

Be sure. **testo**



Практичне керівництво
Вимірювання об'ємної витрати у
повітроводах згідно DIN EN 12599.

Вступ.

Сьогодні ми проводимо більшу частину дня у закритих приміщеннях. Тому дуже важливо контролювати роботи систем ОВК, які призначені для забезпечення комфортного клімату в приміщенні. Особливе значення має вентиляція. По-перше, вона використовується не тільки для забезпечення свіжого повітря, але й для видалення забруднюючих речовин, наприклад, надмірної

вологості. Забезпечення достатнього повітряного обміну є важливим критерієм якості при введенні в експлуатацію систем ОВК. Точне визначення швидкості повітря в каналах є однією з найбільш складних вимірювальних задач для спеціалістів з вентиляції та кондиціонування повітря.

Зміст:

1. Важливість швидкості повітря	04
2. Коректне вимірювання швидкості повітря	05
3. Вибір місця вимірювань	06
3.1 Профілі потоку в повітроводі	07
3.2 Відстань відриву потоку	08
4. Метод вимірювання	10
4.1 Тривіальний метод	11
4.2 Метод центроїдальної осі	12
4.3 Розрахунок об'ємної витрати	13
5. Оцінка виміряних даних	14
6. Звіт по результатам вимірювання	20

1. Важливість вимірювання швидкості повітря

Системи ОВК часто експлуатуються із великими значеннями витрат повітря. Це призводить до значних експлуатаційних витрат. Зокрема, витрати на споживання електроенергії вентилятором, оскільки необхідно прокачувати значний об'єм повітря через систему. Однак витрати на кондиціювання повітря (охолодження, нагрівання, зволоження або осушення) можна зменшити, якщо правильно налаштувати систему. Високий повітрообмін призводить до виникнення протягів в приміщенні, через що люди відчувають дискомфорт.

З іншого боку, занадто низький обсяг потоку повітря також може викликати проблеми. Люди в приміщенні будуть занадто мало вдихати свіже повітря і вміст CO₂ в кімнаті буде надмірно високим. Низька швидкість потоку також має негативний вплив на гігієнічний стан системи: виникає ризик утворення плісняви. Правильно налаштована система ОВК не тільки допомагає створити комфортний внутрішній клімат, але й зменшити фінансові витрати.

2. Коректне вимірювання швидкості повітря

Ключовим параметром оцінки функціональних можливостей системи ОВК є об'ємна витрата повітря. Це добуток швидкості потоку на площу каналу. Оскільки на практиці швидкість потоку в поперечному перетині каналу не однакова, то вимірювання в одній точці недостатньо для визначення середньої швидкості повітря. Елементи повітроводу, такі як засувки, кути тощо, впливають на профіль швидкості, тому вимірювання методом сітки має проводитися в декількох місцях потоку.

У світі існує декілька стандартів, щодо правильного вимірювання швидкості потоку. Крім провідного стандарту Німеччини та Європи EN 12599, існують також EN 16211 і ASHRAE 111. Спільним в них є те, що точки вимірювання розподілені по поперечному перетину каналу, відповідно до розміру каналу. Розрізняють прямокутні та круглі канали, в яких показник швидкості усереднений.

Тепер перейдемо до правильного вимірювання витрати повітря відповідно до EN 12599.

3. Вибір місця вимірювань

Вирішальним фактором при проведенні комплексних вимірювань, є правильний вибір точок вимірювання. Місця вимірювання визначаються при проектуванні системи. Тут необхідно враховувати наступні критерії:

- На всіх основних каналах і на лініях подачі повітря в приміщеннях повинні бути передбачені точки для вимірювання витрати повітря.

- Слід дотримуватися мінімальних відстаней для точки вимірювань: принаймні в 6 разів більше, ніж гідравлічний діаметр нижче по потоку, і в 2 рази більше, ніж гідравлічний діаметр вище по потоку.

- Вимірювальні точки повинні бути легкодоступними, для роботи з приладом має бути достатньо місця.

- Потік повинен бути ламінарним та вільним від будь-якого зворотнього потоку або завихрення.



Розрахунок гідравлічного діаметра D_h для різних форм каналів.

3.1. Профілі потоку в повітроводі

Повітря, що протікає через канал, не має рівномірної швидкості. Як правило, повітря в середині потоку швидше, ніж біля стінки каналу. Через тертя на стінці каналу існують більші опори, які необхідно подолати. Є два основних профілі потоку: ламінарний та турбулентний.

Ламінарний потік.

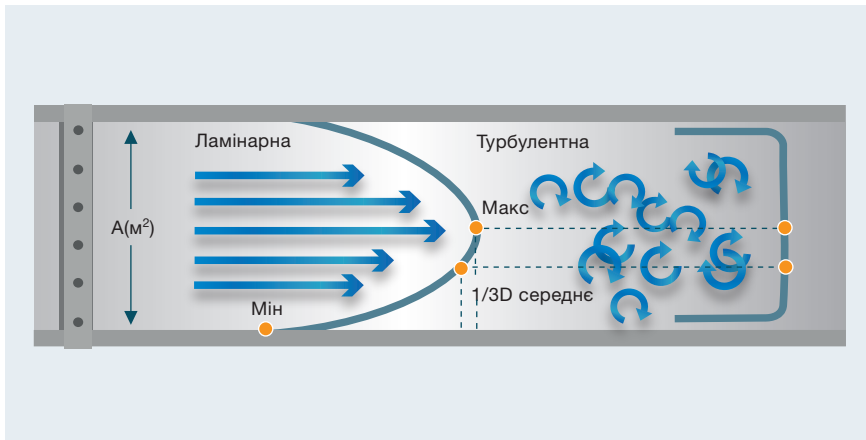
Ламінарний потік передбачає рівномірний потік повітря з паралельними лініями потоку. У середині потоку відсутня турбулентність і виражена максимальна швидкість. Середня швидкість потоку становить приблизно третину діаметра каналу. Як тільки швидкість повітря зростає, ламінарний потік все більше перетворюється в турбулентний.

Турбулентний потік.

У цьому випадку швидкість течії в значній мірі однакова по всьому діаметру каналу, але швидкість руху різко падає на стінці каналу. Лінії потоку не є спрямованими, тобто повітря рухається хаотично і з високим ступенем тертя.

У повітроводі можливе змішування обох профілів потоку. При цьому, окремі елементи каналу (наприклад, амортизатори, коліна, клапани, регулятори об'ємного потоку тощо) змінюють профіль потоку.

На практиці, так зване вимірювання методом сітки по всьому поперечному перерізу каналу є незамінним для отримання високоточних результатів.



Ламінарна і турбулентна швидкість повітряного потоку. У залежності від швидкості потоку генеруються різні профілі потоку.

3.2. Відстань відриву потоку

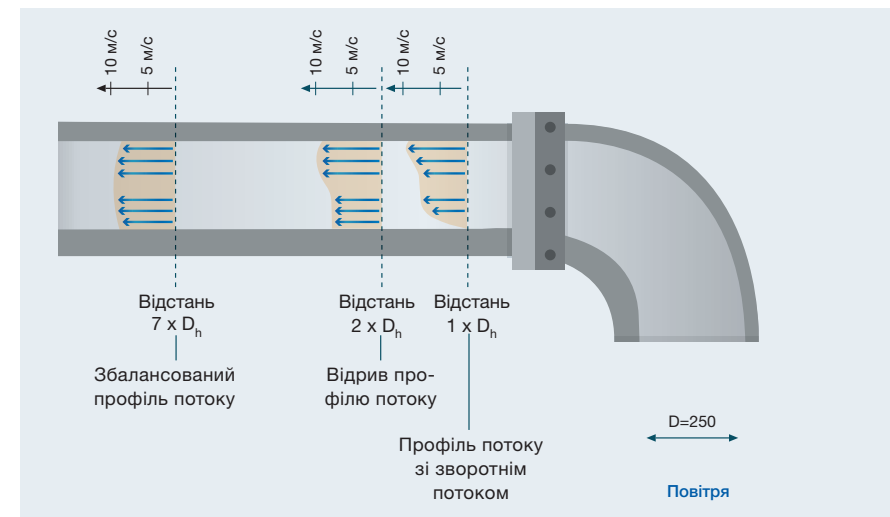
Ідеальні профілі потоку знаходяться виключно в дуже довгих каналах, які проходять по прямій лінії і де немає відриву. З цієї причини необхідно дотримуватися мінімальних відстаней від відриву.

Якщо відстань від відриву потоку є достатньою, кількість точок вимірювання, які необхідно виміряти по поперечному перерізу каналу, може бути значно зменшена.

На практиці демпфери, клапани, коліна та інші вигини перешкоджають розвитку ламінарного потоку.

У несприятливих обставинах це призводить до того, що максимум профілю потоку знаходиться не в середині каналу, а ближче до краю. Ще в більш проблемних умовах можуть виникати також зворотні потоки або ділянки без потоку.

При відриві зворотні потоки спотворений, що для збереження зменшуються після відстані в 2 рази невизначеності вимірювань від гідравлічного діаметра, проте необхідна велика кількість точок вимірювання.



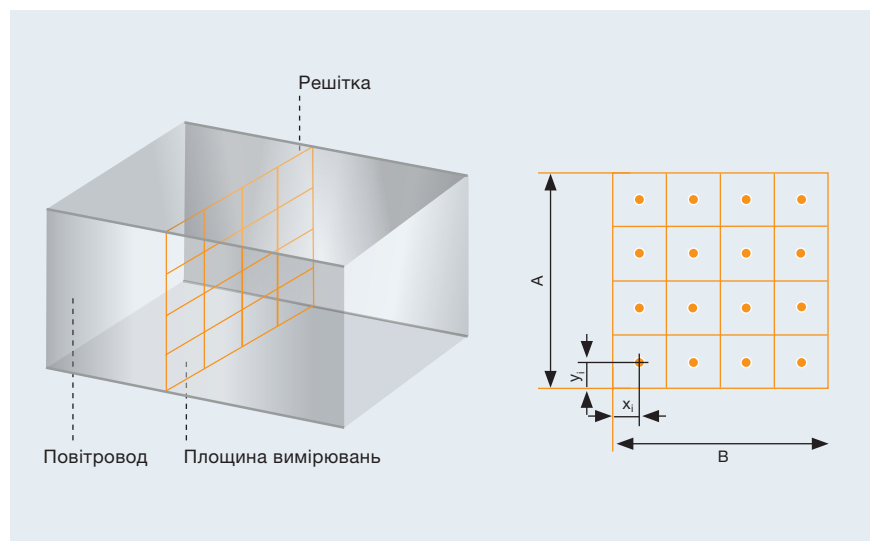
Нерівності в профілі потоку зменшуються при збільшенні відстані відриву потоку. Чим більше відстань від відриву, тим більш рівномірний профіль потоку і тим точніше вимірювання або тим необхідно менше точок вимірювання.

4. Методи вимірювання

Для визначення об'ємної витрати потоку повітря необхідно точно встановити середнє значення потоку в поперечному перетині каналу. Для цього область вимірювання розбивається на декілька зон, в центральних точках яких визначається швидкість. Наведена процедура називається вимірюванням методом сітки. Спосіб поділу поперечного перерізу каналу

на часткові зони відрізняється для прямокутних і круглих каналів. DIN EN 12599 передбачає два наступні методи вимірювання:

- тривіальний метод вимірювань у повітроводах прямокутного або квадратного перерізу
- метод центроїдальної осі для вимірювань в каналах з круглим поперечним перерізом



Поділ поперечного перетину каналу тривіальним методом. Точки вимірювання знаходяться в центральних точках областей.

4.1. Тривіальний метод

Тривіальний метод не передбачає спеціального розподілу швидкостей у потоці. Поперечний перетин каналу просто розділений на декілька областей вимірювання з однаковим розміром. Точка вимірювання знаходиться в середині кожної області.

Там, де є рівномірний профіль швидкості, це дозволяє досягти точного результату навіть при невеликій кількості точок вимірювання. Там, де існують великі різниці у швидкості потоку, кількість точок вимірювання

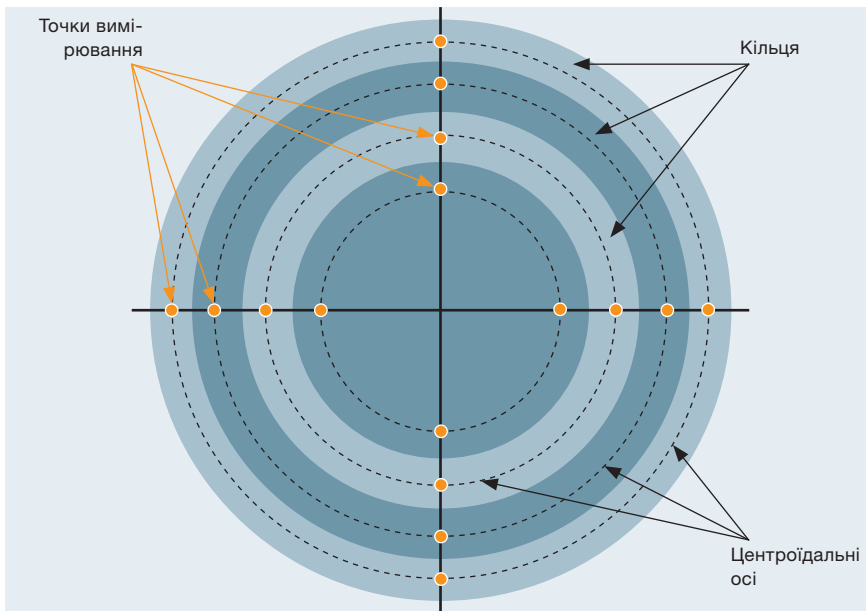
має бути відповідно збільшено. Коли коливання значень в межах окремої області дуже незначні, значення, виміряні в центральних точках, можна вважати середніми значеннями в контексті заданої точності вимірювання.

Значення об'ємної витрати потоку повітря для всього каналу обчислюється, як середнє арифметичне зі значень кожної області.

4.2. Метод центроїдальної осі

Процедура методу центроїдальної осі для круглих каналів, аналогічна попередній. Поперечний перетин кругового каналу, розділяється на кільця рівної площі і коло в центрі. Вимірювальне місце в зоні кільця і у внутрішньому колі знаходиться на осі кожної окремої зони.

Осі центроїда є радіусом (y), який розділяє частину ділянки. Оскільки не завжди потік рухається вперед у ротаційно-симетричному напрямку в повітропроводі, для круглих каналів необхідно обрати два вимірювальних плани, що знаходяться під кутом 90° один до одного.



Визначення місць вимірювання кругового поперечного перерізу методом центроїдальної осі.

4.3. Розрахунок об'ємної витрати

Значення швидкості, визначені за допомогою тривіального методу або методу центроїдальної осі, використовується для розрахунку середньої швидкості потоку, з якої розраховується об'ємна витрата повітря. Обчислення здійснюється за формулою:

$$\dot{V} = A \times \bar{v} \times 3600$$

$\dot{V}$ - об'ємна витрата повітря у $\text{м}^3/\text{год}$
 $\bar{v}$ - середнє значення швидкості у $\text{м}/\text{с}$
 A - площа перетину потоку у м^2

Приклад:

Якщо, площа перетину потоку $0,5 \text{ м}^2$ та середня виміряна швидкість $4 \text{ м}/\text{с}$, то об'ємна витрата складає $7200 \text{ м}^3/\text{год}$

Визначення об'ємної витрати на основі середньої швидкості потоку і поперечного перетину каналу.

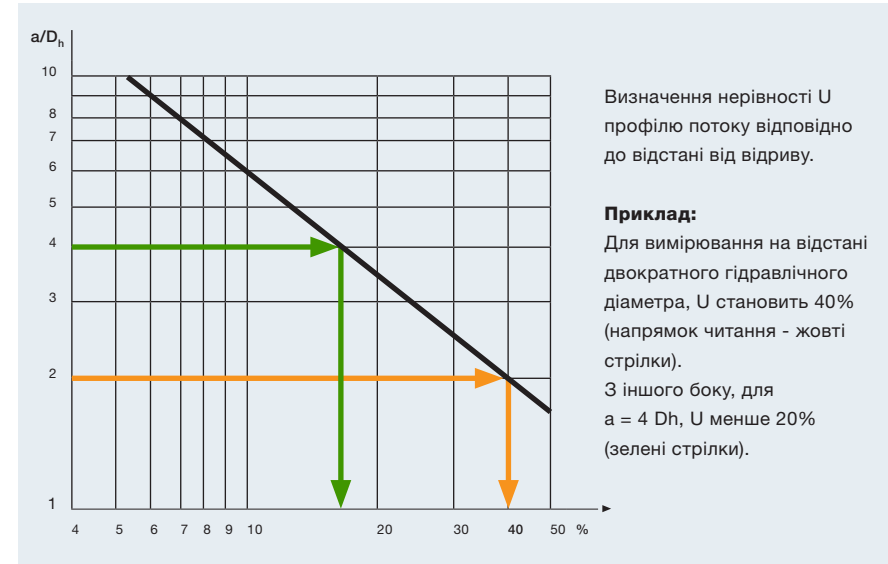
5. Оцінка виміряних значень

Згідно стандарту DIN EN 12599 при визначенні об'ємної витрати невизначеність не повинна перевищувати $\pm 10\%$.

Для визначення загальної похибки додатково до невизначеності вимірювального приладу і зонда, важливим фактором є нерівномірність профілю потоку. Там, де є нерівномірність профілю, необхідна невизначеність вимірювання $\pm 10\%$ може бути досягнута тільки з великою кількістю вимірювальних точок, але це займе дуже багато часу. Таким чином, кількість точок вимірювання залежить від відстані до відриву, оскільки це сильно впливає нерівномірність профілю.

Етап 1: Визначення нерівномірності профілю потоку

Необхідна кількість вимірювальних точок у зазначеному поперечному перерізі каналу залежить від нерівномірності (спотворення) профілю потоку. Наведена нижче схема показує емпіричну залежність між відносною відстанню a / D_h (відстань від відриву, що виражається як кількість гідравлічних діаметрів) і нерівномірність U профілю потоку (у відсотках). Видно, що нерівномірність профілю зменшується з ростом відстані.



Крок 2: Визначення кількості необхідних точок вимірювання

З урахуванням значення U , визначеного за допомогою

діаграми, з таблиці нижче тепер можна з'ясувати необхідну кількість точок вимірювання для дотримання точності вимірювання.

Кількість точок вимірювання	Невизначеність вимірювання t_U як а % Нерівномірність профілю U як а %					
	2	10	20	30	40	50
4	6	12	20	28	36	42
5	5	11	17	24	31	36
6	5	10	15	21	27	32
8	4	8	13	18	23	27
10	3	7	12	16	20	24
20	2	5	8	11	14	16
30	2	4	7	9	11	14
50	1	3	5	7	8	10
100	1	2	3	5	6	7
200	1	1	2	3	4	5

Невизначеність вимірювання в залежності від кількості вимірювальних точок.

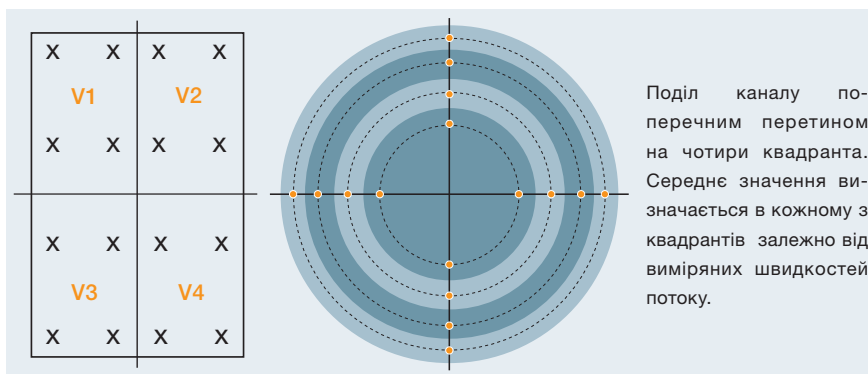
Приклад: Для $U = 40\%$ і невизначеності вимірювання $t_U = \pm 15\%$ необхідно 20 точок вимірювання (жовті знаки, напрямом читання зверху вниз, а потім ліворуч). Для $U = 20\%$ достатньо 8 точок вимірювання (зелені знаки).

Рекомендація: Під час збільшення вимірювальної відстані від відриву ви зможете зменшити кількість необхідних точок вимірювання, а отже, і зусилля, пов'язані з вимірюванням, не погіршуючи точності вимірювання.

Етап 3: Обчислення**нерівномірності профілю потоку**

Використовуючи отримані значення, тепер ви зможете перевірити нерівномірність профілю потоку.

Для цього необхідно розбити поперечний перетин каналу на чотири квадранта з однаковою площею і визначити середнє арифметичне значення для кожного з квадрантів.



Нерівномірність профілю потоку з урахуванням найвищого і найменшо-

го середнього значення квадрантів:

$$U = \frac{\bar{V}_{\max} - \bar{V}_{\min}}{\bar{V}}$$

U (*100) = нерівномірність профілю потоку у %

V_{max} (м/с) = максимум середнього арифметичного всіх чотирьох квадрантів

V_{min} (м/с) = мінімальне середнє арифметичне всіх чотирьох квадрантів

V (м/с) = середнє арифметичне швидкості у всьому поперечному перерізі

Крок 4: Розрахунок повної невизначеності згідно DIN EN 12599

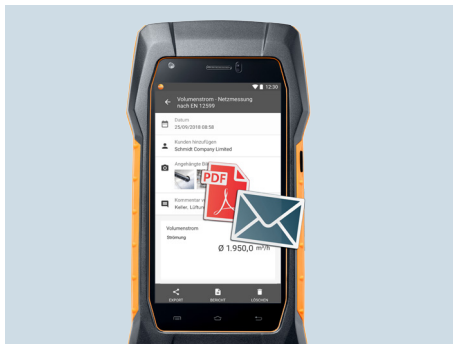
Окрім невизначеності вимірювання, що виникає внаслідок зовнішніх впливів у вимірювальній точці, існують інші джерела похибок:

- Невизначеність вимірювання при зчитуванні даних
- Невизначеність вимірювання середнього значення (з коливальним параметром вимірювання)
- Помилка відображення вимірювального приладу (помилка вимірювального приладу)
- Невизначеність вимірювання неосяжних параметрів, наприклад, щільність повітря
- Невизначеності з перетворенням виміряних величин

Невизначеність внаслідок зовнішнього впливу на вимірювальну точку та похибки вимірювального приладу (точність вимірювального приладу та/або зондів) мають найбільший вплив на загальну невизначеність. У сучасних вимірювальних приладах, таких як testo 400, вони автоматично враховуються при обчисленні загальної невизначеності, спрощуючи процес виконання вимірювань та документування результатів.

6. Звіт по результатам вимірювання

Після проведення вимірювань необхідно оперативно надіслати замовнику повний звіт про вимірювання. Цей звіт охоплює деталі назви будівлі та проекту, конкретного місця вимірювання, узгодженого цільового значення, вимірювального приладу, виміряних значень і невизначеності результатів вимірювань, а також дату та місце вимірювання.



З testo 400 ви зможете створити цей звіт безпосередньо у вимірювальному приладі та надіслати його електронною поштою. Важко представити ще більш ефективне рішення.

Ексклюзивний дистриб'ютор Testo KG
ТОВ «ЛІФОТ»
вул. Ілленка, 83-д, оф. 403,
Київ, 04119,
(044) 501-40-10
vodafone (095) 111-80-10
lifecell (063) 888-46-95
Київстар (097) 235-11-27
info@testo.kiev.ua

www.testo.kiev.ua