МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ УНИВЕРЗИТЕТ
„ГАВРИЛО РОМАНОВИЧ ДЕРЖАВИН“
СВЕТИ НИКОЛЕ – БИТОЛА
РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА



ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА
СТУДИСКА ПРОГРАМА: СОФТВЕРСКИ ТЕХНОЛОГИИ

МАГИСТЕРСКИ ТРУД

ИНТЕЛИГЕНТНИ СЕНЗОРСКИ СИСТЕМИ ЗА МЕРЕЊЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ЗАГАДУВАЧИ ВО ВОЗДУХОТ

СТУДЕНТ: **МАРТИН СТОЈАНОВСКИ**
БРОЈ НА ИНДЕКС:
МЕНТОР: **ПРОФ. Д-Р САШО МАНАСОВ**

Свети Николе, 2023

СОДРЖИНА

Вовед ---------- 2

1. **Поставување на сензори за воздух: колокација** ---------- (3)
   - **1.1** Колокација на сензор за воздух ---------- (4)
   - **1.2** Корекција на податоци од сензор ---------- (11)
   - **1.3** Собирање на податоци, обезбедување квалитет и контрола на квалитет ---------- (18)
   - **1.4** Оценување: анализирање, комуникација и дејствување според резултатите ---------- (34)
2. **Перформанси на сензорите за воздух** ---------- (42)
   - **2.1** Преглед на перформансите на сензорите за воздух ---------- (42)
   - **2.2** Евалуација на перформансите на сензорите ---------- (43)
   - **2.3** Пристапи за проценка на перформансите на сензорите ---------- (46)
   - **2.4** Како да се изберат сензори ---------- (51)
3. **Мерење на загадувачи на воздух со хиперлокално мапирање** -------- (56)
4. **Ефекти од загадувањето врз здравјето на луѓето и животната средина** - ---------- (64)
5. **Колокација и корекција на податоци** ---------- (69)
6. **Практично истражување** ---------- (71)

Заклучно согледување ---------- (89)

Користена литература ---------- (95)

ВОВЕД

Загадувањето на воздухот е распространета опасност по квалитетот на животната средина која има големи влијанија врз здравјето на луѓето, предизвикувајќи многу болести што доведуваат до високи стапки на смртност и морбидитет во сите земји во светот, особено во земјите во развој. Затоа, контролата на загадувањето на воздухот е од витално значење и треба да биде на листата со врвни приоритети на владите. Понекогаш не се гледа одредено загадување на воздухот, но неговиот лут мирис нè предупредува.

Загадувањето на воздухот и натаму влијае врз општата здравствена состојба на луѓето во Европа, го намалува нивниот квалитет на живеење и го скратува животниот век. Освен тоа, загадениот воздух доведува до значителни економски последици, до растечки трошоци за медицинска заштита и, поради тоа загубени работни денови, до редуцирана продуктивност на целокупното стопанство. Извештај за квалитетот на воздухот во Европа се објавува секоја година, и опфаќа концентрација на различни штетни материи во воздухот и со тоа поврзана оптовареност во одделни земји од ЕУ. Податоците се добиваат од мерни станици низ цела Европа.

Доминантен извор на штетни материи во воздухот е сообраќајот. Ситната прашина доаѓа од моторите, претежно тие на дизел погон, кочниците, триењето на гумите, како и преку раздувување на прашина од улични површини во воздухот.

Сообраќајот е одговорен за концентрација на азотен диоксид и озон во градовите. Во градовите е присутна висока концентрација на штетен озон и на азотен диоксид. Азотниот диоксид е многу отровен и може да предизвика главоболки, вртоглавица, проблеми со дишењето и импотенција. Озонот исто така е одговорен за главоболки и ја надразнува слузокожата во грлото и бронхиите, предизвикувајќи кашлање, намалувајќи ја функцијата на белите дробови. Околу **98 %** од градското население во ЕУ во 2013 година било изложено на концентрации на озон кои „биле над дозволени граници утврдени од Светска здравствена организација“. Покрај тоа, околу **9 %** од жителите во градовите биле изложени на повисока концентрација на азот диоксид од дозволена според скалата на СЗО и прописите на ЕУ. Азотен диоксид настанува

при согорувањето на јаглен, нафта и гас. Во градовите посебно голем проблем е **сообраќајот**. **Озонот** главно е производ на издувните автомобилски гасови од кои се создаваат азотни оксиди во близина на земјината површина, под дејство на сончевите зраци.

1. Поставување на сензори за воздух: колокација (Collocation) и корекција (Correction)

Инструментите за следење на воздухот имаат потреба од периодични проверки за да се осигура дека функционираат правилно и генерираат висококвалитетни податоци. Агенциите за животна средина, кои се одговорни за работа со референтни монитори, рутински ги калибрираат инструментите, со тестирање со сертифицирани и познати стандарди за концентрации. Потоа ги користат резултатите од калибрацијата за да ги приспособат сетапите на инструментите да одговараат на сертифицирана или призната концентрација. Овој процес редовно се повторува и се следи за да се обезбедат точни податоци.

Најчесто користени термини за референтни инструменти?

- **Референтен монитор (Reference Monitor)**
- **Државен референтен метод (FRM - Federal Reference Method)**
- **Државен еквивалентен метод (FEM - Federal Equivalent Method)**
- **FRM/FEM монитори**

Сензорите за воздух исто така имаат потреба од периодични проверки, но често не можат да се калибрираат на ист начин како и референтните монитори. Наместо тоа, многу воздушни сензори се распоредени или работат рамо до рамо со референтен монитор за да се види дали произведуваат споредливи податоци. Наместо прилагодување на сетапите на инструментот, што често не е возможно за сензорите, необработените податоци произведени од сензорот можеби ќе треба да се прилагодат (како што е примена на мултипликатор и адитивен фактор на необработените податоци на сензорот) за да се подобри точноста. Ова прилагодување на податоците, исто така наречено **корекција**, им овозможува на

податоците од сензорот подобро да се совпаѓаат со податоците на референтниот монитор. Процесот **Колокација - Корекција** на собирање податоци и прилагодување на мерењата на сензорот детално е опишан.

Клучни дефиниции поврзани со процесот колокација - корекција:

Калибрација (Calibration) – процедури за проверка и прилагодување на поставки (сетапи) на референтен инструмент, така што произведените мерења се споредливи со заверена стандардна вредност.

Колокација (Collocation) – проверка на перформансите на сензорот за воздух со инсталирање и оперирање со сензорот за воздух блиску до референтниот инструмент.

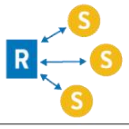
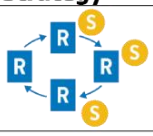
Корекција (Correction) - прилагодување на податоците од сензорот за воздух за да се зголеми нивната точност во однос на позната референтна вредност.

1.1 Колокација на сензор за воздух (Air Sensor Collocation)

Колокацијата вклучува проверка на перформансите на сензорите за воздух со поставување во близина или покрај референтен инструмент и оперирање со нив во исто време и место во реални услови. Колокации може да се случат на постојни локации за следење на квалитетот на воздухот, но бараат развивање односи со државни или локални агенции за следење на воздухот кои може да имаат различни ограничувања за дозволување колокации (на пример, ограничувања на просторот или моќноста, барања за пристап, проблеми со одговорност). Алтернативно, може да биде можно да се работи со академски партнери или изведувачи за да се сетира и да се оперира со референтен инструмент специјално за даден проект. Треба да се следат воспоставени процедури за контрола на квалитет и гаранција кога се работи со референтни инструменти. Идеално, сензорите треба да бидат поставени на околу **20 метри хоризонтално растојание** и **1 метар вертикално растојание** од референтниот инструмент. Сепак, протокот на воздух кон референтниот инструмент и сензорите мора да биде непречен.

Што ако референтниот инструмент е недостапен?

Алтернативно, сите сензори може да се соберат заедно дури и без референтен инструмент за подобро да се разбере колку добро се споредуваат нивните мерења. Со овие информации може да се спроведе студија за следење на воздухот, правејќи споредби во нашата мрежа на сензори. Но, ќе имаме помала доверба во пријавените концентрации и помалку ќе можеме да ги споредуваме резултатите со други студии или извори на податоци.

Key S sensor R reference instrument S_T sensor transfer ✓ yes ~ somewhat X no $ cost maintenance	**Collocation Strategy**			
				
	Periodic All Sensors All air sensors operate next to a reference instrument for short periods before and after the study and/or periodically.	**Continuous Subset** Some air sensors are continuously operated next to a reference instrument while others are deployed to other locations.	**Reference Transfer** A reference instrument visits each air sensor for a short period(s).	**Sensor Transfer** An air sensor collocated with a reference instrument, with known performance characteristics, visits each sensor location for a short period(s).
Continually check sensor performance	X	~	X	X
Capture a wide range of weather & pollution conditions	~	✓	~	~
All sensors tested at the same time	✓	~	X	X
All sensors tested against reference instrument	✓	✓	✓	X
All sensors tested at their sites	X	X	✓	✓
Additional equipment costs	$	$	$$$	$$
Frequent operator maintenance				

Слика 1: Стратегии за колокација на различни типови на сензори за воздух

Како што е прикажано на **Слика 1**, постојат низа потенцијални опции за колокација за да се исполнат различни логистички и буџетски ограничувања. Може да се користи комбинација на пристапи во зависност од должината на проектот, посакуваниот квалитет на податоци и други ограничувања или потреби на проектот.

Периодична стратегија за сите сензори. Сите сензори се распоредени со фиксен референтен инструмент на почетокот и на крајот на мониторинг-истражувањето. Во зависност од должината на истражувањето (студијата), колокација може да се случи периодично (на пример, сезонски, на секои 6 месеци, годишно) во текот на студијата.

Силни страни

- Сите сензори се тестираат во исто време за да се знае како се споредуваат;
- Сите сензори се споредуваат со референтен инструмент за ограничено време;
- Нема дополнителни трошоци за опрема ако може да се користи постоечки референтен инструмент;
- Сензори од помали мрежи може да се преместат без поголем напор.

Слаби страни

- Временските услови и условите за загадување на воздухот за време на колокацијата можеби не се репрезентативни за вистинските услови со кои се среќаваат сензорите кога се распоредени на нивните локации;
- Ќе биде потешко да се детектираат суптилни промени во перформансите на сензорот со текот на времето или промени во перформансите поради уникатни или краткорочни настани на загадување (на пример, краткотрајна сезонска бура од прашина) бидејќи сензорот не е трајно лоциран до референтен инструмент;
- Поместувањето на сензорите напред - назад помеѓу местото на колокација и нивните постојани места може да биде трудоинтензивно и да ја зголеми веројатноста за оштетување;
- За големи мрежи, можеби нема доволно простор или моќност на местото на колокација за сите сензори да се распоредат одеднаш.

Стратегија за континуирано подмножество (Continuous Subset Strategy). Сите сензори прво се распоредуваат на референтна локација. Потоа некои

сензори постојано оперираат до референтниот инструмент, додека други се распоредени на различна локација(и).

Силни страни

- Бидејќи некои сензори остануваат распоредени со референтен инструмент, сензорите се тестираат под широк опсег на временски услови и услови на загадување и може да се откријат промените во перформансите со текот на времето. Меѓутоа, овој пристап претпоставува дека сите сензори работат слично како еден(и) кои се постојано распоредени:
- Сите сензори се тестираат во исто време за да се знае како се споредуваат;
- Нема дополнителни трошоци за опрема ако може да се користи постоечки референтен инструмент;
- Сензори од помали мрежи може да се преместат без поголем напор.

Слаби страни

- Преместувањето на сензорите помеѓу местото на колокација и нивните постојани места може да биде трудоинтензивно и да ја зголеми веројатноста за оштетување;
- За големи сензорски мрежи, може да нема доволно простор или моќност на локацијата за сите сензори да се распоредат одеднаш;
- Ако распореденият сензор падне (не работи) и треба да се замени, повеќе не знаеме какви се перформансите на новиот сензор во споредба со другите сензори во мрежата. Може да размислиме да оставите неколку сензори распоредени со референтниот инструмент.

Потенцијална модификација

- Ограничувањата на просторот и моќноста може да диктираат дека не можат сите сензори да се распоредат одеднаш на референтната локација. Алтернативно, сензорите може да се распоредат во серии. Или сензорите може да се распоредат на друго место за да се разбере како сензорите се споредуваат еден со друг и само мало

подмножество потоа продолжува да се распоредува на референтната локација.

- Сензорската мрежа може да расте со текот на времето или делови од мрежата можеби ќе треба да се заменат поради староста на сензорот. Во овие случаи, сериите на сензори може да бидат collocated непосредно пред да се прошири/замени мрежата.

Референтна трансфер стратегија (Reference Transfer Strategy). Референтниот инструмент го посетува секој сензор за краток временски период. Оваа стратегија може да биде корисна за карактеризирање на перформансите на мрежата од сензори во текот на долгорочна студија.

Силни страни

- Сите сензори се споредуваат со референтен инструмент за ограничено време. И сензорот и референтниот инструмент ги искусуваат истите извори на загадување и концентрации и временски услови за време на колокацијата;
- Сензорите не треба да се преместуваат на друга локација по нивното првично распоредување, со што се минимизираат шансите за оштетување.

Слаби страни

- Временските услови и условите за загадување на воздухот или перформансите на сензорот може да се менуваат помеѓу периоди на колокација;
- Не се тестираат сите сензори во исто време, под исти услови;
- Може да биде скапо да се добие, оперира, преместува и одржува референтниот инструмент;
- На некои места можеби нема да може да се смести распореден референтен инструмент (на пример, сензорот е поставен на столб или во необезбедена област).

Совет: Сензорите за колокација се сетираат на местото каде се распоредени. Треба да се провери дали местото на колокација има слични

карактеристики со местото каде што се распоредени сензорите. На пример, не треба да се поставуваат сензори во близина на пат и потоа да се применуваат тие резултати на сензорска мрежа во рурална област.

Стратегија за пренос на сензори (Sensor Transfer Strategy). Сензор, или инструмент за истражување, со познати карактеристики на изведба, се носи на секоја локација каде што е распореден сензорот. Со цел најдобро да се знаат карактеристиките на изведба на сензорот, сензорите што се користат во оваа стратегија обично се остваат распоредени со референтен инструмент кога не се преместуваат низ мрежата.

Силни страни

- Сите сензори се споредуваат со сензор или инструмент за истражувачка класа со познати перформанси за ограничено време; И двата го доживуваат истиот извор на загадување и концентрации и истите временски услови за време на колокацијата;
- Помалку скапо и трудоинтензивно е да се транспортира сензор или инструмент за истражување низ мрежата.

Слаби страни

- Се претпоставува дека перформансите на патувачкиот сензор или инструмент за степен на истражување не се менуваат кога се преместува од локација до локација, што може да не е точно ако се променат изворите на загадување или концентрациите;
- Тешко е да се откријат суптилните промени во перформансите со текот на времето;
- Активираните сензори не се тестираат на референтен инструмент, што го отежнува квантифицирањето на точноста на секој сензор;
- Сензорите не се тестираат во исто време, така што не може да се одреди како еден сензор се споредува со друг.

Колокацијата вклучува некои критични прашања што треба да се земат предвид, како што се:

- Каков референтен инструмент треба да се користи?

- Колку често треба да се прави колокација на сензорите? Континуирано (секој ден) или периодично (различни сезони)?
- Колку долго треба да се прави колокација на сензорите за да измериме доволно варијации во целиот опсег на временски услови (на пример, T, RH) и целиот опсег на концентрации на загадувачи?
- Дали треба да се прави колокација на сите сензори истовремено на една централна локација или да преместиме референтен инструмент на секоја локација на сензорот за воздух (т.е. да го тестираме секој сензор во неговата околина)?
- Каде треба да се прави колокација на сензорите за да локацијата личи на своја област за распоредување на сензори?
- Колкав напор и каков тип на опрема (или пристап до неа) е вклучен?

Општи совети за колокација

- **Колокација за соодветен број денови** за да се карактеризира одговорот на сензорот во опсег на временски услови и услови на концентрација на загадувачи. Некои од предложени денови за колокација за податоци собрани во различни временски интервали вклучуваат:
  - 24-часовни податоци: Околу 30 дена од колокација;
  - 1-часовен податок: Околу 14 дена од колокација;
  - 5-минутни податоци: Околу 7 дена од колокација.
- Да се лоцира сензорот што е можно поблиску до референтниот инструмент, така што уредите го мерат истиот квалитет на воздухот. Ако се користи постоечка локација за следење на квалитетот на воздухот, ќе треба тесно да се соработува со државна или локална агенција за животна средина за да се пристапи до нивните референтни инструменти и складиште на податоци. Треба да се има на ум дека некои агенции можеби нема да дозволат на пошироката јавност да распоредува сензори на нивните локации.
- Треба да се измерат метеоролошките услови (T, RH, брзина на ветер, насока на ветер) бидејќи перформансите на сензорот може да бидат засегнати од временските услови. Државната или локалната агенција за животна средина може да ги измери на нивната локација за следење на

воздухот. Мерењата може да бидат достапни и од близок аеродром или национална метеоролошка служба или слична услуга за податоци.

1.2 Корекција на податоци од сензор (Correction of Sensor Data)

Резултатите добиени од колокација може да се користат за корекција на податоците од сензорот, за поблиску да се совпаѓаат со податоците добиени од референтниот инструмент. Овој процес на корекција помага да се пресметаат познати пристрасности и непознати пречки од временските услови и други загадувачи и обично се прави со развивање на алгоритам. Алгоритам може да биде едноставна равенка или пософистициран процес (на пример, збир на правила, машинско учење) што се применува на податоци добиени од сензор.

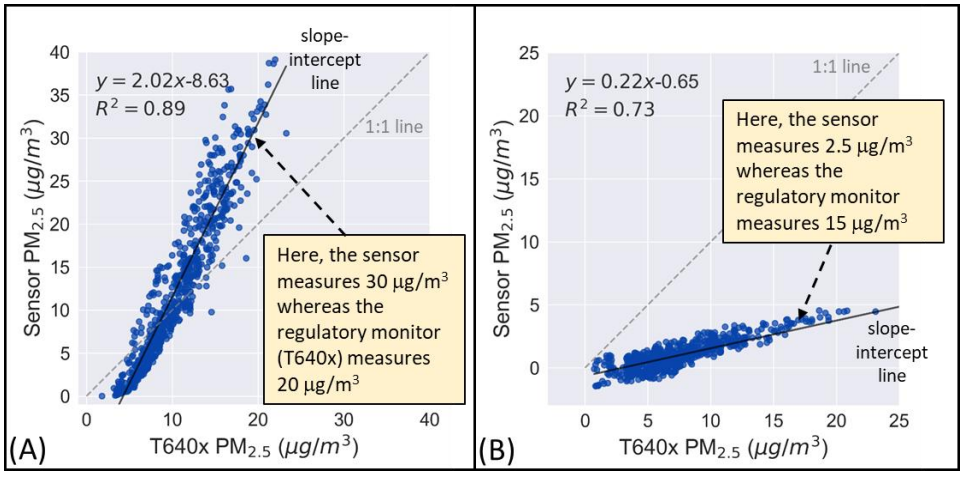
Прв чекор во корекција на податоците од сензор е да се споредат податоците за колокација добиени од сензорите и референтниот монитор, осигурувајќи се дека е усогласено времето на земање примероци и просечните периоди за двата извора на податоци. Треба да се забележат временските зони и дали се користи летно сметање на времето. На пример, за да се споредат податоци од 1-минутен сензор за воздух со референтни податоци од 1 час, корисниците ќе треба да пресметаат просек од 1 час на податоците од сензорот (т.е. просек од 60, 1-минутни вредности). Корисниците треба да се погрижат просечните методи да се совпаѓаат и за сензорските и за референтните податоци. Просеците може да бидат **временски почеток** (на пример, просек од 1 час пресметан од мерења собрани помеѓу 12:00 и 12:59 часот е доделен на 12:00 часот) или **временски крај** (на пример, просек од 1 час пресметан од мерења собрани помеѓу 12:00 и 12:59 часот е доделен во 13:00 часот).

Податоците од сензорот и референтниот монитор може да се споредат со креирање на дијаграм за расејување (scatter plot) за да се визуелизира поврзаноста. На **Слика 2** е прикажан пример за расејување. На оваа слика податоците од референтниот инструмент, во овој случај T640x, се прикажани долж хоризонталната x-оска и податоците од сензорот се прикажани на вертикалната y-оска. Секоја точка прикажана на сликата претставува мерење направено во одреден момент во времето. Со цртање линии вертикално и хоризонтално од секоја точка, може да ја најдеме референтната концентрација и концентрацијата на сензорот пријавени во секој временски интервал. Ако

сензорот и референтните мерења совршено се согласуваат еден со друг, сите точки ќе лежат по линијата 1:1 прикажана во **сиво**. Честопати има несогласување и се открива дека сензорот секогаш може да мери малку повисоко или пониско од референтниот инструмент. Ова несогласување се нарекува пристрасност и понекогаш може да се создаде алгоритам за да се коригираат податоците од сензорот и да се елиминира пристрасноста.

Може да се види дека точките се групираат по линија или крива. Ако е така, можеби е можно да се создаде алгоритам или равенка што ја опишува врската помеѓу сензорот за воздух и референтните податоци. Најчеста и често погодна равенка за корекција е обичната линеарна регресивна равенка со најмали квадрати (the ordinary least-squares linear regression equation). Функцијата за одредување равенка на линеарна регресија е добро воспоставена во многу софтверски пакети (на пример, Excel, R) и е достапна и со помош на Excel-based Macro Analysis Tool на U.S. EPA (**Macro Analysis Tool**).

На Слика 2 панел А, наклонот (the slope) е **> 1** (m = 2,02) и мерењата на сензорот се повисоки од мерењата на референтниот монитор кога концентрациите се над **8,5 µg/m³**. Ова е пример за сензор кој ги **преценува** концентрациите на загадувачите. Во панелот В, наклонот е **< 1** (m = 0,22) и сите мерења на сензорот се помали од мерењата на референтниот монитор. Ова е пример за сензор кој ги **потценува** концентрациите на загадувачи. **Наклон еднаков на 1** ќе укаже на совршена согласност помеѓу сензорот и референтните податоци.



Слика 2: Пример за обична регресија со најмали квадрати (the Ordinary Least-Squares Regression)

Мерка за тоа колку податочните точки се блиску до **линијата на наклон-пресек** (slope-intercept line), претставена со $\mathbf{R^2}$, се нарекува **коефициент на определување** (coefficient of determination). Оваа вредност ја опишува количината на расејување во податоците.

$\mathbf{R^2}$ се движи од **0** до **1**, каде што вредности поблиску до **1** укажуваат на посилна корелација или согласност помеѓу сензорот и референтните податоци. Вредност поблиску до **0** укажува на недостаток на согласност.

Што е обична регресивна равенка со најмали квадрати (Ordinary Least-Squares Regression Equation)?

Вообичаен алгоритам за корекција е линиска равенка „што најдобро одговара“ („**best-fit**“), изведена со користење на обична регресија на најмали квадрати:

$$\mathbf{y = mx + b}$$

Каде:

y = мерење на сензор

m = наклон на регресивна линија (the slope of the regression line)

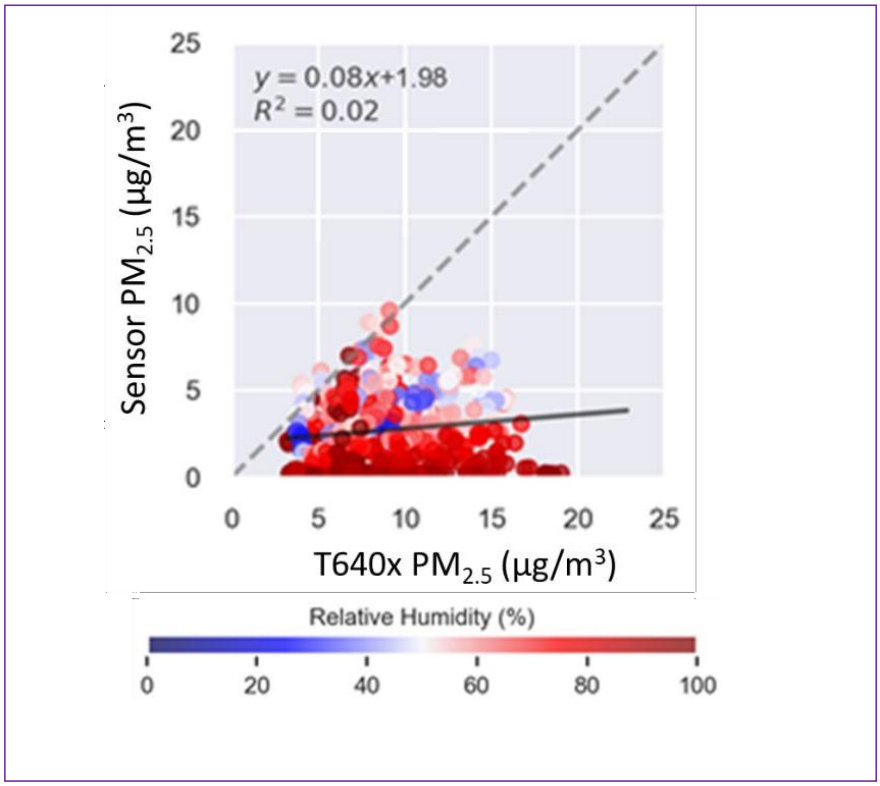
x = мерење на референтен монитор **b = y - пресек** на регресивната линија (b = the y-intercept of the regression line).

Наклонот (**m**), кој може да биде позитивен или негативен, покажува колку се слични мерењата на сензорот со референтните мерења. Колку е поблиску „**m**“ до **1**, толку повеќе сензорот реагира како референтниот инструмент. Пресекот (b) покажува какво ќе биде мерењето на сензорот, во просек, кога референтниот инструмент мери нулта концентрација. Заедно, пресекот и наклонот ја опишуваат пристрасноста на сензорот.

Равенките за линеарна регресија исто така го вклучува коефициентот на определување ($\mathbf{R^2}$), кој се движи од **0** до **1**. $\mathbf{R^2}$ ја мери количината на расејување

на податоците и колку точките на податоци се блиску до линијата „**најдобро одговара**“. Вредностите на **R^2** поблиску до **1** укажуваат на посилни корелации или помалку расејување на податоци.

Некои сензори, како на пример оној што е прикажан на Слика 3, може да не покажат силна согласност со референтниот инструмент (**R^2** поблиску до 0). Понекогаш распрснувачките точки изгледаат како расфрлање точки, наместо групација на точки што личат на права. Ова често значи дека обичната линеарна регресивна равенка со најмали квадрати не е соодветна за корекција на податоците од сензорот. Ова може да значи дека податоците не се поправливи или употребливи, но понекогаш може да значи дека може да биде потребен покомплексен алгоритам или равенка. На пример, корисникот може да избере да примени мултилинеарна регресија (multi-linear regression) бидејќи одговорот на сензорот е поврзан не само со концентрацијата на загадувачот, туку и со друга променлива, како RH или концентрација на друг загадувач.



Слика 3: Пример за сензор што не покажува согласност со референтниот инструмент

Развивањето на алгоритми за корекција е активна истражувачка област со нови пристапи и методи кои веројатно ќе се развиваат со текот на времето. Некои истражувања примениле мултилинеарни регресии, полиномни спојувања, посложени модели, па дури и машинско учење. Разбирањето на алгоритмот за корекција е од суштинско значење за да се обезбеди следливост од необработени до коригирани податоци и за разбирање на факторите кои влијаат на мерењето. Сложени или алгоритми на „црна кутија“ можеби звучат ветувачки, но често претпочитаат едноставни, разбирливи алгоритми.

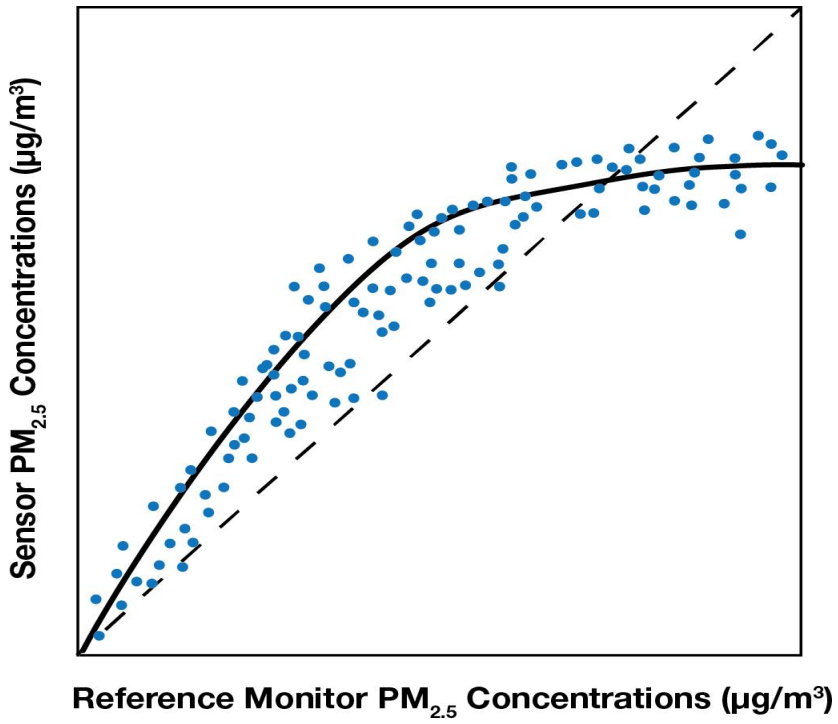
Дали постојат други метрики што ги опишуваат перформансите на сензорот?

Грешка (Error) е мерка за несогласување помеѓу концентрациите на загадувачите пријавени од сензорот и референтниот инструмент.

Се користат неколку метрики за да се опише грешката, вклучувајќи: Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE) и Mean Absolute Error (MAE). Секоја метрика има поинаква дефиниција и пресметка.

Сензорот за воздух може да реагира различно во целиот опсег на концентрација на загаден воздух. На пример, на **Слика 4** е прикажан линеарен одговор во однос на референтни податоци при пониски концентрации и нелинеарен одговор над оваа концентрација.

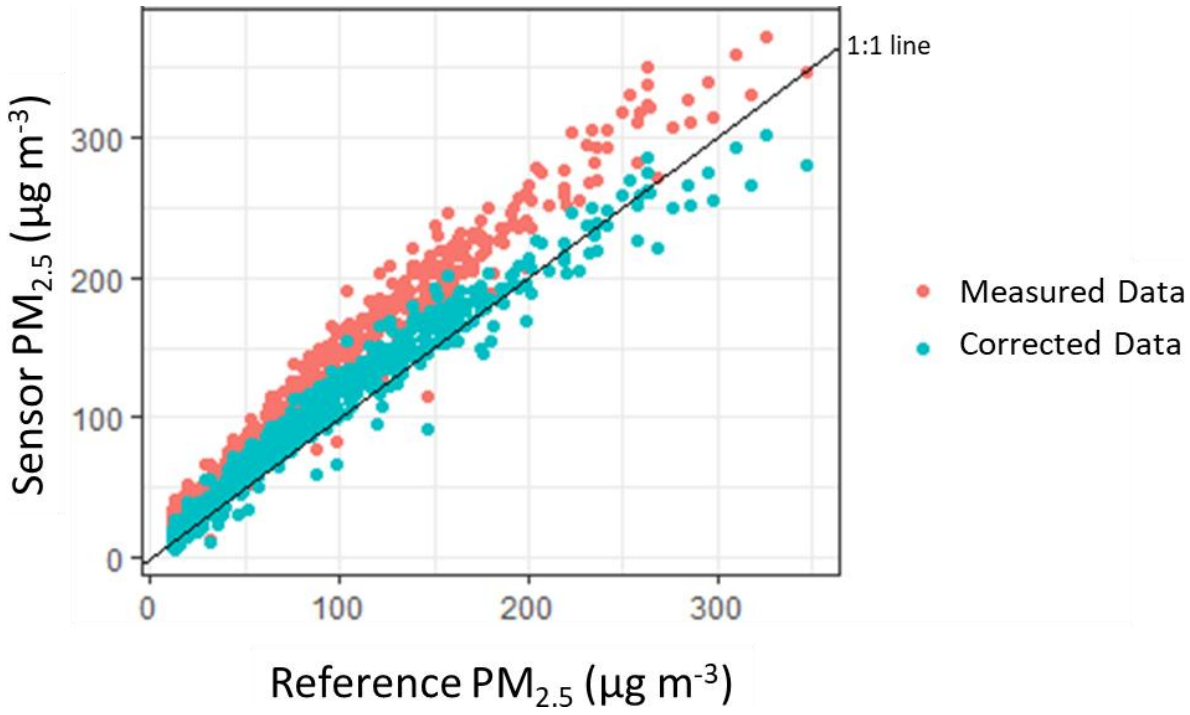
Така, еден тип на равенка за корекција може да не се применува во целиот опсег на концентрации.



Слика 4: График на расејување (Scatter Plot) кој покажува дека сензорот за воздух има линеарен одговор при пониски концентрации и нелинеарен одговор при повисоки концентрации

Слика 5 претставува пример за корекција со користење на линеарна регресивна равенка изведена од сензорски и референтни податоци. Во овој пример, поправените мерења на сензорот се добиваат со преуредување на равенката на линијата „најдобро одговара“ (т.е., **y = mx + b**) за да се реши „x“, каде што „x“ е еднакво на коригираното мерење на сензорот. Корисниците можат да ги коригираат податоците од сензорот користејќи го алгоритмот за поблиску да се совпаѓаат со референтните податоци. Некои производители на сензори применуваат корекции на податоци на сензорот или во облак. Исто така, некои системи за управување со податоци можат да применат корекција. Во секој од овие случаи добра практика е да се праша производителот за какви било корекции извршени на податоците и целосно да се разбере како се коригираат податоците од сензорот за воздух.

$$Corrected\ Sensor\ Data = \frac{Measured\ Sensor\ Data - b}{m}$$



Слика 5: Пример за корекција на податоци на Air Sensor

Понекогаш графиците на расејување може да личат на примерите прикажани во овој дел, но имаат само неколку точки на податоци што се појавуваат далеку од линијата за линеарна регресија. Овие точки се нарекуваат **оддалечени**. Понекогаш овие точки на податоци може значително да ги променат резултатите и наместо линеарната регресивна линија да минува низ средината на повеќе точки на податоци, може да изгледа дека се движи на едната страна. Ова укажува дека оние сомнителни откачени вредности треба да се истражат малку повеќе пред да се толкуваат резултатите. Создавањето график на временски серии или график на концентрации на сензорот и референтниот инструмент во функција на времето, може да покаже скокови на податоци (податоци со повисоки концентрации) од еден или повеќе од инструментите. Корисниците можеби ќе сакаат да ги испитаат овие шпицови за да размислат дали се вистински или не.

Некои шпицови може да претставуваат покачени концентрации на загадувачи на отворено. На пример, концентрациите на честички (PM) може да се зголемат за краток временски период поради **активностите на косење** во близина. Други скокови можеби не ги одразуваат реалните промени во концентрациите на загадувачите и наместо тоа, може да укажат дека нешто не е во ред со уредот, како што е евиденција на податоци или грешка на уредот. Ако

се верува дека скоковите се лажни, корисниците може да размислат дали постои рутински начин за откривање и отстранување на лажните податоци. Ако може да се развие рутински метод, тој треба да биде документиран или испишан за да може методот да се пренесе, а сите податоци ќе се третираат слично. Користењето рутински метод за идентификување и отстранување на лажни шпицови обично е наречено **чистење на податоци**. По чистењето на податоците, линеарната регресија може повторно да се пресмета и да се примени на преостанатите податоци за да се заврши корекцијата на податоци.

1.3 Собирање податоци, обезбедување квалитет и контрола на квалитет и управување со податоци

Со добро поставено прашање, креиран план и правилно поставени сензори по колокација, време е да се соберат податоците. Има многу активности вклучени во собирањето податоци, освен едноставно вклучување на сензорот и собирање на мерењата. На корисниците ќе им треба дополнителна подготовка пред и за време на активностите за собирање податоци за да се осигураат дека се собираат корисни податоци.

Постојат различни активности за собирање податоци, проверки за обезбедување квалитет/контрола на квалитет (QA/QC) и типични компоненти на системите за управување со податоци (DMS - data management systems).

1.3.1 Активности за собирање податоци

Собирањето податоци со добар квалитет, целосни и на крајот употребливи, бара внимание на неколку задачи за надзор откако ќе почнат да работат сензорите за воздух. Овие задачи вклучуваат:

Често прегледување на податоците (Frequent data review). Честото прегледување на податоци (на пример, дневно, неделно) ни овозможува рано откривање на проблеми, забележување на трендови во податоците, осигурување дека активностите за одржување се завршени и се запознаваме со повторливите обрасци. На пример, исцртувањето на податоци, без разлика дали се во временска серија (т.е. заплет со концентрации на загадувачи на у-оската и

датумот и времето на x-оската) или друга форма, може да биде добро место за почеток. Може да се видат типични обрасци, како што се **ниски концентрации во утринските часови** или да идентификуваме кога се случуваат **епизоди со високо загадување**.

Овие прегледи на податоци ни помагаат да развиеме општо чувство за квалитетот на воздухот во некоја област под различни услови. Кога се познати типичните услови, станува полесно да се идентификува времето кога отчитувањата на сензорот се атипични и зошто се случуваат овие атипични отчитувања (на пример, дали сензорот за воздух функционира? Дали е присутен чад од шумски пожар? Дали временскиот шаблон е одговорен за повисоки нивоа?).

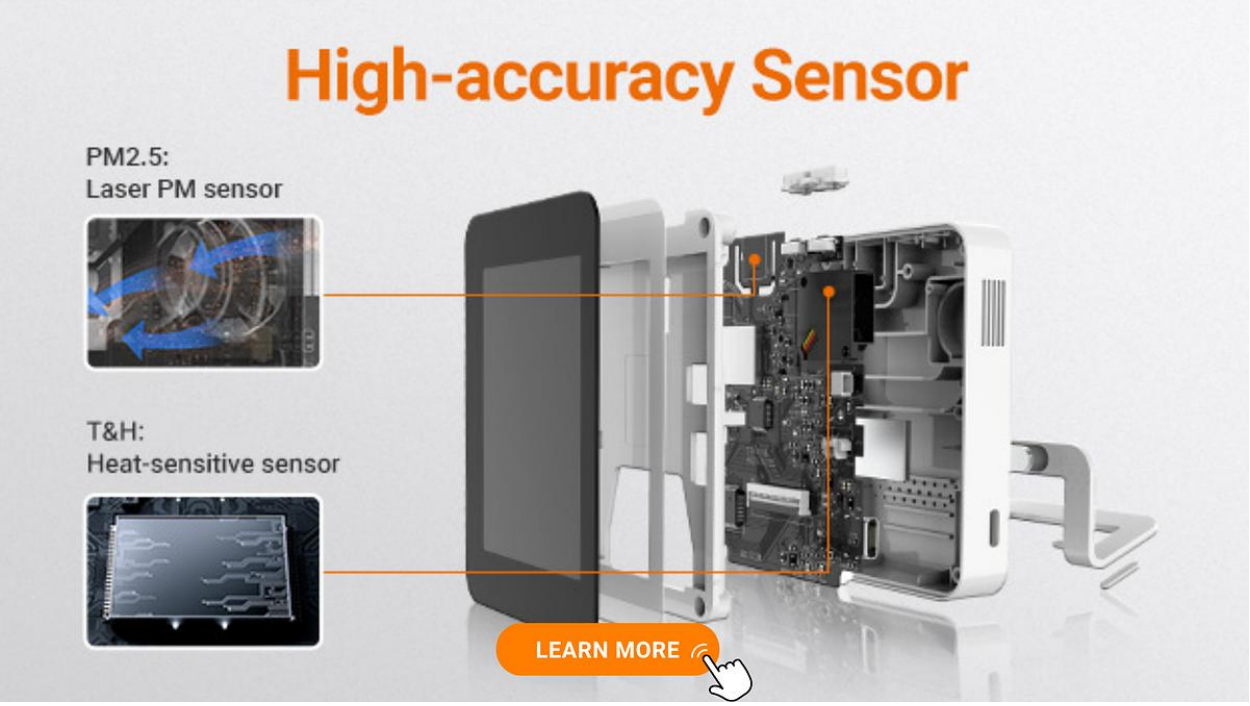
Придобивки од често прегледување на податоците

- Брзо идентификување и решавање на проблемите;
- Минимизирање на загубата на податоци;
- Рано откривање вистински настани со високо загадување;
- Разбирање како се менува квалитетот на воздухот:
    - Во текот на денот
    - За време на викенд наспроти работен ден.

Одржување. Како и другите форми на технологија, сензорите за воздух бараат превентивно одржување за да се обезбеди правилна функционалност и доверливо собирање податоци. Активностите за одржување се неопходни и за краткорочни и за долгорочни операции. Одржувањето на сензорот за воздух вклучува редовно закажано чистење на површините или доводите за да се спречи таложење на бубачки или прашина, замена на филтри или замена на компонентите на детекторот на сензорот како што стареат.

Одржувањето може да вклучува и испитување на условите на локацијата за какви било промени (на пример, вандализам, обраснати дрвја).

Со правилно одржување на уредот со сензор за воздух, може да се намалат грешките во собирање податоци, да се продолжи работниот век на уредот и да се заштедат пари, што инаку би биле потрошени за замена на делови и услуги за поправка.



Слика 6: Сензор со висока точност

Решавање проблеми. Веројатно ќе се појават проблеми со сензорите за воздух (на пример, не се прикажуваат податоци) и може да се бара да се предефинираат проблемите за да се реши проблемот и да се продолжи со собирањето податоци. Решавањето на проблемите може да вклучува преиспитување на сензорот, контактирање со производителот, барање насоки од други корисници на сензори за воздух или други активности.

Проверување на контролата на квалитет. Важно е често да се прегледуваат податоците за појавени проблеми, како што е оддалечување (на пример, податоци кои се значително различни од други вредности на податоци), поместување, итн. Некои производители на сензори може да понудат софтверски пакет или онлајн кориснички интерфејс што има некои автоматизирани проверки на податоци за да помогнат во овој процес. Треба да се има предвид дека автоматските проверки можеби нема да приметат суптилни проблеми (на пример, сензорот за гас полека се деградира и ја губи својата реакција) или може да означи настан од реалниот живот или многу високи концентрации (на пример, високи концентрации на PM2,5 од чад од шумски пожари) како лоши податоци.

Периодична колокација. Колокацијата може да помогне да се измери точноста на сензорот, додека периодичните проверки можат да помогнат да се осигура дека точноста не се менува со текот на времето или во различни услови. Корисниците треба да развијат пристап за колокација или да ја користат препораката на производителот да спроведат периодично колокација за да го проверат квалитетот на мерењата на сензорот за воздух.

1.3.2 Проверки за да се обезбеди квалитет и контрола на квалитетот

Обезбедување квалитет (QA - Quality assurance) и **контрола на квалитетот** (QC - quality control) се суштински компоненти на проектот што ќе осигури дека се собираат веродостојни и корисни податоци (Слика 6.1). **Обезбедувањето квалитет** се состои од планирани чекори за управување со проектот и собирање, оценување и прегледување на податоците. Пример за **обезбедување квалитет** е **развивање план за следење на воздухот** за да се обезбеди идентификација на сите задачи или чекори за прегледување на податоците од сензорот за воздух и потврдување дека сензорот работи правилно. **Контролата на квалитет** вклучува чекори преземени за да се намали грешката од инструментите или мерењата за време на проектот. Процедурите за **контрола на квалитет** се активности кои вклучуваат колокација, корекција на податоци, одржување, автоматска проверка на податоците и преглед на податоците. Во суштина, QA е планирање, а QC е акција преземена за производство на висококвалитетни податоци. QA/QC се важни компоненти на проектот кои ќе помогнат да се осигура дека се собираат веродостојни и корисни податоци.

Без оглед на тоа дали корисникот ги презентира резултатите како писмен извештај, усна презентација или преку разговор, корисниците треба:

- јасно да го опишат пристапот,
- добиените мерења,
- спроведените проверки за QA/QC и
- толкувањето на податоците.

Ако некоја од овие компоненти недостасува или не е добро извршена, кредибилитетот на добиените податоци ќе се намали.



Слика 6.1: Дефиниции за обезбедување квалитет (Quality assurance) и контрола на квалитет (quality control)

Податоците добиени од сензорот треба да се проверуваат и да се споредуваат со референтните податоци во близина на поставувањето (за да се осигура дека податоците изгледаат разумни) и често да се прегледуваат (пример, дневно, неделно) за да се идентификуваат проблемите брзо и да се утврди дали податоците се нормални или ненормални.

Во **Табела 1** се прикажани препорачаните проверки на **контрола на квалитет** коишто може да се извршат на сензорот за воздух и на неговите податоци. Проверките се дизајнирани да ги откријат проблемите рано, да ги поправат и да создадат корисен, висококвалитетен сет на податоци.

Табела 1: Вообичаени проверки на контрола на квалитет

Проверка на контрола на квалитет	**ОПИС**
Единици	Да се провери дали сензорот ги дава податоците во правилни мерни единици.
Време	Да се провери дали сензорот прикажува податоци во точно време и во вистинска временска зона. Да се провери времето по сезонски промени на време (летно сметање на времето).
Временски	Да се определи временскиот печат, кое е времето кога податоците се печатени (т.е. означени) од инструмент.

печат (Timestamp)	Мерењата и просеците на податоци ќе имаат времиња кои или го претставуваат почетокот на временскиот период (временски почеток) или на крај на периодот (време кога завршува).
Соодветни временски печати (Matching Timestamps)	Да се проверат временските зони и временските печати за секоја база на податоци за да се биде сигурен дека тие се слични кога се споредуваат мерењата направени од различни инструменти.
Преглед на податоци	Често да се проверуваат податоците (дневно, неделно) за да се откријат проблеми рано, да се идентификуваат трендовите во податоците, и да се биде сигурен дека активностите за одржување се завршени.
Комплетност на податоци	Комплетноста ја мери количината на податоци што ги собира сензорот во споредба со количината на податоци што може да се соберат доколку сензорот работи континуирано, без прекини на податоците, во текот на одреден период (на пример, 1 час, 1 ден). Нивото на комплетност од **75 %** е корисен критериум што треба да се исполни бидејќи просечните податоци се генерално репрезентативни за тој временски период. На пример, потребни се најмалку 45 мерења од 1 минута за да се направи валиден просек од 1 час на 75 % комплетност.
Автоматска проверка на податоци	Апликативен софтвер може да проверува податоци за проблеми и оддалечени податоци. Треба да се провери системот за управување со податоци за овие и други проверки на податоци. Да се има предвид дека некои проверки на податоци може да не забележат суптилни проблеми (на пример, сензорот за гас се деградира и полека ја губи својата реакција) или може да означат редок настан или многу високи концентрации (на пример, високи концентрации на PM2,5 од чад од шумски пожари) како лоши податоци. Не треба да се ослонуваме само на автоматската контрола на квалитет за да го провериме квалитетот на податоците. Секогаш треба да се прават чести рачни прегледи на податоците. Вообичаената автоматска контрола вклучува: • **Опсег**. Да се проверат минималните и максималните очекувани концентрации и да се препознае дека некои сензори за воздух може да пријават малку негативни вредности. • **Стапка на промена** (Rate of Change). Да се провери разликата во вредностите на податоците од сензорот за воздух помеѓу два последователни временски периоди (на пример, часови). Да се означат податоците ако разликата или стапката на

	промена ја надминува вредноста поставена од корисникот. На пример, **невообичаено е да скокаат концентрации на PM2,5** повеќе од **100 µg/m^3** од еден час до следниот, освен ако не е присутен значителен извор, како чад од шумски пожар или огномет. Така, ако вредноста за проверка на стапката на промена е поставена на 100 µg/m^3, зголемувањето од 70 µg/m^3 на 200 µg/m^3 помеѓу последователни часови би ја надминало проверката на стапката на промена. • **Лепење** (Sticking). Да се провери дали вредностите на податоците се „**заглавени**“ („stuck“) на иста вредност за одреден број часови. Да се воспостават критериуми за број на последователни часови за кои податоците може да се пријават со иста вредност. На пример, невообичаено е концентрациите на **PM10** да останат во иста концентрација неколку последователни часа. Ако бројот на часови на концентрација е поставен на три, а концентрацијата на PM10 е иста вредност повеќе од три последователни часа, тоа може да укаже на заглавена вредност. • **Споредба на дупликат сензор**. Некои сензори инкорпорираат две идентични компоненти за сензори внатре, кои обезбедуваат две посебни мерења на концентрација на загадувачите. Треба да се провери согласноста помеѓу отчитувањата и податоците заради означување ако разликата надминува прифатлив праг. • **Buddy систем** (Buddy System). Да се провери разликата помеѓу вредностите на податоците добиени од една локација и просечните вредности на податоци добиени од други локации во близина. • **Параметар до параметар**. Да се проверат два или повеќе загадувачи за познати или очекувани физички или хемиски врски. На пример, **PM2.5 треба да биде помал од PM10** измерен на исто место и време, а **концентрациите на NO_2 и O_3 честопати се обратно корелирани** (т.е., кога **O_3** е висок, **NO_2** е типично помал).
Рачна валидација на податоци	• Да се оцени квалитетот на податоците за време на фазата на собирање за проектот за да се идентификуваат и поправат потенцијалните проблеми што може да се појават. За да се

	постигне ова, треба да се анализираат податоците за да се идентификуваат сезонски, ден/ноќ и работни денови/викенди - временски промени. Отсуство на очекувани обрасци може да укаже на проблем со сензорот или со пристапот на мерење.

Многу од проверките на **контрола на квалитетот** во Табела 1 ќе помогнат да се оцени квалитетот на податоците добиени во фазата на собирање за да се идентификуваат и поправат вообичаените проблеми пронајдени во податоците од сензорот за воздух. Вообичаените проблеми во податоците се:

- **Дрифт** (Drift) се однесува на постепена позитивна или негативна промена во одговорот на сензорот со текот на времето поради различни причини (на пример, стареење на компонентата на сензорот). **Дрифтот** може да ги наведе корисниците погрешно да заклучат дека концентрациите се зголемиле или намалиле со текот на времето. Некои начини за намалување на наносот вклучуваат често изведување на процес на корекција на колокација или често одржување на сензорот.

- **Интерференти** и **инфлуенси** вклучуваат фактори кои ја попречуваат, опструираат способноста на сензорот да обезбеди висококвалитетни мерења. Друг загадувач кој го попречуваат мерењето на целниот загадувач понекогаш се нарекува **вкрстена чувствителност** (cross-sensitivities). На пример, оксидантите (на пример, **O_3**) во воздухот може да се мешаат со **електрохемиските сензори** што се користат за мерење на **NO_2**, и високата содржина на влага (на пример, над 85 проценти RH), што може да предизвика **PM сензорите за воздух** кои користат **оптички технологии** да ги преценат концентрациите на PM. **Остатоци**, **нечистотија** и **инсекти** исто така можат да влијаат на перформансите на сензорот. **Интерферентите** и **инфлуенсите** може да ја променат прецизноста на сензорот, а сензорот може да биде под влијание на неколку различни фактори истовремено. Производителите понекогаш откриваат кои загадувачи и временски услови може да влијаат на перформансите на сензорот, но можеби нема да опишат колку ќе биде засегнат сензорот. Пред да користиме сензор за мерење на квалитетот на воздухот, треба да размислиме дали можните пречки

од сензорот ќе бидат присутни во воздухот од кој треба да се земе примерок и да провереме кај производителот за потенцијални пречки и како да ги минимизираме нивните ефекти, ако е можно.

- **Сите измерени параметри може да не се пријавени** во базата на податоци. Многу сензори известуваат за неколку податоци, вклучувајќи концентрации на загадувачи, температура (T), релативна влажност (RH) и многу повеќе. Бидејќи податоците може да доаѓаат од неколку компоненти во уредот (на пример, концентрацијата на загадувачот доаѓа од една компонента, T/RH од друга), можно е делови од протокот на податоци да недостасуваат додека други се присутни. Треба да се прегледа секој параметар посебно за да се осигураме дека сите компоненти се прикажуваат правилно.

- **Неочекувано време на прекин** поради, на пример, губење на напојување и поголеми напони на енергија, може да влијае на перформансите на сензорот за воздух, со тоа што ќе предизвика сензорите да се исклучат, рестартираат или да го прекинат преносот на податоци. На пример, сензорот за воздух кој има подолг период на загревање може да покаже празнини во податоците или неконзистентни податоци кога ќе дојде до губење на струја. Недостатоци во податоците и значителна загуба на податоци поврзани со неочекуван прекин може да ги спречат корисниците да соберат целосен, валиден сет на податоци.

- **Може да се појават неочекувани проблеми** во многу инструменти за следење, сензори за воздух и друга електронска опрема. Во некои случаи, скок на концентрацијата (на пример, скок на податоци, оддалеченост) може да биде предизвикано од електронски или други проблеми поврзани со уредот. Сепак, скокот може да биде валидно мерење и понекогаш може да биде тешко да се направи разлика. Локалните набљудувања може да помогнат да се толкуваат податоците. На пример, набљудување на некој како пуши во близина на PM сензор и гледање на соодветно краткорочното зголемување на

концентрациите на PM, би покажало дека ова е валидно мерење (т.е. сензорот реагирал на чадот), иако мерењето не ги претставува општите услови за квалитетот на воздухот во тоа време. Накратко, спроведувањето на проверки за QA/QC за проект е важно бидејќи тие помагаат да се обезбеди квалитет на податоците и ни овозможуваат да ги решиме вообичаените проблеми доколку се појават. Да се има достапни информации за QA/QC е исто така важно ако тоа го побара секој што сака да ги користи податоците.

Како да потврдам дека мојот сензор работи правилно ако нема референтни монитори во близина?

Иако се препорачува корисниците внимателно да ги прегледаат и споредат податоците од сензорите собрани со референтните инструменти во близина за да се осигураат дека податоците изгледаат разумни, има ситуации и локации каде оваа споредба е тешка бидејќи нема референтни монитори во близина.

Врз основа на ресурсите (на пример, пари, опрема, експертиза), корисниците би можеле:

- Да постават референтен инструмент во близина;
- Да постават сензор кој неодамна бил во колокација со референтен монитор и покажал дека дава споредливи резултати;
- Да ги споредат трендовите и концентрациите со неколку блиски сензори и да размислат дали сличностите/разликите се очекувани или изненадувачки.

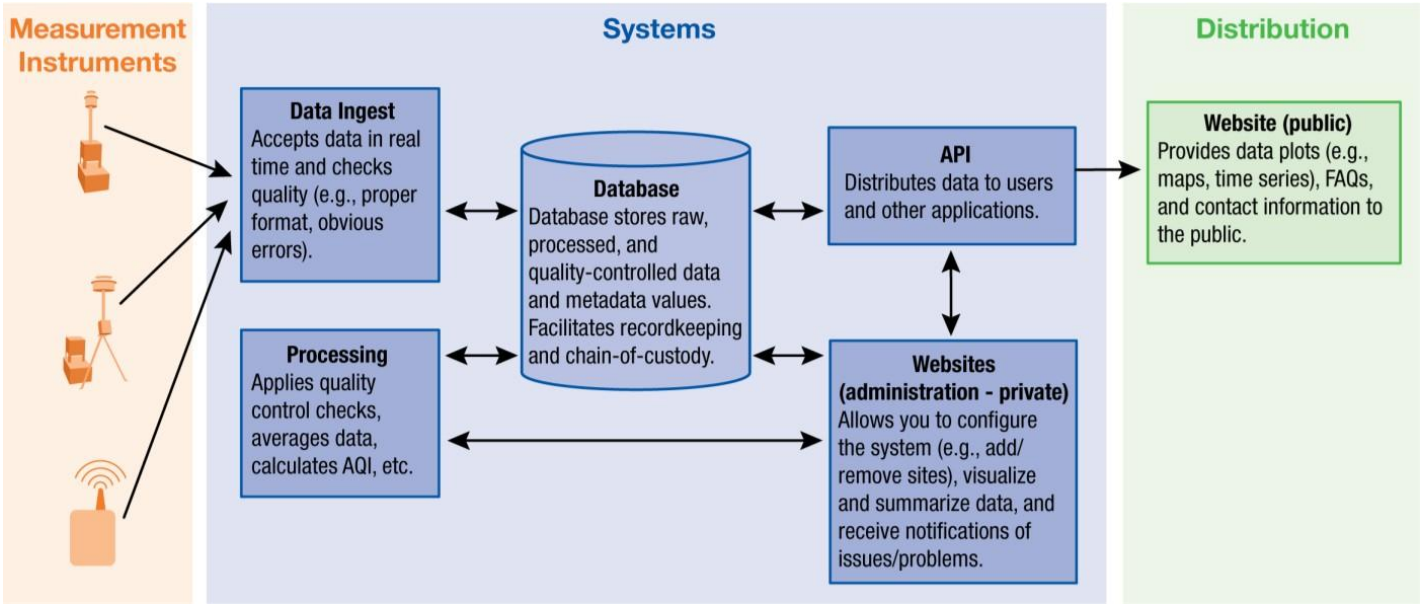
1.3.3 Систем за управување со податоци (Data Management System)

Сензорите за воздух произведуваат голема количина на податоци кои мора рутински да се следат и да се менаџираат за пристап, прегледување и ефективно користење на податоците. Системот за управување со податоци (DMS) е збирка на процедури и софтвер, кои се потребни за стекнување, обработка и дистрибуција на податоци. DMS помага да се рационализира обработката на податоците, обезбедува QC и алатки за преглед, одржува дигитални записи и

резервни копии на податоците и прикажува, прегледува и го олеснува споделувањето на податоците.

Овие карактеристики го олеснуваат користењето на податоците од сензорот за воздух и овозможуваат рано идентификување на грешки на инструментот или други проблеми. DMS исто така го олеснува работењето и управувањето со мрежа од повеќе сензори истовремено.

На **Слика 7** се прикажани клучните компоненти и функции на DMS. Треба да се има предвид дека DMS може да биде во комплет со сензор (на пример, производителот нуди портал за податоци за облак), купен како систем од трета страна или да биде достапен како софтвер со отворен код. Секоја од функциите прикажани на Слика 7 игра суштинска улога во работењето со еден сензор или мрежа на сензори за воздух и при собирање корисни податоци.



Слика 7: Главни компоненти и функции на систем за управување со податоци (DMS)

Основните функции на DMS се состојат од следново:

- **Внес на податоци** (Ingest data). DMS добива и реформатира податоци. DMS може или да влече податоци од системот со сензор за воздух или сензорите можат да ги туркаат податоците до DMS. Треба да се размисли внимателно за форматот на податоците,

бидејќи овие избори можат да влијаат на обемот на складирање податоци и колку е лесно да се користи постоечкиот код за обработка и визуелизација на податоците.

- **Чување податоци и метаподатоци**. По аквизиција (прибирање) и реформатирање на податоци, DMS треба да складира податоци и метаподатоци (на пример, место на локација, конфигурации, идентификатори на единици). Системот за складирање може да биде табела, систем базиран на датотеки или релациона база на податоци (т.е. база на податоци структурирана да ги препознава односите меѓу податоците). Овие опции обезбедуваат различни нивоа на флексибилност и приспособливост и може или не бараат договор за лиценца. Складирањето податоци може да вклучува и следење на промени на податоци и метаподатоци (т.е. синџир на чување - chain of custody) за да се обезбеди интегритет на податоците.
- **Обработка на податоци**. Откако собраните податоци се меморирани, DMS треба да ги обработи и податоците за QC. Ова се состои, на пример, од примена на алгоритми за корекција на податоци, создавање проseци на податоци (на пример, 1 час, 8 часа, 24 часа), пресметување збирна статистика, конвертирање на податоците во **Индекс за квалитет на воздух** (AQI - Air Quality Index) за здравствени пораки или други потреби за обработка и визуелизација на податоците. Проверки на QC (Табела 3-2) се неопходен дел од управување со податоци и треба да бидат вклучени за да се идентификуваат оддалечени податоци и проблеми со податоци.
- **Следење на здравјето на мрежата**. Карактеристиките кои ни помагаат брзо и лесно да ги идентификуваме проблемите во мрежата на сензори се многу пожелни, особено кога нашата мрежа се состои од многу сензори или кога сензорите се распоредени на голема географска област. Во најмала рака, оваа функција треба да помогне да се идентификуваат сензори што нè известуваат за податоци за да можат истите да се поправат или заменат. Понапредните функции може да ги идентификуваат сензорите кои

честопати не успеваат (паѓаат) при проверки за QC (Табела 3-2) или дури и да помогнат во дијагностицирање на проблеми за побрзо отстранување или корекција на проблеми (на пример, прецизно да се одреди надворешната компонента што треба да се замени).

- **Контрола на системот**. Многу е корисно за корисниците да имаат способност да го контролираат DMS-от. Карактеристиките за контрола на системот може да вклучуваат можност за промена на системските поставки (на пример, додавање/отстранување сајтови или корисници, промена на временски зони), поставување или менување на критериуми за QC, уредување и корекција на податоци, генерирање статистички резимеа и извештаи и визуелизирање на податоците. Овие типови контролни функции им овозможуваат на корисниците да го надгледуваат и прилагодуваат DMS за да ги задоволат потребите на проектот.
- **Дистрибуција на податоци**. Преземањето и дистрибуирањето на податоци е уште една важна функција на DMS. Овие активности може да се движат од многу едноставни начини за експорт на податоци, до пософистициран софтвер наречен Апликациски програмски интерфејс (API - Application Program Interface). API овозможува интеракции помеѓу DMS и други оддалечени софтверски системи. API ги дефинира видовите повици или барања за податоци, како да се направат соодветни формати на податоци и конвенции што треба да се следат итн. API, исто така, им овозможува на други веб-локации и системи за податоци на интернет да пристапуваат до податоци во рамки на DMS.

Други препорачани карактеристики на DMS вклучуваат:

- **Безбедност на податоци** (Data security). Способност да се чуваат податоците безбедни од хакирање, менување или други несакани активности – што е важно за интегритетот на податоците.
- **Редундантност на податоци** (backups – резервни копии). Со оглед на потенцијалот за ситуации кои можат да предизвикаат загуба на

податоци, резервните копии на податоците се од клучно значење за да се осигури дека корисниците можат да ги обноват податоците.

- **Софтвер базиран на облак** (Cloud-based software) **до кој може да се пристапи од која било локација**. Идеално е да се има софтвер кој може да им овозможи на корисниците далечински да ги гледаат податоците и/или статусот на инструментот, без разлика каде се наоѓа корисникот. Ова ќе им овозможи на корисниците да ги проверуваат инструментите на мониторот за какви било проблеми, да ги менуваат поставките на инструментот доколку е потребно, често да ги прегледуваат податоците или да вршат други активности за управување со проектот.
- **Карактеристики за контрола на верзијата** за следење на промените на податоците. Производителите може да го променат firmware или други поставки на уредот, што може да влијае на податоците. Да се има начин за документирање на овие промени ќе им овозможи на корисниците подобро да ги разберат нивните податоци.
- **Услови за сопственост на податоци и право на користење**. Детални информации за тоа кој ги поседува податоците, кој има пристап и дали постојат услови за нивно користење, ќе им помогнат на корисниците да утврдат дали DMS е прифатлив за нивниот предложен проект.
- **Алатки за QC на податоци, преглед на податоци и визуелизација**. Овие алатки можат да им овозможат на корисниците често да ги проверуваат податоците за да идентификуваат какви било проблеми и брзо да ги разгледаат трендовите во податоците.
- **AQI пресметки и формули**. AQI може да се пресметува поинаку користејќи различни формули. Ако корисниците сакаат директно да го споредат AQI со AQI на САД, на пример, важно е знаењето за тоа како се пресметува AQI.
- **Јавна веб-локација** која вклучува прикажувања на податоци (на пример, мапи, графикони со временски серии и табели), одговори на често поставувани прашања и здравствени информации. Јавниот

DMS може да им помогне на заедниците брзо да ги прегледуваат податоците за трендовите, здравствените информации и да одговараат на нивни прашања за податоците.

- **Е-пошта или текстуални предупредувања за исчезнати податоци**, **високи вредности и други настани.** Проблеми со инструментите, настани за квалитетот на воздухот или други проблеми секогаш може да се појават во проектот за следење. Способноста да се знае кога се случуваат овие настани може да им помогне на корисниците да ги отстранат и да ги решат проблемите за време на проектот.

Изборот на DMS што ги задоволува нашите сегашни и идни потреби вклучува неколку размислувања. Прво, треба да се размисли за големината на мрежата. Колку е поголема мрежата на сензори и обемот на генерирани податоци, толку е поголем предизвикот за управување, а DMS со автоматизирани процедури може да помогне да се минимизира напорот. Исто така, ќе треба да се земат предвид безбедносните елементи, како што се: **кој може да пристапи до DMS** и други посебни барања за информатичка технологија (ИТ), како што е физичката локација на cloud software. Некои системи се лесни за употреба, но можеби не дозволуваат прилагодување, додека други се целосно приспособливи и бараат искуство во софтверско програмирање. Исто така, ќе треба да се земе предвид буџетот за софтвер, лиценци и периодични (на пример, месечни) такси.

Постојат низа опции за DMS врз основа на нашите специфични потреби:

- **Табеларни пресметки** (Spreadsheets) може да се користат како DMS за ракување со мала количина на податоци собрани во ограничен временски период. Иако е лесно да се креира табела, може да биде предизвик да се автоматизираат процесите и да се зголеми системот за поголеми сензорски мрежи.
- **Системи базирани на облак** се широко достапни за ракување со податоци. Многу големи технолошки компании обезбедуваат генерички решенија за управување со податоци. Иако не секогаш се експлицитно дизајнирани за апликации за квалитетот на воздухот, овие системи базирани на облак нудат многу од основните функции

на DMS. Сепак, можеби ќе треба да се приспособат за да одговараат на нашите потреби.

- **Решенија за DMS на производителот на сензори** се нудат од некои компании за сензори за воздух и тие ги извршуваат функциите прикажани на Слика 3-15. Дополнително, системите што ги нудат некои компании можат да внесуваат податоци од други сензори и референтни монитори. Ќе треба да се проценат можностите на нивните системи, да се разбере колку што е можно прилагодувањето (ако има) и да се размисли за дополнителните трошоци.
- **Комерцијални системи фокусирани на квалитетот на воздухот** се користат од многу агенции за квалитет на воздухот и други професионалци кои собираат и управуваат со податоци за квалитетот на воздухот. Овие системи се високо приспособени за да ги задоволат потребите за следење на квалитетот на воздухот, а продавачите обично ги разбираат концептите за квалитет на воздухот. Продавачите обично наплаќаат лиценца за софтвер и/или периодична такса за користење на нивните DMS и дополнителните функции.
- **Системите со отворен код** (Open-source), фокусирани на квалитетот на воздухот, можат да обезбедат друго решение за управување со податоци. Тие можеби немаат трошоци за лиценцирање, но може да има трошоци поврзани со хостирање на софтверот. Овој пристап овозможува зголемување додека сензорската мрежа станува поголема, но може да бара искуство со софтвер со отворен код за да се инсталира, функционира и приспособува системот.

Без разлика кој пристап ќе се користи DMS, треба да се разгледаат следните најдобри практики за управување со податоци:

- **Да се планира како ќе се управува** со податоците пред да се користи каков било сензор за воздух – потребно е значително време и напор за управување со податоците.

- **Да се контактираат други организации** кои работат со сензори за воздух или сензорски мрежи и да се добие информација каков тип на DMS користат и какви било препораки што може да помогнат.
- **Да се провери кај производителот/продавачот на сензори за воздух** за решенија за DMS што ги нудат или дали може да препорачаат други решенија за DMS што се компатибилни со нивните производи.
- **Да се провери кај сопствениот внатрешен оддел за информатичка технологија (ИТ)** пред да се купува, склучи договор или дизајнира DMS за да се увериме дека ги задоволува потребите за безбедност на податоците и дека може да се обезбедат точни поставки на мрежите и компјутерите.
- **Да се побара автоматизиран DMS** за да ги насочиме рутинските задачи (на пример, внесување податоци, QC, известување за податоци).

1.4 Оценување (евалуација): анализирање, толкување, комуникација и дејствување според резултатите

Разбирањето на податоците од сензорот за воздух е исто толку важно како и изборот и ракувањето со сензорот за воздух. Треба рано да се планира како да ги обработуваме, анализираме и толкуваме податоците и како ќе ги споделиме и ќе комуницираме со резултатите. Не треба да се чека додека се соберат податоците за да се одреди како истите ќе се користат. Оценувањето на резултатите може да открие неодговорени прашања кои ги ревидираат или ажурираат нашите прашања или други чекори во нашиот план, како што е прикажано на Слика 7.

Постојат многу методи за анализирање, оценување и споделување на резултатите, но изборот кој пристап да се користи зависи од прашањата што сакаме да ги одговориме. Некои анализи и толкувања можат да бидат релативно едноставни, додека други кои вклучуваат сложени проценки и длабинско толкување може да бидат предизвик за комуникација. На пример, сензорот за воздух PM2.5 надвор од домот може да ги мери локалните концентрации и да им

помогне на корисниците да го одредат времето во денот кога нивоата на PM2,5 се најниски. Сепак, распоредувањето на воздушна сензорска мрежа составена од многу сензори за откривање области со повисоки или пониски концентрации ќе бара многу подетални анализи и толкувања на податоците. Повторно, корисниците треба однапред да планираат како ќе ги анализираат, оценуваат и соопштуваат нивните резултати.

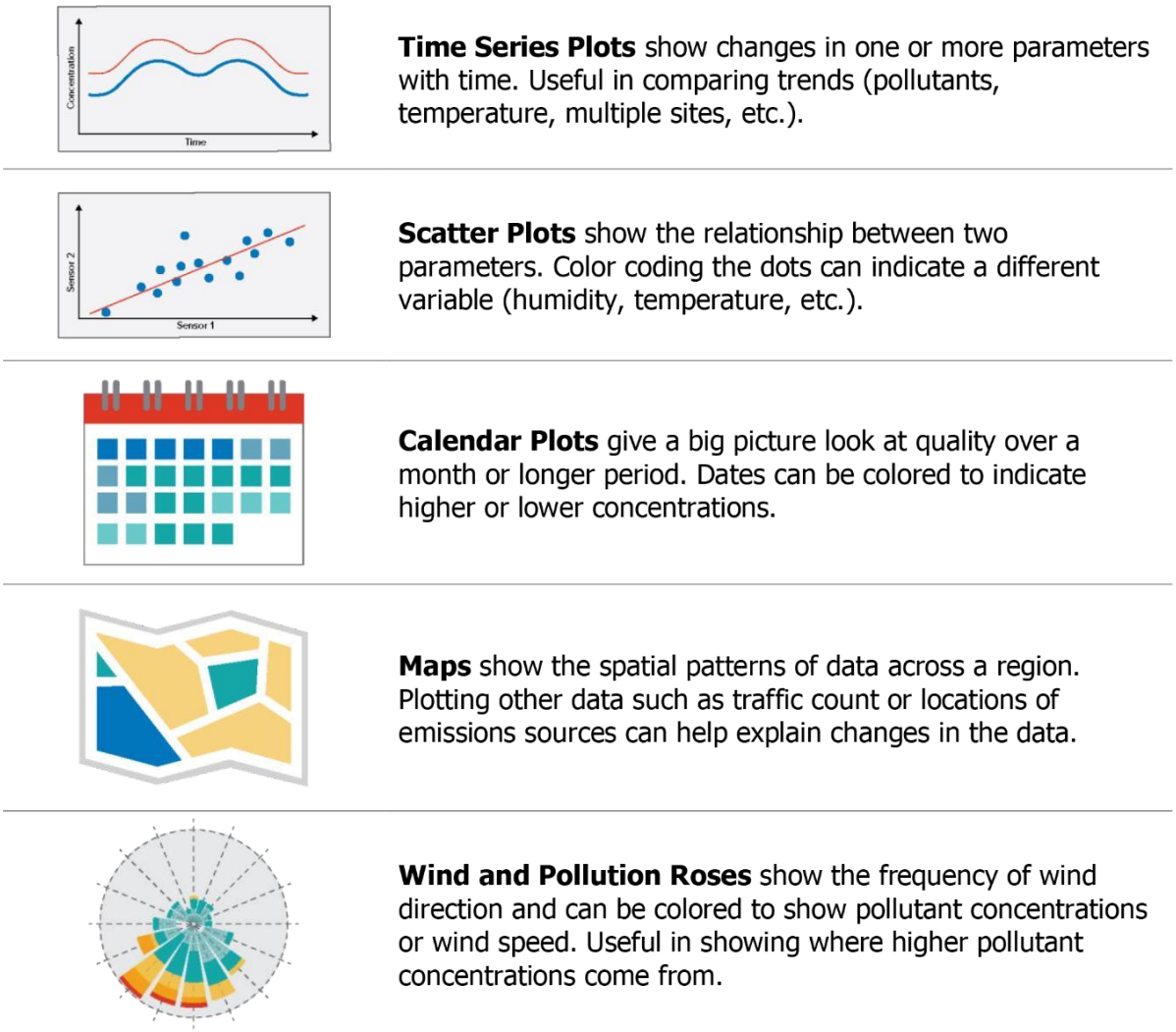
1.4.1 Анализа и интерпретирање на податоци

Анализата на податоците генерално се состои од обработка, а потоа визуелизирање на податоците. Обработката на податоците обично ги вклучува следните чекори:

1. **Чистење на податоците** за подготовка за анализа. Чистењето вклучува: **а)** проверки на QC и валидација на податоците за отстранување на проблеми (на пример, големи негативни вредности, високи вредности предизвикани од дефект на сензорот) и оддалечени податоци, и **б)** проверка на временски ознаки и единици.
2. **Документирање** на било какви прилагодувања или промени на податоците.
3. **Стекнување податоци од други извори** потребни за анализа. Овие податоци може да вклучуваат соодветни метеоролошки податоци, податоци за сообраќајот, информации за емисиите и/или други извори.
4. **Просек (средна/просечна вредност) на податоци** за да се проценат сигналите за „големата слика“ во податоците.
5. **Групирање на податоци** за да се сумираат податоците или филтрирање на податоците за да се истражат повеќе детали. Некои примери вклучуваат групирање на податоци по време од денот, ден во неделата, локација и/или метеоролошки услови.
6. **Корелирање на податоци** за да се започне со проценка на односите помеѓу податоците од сензорот за воздух и други вредности на податоци. На пример, корелација на концентрации на **PM2,5** и брзината на ветерот може да покаже колку различните временски услови се поврзани со концентрациите на **PM2,5**.

7. Споредување на податоци за евалуација на податоците од сензорот за воздух според различни стандарди и индекси за квалитет на воздухот, како што е AQI.

Сензорите за воздух произведуваат голема количина на податоци, така што визуелизирањето на овие податоци може да ни помогне да разбереме што значат. Многу различни видови визуелизации може да се користат за истражување на податоците од сензорот за воздух. На **Слика 8** се прикажани некои од најчести алатки за визуелизација.



Слика 8: Вообичаени методи за визуелизација за податоци за квалитет на воздух

Без разлика дали податоците се толкуваат во табела или график, корисниците треба да поставуваат прашања за тоа што можат да видат во овие визуелни слики. Некои прашања што треба да се постават вклучуваат:

- **Каде** и **кога** се случуваат високи (или ниски) концентрации?
- Дали постојат одредени карактеристики (на пример, временски услови, модели на емисии, денови во недела, сезона) кои водат до високи концентрации?
- Како се менуваат концентрациите на загадувачи во текот на денот? Дали се пониски или повисоки во текот на ноќта и зошто?
- Кои правци на ветер преовладуваат за време на периодот од интерес (на пример, појава на високи концентрации на PM2,5) и од каде потекнува воздухот?
- Како измерените концентрации се споредуваат со концентрациите од блиски референтни станици?
- Како измерените концентрации се споредуваат со здравствени индекси, како што е **AQI**?

1.4.2 Комуникација со резултатите

Корисниците на сензори можеби ќе сакаат да ги соопштат своите наоди на различна публика, вклучувајќи членови на нивната заедница, владини службеници, регулатори, индустрија или други. Преземените пристапи (на пример, кратко или детално резиме, технички детали) и употребени методи (на пример, социјални медиуми, презентации, пишани материјали) можеби ќе треба да се прилагодат на секоја публика за најефективно да се пренесат информациите. Пренесувањето на податоците и резултатите на отворен и транспарентен начин може да им помогне на корисниците на сензори да градат доверба за понова и брзопроменлива технологија на сензори:

1. **Да се наведе намерата и целта**. Оваа информација може да ни помогне да пренесеме зошто ја водиме студијата и зошто сме донеле некои од нашите одлуки. Од клучно значење е да се опише како сензорите за воздух обезбедуваат доволен квалитет на податоци за да се исполнат целите на

проектот. Резултатите треба да бидат приспособени за да одговорат на нашето прашање за мониторинг.

2. Да се опишат поставките (setup) и податоците за мониторинг. Обезбедувањето јасен опис за тоа каде се лоцирани сензорите и собраните податоци им овозможува на другите да стекнат доверба во податоците и резултатите. Треба да се обезбеди дека датотеките/извештаи од студијата вклучуваат информации за локациите на сензорите, фотографии на локацијата, QC-проверки, временски печати, единици, формули за пресметани вредности итн. Некои од овие информации може да се документираат во речник на податоци што претставува опис на собраните параметри. Корисно е да се задржат овие записи некое време надвор од временската рамка на студијата бидејќи може да биде неопходно ретроактивно да се приспособат податоците, бидејќи ќе бидат достапни повеќе информации во врска со перформансите на сензорот или корекција на податоците.

3. Да се опише процесирањето и анализата на податоците. При комуникација на податоци и резултати, се препорачува информациите за следните теми да бидат обработени и јасно документирани:

- Чистење на податоците и корекции/приспособувања на податоците;
- QC-проверки;
- Анализа и интерпретација на податоците, вклучувајќи користење на софтвер/методи;
- Ограничувања на податоците и сензорите за воздух.

4. Визуелизирање на податоци и споделување на резултатите. Постојат многу начини за визуелизација на податоците (на пример, графикони, табели, анимации). Како избраме да ги прикажеме нашите податоци може да се заснова на целта на нашиот проект и/или публиката со која ги споделуваме нашите резултати. Некои предлози вклучуваат:

- **Графикони**: Графици на временски серии кои покажуваат податоци од сензорот во споредба со податоци од регулаторен монитор: парцели на временски серии кои покажуваат

како концентрациите се менуваат со текот на времето, мапи кои покажуваат како концентрациите се разликуваат во просторот (види Слика 3-16).

- **Табели**: Прикажуваат податоци од нумерички сензор на различни локации или во различно време за да се прикажат области каде/кога се зголемени концентрациите.
- **Анимации**: Слики и видеа кои покажуваат концентрации на загадувачи како што се менуваат во времето и/или просторот.

Најдобро е да ја запознаеме нашата публика пред да ги презентираме нашите резултати!

Кога ги презентираме резултатите, треба да ја запознаеме нашата публика. Имајќи сознанија кој е во нашата публика, може да ни помогне да одредиме колку информации сакаат и каков тип на визуелни слики може најдобро да функционираат за споделување на резултатите. На пример, еден научник може да сака технички детали за некој проект, додека други можеби ќе сакаат резиме на големата слика.

1.4.3 Да се преземе акција

Една од предностите на сензорите за воздух е што овозможуваат често мерење на квалитетот на воздухот во реално време на повеќе локации. Оваа локална информација може да поттикне различни одлуки, особено **промени во однесувањето** за да се намали емисијата на загадувачи и **да се намали нашата изложеност на загадувачи**. И двете дејства можат да го подобрат квалитетот на воздухот и да го подобрат нашето здравје. Примери на начини за преземање акција врз основа на податоци од сензор за воздух:

- Да ги прилагодиме нашите активности на отворено (на пример, пешачење, вежбање, трчање), возење велосипед, градинарство, ако сензорите мерат повисоки нивоа на загадување. Да ги реализираме нашите активности кога нивото на загадување е пониско.

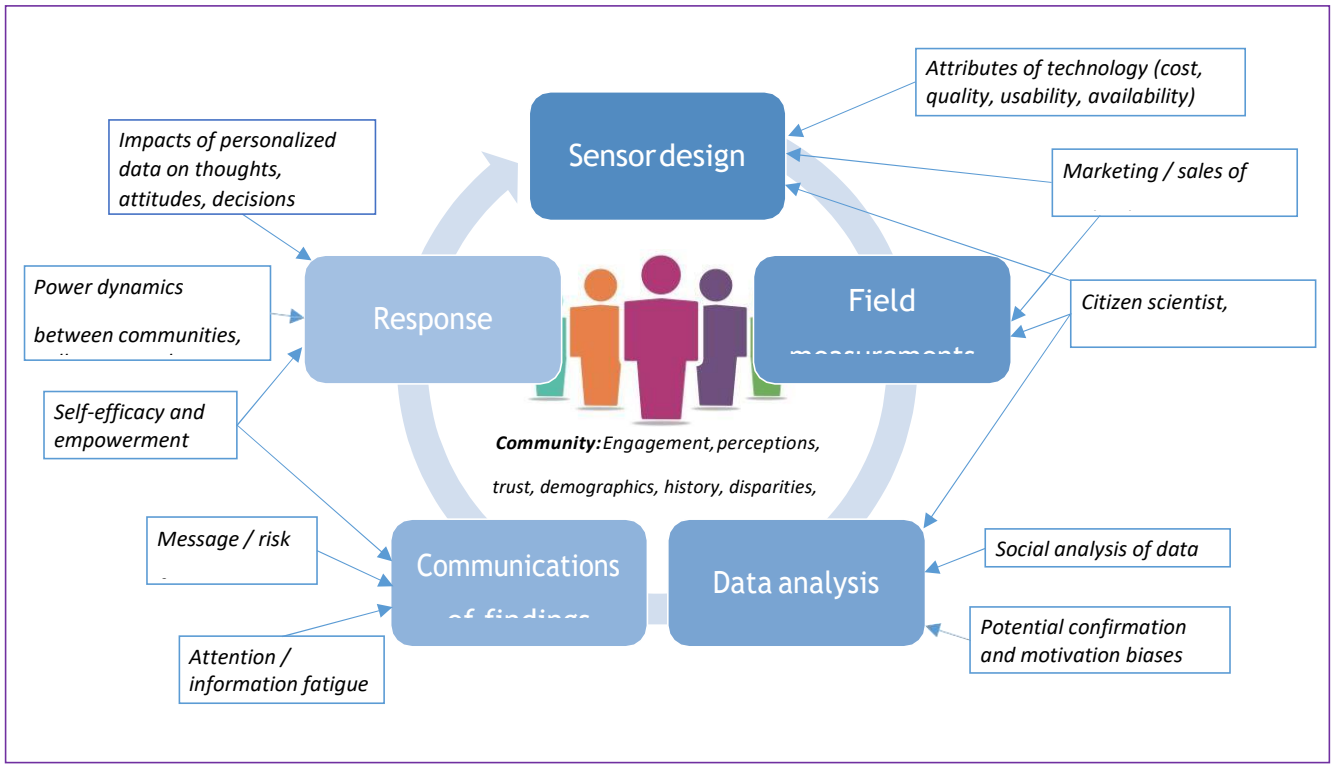
- Да се избере училиштата да имаат активност во затворено наместо на отворено или да ја преместат активноста внатре кога сензорите покажуваат дека загаденоста на воздухот е висока во даден ден.
- Да се избегнува фреквентен пат и да се користи друга рута ако сензорите мерат поголемо загадување во даден ден.

- Да ги прилагодиме нашите активности во затворен простор ако сензорите мерат повисоки нивоа на загадување. Да избереме начини да ги прилагодиме нашите навики или да го исчистиме просторот за да го намалиме нивото на загадување.
  - Да правиме скара надвор или со отворени прозорци за да ја зголемиме вентилацијата и да го намалиме загадувањето во затворен простор од готвењето.
  - Да избереме производи за чистење со помалку VOCs и мириси.
  - Да го намалиме пушењето и палењето на свеќи, темјан или дрва (камин) во затворени простории за да се елиминира изворот на загадување.
  - Почесто да ги чистиме влакната или прашината од домашно миленичe за да ги намалиме концентрациите на PM2.5 во затворени простории.
  - Да вклучиме механички или електронски чистач на воздух што произведува ниско ниво на озон ако сензорот во затворен простор мери покачени концентрации на загадувач. Одборот за воздушни ресурси на Калифорнија (CARB - The California Air Resources Board) обезбедува листа на сертифицирани уреди за прочистување на воздухот.
  - Сами да направиме прочистувач на воздух, ако блискиот сензор за воздух покажува покачени нивоа на **PM2,5** поради чад од шумски пожари.

- **Да бараме подобрувања во квалитетот на воздухот** по спроведување на стратегијата за намалување на загадувањето.

- Програмите против мирување во училиштата може да ги намалат измерените концентрации на NO_2 и PM2.5 во места за отпуштање и собирање (drop-off and pick-up areas).
- Вегетативната бариера поставена покрај коловозот може да го намали количеството на загадување кое влијае на населението кое е во близина.
- Програми за исфрлање на камини (огништа со отворен пламен) или забрана за согорување може да ги намали концентрациите на PM-честички.

Начините за користење на податоците од сензорите за воздух за промена на однесувањето е активна област на истражување и веројатно ќе се развива како што сензорите за воздух стануваат попрецизни и распоредувањето ќе стане пошироко. Технологиите на сензорите за воздух може значително да го обликуваат начинот на кој поединците и заедниците ги перципираат и реагираат на информации за нивниот квалитет на воздухот. Со оглед на сложеноста на науката за загадувањето на воздухот и технологијата за сензорите за воздух што брзо се развива (на пример, подобрувања во леснотија на користење, квалитет на податоците, толкувањето), на кој начин поединците и заедниците ќе ги користат податоците од сензорот за воздух за лична акција може да зависи од многу фактори, како што се прикажано на слика 9.



Слика 9: Фактори кои можат да придонесат за тоа како поединците или заедниците ги користат податоците од сензорот за воздух за лична акција (**извор**: Understanding social and behavioral drivers and impacts of air quality sensor use)

2. Перформанси на сензорите за воздух

Изборот на сензор за воздух кој е најсоодветен за наменска апликација може да биде предизвик. Бидејќи квалитетот на податоците од сензорот за воздух е многу променлив, податоците од сензорот се споредуваат со податоците од референтен инструмент за да се опишат перформансите на сензорот. Прегледот на достапни информации за перформансите може да им помогне на корисниците да изберат сензор што е соодветен за нивната намена.

2.1 Преглед на перформансите на сензорите за воздух

Има многу сензори за воздух достапни за јавноста и стануваат достапни нови опции за да се задоволи зголемената побарувачка за достапни технологии за следење на воздухот. Изборот на сензор за воздух кој најдобро одговара на нашата апликација од интерес може да биде предизвик. Квалитетот на податоците од сензорите може да варираат, при што некои сензори

произведуваат веродостојни и интерпретабилни податоци, а други генерираат бројки кои не се поврзани со концентрациите на загадување. Поради овие разлики, важно е да се разгледа како функционира сензорот пред да се купи уредот. Перформансите на сензор е термин кој се користи за да се опише колку добро функционира сензорот во однос на референтниот инструмент за да се одреди колку доверба треба да имаме во податоците произведени од сензорот. Разбирањето на пристапите што се користат за одредување на перформансите на сензорот, каде да се најдат тие информации и како да се интерпретираат информациите, може да им помогне на корисниците да изберат сензор што најмногу одговара на нивната апликација.

2.2 Евалуација на перформансите на сензорот

Евалуација на перформансите на сензорот е тест што ги споредува податоците од сензорот со податоците од референтен инструмент (Слика 10). Се користат референтни инструменти бидејќи обезбедуваат високо прецизни мерења и тие се „**златен стандард**“. Потребни се евалуации на перформансите на сензорот бидејќи квалитетот на податоците од сензорот за воздух е многу променлив. Сензорите и начинот на кој се обработуваат нивните податоци постојано се менуваат и подобруваат, што исто така може да влијае на перформансите. Оценувањето на перформансите на сензорот можат да ги решат вообичаените проблеми на сензорите, како што е сумирано на Слика 11. Овие информации може да им помогнат на корисниците на сензори во фазата на планирање на проектот за избор на сензор (слика 8).

Спроведени се голем број проценки на перформанси на сензори и резултатите се јавно достапни од многу организации за тестирање, и во САД и на меѓународно ниво, вклучително и:

- U.S. EPA Office of Research and Development (ORD);
- South Coast Air Quality Management District (South Coast AQMD) Air Quality Sensor Performance Evaluation Center (AQ-SPEC);
- European Commission Joint Research Centre (JRC);
- Airparif AIRLABS Microsensors Challenge;
- Academic researchers;

- Sensor manufacturers.

Корисниците на сензори треба да имаат на ум дека не сите сензори, вклучително и сензори „направи сам“ (DIY- do-it-yourself), имаат проценки на перформансите. За евалуации што се достапни, перспективните корисници треба да проверат дали условите за тестирање биле слични на нивната планирана област за проучување или дали се направени промени на хардверот на производот откако е спроведена евалуација. Дополнително, иако сензорот може да има проценка на перформансите, важно е да се разбере дали евалуацијата е непристрасна и објективна. Со други зборови, дали организацијата што ја спровела евалуацијата го направила тоа на фер и непристрасен начин.



Слика 10: Сензори за воздух на стативи (во преден план) со референтни инструменти (во позадина) за проценка на перформансите на сензорот

Способност за мерење на загадувач од интерес	• Дали сензорот точно и сигурно го мери загадувачот од интерес во рамките на очекуваниот опсег на концентрација на апликацијата?
Изведба под различни услови на животната средина	• Како факторите, како што се: релативната влажност, температурата и различните концентрации и видови на загадувачи, влијаат на мерењата на сензорот?
Способност за мерење на целниот загадувач во загадувачка смеса	• Дали сензорот ќе го мери целниот загадувач во мешавина од други загадувачи?
Изведба со текот на времето	• Како се менува одговорот на сензорот со текот на времето? • Кога читањата на сензорот стануваат неточни или несигурни?
Изведба надвор од кутијата	• Како функционира сензорот надвор од кутијата? • Дали се потребни корекции или прилагодувања за да се обезбедат попрецизни податоци?
Животен век на користење	• Дали колку долго работи сензорот го менува одговорот на сензорот? • Дали животниот век на сензорот влијае од опсегот на концентрација или дали сензорот се користи или не?

Слика 11: Вообичаени грижи поврзани со перформансите на сензорот

Иако организациите за тестирање, како оние претходно споменатите, ги проценуваат сензорите на различни локации и можат да им дадат на корисниците идеја за тоа како се очекува да функционира сензорот, можеби ќе има потреба да направиме евалуација сами. Ако ова не е изводливо поради ресурсите (на пример, финансирање, опрема, експертиза) или други причини, може да се размисли да го направиме следново:

- Да се праша одредена организација за тестирање дали таа веќе извршила евалуација на сензорот за кој сме заинтересирани. Понекогаш се спроведувале проценки, но резултатите сè уште не биле јавно споделени.
- Да се праша одредена организација за тестирање дали планира да го оцени сензорот што сме заинтересирани да го користиме или дали можеби е подготвена да спроведе евалуација.

Корисниците на сензори треба да запомнат да ја проверат и оценат работата на сензорот во областа на проучување, идеално пред, за време и по

студијата, ако е можно. Оваа проверка се нарекува **колокација** (collocation) и е неопходен дел од секој проект со сензори.

Која е разликата помеѓу евалуација на перформансите на сензорот и колокација?

Проценките на перформансите на сензорот обезбедуваат информации за тоа колку добро функционира сензорот во однос на референтниот инструмент.

Евалуација на перформансите, во суштина, е колокација. Сепак, тоа е колокација спроведена од организација за објективно тестирање со специфична цел да ги информира другите за тоа колку добро сензорот се согласува со референтните инструменти во услови за тестирање. Производителите може да ги користат резултатите за да ги подобрат своите производи со сензори.

Потенцијалните корисници на сензори може да ги користат резултатите за да одлучат кој(и) сензор(и) да го купат.

Најдобра практика е да се поврзат сензорите за воздух со референтни инструменти по купувањето, за да се проверат нивните перформанси под надворешни услови на саканата локација за следење.

2.3 Пристапи што се користат за проценка на перформансите на сензорот

Постојат два главни пристапи за оценување на перформансите на сензорот за воздух: **теренски проценки** и **лабораториски евалуации**. Во **Табела 2-1** накратко се сумирани овие пристапи и нивната цел.

Табела 2-1: Вообичаени пристапи за оценување на перформансите на сензорот за воздух.

Пристап на евалуација	Опис	Цел (намена)
Поле	Сензорите се оценуваат на терен на амбиентално (надворешно) фиксно место.	• Дава информации за тоа како функционира сензорот во реални услови на отворено. • На корисниците им дава информации за тоа како тие би можеле да очекуваат сензорот да

		работи во слични надворешни услови.
Лабораторија	Сензорите се оценуваат во контролирана лабораторија.	• Ни овозможува да проучуваме низа услови кои можеби е потешко да се сретнат на отворено. • Ни овозможува подобро да разбереме одредени параметри за изведба кои тешко се тестираат на отворено.

Теренските евалуации (Field evaluations) обично вклучуваат распоредување на еден или повеќе сензори паралелно со референтни инструменти за подолг временски период (на пример, денови, месеци, години) на отворено. Во теренски проценки, сензорите доживуваат типични промени во концентрациите на загадувачи и дневните промени во температурата (T) и релативната влажност (RH). Сензорите може да искусат и типични временски услови (на пример, дожд, магла, снег, силен ветер), што може да влијае на работата на сензорот. Кога работат на отворено, сензорите ќе искусат и различни мешавини на загадувачи кои можат да тестираат колку добро сензорот може да го открие целниот загадувач. Една од лошите страни на теренската проценка е тоа што не може да се контролираат надворешните услови. Ова значи дека ќе биде невозможно да се разбере како ќе функционира сензорот во услови кои не се присутни.

На пример, евалуација во текот на лето нема да ни каже како сензорот може да работи на пониски температури. Дополнително, може да биде тешко да се открие дали има промени во нивото на концентрација на загадувачот, смесата на загадувачот или како условите на околината влијаат на перформансите на сензорот, особено кога овие услови се менуваат во исто време.

Лабораториските евалуации (Laboratory evaluations) се типично краткорочни евалуации (на пример, часови) спроведени во еколошки контролирана комора. Еден или повеќе сензори и влез на референтен инструмент(и) се поставени во комората и се изложени на различни услови за тестирање (на пример, високи или ниски температури, висока или ниска влажност, целни и интерферентни концентрации и типови на загадувачи) и се споредуваат мерењата. Лабораториските евалуации се корисни бидејќи можат да обезбедат

информации за тоа како сензорите функционираат во специфични услови на животната средина кои вообичаено или ретко може да се случат на отворено. Сепак, еколошката комора може само да имитира специфични реални услови на надворешната средина. На пример, во лабораторија не може да се симулира големината и хемискиот состав на честичките во воздухот на отворено, ниту некои услови, како на пример, магла. Иако лабораториските евалуации се исклучително корисни, тие се поскапи бидејќи бараат сложена опрема и квалификуван персонал за извршување на тестовите. Дополнително, резултатите ги претставуваат перформансите на сензорот за одреден сет на услови кои може или не може да се појават на отворено.

Постојат добри и лоши страни поврзани со секој пристап за евалуација на перформансите на сензорот. Ова честопати е причина зошто се препорачуваат и двата пристапа бидејќи тие се надополнуваат еден со друг, а собраните информации се корисни за подобро разбирање на перформансите на сензорот. Врз основа на целта за следење, корисниците на сензори ќе треба да одлучат кои пристапи за евалуација на перформансите можат најдобро да дадат информации кои сензори ќе бидат избрани за одреден проект (истражување). Оваа одлука може да зависи од достапноста на ресурси (на пример, финансирање, знаење, експертиза) и пристап до теренски локации и/или капацитети за лабораториско тестирање. Идеално, во најмала рака, се препорачува теренско тестирање на локација каде што ќе се користат сензорите.

2.3.1 U.S. EPA препораки за оценување на перформансите на сензорот

Која е разликата помеѓу препораките на EPA за оценување на сензорите и стандардите/програмите за сертификација на сензори?

Препорачаните протоколи на U.S. EPA се целосно доброволни и резултатите од тестирањето кои исполнуваат некои или сите цели не претставуваат сертификација. Понатаму, U.S. EPA не одобрува или препорачува некој специфичен производ.

Поставувањето стандарди за сензорите е доброволен процес каде што методите за тестирање на технологијата се договорени од страна на власти,

производители, клиенти и други инволвирани во перформансите на одредена технологија.

Сертификацијата е процес каде што организацијата спроведува договорени методи за тестирање поставени со стандарди за да се осигура дека тестовите се спроведуваат на ист начин секој пат. Процесот на сертификација често резултира со сертификат или специфична етикета.

Препознавајќи ја потребата за конзистентен пристап за проценка на перформансите на сензорите за воздух, EPA објави извештаи (наречени „**Извештаи за цели**“ - ‘Targets Reports’), кои даваат препораки за тоа како да се проценат сензорите за воздух што мерат загадувачи со критериуми. Препораките на U.S. EPA обезбедуваат стандардизиран, објективен и рационализиран пристап за проценка на перформансите на сензорот за воздух. U.S. EPA ги базира своите препораки на тековната состојба на науката, прегледи на литературата, наоди од други организации за евалуација на сензори, стандарди/програми за сертификација (и постоечки и во развој) од други организации и Експертиза на U.S. EPA за евалуација на сензори. The Targets Reports го вклучуваат следново:

- **Протоколи за тестирање** (Testing protocols) – чекор по чекор инструкции за поставување инструменти, инструменти за тестирање и собирање податоци.
- **Метрика на перформанси** (Performance metrics) – параметри кои се користат за опишување на квалитет на податоци и детали за тоа како да се пресметаат.
- **Целни вредности** (Target values) – препорачани вредности кои обезбедуваат репер за разбирање на перформансите на сензорот.

Проценките вклучуваат и теренско тестирање (наречено базно тестирање) и лабораториско тестирање (наречено засилено тестирање). Најмалку, се препорачува базно тестирање. Протоколите за тестирање се специјално дизајнирани за сензори кои се користат во амбиентални, надворешни, фиксни околини на локација за нерегулаторни апликации за дополнителен и информативен мониторинг (NSIM - non-regulatory supplemental and informational monitoring) (Табела 1-1). Како кратко резиме, категориите на NSIM и конкретните примери на апликации вклучуваат:

- **Просторно-временска варијабилност** (Spatiotemporal Variability) – дневни трендови, градиент студии, прогнозирање на квалитетот на воздухот, партиципативна наука, образование.
- **Споредување** (Comparison) – откривање жариште, фузија на податоци, одговор при итни случаи, дополнителен мониторинг.
- **Долгорочен тренд** (Long-term Trend) – Долгорочни промени, епидемиолошки студии, верификација на моделот.

Како дел од Targets Reports, основните и подобрени протоколи за тестирање имаат образец за известување за да ги охрабрат тестерите да ги презентираат резултатите од евалуацијата, користејќи сличен формат.

Информациите за тоа како да се интерпретираат овие извештаи се дадени во Appendix E. Дополнително, достапна е библиотека со кодови Python (Python code library) развиена од EPA, наречена **sensortoolkit** за да им помогне на организациите за тестирање да пресметаат метрики на перформансите и да генерираат извештај за евалуација, користејќи го шаблонот за известување. Линкови до извештаи, шаблони за известување и библиотека со кодови на Python се достапни од веб-страницата на Алати за сензори за воздух на EPA (**EPA's Air Sensor Toolbox**).

Дополнително, резултатите од евалуациите не претставуваат сертификација или одобрување од страна на U.S. EPA. Резултатите од тестирањето се наменети да ги информираат корисниците на сензорите.

2.3.2 Насоки од други организации за оценување на перформансите на сензорот

Голем број на организации развија или се во процес на развивање насоки за спроведување на проценки на перформансите на сензорот, цели/стандарди на сензорите или програми за сертификација на сензорите. Примерите за овие организации вклучуваат:

- **ASTM International** – развивање стандарди за практика и методи за тестирање за теренски и лабораториски евалуации на сензори за

амбиентален и внатрешен воздух кои мерат вообичаени загадувачи на воздух.

- **Европска Унија/Европски комитет за стандардизација** (**EU/CEN** - European Union/European Committee for Standardization) – развивање теренски и лабораториски процедури за сертификација за повеќе нивоа на апликации за сензори.
- **Кинеско Министерство за екологија и животна средина** (MEE - China Ministry of Ecology and Environment) – развиени процедури за теренски и лабораториски тестови и стандарди за изведба за сензори за воздух.

2.4 Како да се изберат сензори врз основа на извештаи или информации за евалуација

Прегледот на извештаите за евалуација на перформансите на сензорот, како и поврзани информации може да ни помогнат да избереме соодветен сензор за нашиот проект. Некои прашања што треба да се постават при прегледување на извештајот за евалуација и одредување дали сензорот би бил соодветен за нашата апликација за проект за следење, вклучуваат:

- **Трендови**: Колку добро промените во мерењата на сензорот ја имитираат промената во концентрациите на загадувачи што се мерат со референтен инструмент?
- **Прецизност**: Колку се конзистентни мерењата на концентрацијата добиени од сензори од иста марка, модел и верзија што се користат под исти услови на терен?
- **Пристрасност**: Колку мерењата на сензорот се согласуваат со мерењата направени со комбиниран референтен инструмент?
- **Опсег на концентрација**: Дали опсегот на работа на сензорот го покрива опсегот на концентрации на загадувачи кои се очекуваат на саканата локација за следење?
- **Метеорологија**: Дали одговорот на сензорот е под влијание на метеоролошките услови (на пример RH, T)?
- **Специфичност**: Дали сензорот го мери целниот загадувач? Дали мерењата на сензорот се под влијание на интерферент(и)?

- **Стабилност**: Дали одговорот на сензорот на концентрации на загадувачите е стабилен со текот на времето?

Дефиниции за прецизност, пристрасност и стабилност

Пристрасност: Систематско или постојано несогласување помеѓу концентрацијата измерена од сензорот и референтниот инструмент.

Прецизност: Варијација околу средната вредност (просек) на збир на мерења добиени во исто време од два или повеќе сензори од ист тип распоредени под исти услови на животна средина.

Стабилност: Промена во одговор или концентрации измерени од сензор кога е предизвикана од иста концентрација на загадувач во оперативна временска рамка.

Примери: **Кои информации се најважни да се замат предвид при прегледување на резултатите од евалуација на перформансите**

Пример 1: Сакаме да поставиме мрежа од сензори за долгорочно распоредување во една општина за да ја дополниме постојната мрежа на регулаторен мониторинг. За овој случај, најверојатно сме најмногу заинтересирани за **квантитативно** мерење на концентрациите на загадувачки материи. Затоа, најмногу сме загрижени за прецизноста на сензорите, пристрасноста и одговорот на метеорологијата (т.е. T и RH). Сензорите треба да обезбедат прифатлив степен на согласност помеѓу мрежата на сензори (прецизност) и помеѓу сензорите и мерењата на референтните инструменти (пристрасност) за да ни овозможи самоуверено споредување на податоците од сензорите со регулаторната мрежа за следење, и со стандардите за квалитет на воздухот и здравјето. Бидејќи сензорите треба да обезбедат разумни мерења во секакви метеоролошки услови кои се очекуваат во период на распоредување, ќе нè интересира да знаеме дали сензорот бил тестиран под слични метеоролошки услови и дали пристрасноста се менува како што се менува RH.

Пример 2: Сакаме да користиме еден сензор за мерење на загадувач од воздухот во нашиот двор за да одредиме кога квалитетот на воздухот е најдобар

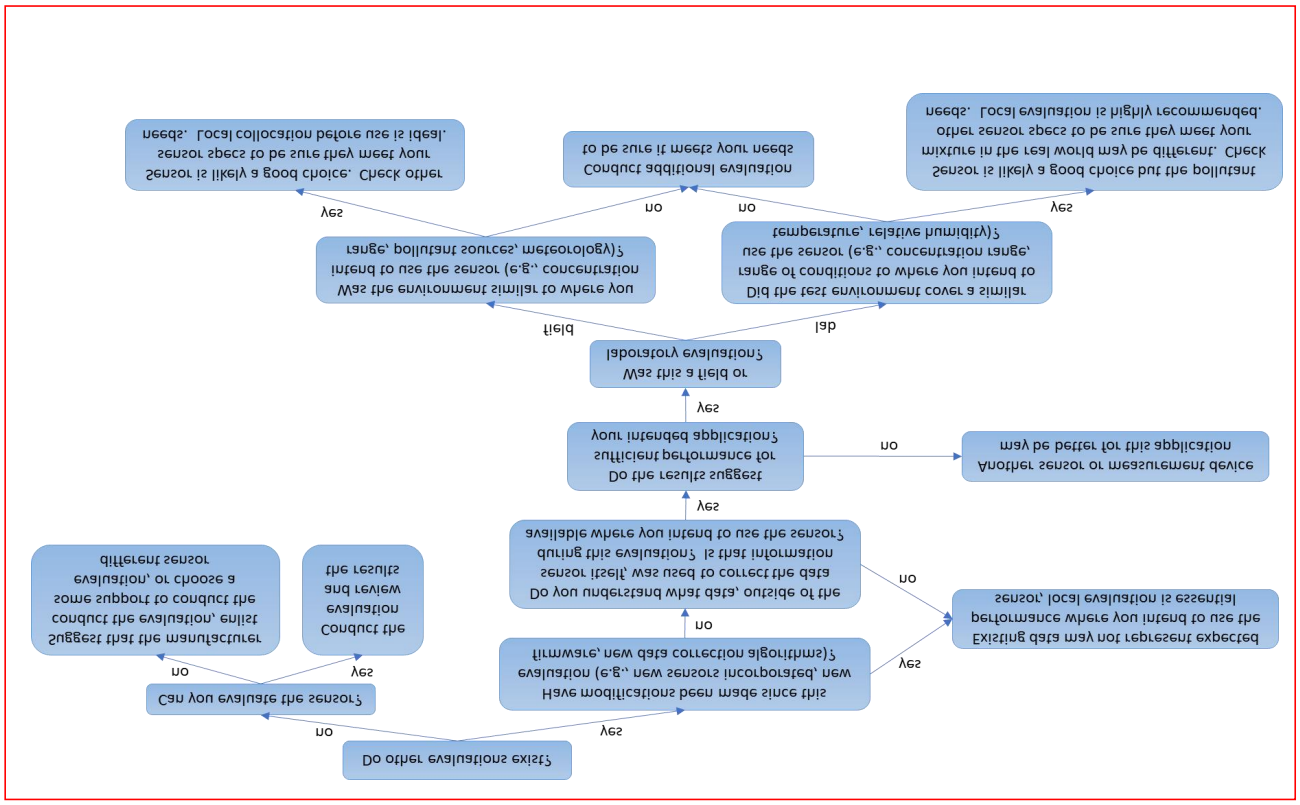
за активности на отворено. Во овој случај, веројатно сме заинтересирани за **квалитативно** мерење. Со други зборови, сензор кој веродостојно обезбедува информации за релативната разлика помеѓу високи и ниски концентрации на загадувачи (трендови).

Која е разликата помеѓу квантитативни и квалитативни мерења?

Квантитативни мерења може да се изразат со помош на броеви. На пример, концентрација на загадувач изразена во делови на милијарда (ppb).

Квалитативните мерења се описни, засновани на концепти и често изразени со зборови. На пример, концентрации на загадувачи опишани како „**повисоки**“ или „**пониски**“.

На **Слика 12** е даден дијаграм на тек (flow chart) со размислувања за тоа како да се изберат сензори врз основа на нивните перформанси. Многу организации и производители сами спроведуваат проценки на перформансите на сензорите. Тие вообичаено може да се најдат на веб-страниците на организацијата или производителите или во научни публикации (на пример, презентации, статии во списанија).



Слика 12: Flow Chart за разгледување на сензор за воздух врз основа на неговите перформанси

Додека ги прегледуваме проценките на перформансите на одреден сензор во различни организации за тестирање, треба да бараме што е можно повеќе информации за да ги разбереме перформансите на уредот. Треба да се знае дека нивото на детали и транспарентност може да се разликуваат од една евалуација до друга.

Важни белешки што треба да се имаат на ум и прашања што треба да се постават за евалуации за да ни помогнат подобро да ги разбереме тестирањата и резултатите:

1. **Протоколите/процедурите за евалуација може да бидат слични, но не и идентични**. Оние кои ги спроведуваат тестовите може да имаат различни протоколи, лабораториски тестови за концентрации на загадувачи или да евидентираат различни метрики на перформанси. Графиконите или графиците што ја опишуваат изведбата може да изгледаат слично, но може да се генерираат или да се исцртаат поинаку. Терминологијата што се користи и начинот на кој се пресметува метриката(ите) на перформансите може да се разликуваат. На пример, прецизноста може да се пресмета како **стандардна девијација**,

релативна стандардна девијација или **релативна процентна разлика**. Во евалуациите може да се користат различни видови референтни инструменти. Употребата на инструмент(и) FRM/FEM ќе обезбеди поголема доверба во реални концентрации на загадувачи отколку употреба на друг сензор со средна до пониска цена. Може да има одредени разлики во резултатите во зависност од тоа кој FRM/FEM се користи.

- Дали се спроведени теренски и лабораториски евалуации?
- Дали е користен FRM/FEM инструмент? Кој?
- Дали ги разбираме индикаторите за изведба и како тие се пресметани?

2. **Локации кои не се широко распространети**. Општо земено, евалуациите се спроведуваат на ограничен број локации кои можат или не можат да бидат слични на околината каде што сакаме да го користиме сензорот. Резултатите од евалуацијата може да не покажуваат како функционира сензорот во околината во која ќе го користиме ако таа средина е многу различна (на пример, различна концентрација на загадувач, состав или извори).
    - Каде е спроведен тестот?

3. **Условите на животната средина се ограничени**. Дали сензорот е тестиран во средина слична со локацијата каде што ќе го користиме сензорот. Општо земено, евалуации на сензорите се спроведуваат на отворено каде што се разликуваат T, RH и другите временски услови. Овие услови можеби не се слични на околината каде што сакаме да ги поставиме сензорите. Слично на тоа, резултатите од евалуацијата може да не ги претставуваат перформансите на сензорот во околината во која ќе ги користиме, ако таа средина е многу различна (на пример, T и RH се надвор од тестираниот опсег).
    - Дали тестот е спроведен во средина слична на онаа каде што ќе го користиме сензорот?

4. **Перформансите на сензорот се променливи**. Стандардна практика е да се тестираат 3 или повеќе идентични сензори во исто време, бидејќи така се обезбедуваат информации за варијациите во перформансите што може да се појават кај идентични сензори. Перформансите може да варираат врз основа на марката, моделот и верзијата на производителот на уредот, па дури и меѓу уреди од ист тип. Два сензорски пакети кои користат иста внатрешна компонента можат да работат поинаку. Овие разлики може да бидат резултат на тоа **како се наредени компонентите**, **како тие земаат примерок од воздухот** или **поради акумулацијата на топлина во внатрешноста на куќиштето на сензорот**. Дополнително, производителите можат да користат математичка равенка или модел за да го претворат излезот од сензорот во концентрација на загадувач. Разликите во обработката на податоци може да ги променат перформансите на сензорот.
    - Дали сите тестирани сензори работат слично?
    - Дали тестираните сензори ја имаат истата марка, модел, конфигурација и производител, како и сензорите што имаме намера да ги користиме?
5. **Евалуации се спроведуваат на одредено време**. Вообичаено, евалуации на перформансите на сензорот се спроведуваат на 30 дена или повеќе, бидејќи тоа овозможува поголема варијација во концентрациите на загадувачи и условите на животната средина. Пократките проценки можеби нема да можат да ги доловат овие варијации. Можеби ќе бидат потребни подолги проценки за да се разбере како перформансите на сензорот се менуваат со текот на времето и животниот век на сензорот. Неочекувани настани, како што се прекини на струја, дефект или оштетување на опремата, лоши или тешки временски услови (на пример, грмотевици, урагани) или епизоди на загадување (на пример, огномет, бури од прашина, вулканска ерупција), може да влијаат на резултатите од евалуацијата или да предизвикаат податоци што недостасуваат.
    - Колку траеше евалуацијата (на пример, 7 дена, 30 дена, 1 година)?

6. **Дали има потешкотии или аномалии за време на тестот кои би можеле да влијаат на резултатите**? Евалуацијата може да не ја претставува нашата апликација што сакаме да ја реализираме. Сензорот можеби е тестиран во близина на извор (на пример, коловоз, индустрија) каде што концентрациите на загадувачи се многу повисоки од онаму каде што имаме намера да го користиме сензорот.
    - Дали евалуацијата на перформансите на сензорот е спроведена во средина слична на нашата апликација од интерес?

3. Мерење на загадување на воздухот преку хиперлокално мапирање

Секој човек заслужува да дише чист воздух, но местото каде што живее одредува колку е веројатно загадувањето да го влоши или да го скрати неговиот живот. И додека повеќето конвенционални системи за следење може да обезбедат општо чувство за квалитетот на воздухот во градот, тие не водат сметка за загадувањето на воздухот на ниво на населба (микрообласт), каде што луѓето живеат, работат и играат. Истражувањата покажуваат дека загадувањето на воздухот не е рамномерно дистрибуирано и всушност може да биде до осум (8) пати полошо од едниот до другиот крај на градскиот блок.

Науката е јасна. Загадувањето на воздухот е штетно за здравјето на луѓето и неговите влијанија (зголемени посети во болница, пропуштена работа и училишни денови, инхалатори во училиштата) потсетуваат дека неговите ризици се реални и лични. Покрај тоа, овие ризици се најголеми за некои од најранливите популации: деца, постари лица, и лица со веќе компромитирани респираторни системи.

Не можеме да управуваме со она што не можеме да го измериме. Или всушност, не можеме да управуваме со она што не можеме да го видиме (загадувањето на воздухот е тешко да се види). Често е тешко за локалните лидери прецизно да ги посочат изворите и да развиваат ефективни решенија. Новата сензорска технологија го менува тоа динамички, што ни овозможува да ги мериме и да ги мапираме концентрациите на загадувањето блок по блок и да идентификуваме сегменти и жаришта како никогаш досега.

Зошто хиперлокалните системи за следење на загадувањето на воздухот можат да поттикнат акција за чист воздух во градовите? Како да дизајнираме и распоредиме хиперлокална маркетинг-мрежа? Градовите ширум светот успешно воспоставија мрежи кои анализираат податоци и имплементираат решенија за чист воздух. Луѓето од целиот свет продолжуваат да се борат со здравствените влијанија од локалното загадување на воздухот. Глобалното загадување на воздухот сега е најголем еколошки ризик од рана смрт, одговорен за дури 5 милиони предвремени смртни случаи секоја година во светот. Тоа е повеќе од СИДА, туберкулоза и маларија заедно. Факт е дека пиеме околу 2 литри вода дневно, јадеме околу 2,7 килограми храна дневно, но дишеме 10 килограми воздух дневно. Тоа е еквивалентно на **11.000 литри** воздух дневно 24/7. Но, бидејќи загадувањето на воздухот е тешко да се види, на локалните лидери често им е тешко да ги лоцираат изворите и да развијат ефективни решенија за чист воздух.



Слика 13: Сообраќајот значајно придонесува за загадување на воздухот

Генерално, конвенционалните сензори за мерење на загадувањето на воздухот не се рамномерно распоредени низ заедниците. Покрај тоа што се распоредени со километри оддалечени еден од друг, тие често се поставуваат на згради високо над воздухот што луѓето всушност го дишат. Иако овие сензори се важни, тие се несоодветни за да се види и целосно да се разбере проблемот со

загадувањето на воздухот. Всушност, денес многу урбани области имаат континуиран регулаторен мониторинг. Во просек има два до пет монитори на милион луѓе. Ова значи дека не го заштитуваме соодветно јавното здравје или не ги намалуваме штетните емисии. Хиперлокалното мапирање на загадувањето на воздухот може да ја промени оваа динамика (овозможува по холистичка слика за квалитетот на воздухот при висока просторна резолуција), со тоа што **невидливото ќе биде видливо**. Се користи терминот хиперлокално загадување на воздухот за да се прикаже загадувањето на воздухот со висока просторна резолуција. Тоа значи со различни концентрации на секои 30 до 60 метри, и со висока временска резолуција, или различни концентрации секоја минута (или неколку минути), наместо на час или дневна основа. За разлика од конвенционалните системи за мониторинг, хиперлокалното следење на квалитетот на воздухот создава блок по блок видливост на **жаришта** за загадување на воздухот и им дава увид на локалните власти што им се потребни за да развијат соодветни интервенции, поефективни политики и на крајот почист воздух.

Хиперлокалниот мониторинг може да ја пополни празнината на места каде што моделирани податоци не се достапни. Дополнително, мерење на загадувањето на терен (реален микропростор) овозможува подобро разбирање на вистинската изложеност и влијанието врз здравјето на загадениот воздух, што потоа може да резултира со насочени решенија.

Хиперлокалната сензорска мрежа овозможува да се креира рамка како да се дизајнира, финансира, имплементира, анализира и да се користат добиените податоци од мрежата на хиперлокален мониторинг за квалитетот на воздухот, за да може да се развијат решенија за подобрување на здравјето во општината.



Слика 14: Хиперлокално мапирање кое го прави невидливото видливо

На светот му требаат обемни квалитетни решенија за воздухот. Девет од десет луѓе во светот дишат загаден воздух уште од првиот здив до нивниот последен. Глобалното загадување на воздухот денес е најголем еколошки ризик за рана смрт, одговорен за дури седум милиони прерани смртни случаи секоја година. Тоа е повеќе од СИДА, туберкулоза и маларија заедно. И неодамнешните студии открија дека загадувањето на воздухот може да влијае на менталното здравје, белите дробови во развој, па дури и на перформансите за берзанскиот пазар.

Но, откривањето како да се распоредат овие системи и потоа да се развијат политики за чист воздух врз основа на податоците, не е лесен чекор. Потребен е чекор по чекор за да се развијат хиперлокални проекти за следење на квалитетот на воздухот. Проектирањето опфаќа три главни фази:

Прво, анализа на предизвици и алатки за истражување за квалитетот на воздухот и воведување нови сознанија за креирање пакет на насочени решенија фокусирани на истражување, одговор при итни случаи, инвестиции и стимулации.

Второ, креирање детални чекори за дизајнирање хиперлокална мрежа за мониторинг, имплементација на мрежата и анализа на податоците.

Трето, податоци за акција, кои опишуваат како да се проценат различни решенија за квалитетот на воздухот, да се изгради свеста на заедницата и да се измери напредокот на политичките одлуки.

Зошто е важно или корисно да се разбере хиперлокалното загадување на воздухот? Жителите и локалните власти можеби се сомневаат дека загадувањето влијае на одредени области, но немаат докази за поддршка на тие претпоставки. Ако нашата цел вклучува создавање свест за загадувањето, ќе сакаме да одредиме **каде постојат жаришта**. Можеме да користиме монитори за да разбереме каде здравствените оптоварувања од загадувањето на воздухот се значајни. Со увид од податоците можат да се дизајнираат нови решенија, да се изгради политичка поддршка за акција, да се зголеми усогласеноста и да се повикаат загадувачите на одговорност. Пред да се продолжи со развој на систем за следење на загадувањето, важно е да се разберат предизвиците и можностите за квалитетот на воздухот во нашиот град.

Во текот на изминатите неколку години, Фондот за одбрана на животната средина (EDF - Environmental Defense Fund) работеше со научници, технолошки фирми, и градски лидери во Соединетите Американски Држави, Обединетото Кралството и Кина за да дизајнира и распореди мониторинг-системи за хиперлокално загадување на воздухот кои го мерат и анализираат локалното загадување на нивото на воздухот. Развиени се алатки и стекнато е искуство за да може да се направи нешто корисно за градовите, со широк опсег на предизвици и капацитети. Со споделување на овие алатки и учење, ќе им се помогне на лидерите да создадат трајни подобрувања на локалниот квалитет на воздухот.

Започнување на проект

Прва фаза. Причините за хиперлокално следење и како да се создаде промена дефинираат што и каде мериме. Ова вклучува: различни загадувачи кои треба да се мерат, засегнати страни кои повикуваат на акција, достапни партнери и потреба да се покријат здравствените центри меѓу другите. **Како да се пренесе проектот меѓу градските лидери**? Тие треба да одговорат како лошиот квалитет на воздухот влијае врз локалната економија и која економска цена треба да се

плати. Фактори, како што се здравјето и посетување училиште, ќе ги поттикне владините агенции да инвестираат за подобрување на квалитетот на воздухот.

Постојат алатки за мерење и хиперлокално мапирање на загадувањето на воздухот и повеќе опции што се достапни. Потребно е да се испита технологијата и финансирањето на програмата за следење на загадувачите во воздухот. Сензорите (опрема) многу варираат во однос на загадувачите што се мерат, сложеноста и квалитетот на податоците што ги изнесуваат, оперативните барања и барањата за одржување и, се разбира, цената на чинење. Затоа е важно приоритетите да бидат внимателно наведени пред да се разговара со потенцијалните продавачи. Пред да се одлучи каде да се постават сензорите (мониторите), треба тие да се инсталираат и да се донесуваат одлуки врз основа на она што го прикажуваат.

Детални чекори за креирање хиперлокална мрежа

Дизајнирање и распоредување на системот. Има многу одлуки кои го водат процесот на дизајнирање, а различни извори на загадување може да бараат различно поставување опрема и повеќе експерти. Треба добро да се разгледа кои монитори и сензори се достапни, како и предностите и недостатоците на користење на стационарни или мобилни монитори за податоци. Различни извори на загадување бараат различна опрема, поставеност и експерти. Потребен е и соодветен персонал, луѓе да инсталираат монитори и да ги анализираат тие податоци. Две главни прашања се појавуваат кога ќе се започне со дизајнирање. Стационарното може да биде најефикасната опција во области каде што се очекуваат помали варијации на загадување на воздухот или каде има проблематични области на извори на емисија. Во случај на мобилни монитори, секое мерење е снимка во времето на загадување на одредена локација. За да создадеме стабилна, цврста и репрезентативна слика за загадувањето на која било локација со текот на времето, треба да земеме повторени примероци или мерења. Да се креира смисла на податоците. Потребна е клучна експертиза, која може да се подели на четири главни делови: **геолокација**, **проценка на покриеност**, **пронаоѓање на централна тенденција** и **идентификување на жаришта**.

Пример. Градот Лондон комбинира софистицирана анализа на податоци со најсовремена технологија, како што е мобилно следење на автомобили на Google Street View и над 100 стационарни локации за мониторинг. Ова се користи за собирање податоци за загадување на воздухот на 1000 локации. Ова е една од најсеопфатните светски мрежи за следење на квалитетот на воздухот.

Во градот Оукленд, од мерење на загадување на една локација, се премина на мерење на секои 30 метри. Истражувањата покажуваат дека загадувањето на воздухот не е рамномерно дистрибуирано. На овој начин се откриј многу делови во населби кои имаат повисоки нивоа на загаденост на воздухот. Овие податоци ги одразуваат вистинските патишта на изложеност и го потврдуваат искуството на живеење во заедницата. Анализите покажаа дека лица постари од 65 години, кои живеат во области со високи концентрации на азот диоксид (загадување кое доаѓа најмногу од возила кои загадуваат), имаат **40 %** поголем ризик од кардиоваскуларни болести, од оние кои живеат во помалку загадени области. Од оваа анализа, градските власти предложија да се воведе забрана за камиони во станбени области каде што живее ранлива популација.

Податоци за акција

Моќта на хиперлокалниот маркетинг ќе се почувствува во заедницата кога политиката или акцијата се потпира на податоци што се собираат. За да се дојде до оваа точка, ќе треба да се соберат конституенти и експерти за да се планираат активности кои го намалуваат загадувањето на воздухот и да се изготви план за намалување на загадувањето, план приспособен за секој град одделно, да се формираат агенции да ги спроведуваат активностите и да покренат бројни акции за почиста животна средина. Штом тимот знае дека податоците се темелни и точни, и штом ќе се визуелизираат и интерпретираат резултатите, може да се презентираат фактите и да се оправдаат новите политики преку најдобар поттик за ангажирање и насочување на луѓето кон акција. Исто така, треба да се користат најдобри практики за градење на свесност околу решенијата за чист воздух.

За да се одржи посветеност на градот за намалување на загадувањето, треба да се задржи **чувството на итност**. Во некои случаи луѓето знаат дека

ситуацијата е алармантна и бараат итно внимание, но **им се потребни податоците** за поддршка на активности на политиката. Но и факт е дека загадувањето на воздухот сè уште не е регистрирано кај повеќе луѓе како критичен проблем. Затоа, квантифицирањето на проблемот со загадувањето, како и обезбедувањето докази може да го инспирира градот да генерира долгорочен капитал за нова инфраструктура и проекти.

Кога ќе се дизајнира хиперлокална мрежа за мерење на загадувањето на воздухот, **подготвеноста за комуницирање според добиените резултати е од суштинско значење за долгорочен успех**. Како дел од процесот на градење односи и доверба, треба да се склучат договори за партнерство засновани на здрави принципи за ангажман за заедницата кои дефинираат заедничка визија и цели за проектот и ги разјаснуваат улогите на секоја организација. Ако се одлучи да се инвестира во активност што го штити здравјето, како што се стимулации за пензионирање на дизел мотори, нови автобуски линии со електрични возила, може да се користат хиперлокалните податоци за да се насочат средствата во населби каде што интервенциите на политиката **ќе бидат најефективни**. Како што се развиваат маркетинг-целите, треба да се креира листа на активности (листа на акциони области) што градот планира да ги преземе за да се справи со загадувањето на воздухот.



Слика 15: Електричен автобус за чист јавен превоз

Локалните власти треба да знаат да одговорат на следните прашања: Каде сме сега? Знаеме ли дали постои свест за загадувањето на воздухот во нашата општина? Ако е така, меѓу која публика?

Исто така, потребно е да се реализираат пилот-проекти во градот.

4. Ефекти од загадувањето врз здравјето на луѓето и животната средина

Забележан е широк опсег на здравствени и еколошки ефекти по изложување на загадувачи на воздухот или мешавини на загадувачи на воздухот. Здравствените ефекти варираат во зависност од видот на загадувач или мешавината на загадувачи, од концентрацијата и времето на изложување, кое може да биде **краткорочно** (од часови до недели) или **долгорочно** (месеци до години). Потенцијалните здравствени ефекти поврзани со изложеност на загаден воздух вклучуваат: **намалена функција на белите дробови**, **влошување на респираторните и кардиоваскуларни болести и зголемена инциденца**, **зголемување на инциденцата на астма** и други ефекти. Податоците во **Табела 2-2**, обезбедени од Канцеларијата за планирање и стандарди за квалитет на воздухот на EPA - Одделот за здравје и влијанија врз животната средина, ги сумира здравствените и еколошките ефекти од вообичаени загадувачи на воздухот.

Табела 2-2: Ефекти врз здравјето и животната средина од одредени загадувачи на воздухот

Загадувач	Ефекти на здравјето	Ефекти на животната средина
Амонијак (NH_3)	• Може да предизвика сериозна иритација на кожата, очите, носот и грлото.	• Претходник на формирање на секундарни честички. • Придонесува за киселинско таложење на почвите и површинските води.
Бензен, толуен, етилбензен и ксилен (BTEX)	• Познат човечки канцероген. • Краткорочното изложување може да предизвика поспаност, вртоглавица, главоболки и иритација на очите, кожата и	• Може да придонесе за формирање на O_3 на ниво на земјата.

	респираторниот тракт. • Долготрајна изложеност може да предизвика нарушувања на крвта и негативни ефекти врз репродуктивниот систем	
Црн јаглерод (BC)	• Компонента на PM (види ефекти на здравјето од PM).	• Компонента на PM (види еколошки ефекти на PM). • Придонесува за климатските промени кои предизвикуваат промени во моделите на дожд и облаци. • Како што се депонирал пред нашата ера на Арктикот, честичките го покриваат снегот и мразот, намалувајќи ја способноста на Земјата да се рефлектира затоплување на сончевите зраци, притоа апсорбирајќи ја топлината и забрзувајќи го топењето на ледот
Јаглерод моноксид (CO)	• Дишење воздух со висока концентрација ја намалува количината на кислород што може да се транспортира во крвотокот до критични органи како срцето и мозокот. • На многу високи нивоа, кои се можни во затворени простории или во други затворени средини, CO може да предизвика вртоглавица, конфузија, несвест и смрт. • Краткорочното изложување на покачено CO може да резултира со намалување на кислород до срцето, што е придружено со болка во градите (исто така познато како ангина).	• Не постои секундарен стандард бидејќи концентрациите кои би имале било каков ефект врз флората или фауната се многу пати повисоки од она што може да се појави во воздухот на отворено.
Озон на ниво на земја (O_3)	• Зголемене концентрации предизвикуваат респираторни ефекти и може: ○ Да активира одговори како што се иритација на грлото или чувство на печење во дишните патишта, кашлање, отежнато дишење и воспаление	• O_3 е стаклен ички гас, со поврзан потенцијал за ефекти врз климата. • Зголемените концентрации можат да: ○ Влијаат на чувствителната вегетација и еко-системите, вклучително и во парковите и дивите области, со намалување

	на дишните патишта. ○ Ја намалува функцијата на белите дробови и му штети на белодробното ткиво. ○ Го влошува бронхитисот, емфиземот и астмата, зголемувајќи го ризикот од астма напади и придружни исходи кај засегнати лица	на фотосинтезата и забавување на растот. ○ Го зголемуваат ризикот на чувствителни растенија од други стресни фактори, како што се болести или инсекти. ○ Предизвикаат флеки или шипки на листовите на чувствителни растенија.
Олово (Pb)	• Зголемена изложеност може негативно да влијае на нервниот систем, функцијата на бубрезите, имунолошкиот систем, репродуктивните и развојните системи и кардиоваскуларниот систем. • Зголемена изложеност може да влијае и на капацитетот на крвта да носи кислород. • Ефекти кои најверојатно ќе се сретнат кај сегашните популации се невролошки ефекти кај децата. Доенчињата и малите деца се особено чувствителни на изложеност на олово, што може да придонесе за проблеми во однесувањето, дефицит во учење и намален коефициент на интелигенција (IQ).	• Зголемениот Pb во животната средина може да резултира со ефекти врз: ○ Однесувањето, репродукцијата, развој и опстанокот на копнените и водните животни. ○ Растот на растенијата.
Жива (Hg)	• Изложеноста на метил жива (MeHg) се јавува кога луѓето јадат риба и производи од риба со високо ниво на MeHg. • Примарен ефект е оштетување на централниот нервен систем: ○ При многу висока изложеност, симптомите може да вклучуваат: заматен вид, малаксаност, тешкотии во говорот и стегање на видното поле. ○ За доенчиња родени од бремени лица	• Депозити во почвата и водните тела. • MeHg може да се акумулира во рибите кои потоа ги консумираат птиците, цицачите и предаторите и, во многу високи концентрации може да предизвика ефекти кај животните кои вклучуваат: ○ Смрт ○ Намалена репродукција ○ Побавен раст и развој ○ Ненормално однесување.

	со високо ниво на метил жива, ефекти како што се: ментална ретардација, атаксија, намалување на видното поле, слепило и церебрална парализа. При пониски концентрации на MeHg, ефекти како што се: развојни одложувања и абнормални рефлекси	
Метан (CH_4)	• Генерално не се смета за токсичен гас. • Многу висока изложеност може да предизвика: главоболки, вртоглавица, гадење, повраќање и, во тешки случаи, респираторни проблеми и губење на свеста	• Стаклени̇чки гас кој придонесува за климатски промени, особено за затоплување на Земјата.
Азот диоксид (NO_2)	• Изложеност на високи концентрации на NO_2 може да ги иритира дишните патишта во респираторниот систем. • Изложеност на покачени концентрации во кратки временски периоди може да ги влоши респираторните заболувања, особено астмата, што доведува до респираторни симптоми (на пр., кашлање, отежнато дишење). • Подолго изложување на покачени концентрации може да придонесе за развој на астма и потенцијално да ја зголеми подложноста на респираторни инфекции. • Придонесува за формирање на O_3 и PM на ниво на земја (види здравствени ефекти од PM).	• NO_2 и други оксиди на азот (NOx) комуницираат со вода, кислород и други хемикалии во атмосферата за да формираат кисели дождови, што може да им наштети на чувствителните екосистеми како што се езерата и шумите. • Може да придонесе за загадување со хранливи материи во крајбрежните води. • Придонесува за формирање на O_3 и PM на ниво на земја (види ефекти на PM врз животната средина).
Честички (**PM2,5** и **PM10**)	• Изложеноста може да влијае и на белите дробови и на срцето. Бројни научни студии го поврзуваат загадувањето со честички со различни проблеми, вклучувајќи: ○ Прерана смрт кај луѓе	• Може да има ефекти врз климата, вклучително и radiative forcing. • Може да обои и оштети камен и други материјали. • Може да ја намали видливоста (да создаде

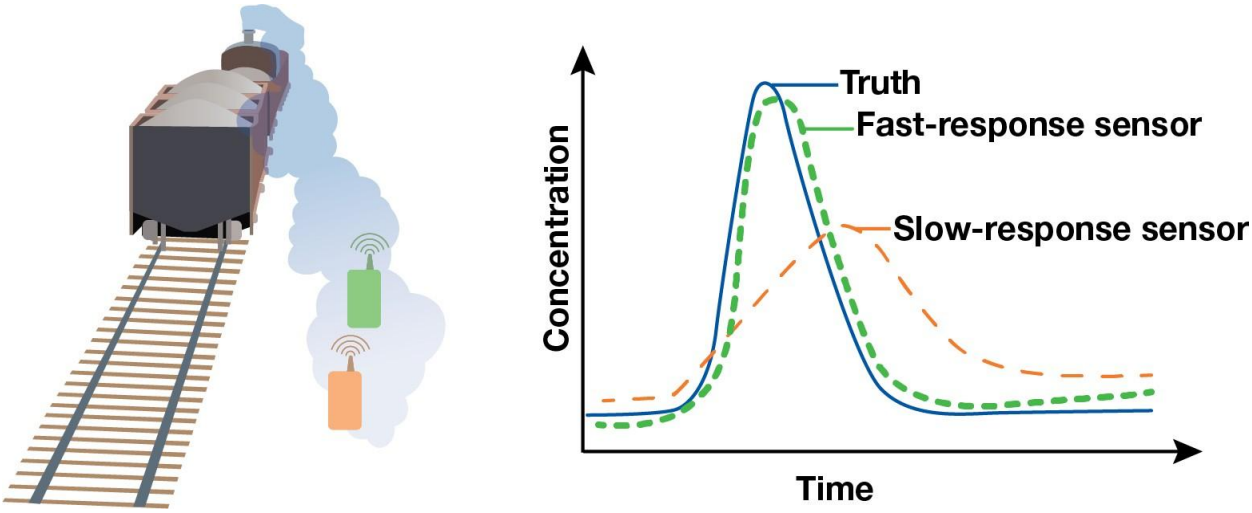
	со срцеви или белодробни заболувања. ○ Нефатални срцеви удари. ○ Неправилно чукање на срцето. ○ Засилена астма. ○ Намалена функција на белите дробови. ○ Зголемени респираторни симптоми, како што се иритација на дишните патишта, кашлање или отежнато дишење.	магла). • Може да се носи на долги растојанија со ветер, а потоа да се насели на земја или вода. Во зависност од неговиот хемиски состав, ефектите од ова таложење може да вклучуваат: ○ Ефекти слични на кисел дожд, како што е киселоста на езера и потоци. ○ Ефекти врз баланс на хранливи материи во крајбрежните води и големите речни сливови или во почвите, со поврзани ефекти врз чувствителните шуми, екосистемите и земјоделските култури.
Сулфур диоксид (SO_2)	• Краткорочно изложување на покачени концентрации може да му наштети на респираторниот систем и да го отежне дишењето. • Придонесува за формирање на PM-честички (види здравствени ефекти од PM).	• При високи концентрации, гасните сулфур оксиди (SO_X) можат да им наштетат на дрвјата и растенијата со тоа што ќе го оштетат зеленилото и ќе го намалат растот. • SO_2 и други SOx комуницираат со вода, кислород и други хемикалии во атмосферата за да формираат кисели дождови, што може да им наштети на чувствителните екосистеми како што се езерата и шумите. • Придонесува за формирање на PM честички (види еколошки ефекти на PM).
Ултрафини честички (UFP)	• Вклучено во PM2,5 (види здравствени ефекти од PM). • Постојат некои докази поврзани со респираторните, кардиоваскуларните и ефектите на нервниот систем, но истражувањата за здравствените ефекти поврзани со UFP сè уште се истражуваат.	• Вклучено во PM2,5 (виде ги ефектите на PM врз животната средина).
	• Некои се токсични загадувачи на воздухот кои	• Придонесува за

Испарливи органски соединенија (VOCs)	предизвикуваат рак и/или други сериозни здравствени ефекти. • Придонесува за формирање на O_3 и PM на ниво на земја (види здравствени ефекти од PM).	формирање на O_3 и PM на ниво на земја (види ефекти на PM врз животната средина).

5. Колокација и корекција на податоци

Калибрација или колокација и корекција на податоци. **Калибрација** е постапка која ги проверува и прилагодува поставките (settings) на инструментот така што произведените мерења се споредливи со сертифициран стандард. **Колокација** е процес на проверка на перформансите на сензорот за воздух со инсталирање и ракување на сензор во непосредна близина на референтен(и) инструмент(и). **Корекцијата** на податоци вклучува прилагодување на податоците на сензорот за воздух за да се зголеми неговата точност во однос на познатата референтна вредност. Пред да се купи сензор, корисниците треба да утврдат дали производителот го калибрирал или коригирал сензорот. Дополнително, корисниците треба целосно да разберат кога и како треба да се изврши колокацијата и како да се поправат мерењата на сензорот за воздух. Треба да се разговара со производителот на сензорот за методот, зачестеноста и сите дополнителни трошоци за услуги за калибрација, колокација и корекција.

Време на одговор (**Response time**). Сензорот може да биде брз или бавен за да открие променливи концентрации на загадувачи во воздухот. Сензор кој реагира брзо (т.е. **висока временска резолуција**) може да биде корисен за следење на **мобилен мониторинг** и **набљудување на многу брзи** (на пример, од секунди до минути) **промени во концентрациите на загадувачи на фиксни места** (како во близина на патишта со густ сообраќај), како што е прикажано на Слика 14. Сензорот кој реагира бавно (т.е. ниска временска резолуција) може да биде посоодветен за стационарно следење каде концентрациите на загадувачите често се менуваат постепено (на пример, од минути до часови). Специфичните цели за собирање податоци ќе одредат кој тип на сензор е најдобар.



Слика 16: Пример на време на одговор на сензор за воздух (**Air Sensor**)

6. Практично истражување: мерење на концентрација на загадувачи во воздух во реална средина со користење електронски сензорски системи

За потребите на ова истражување се користеа следните Air sensors на компанијата Elitech Temptop (Air Quality Monitor) од Лондон, Велика Британија, и тоа:

- Elitech Temptop M2000 2nd, кој ги мери следните загадувачи во воздухот:
  - Честички PM2.5
  - Честички PM10
  - Јаглерод диоксид – **CO_2**
  - Формалдехид (HCHO)
  - Data Export (трансфер на податоци)
  - Particles (број на честички – per/L)
  - Температура на воздухот
  - Влажност на воздухот
  - Хистограм.
- Elitech Temptop LKC – 1000S-2nd
  - Честички PM2.5
  - Честички PM10

- TVOC – испарливи органски супстанции
- Формалдехид (HCHO)
- Data Export (трансфер на податоци)
- Particles (број на честички – per/L)
- AQI – индекс на квалитет на воздухот
- Температура на воздухот
- Влажност на воздухот
- Хистограм.

Мерења на концентрации на загадувачи во воздух се мерени на различни локации, во различен период во денот, во различни денови во неделата и со различна фреквенција на мерење (1, 5, 10, 30 и 60 минути).

Добиени се следните мерни концентрации на загадувачи:

а) Мерења реализирани на отворен простор во урбана средина, во период од 20.07 часот до 23.58, со мерење во интервал од 10 минути, на 22.02.2023 година. Со експортирање на податоци од сензорскиот систем на лаптоп компјутер е креирана следната табела во Word формат:

DATE	PM2.5	PM10	HCHO	TVOC	TEMP	HUMI	UNIT
2/22/2023 20:07	19.2	32.3	0.07	0.31	21	60	C
2/22/2023 20:17	20.7	34.8	0.08	0.39	22	58	C
2/22/2023 20:27	19.6	33.2	0.08	0.36	23	58	C
2/22/2023 20:37	19.9	33.3	0.08	0.37	23	57	C
2/22/2023 20:47	**45.2**	**75.6**	0.02	0.05	21	44	C
2/22/2023 20:57	**27.6**	46.2	0.06	0.26	22	54	C
2/22/2023 21:17	**31.7**	54	0.08	0.4	22	56	C
2/22/2023 21:27	22	36.4	0.08	0.4	23	57	C
2/22/2023 21:37	24.1	40.4	0.08	0.36	24	55	C
2/22/2023 21:47	21.2	35.2	0.07	0.34	24	54	C
2/22/2023 21:57	20.8	34.6	0.08	0.4	24	54	C
2/22/2023 22:07	21.2	35.3	0.08	0.37	23	54	C

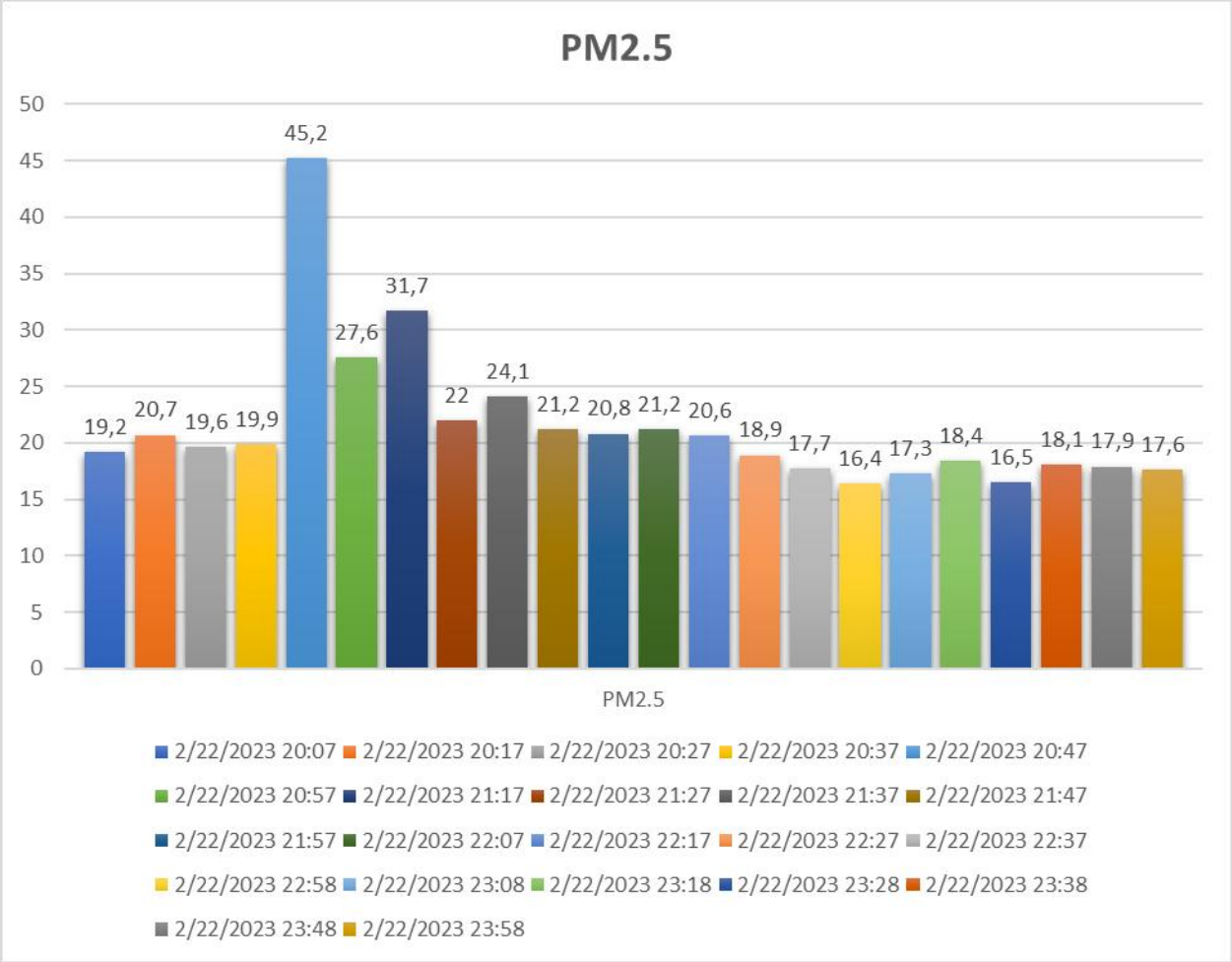
2/22/2023 22:17	20.6	34.5	0.08	0.41	23	54	C
2/22/2023 22:27	18.9	31.3	0.08	0.36	24	55	C
2/22/2023 22:37	17.7	29.3	0.08	0.37	24	55	C
2/22/2023 22:58	16.4	27.8	0.08	0.36	24	54	C
2/22/2023 23:08	17.3	29.4	0.08	0.35	24	54	C
2/22/2023 23:18	18.4	31.1	0.07	0.34	24	54	C
2/22/2023 23:28	16.5	27.6	0.07	0.34	24	54	C
2/22/2023 23:38	18.1	30	**0.11**	0.52	24	55	C
2/22/2023 23:48	17.9	30.1	**0.11**	0.53	24	55	C
2/22/2023 23:58	17.6	29.6	**0.11**	0.52	24	55	C

Од оваа табела се креирани следните графички прикази на одредени загадувачи:

На слика 1 е прикажан хистограм на загадување со PM2.5 честички. Притоа, референтни параметри за квалитет на воздух (според меѓународни стандарди) се:

- **PM2.5 < 12 μg/m^3** (healthy – Good) – дозволено ниво (добро, здраво);
- **PM2.5 помеѓу (12.1-35.4) μg/m^3** (Moderate) – умерено ниво;
- **PM2.5 помеѓу (35.5-55.4) μg/m^3** (Unhealthy for Sensitive groups) – нездраво ниво за сензитивни (чувствителни) групи;
- **PM2.5 помеѓу (55.5-150.4) μg/m^3** (Unhealthy) – нездраво ниво за сите луѓе;
- **PM2.5 помеѓу (150.5-250.4) μg/m^3** (Very Unhealthy) – многу нездраво ниво за сите луѓе;
- **PM2.5 > 250.5 μg/m^3** (Hazardous) – опасно ниво на загадување за сите луѓе.

PM2.5 (Particulate Matter 2.5) се однесува на фини честички со дијаметар од 2,5 микрометри или помалку. Поради својата мала големина, PM2,5 може да се апсорбираат во **крвотокот** и **белите дробови**, така што долготрајна изложеност на висока концентрација од **PM2,5** во животната средина може да предизвика иритација на очите и носот, кашлица, астма, емфизем, белодробни заболувања, срцеви удари, канцер и слично.



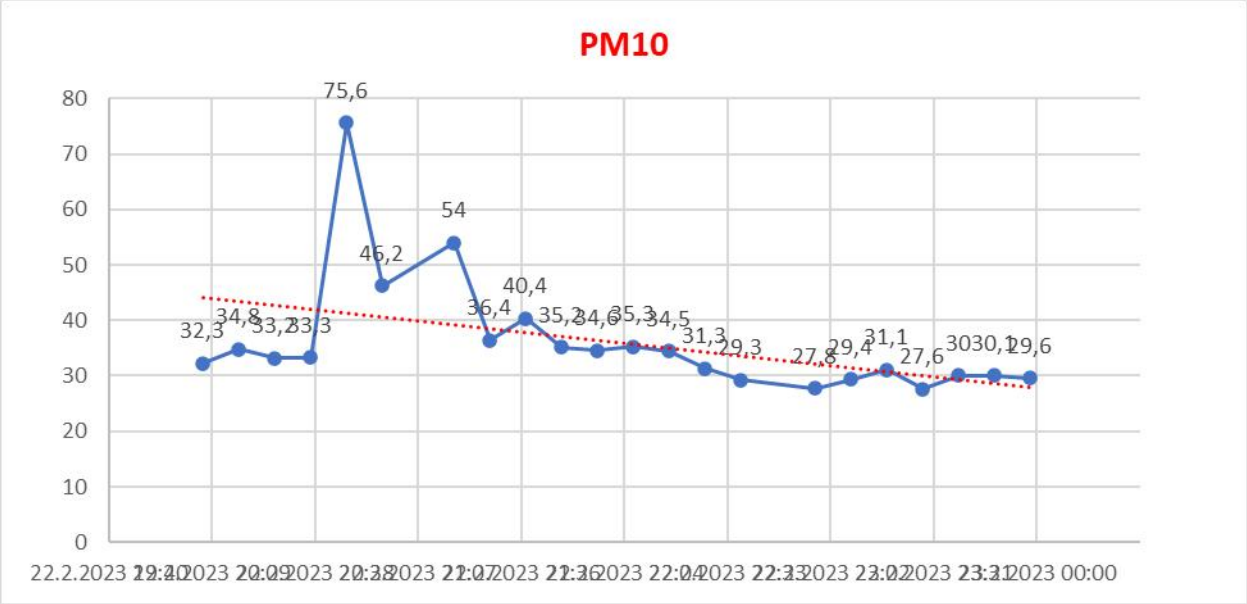
Слика 1: Графички приказ на загадувач PM2.5

Од слика 1 може да се забележи дека во целиот временски период на мерење на концентрација на PM2.5, вредностите надминуваат **12 μg/m^3** (здраво ниво на загаденост). Во време 20.47, концентрацијата на PM2.5 изнесува **45.2 μg/m^3**, што влегува во категорија на нездраво ниво на загадување за сензитивни групи (оваа висока концентрација е мерена на раскрсница каде има висока фреквенција на сообраќај – метеж во сообраќајот). Вакво високо ниво на загадување е регистрирано во период од 20.47 до 21.17 часот.

- **Good** - Квалитетот на воздухот се смета за задоволителен, а загадувањето на воздухот претставува мал или никаков ризик.
- **Moderate** - Квалитетот на воздухот е прифатлив, меѓутоа, за некои загадувачи може да има умерена здравствена грижа за многу мал број луѓе кои се невообичаено чувствителни на загадувањето на воздухот.

- **Unhealthy for Sensitive Groups** - Членови на чувствителни групи може да доживеат здравствени ефекти. Општата јавност веројатно нема да биде засегната.
- **Unhealthy** - Секој може да почне да доживува здравствени ефекти. Членовите на чувствителните групи може да доживеат посериозни здравствени ефекти.
- **Very Unhealth** - Здравствени предупредувања за вонредни состојби. Поголема е веројатноста да биде засегнато целото население.
- **Hazardous** - Здравствено предупредување: секој може да доживее посериозни здравствени ефекти.

На слика 2 е прикажан графикон на загадување со PM10-честички во ист временски интервал како и PM2.5 (Слика 1). Може да се забележи дека највисоки концентрации се забележани во ист временски период од 20.47 до 21.17 часот.



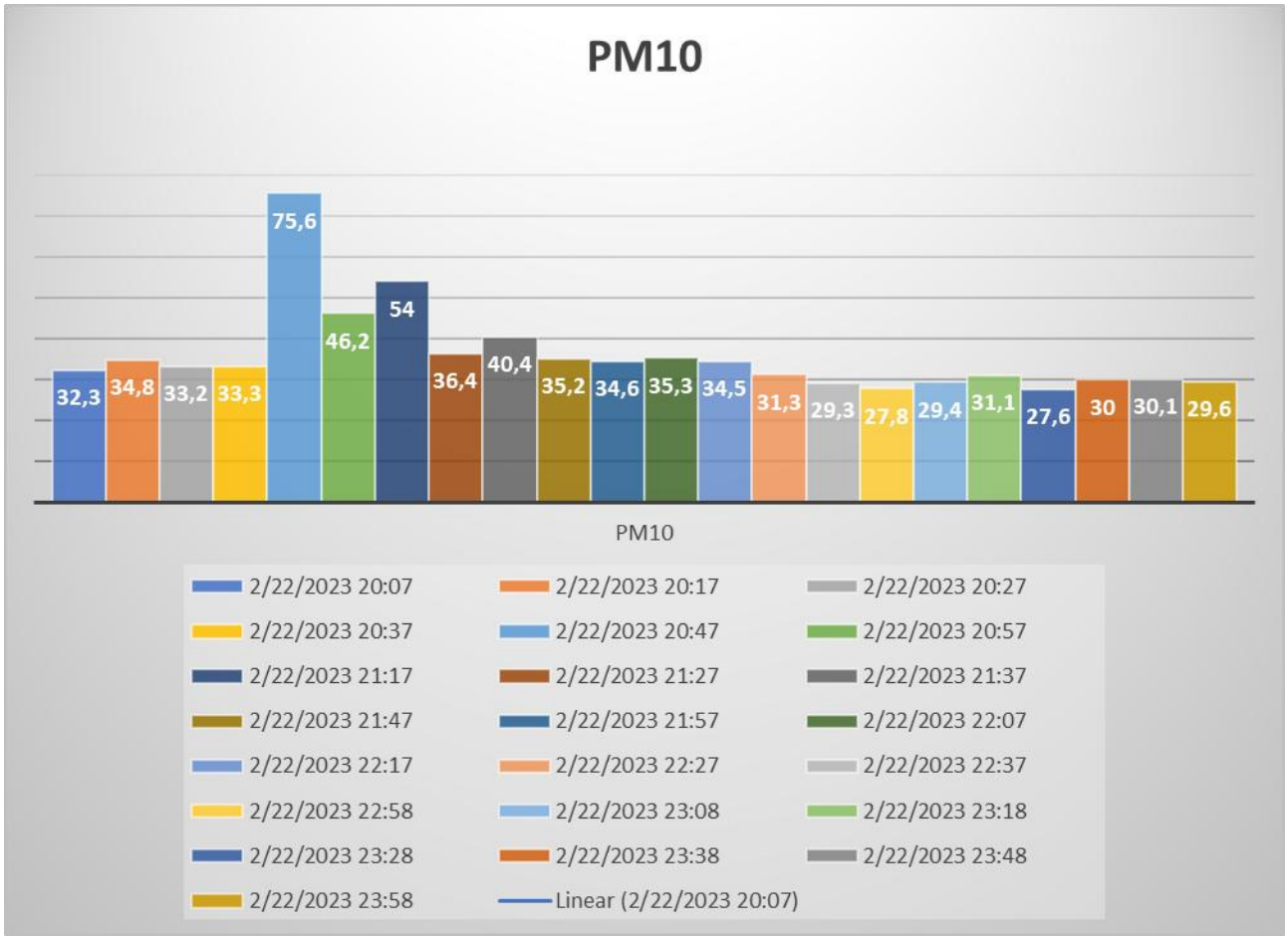
Слика 2: Графички приказ на PM10 загадувач со линија на тренд

Референтни параметри (за PM10) за квалитет на воздух (според меѓународните стандарди) се:

- **PM10 < 54 μg/m^3** (healthy – Good) – дозволено ниво (добро, здраво);
- **PM10 помеѓу (55-154) μg/m^3** (Moderate) – умерено ниво;

- **PM10 помеѓу (155-254) μg/m^3** (Unhealthy for Sensitive groups) – нездраво ниво за сензитивни (чувствителни) групи;
- **PM10 помеѓу (255-354) μg/m^3** (Unhealthy) – нездраво ниво за сите луѓе;
- **PM10 помеѓу (355-424) μg/m^3** (Very Unhealthy) – многу нездраво ниво за сите луѓе;
- **PM10 > 425 μg/m^3** (Hazardous) – опасно ниво на загадување за сите луѓе.

На слика 3 е даден графички приказ на PM10 загадувач (хистограм) со означени вредности во секој период од време на опсервација.



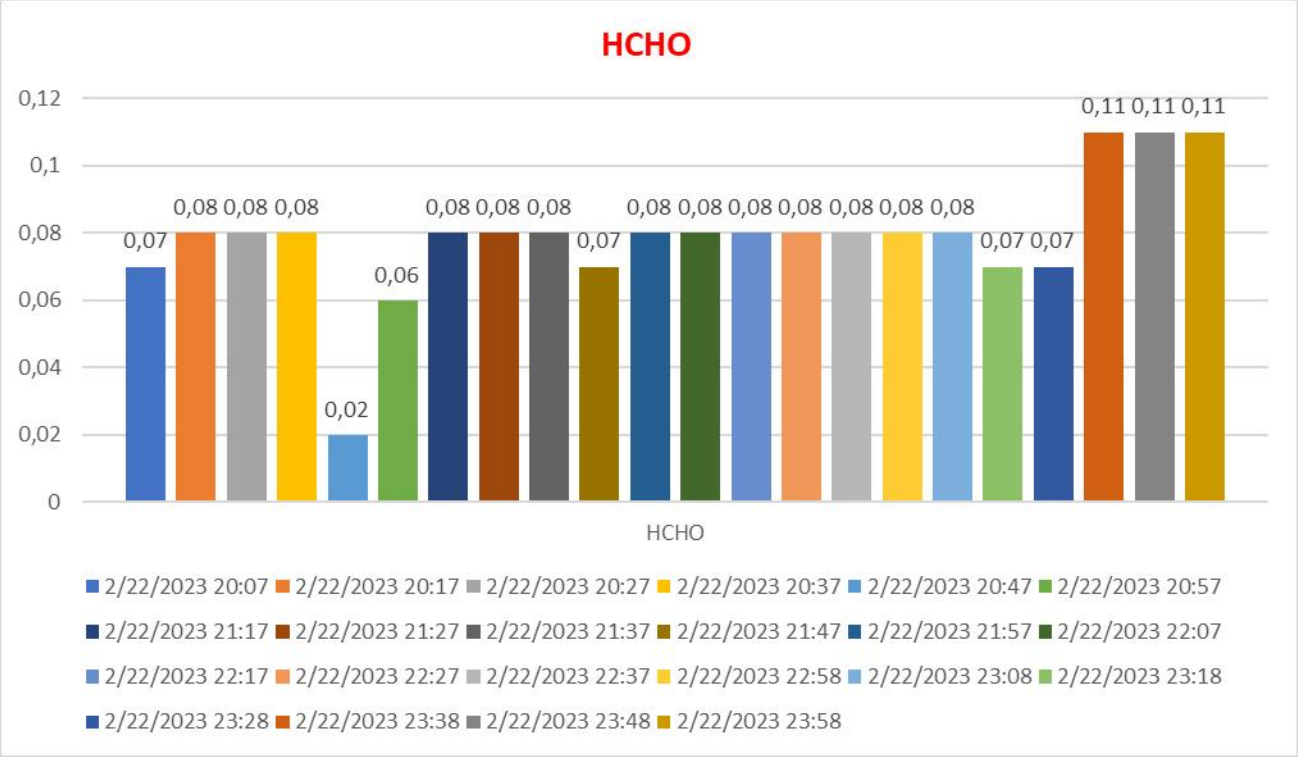
Слика 3: Графички приказ на PM10-загадувач

PM 10 (Particulate Matter 10) се однесува на честички со дијаметар од 10 микрометри или помалку. Поради поголемиот обем, може да се вдишуваат, но не продираат подалеку од бронхиите бидејќи поголемите честички може да се

филтрираат со цилиите и слузта на носот и грлото. Обично се сметаат за помалку штетни по здравјето од PM 2.5.

На слика 4 е прикажан графичка слика на загадувач HCHO (формалдехид) за ист временски период како и за PM2.5 и PM10.

Формалдехид (**HCHO** - Formaldehyde) е безбоен гас со силен мирис со формула **CH_2O**, кој е класифициран од IARC како канцероген од група 1. Долготрајна изложеност само на ниски дози може да предизвика **хронични респираторни заболувања**, **nasopharyngeal, карцином**, **рак на дебелото црево**, **тумори на мозокот**, мутација на јадрото на гените (nuclear gene mutation), итн.



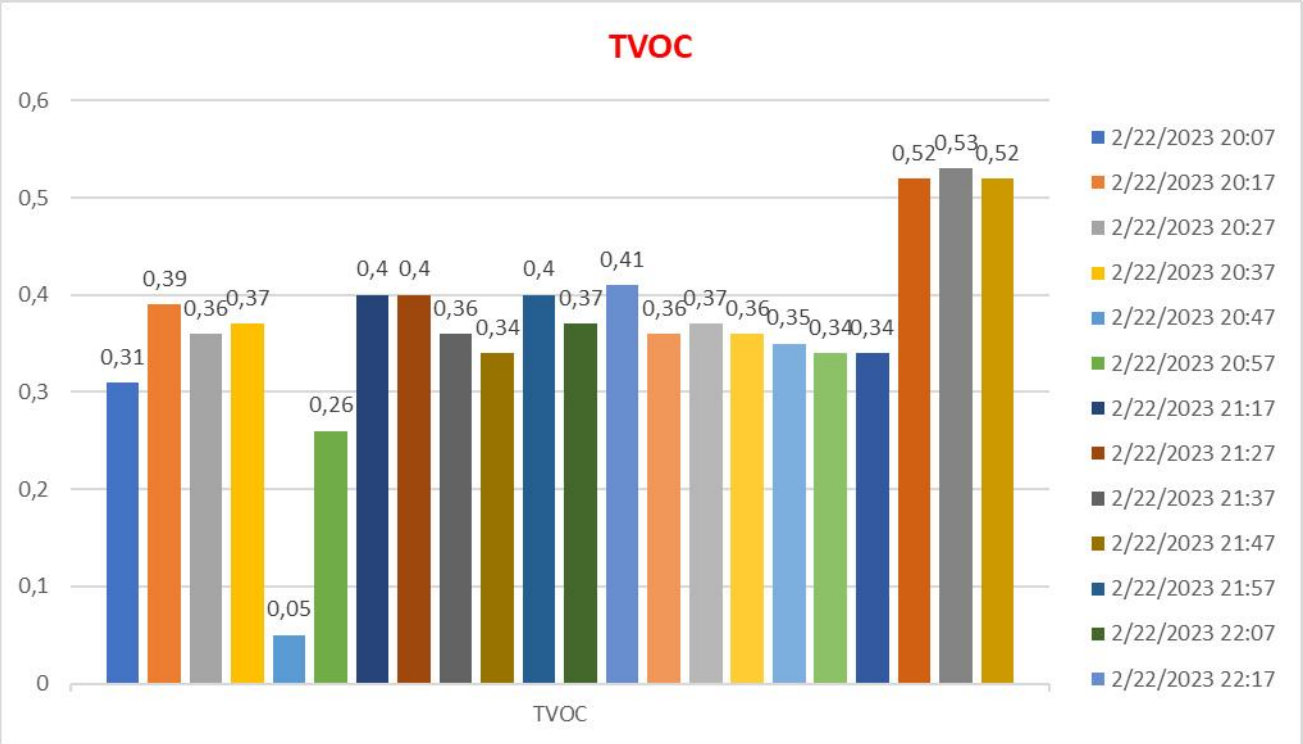
Слика 4: Графички приказ на HCHO (формалдехид) загадувач

Референтни параметри (за HCHO) за квалитет на воздух (според меѓународните стандарди) се:

- **HCHO < 0.1 mg/m^3** (healthy – Good) – дозволено ниво (добро, здраво);
- **HCHO > 0.1 mg/m^3** (Unhealthy) – нездраво ниво за сите луѓе.

Може да се забележи дека нездраво ниво на концентрација на формалдехид се јавува во периодот од **23.38** до **23.58** часот (концентрација **0.11** која е по-висока од **0.1**).

На слика 5 се прикажани концентрации на TVOC-загадувач



Слика 5: Графички приказ на TVOC загадувач

Референтни параметри (за TVOC) за квалитет на воздух (според меѓународните стандарди) се:

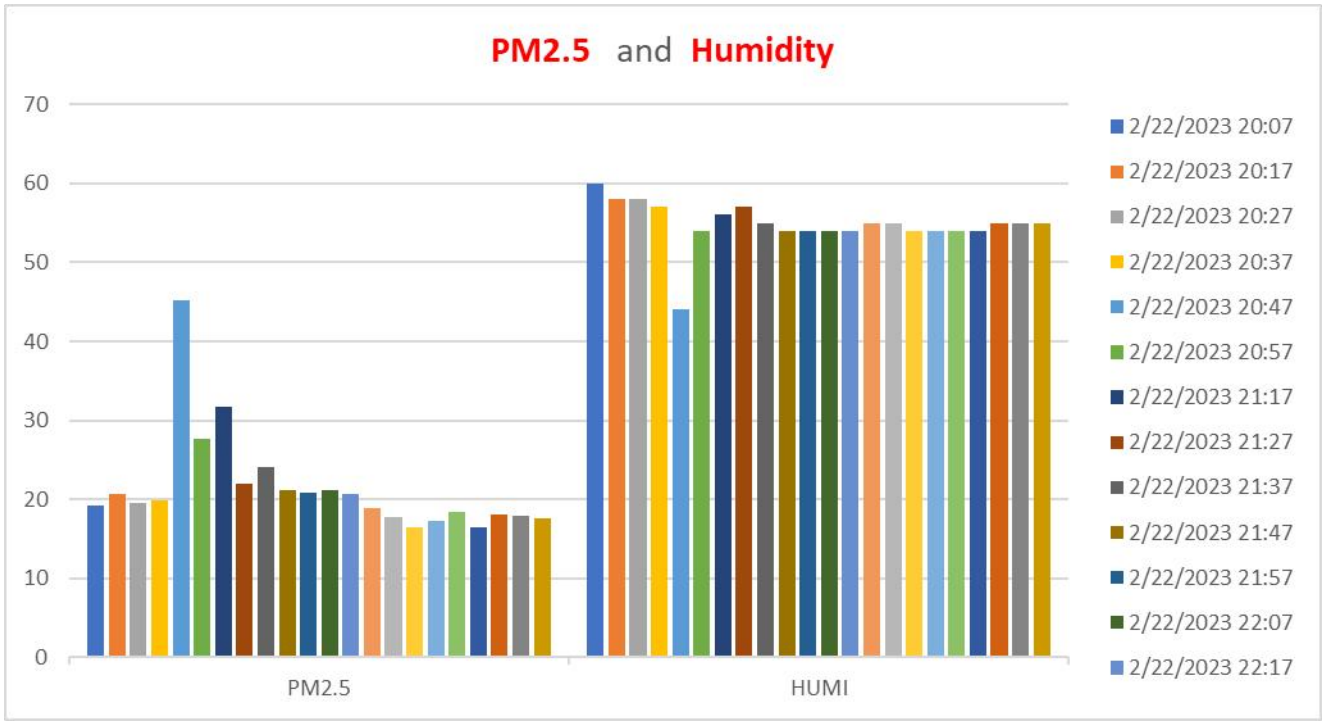
- **TVOC < 0.6 mg/m^3** (healthy – Good) – дозволено ниво (добро, здраво);
- **TVOC > 0.6 mg/m^3** (Unhealthy) – нездраво ниво за сите луѓе.

На графиконот може да се забележи дека за цело време на мерење на концентрациите на **TVOC**, измерените вредности се помали од **0.6 mg/m^3** (дозволено, здраво ниво).

TVOC (*volatile organic compounds*)**: Испарливи органски соединенија.** Ги има во детергенти за перење алишта, средства за полирање мебел, освежувачи на воздух, дезодоранси и мириси, инсектициди, чистачи на теписи, бои и

растворувачи, лакови, лепила, печатари. **TVOC** се важни загадувачи на воздухот. Од аспект на загадување на воздухот, тие обично се поделени на: метански (CH_4) и неметански (NMVOCs). Метанот е многу ефикасен стаклени̇чки гас кој придонесува во глобалното затоплување. Други јаглеводородни VOCs се исто така значајни стаклени̇чки гасови преку нивната улога во создавање на **озон**, како и со продолжување на опстанокот на метанот во атмосферата, иако овој ефект варира во зависност од локалниот квалитет на воздухот. Во рамките на NMVOCs, ароматичните соединенија бензен, толуен и ксилен се можни карциногени и може да доведат до **леукемија** при подолготрајно изложување. **1,3-бутадиен** е друго опасно соединение кое често се поврзува со индустриските процеси.

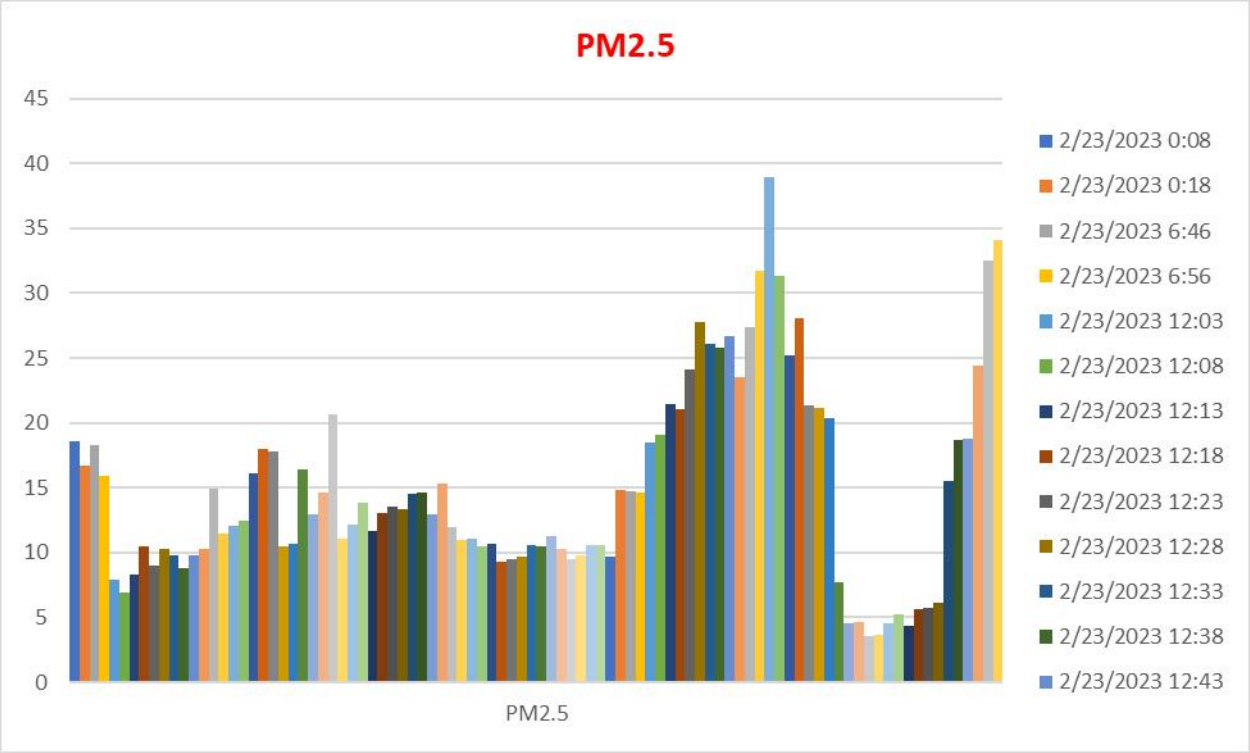
На слика 6 е прикажан графикон на споредбени вредности на PM2.5 и на влажност на воздухот. Овој графички приказ овозможува да се процени влијанието на влажноста на воздухот врз нивото на концентрации на опасни PM2.5-честички. Дали зголемената влажност на воздухот (дождливи денови, приморски обла-сти, прашуми...) придонесува за повисоко или пониско ниво на загадување со PM-честички.



Слика 6: Графикон на вредности на загадувачки честички PM2.5 и вредности на влажност (humidity) на воздухот

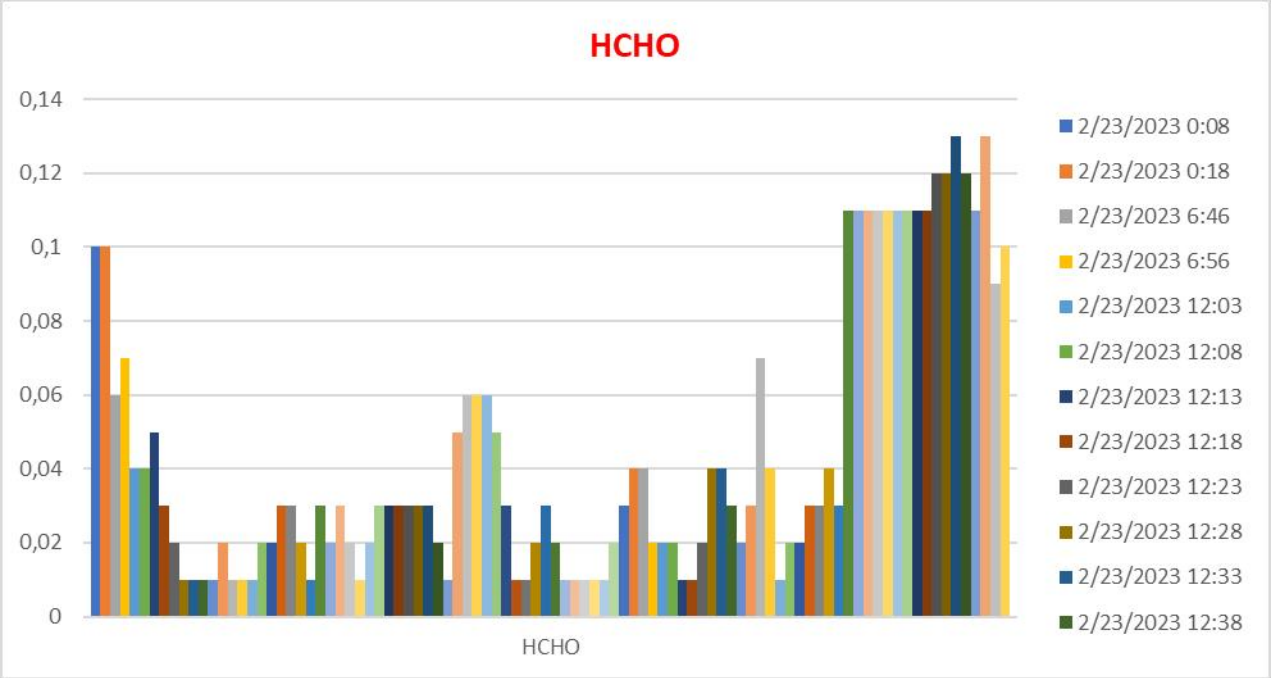
На следните 3 слики се прикажани графикони за три вида загадувачи, измерени на 23.02.2023 година, во временски интервали од 5 и 10 минути, во период од 0.08 минути до 13.15 часот (ноќно мерење на концентрации на загадувачи).

На слика 7 се прикажани вредности на концентрациите на загадувачот PM2.5. Може да се забележи дека во одредени временски периоди има загадување кое ги надминува дозволените (здрави) вредности и претставуваат штетни концентрации за сензитивната група луѓе (со респираторни заболувања, астма, срцеви заболувања и други).



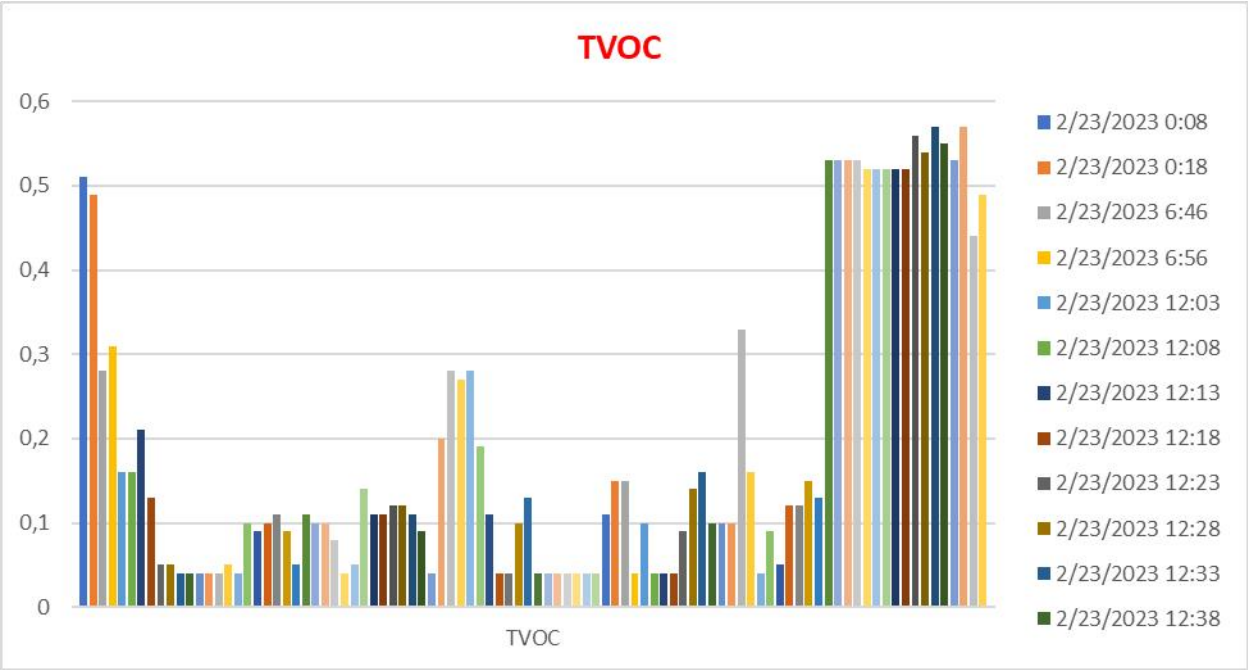
Слика 7: Графикон на PM2.5-концентрации

На слика 8 се прикажани вредности на концентрации на загадувачот HCHO. Може да се забележи дека во одредени временски периоди има загадување кое ги надминува дозволените (здрави) вредности (повисоки од **0.1 mg/m^3**) и претставуваат штетни концентрации за сите групи на граѓани.



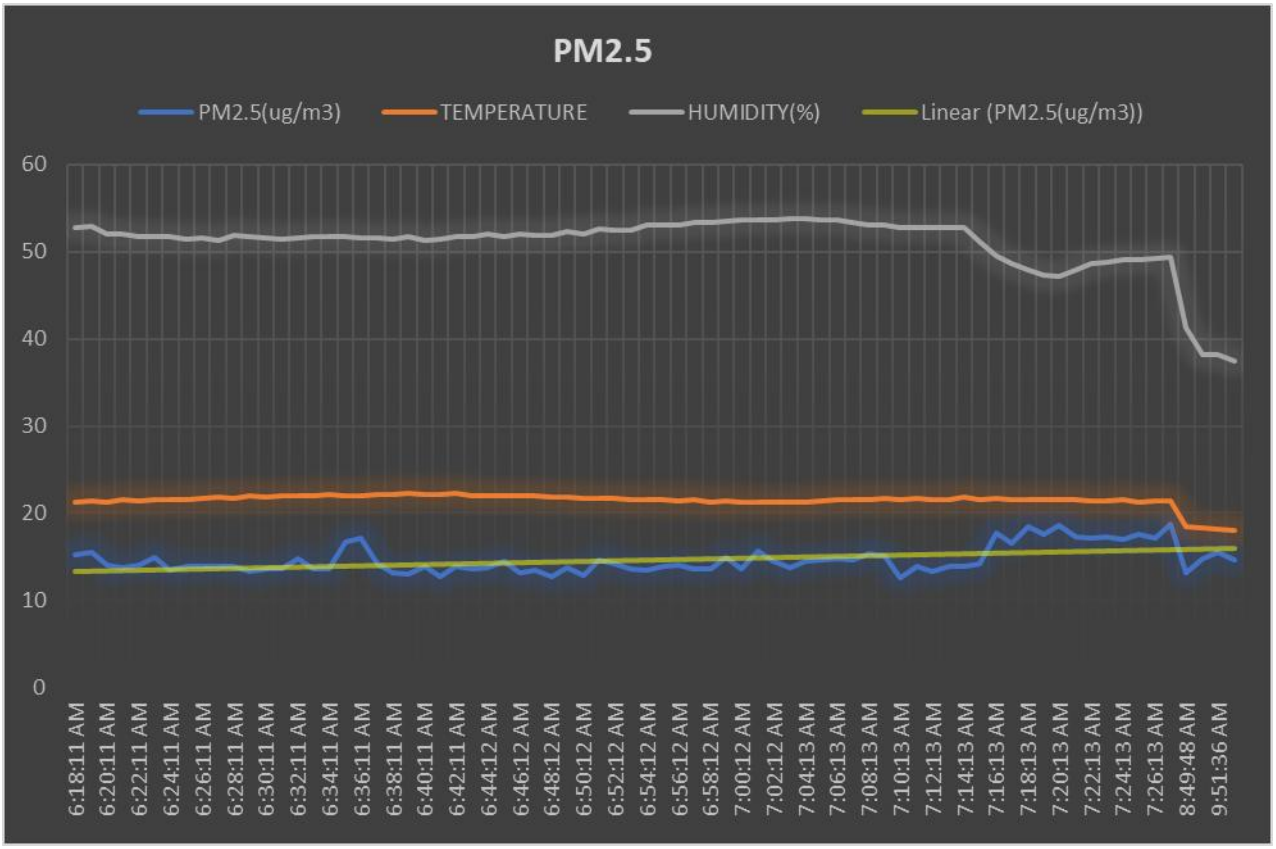
Слика 8: Графикон на HCHO-концентрации

На слика 9 се прикажани вредности на концентрации на загадувачот TVOC. Може да се забележи дека во целиот временски период параметрите на загадување со во рамки на дозволените граници (пониски од **0.6 mg/m^3**) и претставуваат штетни концентрации за сите групи на граѓани.



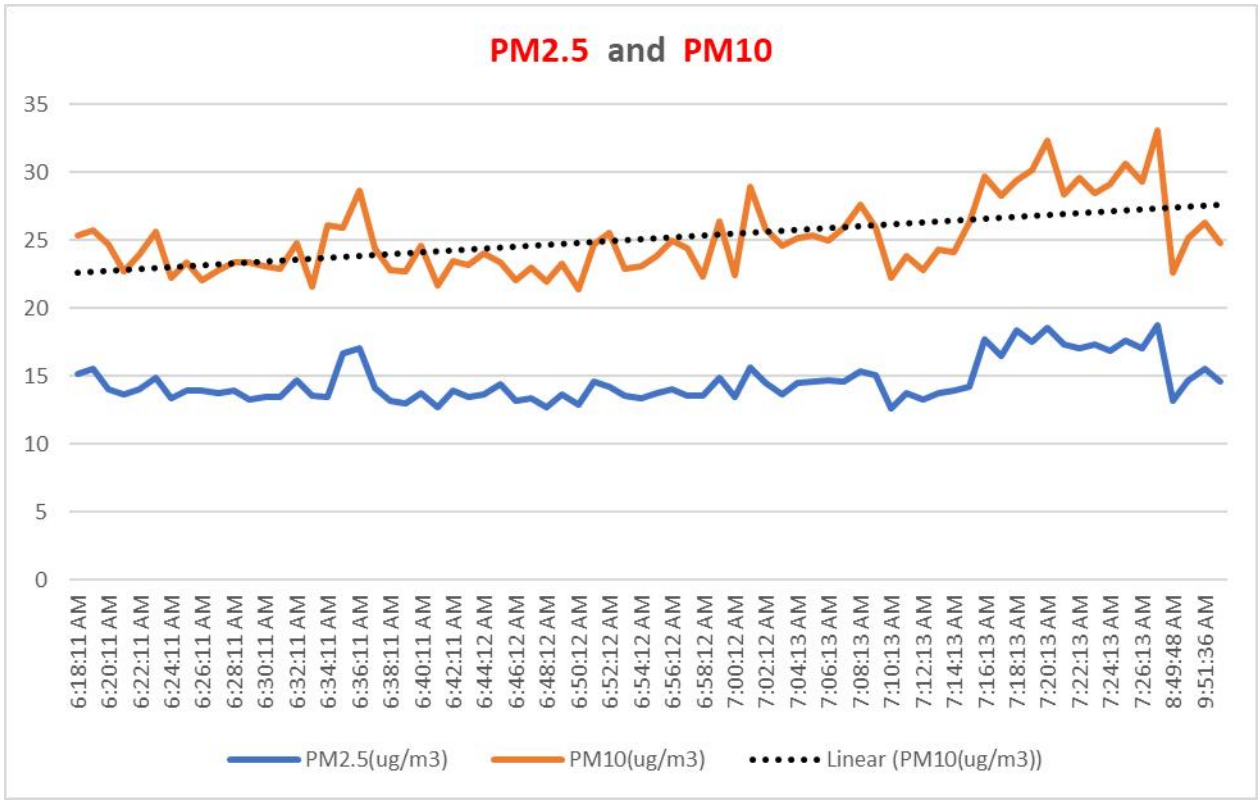
Слика 9: Графикон на TVOC-концентрации

На слика 10 е даден графички приказ на концентрации на загадувачот **PM2.5** измерени во утринските часови (од 6 до 10 часот). Линијата на тренд (Trendline) (жолта линија) покажува тренд на зголемени вредности како почнува работниот ден и густината на сообраќајот се зголемува, со што се зголемува **емисијата на издувни гасови** од возилата кои загадуваат. На сликата се прикажани и вредности на температурата и влажноста на воздухот, со што се отвора широка можност да се види влијанието на овие фактори врз концентрацијата на честичките PM2.5.



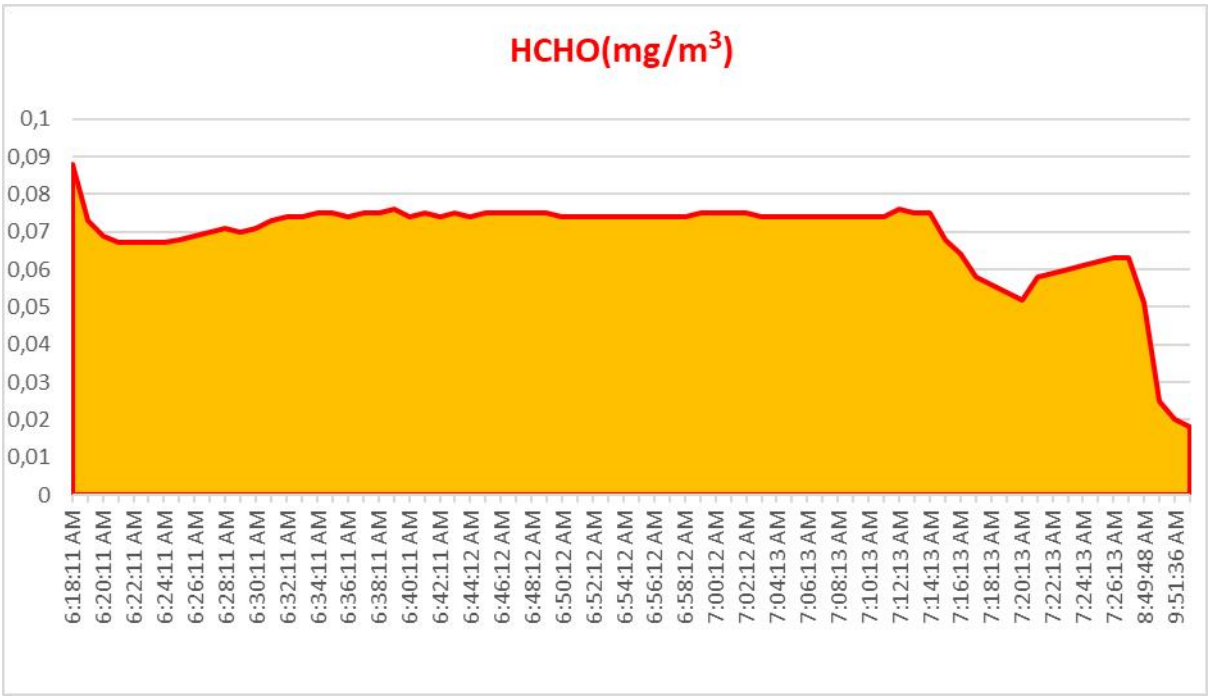
Слика 10: Концентрации на PM2.5, температура и влажност на воздухот

На слика 11 е прикажан графички приказ (во утрински часови) на измерените вредности на загадувачите PM2.5 и PM10 на амбиентален воздух. Креирана е линија на тренд на PM10-честички, која покажува тренд на линеарно зголемување на концентрациите како што се зголемува бројот на возила во утринскиот метеж.



Слика 11: Концентрации на PM10 и PM2.5 и линија на тренд

На слика 12 е прикажан график на концентрации на HCHO во утринските часови на амбиентален воздух во градска средина.

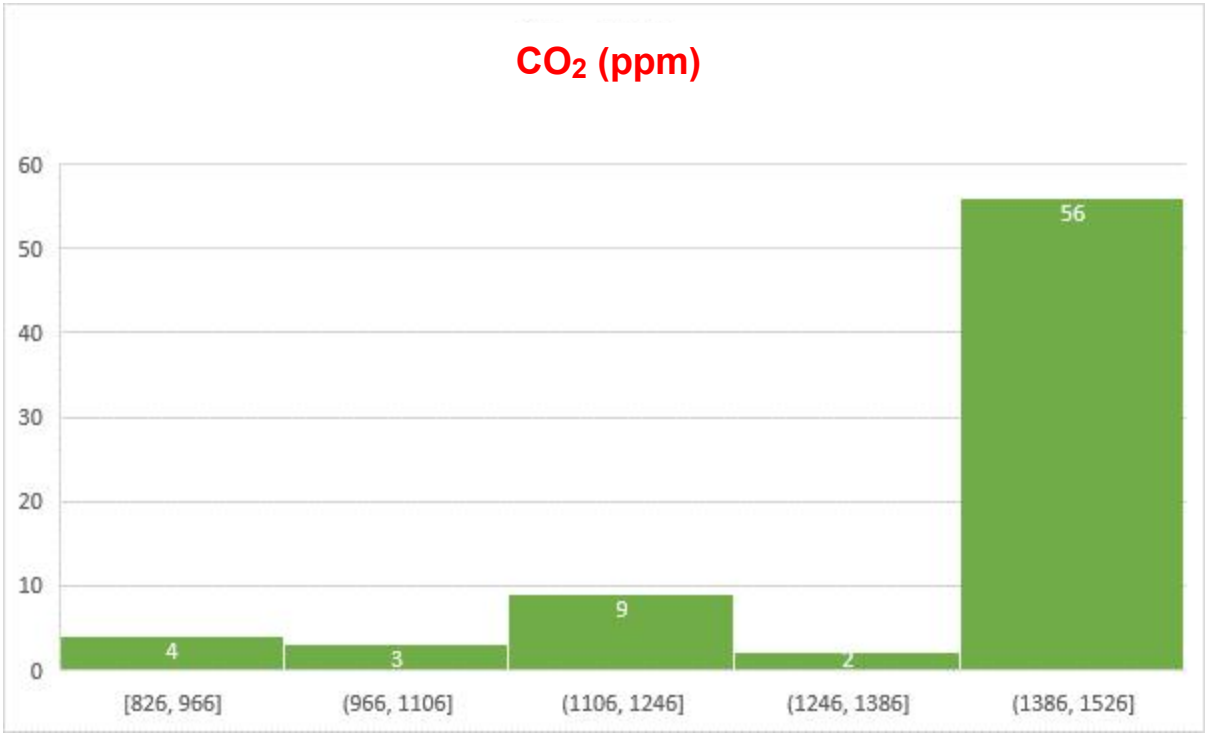


Слика 12: Концентрации на формалдехид на амбиентален воздух

На слика 13 прикажани се концентрации на јаглерод диоксид (**CO_2**) во затворена просторија (не проветрена) во утринските часови, во која преку ноќ престојувале (спиеле) луѓе.

Референтни параметри (за **CO_2**) за квалитет на воздух (според меѓународни стандарди) се:

- **CO_2 < 700 ppm** (healthy – Good) – дозволено ниво (добро, здраво);
- **CO_2 помеѓу (701-1000) ppm** (Moderate) – умерено ниво;
- **CO_2 помеѓу (1001-1500) ppm** (Unhealthy for Sensitive groups) – нездраво ниво за сензитивни (чувствителни) групи;
- **CO_2 помеѓу (1501-2500) ppm** (Unhealthy) – нездраво ниво за сите луѓе;
- **CO_2 помеѓу (2501-5000) ppm** (Very Unhealthy) – многу нездраво ниво за сите луѓе;
- **CO_2 > 5000 ppm** (Hazardous) – опасно ниво на загадување за сите луѓе.

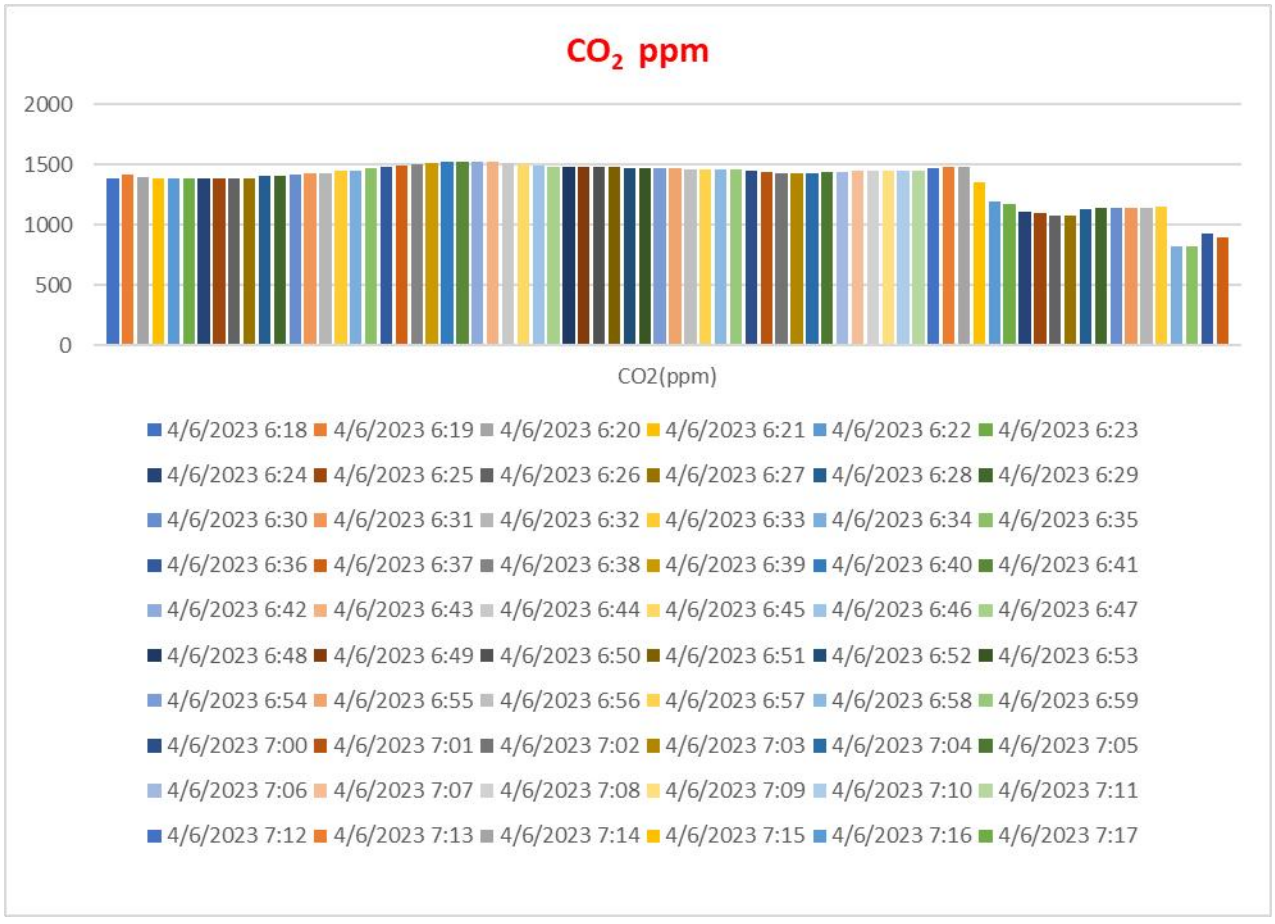


Слика 13: Концентрации на CO_2

Графиконот од слика 13 покажува колкав број на записи има во определен интервал на концентрации со јаглерод диоксид во опсервирано подрачје. Се забележува дека најголем број записи (вкупно 56) има во интервал на загадување [1386, 1526]. А токму овие концентрации се нездрави за лица кои присуствуваат во вакви простории (особени за сензитивни групи на луѓе). Затоа е неопходно вакви простории веднаш да се проветрат, со што нивото на јаглерод диоксид значително ќе се намали на дозволено ниво помало од **700 ppm**.

CO_2: Јаглерод диоксидот е безбоен гас и без мирис кој обично се добива од процесот на дишење на луѓето и животните. Високата концентрација на **CO_2** значи дека е потребен свеж воздух или вентилација, и во спротивно може да предизвика проблеми, како што се: **поспаност**, **вртоглавица**, **губење на внимание** и **когнитивно оштетување**.

На слика 14 е даден графички приказ на загадување со мерења прикажани на слика 13. Мерењата се реализирани во интервал од 1 минута во период од 6.18 до 7.11 часот наутро во затворена непроветрена просторија.

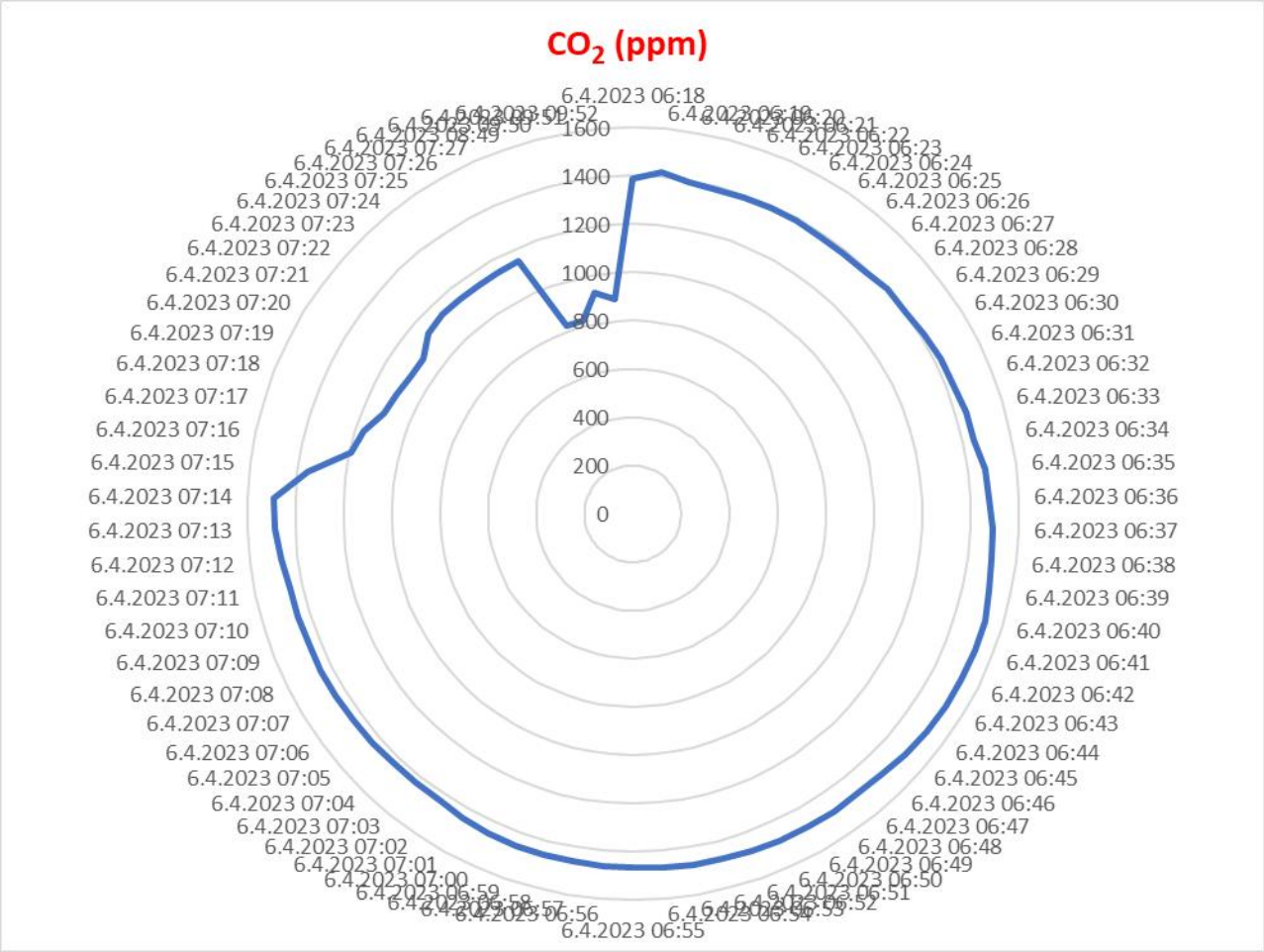


Слика 14: Графикон на концентрации на јаглерод диоксид

Во овој период концентрациите на јаглерод диоксид се повисоки од **1300 ppm** (нездрави концентрации).

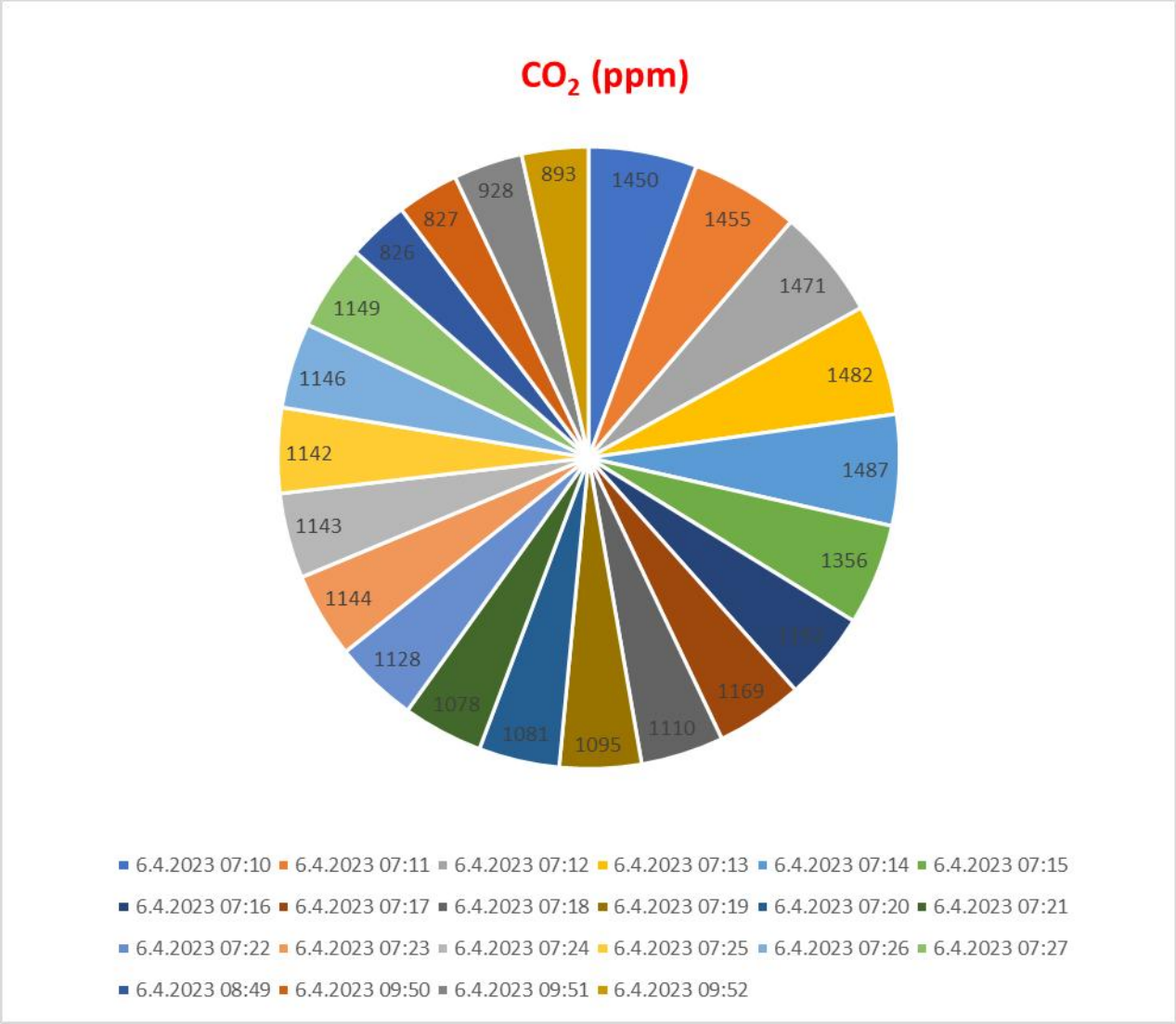
Во 7.14 часот е направено проветрување на просторијата и за кратко време концентрациите се намалиле значително на вредности од околу **800 ppm**.

На слика 15 е прикажан специфичен графички приказ (радар) кој визуелно многу ефектно ги прикажува концентрациите на јаглерод диоксид во целиот временски период на опсервација. Јасно се гледа дека по 7.14 часот (почеток на проветрување), концентрацијата на јаглерод диоксид значајно се намалува кон вредности на здрави концентрации.



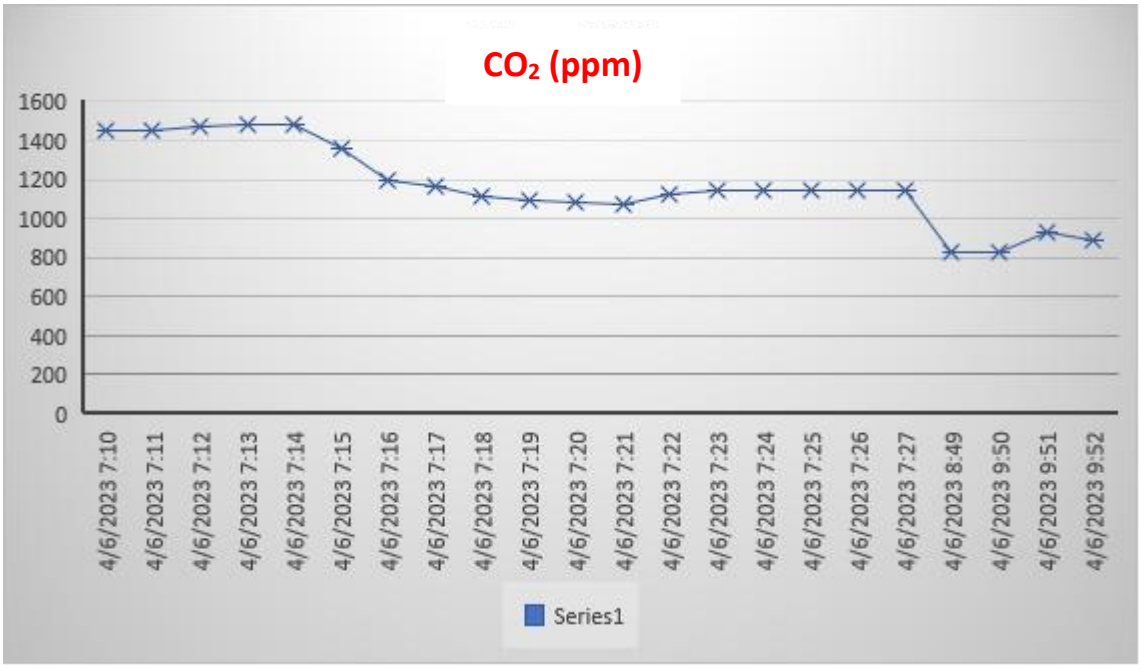
Слика 15: Графикон (радар) за концентрации на јаглерод диоксид

На слика 16 е прикажан графикон пита на концентрации на јаглерод диоксид именуван како **Pie,** на кој се испишани вредности на концентрациите во одредено време и со пропорционална површина на кружен исечок.



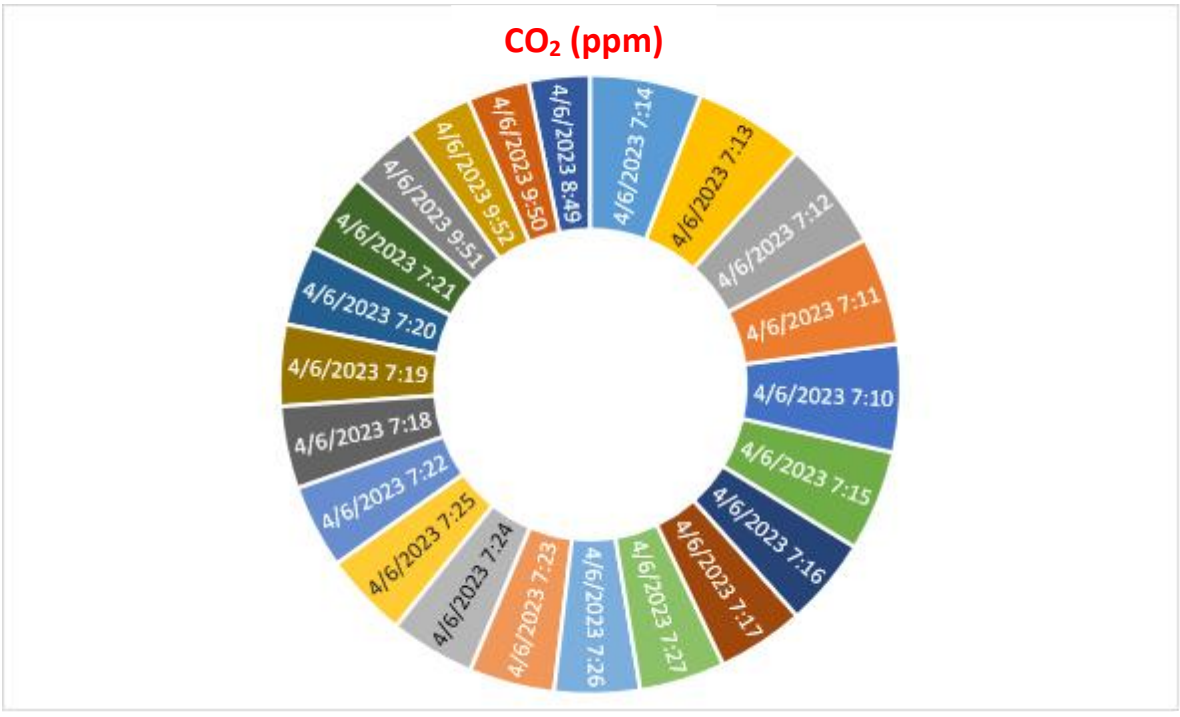
Слика 16: Концентрации на јаглерод диоксид (графикон **Pie**)

Слика 17 дава одличен визуелен приказ на измерените концентрации на јаглерод диоксид во одредено време. Овој графички приказ илустрира намалување на концентрацијата на јаглерод диоксид во затворена просторија, после период на проветрување.



Слика 17: Концентрации на јаглерод диоксид (графикон Box & Whisker)

На слика 18 е прикажан специфичен графикон на концентрации на јаглерод диоксид именуван како **sunburst,** на кој се испишани вредности на концентрациите во одредено време и со пропорционална површина на кружен исечок.



Слика 18: Концентрации на јаглерод диоксид (графикон sunburst)

ЗАКЛУЧНИ СОГЛЕДУВАЊА

Загадувањето на воздухот е распространета опасност по квалитетот на животната средина која има големи влијанија врз здравјето на луѓето, предизвикувајќи многу болести што доведуваат до високи стапки на смртност и морбидитет, секаде во светот, особено во земјите во развој. Затоа, контролата на загадувањето на воздухот е од витално значење и треба да биде на листата со врвни приоритети на владите. Понекогаш не се гледа одредено загадување на воздухот, но неговиот лут мирис нè предупредува.

Загадувањето на воздухот и натаму влијае врз општата здравствена состојба на луѓето во Европа, го намалува нивниот квалитет на живеење и го скратува животниот век. Освен тоа, загадениот воздух доведува до значителни економски последици, до растечки трошоци за медицинска заштита и поради тоа загубени работни денови, до редуцирана продуктивност на целокупното стопанство. Извештај за квалитетот на воздухот во Европа се објавува секоја година, и опфаќа концентрација на различни штетни материи во воздухот и со тоа поврзана оптовареност во одделни земји од ЕУ. Податоци се добиваат од повеќе мерни станици низ цела Европа.

Доминантен извор на штетни материи во воздухот е сообраќајот. Ситната прашина доаѓа од моторите, претежно тие на дизел погон, кочниците, триењето на гумите, како и преку раздувување на прашина од улични површини во воздухот.

Сообраќајот е одговорен за концентрација на азотен диоксид и озон во градовите. Во градовите е присутна висока концентрација на штетен озон и на азотен диоксид. Азотниот диоксид е многу отровен и може да предизвика главоболки, вртоглавица, проблеми со дишењето и импотенција. Озонот исто така е одговорен за главоболки и ја надразнува слузокожата во грлото и бронхиите, предизвикувајќи кашлање, намалувајќи ја функцијата на белите дробови. Азотен диоксид настанува при согорувањето на јаглен, нафта и гас. Во градовите посебно голем проблем е **сообраќајот**. **Озонот** главно е производ на издувните автомобилски гасови од кои се создаваат азотни оксиди во близина на земјината површина, под дејство на сончевите зраци.

Колокацијата вклучува проверка на перформансите на сензорите за воздух со поставување во близина или покрај референтен инструмент и оперирање со нив во исто време и место во реални услови. Колокации може да се случат на постојни локации за следење на квалитетот на воздухот, но бараат развивање односи со државни или локални агенции за следење на воздухот кои можат да имаат различни ограничувања за дозволување колокации (на пример, ограничувања на просторот или моќноста, барања за пристап, проблеми со одговорност). Алтернативно, може да биде можно да се работи со академски партнери или изведувачи за да се сетира и да се оперира со референтен инструмент, специјално за даден проект. Треба да се следат воспоставени процедури за контрола на квалитет и гаранција кога се работи со референтни инструменти. Идеално, сензорите треба да бидат поставени на околу **20 метри хоризонтално растојание** и **1 метар вертикално растојание** од референтниот инструмент.

Резултатите добиени од колокација може да се користат за корекција на податоците од сензор, за поблиску да се совпаѓаат со податоците добиени од референтен инструмент. Овој процес на корекција помага да се пресметаат познати пристрасности и непознати пречки од временските услови и други загадувачи и обично се прави со развивање на алгоритам. Алгоритам може да биде едноставна равенка или пософистициран процес (на пример, збир на правила, машинско учење) што се применува на податоци добиени од сензор.

Сензорите за воздух произведуваат голема количина на податоци кои мора рутински да се следат и да се менаџираат за пристап, прегледување и ефективно користење на податоците. Систем за управување со податоци (DMS) е збирка на процедури и софтвер, кои се потребни за стекнување, обработка и дистрибуција на податоци. DMS помага да се рационализира обработката на податоците, обезбедува QC и алатки за преглед, одржува дигитални записи и резервни копии на податоците и прикажува, прегледува и го олеснува споделувањето на податоците.

По аквизиција (прибирање) и реформатирање на податоците, DMS треба да складира податоци и метаподатоци (на пример, место на локација, конфигурации, идентификатори на единици). Системот за складирање може да

биде табела, систем базиран на датотеки или релациона база на податоци (т.е. база на податоци структурирана да ги препознава односите меѓу податоците). Овие опции обезбедуваат различни нивоа на флексибилност и приспособливост и може или не бараат договор за лиценца. Складирањето податоци може да вклучува и следење на промените на податоците и метаподатоците (т.е. синџир на чување - chain of custody) за да се обезбеди интегритет на податоците,

Преземањето и дистрибуирањето на податоци е уште една важна функција на DMS. Овие активности може да се движат од многу едноставни начини за експорт на податоци, до пософистициран софтвер наречен Апликациски програмски интерфејс (API - Application Program Interface). API овозможува интеракции помеѓу DMS и други оддалечени софтверски системи. API ги дефинира видовите повици или барања за податоци, како да се направат, соодветни формати на податоци и конвенции што треба да се следат итн. API, исто така, им овозможува на други веб-локации и системи за податоци на интернет да пристапуваат до податоци во рамки на DMS.

Разбирањето на податоците од сензорот за воздух е исто толку важно како и изборот и ракувањето со сензорот за воздух. Треба рано да се планира како да ги обработуваме, анализираме и толкуваме податоците и како ќе ги споделиме и ќе комуницираме со резултатите. Не треба да се чека додека не се соберат податоци за да се одреди како ќе се користат податоците. Оценувањето на резултатите може да открие неодговорени прашања кои ги ревидираат или ажурираат нашите прашања или други чекори во нашиот план.

Постојат многу методи за анализирање, оценување и споделување на резултатите, но изборот кој пристап да се користи зависи од прашањата што сакаме да ги одговориме. Некои анализи и толкувања можат да бидат релативно едноставни, додека други кои вклучуваат сложени проценки и длабинско толкување може да бидат предизвик за комуникација. На пример, сензорот за воздух PM2.5 надвор од домот може да ги мери локалните концентрации и да им помогне на корисниците да го одредат времето во денот кога нивои на PM2,5 се најниски. Сепак, распоредувањето на воздушна сензорска мрежа составена од многу сензори за откривање области со повисоки или пониски концентрации ќе бара многу подетални анализи и толкувања на податоците. Повторно,

корисниците треба однапред да планираат како ќе ги анализираат, оценуваат и соопштуваат нивните резултати.

Начините за користење на податоци од сензори за воздух за промена на однесувањето е активна област на истражување и веројатно ќе се развива како што сензорите за воздух стануваат попрецизни и распоредувањето стане пошироко. Технологиите на сензорите за воздух може значително да го обликуваат начинот на кој поединците и заедниците ги перципираат и реагираат на информации за нивниот квалитет на воздухот. Со оглед на сложеноста на науката за загадувањето на воздухот и технологијата за сензори за воздух што брзо се развива (на пример, подобрувања во леснотија на користење, квалитет на податоците, толкувањето), начинот на кој поединците и заедниците ги користат податоците од сензорот за воздух за лична акција, може да зависи од многу фактори.

Секој човек заслужува да дише чист воздух, но местото каде што живее одредува колку е веројатно загадувањето да го влоши или да го скрати неговиот живот. И додека повеќето конвенционални системи за следење може да обезбедат општо чувство за квалитетот на воздухот во градот, тие не водат сметка за загадувањето на воздухот на ниво на населба (микрообласт), каде што луѓето живеат, работат и играат. Истражувањата покажуваат дека загадувањето на воздухот не е рамномерно дистрибуирано и всушност може да е до осум (8) пати полошо од едниот до другиот крај на градскиот блок.

Науката е јасна. Загадувањето на воздухот е штетно за здравјето на луѓето и неговите влијанија (зголемени посети во болница, пропуштена работа и училишни денови, инхалатори во училиштата) потсетуваат дека неговите ризици се реални и лични. Покрај тоа, овие ризици се најголеми за некои од најранливите популации: деца, постари лица, и лица со веќе компромитирани респираторни системи.

Не можеме да управуваме со она што не можеме да го измериме, или всушност, не можеме да управуваме со она што не можеме да го видиме (загадувањето на воздухот е тешко да се види). Често е тешко за локалните лидери прецизно да ги посочат изворите и да развиваат ефективни решенија. Новата сензорска технологија го менува тоа динамички, што ни овозможува да ги

мериме и да ги мапираме концентрациите на загадувањето блок по блок и да идентификуваме сегменти и жаришта како никогаш досега.

Зошто хиперлокалните системи за следење на загадувањето на воздухот можат да поттикнат акција за чист воздух во градовите? Како да дизајнираме и распоредиме хиперлокална маркетинг-мрежа? Градовите ширум светот успешно воспоставија мрежи кои анализираат податоци и имплементираат решенија за чист воздух. Луѓето од целиот свет продолжуваат да се борат со здравствените влијанија од локалното загадување на воздухот. Глобалното загадување на воздухот сега е најголем еколошки ризик од рана смрт, одговорен за дури 5 милиони предвремени смртни случаи секоја година во светот. Тоа е повеќе од СИДА, туберкулоза и маларија заедно. Факт е дека пиеме околу 2 литри вода дневно, јадеме околу 2,7 килограми храна дневно, но дишеме 10 килограми воздух дневно. Тоа е еквивалентно на **11.000 литри** воздух дневно 24/7. Но, бидејќи загадувањето на воздухот е тешко да се види, на локалните лидери често им е тешко да ги лоцираат изворите и да развијат ефективни решенија за чист воздух.

Генерално, конвенционалните сензори за мерење на загадувањето на воздухот не се рамномерно распоредени низ заедниците. Покрај тоа што се распоредени со километри оддалечени еден од друг, тие често се поставуваат на згради високо над воздухот, што луѓето всушност го дишат. Иако овие сензори се важни, тие се несоодветни за да се види и целосно да се разбере проблемот со загадувањето на воздухот. Всушност, денес многу урбани области имаат континуиран регулаторен мониторинг, во просек има два до пет монитори на милион луѓе. Ова значи дека не го заштитуваме соодветно јавното здравје или не ги намалуваме штетните емисии. Хиперлокалното мапирање на загадувањето на воздухот може да ја промени оваа динамика (овозможува по холистичка слика за квалитетот на воздухот при висока просторна резолуција), со тоа што **невидливото ќе биде видливо**. Се користи терминот хиперлокално загадување на воздухот за да се прикаже загадувањето на воздухот со висока просторна резолуција. Тоа значи со различни концентрации на секои 30 до 60 метри, и со висока временска резолуција, или различни концентрации секоја минута (или неколку минути), наместо на час или дневна основа. За разлика од конвенционалните системи за мониторинг, хиперлокалното следење на

квалитетот на воздухот создава блок по блок видливост на **жаришта** за загадување на воздухот и им дава увид на локалните власти што им се потребни за да развијат соодветни интервенции, поефективни политики и на крајот почист воздух.

Хиперлокалниот мониторинг може да ја пополни празнината на места каде што не се достапни моделирани податоци. Дополнително, мерењето на загадувањето на терен (реален микропростор) овозможува подобро разбирање на вистинската изложеност и влијанието врз здравјето на загадениот воздух, што потоа може да резултира со насочени решенија.

Хиперлокалната сензорска мрежа овозможува да се креира рамка како да се дизајнира, финансира, имплементира, анализира и како да користат добиените податоци од мрежата на хиперлокален мониторинг за квалитетот на воздухот, за да може да се развијат решенија за подобрување на здравјето во општината.

Користена литература

1. C40 Cities (2021). How to implement transit-oriented development
2. Eating and Health (2013). Fixing Stove Hoods To Keep Pollution Out of the Kitchen
3. C40 Cities (2021). How to shift your bus fleet to zero emission by procuring only electric buses
4. National Institute of Environmental Health Sciences (2016). Flame Retardants
5. C40 Cities (2021). How to build an electric vehicle city: deploying charging infrastructure
6. EWG research (2014). Test Find Toxic Fire Retardants in Mothers – and even more in Toddlers
7. Environment GO (2022). Seven Effects of Indoor Air Pollution
8. C40 Cities (2021). How to drive electric vehicle uptake in your city
9. World Health Organization (2022). Household air pollution
10. C40 Cities (2021). Why your city should aim for 100% clean energy by 2050
11. Environment GO (2022). Effects of Fracking on Health and the Environment
12. World Health Organization (2022). Household air pollution
13. C40 Cities (2021). How to encourage residents and businesses to install building-scale clean energy
14. C40 Cities (2021). How to install solar panels on city-owned property and lead by example
15. Daikin (2022). Вентилација, https://www.daikin.mk/mk_mk/area-of-expertise/ventilation.html
16. Creative commons (2022). Јаглеводород
17. Gavin Schmidt (2004). Methane: A Scientific Journey from Obscurity to Climate Super-Stardom", NASA
18. Transberg, Bo, Olivier Corradi. (2019). Real-Time Carbon Accounting Method for the European Electricity Markets
19. Fisher Juliya (2003). Energy Density of Coal
20. Sciencedaily (2010). Infant Inhalation of Ultrafine Air Pollution Linked to Adult Lung Disease

21. American Heart Association (2010). Evidence growing of air pollution's link to heart disease
22. EPA (2006). Air Pollutants
23. Европска агенција за животна средина (2013). Предвреме починати луѓе во Европа како последица на долгорочно загадување на воздухот
24. World Health Organization (2013). Exposure from Air Pollution in Cities
25. Jesse, D., Berman, Jesse Burkhardt (2019). Acute Air Pollution Exposure and the Risk of Violent Behavior in the United States
26. Colorado state university (2019). Exposure to Air Pollution increases violent crime rates
27. Pei-Fen Kuo (2021). Analyzing the relationship between air pollution and various types of crime
28. WHO (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease
29. Kampa, M., Castanas, E (2008). Human health effects of air pollution
30. Shin, J., Park, J. Y., Choi, J. (2018). Long-term exposure to ambient air pollutants and mental health status
31. Zeng, Y., Lin, R., Liu, L., Liu, Y., Li, Y. (2019). Ambient air pollution exposure and risk of depression: A systematic review and meta-analysis of observational studies
32. C40 Cities (2021). How to make public transport an attractive option in your cits
33. Kouchaki, M., Desai, S. D. (2015). Anxious, threatened, and also unethical: How anxiety makes individuals feel threatened and commit unethical acts
34. Malvina Bondy, Sefi Roth (2019). Crime is in the Air: The Contemporaneous Relationship between Air Pollution and Crime
35. The World Health Organization (WHO) (2022). Air Quality: Health Impacts of Air Pollution
36. C40 Cities (2021). How to achieve a walking and cycling transformation in your city
37. The World Health Organization (WHO) (2022). BreatheLife2030
38. The World Health Organization (WHO) (2022). Six impactful actions cities can take to improve their air quality
39. C40 Cities (2021). How to drive a modal shift from private vehicles to public transport, walking and cycling

40. C40 Cities (2019). Why every city needs universal waste collection and safe disposal as the foundation for sustainable waste management
41. ITDP (2021). Leapfrogging Past the toxic Urban Highway
42. C40 Knowledge Hub (2022). How to set standards and monitor outdoor air quality
43. World Health Organization (2022). Ambient air pollution