pmr | PARTNERSHIP FOR MARKET READINESS

CARBON LIMITS

# Оцінка невизначеності

Тренінг з моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ)

Проект «Партнерство заради ринкової готовності в Україні (PMR)»

# Вступ
# Важливість оцінки невизначеності

*Під час розробки Плану моніторингу або Звіту про викиди ПГ, команди з моніторингу демонструють, що їх методологія моніторингу відповідає необхідним рівням невизначеності*

## Оцінка невизначеності включає:

- ✓ Докази для досягнення обґрунтованих порогів невизначеності для даних про діяльність
- ✓ Докази для досягнення обґрунтованої межі невизначеності коефіцієнтів викидів ПГ
- ✓ Докази того, що існує оптимальний рівень невизначеності щодо рівня скорочення викидів ПГ

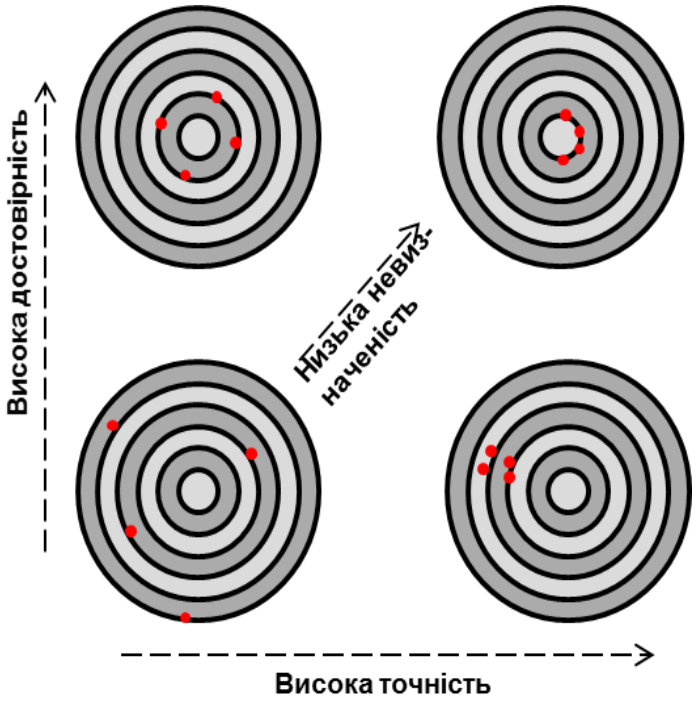
## Що таке невизначеність?

**Достовірність**: означає ступінь узгодженості значень між виміряними величинами та справжнім значенням величини. Якщо вимірювання є достовірним, середні результати вимірювань близькі до «істинного» значення величини (яке може бути, наприклад, номінальним значенням сертифікованого стандартного матеріалу). Якщо вимірювання не є достовірним, це іноді може бути пов’язано з систематичною помилкою. Часто це можна подолати шляхом калібрування та регулювання вимірювальних приладів.

**Точність**: описує близькість результатів вимірювань тих самих виміряних величин при тих же умовах, тобто те саме, як вимірювання декілька разів. Часто це кількісне визначення, як стандартне відхилення значення величини навколо середнього. Це відображає той факт, що всі вимірювання включають випадкову помилку, яка може бути зменшена, але не повністю усунена.

**Невизначеність**
**діапазон, в межах якого очікується, що справжнє значення відповідатиме певному рівню довіри**

# Що таке невизначеність?



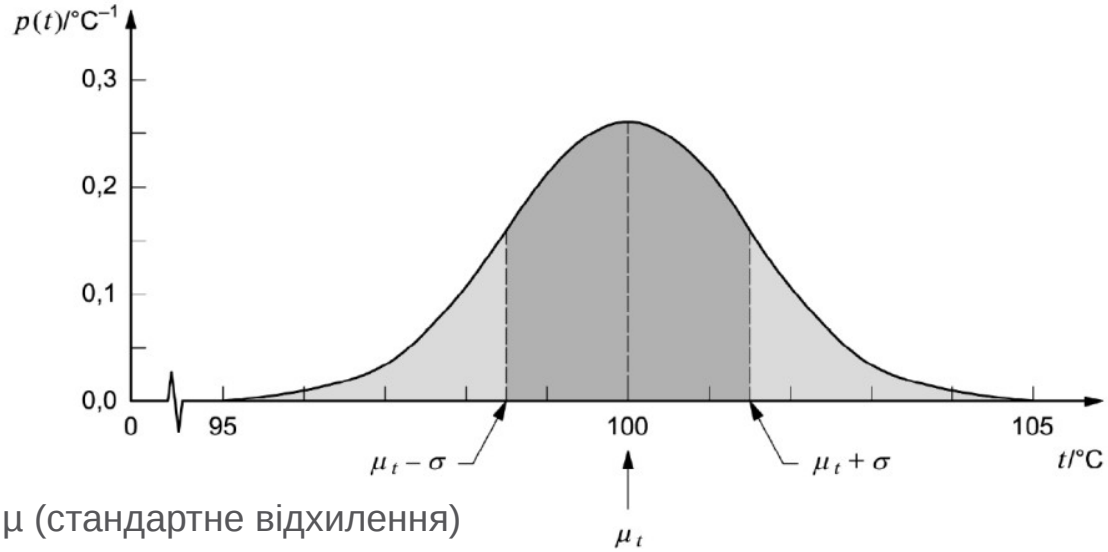

Ілюстрація понять достовірності, точності та невизначеності. «Мішені» - то є передбачуване правильне значення, а «постріли» представляють результати вимірювань.

Поріг невизначеності x% можна розуміти як вимогу, що існує 95% шанс, що "справжнє значення" знаходиться в межах x% від вимірюваного значення

# Помилка вимірювання та невизначеність вимірювань

Різниця - це статистична значимість (ймовірність виникнення, впевненість) помилка вимірювання = 1 тест

- Проста невизначеність вимірювання = рівень впевненості 68% = 1 сигма (стандартне відхилення похибки вимірювання в N тестах)




μ (стандартне відхилення)

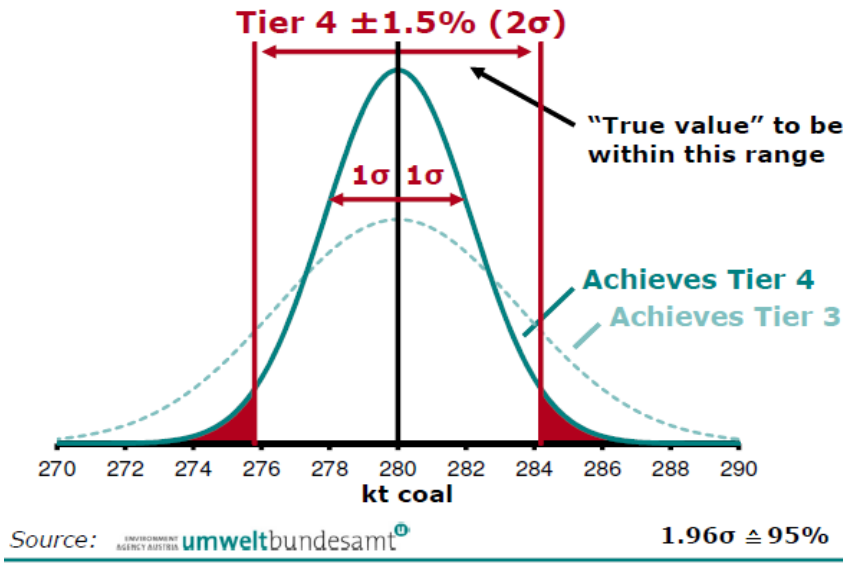
Невизначеність вимірювань в ЄС СТВ = Рівень довіри 95% = 2 сигма (K-фактор 2)
2 сигма = принаймні 6 - 8 випробувань має бути зроблено

# Невизначеність - що це означає

Приклад: установка категорії C споживає 280 000 тон вугілля

• Для визначення кількості палива необхідний рівень 4 (Невизначеність: ± 1,5%).

Це означає, що система вимірювання повинна забезпечувати результати, які дозволяють «справжній величині" бути в межах 280 ± 4,2 кт (± 1,5%) при 95% (2σ) довірчому інтервалі.



# Невизначеність для методів, що базуються на розрахунках

## *Моніторинг спалення палива*

$$ВикСО2_i = ОП_i \times НТЗ_i \times КВ_i \times КО_i$$

| | |
|---|---|
| ***ВикСО2*** | **викиди від спалювання палива типу *i*** [т $CO_2$] |
| **ОПі** | обсяг споживання палива типу і [т або Нм³] |
| ***НТЗ*** | нижча теплотворна здатність палива [ТДж/т або ТДж/Нм³] |
| ***$КВ_i$*** | коефіцієнт викидів $CO_2$ для палива типу *i* |
| ***$КО_i$*** | коефіцієнт окислення для палива типу *i* |
| | |

*Дані про діяльність*

*Коефіцієнт викидів*

**Для даних про діяльність:** Рівні відносяться до необхідної мінімальної невизначеності за звітний період кількості палива, що спалюється

**Для коефіцієнтів викидів:** Рівні відносяться до конкретної методології для визначення кожного коефіцієнта

- використовуючи міжнародні значення за замовченням
- використовуючи регіональні / національні значення за замовченням
- використовуючи інші значення за замовченням
- проведення аналізів

# Рівень та невизначеність для даних про діяльність

*Приклад: спалення палив*

| № рівня точності | Визначення |
|---|---|
| 1 | **Кількість палива [t] або [Нм³] за звітний період[9] визначається з максимальною невизначеністю менше ± 7,5 %.** |
| 2 | **Кількість палива [t] або [Нм³] за звітний період визначається з максимальною невизначеністю менше ± 5,0 %.** |
| 3 | **Кількість палива [t] або [Нм³] за звітний період визначається з максимальною невизначеністю менше ± 2,5 %.** |
| 4 | **Кількість палива [t] або [Нм³] за звітний період визначається з максимальною невизначеністю менше ± 1,5 %.** |

Слід відмітити, що невизначеність означає посилання на «всі джерела невизначеності, включаючи невизначеність приладів, калібрування, будь-яку додаткову невизначеність, пов'язану з тим, як вимірювальні прилади використовуються на практиці, і впливу на навколишнє середовище», якщо не будуть застосовані деякі спрощення

Оператор демонструє, чи відповідає рівень невизначеності, поданням "оцінки невизначеності" разом із планом моніторингу ...

Теоретично, невизначеність може мати безліч параметрів, що робить її оцінку дуже складною ...
Тому ми повинні бути прагматичними і використовувати дозволені спрощення ...

невизначеність приладів

невизначеність калібрування

невизначеність правильності використання

невизначеність навколишнього середовища

...

# Оцінка невизначеності даних про діяльність

*Підходи, що базуються на розрахунках*

## Метод 1: інструмент підлягає національному правовому метрологічному контролю (НПМК)

## Загальна невизначеність = Максимальна допустима похибка при експлуатації (МДПЕ)

### Що таке МДПЕ

- Відповідно до законодавчого метрологічного контролю, калібрування вважається дійсним, якщо невизначеність, отримана в результаті процедури калібрування, нижча, ніж ***максимальна допустима похибка*** *(ПДП)* при верифікації.
- Оскільки обладнання, що перебуває під регулярним обслуговуванням, піддається впливу умов вимірювання, які можуть вплинути на результат вимірювання, поправочний коефіцієнт застосовується до *ПДП*.

МДПЕ = *ПДП* × *коригуючий коефіцієнт* *

**зазвичай застосовується коригуючий коефіцієнт 2*

NOTE THAT:

✓ Найкращим свідченням наявності НПМК є свідоцтво про офіційну перевірку інструменту

✓ НПМК зазвичай застосовується, коли ринкові операції (торгів) вимагають посилання на прийняті стандарти

## Метод 2: Вимірювальний прилад встановлюється в середовищі, придатному для його використання відповідно до специфікацій

*Загальна невизначеність = Максимальна допустима похибка при експлуатації (МДПЕ)*

Вимірювальний прилад не підлягає національному правовому метрологічному контролю, але встановлюється в середовищі, придатному для його використання відповідно до специфікацій:

1. Коли інформація щодо Максимальної допустимої похибки при експлуатації є наявною:

**Загальна невизначеність= МДПЕ визначена для інструмента**

2. Коли інформація щодо МДПЕ не є наявною :

**Загальна невизначеність = невизначеність калібрування × коригуючий коефіцієнт** *

**зазвичай застосовується коригуючий коефіцієнт 2*

.

МДПЕ *та "відповідні технічні характеристики" можна отримати з*

- *специфікації виробника,*
- *технічні вимоги з правового метрологічного контролю, і*
- *Інструкції з оцінки невизначеності*

# Метод 2: Середовище, придатне для використання

**Крок 1: Наявність умов експлуатації, що стосуються відповідних параметрів впливу** (наприклад, діапазон витрат, T, p, ..)

**Крок 2: Відповідність умов експлуатації, що стосуються відповідних параметрів впливу**

- вимірювальний прилад встановлений належним чином,
- вимірювальний прилад підходить для вимірювання потрібної середи,
- немає інших чинників, які могли б мати несприятливі наслідки для невизначеності вимірювального приладу

**Крок 3: Проведення процедур калібрування відповідно до стандарту якості**

Оператор надає докази того, що регулярне проводиться інститутом, акредитованим відповідно до EN ISO/IEC 17025

**Крок 4: Подальші процедури забезпечення якості для вимірювання даних по діяльності**

# Вивчення "відповідних специфікацій використання« Приклад –вихровий витратомір (довідка: Керівний документ)

**Вихровий витратомір**

**Середа: газ**
**Газ: Невизначеність для 10-100% діапазону вимірювання: 2,5%**
**Рідина: Невизначеність для 10-100% діапазону вимірювання: 2%**

**Умови:**

- ✓ **Один раз у 5 років очищення, повторне калібрування та, при необхідності, настроювання**
- ✓ **Щорічна перевірка (обстеження) датчиків**
- ✓ **Щорічна перевірка обтічного тіла**
- ✓ **Щорічна перевірка корозії стінки**
- ✓ **Щорічне технічне обслуговування відповідно до інструкцій виробника / загальних вказівок до принципів вимірювання**
- ✓ **Термін служби 10 років**
- ✓ **Відсутня вібрація приладу**
- ✓ **Уникнення ударної хвилі стискання**

**Керівні вказівки для встановлення вихрових витратомірів, якщо інше не зазначене виробником: мінімум 15D вільної довжини вхідного потоку перед витратоміром і 5D після витратоміра.**

# Повна оцінка невизначеності для матеріальних потоків

**У принципі оцінка невизначеності повинна складатись**

- ✓ конкретну невизначеність застосовуваного вимірювального приладу,
- ✓ невизначеність, пов'язану з калібруванням і
- ✓ будь-яку додаткову невизначеність, пов'язану з тим, як вимірювальний прилад використовується на практиці
- ✓ невизначеність додаткових вимірювань (наприклад, тиску і / або температури)

1. Отримати інформацію про невизначеність від виробника
2. Якщо недоступне, доведіть, що відхилення від специфікації не впливають на невизначеність,
3. Якщо це неможливо, зробіть консервативні оцінки невизначеності, беручи до уваги можливі впливи на невизначеність, оцінюючи:

- Відхилення від робочого діапазону
- Різні невизначеності з урахуванням навантаження або швидкості потоку
- Атмосферні умови (вітер, коливання температури, вологість, корозійні речовини)
- Умови експлуатації (адгезія, коливання щільності та в'язкості, нерівномірна швидкість потоку, неоднорідність)
- Умови установки (підняття, згинання, вібрація, коливання)
- Використання приладу в іншій середі, ніж в тій, для якої він призначений
- Інтервали калібрування
- Довгострокова стабільність

# Найбільш важливі параметри, що впливають на невизначеність, повинні бути враховані та оцінені

| Вплив параметрів на визначення даних про діяльність<br>Матеріальні потоки газів | |
|---|---|
| **Параметр, що впливає, пов'язаний з обладнанням та його установкою** | **Параметр, що впливає, пов'язаний із вимірюваним середовищем** |
| • вплив вітру та випромінювання<br>• температура довгострокової поведінки навколишнього середовища (частота калібрування та обслуговування)<br>• позиція по шкалі<br>• Електромагнітні поля<br>• ємності / обсяги зберігання<br>• нахил конвеєрних стрічок починають і припиняють поведінку<br>• прийнятний діапазон вимірювання<br>• ємність зберігання та вібрація моніторингу | • чистота / вологість<br>• доступність у вигляді ваги нетто (наприклад, старіння упаковки)<br>• обробка середи<br>• впливи висушуванням<br>• щільність<br>• характеристики потоку (наприклад, відносяться до розміру часток)<br>• адгезивність<br>• точка плавлення (тільки для деяких рідких обставин) |

# Похибка відповідно до закону розповсюдження
# Якщо вимірювання - це функція більш ніж 1 параметру …

$$Y = f(X_1, X_2, \ldots, X_n)$$

Якщо корельовані вхідні величини $X_1,..,X_n$ використовуються для розрахунку вимірюваної величини $Y=Y(X_1,..X_n)$ (наприклад, швидкість потоку як функція тиску, температури та диференціального тиску), невизначеність Y можна визначити так:

$$U_Y = \left(\left|\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right| \times U_{X1}\right) + \left(\left|\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right| \times U_{X2}\right) + \cdots + \left(\left|\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right| \times U_{Xn}\right)$$

Некорельовані вхідні величини :

$$U_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1} \times U_{X1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2} \times U_{X2}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n} \times U_{Xn}\right)^2}$$

| | |
|---|---|
| $U_Y$ невизначеність (абсолютна величина) вимірюваної величини Y<br>$U_{Xi}$ невизначеність (абсолютна величина) вхідної величини $X_i$ | **невизначеність (абсолютна величина) вимірюваної величини Y** |
| $U_Y$ невизначеність (абсолютна величина) вимірюваної величини Y<br>$U_{Xi}$ невизначеність (абсолютна величина) вхідної величини $X_i$ | невизначеність (абсолютна величина) вхідної величини $X_i$ |

# Вхідні величини, що не корелюються

***Розповсюдження невизначеності суми***

Приклад: загальне споживання мазуту двох котлів, кожен з яких оснащений одним витратоміром (F1, F2)
F1: 10000 т (стандартна невизначеність: 1%)
F2: 7 500 т (стандартна невизначеність: 3%)

$$u_{total} = \frac{\sqrt{(U_1)^2 + (U_2)^2}}{|x_1 + x_2|} = \frac{\sqrt{(100)^2 + (225)^2}}{17{,}500} = 1.4\%$$

$$\Rightarrow u_{95\%}(k = 2) = 2.8\%$$

***Розповсюдження невизначеності продукції***

Приклад: визначення маси з об'єму та щільності
Об'єм: стандартна невизначеність 1,5%
Щільність: стандартна невизначеність 3%

$$\frac{U_m}{m} = u_m = \sqrt{u_v{}^2 + u_\rho{}^2} = \sqrt{1.5\%^2 + 3\%^2} = 3.35\%$$

$$\Rightarrow u_{95\%}(k = 2) = 6.7\%$$

# Вхідні величини, що не корелюються

***Розповсюдження невизначеності суми***

Приклад: придбаний вапняк, що важив у тій же вантажній масі (ваговий міст)? Ваговий міст: стандартна невизначеність: 0,5%
100 поставок, близько 10 т кожна

$$u_{total} = \frac{U_1 + U_2 + \ldots + U_n}{|x_1 + x_2 + \ldots + x_n|} = \frac{100 \cdot 0.05}{1{,}000} = 0.5\%$$

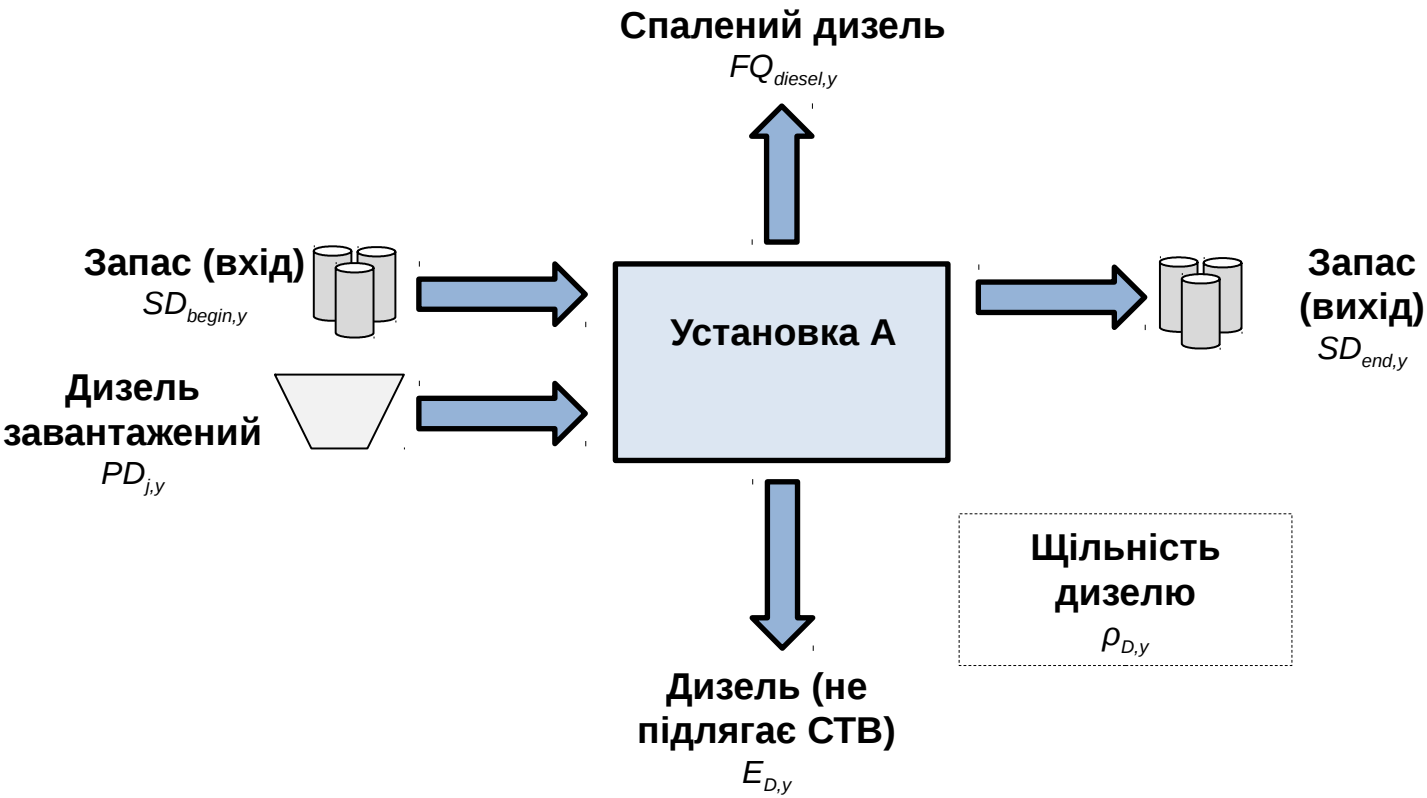
$$\Rightarrow u_{95\%}(k = 2) = 1\%$$

***Розповсюдження невизначеності продукції***

Приклад: втрата при запаленні глини
→ матеріал до і після запалювання важив у тій же шкалі

$$u_{total} = u_1 + u_2$$

# Приклад:
## Визначення споживання дизелю



# Підхід – крок за кроком

- **Крок 1: Виразити математичним співвідношенням "вхідні → вихідні величини"**

$$Q = P - E + (S_{begin} - S_{end})$$

- **Крок 2: Визначити стандартну невизначеність для кожної кількості вхідних даних**
  - Перевірте, чи знаходиться будь-який з лічильників НПМК (якщо так, то МДПЕ)
  - Чи є лічильники в їх відповідному середовищі (якщо так, то МДПЕ: з специфікації виробника або НМК або керівних принципів)
  - Якщо МДПЕ недоступний, то коефіцієнт коригування x
  - Якщо метри не в їх відповідному середовищі, то повна оцінка невизначеності
- **Крок 3: Перевірити будь-яку кореляцію між, наприклад, P, S, Q1, ..**
- **Крок 4: Об'єднати невизначеності (закон розповсюдження) → отримати uQ**
- **Крок 5: Розрахувати розширену невизначеність (коефіцієнт покриття k = 2, 95%)**

# Приклад
# $Q = P - E + (S_{begin} - S_{end})$

| | |
|---|---|
| **P** | Кількість закупівлі протягом усього року - кількість придбаного газу протягом всього року (P) визначається як сума багатьох вимірювань $P = P_1 + P_2 + \cdots + P_{30}$ |
| **E** | Експортована кількість |
| **$S_{begin}$** | Запаси газойлю в резервуарі на початку року |
| **$S_{end}$** | Запаси газойлю в резервуарі наприкінці року |

→ Всі вхідні величини для визначення Q можна вважати некоррельованими.

Припустимо, що ніякого газойля не експортується (E = 0)
→ невизначеність може бути визначена як некорельована невизначеність суми :

$$u_Q = \frac{\sqrt{(U_{S,begin})^2 + (U_{S,end})^2 + (U_{P1})^2 \ldots + (U_{P30})^2}}{|S_{begin} - S_{end} + P_1 + \cdots + P_{30}|}$$

$u_Q$: загальна (відносна) невизначеність, пов'язана з Q
$U_{S,P}$: Абсолютна невизначеність рівня читання запасів або кількості, надана одним танком

**Зробили прості припущення :**

- Оскільки ми не можемо передбачити номери для Sbegin і Send, ми вважаємо нульовим.
- Всі значення Pi вважаються рівними

# Приклад
# $Q = P - E + (S_{begin} - S_{end})$

$$\rightarrow \quad u_Q = \frac{\sqrt{2 \times (40000 \times 2.5\%)^2 + 30 \times (25000 \times 0.5\%)^2}}{75000} = 0.21\%$$

Додатково:
Дані про діяльність, пов'язані з споживанням газу, повинні бути виражені у тонах, при цьому необхідно враховувати щільність палива.
Невизначеність для визначення щільності з використанням зразків становить близько 3%.

$$\overline{\overline{U}}_{Q(tonnes)} = \sqrt{u^2_{Q(Volume)} + u^2_{demsity}} = \sqrt{0.21\%^2 + 3\%^2} = 3.007\%$$

Невизначеність визначення щільності є найбільш значним внеском у загальну невизначеність.
→ Подальші поліпшення повинні полягати у визначенні щільності з меншою невизначеністю.

# Альтернативний підхід– приклад

*Установка категорії А*

$$Em_{total} = Em_{NG} + Em_{FB}$$

*Невизначеність розрахунку викидів в цілому з установки не повинна перевищувати 7,5%*

- *Загальний об'єм викидів установки*
- *EmNG ... викиди від спалювання природного газу (2%, 35000 m CO2)*
- *EmFB ... викиди від вихідного потоку, що моніториться, згідно з альтернативним підходом(18%; 12,000 m $CO_2$)*

$$u_{total} = \frac{\sqrt{(2.0\% \cdot 35{,}000)^2 + (18\% \cdot 12{,}000)^2}}{|35{,}000 + 12{,}000|} = 4.8\%$$

# Невизначеність для підходів, що базуються на вимірюваннях

*Необхідні заходи з забезпечення та контролю якості **ЗЯ/КЯ** :*

- Застосування EN 14181, EN 15259, т.д.
- Проходження Рівнів Забезпечення Якості
- РЗЯ 1, 2, 3 та Щорічний тест на нагляд (ЩТН)

Невизначеність отримана відповідно до РЗЯ 2 (вкл. потік газів) маю бути порівняна з рівнем вимог

$$u_{av\ hourly\ emissions} = \sqrt{u_{GHG\ concentration}^{2} + u_{flue\ gas\ flow}^{2}}$$

**РЗЯ 2** : Отримати невизначеність від функції калібрування за стандартним еталонним методом (рекомендований стандарт для стоку димових газів : EN 16911-2)

# Резервне копіювання

# Рівні невизначеності для коефіцієнтів розрахунку

*На прикладі спалення палив*

| Рівень № | Коефіцієнт викидів | НТЗ | Коефіцієнт окислення |
|---|---|---|---|
| **1** | (a) стандартні коефіцієнти IPCC<br>(b) коефіцієнти, надані постачальником, або історичні дані на основі аналізу | (a) стандартні коефіцієнти IPCC<br>(b) коефіцієнти, надані постачальником, або історичні дані на основі аналізу | КО = 1 |
| **2а** | Коефіцієнти специфічні для країни | Коефіцієнти специфічні для країни | Коефіцієнти специфічні для країни |
| **2б** | Встановлена кореляція між щільністю (для нафти та газів) та НТЗ (для вугілля) | Надана постачальником НТЗ | |
| **3** | Вибірка та аналіз | Вибірка та аналіз | Встановлена кореляція, основана на вмісті вуглецю золи, стоків та інших не повністю окислених газоподібних форм викидів вуглецю. (Склад, визначений вибіркою та аналізом) |

Рівні для коефіцієнтів розрахунку не ґрунтуються на порогах невизначеності, а на визначенні, що включають значення за замовченням або значення, отримані з лабораторних аналізів.

# Може бути використана різна частота оцінки...

Якщо будь-яка зміна значень для відповідного палива чи матеріалу не перевищує 1/3 від значення невизначеності, необхідного для даних про діяльність відповідного палива чи матеріалу …

| *Природний газ* | *Технологічний газ* | *Мазут* | *Вугілля, кокс* | *Тверді відходи* | *Рідки відходи* | *Карбонатні мінерали* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Принаймні щотижня | Принаймні щоденно | Кожні 20 000 тон і принаймні шість разів на рік | Кожні 20 000 тон і принаймні шість разів на рік | Кожні 5 000 тон і принаймні чотири рази на рік | Кожні 10 000 тон і принаймні чотири рази на рік | Кожні 50 000 тон і принаймні чотири рази на рік |

# Що таке "необґрунтовані витрати"

Оцінюючи, чи є обґрунтованими витрати на конкретну міру, витрати повинні порівнюватися з корисною ціною, яку вона надає

Витрати вважаються необґрунтованими, якщо витрати перевищують користь

Можна узагальнити за допомогою формули

**<u>Витрати вважаються розумними, якщо :</u>**

$$C < P \cdot AEm \cdot \left(U_{curr} - U_{new\ tier}\right)$$

Where:

$C$ ..... Costs [€/year]

$P$ ..... specified allowance price = 20 € / t $CO_{2(e)}$

$AEm$ .... Average emissions from related source stream(s) [t $CO_{2(e)}$/year]

$U_{curr}$ ..... Current uncertainty (not the tier) [%]

$U_{new\ tier}$ . Uncertainty threshold of the new tier that can be reached [%]

# Що таке "необґрунтовані витрати"

**Приклад:**

- Новий інструмент, необхідний для встановлення
- Інструмент A коштує 40 000 євро і призводить до невизначеності 2,8% (рівень 2)
- Інструмент B коштує 100 000 євро, але дозволяє отримати невизначеність 2,1% (рівень 3, ± 2,5%)
- Покращення невизначеності - Ucurr - новий рівень = 2,8% - 2,5% = 0,3%.
- Витрати: 60 000 євро (тобто різниця між двома лічильниками), розділена на 5 років (термін експлуатації обладнання), тобто 12 000 євро.
- Середньорічні викиди складають AEm = 120 000 т CO2 / рік.
- Припустима вигода 0.003 * 120 000 * € 20 = € 7 200
- Передбачена користь <ніж передбачувані витрати (€ 12 000)
- Тому необґрунтовано вимагати встановлення інструмента B.

# Розуміння невизначеності

| Види похибок | Приклад |
|---|---|
| **Помилкова похибка** | Відсутні дані, людська помилка |
| **Системна похибка** | Невизначеність, пов'язана з рівнянням, КВ |
| **Випадкова похибка** | Мінливість процесу |

**Результуюча невизначеність**

Кожен параметр, що вносить вклад у невизначеність повинен оцінюватися незалежно

**Викиди $CO_2$** = **Обсяг палива** × **НТЗ** × **Коефіцієнт викидів** × **Коефіцієнт окислення**

# Дякуємо за увагу!

Із запитаннями звертайтеся до довідкової служби
за електронним адресом:
mrv.info@menr.gov.ua