

Перспективи використання сенсорних технологій для вимірювання якості атмосферного повітря в аеропортах

В європейських аеропортах спостерігається тенденція вимірювання якості повітря за допомогою сенсорів замість традиційних газоаналізаторів. Ефективнішою стратегією є наявність декількох недорогих датчиків, ніж одна традиційна станція моніторингу. Мережа сенсорів дозволяє покращити просторову та часову роздільну здатність даних. Краще розуміння реакції датчиків на зміни погоди сприяє їх широкому застосуванню в офіційному моніторингу.

Концепція

Однією з екологічних цілей ІКАО є обмеження або зменшення впливу авіаційних викидів на місцеву якість повітря. Починаючи з кінця 1970-х років, ІКАО розробляє заходи щодо боротьби з викидами від авіаційних двигунів поблизу аеропорту та відповідних аеропортових джерел. Моніторинг якості повітря є важливим інструментом для проведення інвентаризації забруднюючих речовин, верифікації моделей емісії, прийняття рішень місцевою владою згідно захисних заходів (наприклад, встановлення санітарної зони) і взаємодії з громадськістю. Згідно головного документу ІКАО щодо якості атмосферного повітря Airport Air Quality Manual Document 9889 (видання 2020 р.) офіційними методами моніторингу повітря є хемілюмінесценція, спектроскопія диференціального оптичного поглинання (DOAS), ультрафіолетова фотометрія для моніторингу як еталонні. ІКАО взагалі не розглядає сенсорні методи. Проте держава-член може використовувати будь-які методи, які можуть продемонструвати результати, еквівалентні офіційним даним моніторингу [3]. Сенсорні технології, якщо вони перевірені та відкалібровані, можуть бути офіційним джерелом інформації про якість повітря. Одним із найбільших європейських аеропортів, який використовує мережу сенсорів в моніторингу повітря є Лондон Хітроу, на території якого розташовано 40 датчиків для вимірювання оксидів вуглецю, оксидів азоту, летких органічних сполук, а також метеорологічних параметрів.

Однак, численні спроби валідації датчиків різними науковими інститутами показали зростаючу нестабільність із зміною сезонів. Влітку концентрація озону, виявлена датчиком, демонструє більші відхилення від офіційних даних, ніж взимку. Коли оксиди азоту демонструють протилежну поведінку. За даними Європейської комісії, точність датчика в першу чергу залежить від типу датчика. Переважно моніторинг NO_x та O₃ включає електрохімічні датчики, надзвичайно чутливі до змін температури та вологості та демонструють перехресну реакційну здатність з подібними типами молекул (селективність) [4]. Більше того, приземні концентрації озону зазвичай виникають із інтенсивністю сонячної активності. Отже, міжрічна метеорологічна

мінливість впливає на точність вимірювання датчиків різкими змінами концентрації NOx та O3.

Методи дослідження

Ця робота ґрунтується на емпіричних дослідженнях забруднення атмосфери оксидами азоту та озonom, використовуючи статистичні методи для аналізу даних моніторингу з міста Вупперталь (Німеччина) для визначення причин нестабільності показань датчиків у міру зміни сезонів.

Обраним місцем розташування проєкту є центр міста Вупперталь, оскільки як його промисловий фон, так і контрастні сезонні зміни дозволяють перевірити різні сценарії. У Вупперталі зима волога і холодна з невеликою кількістю сонячної радіації, а літо тепле і сонячно, але з короткочасними опадами. Метеорологічні дані (швидкість та напрямок вітру, температура навколишнього повітря, відносна вологість, сонячна радіація), а також довідкові дані погодинних концентрацій взяті зі станції моніторингу Lohr Kreuz. Еталонне обладнання включає газоаналізатори *Environnement AC 31M* для NO з роздільною здатністю ± 2 ppbV, для NOx з роздільною здатністю ± 3 ppbv; *Environnement O3 41M* для озону з межею виявлення ± 1 ppbV. Досліджувані дані включають дані про концентрацію NOx та O3 у навколишньому середовищі, зібрані з сенсорних датчиків з електрохімічними детекторами *Alphasense*. Аналіз вимірювання забруднення повітря здійснювався із використанням статистичного програмних забезпечень R і Excel [2,6].

Для оцінки роботи датчиків застосовувалися щоденні часові ряди та описовий аналіз. Щоденний аналіз часових рядів для найбільш та найменш забруднених днів кожного сезону порівнювався з метеорологічними даними та еталонним методом, щоб перевірити, чи вони дотримуються однакової тенденції [5].

Результати досліджень

На рисунках 1 і 2 показано як приклад співвідношення значень NO до еталонної системи (Reference system) та сенсорних датчиків B1 та B2. Сенсорна система B1 демонструє в порівнянні з B2 дуже хорошу кореляцію з еталонною системою. Датчик B2 показує зміщення.

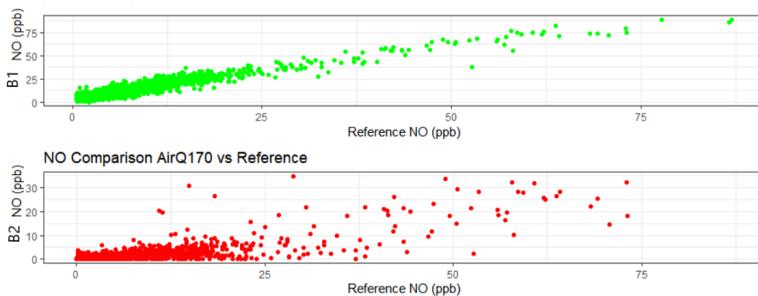


Рис. 1 Регресійний аналіз результатів вимірювання оксиду азоту датчиками B1 і B2

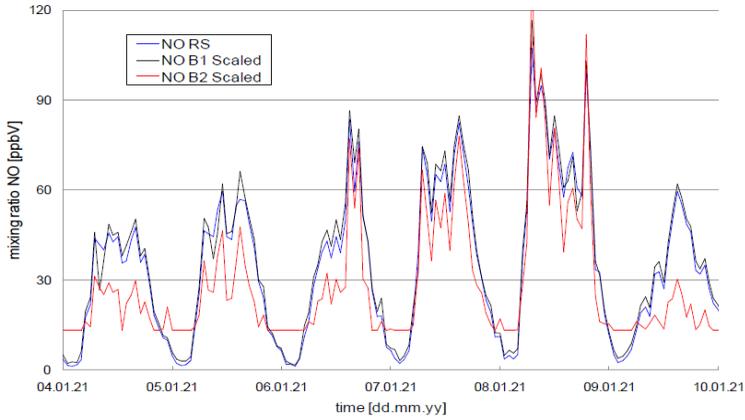


Рис.2 Щоденний часовий ряд вимірювання оксиду азоту [1]

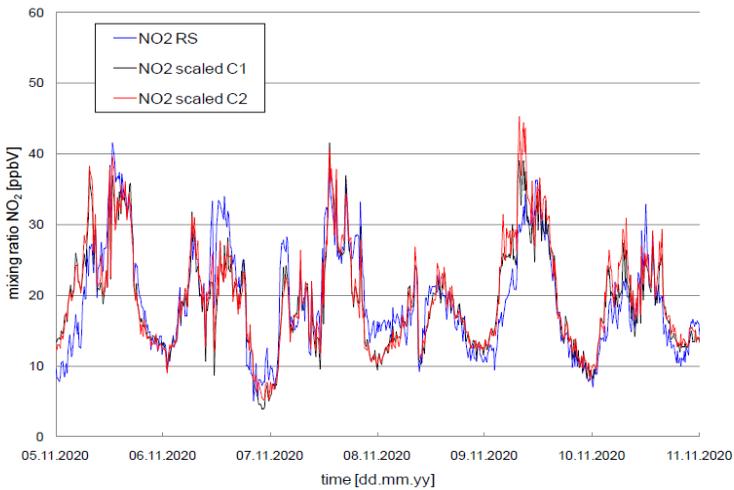


Рис.3 Щоденний часовий ряд вимірювання діоксиду азоту [1]

Перевірка сенсорних систем показала для більшості з них лінійну кореляцію ($R^2 \geq 0,78$) між сенсорними та контрольними даними.

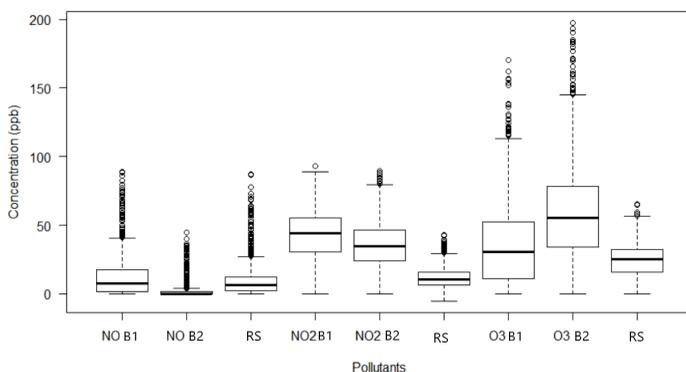


Рис.4 Діаграма розмаху забруднюючих речовин NO, NO₂, O₃

Незважаючи на це, що лінійна кореляція датчиків була хорошою, їх потрібно змінити за допомогою окремих функцій масштабування. Враховуючи отримані функції масштабування (нахил та зміщення), попередні дані можна дуже добре масштабувати до еталонних даних [1].

Висновок

Дані масштабованого NO₂ показали дуже хорошу відповідність даним пасивних пробовідбірників NO₂. Дослідження показує, що перевірені сенсорні системи можна використовувати для моніторингу викидів NO та NO₂ в районах аеропорту з високими концентраціями забруднення (автомобільні стоянки, автобусні зупинки, аеродром).

Завдяки невеликим розмірам і вазі, ці сенсорні системи надають можливість більш гнучких вимірювань: їх можна встановити в місцях, до яких важко отримати доступ зі стандартними пристроями. Однак для подальшої характеристики надійності цієї технології будуть необхідні довготривалі дослідження з аналізу старіння датчиків, впливу сезонності та інших кліматичних факторів, які можуть вплинути на вимірювання з часом.

Список літератури

1. R. Kurtenbach, K. Ulianova, R. G. Gibilisco, G. Villena, P. Wiesen 24th Transport and Air Pollution Conference in Graz, Austria (30.05.21 – 01.05.21).
2. David C. Carslaw: openair - An R package for air quality data analysis, pp. 52–61.
3. Airport Air Quality Manual ICAO Doc 9889 (Second Edition 2020).
4. European Commission: Measuring air pollution with low-cost sensors. Thoughts on the quality of data measured by sensors. With assistance of The European Commission's Joint Research Centre and DG Environment. Edited by Joint Research Centre

5. L Morawska: Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? 01.07.2019, pp. 286–299.
6. Réka Keresztes: Statistical analysis of air pollution with specific regard to factor analysis in the Ciuc basin, Romania, pp. 283–292.