Викиди від споживання електричної мережі (на власні потреби біогазової станції)
- Викиди від біогазової / біометанової установки
- Викиди від розкладання органіки при зберіганні дигестату
- Викиди від внесення дигестату в грунти
- Викиди при заготівлі, транспортуванні та зберіганні сировини
- Викиди при транспортуванні дигестату до місць зберігання та внесення в поля
- Викиди при транспортуванні біогазу / біометану та похідних продуктів технології

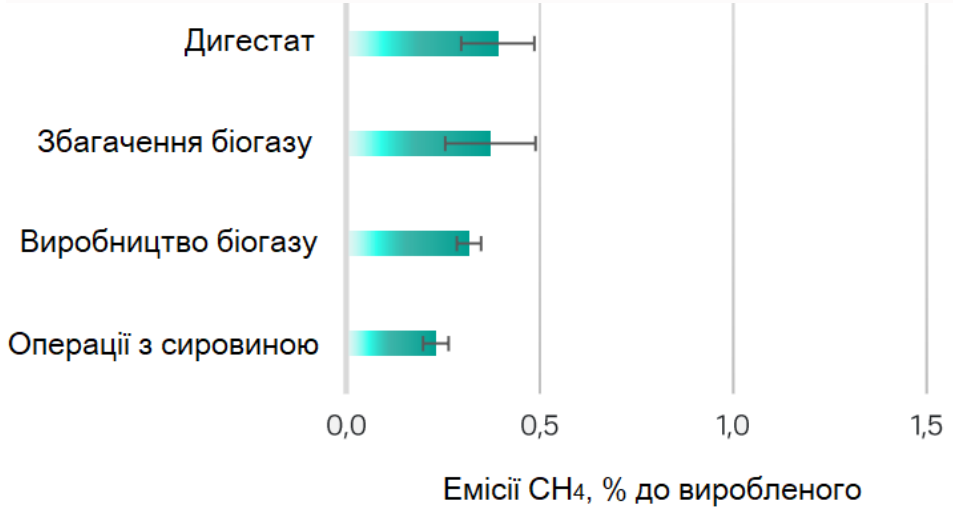
Витоки CH_4 в атмосферу при виробництві біогазу / біометану

Дослідження викидів CH_4 в біогазових проєктах в ЄС



Hurtig O., Buffi M., Scarlat N. (EC–JRC Unit C.2 Ispra) 'Fugitive emissions from anaerobic digestion: GHGs methodology'– [presentation at the European Biogas Association Conference 2022 – parallel event: Fugitive methane emissions from biogas plants: effect on GHG emissions] Oct. 2022 Brussels.

Досвід Данії в скороченні викидів CH_4 на біогазових станціях



Скорочуючи викиди CH_4 при виробництві біогазу Ви:

1. **Економите кошти**
2. **Підвищуєте безпеку на виробництві**
3. **Зменшуєте негативне сприйняття біогазової станції в суспільстві**
4. **Робите внесок в запобігання кліматичній кризі**

Викиди CH_4 залежно від способу зберігання дигестату

Hurtig O., Buffi M., Scarlat N. (EC–JRC Unit C.2 Ispra) 'Fugitive emissions from anaerobic digestion: GHGs methodology'– [presentation at the European Biogas Association Conference 2022 – parallel event: Fugitive methane emissions from biogas plants: effect on GHG emissions] Oct. 2022 Brussels.

Основні методи запобігання викидам GHG при виробництві біогазу / біометану

Лінії подачі сировини	➢ Газонепроникне покриття приймальних резервуарів (особливо при подачі гною, рециклі дигестату) ➢ Контроль pH та температури
Лінія виробництва біогазу	➢ Регулярний контроль та заміна ущільнюючих елементів на обертових механізмах та фланцевих стиках трубопроводів та арматури ➢ Контроль щільності прилягання газгольдера до стінок реактора ➢ Мінімізація випусків біогазу через запобіжні клапани шляхом контролю тиску біогазу, наповнення газгольдера (до 50% і менше) безперешкодного та першочергового спалювання біогазу на факелі ➢ Врахування впливу температури та тиску зовнішнього повітря, тиску вітру
Збагачення біогазу до біометану	➢ Вибір технологій з мінімальними втратами метану ➢ Очищення баластного газу з використанням, наприклад технології регенеративного термічного окислення ➢ Збагачення CO_2 з подальшим зрідженням дозволяє звести витоки CH_4 практично до нуля

Основні методи запобігання викидам GHG при зберіганні та використанні дигестату

Зберігання дигестату	➢ Забезпечення найбільш повного контрольованого розпаду органічної речовини субстратів в біореакторі шляхом підбору та контролю відповідної тривалості утримання ➢ Улаштування критих доброджувачів та лагун для зберігання рідкої фракції дигестату ➢ Охолодження дигестату до температури принаймні 17^{o}C та нижче
Внесення дигестату в поля	➢ Вибір відповідного часу для внесення дигестату, коли рослини можуть максимально швидко і повно засвоїти азот ➢ Вибір відповідної технології внесення дигестату, з уникненням поверхневого внесення та розпилювання у повітрі

Вимоги Директиви ЄС REDII до скорочення викидів GHG

Plant operation start date	Transport biofuels	Transport renewable fuels of non-biological origin	Electricity, heating and cooling
Before October 2015	50%	–	–
After October 2015	60%	–	–
After January 2021	65%	70%	70%
After January 2026	65%	70%	80%

Компаратор –
94 г$CO_{2екв}$/МДж

Компаратор –

тепло → 80 г$CO_{2екв}$/МДж

електроенергія → 183 г$CO_{2екв}$/МДж

Референтні скорочення викидів GHG при виробництві біометану згідно Директиви ЄС REDII

BIOMETHANE FOR TRANSPORT (*)

Biomethane production system	Technological options	Greenhouse gas emissions savings – typical value	Greenhouse gas emissions savings – default value
Wet manure	Open digestate, no off-gas combustion	117%	72%
	Open digestate, off-gas combustion	133%	94%
	Close digestate, no off-gas combustion	190%	179%
	Close digestate, off-gas combustion	206%	202%
Maize whole plant	Open digestate, no off-gas combustion	35%	17%
	Open digestate, off-gas combustion	51%	39%
	Close digestate, no off-gas combustion	52%	41%
	Close digestate, off-gas combustion	68%	63%
Biowaste	Open digestate, no off-gas combustion	43%	20%
	Open digestate, off-gas combustion	59%	42%
	Close digestate, no off-gas combustion	70%	58%
	Close digestate, off-gas combustion	86%	80%

(*) The greenhouse gas emissions savings for biomethane only refer to compressed biomethane relative to the fossil fuel comparator for transport of 94 g CO2eq/MJ.

Методики оцінки викидів GHG

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html

- Methodological tool 03 “Tool to calculate project or leakage CO_2 emissions from fossil fuel combustion”, Version 03.0;
- Methodological tool 04 “Emissions from solid waste disposal sites”, Version 08.0;
- Methodological tool 12 “Project and leakage emissions from transportation of freight”, Version 01.1.0;
- Methodological tool 14 “Project and leakage emissions from anaerobic digesters”, Version 02.0;
- Methodological “Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane”.

- ……

Приклад оцінки скорочень викидів GHG: **Виробництво біометану з жому**

Показник	Значення
ПРОЕКТНА кількість сировини (жом, хвостики, гичка), що використовується для виробництва біогазу на біогазовій установці (СР=25%), т/рік	50 000
БАЗОВА кількість сировини (жом, хвостики, гичка), що відповідає проектній к-ті сировини в базовому сценарії (СР=14%), т/рік	89 300
Кількість дигестату після біогазової установки, т/рік, в тому числі:	93 000
- тверда фаза;	16 900
- рідка фаза	76 100
Споживання електричної енергії на біогазову станцію, МВт·год/рік	3 784
Необхідна кількість теплоти для опалення біогазової установки, Гкал/рік	3 319
Кількість метану, виробленого в біогазовій установці, т/рік	2 249
Споживання біометану на когенераційній установці, т/рік	0
Споживання біометану на опалення біогазової установки (котельня), т/рік	0
Кількість метану в біогазі, що іде на очищення до якості біометану, т/рік	2 249
Чиста кількість метану, очищеного та використаного для зовнішнього споживання (т/рік), у тому числі:	2 226
- для постачання до розподільної системи природного газу	2 226
- для постачання як LNG віддалених споживачів	0
Споживання електроенергії з мережі за БАЗОВИМ сценарієм, МВт·год/рік	1 375
Споживання електроенергії за ПРОЕКТНИМ сценарієм, МВт·год	5 422
Виробництво електроенергії за ПРОЕКТНИМ сценарієм, МВт·год/рік	0
Заміщення електроенергії з викопного палива за ПРОЕКТНИМ сценарієм , МВт·год/рік	0
Споживання електроенергії з мережі за ПРОЕКТНИМ сценарієм, МВт·год/рік	5 422
Відпуск електроенергії в мережу за ПРОЕКТНИМ сценарієм, МВт·год/рік	0
Вміст азоту в дигестаті, т/рік	300
Кількість азотних добрив, заміщених дигестатом, т/рік	180
Середньогодинна масова витрата метану в залишковому газі (середньорічна), кг/год.	2,6
Кількість дигестату, що зберігається анаеробно ($м^3$/рік)	0
Кількість компостованих відходів, $м^3$/рік	0

Приклад оцінки скорочень викидів GHG: **Виробництво біометану з жому**

БАЗОВІ ВИКИДИ ПГ	**т CO_2-екв.**
Викиди CO2 від спалювання природного газу, що в Проектноому сценарії буде подано в систему розподілу природного газу та використано для заправки транспортних засобів LNG	6 541
Викиди CO2 внаслідок споживання електроенергії з мережі	1 687
Викиди CO_2 при виробництві електроенергії на основі викопного палива, заміщеної в проектному сценарііі завдяки постачанню електроенергії, виробленої з біогазу	0
Середньорічні базові викиди від уникнення виробництва метану (20 років)	0
Викиди за базовим сценарієм для транспортування жому цукрових буряків на звалище	0
Викиди від виробництва азотних добрив, замінених дигестатом у Проектному сценарії	912
Всього викиди ПГ Базового сценарію (БВ)	**9 141**
ПРОЕКТНІ ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ	т CO_2-екв.
Викиди від транспортування жому цукрових буряків та рослинних залишків до біогазової установки	19
Викиди від транспортування дигестату на поля	424
Викиди, пов'язані з анаеробним реактором	4 895
Витоки, пов'язані зі зберіганням дигестату	0
Витоки/проектні викиди, пов'язані з компостуванням	0
Витоки, пов'язані з компостуванням дигестату в анаеробних умовах	0
Викиди від втрат під час очищення біогазу до біометану та передачі/транспортування до системи розподілу природного газу	630
Викиди від споживання електроенергії для зрідження CO2	1 281
Викиди від споживання електроенергії для виробництва LNG	0
Викиди від транспортування LNG до споживачів (терміналу)	0
Викиди від транспортування CO2 до споживачів	172
Всього викиди ПГ Проектного сценарію (ПВ)	**7 422**
СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПГ (БВ-ПВ)	**1 719**

Приклад оцінки скорочень викидів GHG:

Виробництво біогазу з барди для заміщення природного газу

Показник	Значення
ПРОЕКТНА кількість барди, що використовується для вир-ва біогазу на біогазовій установці, т/рік (ПРОЕКТНА=БАЗОВА)	219 000
Кількість дигестату після біогазової установки, т/рік	204 400
Якщо розділяти дигестат на фракції:	
- тверда фракція;	24 455
- рідка фракція	179 945
Споживання електричної енергії на біогазову станцію, включаючи подачу біогазу на спиртовий завод, МВт*год/рік	2 540
Необхідна кількість теплоти для опалення біогазової установки, Гкал/рік	3 166
Кількість метану, виробленого в біогазовій установці, т/рік	5 287
Вміст азоту, кг/т дигестату	5.00
Вміст азоту в дигестаті, т/рік	300
Кількість азотних добрив, заміщених дигестатом, т/рік	180
Площа с/г угідь, потрібних для внесення зазначеної кількості дигестату як азотного добрива, га	6 194
Кількість дигестату, що зберігається анаеробно ($м^3$/рік)	204 400
Кількість компостованих відходів, $м^3$/рік	0

Приклад оцінки скорочень викидів GHG:

Виробництво біогазу з барди для заміщення природного газу

БАЗОВІ ВИКИДИ ПГ	т $CO_{2-екв.}$
Викиди CO_2 від спалювання природного газу, що в Проектному сценарії буде замінений біогазом	15 536
Викиди від виробництва азотних добрив, замінених дигестатом у Проектному сценарії	3 606
Всього викиди ПГ Базового сценарію (БВ)	**19 142**
ПРОЕКТНІ ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ	
Викиди від транспортування дигестату на поля та його внесення як добрива	343
Викиди, пов'язані з анаеробним реактором, включаючи викиди від споживання електричної енергії, в тому числі на подачу біогазу на спиртовий завод	6 681
Витоки, пов'язані зі зберіганням дигестату	6 609
Всього викиди ПГ Проектного сценарію (ПВ)	**13 632**
СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ ПГ (БВ-ПВ)	**5 510**

Приклад оцінки скорочень викидів GHG: **Виробництво біогазу з гноївки свиней**

EMISSION REDUCTIONS CALCULATION

Based on AMS-III.D V17 & AMS-I.D V16

BASELINE EMISSIONS	Variable	Value	Unit	Equation/Source
Baseline Emissions of Methane	BE_{CH4}	26,55	tCO_2e/day	
Globl Warming Potential (GWP) of CH_4	GWP_{CH4}	21	-	*IPCC 2006*
CH4 density at room temperature (20°C) and 1 atm pressure	D_{CH4}	0,00067	*t/m3*	*AMS.III.D V17*
Model correction factor to account for model uncertainties	UF_b	0,94	-	*AMS.III.D V17*
Annual methane conversion factor (MCF) for the baseline animal waste management system j	MCF_j	66%	%	*IPCC 2006 10A-4 Lagoon 10ºC*
Maximum methane producing potential of the volatile solid generated for animal type "LT"	$B_{0,LT}$	0,24	*m3 CH_4/kg VS*	*IPCC 2006, tabla 10A-4 Eastern Europe*
Annual average number of animals of type "LT" in year y	$N_{l,T,y}$	2816	*numbers*	*Farm data*
Volatile solids for livestock "LT" entering the animal manure management system in year y	$VS_{LT,y}$	4,50	*kg dm/animal/day*	*IPCC 2006 10A-4 Eastern Europe*
Fraction of manure handled in baseline animal manure management system j	$MS\%_{Bl,j}$	100%	%	*IPCC 2006 10A-4 Eastern Europe*
Baseline Emissions of Methane per year	BE_{CH4}	9690	$tCO_2e/year$	
Baseline emissions for electricity and heat				
Power generation in year y	EG_y	8000	*MWh*	*Farm data*
Emission factor of Ukraine Grid	EF_{grid}	1,055	tCO_2e/MWh	*Lahmeyer Baseline Study for Ukraine, 2010*
Baseline Emissions from Power Generation	BE_{EL}	8440	$tCO_2e/year$	$EG_y * EF_{grid,y}$
Heat generation in year y	EG_y	10000	*MWh*	*Farm data*
Carbon emissions factor of displaced conventionally generated heat	EF_{heat}	0,202	tCO_2e/MWh	*Based on Natural Gas CO2 Emission Factor*
Baseline Emissions from Heat Generation	BE_{EL}	2020	$tCO_2e/year$	$EG_y * EF_{heat,y}$
Baseline project emissions per year	BE_y	20149,8	$tCO_2e/year$	

PROJECT EMISSIONS	Variable	Value	Unit	Equation/Source
Project emissions due to leakage				
Globl Warming Potential (GWP) of CH_4	GWP_{CH4}	21	-	*IPCC 2006*
CH4 density at room temperature (20°C) and 1 atm pressure	D_{CH4}	0,00067	*t/m3*	*AMS.III.D V17*
Default value of 0.05 m³ biogas leaked/m³ biogas produced	$\%L_{i,y}$	5,00%	%	*AMS.III.D V17*
Amount of biogas prodiced per year	D_{biogas}	3 389 671	*number*	*Farm data*
Emissions due to physical leakage of biogas in year y	$PE_{Pl,y}$	2384,6	$tCO_2e/year$	
Emissions from flaring or combustion of the biogas stream in year y	$PE_{flare,y}$	0,00	tCO_2e	$\sum TM_{RG,h} * (1-\eta_{flare,y}) * GWP_{CH4}/1000$
Project emissions due to electricity consumption				
Installation electricity consumption 3% of total electricity produced	EC_y	240	*MWh*	Farm data
Emission factor of Ukraine Grid	EF_{grid}	1,055	*tCO2e/MWh*	Lahmeyer Baseline Study for Ukraine, 2010
Emissions from the use of fossil fuel or electricity for the operation of the installed facilities in the year y	$PE_{power,y}$	253,2	$tCO_2e/year$	
Project emissions due to manure storage				
Globl Warming Potential (GWP) of CH_4	GWP_{CH4}	21	-	*IPCC 2006*
CH4 density at room temperature (20°C) and 1 atm pressure	D_{CH4}	0,00067	*t/m3*	*AMS.III.D V17*
Annual average interval between manure collection and delivery for treatment at a given storage device I (days)	AI_l	2,5	*days*	Literature
Annual average number of animals of type "LT" in year y	$N_{l,T,y}$	2816	*numbers*	*Farm data*
Amount of volatile solid production by type of animal LT in a day (kg VS/head/d)	$VS_{LT,d}$	4,5	*kg VS/head/d*	$VS_{default} * (W_{site}/W_{default})$
Fraction of volatile solids (%) handled by storage device *l*	$MS\%_l$	100%		AMS-III.D V 17
Degradation rate constant	k	0,069		AMS-III.D V 17
Days for which cumulative methane emissions are calculated	d	1		AMS-III.D V 17
Annual methane conversion factor for the project manure storage device I from Table 10.17, Chapter 10, Volume 4	MCF_l	66%		IPCC 2006 10A-4 Lagoon 10ºC
Maximum methane producing potential of the volatile solid generated for animal type "LT"	$B_{0,LT}$	24%	*m3 CH4/kg VS*	IPCC 2006, tabla 10A-4 Eastern Europe
when d=1	$1-e^{-k(All-d)}$	0,098323977		
Emissions from the storage of manure	$PE_{storage,y}$	27,97	$tCO_2e/year$	
Project emissions per year	PE_y	2665,8	$tCO_2e/year$	

Baseline Emissions of Methane	BE_{CH4}	9690	$tCO_2e/year$
Baseline Emissions from Power Generation	BE_{El}	8440	$tCO_2e/year$
Baseline Emissions from Heat Generation		2020	$tCO_2e/year$
Project Emissions	PE_y	2666	$tCO_2e/year$
Emission Reductions	ER_y	17484,0	$tCO_2e/year$

Основні ризики та безпека при виробництві біогазу

Що може трапитись на біогазовій станції ?

- Падіння, спотикання
- Механічні пошкодження тіла: відрізання/порізи ніг, пальців; здавлювання, ...
- Асфіксія / удушення (брак кисню)
- Отруєння (наприклад, аміаком, сірководнем)
- Вогонь/пожежа
- Вибух
- Обпікання гарячими поверхнями
- Шум
- Біологічні ризики (бактерії, віруси, грибки, біологічні алергени...)
- Хімічні ризики (токсичні випаровування, отруйні хімікати)
- ….

Відповідні попереджувальні знаки (1)

Вибухонебезпечна атмосфера

Асфіксія

Висока напруга

Біологічна небезпека

Легкозаймисті матеріали

Токсичні речовини

Небезпека для довкілля

Небезпека падіння

Відповідні попереджувальні знаки– 2

Автоматичний запуск механізмів

Гарячі поверхні

Механічна небезпека

Небезпеки, пов’язані з біогазом

Біогаз

Вибухонебезпечний

Удушливий

Легкозаймистий

Хімічний склад біогазу

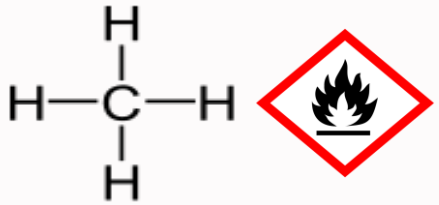
Компонент		Відсоток від об’єму	Густина при н.у.
Метан	CH_4	50–70 об.% (50–65 Vol.%) на практиці	0,72 кг/м³
Діоксид вуглецю	CO_2	30–50 об.%	1,96 кг/м³
Сірководень	H_2S	10–10000 ppm	1,53 кг/м³
Вода	H_2O	Ступінь насичення	-

Сліди сполук:

Аміак (NH_3), Водень (H_2), Оксиген (O_2), Нітроген (N_2), мікродомішки

Густина повітря н.у. – 1,29 кг/м³

CH_4 – Метан



Властивості:

→ Без запаху, без кольору, легкозаймистий

→ Легший за повітря

→ Удушливий → витісняє кисень

→ Вибухонебезпечний між 4,4 та 16,5 об.% у повітрі; (біогаз між 6–22 об.% в повітрі)

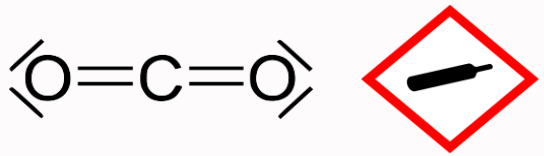
→ Температура самозаймання: 595°C

→ Мінімальна енергія запалювання : 0,30 мДж

Запобіжні заходи:

Сигналізація, технічні запобіжні засоби:

CO_2 – діоксид вуглецю



Властивості:

→ Газ із кислим запахом, без кольору та негорючий

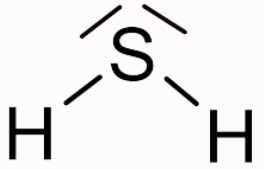
→ Асфіксійний: витісняє повітря і призводить до кисневої недостатності

→ Важчий за повітря: може накопичуватись на рівні землі, у валах, ровах і западинах! → асфіксія

Запобіжні заходи:

Сигналізація, технічні запобіжні засоби:

H_2S – Сірководень



Властивості:

- → Запах тухлих яєць
- → Важчий за повітря
- → Дуже легкозаймистий
- → Хімічна асфіксія: організм не може використовувати доступний кисень, пригнічує дихальний центр мозку, токсичний
- → Джерело: біологічний розпад протеїнів

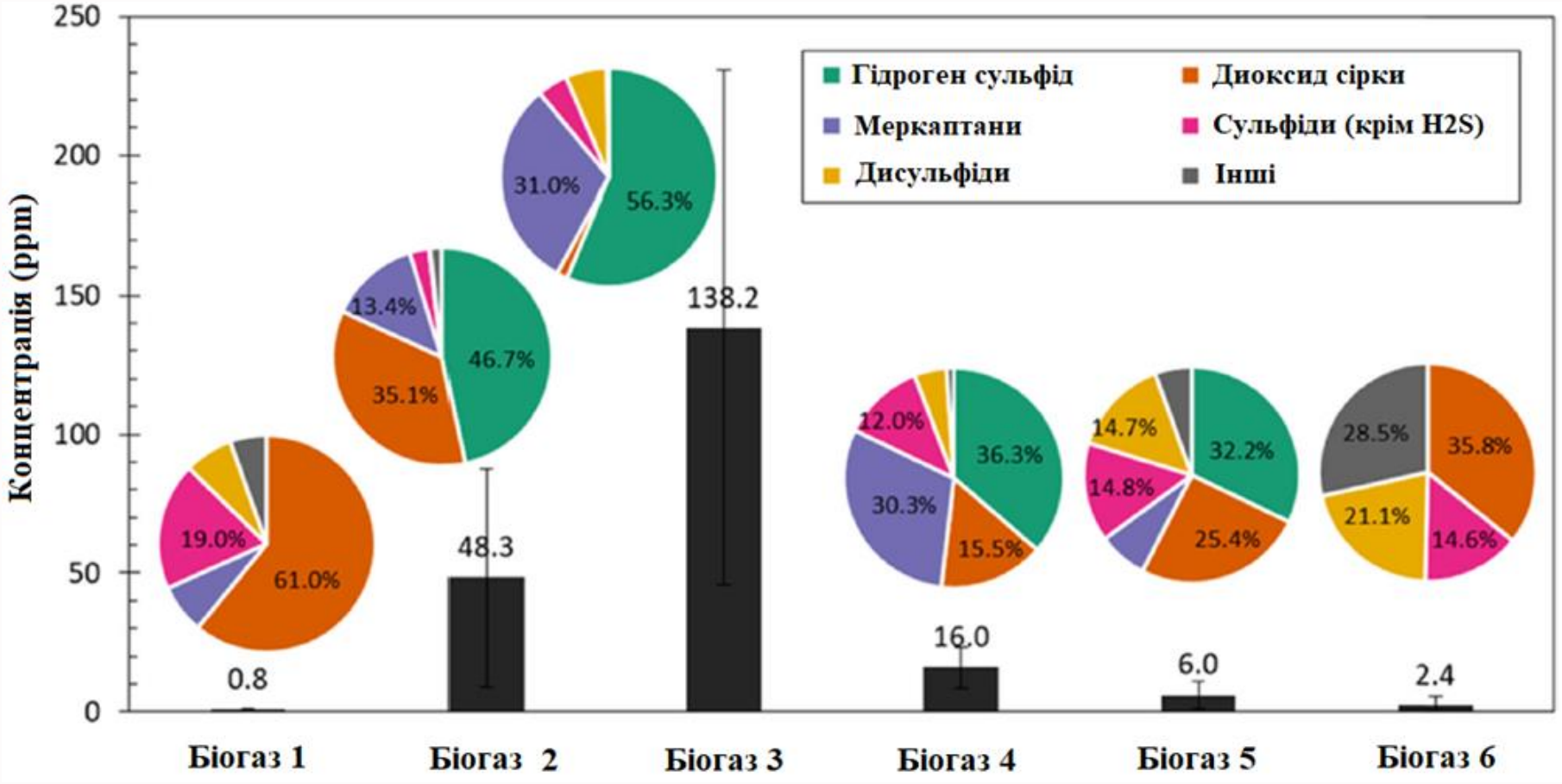
Запобіжні заходи:

Сигналізація, технічні запобіжні засоби, засоби індивідуального захисту:

Небезпеки для людини, пов´язані з біогазом

	Властивості	Густина	Реакційна здатність	Небезпека для здоров'я	Максимальна концентрація в робочій зоні
CH_4	Без запаху	Легший за повітря	Дуже легкозаймистий (вибухонебезпечний між 4,5–16,5% об.в повітрі)	Як витісняючий газ або через вибух або випаровування	
CO_2	Кислий запах	Важчий за повітря	Може накопичуватись у впадинах, ямах, траншеях	При 6-10% викликає прискорене дихання і артеріальний тиск, збудження, серцебиття і головний біль. 10% об.: Параліч дихального центру – смерть	5000 ppm = 0,5 об. %
H_2S	100–250 ppm запах тухлих яєць >250 ppm без запаху	Важчий за повітря	Дуже легкозаймистий (вибухонебезпечний між 4.3–4.5 об. % в повітрі)	Наслідки впливу: <100ppm: загроза життю- протягом кількох годин. >100 ppm: загроза життю <1 год. ~500 ppm: загроза життю - 30 хв. ~1000 ppm: загроза життю всього кілька хвилин. ~5000 ppm: смертельно небезпечний за кілька секунд.	10 ppm
NH_3	Різкий запах	Легший за повітря	Дуже легкозаймистий (вибухонебезпечний при 15–30% об. в повітрі). При з'єднанні з парою створює туман, важчий за повітря.	Їдкий для вологої шкіри та слизових оболонок. Смертельно небезпечний при 0,5% (500 ppm) після 30–60 хв.	50 ppm

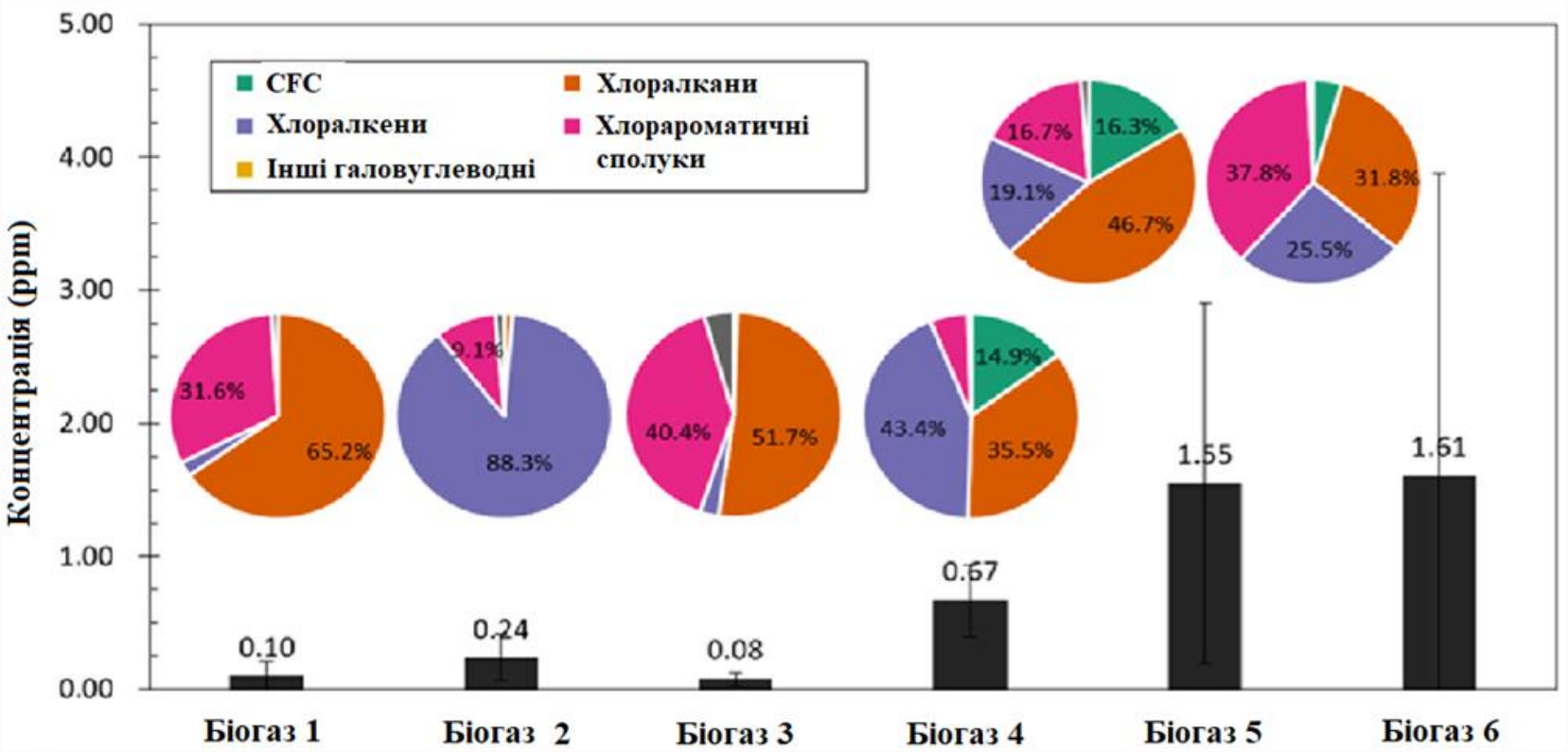
μ-домішки в біогазі - сірковмісні



(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

μ-домішки в біогазі - галокарбони

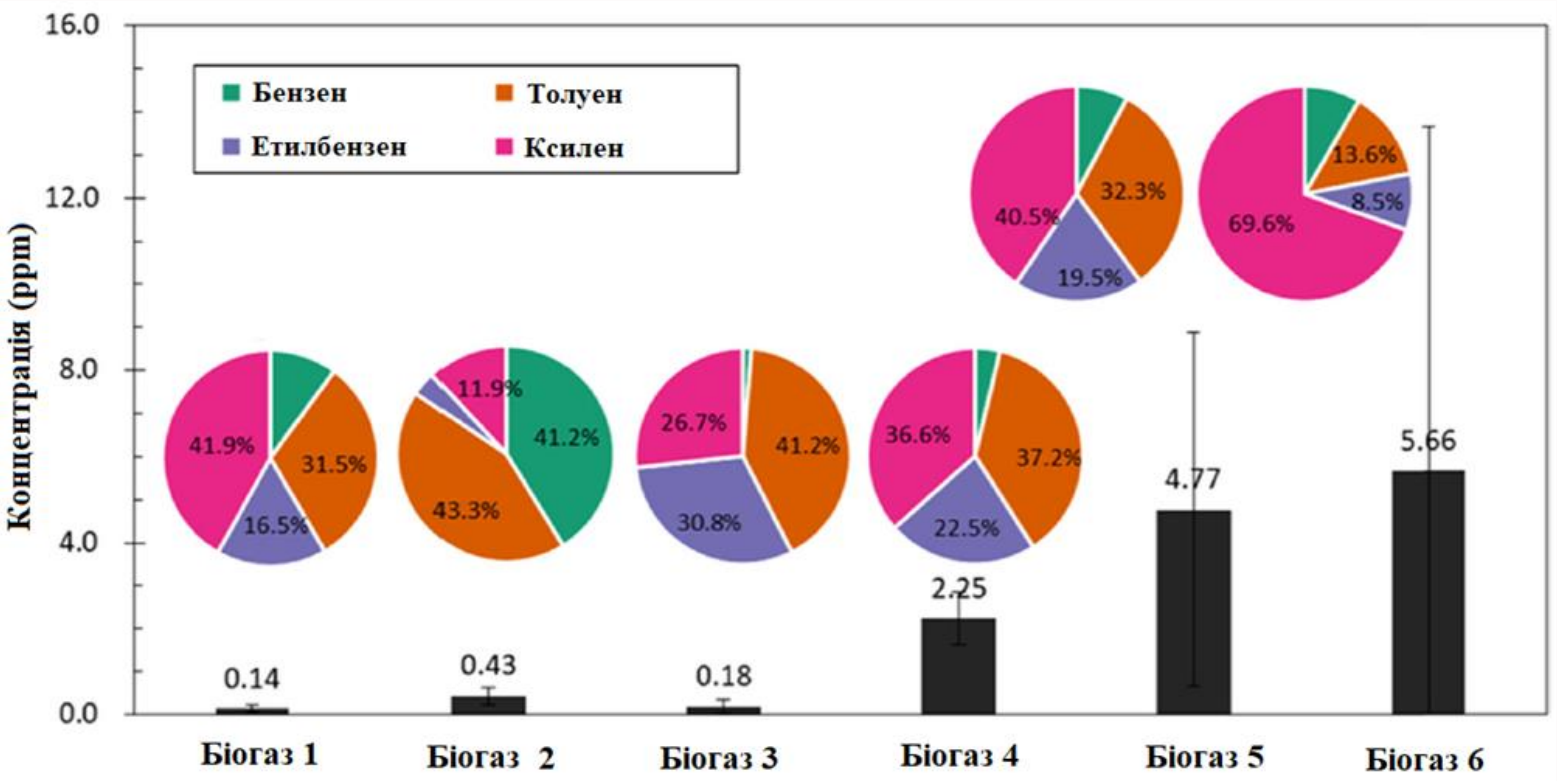


- Впливають на зношуваність двигунів
- В зазначених концентраціях не шкідливі для здоров´я людини

(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

μ-домішки в біогазі – ароматичні вуглеводні

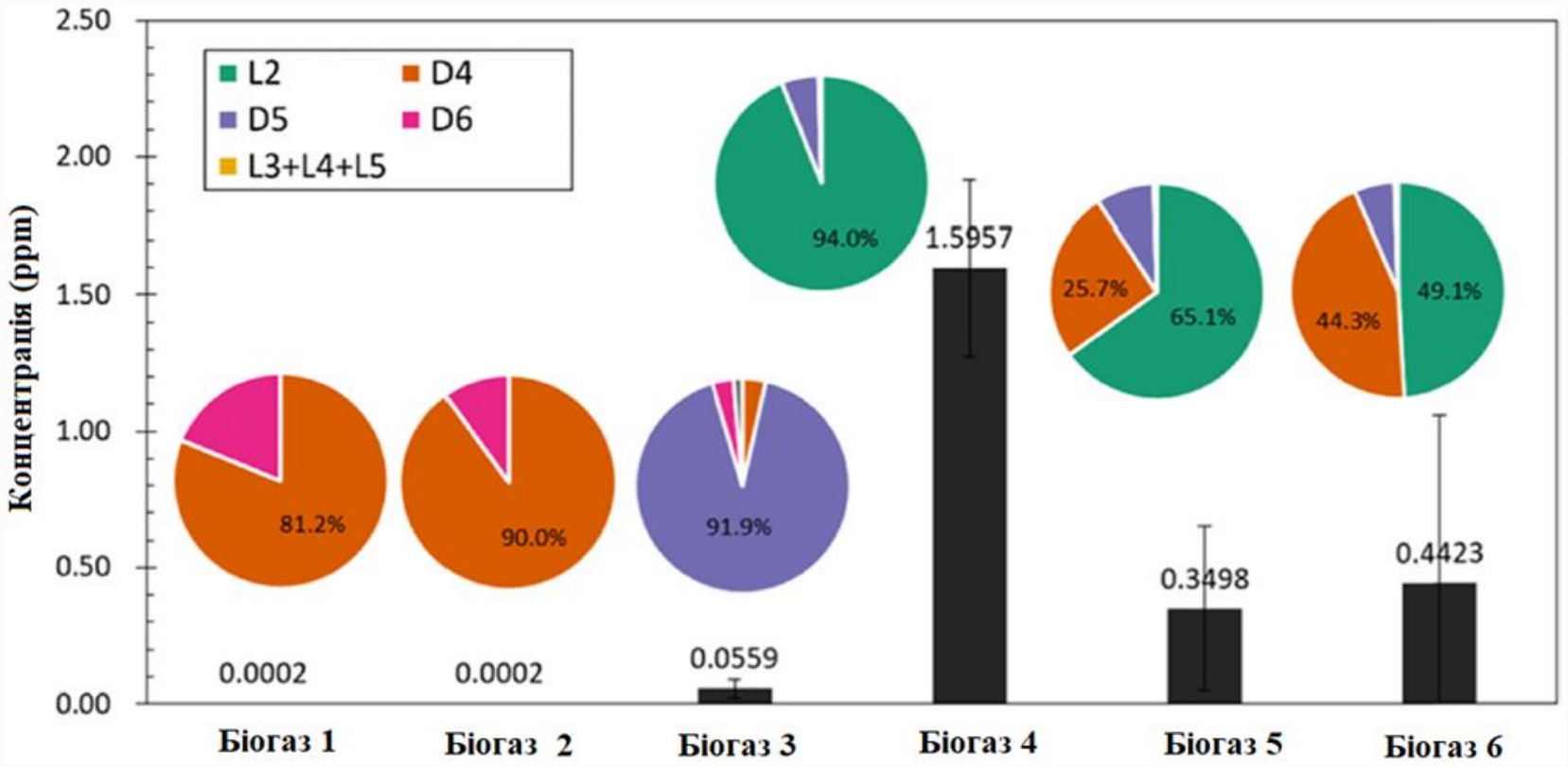


- Бензол є відомим канцерогеном для людини, тоді як толуол, етилбензол і ксилоли шкідливі для нервової системи людини та можуть викликати подразнення очей і горла під час впливу високого рівня
- В зазначених концентраціях не шкідливі для здоров´я людини

(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

μ-домішки в біогазі – силоксани



- Силоксани призводять до зношення двигуна
- Не несуть безпосередньої шкоди здоров´ю людини та довкіллю
- Наночастинки SiO_2 від спалювання біогазу втім можуть мати накопичувальний шкідливий вплив

L2 – гексаметилдисоксан
L3 – гексаметилциклотрисилоксан
L4 – декаметилтетрасилоксан
L5 – додекаметилциклопентасилоксан
D4 – октаметилциклотетрасилоксан
D5 – декаметилциклопентасилоксан
D6 – додекаметилциклогексасилоксан

(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

μ-домішки в біогазі – метали

Елемент		Арсен As	Стибій Sb	Свинець Pb	Купрум Cu	Алюміній Al
biogas 1	($\mu g \cdot m^{-3}$)	0.315 ± 0.432	0.259 ± 0.184	1.7 ± 2.4	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
biogas 2		0.012 ± 0.018	0.006 ± 0.009	7.4 ± 10.5	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
biogas 3		0.230 ± 0.380	0.310 ± 0.170	0.0 ± 0.0	0.005 ± 0.008	0.0 ± 0.0
biogas 4		1.600 ± 1.400	1.600 ± 1.800	0.1 ± 0.3	0.000 ± 0.000	2.2 ± 5.0
biogas 5		8.500 ± 3.400	12.500 ± 12.500	0.8 ± 0.8	0.000 ± 0.000	0.0 ± 0.0
biogas 6		4.200 ± 2.300	1.300 ± 2.000	0.7 ± 1.1	0.200 ± 0.340	5.6 ± 9.6

В таких концентраціях не несуть потенційної загрози для здоров´я людини

(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

μ-домішки в біогазі – біологічні домішки

parameter	biogas 1	biogas 2	biogas 3	biogas 4	biogas 5	biogas 6
Cultivation Analysis (MPN m^{-3})						
live aerobic bacteria	34 ± 7 (2/3)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/4)	87 ± 39 (2/7)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)
live anaerobic bacteria	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/4)	<SLOD (0/7)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)
live aerobic spore bacteria	<SLOD (0/3)	22 ± 10 (1/3)	32 ± 14 (2/4)	32 ± 13 (2/7)	<SLOD (0/3)	29 ± 19 (1/3)
live anaerobic spore bacteria	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/4)	<SLOD (0/7)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)
qPCR Analysis (gene copies m^{-3}) total bacteria	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/4)	<SLOD (0/7)	3600 ± 2300 (1/3)	4300 ± 4000 (1/3)
sulfate reducing bacteria (SRB)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/4)	<SLOD (0/7)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)
iron oxidizing bacteria (IOB)	450 ± 440 (1/3)	29 ± 23 (1/3)	190 ± 190 (1/4)	170 ± 100 (2/7)	430 ± 550 (1/3)	23 ± 24 (1/3)
acid producing bacteria (APB)	180 ± 180 (1/3)	<SLOD (0/3)	160 ± 100 (2/4)	800 ± 560 (2/7)	<SLOD (0/3)	<SLOD (0/3)

SLOD – межа виявлення в зразку

(1) біогаз з гною ВРХ гідро-змитого (молочна ферма)
(2) біогаз з гною ВРХ скребкового (молочна ферма)
(3) біогаз з харчових відходів
(4) біогаз з суміш харчових відходів, підстилкового гною, оТПВ
(5) біогаз, зібраний з центральної частини регіонального полігону ТПВ
(6) біогаз, зібраний по периметру того ж регіонального полігону

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7608650/

Аерозолі – ендо- / мікотоксини

! Небезпека інтоксикації

Можуть розповсюджуватись з вітром або при близькому контакті

БІОГАЗ

Сухий послід

Сухий силос

Сажка пшенична (*Tilletia caries*)

https://www.semanticscholar.org/paper/A-New-Pathogenic-Race-of-Tilletia-caries-Possessing-Matanguihan-Jones/b46e9d60d189e1d0883dc63c9538c090995ddba9

Виділення H_2S та NH_3 в системі подачі сировини

- При змішуванні різних типів харчових відходів або харчових відходів з гноєм важливо уникати лужно-кислотної реакції. В результаті можуть виділитись шкідливі гази (NH_3, H_2S) в небезпечних концентраціях
- Приклад: додавання багатих на протеїн органічних відходів з pH 8…9 до субстрату з низьким pH може спричиняти виділення H_2S та/або CO_2.
- Приклад: додавання багатих на протеїн органічних відходів до субстрату з високим pH може спричиняти виділення NH_3
- Для уникнення – приймальні / змішувальні резервуари рекомендується спорожнювати кожен день, після чого вентилювати. При розміщенні змішувальних резервуарів в закритих приміщеннях – рекомендується встановлювати детектори / аналізатори аміаку та сірководню
- Додатково можна виконати прості попередні тести:

1. Виміряти pH зразка сировини
2. Додати до 5 мл зразка сировини 0,5 мл NaOH (50%). При цьому може виділитись аміак, який можна відчути на запах
3. Додати до 5 мл зразка сировини 0,5 мл оцтової кислоти (концентрованої). При цьому може утворитись піна та сірководень, які можна виявити візуально та на запах, відповідно
4. Змішати в склянці 5 мл зразка сировини з 5 мл зразка з приймальної ємності. Накрити склянку прозорим склом. Помістити pH стрічку (лакмусовий папір) під скло. Це дозволить визначити кислотність або лужність виділених газів. Якщо рівень pH близький до нейтрального – сировину можна безпечно змішувати. Можна також встановити чи утворюється піна

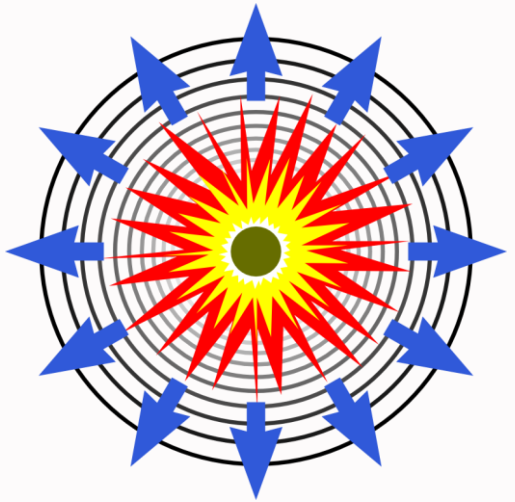
Техногенні небезпеки, пов´язані з біогазом

Біогазова станція Cassington (Великобританія)

https://www.bbc.co.uk/news/uk-england-oxfordshire-67009657

Газовий вибух

Газ + повітря + джерело займання →



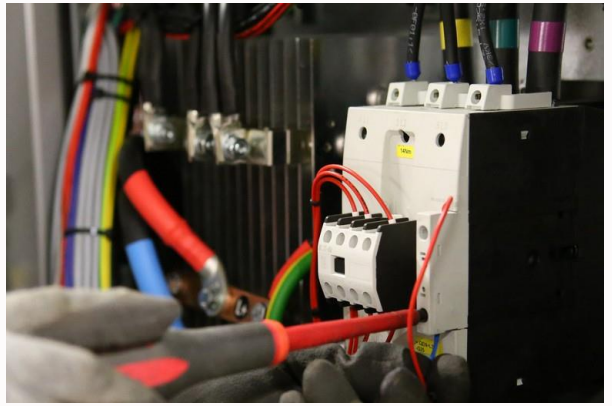
- Діапазон вибухонебезпечності метану: 4,4% ... 16,5%
- Діапазон вибухонебезпечності біогазу : 6% … 22%

Основні джерела займання

Гарячі поверхні

Механічні іскри

Електричні прилади



Електростатичний розряд

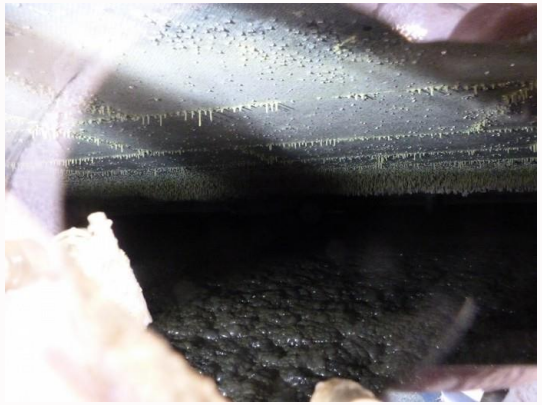
Відкрите полум’я

Блискавка

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

Інші джерела займання

- Екзотермічні реакції:
  - Заміна/утилізація вугілля в фільтрах
- Зварювання трубопроводу впритул до втулки стінки метантенка:
  - Якщо повітря використовується для внутрішньої біологічної десульфурації, елементарна сірка накопичується всередині метантенка, включаючи приєднані газопроводи.
  - Якщо сірка всередині газопроводу висихає, вона спалахне під час механічних робіт на газопроводі.



Вибухозахист

Список пріоритетів :

Відповідальні

1. ***Первинний вибухозахист***

   → Запобігання або зменшення небезпечних вибухонебезпечних середовищ

Виробник & Оператор

2. ***Вторинний вибухозахист***

   → Попередження ефективних джерел займання

3. ***Третинний вибухозахист***

   → Обмеження ефекту ймовірного вибуху до нешкідливого рівня

Виробник

Документація вибухозахисту

Вибухонебезпечні території поділяють на зони. Зонування базується на ймовірності того, як часто і як довго може виникати небезпечна вибухонебезпечна атмосфера.

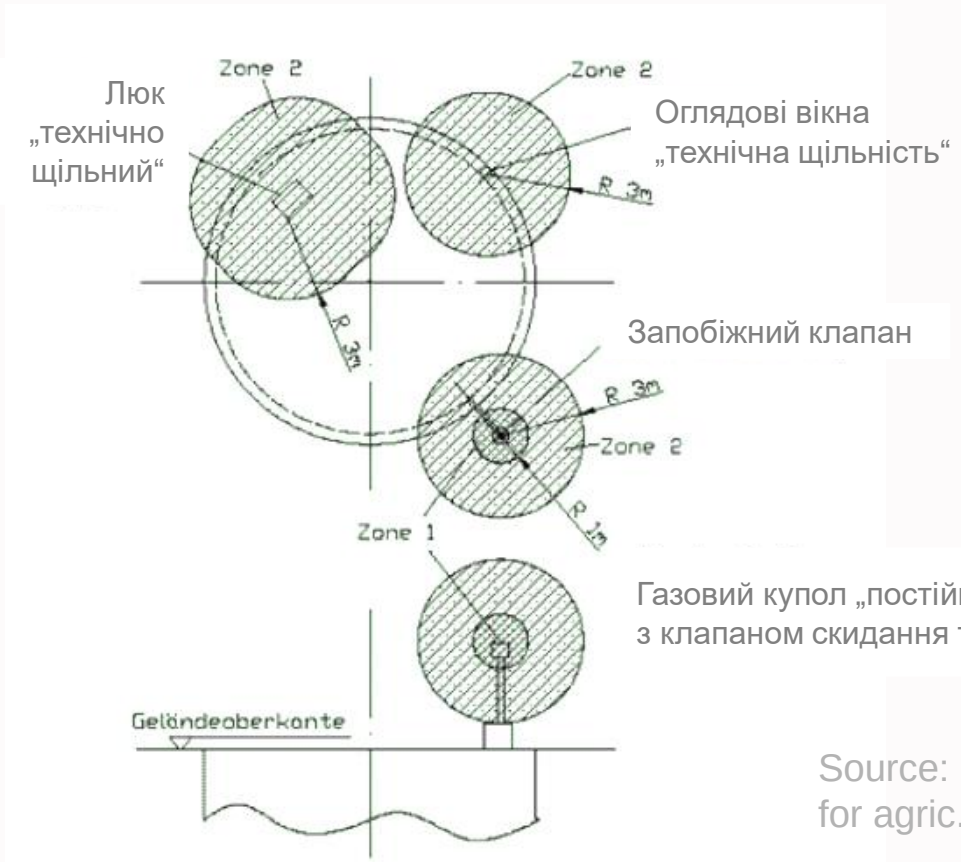
Зона 0 — зона, в якій небезпечна вибухонебезпечна атмосфера (…) присутня постійно або протягом тривалого часу або часто.

Зона 1 — зона, де під час нормальної роботи час від часу може виникати небезпечна вибухонебезпечна атмосфера (…)

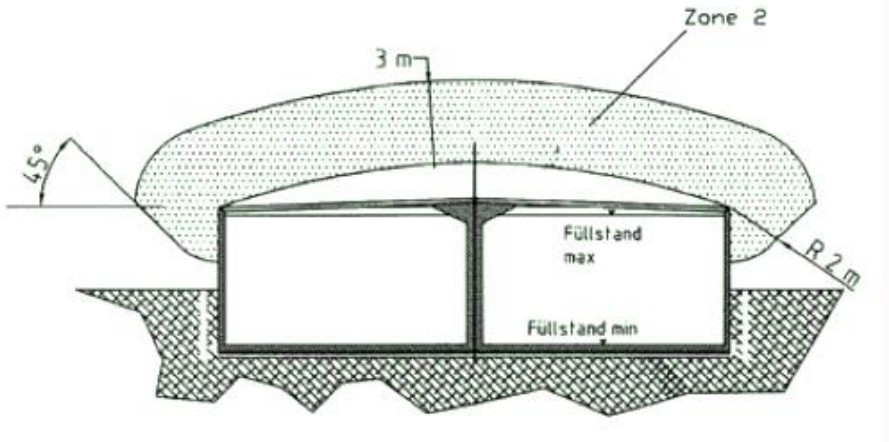
Зона 2 — зона, в якій небезпечна вибухова атмосфера малоймовірна (…) або зберігається лише короткий час під час нормальної роботи.

Документація вибухозахисту

Потенційно вибухонебезпечні зони показано на кресленні класифікації небезпечних зон



Газовий купол „постійно технічно щільний“ з клапаном скидання тиску (PRV)



Обладнання та системи безпеки встановлюють відповідно вимог ATEX 95 (Директива 2014/34/EU)

Source: Safety standards for agric. biogas plants, TI4

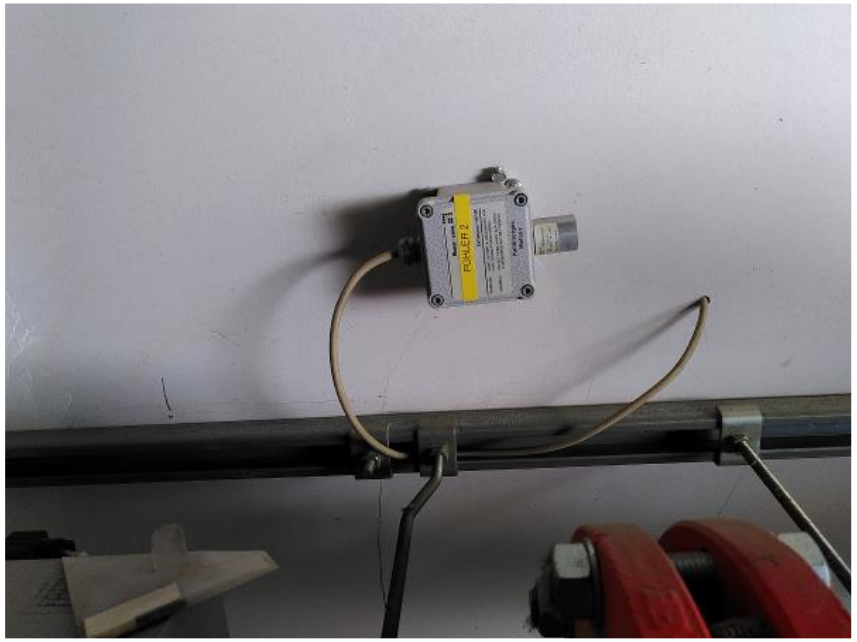
Вибухозахист– Планування & Проектування

Якщо виявлено небезпечну зону, усе встановлене в ній електричне обладнання має відповідати ATEX 95.

www.nq-anlagenbau.de

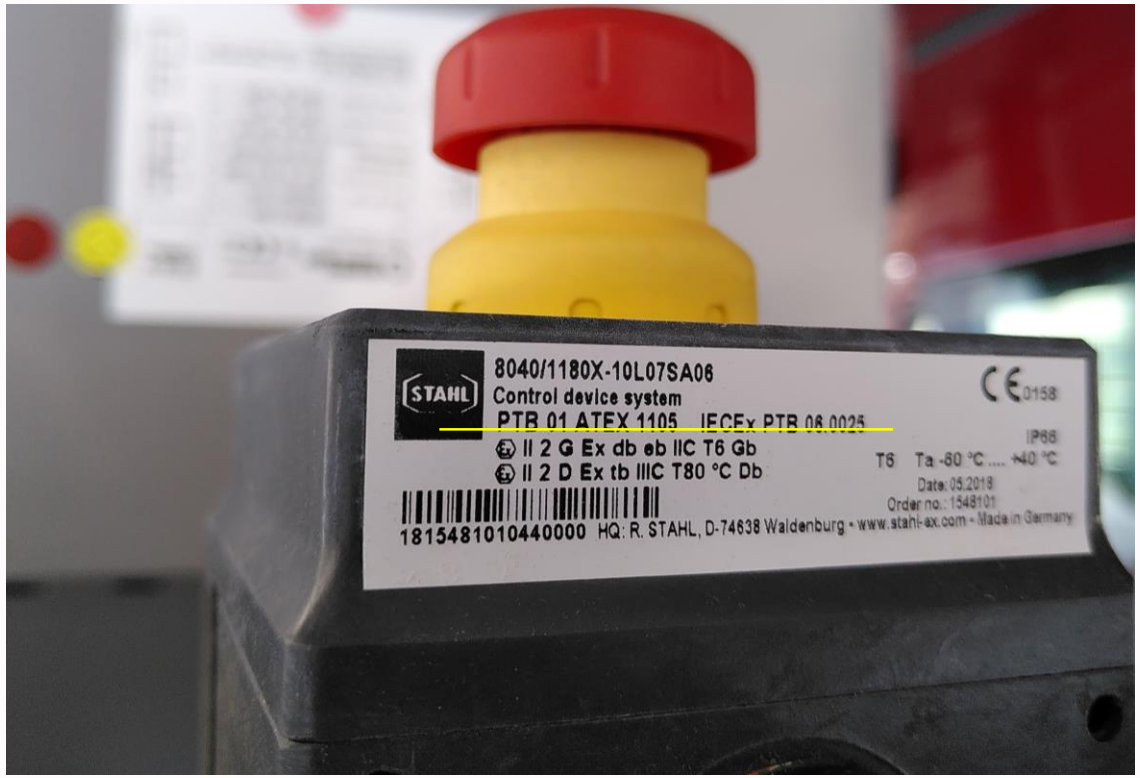
Моніторинг повітря

→ Обладнайте небезпечні зони моніторингом повітря та вентиляцією.



Маркування обладнання небезпечних зон

- Електрообладнання, що відповідає ATEX 95, повинно мати спеціальне маркування.
- Наприклад має бути вказано:
  - Сфера, в якій може використовуватися обладнання
  - Зона ATEX, у якій його можна використовувати.
  - Чи підходить він для газів чи пилу.
  - Питома займистість.
  - Діапазон застосовних температур.



Виняткові умови експлуатації

- Виняткові умови експлуатації відрізняються від нормальних умов експлуатації. У виняткових умовах експлуатації зонування біогазової установки може змінитися. Це необхідно враховувати при спеціальній оцінці вибухозахисту!
- Приклади виняткових умов експлуатації:

  - Біологічний запуск біогазової установки - при заповненні біореактора інокулятом, вже може виділятись біогаз, тому всі механічні роботи повинні бути завершені раніше!

  - При спорожненні метантенка або накопичувального резервуару може залишитись суспензія, з якої продовжуватиме виділятись біогаз, тоді як повітря надходить через вентиляцію або відкритий резервуар :

  → небезпечна атмосфера!

Концепція протипожежного захисту

- Концепція протипожежного захисту повинна розроблятися індивідуально для кожного біогазового комплексу

Концепція протипожежного захисту

A) Запобігання пожежі

Пожежна безпека конструкцій

- Вибір матеріалів
- Безпечні відстані
- План евакуації

Протипожежний захист установок

- Сигналізатор диму
- Вогнегасник
- Наявність води для гасіння пожежі

Організаційна пожежна профілактика

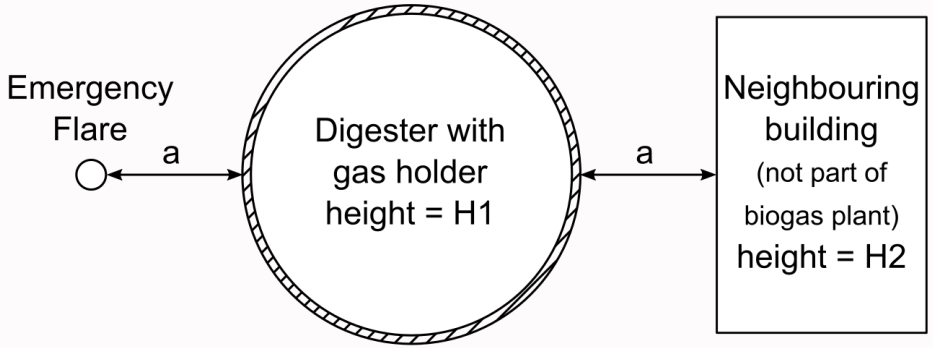
- Маркування небезпечних зон і трубопроводів
- Правила ведення пожежо-небезпечних робіт

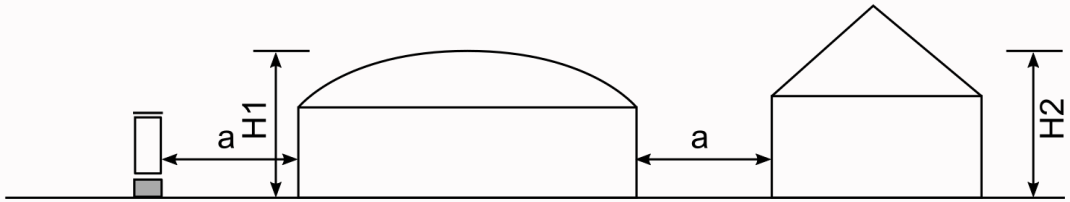
B) Ліквідація пожежі

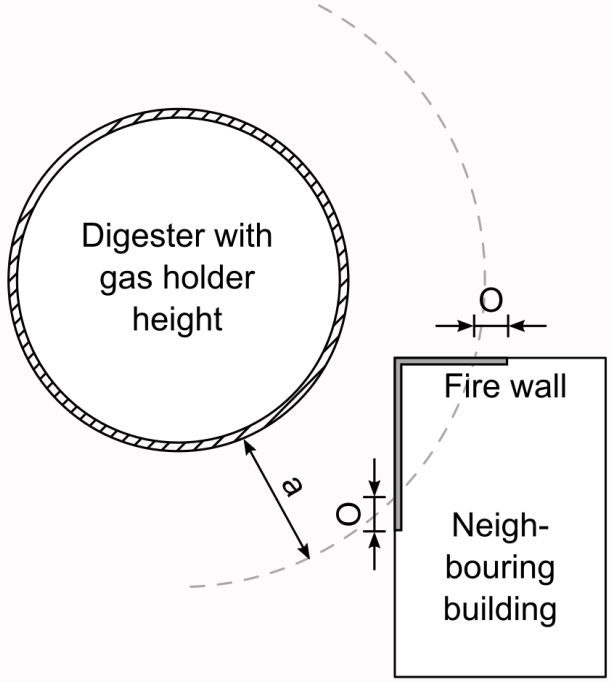
- Завдання пожежної служби
- Усі необхідні заходи, якщо виникла пожежа
- Важливо:
- Ознайомте місцевих пожежників із вашим заводом
- Надайте план біогазової установки пожежній бригаді

Протипожежний захист: Безпечні відстані

(норми в Німеччині)



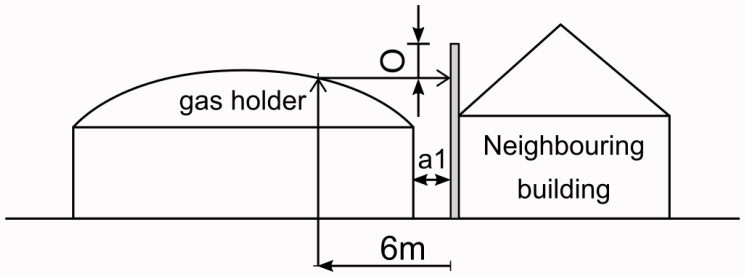




Якщо H1 *та* H2 < 7.5 м → a = 6 м

Якщо H1 *або* H2 > 7.5 м→ a = 0.4 x H2 + 3 м

Ящо H1 *та* H2 > 7.5 м → a = 0.4 x H1 + 0.4 x H2



Modified after FvB e.V.: Merkblatt M-001 Brandschutz bei Biogasanlagen, 2010

Асфіксія / Удушення

- Асфіксія це небезпека пов’язана з газом.
- Небезпека тісно пов’язані із входом у замкнутий простір, наприклад, при перевірці колодязя конденсату або очистці ферментера.
- Важливі заходи, які потрібно врахувати :
  - Стандартні робочі процедури існують у багатьох країнах → адаптуйте їх та впровадьте!
  - Забезпечте належну вентиляцію, у тому числі вентилятор у вибухозахищеному виконанні, якщо це необхідно.
  - Використовуйте засоби індивідуального захисту для контролю якості навколишнього повітря.
  - Скористайтеся «системою приятелів» → нехай хтось буде в режимі очікування, щоб допомогти вам або викликати допомогу, якщо це необхідно.
  - Користуватися драбиною для безпечного входу та виходу.
  - Для екстреного порятунку надягати ремені безпеки для всього тіла з шнуром, під’єднаним до підйомного пристрою.
  - …

Носіть засоби індивідуальної безпеки

→ Вимірюйте CH_4, CO_2, O_2, H_2S перед входом в небезпечну зону, носіть засоби індивідуального захисту.

Інші небезпеки для людей

Неповна добірка прикладів

Падіння / спотикання / робота на висоті

Падіння / спотикання / робота на висоті

- Сходи замість драбини
- Огороджувальні перила
- Забезпечте безпечні площадки обслуговування
- Залишайте доступ вільним

Шум

- Використовуйте засоби захисту слуху, рекомендовано при 80 дБ і обов'язково при шумі вище 85 дБ.

Гарячі поверхні

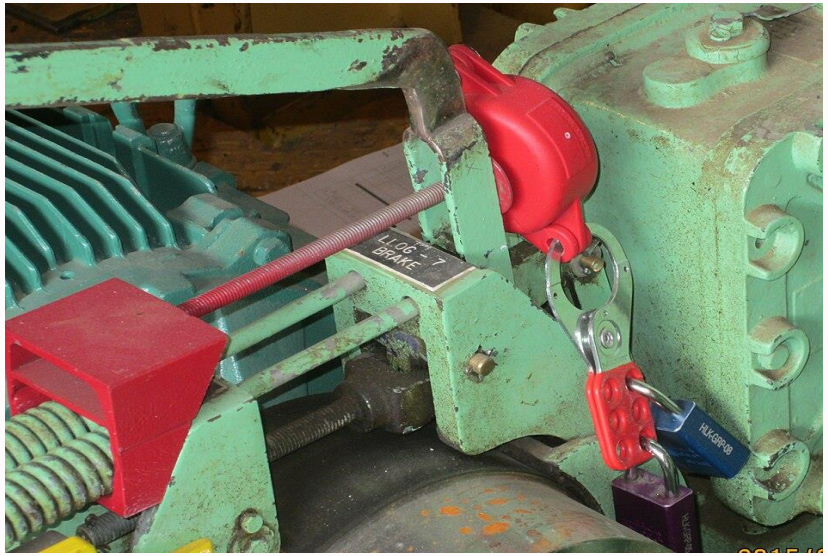
- Використовуйте ізоляцію

Замкнені простори

Це виглядає ризиковано.

Здавлювання та автоматичний запуск механізмів

- Блокування/позначення (випробувати).
- Інформувати колег про поточну роботу.



Picture credits (left2right): Wtshymanski on en.wikipedia.org; IBBK

Падіння частин силосної маси

- Це особливо небезпечно на біогазових установках, які переробляють енергетичні культури.
- Ущільнений силос у дуже високих купах може утворювати тріщини, схожі на льодовик, які можуть спричинити падіння частин силосної маси.

- Відповідність максимальному рівню заповнення відповідно до вимог виробника

Picture credits: Biogas Service Buchen

Небезпека для довкілля

Неповна добірка прикладів

Розливи та витікання

Рідкий гній, дигестат і силосний сік є забруднювачами води. Необхідно уникати неконтрольованого випуску. Основними причинами розливів і витікання є:

- Помилки при проєктуванні (підбір матеріалів, структурні проблеми)
- Не якісне будівництво та монтаж (наприклад, з’єднання труби з ферментером, власна конструкція, а не експертна компанія)
- Людський фактор(напр., запуск насосу вручну + відволікання уваги)
- Пошкодження підземних трубопроводів
- Нехтування технічним обслуговуванням, ремонтами

Розливи та витікання

Заходи щодо запобігання розливам і витокам:

- Працюйте тільки зі спеціалізованими компаніями з ліцензіями відповідно національного законодавства.
- Встановіть систему контролю протікань та контролюйте її.
- Зона збору рідини як дамба навколо біогазової станції зменшує ефект неконтрольованого опорожнення метантенка.
- Захист з’єднань ферментера від пошкоджень та саботажу.

Стіна ємності для зберігання дигестату (зона збору рідини)

Програма управління знаннями для розвитку сталої біоенергетики

Дякую!

Петро Кучерук

Експерт UABIO, к.т.н.

+380 97 917 70 47

kucheruk@secbiomass.com

https://uabio.org