МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ УНИВЕРЗИТЕТ

ФАКУЛТЕТ ЗА ИНФОРМАТИКА

НАСОКА: **Компјутерски системи и мрежи**

МАГИСТЕРСКА РАБОТА

ВИЗУЕЛНИ МЕТОДИ НА СЕНЗОРСКИ СИСТЕМИ ЗА МЕРЕЊЕ И АНАЛИЗА НА ЗАГАДУВАЊЕТО НА ВОЗДУХОТ

Ментор:

Проф. Д-р. Мимоза А. Јанкуловска

Изработил:

Иван Манасов

Јуни, 2023

Св. Николе

СОДРЖИНА

Вовед ---------- (2)

1. **Издувни гасови од автомобили и други возила** ---------- (5)
2. Сензорски системи за мерење на загадување на воздухот ---------- (10)

2.1 Сензори за мерење на загадување на воздухот кои задоволуваат специфични потреби ---------- (18)

2.2 Следење на квалитетот на воздухот со помош на сензори за воздух ---------- (21)

2.3 Мониторинг со користење сензори за воздух ---------- (48)

2.4 Планирање и спроведување на мониторинг на воздухот ---------- (49)

2.5 Утврдување на цели за мониторинг ---------- (52)

2.6 Развивање на план ---------- (54)

2.7 Избор на сензор за воздух ---------- (57)

2.8 Одредување локација за сензор за воздух ---------- (67)

2.9 Специфики за дизајнирање мрежа на Air sensors ---------- (72)

3. **Практично реализирано истражување** ---------- (76)

Заклучно согледување ---------- (91)

Преглед на литература ---------- (97)

Прилог ---------- (99)

ВОВЕД

Во нашето тешко време на стрес, тешки товари, постојано влошена еколошка состојба, квалитетот на воздухот што го дишеме е од особено значење. Квалитетот на воздухот, неговото влијание врз нашето здравје директно зависи од количината на кислород во него. Но, тоа постојано се менува.

Како последица на загадениот воздух, по еден Македонец умира на секои 4-5 часа. Популацијата во Македонија е веќе истрошена. Не живеат тука нови луѓе кои до вчера биле на чист воздух, туку граѓани, на кои кризата им се повторува секоја зима. Белодробниот и циркулаторниот систем се на тест секоја сезона. Сите сме со ослабени организми. **Ова е многу сериозна ситуација**. Граѓаните коменти-раат дека здравјето им се влошува, дека тераат едноподруго настинки и не можат да оздраваат. Концентрацијата и расположението им се намалени, ги мачат главо-болки. Животот им го нема вообичаениот тек зошто многумина си го ограничуваат движењето надвор.

Потребно е да направиме три работи:

- Да го анализираме воздухот за да можеме да видиме каде има загадување.
- Да го чистиме воздухот за да имаме контрола.
- Да доставуваме чист воздух каде што е потребно за да не нé убие.

Последните години се појавија иновативни решенија кои наоѓаат начин како да се прочисти воздухот. Се користи нанотехнологија – мали филтри кои можат да направат многу чист воздух. Воздух прочистен од ситни честички, и од азот диоксид, озон и формалдехид. Вакви филтри веќе се користат во автомобили, железнички станици, училишта, болници, канцелариски згради и секаде каде има загаден воздух. Но, не можеме да го победиме ветерот, и затоа мораме да го ставиме воздухот на вистинско место. Иако има многу станици за следење на загадувањето на воздухот, но нема таму каде најмногу го поминуваме времето. Затоа е потребно да имаме **преносliв монитор за загадување на воздухот** кој

на секоја локација брои честички и можеме во секој момент да видиме колку микрограми **PM2,5** има на метар кубен (Европската комисија вели дека прагот на изложеност за PM2,5 е **20** микрограми на кубен метар). Со вакви уреди можеме да го измериме квалитетот на воздухот во училиште, болница, канцеларија, тениско игралиште, улица, ... Има различен процент на загаденост ако сме на тротоар, во автобус, или ако сме во сообраќај и се внесува воздух во автомобилот директно од коловозот. Во градски сообраќај има концентрации кои се 20 пати над границата на изложеност. Затоа секој ден кога се возиме во автомобил, и имаме ваков преносliв монитор, може да видиме и дознаеме каква е нашата изложеност. Со мал филтер поставен во автомобилот, можеме да го чистиме воздухот, да ги отстраниме ситните честички и хемикалии како азот диоксид. На ваков начин можеме да создадеме зони на чист воздух во градовите. Вакви филтри може да се инсталираат во градски автобуси – воздушни лаборатории за преземање контрола врз квалитетот на воздухот.

Најдобар начин за да обезбедиме чист воздух е да се ослободиме од автомобили кои загадуваат, од фабрики и електрани, и секој друг извор на загадување на воздухот. Тоа е достојна цел и тоа не е нешто што ќе се случи преку ноќ. Ќе биде потребно малку време и додека чекаме сите овие извори на загадување да престанат, мислиме би било многу добра идеја да потрошиме колку што можеме повеќе пари за да обезбедиме чист воздух за дишење. Зошто, **воздухот во градовите не́ убива**.

Загадувањето на воздухот е многу сложена мешавина од цврсти честички, течни капки и гасовити хемикалии. Целата оваа мешавина може да дојде од извори како што се согорување на гориво за домаќинства, индустрија или сообраќај или многу други внатрешни и надворешни извори. И, се разбира, различни извори на загадување ќе направат различни мешавини на загадувачи и тој токсичен отров, поминува низ нашите бели дробови секој ден и постојано сме изложени на ова загадување на воздухот, бидејќи не можеме да престанеме да дишеме.

Дали сме во паника? Дали одржуваме смиреност? Дали прогласуваме национална катастрофа, глобална вонредна состојба? Па, не, а всушност секој ден си го поставуваме ова прашање: **Што се случува**? Но, еве нешто што можеби ќе не́ принуди побрзо да реагираме. Загадувањето на воздухот не влијае само на нашите бели дробови. Тоа влијае и на нашиот **мозок**. Прво, има нови

докази во врска со потенцијални штетни ефекти на загадувачите на воздухот врз нашиот централен нервен систем.

Најмалите честички од загадениот воздух, можат да преминат во **крвотокот**, а од крвотокот, пумпан од срцето, можат да стигнат до целото тело, загрозувајќи го секој орган, вклучително и мозокот. Велиме дека загадувањето на воздухот нема граници, а тоа се случува и во нашите тела, бидејќи загадувачите од воздухот ќе ја преминат плацентарната бариера, ќе стигнат до фетусот и ќе го променат церебралниот кортекс на нашите деца **уште пред да го земат првиот здив**.

Второ, повеќе студии сугерираат дека долготрајна изложеност на аерозагадување во пренатална и рана детска возраст ќе има негативно влијание врз нервниот развој, ќе има пониски резултати на когнитивни тестови и ќе има негативно влијание врз некои нарушувања во однесувањето како аутизам и нарушување на хиперактивност со дефицит на внимание (**ADHD**).

Дополнително на тоа, некои докази откриј дека изложувањето на мозокот на нашите деца долго време на честички ќе предизвика некои реакции како воспаление на мозокот, менување на мозочниот одговор и (исто така) доведува до влијание на повеќе протеински плаки кои се кумулираат, а тие можат да ги зголемат ризиците за болести како Алцхајмерова и Паркинсонова болест.

Иронично, **зар не**! Инвестираме во иднината на нашите деца, секојдневно ги праќаме на училиште за да им ги прошириме мислите, општеството инвестира во нивното образование, а сепак воздухот што го дишат додека го чекаат училишниот автобус, негативно влијае на развојот на нивниот мозок.

А што е со возрасните? Според неодамнешни научни докази, долгорочната изложеност на честички ќе предизвика когнитивен пад кај луѓето како што стареат. И не само тоа, ако се изложат на долготрајни, многу фини честички од загаден воздух, **мозокот побрзо ќе старее**, а ќе има поголеми шанси за мали, **тивки мозочни удари**. Исто така, постојаната изложеност на загаден воздух може да има зголемен ризик од деменсија.

Значи, речиси сите се изложени на загадување на воздухот. Без разлика дали живееме во рурална или урбана област, без разлика дали живееме во земја со високи приходи или земја со ниски примања, секој мозок е изложен на ризик.

Секако, некои места се позагадени од други, но ова е глобално прашање и ниту еден поединец, ниту град, ниту група, ниту една земја, ниту еден регион

нема да може да го реши сам. Потребни ни се многу силни заложби и многу силна акција од сите: граѓанско општество, приватниот сектор, дури и поединци. Сите ние имаме улога. Да, треба да влијаеме на начинот на кој консумираме, начинот на кој патуваме, начинот на кој ја користиме нашата енергија. А добрата работа е што сите тие решенија се достапни. Прашањето е, ако ја одложиме акцијата за еден ден, можеби ќе има илјадници животи што ќе ги загубиме, но ако го одложиме за една година, можеби ќе изгубиме повторно седум милиони. Значи, секој креатор на политика, секој политичар, треба да биде свесен за последиците врз здравјето на луѓето од одложувањето на нивните одлуки. Секој политичар мора да знае дека одложувањето на, како што ги нарекуваат **тешки акции**, како што се намалување на сообраќајот во градовите или инвестирање во јавен превоз и ангажирање во промовирање на велосипедизмот во градовите, инвестирање во обновливи извори на енергија, промовирање почиста енергија за готвење, ладење, транспорт и греење, се решенија кои се многу паметни, затоа што, всушност, ги намалуваат емисиите, го подобруваат квалитетот на воздухот во согласност со стандардите на СЗО, кои се стандарди што ќе нé заштитат самите нас.

1. Издувни гасови од автомобили и други возила

Автомобилскиот сообраќај е водечки антропоген фактор на антропогено влијание врз квалитетот на воздухот и јавното здравје во градовите. Главна причина за загадување на воздухот е **нецелосно и нерамномерно согорување на горивото**. Само **15%** од тоа се троши за движење на автомобилот, а **85%** "**лета во ветер**". Освен тоа, коморите за согорување на автомобилскиот мотор се еден вид **хемиски реактор** кој **синтетизира токсични материи и ги испушта во атмосферата**. Дури и нетоксичниот азот од атмосферата, влегувајќи во комора за согорување, се претвора во **отровни азотни оксиди**.

Бројот на штетни компоненти вклучува и цврсти емисии кои содржат олово и саѓи, на чија површина се адсорбираат циклични јаглеводороди (некои од нив имаат канцерогени својства). Моделите на дистрибуција на цврсти емисии во животната средина се разликуваат од модели карактеристични за гасни производи. Груби фракции (повеќе од 1 mm во дијаметар), кои се таложат во близина на центарот на емисија на почвата и на растенијата, на крајот се

акумулираат во горниот слој на почвата. Фини фракции (со дијаметар помал од 1 mm) формираат аеросоли и се шират со воздушни маси на долги растојанија.

Врз основа на статистички податоци, **издувните гасови** содржат комплексна мешавина од над **280 соединенија**. Тоа се главно гасовити материи и мала количина суспендирани цврсти материи. Ефектите на овие супстанции врз здравјето на луѓето се прикажани во Табела 2.

Токсичност е својство на одредени хемиски соединенија и супстанции, кога тие влегуваат во човечкото тело, животно или растение во одредени количини, предизвикуваат нарушувања во нивните физиолошки функции, што резултира со симптоми на труење (интоксикација, болест) и во тешки случаи, смрт.

Автомобилските издувни гасови се мешавина од приближно 200 супстанции. Тие содржат јаглеводороди - неизгорени или нецелосно изгорени компоненти на гориво, **чиј дел нагло се зголемува ако моторот работи со мали вртежи** или во моменти на **зголемување на брзината на стартот**, т.е. **за време на метеж** и **на црвен семафор**. **Во моментот кога е притиснат педалот за гас**, се испуштаат најмногу неизгорени честички: околу **10 пати повеќе** отколку кога моторот работи во нормален режим. Неизгорените гасови вклучуваат и обичен **јаглерод моноксид**, кој се формира насекаде каде што нешто согорува. Издувните гасови на мотор кој работи на нормален бензин и во нормални услови содржат во просек **2,7%** јаглерод моноксид. Со намалување на брзината, ова учество се зголемува на **3,9%**, а при мала брзина до **6,9%**.

Табела 2. Влијание на издувни гасови од автомобили врз човечкото тело

Штетни материи	Последици од изложеност на човечкото тело
Јаглерод моноксид	Ја попречува апсорпцијата на кислород од крвта, што ја нарушува способноста за размислување, ги забавува рефлексите, предизвикува поспаност и може да предизвика губење на свеста и смрт. Влијае на циркулаторниот, нервниот и генитоуринарниот систем. Предизвикува намалување на менталните способности кај децата, се таложи во коските и другите ткива, и затоа е опасен ако долго време се вдишува.
Азотни оксиди	Можат да ја зголемат подложноста на телото на вирусни заболувања, да ги иритираат белите дробови, да предизвикаат бронхитис и пневмонија.
Јаглеводороди	Доведуваат до зголемување на белодробни и бронхијални заболувања. Полицикличните ароматични

	јаглеводороди (PAHs) се канцерогени.
Алдехиди	Ги надразнуваат мукозните мембрани, респираторниот тракт и влијаат на централниот нервен систем.
Соединенија на сулфур	Имаат иритирачки ефект врз слузокожата на грлото, носот и очите.
Честички прашина	Се иритирачки за респираторниот тракт.

Јаглерод моноксид, јаглерод диоксид и повеќе други моторни гасови се потешки од воздухот, така што сите тие се акумулираат во близина на земјата. **Јаглерод моноксид** се комбинира со **хемоглобинот** на крвта и го спречува да носи кислород до ткивата на телото. Издувните гасови содржат и **алдехиди**, кои имаат силен мирис и иритирачки ефект. Тие вклучуваат **акролеини** и **формалдехид**. Вториот има особено силен ефект. Емисиите од автомобилите исто така содржат азотни оксиди. Азотниот диоксид игра важна улога во формирањето на производи за конверзија на јаглеводороди во атмосферскиот воздух. Во издувните гасови се присутни нераспаднати горивни јаглероводороди. Меѓу нив, посебно место заземаат **незаситените јаглеводороди** од серијата **етилен**, особено **хексен** и **пентен**. Поради нецелосно согорување на горивото во моторот на автомобилот, дел од јаглеводородите се претвораат во **саѓи** што содржат смолести материи. Особено многу **саѓи** и **катран** се формираат во случај на техничка неисправност на моторот и во моменти кога возачот, принудувајќи го моторот, го намалува односот на воздухот и горивото, обидувајќи се да ја добие таканаречената "**богата смеса**". Во овие случаи, зад машината следи видлива опашка од чад, која содржи **полициклични јаглеводороди** и, особено, **бензо** (а) **пирен**.

1 литар бензин може да содржи околу 1 g **тетраетил олово**, кое се уништува и се испушта како оловни соединенија. Нема олово во емисии од дизел возила. Тетраетил олово се користи во САД од 1923 година како додаток на бензинот. Оттогаш, ослободувањето на олово во животната средина постојано се зголемува. Годишна потрошувачка по глава на жител на олово за бензин во САД е околу 800 g. Близу до токсични нивои на олово во човечкото тело се забележани во сообраќајна полиција и кај оние кои постојано се изложени на автомобилски издувни гасови. Истражувања покажаа дека гулаби кои живеат во Филаделфија содржат 10 пати повеќе олово од гулаби кои живеат во рурални области. Оловото е еден од главните трујачи на надворешното опкружување и

главно се генерира од модерни мотори со висока компресија од автомобилската индустрија.

Противречности, од кои е “креиран“ автомобилот, можеби во ништо не се откриваат толку остро како во заштита на природата. Од една страна **ни го олесни животот**, од друга **го труе**. Во најдиректна и **најтажна** смисла.

Како што нагло се зголемува бројот на автомобили, борбата (проблемот) против атмосферското загадување со издувни гасови од моторите, станува АКУТНА. Во моментов, **40-60% од загадувањето на воздухот е предизвикано од автомобили**. Еден патнички автомобил годишно апсорбира од атмосферата во просек повеќе од **4 тони кислород**. Во просек, емисии по автомобил (од издувни гасови) се:

- јаглерод моноксид **135** kg/година,
- азотни оксиди **25** kg/година,
- јаглеводороди **20** kg/година,
- сулфур диоксид **4** kg/година,
- честички **1,2** kg/година,
- бензопирен **7-10** kg/година.

Се очекува бројот на автомобили во светот (и во Македонија) во иднина постојано да се зголемува.. Затоа, борбата против атмосферско загадување ќе стане уште поитна. Постојат неколку начини да се реши овој проблем. Еден од најперспективни од нив е создавање на електрични возила.

Штетни емисии. Добро е утврдено дека мотори со внатрешно согорување, особено **мотори со карбуратори** за автомобили, се главни извори на загадување. Издувните гасови на возила на бензин содржат оловни соединенија. Адитиви против удари, како што е тетраетил олово се најевтини средства за прилагодување на конвенционални бензини на современи мотори со висока компресија. По согорувањето, компонентите што содржат олово од овие адитиви се ослободуваат во атмосферата. Доколку се користат филтри за каталитичко чистење, тогаш оловните соединенија апсорбирани од нив го деактивираат катализаторот, како резултат на што не само олово, туку и јаглерод моноксид, несогорени јаглеводороди се испуштаат заедно со издувните гасови во количина што зависи од условите и стандардите за работа на моторот, како и услови за чистење и ред други фактори. Концентрацијата на загадувачки компоненти во

издувните гасови за време на работата на моторот и на бензин и на **ТНГ (природен гас: течен нафтен гас-пропан бутан LPG и компримиран природен гас - CNG)** е квантитативно одредена според методот кој сега е добро познат како **калифорниски тест циклус**. За време на повеќе експерименти, беше откриено дека претворањето на мотори од бензин во ТНГ доведува до намалување на количината на емисиите на јаглерод моноксид за **5** пати и несогорени јаглеводороди за **2** пати.

За да се намали загадувањето на воздухот со издувни гасови што содржат олово, се предлага да се постават порозни полипропиленски влакна или ткаенина врз основа на нив, во пригушувач за автомобил, третиран во инертна атмосфера на 1000°C. Влакната **апсорбираат** до **53%** од оловото содржано во издувните гасови.

Во врска со зголемувањето на бројот на автомобили во градовите, проблемот со атмосферското загадување од издувните гасови станува се поакутен. Во просек, околу 1 кг издувни гасови се испуштаат дневно кога се работи со автомобил, кои содржат оксиди на јаглерод, сулфур, азот и се различни (јаглеводороди и соединенија на олово).

Катализатор е супстанца што ја забрзува хемиската реакција, обезбедувајќи полесен пат за нејзиниот тек, но самиот не се троши во реакцијата. Ова не значи дека катализаторот не учествува во реакцијата. Молекулата **$FeBr_3$** игра важна улога во повеќестепениот механизам на катализаторска реакција на бромирање на бензин. Но, на крајот од реакцијата, FeBr3 се регенерира во неговата оригинална форма. Ова е заедничко и карактеристично својство на секој катализатор.

Најголемо количество на загадувачи се испушта **при забрзување** на автомобилот, како и **при возење со мала брзина**. Релативна пропорција (од вкупна маса на емисии) на јаглеводороди и јаглерод моноксид е највисока за време на **сопирање** и **празен ὸд**, а процент на азотни оксиди е највисок за **време на забрзување**. Од овие податоци произлегува дека **автомобилите особено силно го загадуваат воздухот при чести застанувања и при возење со мала брзина**. А тоа се случува во густо **населени урбани средини**, особено во **шпицови** кога има **најголем метеж од возила** и простори со многу раскрсници.

Сообраќајни системи со **зелени бранови во градови** кои значително го намалуваат бројот на застанувања на раскрсници, се дизајнирани да го намалат

урбаното загадување на воздухот. **Режимот на работа на моторот** има големо влијание врз квалитетот и квантитетот на емисии на загадувачи, особено, односот помеѓу маса на гориво и воздух, време на палење, квалитет на гориво, однос на површина на комората за согорување до нејзиниот волумен итн. Со зголемување на односот на маса на воздух и гориво што влегуваат во комората за согорување, се намалуваат емисиите на јаглерод моноксид и јаглеводороди, но се зголемуваат и емисии на азотни оксиди.

И покрај фактот што **дизел** моторите се поекономични, тие испуштаат не повеќе од бензинските, супстанции како CO, HnCm, NOx, но тие испуштаат значително повеќе **чад** (главно несогорен јаглерод), кој исто така има непријатен мирис создаден од некои несогорени јаглеводороди. Во комбинација со создадена бучава, **дизел** моторите не само што **посилно ја загадуваат животната средина**, туку и влијаат на здравјето на луѓето многу повеќе отколку бензинските.

2. Сензорски системи за мерење на загадувачи во воздухот

Загадувачи кои се наоѓаат во воздухот се штетни за здравјето на луѓето и затоа нивната концентрација треба да се мери континуирано за да се преземат конкретни превентивни мерки:



Слика. Експортирање на собрани податоци директно преку USB interface

- **CO_2:** Повисока концентрација предизвикува: физички замор, главоболка, мозочна магла и др.
- **PM2.5, PM10:** Се исклучително штетни за здравјето и го зголемуваат ризикот од повеќекратни видови на рак.
- **Формалдехид (HCHO):** Идентификувана е како канцерогена супстанца од Светска здравствена организација.
- **TVOC (испарливи органски соединенија -** volatile organic compounds**):** соединенија бензен, толуен и ксилен се можни карциногени и може да доведат до **леукемија** при подолготрајно изложување.
- **AQI** (индекс на квалитет на воздух) Загадувањето на воздухот се смета за "**нездраво**" (вредност од **101** или повеќе) кога неколку дена по ред (**APAD - Air Pollution Action Days**) има зголемени концентрации.
- **Број на честички во воздухот од загадувачи (**particles**).**
- **Влажност на воздухот:** Помага да се спречи појавување на мувла и да се добие увид во нивото на влажност за поздрав дом.
- **Озон на површина на Земјата: Озон** на земјата се формира кога сончевата светлина реагира на одредени хемикалии во воздухот. Озонот во атмосферата служи како заштитна обвивка, но озонот на земјата е штетен**. Озонот** главно е производ на издувни автомобилски гасови од кои се создаваат азотни оксиди во близина на земји-ната површина, под дејство на сончевите зраци. Озонот на земно ниво претставува опасност по здравјето, предизвикувајќи респираторни заболувања како **бронхитис** и **астма.**
- **Азотни оксиди (**NOx**): Азот диоксид** се формира кога се согорува гориво на високи температури. Емисијата на азот диоксид доаѓа од издувните гасови на возилата, термоелектраните и индустријата. Гасовите NOx се произведуваат од реакција меѓу азот и кислород за време на согорување.
- **Амонијак (NH_3):** се испушта при земјоделски процеси. Во природата се среќава како гас со карактеристичен јак мирис. Амонијакот служи како претходник за добивање на вештачки ѓубрива. Иако широко користен, тој е каустичен и опасен.
- **O_2**, **H_2S**, **CO**, **SO_2: Сулфур диоксид** се испушта кога се согоруваат масла што содржат сулфур. Најчесто го испуштаат термоелектраните и рафинериите. Предизвикува респираторни заболувања и болести на крвта

и органите што формираат крв. **Јаглерод моноксид** е безбоен гас без мирис кој се формира кога јаглеродот не согорува целосно. Го испуштаатт главно моторните возила, па неговата концентрација е висока на места каде што сообраќајот е фреквентен. Водород сулфид **H_2S** предизвикува болести на нервниот систем и на сетилните органи.

a) **Сензор кој мери загадувачи од воздух: CO_2, PM2.5, PM10, формалдехид (HCHO), температура на воздухот, влажност на воздухот**



- **Експортирање на податоци**: Современ сензорски систем за мерење на квалитетот на воздухот, има функција за експорт на податоци (data export function) што овозможува да се преземаат сите снимени податоци за **CO_2**, PM2.5, PM10, број на честички, HCHO, температура и влажност преку USB-кабел. Соодветно на ISO стандарди за квалитет.
- **Звучен аларм**. Прилагодлива вредност на аларм за концентрација на PM2,5, **CO_2**, HCHO. Мониторот за квалитетот на воздухот предупредува кога отчитувањата се надвор од ограничување што сме го поставиле.
- **Режим за заштеда на енергија (Energy-saving mode)**. Сензорскиот систем автоматски се исклучува по 1 час неактивност.
- **Нулта калибрација**. Ги отстранува сите траги од електрохемискиот сензор за формалдехид, сензорот за ласерски честички и сензорот за јаглерод диоксид за да и даде на единицата референтна вредност.
- **Вградена батерија** од 3000 mAh може да се користи до 6 часа по полнењето.



За мерење на **PM2.5** честички се користи **Laser PM Sensor** кој мери во ранг од **0-999** ug/m^3 со резолуција од 0.1 ug/m^3 и точност од ±10 ug/m^3 (0-100 ug/m^3); ±10% (100-500 ug/m^3).

За мерење на **PM10** честички се користи **Laser PM Sensor** кој мери во ранг од **0-999** ug/m^3 со резолуција од 0.1 ug/m^3 и точност од ±15 ug/m^3 (0-100 ug/m^3); ±15% (100-500 ug/m^3).



Слика. 3rd Generation Laser Particle Sensor

За мерење на **јагленород диоксид** (**CO_2**) се користи **Non-Dispersive Infrared (NDIR) CO_2 Sensor** кој мери во ранг од **0-5000 ppm** со резолуција од 1 ppm и точност од ±(50ppm + 5% reading).

За мерење на **формалдехид** (**HCHO**) се користи сензорски систем (Електрохемискиот сензор користи на електрохемиска теорија со цел да добие

попрецизен резултат за откривање на молекули на формалдехид во воздухот) со следни карактеристики:

- Optimum Measurement Range: 0-2 mg/m^3.
- Measurement limits: 5 mg/m^3.
- Resolution: 0.001mg m^3.
- Accuracy:±0.03 mg/m^3 (0-0.3 mg m^3); ±10%(0.3-1mg/m^3).
- Сензорот е претходно калибриран со професионална лабораториска опрема со цел да се одржи неговата стабилност и компатибилност.



За мерење на **температура и влажност на воздухот** се користи сензорски систем со следни карактеристики:

- Temperature Range: 0~50℃.
- Humidity Range: 0~90% RH.
- Atmospheric Presssure: 1 atm.

За мерење на **TVOC** се користи **Sensor** кој мери во ранг од **0-5** mg/m^3 со резолуција од 0.01 mg/m^3.

За мерење на **ozone O_3** се користи **Sensor** за регистрирање и детекција на **O_3** гас кој мери во ранг од **1000-5000 ppm/m^3** со резолуција со висока точност.



Слика. Детектори на приземен озон

За мерење на **азотни оксиди NO_x** се користи високо сензитивен детектор на гас: Electro-chemical **Sensor catalytic combustion sensor, PID (**photoionization detector**) sensor** за регистрирање и детекција на **азотни оксиди** со висока точност +- 3% F.S.



Слика. Детектор на азотни оксиди

За мерење на **амонијак NH_3** се користи високо сензитивен детектор на гас: Electro-chemical **Sensor catalytic combustion sensor,** Gas Leak Detector за регистрирање и детекција на **амонијак, кој мери во ранг 0-100 ppm/m³** со висока точност.

За мерење на **O_2**, **H_2S**, **CO**, **SO_2** се користи високо сензитивен детектор на гас

Со мерење на **AQI** (индекс на квалитет на воздух) до 100 генерално одговара на национален стандард за квалитет на воздухот. Кога загадувањето на воздухот се смета за "**нездраво**" (вредност од **101** или повеќе) неколку дена по ред (**APAD - Air Pollution Action Days**), Агенцијата ги предупредува луѓето да преземат мерки на претпазливост.

Современите сензорски (мониторски) системи овозможуваат добиените податоци за загадувачите да бидат прикажани преку **хистограм** и да се прикажат во реално време. Сензорите за честички користат најсовремена технологија со ласерски диоди QSI (како извор на светлина) (QSI laser diode technology) и PSO алгоритми за да се постигне висока точност со мерењето.



Слика. Податоци од загадувач прикажани со хистограм



Современите сензорски системи за мерење на загадувачи во воздухот користат екран **Powerful TFT-LCD Display.**



Измерените податоци за концентрација на загадување на воздухот за поединечни загадувачи треба да се во согласност и да се однесуваат на стандардите на EPA (Environmental Protective Agency).



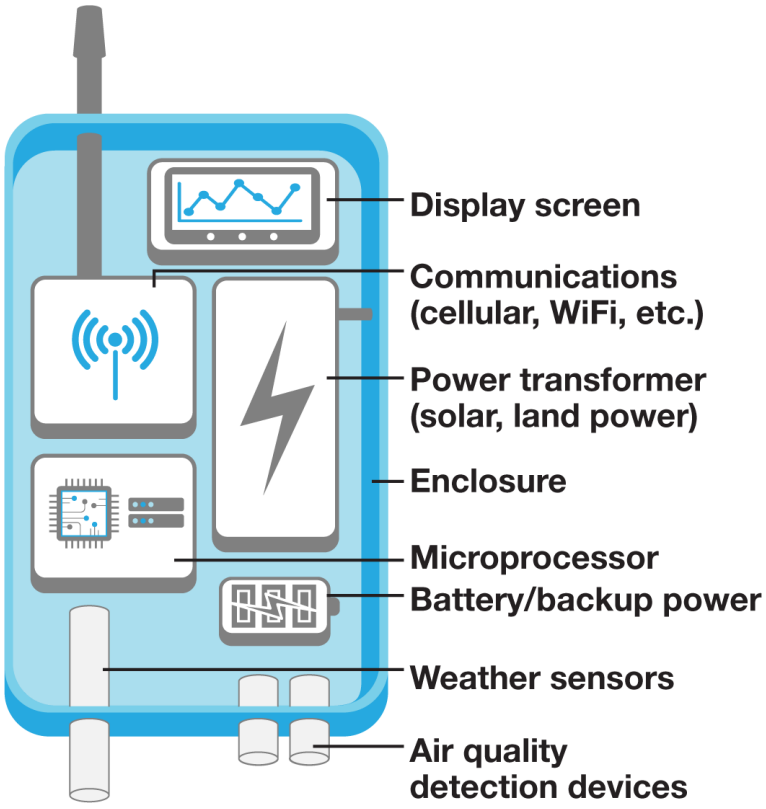
2.1 Сензори за мерење на загадувањето на воздухот кои задоволуваат специфични потреби

Карактеристики на сензори за мерење на загадувачи во воздухот (Air Sensors).

Сензорите за воздушни мерења (Air sensors) се класа на **не-регулаторна технологија** (non-regulatory technology) кои се пониски по цена, преносливи и генерално полесни за ракување од монитори што се користат за **регулаторно следење** (мониторинг) (regulatory monitoring). **Сензорите за мерење параметри во воздухот** и **регулаторните монитори** се разликуваат по тоа што **регулаторните монитори** се **златен стандард** (the gold standard) и се дизајнирани да ги исполнат строгите барања за изведба за користење во регулаторен мониторинг.

Сензорите за воздух (Air Sensors) обично обезбедуваат релативно брзи или моментални мерења на концентрација на загадувачи на воздухот и овозможуваат мерење на квалитетот на воздухот на повеќе локации. Терминот **сензор за воздух** често опишува интегриран сет на хардвер и софтвер кој користи еден или повеќе сензорни елементи (понекогаш наречени сензори или други термини) за

откривање или мерење на концентрации на одредени загадувачи. Слика 1-1 ги прикажува типични компоненти на сензор за воздух, кои се разликуваат од еден производител до друг. Повеќето сензори за воздух вклучуваат извор на енергија, компоненти за откривање загадувачи на воздухот и временски параметри, електроника за пренос на податоци (на пример, мобилни) и микропроцесор за контрола на уредите. Некои сензори за воздух може да вклучуваат батерија, дисплеј екран и компонента на систем за глобално позиционирање (GPS) за одредување на локација. Сензори кои пренесуваат податоци може да се поврзат со облак сервери кои складираат, обработуваат и обезбедуваат пристап до податоци. Дополнително, податоците може да се прикажат на мапи или графички записи (хистограми).

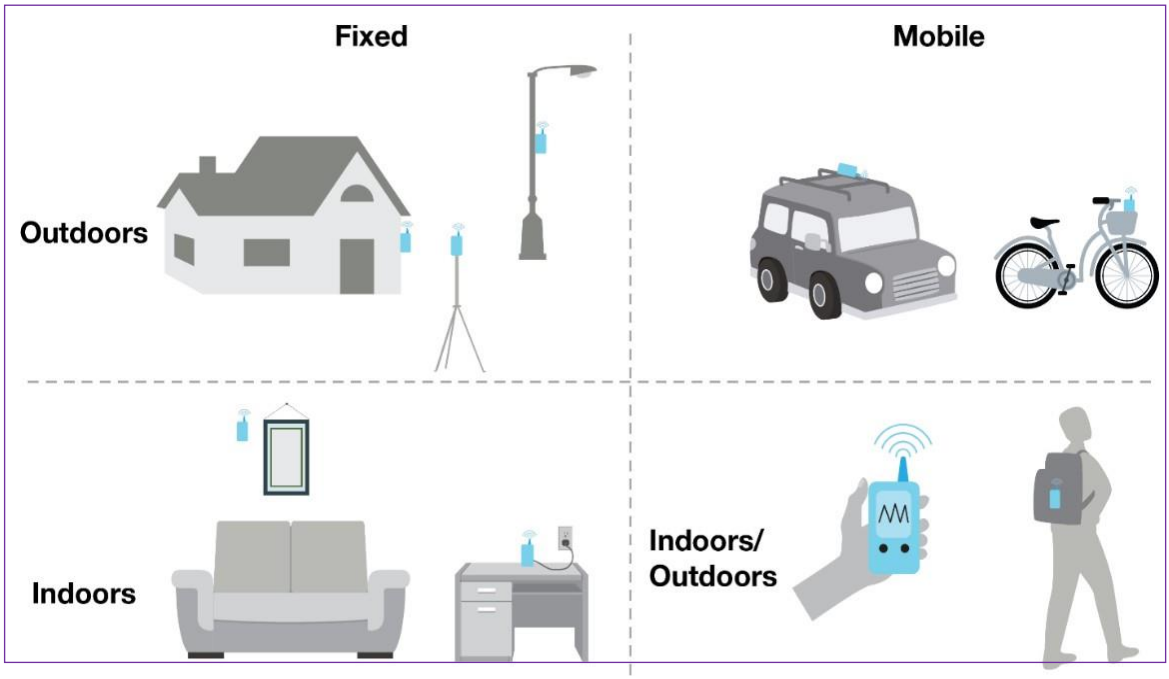


Слика 1-1. Типични компоненти на Сензор за воздух

Напредокот во микропроцесорите и минијатуризацијата доведоа до брзо проширување во достапност на сензори за воздух за мерење на различни загадувачи на воздухот. Како што станаа сензорите за воздух подостапни ширум светот, забележано е драматично зголемување на нивната употреба за мерење

на услови за квалитетот на воздухот и има поголем пристап до јавно достапни сетови на податоци за сензори.

Агенцијата за заштита на животната средина на САД (U.S. EPA - The United States Environmental Protection Agency) идентификува дека примарна употреба на сензорите за воздух е за апликации за нерегулаторно дополнителен и информативен мониторинг (NSIM - non-regulatory supplemental and informational monitoring). Табела 1-1 резимира примери на вакви апликации. Други потенцијални апликации за сензори за воздух вклучуваат мобилен мониторинг, следење на лична изложеност, следење на воздухот во затворени простории, меѓу другото. Слика 1-2 покажува примери за тоа како можат сензорите за воздух да се користат за NSIM и други апликации.



Слика 1-2. Примери како корисниците можат да распоредат сензори за воздух

Табела 1-1: **Преглед на апликации за нерегулаторно дополнителен и информативен мониторинг (NSIM) за сензори за воздух**.

Категорија	Опис	Вообичаени примери
Просторно-временска варијабилност	Карактеризирање на концентрација на загадувач над географска област и/или време. ***Дали загадувањето е поголемо наутро во дадена локација***?	• Дневни трендови. • Градиентни студии (Gradient studies). • Прогноза за квалитетот на воздухот. • Партиципативна наука. Партиципативната наука се нарекува и граѓанска наука, наука за заедницата, волонтерство мониторинг или учество на јавноста во научно истражување. (Source: **https://www.epa.gov/participatory-science**) • Образование.
Споредба	Анализирање на разлики и/или сличности во карактеристики на загадувањето на воздухот во однос на прагот на вредност (референтни компоненти) или помеѓу различни Мрежи, локации, региони, временски периоди, итн. ***Дали одредена локација покажува високо ниво на загадување, но на други локации не***?	• Откривање на жариште (Hotspot detection). • Фузија на податоци (Data fusion). • Итен одговор (Emergency response). • Дополнителен мониторинг (Supplemental monitoring).
Долгорочен тренд	Карактеризирање на промени во концентра-ции на одреден загадувач за подолг временски период. ***Како се промени концентрацијата на одреден загадувач на одредена локација за период од 5 години***?	• Долгорочни промени (Long-term changes). • Епидемиолошки студии (Epidemiological studies) • Проверка (верификација) на моделот

2.2 Следење на квалитетот на воздухот со помош на сензори за воздух

Кога се распоредени, инсталирани, конфигурирани и функционираат правилно, се одржуваат внимателно и со внимателно планирање на проектот, сензорите за воздух можат да обезбедат корисни информации за низа апликации за

квалитетот на воздухот. Секој што сака да користи сензори за воздух треба да има информации за: основно знаење за квалитетот на воздухот, планирарање и спроведување на мониторинг на воздухот, како да се избере сензор за воздух и за сознанија за перформансите на сензорите. Корисници на сензори за воздух се: научни истражувачи, агенции за животна средина, здравствени работници, институции за итни случаи, развој на технологии, едукатори и јавност.

Квалитетот на воздухот е сложена тема бидејќи вклучува емисија на загадувачи на воздухот, хемиска и физичка трансформација на загадувачи и атмосферски услови кои можат да ги придвижат или заробат загадувачите и да влијаат на брзината на хемиските реакции. Квалитетот на воздухот се мери на различни начини. Влијанието на квалитетот на воздухот врз здравјето и животната средина варираат во зависност од концентрацијата и видот на загадувачот.

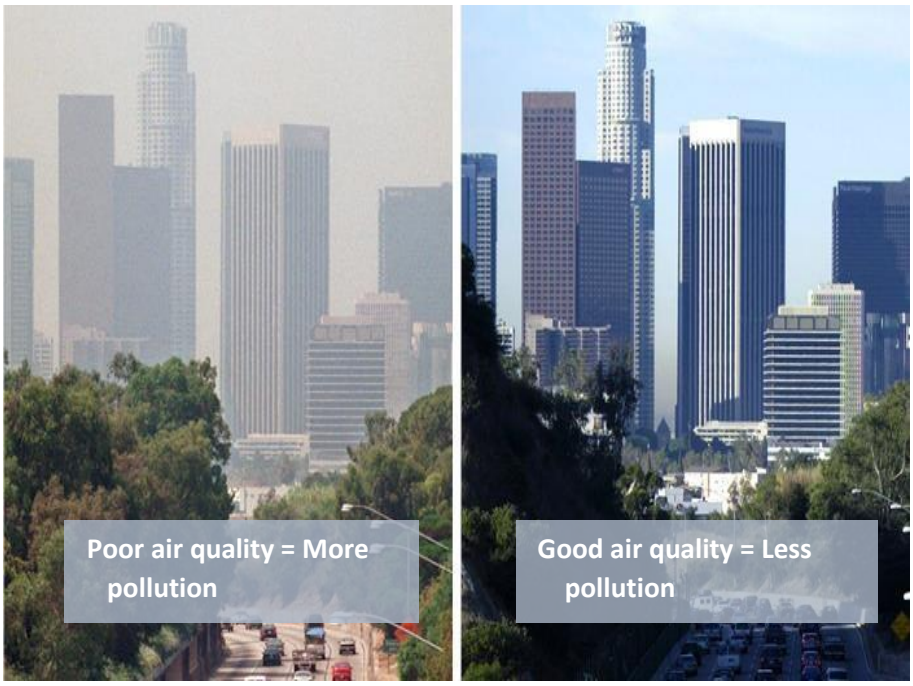
Во ова поглавие се презентирани следните сознанија:

- Основни познавања за квалитетот на надворешниот воздух.
- Влијанија врз здравјето и животната средина на одредени загадувачи на воздухот.
- Различни видови пристапи за следење на квалитетот на воздухот.
- Прописи и индекси за квалитетот на воздухот.
- Специфични информации за Индекс за квалитет на воздухот (AQI - Air Quality Index).

Квалитет на воздухот на отворен простор и загадување на воздухот

Квалитет на воздух е термин кој се користи за да се опише колку загадување е присутно во воздухот (Слика 2-1). Се грижиме за квалитетот на воздухот бидејќи загадувачите на воздухот можат да влијаат на нашето здравје и на нашата животна средина. Како што е наведено од Светската здравствена организација (СЗО), загадениот воздух е водечка причина за смртност. Поголем број научни студии (епидемиолошки, изложеност) (scientific studies) го поврзуваат загадувањето на воздухот со низа здравствени проблеми, вклучувајќи намалена функција на белите дробови, влошување на респираторни и кардиоваскуларни болести, зголемена инциденца на астма и сериозна и предвремена смртност.

Покрај тоа што предизвикуваат негативни здравствени ефекти, загадувачите на воздухот може да предизвикаат и негативни ефекти врз животната средина, како што се намалена видливост и оштетување на растителниот и животинскиот свет. Киселите загадувачи депонирани на земјата, претежно од дождот, и штетат на екологијата на земјата и водата, па дури и на структурите. Некои загадувачи, исто така, влијаат на енергетскиот биланс на Земјата, што влијае на глобалните климатски услови (global climate conditions).



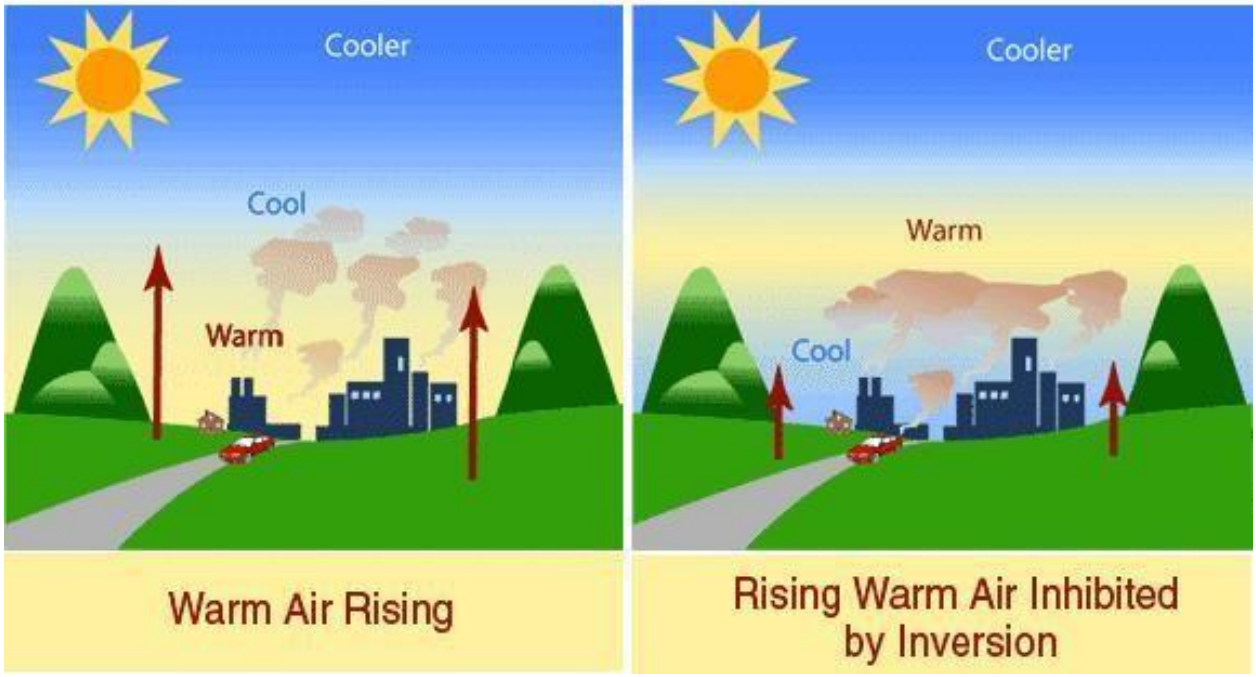
Слика 2-1. Лош наспроти добар квалитет на воздух

Загадувањето на воздухот се состои од комплексна мешавина на различни хемикалии во форма на цврсти честички (во низа големини), капки течност и гасови. Загадувањето на воздухот се создава како резултат на човечки (т.е. антропогени) и природни извори на загадувачи. Примери за антропогени извори вклучуваат електрани кои произведуваат електрична енергија, автомобили и камиони и капацитети за производство на нафта и гас. Природни извори на загадувачи вклучуваат шумски пожари, бури од прашина, вулканска активност и биогени извори (на пример, растенија, почви).

Некои од овие загадувачи се краткотрајни во атмосферата (т.е. од часови до денови), додека други се долготрајни (т.е. години). Како и времето, квалитетот

на воздухот се менува од ден на ден, па дури и од час во час. Количество на време во кое одреден загадувач останува во атмосферата зависи од неговата **реактивност** со други супстанции и неговата **тенденција да се таложи** на површината (исто така наречена таложење). Овие фактори се водени од видот на загадувач и временските услови, вклучувајќи температура, сончева светлина, врнежи, влажност и брзина на ветер. Силните ветрови можат да ги намалат концентрациите со разредување или распрснување на загадувачите на поголема географска област, додека стагнирачки воздух (нема проток на воздух) може да доведе до концентрации на загадувачи кои постепено се зголемуваат.

Една од најчестите причини за стагнација на воздух е температурна инверзија (temperature inversion), илустрирана на Слика 2-2, која се јавува кога слој поладен воздух е заробен близу до земјата со слој потопол воздух изнад него. Инверзии најчесто се формираат преку ноќ кога ведро небо дозволува воздухот на површината да се олади побрзо од воздухот над него. Инверзијата може да трае цел ден, па дури и неколку дена. Кога воздухот не може да се издигне, загадувањето на површината е заробено и може да се акумулира, што доведува до повисоки концентрации на загадување во близина на површината.



Слика 2-2. Типично движење на топол воздух во атмосферата наспроти топол воздух заробен од температурна инверзија



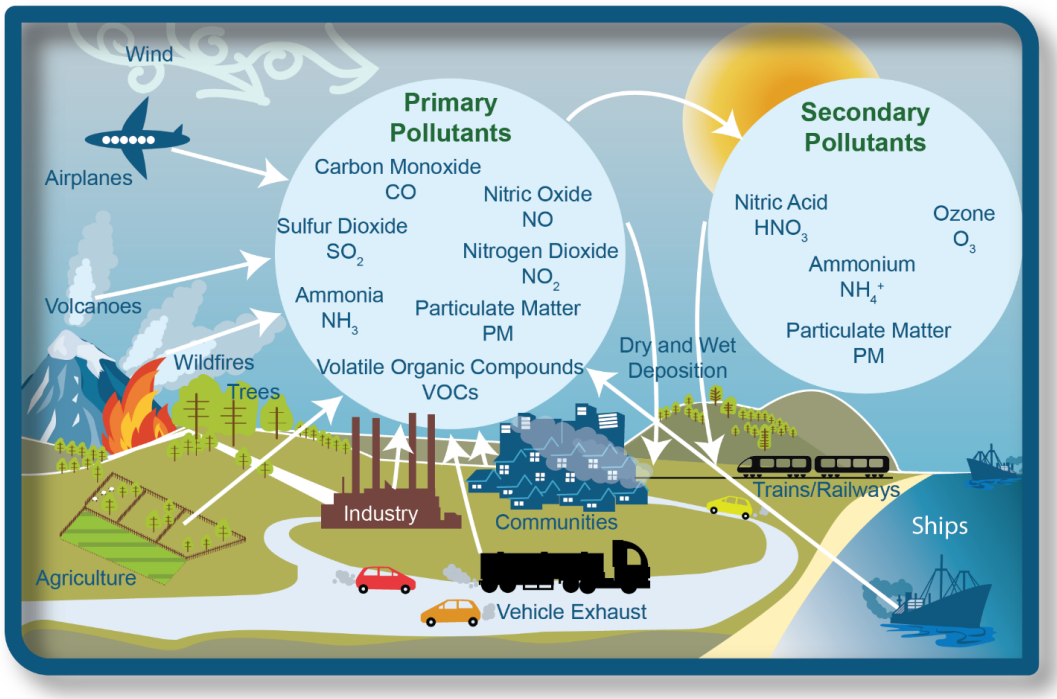
Слика 2-3. Атмосферски услови и нивни влијанија на концентрации на загадувачи

Разбирањето како временските услови можат да влијаат на концентрациите на загадувачите и мерењето на загадувањето е важно за собирање точни информации и толкување на трендовите во податоците. Слика 2-3 резимира како условите во атмосферата можат да влијаат на концентрациите на загадувачите.

Разбирањето како временските услови можат да влијаат на концентрациите на загадувачите и мерењето на загадувањето е важно за собирање точни информации и толкување на трендовите во податоците. Слика 2-3 резимира како условите во атмосферата можат да влијаат на концентрациите на загадувачите.

Загадувачите на воздухот генерално се карактеризираат како примарни или секундарни загадувачи, како што е прикажано на Слика 2-4. Примарните загадувачи се испуштаат директно од изворот. Секундарните загадувачи се формираат во атмосферата со хемиски реакции по ослободувањето од извор на емисија и, во надворешната средина, често се наоѓаат надолу од изворот. Концентрациите на загадувачи може значително да се разликуваат во просторот и времето поради (**https://www.mrgscience.com/ess-topic-63-photochemical-smog.html**):

- варијации во локални емисии,
- близина до извори на загадувачи,
- хемиски реакции, и
- временски услови.



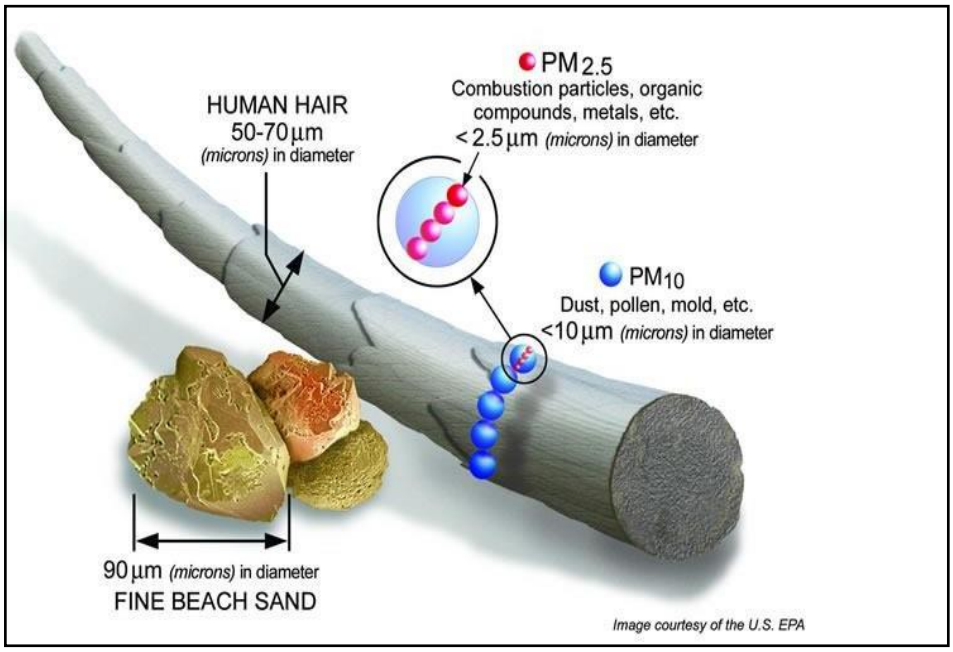
Слика 2-4. Извори на примарни и секундарни загадувачи

Концентрација е метрика за известување за количина на загадувач во воздухот и ја претставува тежина или број на молекули на загадувач во волумен на воздух. Вообичаени единици вклучуваат **микрограми на кубен метар** (**μg/m³**), **делови на милион** (parts per million) (**ppm**) и **делови на милијарда** (parts per billion) (**ppb**).

Поретки единици вклучуваат број на честички на кубен сантиметар (#честички/cm³). На пример, концентрацијата од **43** μg/m³ е тежина од 43 микрограми (микрограм е милионити дел од грам) на кубен метар воздух, а делови на милијарда е број на единици маса на загадувач на 1 милијарда единици од вкупната маса на воздухот. Единици од **μg/m³** често се користат за **загадување со честички** (**PM**), а **ppm** и **ppb** често се користат за **загадување со гасови**.

Вообичаени загадувачи кои предизвикуваат загриженост во надворешниот воздух вклучуваат **PM** (Слика 2-5), **озон на ниво на земја** (**O_3**), **сулфур диоксид** (**SO_2**), **азот диоксид** (**NO_2**), **јаглерод моноксид** (**CO**), **олово** (**Pb**), **амонијак** (**NH_3**), **испарливи органски соединенија** (**VOCs** - volatile organic compounds), **жива** (**Hg**), **честички во воздухот** (airborne particles) и многу повеќе. Табела 2-1 ги прикажува овие и други вообичаени загадувачи на воздухот, изворите и опсегот

што се очекува во надворешниот воздух. Додека PM може да се рангира по големина, тој обично се карактеризира во една од две групи: **PM10** и **PM2.5**. **PM10** честичките имаат дијаметри кои се генерално помали од 10 микрометри (μm), додека **PM2.5** (исто така наречени "**ситни честички**" ("fine particulate matter") или "**ситни PM**" ("fine PM")) имаат дијаметри генерално помали од 2,5 μm.



Слика 2-5. Ранг на големина на честички

Табела 2-1. Вообичаени загадувачи на воздухот, нивни извори и опсегот на концентрација што треба да се очекува во надворешниот воздух. **Criteria pollutant regulated by the U.S. EPA**.

Загадувач (кратенка)	**Примери на извори на отворено**	**Типичен часовен опсег на концентрации на отворено што треба да се очекува во САД**
Амонијак (NH_3)	Земјоделство, сточарство, ѓубрива и мобилни извори	**0 до 3 μg/m^3**
Бензен	Бензин, загуби од испарување од надземни резервоари за складирање и мобилни извори	**0 до 7 μg/m^3 (0,03 до 2,3 ppb)**
Црн јаглерод (Black Carbon (BC))	Согорување на биомаса и мобилни извори	**0 до 15 μg/m^3**
Јаглерод диоксид (CO_2)	Согорување на гориво од електрични комунални претпријатија и мобилни извори	**350 до 600 ppm**
Јаглерод моноксид (CO)	Нецелосно согорување на	

	гориво од мобилни извори и индустриски процеси.	**0 до 0,3 ppm**
Водород сулфид (H_2S)	Природни извори (вулкани, топли извори, бактериско распаѓање на органска материја) и индустриски извори (рафинерии, постројки за природен гас, петрохемиски постројки, преработка на храна, кожари).	**0 до 20 ppm**
Олово (Pb)	Топење, авионски бензин, печки за согорување отпад, електрични комунални претпријатија и оловни батерии	**0 до 0,1 μg/m^3**
Жива (Hg)	Согорување на јаглен, нафта и дрво	**0,001 до 0,17 μg/m^3**
Метан (CH_4)	Индустрија (операции со природен гас), земјоделство и управување со отпад	**1.500 до 2.000 ppb**
Азот диоксид (NO_2)	Согорување на гориво од мобилни извори и електрични комунални услуги	**0 до 50 ppb**
Озон (O_3)	Формирана преку ултравиолетово (УВ) зрачење на сончева светлина и присуство на други клучни загадувачи (азотни оксиди, испарливи органски соединенија)	**0 до 125 ppb**
Честички (PM2,5)	Согорување гориво (мобилни извори, електрични комунални услуги, индустриски процеси), прашина, земјоделство, пожари и формирање во атмосферата поради хемиски реакции	**0 до 40 μg/m^3 (100 до 1.000 μg/m^3 во близина на шумски пожари)**
Честички (PM10)	Прашина (земјоделство, патишта, градежништво), абење на сопирачките/гуми и моторот од мобилни извори и пожари	**0 до 100 μg/m^3 (500 до 1.000+ μg/m^3 во бури од прашина)**

Сулфур диоксид (SO_2)	Согорување на гориво од електрични комунални претпријатија, рафинерии и индустриски процеси	**0 до 100 ppb (100 до 5.000 ppb во близина на активни вулкани)**
Ултрафини честички (UFP)	Согорување гориво (мобилни извори, индустрии), испарување на бензин и употреба на растворувачи	**3.000 до 200.000 честички/кубен сантиметар (cm^3)**
Испарливи органски соединенија (VOCs)	Согорување гориво (мобилни извори, индустрии), испарување на бензин, растворувачи и производи за широка потрошувачка	**5 до 100 μg/m^3**

Кои се мобилни извори?

Мобилни извори вклучуваат возила на патишта како мотоцикли, патнички автомобили, камиони и комерцијални камиони и автобуси. Мобилните извори, исто така, вклучуваат возила кои не се на патишта (т.е. непатни) како багери, авиони, локомотиви, поморски бродови, друга тешка опрема, возила за рекреација (возила за снег, возила за други терени) и мали мотори и алати (на пример. косилки).

Кои се типични карактеристики на емисии од сообраќај?

Загадувачи кои директно се испуштаат од автомобил, камиони и други мобилни извори се со повисоки концентрации во близина на главните патишта.

Примери на директно емитирани загадувачи вклучуваат PM, CO, оксиди на азот (NOx) и бензен, иако стотици хемикалии се испуштаат од моторните возила. Моторните извори, исто така, испуштаат соединенија што доведуваат до формирање на други загадувачи во атмосферата, како што е NO_2, кој се наоѓа во зголемени концентрации во близина на главните патишта, и O_3, кој се формира понатаму. Надвор од издувната цевка на возилото и емисиите на испарување, сообраќајот на патиштата исто така испушта остатоци од сопирачките и гумите и може да исфрли прашина од патот во воздухот. Поединечно и во комбинација, многу од загадувачите пронајдени во близина на коловозите се поврзани со **негативни здравствени ефекти**.

VOCs не е единствен вид гас, туку се состои од илјадници хемикалии. Мерењето на вкупниот VOC (tVOC) е проценета концентрација на неколку различни видови VOC. VOCs најчесто се наоѓаат во комерцијални производи (на пример, бои, средства за ладење, горива), производи за широка потрошувачка (на пример, средства за чистење, дезодоранси, производи за коса) и се користат во индустриски процеси (на пример, хемиско производство, рафинирање на нафта, согорување гориво) кои испаруваат во воздухот. VOCs се јавуваат внатре и на отворено. Некои вообичаени VOCs вклучуваат:

- **Бензен**, **толуен**, **етилбензен** и **ксилен** (BTEX - Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene) (**BTEX**) се четири VOC кои вообичаено се групирани бидејќи често се наоѓаат заедно. Примарните извори на BTEX се бензински возила и мотори на пат и непат, транспорт/складирање на нафта и користење на растворувачи.
- **Биогени VOC** се емисии создадени од некој тип на биолошка активност. Пример, емисии кои произлегуваат од дрвја, вегетација и микробна активност во почвите. Емисиите од биогени извори можат да реагираат во атмосферата за да формираат загадувачи на **O_3** и **PM**.
- **Формалдехид** (**Formaldehyde**) е безбоен, запалив гас на собна температура кој има силен мирис. Формалдехидот е нуспроизвод на согорување (на пример, шпорети на гас, керозин грејачи, чад од цигари). Некои комерцијални производи (на пример, лепила, бои, градежни материјали) исто така ослободуваат формалдехид.

Понекогаш, се јавува загриженост за нови и опасни загадувачи бидејќи истражувачите и научниците идентификуваат поврзаност со негативни здравствени ефекти или влијанија врз животната средина. Некои примери на опасни загадувачи вклучуваат:

- **Црн јаглерод** (**BC** - Black carbon) е вид на честичка произведена од нецелосно согорување и се испушта од извори како што се дизел мотори и шумски пожари. BC е речиси целосно направен од јаглерод и силно апсорбира светлина и може да доведе до загревање во атмосферата (radiative forcing).

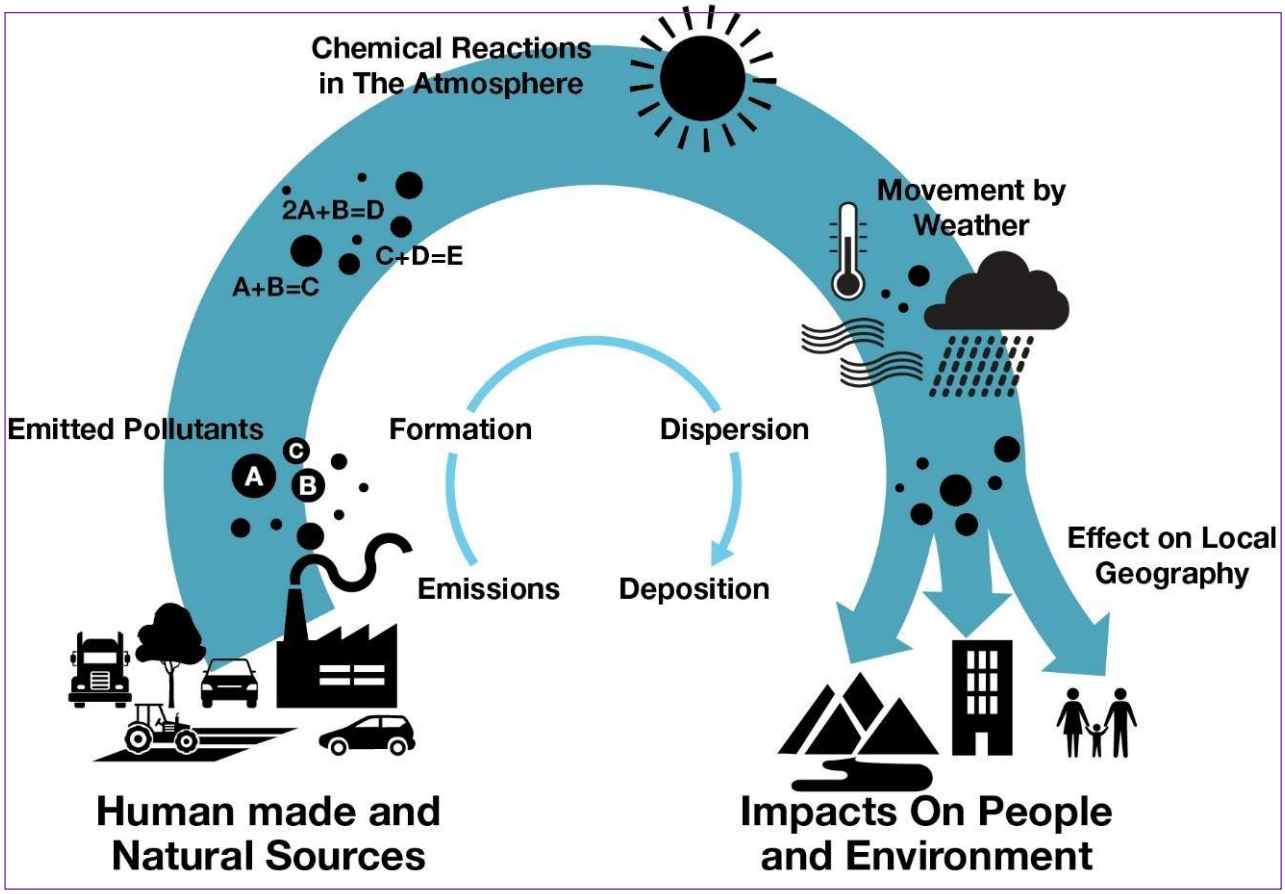
- **Метан** (**CH_4**), наједноставен јаглеводород кој се состои од еден јаглероден атом и четири атоми на водород, сочинува приближно 10% од сите емисии на стаклени гасови во САД од човечки активности, вклучувајќи истекување од системи за природен гас и одгледување добиток.
- **Полициклични ароматични јаглеводороди** (**PAHs** - Polycyclic aromatic hydrocarbons) се класа на хемикалии кои природно се појавуваат во јагленот, суровата нафта и бензинот и дизел горивото. Тие се произведуваат и со согорување на јаглен, нафта, гас, дрво, ѓубре и тутун, како и со високотемпературно готвење на месо и друга храна. PAH се загрижувачки бидејќи тие опстојуваат во животната средина долг временски период.

Животен циклус на загадувачи од воздухот

По испуштањето од природен или антропоген извор, загадувачите на воздухот се транспортираат во атмосферата и на крајот можат да влијаат на животната средина и човечката популација, како што е прикажано на Слика 2-6. Многу процеси во текот на овој животен циклус се предизвик да се разбере загадувањето и неговите извори.

Додека се во атмосферата, загадувачите можат да подлежат на хемиски реакции со други гасови и честички. Атмосферските услови можат да влијаат на овие хемиски реакции (на пример, сончева светлина е потребна за да се создаде **O_3**) и времето го контролира движењето и дисперзијата на загадувачи од локации на спротивен ветар (каде што воздухот се движи пред да помине над област од интерес) до локациите надолу (каде што оди воздухот по преместување на област од интерес). Локалната географија може да ги канализира и насочува загадувачите на воздухот до локации кои можат да влијаат на луѓето и на животната средина. На крајот, загадувачите се отстрануваат од атмосферата со таложење на површината на земјата или додека луѓето дишат во загадувањето. Еден од најголемите предизвици во мониторингот на квалитетот на воздухот е одредувањето на потеклото на измерениот загадувач, што бара разбирање на сите фактори - времето, атмосферската хемија и географијата - кои влијаат на

загадувачите во нивното патување од оригиналниот извор до локацијата на мерење.



Слика 2-6. Животен циклус на загадувачите од изворот до нивното влијание врз луѓето и животната средина

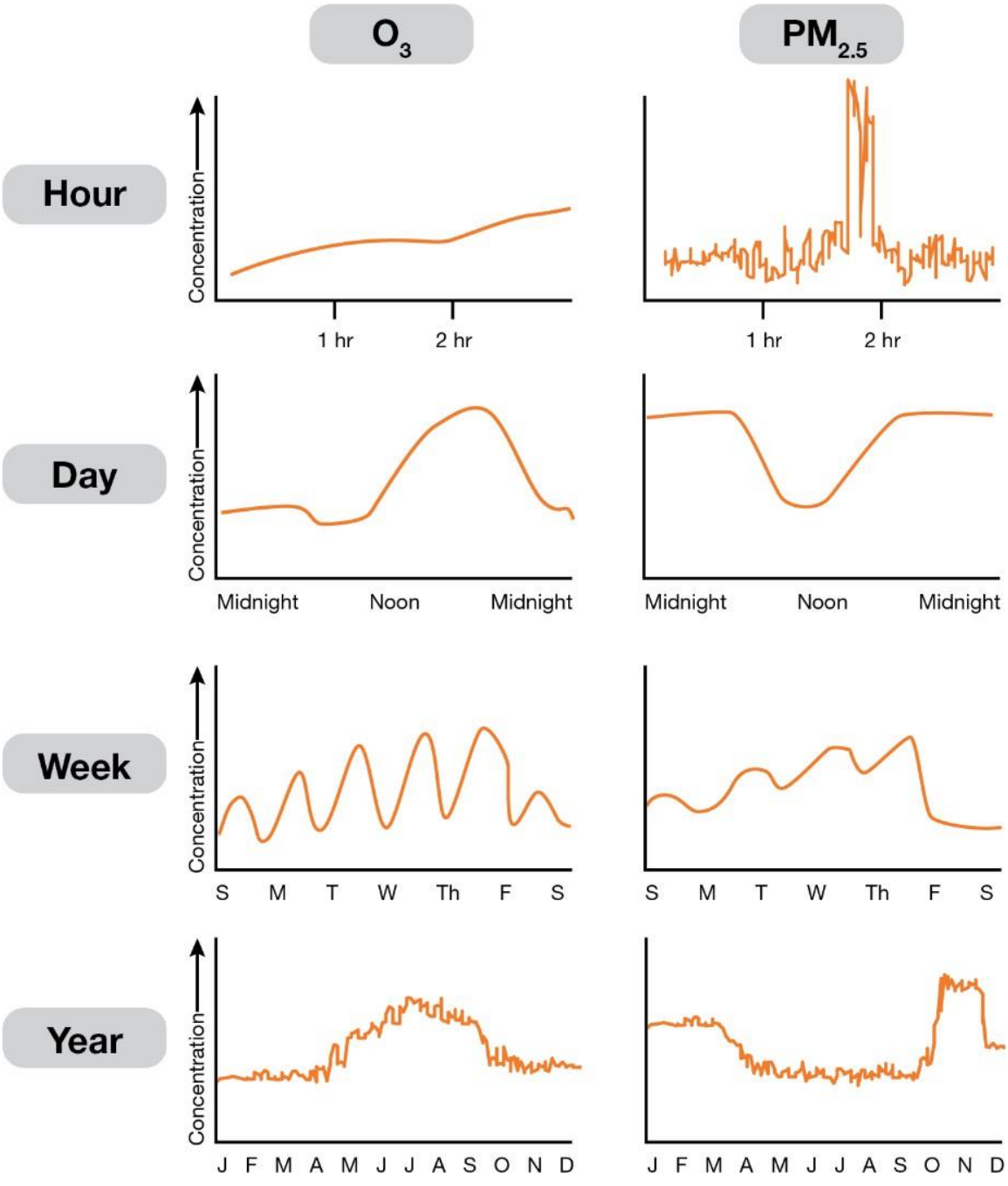
Разлики во концентрации на загадувачите со текот на времето

Концентрациите на загадувачи може значително да се разликуваат во зависност од времето во денот, ден во недела и сезона. Овие разлики може да се припишат на промени во шемите на емисии, **атмосферски услови** (на пример, висина на мешање, температура, сончева светлина), **распоред на активности на изворот** (на пример, дневни шеми на сообраќаен шпиц) и **хемиски реакции**.

Како што е прикажано на Слика 2-7, **озонот O_3** обично варира бавно од час во час, но често се подложува на дневна промена (т.е. дневен циклус) од ниски конце-нтрации ноќе до повисоки концентрации во текот на денот. Секојдневната разлика во емисии на прекурсори на **O_3** (на пример, емисии од возила) може да

произведе пониски концентрации на **O_3** за време на викенди отколку во работни денови. Бидејќи сончевата светлина и топлината помагаат да се претворат емисиите во **O_3**, концентрациите обично се повисоки во текот на летото.

PM2.5 честички може да се менуваат побрзо од час во час, дури и од минута во минута, поради локални извори и атмосферски услови (Слика 2-7).



Слика 2-7. Типични концентрации за **O_3** и **PM2.5** во различни временски периоди

Концентрациите на PM2,5 генерално **се повисоки ноќе и наутро** поради мирни ветрови и загадување заробено под влијание на ноќна температурна инверзија. Од ден на ден, концентрациите на **PM2.5** може да се акумулираат, а потоа брзо да се менуваат поради зголемените ветрови или промени на воздушна маса (на пример, ладен фронтален премин).

И на крај, концентрациите на **PM2,5** може да варираат во зависност од сезоната. На пример, зимските концентрации може да бидат високи поради активности во домови со горење дрва во ладно време. Летните концентрации може да бидат високи поради **формирање на секундарни честички** во одредени географски региони, **сезонско горење на култури** (палење на стрништа), **земјоделски активности** или **чад од шумски пожари**.

Важно: Треба да се размисли за варијациите во концентрации на загадувачи кога се развива план за следење на воздухот.

Познавањето на дневните, неделните и сезонските варијации во концентрациите на загадувачите може да ни помогне да развиеме план за спроведување на мониторинг на воздухот. Оваа информација може да помогне во креирање на времето и условите (правење план за активности) под кои треба да се преземат мерењата.

Мониторинг (следење) на загадување на воздухот на отворено

Мониторинг на загадување на воздухот е откривање на нивои на загадувачи преку мерење на количина и видови на одредени загадувачи во надворешен воздух. Различни методи и инструменти се користат за мерење на загадувачите и од клучно значење е да се усогласат потребите за мерење на одредена апликација со уред кој обезбедува доволна точност, доверливост и транспарентност (следливост).

Некои вообичаени мерни пристапи за следење на квалитетот на воздухот од **фиксни** локации и **мобилни** платформи (на пример, возило) се прикажани на Слика 2-8. Неколку категории на методи на мерење се опишани подетално подолу.

Референтни монитори се користат за да се утврди усогласеност со национални стандарди за квалитет на амбиентален воздух (NAAQS - National Ambient Air Quality Standards) и се означени како монитори со Федерален

референтен метод (FRM - Federal Reference Method) или Федерален еквивалентен метод (FEM - Federal Equivalent Method). Овие монитори мора да исполнуваат строги барања за работа и изведба, како што е наведено во Кодексот на сојузни регулативи на САД (CFR - U.S. Code of Federal Regulations). Референтните монитори произведуваат многу квалитетни и точни податоци. Семплери на **PM** FRM собираат честички со филтер во одреден временски период (обично 24 часа), додека континуирани FEM монитори откриваат концентрации на загадувачи на почеста основа (на пример, континуирано секој час). Список на назначени FRM/FEM монитори (U.S. EPA's Ambient Monitoring Technology Information Center).

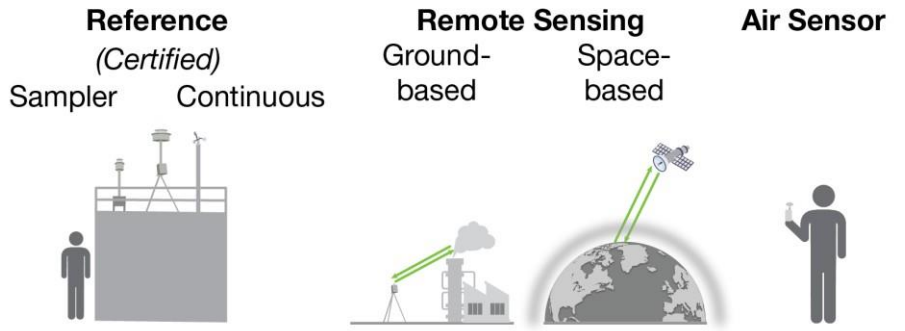
Неопходни се прецизни операции, распоредување, и обезбедување квалитет и контрола на квалитетот (QA/QC) (quality assurance/quality control) за да се осигура дека референтните монитори произведуваат точни податоци.

Истражувачки инструменти опишуваат широк опсег на технологии кои се движат од евтини технологии за сензори за воздух, преку прототип на инструменти од среден опсег, до инструменти од највисок лабораториски тип, модифицирани за користење на терен. Овие инструменти често се изградени или дизајнирани за специфични апликации. Тие може да бидат дизајнирани да истражуваат одредено истражувачко прашање или како прототип дизајнирани за мерење на загадувачи кои немаат постоечки метод на мерење. Овие инструменти најчесто се управувани од експерти за да се постигнат потреби на изведба за нивна примена. Откако ќе се покаже силна споредливост со FRM/FEM инструментите, тие може да се користат како референтен монитор **ако/кога** не е изводливо да се распореди FRM/FEM. На пример, инструмент како E-BAM може да се смета за речиси референтен инструмент бидејќи има споредливи перформанси со инструменти FRM/FEM, но е дизајниран да се користи на отворено и дизајниран да биде преносliв за да може брзо да се распореди за мерење на чад од шумски пожари на по нерамен терен. Нема ознака FEM, но има многу од карактеристиките на FEM, и кога е управуван од обучен персонал може да обезбеди вредни податоци за оваа апликација.

Далечинско мерење (Remote sensing) е метод за мерење на загадувачи на растојание без физички контакт (на пример, мерење на рефлектирана или емитирана светлина). Далечински сензор може да биде корисен за откривање на

PM честички, загадувачи со гасовити критериуми и некои VOCs. Далечинско набљудување може да се распореди во авион, сателитски платформи во орбита или на специфични копнени локации.

Сензори за воздух (Air sensors) се класа на технологија што се пониски по цена, попреносливи и генерално полесни за ракување од референтните монитори или истражувачките инструменти. Сензорите за воздух можат да мерат некои, но не сите загадувачи на воздухот, вклучително и PM честички и гасови. Сепак, точноста, животниот век и доверливоста на сензорите се разликуваат поради основната технологија за мерење, квалитетот на различните компоненти на сензорот за воздух, условите на околината и методите на работа. Табела 2-3 ги сумира главните разлики помеѓу сензори за воздух и референтни монитори.

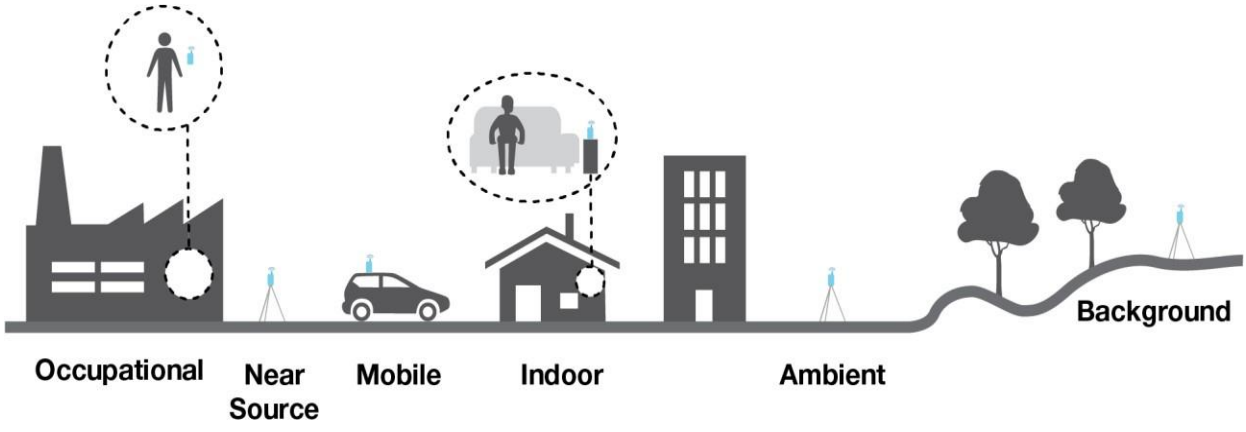


Accuracy	High	High	High	Varies	Varies
Complexity	High	High	High	High	Low
Measurement Frequency	Daily	Sub hourly to hourly	Sub hourly	Hourly to Daily	Sub hourly
Relative Cost	**$$**	**$$$**	**$$$$**	**$$$**	**$**

Слика 2-8. Вообичаени типови на инструменти за следење на воздухот и нивни карактеристики

Табела 2-3. Споредување помеѓу Референтни монитори (Reference Monitors) и Сензори за воздух (Air Sensors).

Преглед	Референтни монитори	Сензори за воздух
Типичен трошок за набавка	15.000 до 40.000 американски долари	$100 до $5.000 (американски долари)
Обука на персонал за работа	Високо обучен технички персонал	Малку или никаков тренинг (упатство за употреба/прирачник може да помогне)
Оперативни трошоци	Скапо – потреба од засолниште, технички персонал, одржување, поправка, обезбедување квалитет	Поевтино – потреба од замена или поправка на уредот, пренос на податоци, управување на податоци
Локација за поставување	Фиксна локација (потребна е зграда/приколка)	Повеќе преносliв (со основна заштита од временски услови)
Квалитет на податоци	Познат и постојан квалитет во различни услови	Непознат и може да варира од сензор до сензор во различни временски услови и загадена средина
Работен век	10 години или повеќе (калибрирани и управувани за да се одржи точноста)	Краток (зависно од загадувач; <1-3 години) (може да стане помалку точен со текот на времето)
Се користи за регулаторен Мониторинг	Да	Не



Слика 2-9. Различни локации за следење на надворешен воздух (близок извор, мобилен, амбиентален и заднина) и внатрешен воздух (деловен и станбен)

Концентрацијата на многу загадувачи варира на долги или дури кратки растојанија, затоа е многу важно да се одлучи каде да се постават инструментите. Локација каде се мерат загадувачите одредува што се мери. Како што е прикажано на слика 2-9, следењето на воздухот може да се случи на различни локации и да претставува различни услови.

Концентрации на повеќе загадувачи речиси секогаш ќе бидат највисоки во близина на изворот, брзо намалувајќи се во првите неколку стотини метри оддалеченост од изворот. Ако повеќе извори се широко дистрибуирани во одредена област, концентрациите на загадувачи може да бидат послични, но сепак ќе бидат различни од локација до локација. Други фактори, вклучувајќи ја географијата и локалните атмосферски услови, исто така, ќе влијаат на концентрациите.

Совет: Внимателно да се размисли каде да се лоцираат сензори за воздух кога се спроведува истражување за следење на воздухот. Внимателното лоцирање на сензорот за воздух ќе игра значајна улога во одредување дали собраните податоци ја претставуваат локацијата и дали се корисни.

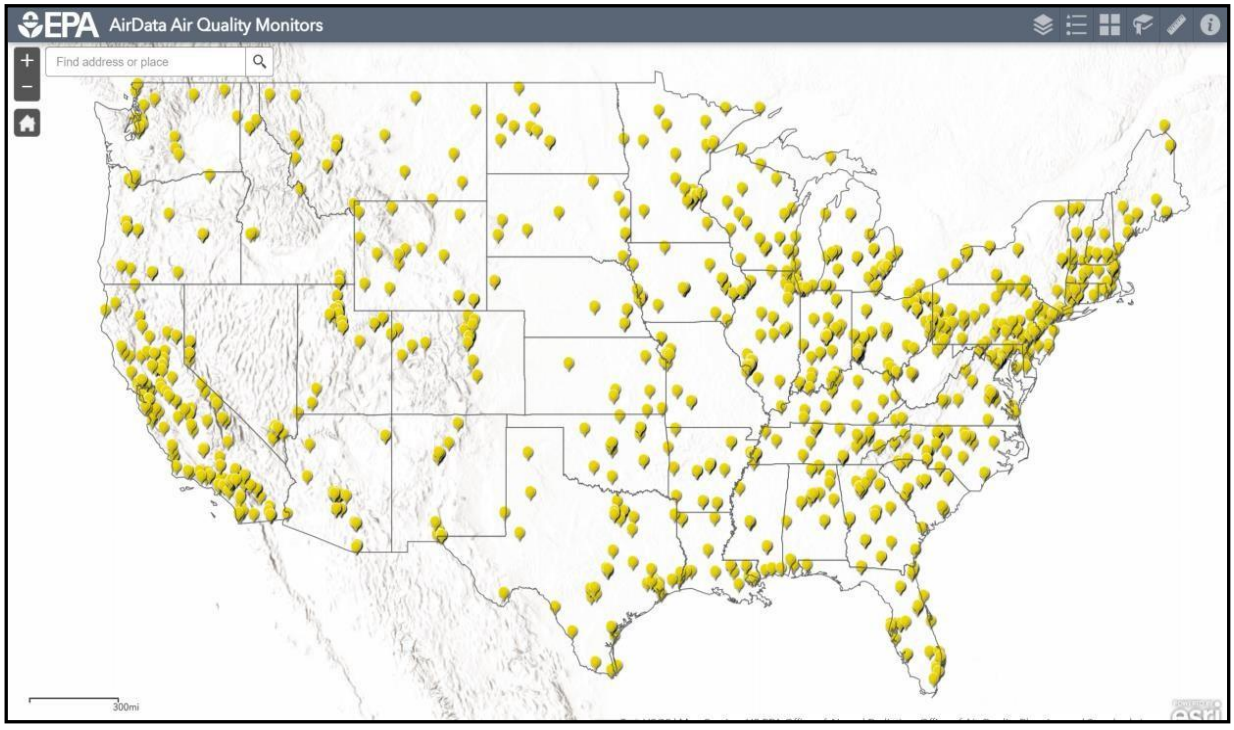
Мрежа за следење на загадување на воздухот е збирка локации опремени со инструменти за мерење на еден или повеќе загадувачи. Мрежите за мониторинг се дизајнирани и работат за специфични намени и цели и користат инструменти кои можат да ги исполнат целите неопходни за да се реализира поставена цел (на пример, употреба на FRM или FEM за следење на NAAQS како што се бара со **Законот за чист воздух**, CAA - Clean Air Act) поради строги потреби за точност и комплетност. Веб-страната за монитори на квалитетот на воздухот на EPA на САД (U.S. EPA's AirData Air Quality Monitors website) (Слика 2-10) обезбедува интерактивен приказ на локации за следење на воздухот и информации специфични за мониторот за различни регулаторни мрежи за следење на воздухот, користејќи ја мапата AirData.

Препорака: Може да се пристапи до податоци за следење на надворешниот воздух на неколку начини. Тековни услови и податоци за прогноза се достапни преку **AirNow.gov**. Историски податоци се достапни преку претходно генерирани датотеки со податоци, преку **AQS API** или преку извештаи и визуелизации на **AirData**.

Во Соединети Американски Држави (САД), Порторико и Американски Девствени Острови (U.S. Virgin Islands), амбиентални (надворешни) концентрации

на критериуми за загадувачи на воздухот се мерат на повеќе од 4.000 мониторинг станици во сопственост и управувани од државни, локални или еколошки агенции. Секоја од овие локации мери еден или повеќе загадувачи на воздухот [O_3, PM (PM2.5 и PM10), CO, NO_2, SO_2, Pb] користејќи инструменти што се означени како FRM или FEM. При управување со овие инструменти, агенциите следат строги критериуми за распоредување, опсежни оперативни планови и процедури за обезбедување квалитет (на пример, калибрација, одржување, ревизии, валидација на податоци) за да се осигураат дека произведуваат податоци со висок квалитет. Прирачникот **EPA's QA Handbook** дополнително ги опишува овие постапки.

Агенциите испраќаат гарантирани квалитетни часовни или дневни мерења на концентрации на загадувачи до базата на податоци на EPA наречена Систем за квалитет на воздухот (AQS - Air Quality System). AirData ги вади податоците за квалитетот на воздухот од AQS и ѝ овозможува на јавноста лесен пристап до дневни и годишни резимеа на податоци.



Слика 2-10. Веб-страна за следење на квалитетот на воздухот на AirData на САД - Активни станици за континуирано следење PM2.5

Неколку други мрежи за следење на воздухот кои опслужуваат други потреби, исто така, постојат во САД, вклучително:

- **Национални станици за трендови на отрови во воздухот** (**NATTS** - National Air Toxics Trends Stations) (**(NATTS**) кои се поставени низ САД за следење на токсични материи во воздухот. Според Законот за чист воздух (CAA - Clean Air Act), U.S. EPA регулира список од **187 опасни загадувачи во воздухот** (HAPs - hazardous air pollutants), исто така наречени токсични за воздухот. Главна цел на мрежата NATTS е да обезбеди долгорочни податоци за мониторинг низ репрезентативни области во земјата за да се воспостават севкупни трендови за приоритетни загадувачи како што се **бензен**, **формалдехид**, **1,3-бутадиен**, **шествалентен хром**, **PAHs** и други.
- **Програмата за меѓу агенциски мониторинг на заштитени визуелни средини** (**IMPROVE** - The Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) (**IMPROVE**) која е иницирана како одговор на **CAA** и Регионално правило за магла (Regional Haze Rule) за да се воспостават моментални услови за видливост и аеросоли, да се идентификуваат хемиски видови и антропогени извори на емисии одговорни за оштетување на видливоста и да се документираат долгорочни трендови за проценка на напредок кон цели за видливост за националните паркови и дивите области. Мрежата IMPROVE користи идентични референтни семплери за собирање 24-часовни PM филтри на секои три дена кои се анализираат за хемиски компоненти во PM.
- **Мрежа за хемиска спецификација** (**CSN** - Chemical Speciation Network) (**CSN**) која собира примероци од филтри **PM2.5** кои се анализираат за хемиски компоненти во **PM** (на пример, метали, јони, јаглерод). Овие податоци се собираат за **да се проценат трендовите**, **да се поврзат здравствените ефекти со состојките на PM2.5**, **да се карактеризираат годишни и сезонски просторни варијации на PM2.5** и други примени.
- **Национална мрежа за следење на повеќе загадувачи** (**Ncore** - National Core Multipollutant Monitoring Network) (**NCore**) која е мрежа

која интегрира неколку напредни мерни системи за **PM**, **гасовити загадувачи** и **метеорологија**. Сајтовите NCore собираат податоци за **следење на долгорочни трендови**, **поддршка на долгорочни здравствени проценки**, **поддршка на научни студии** и други апликации.

Стандарди и индекси за квалитет на воздухот (Air Quality Standards and Indices)

Утврдувањето (определувањето) на здравствени импликации од мерења на квалитет на воздухот е сложено. За среќа, постојат начини да се стават мерењата на квалитетот на воздухот во контекст. Владините агенции спроведуваат обемни анализи на истражување за здравствени ефекти од загадувачи на воздухот (на пример, Интегрирани научни проценки на EPA на САД (U.S. EPA's Integrated Science Assessments) (Integrated Science Assessments), извештај за квалитетот на воздухот во Европа за 2021 година подготвен од Европска унија) (the 2021 Air Quality in Europe report prepared by the European Union) (2021 Air Quality in Europe report). Ова истражување и висококвалитетни податоци се користат за воспоставување на стандарди и индекси за заштита на јавното здравје. Многу земји поставуваат свои стандарди за квалитет на воздухот. Покрај тоа, СЗО (WHO) има воспоставено стандарди за квалитет на воздухот.

Главните стандарди и индекси за квалитет на воздухот во САД вклучуваат:

- Национални стандарди за квалитет на амбиентален воздух (NAAQS - National Ambient Air Quality Standards) (NAAQS). CAA, кој последен пат беше изменет во 1990 година, бара од U.S. EPA да постави NAAQS за загадувачи на воздухот кои се сметаат за штетни за јавното здравје и животната средина. CAA идентификува два типа на NAAQS: примарни и секундарни стандарди. Примарните стандарди обезбедуваат заштита на јавното здравје, вклучително и заштита на здравјето на "чувствителни" популации како што се астматичари, деца и постари лица. Секундарните стандарди обезбедуваат заштита на благосостојбата на јавноста, вклучувајќи заштита од намалена видливост и оштетувања кај животни, посеви, вегетација и згради. U.S.

EPA постави NAAQS за шест главни загадувачи (NAAQS for six principal pollutants), наречени критериуми за загадувачи на воздухот (criteria air pollutants): PM (PM2.5 и PM10), O_3, CO, SO_2, NO_2 и Pb. Како што бара CAA, ЕПА на САД ги прегледува и ревидира стандардите, доколку е соодветно, на секои 5 години. NAAQS се сумирани во Табела 2-4.

Зошто не постојат NAAQS за сите загадувачи на воздухот?

Други вообичаени загадувачи на воздухот прикажани во Табела 2-1 (на пример, **CH_4**, **VOCs**, **бензен**, **Hg**, **NH_3**, **BC**, **UFP**) не се загадувачи на критериуми (criteria pollutants); затоа, U.S. EPA не воспостави NAAQS за овие загадувачи.

- **Индекс на квалитет на воздух** (**AQI** - Air Quality Index) **(AQI)**. **AQI** е воспоставен од **U.S. EPA** како метод за транслирање на мерења на загадување во потенцијални здравствени ефекти. **AQI** е нумеричка скала за известување за квалитетот на воздухот што опишува колку е чист или загаден воздухот на дадена локација и сите поврзани здравствени ефекти што може да произлезат од изложеност на воздухот. Section 2.5 и Appendix D даваат повеќе информации за AQI и како се пресметува.
- **Национален институт за безбедност и здравје при работа** (**NIOSH** - National Institute for Occupational Safety and Health) **(NIOSH)**. **NIOSH** има воспоставено упатства и препораки за спречување на повреди и болести поврзани со работа, вклучително и изложување на загадувачи на воздухот. Општо земено, овие упатства често претставуваат пократки временски периоди бидејќи се однесуваат на професионални локации и распореди (на пример, работни денови).

Како се разликуваат упатствата NAAQS и NIOSH?

Насоките на NIOSH се воспоставени за некои загадувачи прикажани во Табела 2-1, како и за некои дополнителни загадувачи. Нивои на концентрација на **NIOSH** се различни од **NAAQS** бидејќи се воспоставени само за професионална изложеност.

Табела 2-4. Национални стандарди за квалитет на амбиентален воздух на U.S. EPA (**NAAQS**).

Загадувач во воздух	**Примарен и секундарен стандард**	**Просечно време**	**Ниво на концентрација**	**Форми (**See the AQS data dictionary for the definitions and calculations of these forms**)**
Јаглерод моноксид (**CO**)	Примарен	8 часа	**9 ppm**	Да не се надминува повеќе од еднаш годишно
		1 час	**35 ppm**	
Олово (**Pb**)	Примарен и секундарен	Rolling просечно 3 месеци	**0.15 μg/m^3**	Да не се надминува
Азот диоксид (**NO_2**)	Примарен	1 час	**100 ppb**	98% од 1-часо-вни дневни ма-ксимални кон-центрации, во просек над 3 години.
	Примарен и секундарен	1 година	**53 ppb**	Годишно
Озон (**O_3**)	Примарен и секундарен	8 часа	**70 ppb**	Годишно четири пати највисока дневна максимална концентрација од 8 часа, во просек над 3 години
Честички (**PM2,5**)	Примарен	1 година	**12.0 μg/m^3**	Годишно, просечно над 3 год
	Секундарен	1 година	**15.0 μg/m^3**	Годишно, просечно над 3 год
	Примарен и секундарен	24 часа	**35 μg/m^3**	98%, во просек за 3 години
Честички (**PM10**)	Примарен и секундарен	24 часа	**150 μg/m^3**	Да не се надминува повеќе од еднаш годишно во просек за 3 години
Сулфур диоксид	Примарен	1 час	**75 ppb**	99% од 1-часовни дневни

(**SO_2**)				максимални концентрации, во просек над 3 години
	Секундарен	3 часа	**0.5 ppm**	Да не се надминува повеќе од еднаш годишно

(Примарниот стандард обезбедува заштита на јавното здравје, вклучително и заштита на здравјето на чувствителни популации како што се астматичари, деца и постари лица. Секундарниот стандард обезбедува заштита на јавна благосостојба, вклучувајќи заштита од намалена видливост и оштетување на животни, земјо-делски култури, вегетација и згради).

Во САД се користат само податоци од правилно управувани, цитирани и одржувани инструменти FRM и FEM за да се утврди усогласеноста со NAAQS. Кога се споредуваат мерења за квалитетот на воздухот со овие стандарди, важно е да се осигура дека мерењата се усогласени со стандардот. Секој стандард има поврзано ниво на концентрација за одреден просечен временски период (на пример, 1 час, 24 часа, 1 година) и локација (на пример, амбиентална, професионална). На пример, Табела 2-4 го прикажува поврзаниот просечен временски период и ниво на концентрација за секој критериум за загадување на воздухот за NAAQS.

Како можам да ги споредам мерењата на сензори за воздух со NAAQS или AQI за информативни цели?

Кога се споредуваат мерењата од сензоро а воздух со NAAQS или AQI, важно е да се запамети дека сензорите за воздух може да ги преценуваат или потценуваат концентрациите на загадувачи Затоа, податоците од сензорот мора да се исчистат и коригираат, а потоа да се просекуваат за да одговараат на временскиот просек наведен за стандардот или индексот за загадување и квалитет на воздухот. На пример, за да ги споредиме мерењата на сензорот за воздух **O_3** што се обезбедува секоја минута со 8-часовниот NAAQS за **O_3** од 70 ppb, ќе треба да ги исчистиме и коригираме податоците од сензорот **O_3** и потоа да пресметаме просек од 8 часа од мерењата на сензорот од 1 минута, пред да се споредат.

Индекс на квалитет на воздухот (AQI - Air Quality IndexI)

Загадувањето на воздухот може да има голем број сериозни влијанија врз здравјето. За сите критериуми за загадувачи освен **Pb**, U.S. EPA го воспостави **AQI** (**AQI**). Скалата **AQI** се движи од **0** до **500**, со повисоки вредности на AQI што укажуваат на поголеми нивоа на загаденост на воздухот и поврзани здравствени проблеми (Табела 2-5). На пример, вредноста на **AQI** од 50 или подолу претставува "**добар**" ("**Good**") квалитет на воздухот, додека вредноста на AQI над 300 претставува "**опасен**" ("**Hazardous**") квалитет на воздухот.

Пет главни загадувачи

EPA воспоставува AQI за пет главни загадувачи на воздухот регулирани со Законот за чист воздух (Clean Air Act). Секој од овие загадувачи има национален стандард за квалитет на воздухот поставен од EPA за заштита на јавното здравје:

- Озон на ниво на земја.
- Загадување со честички (исто така познато како честички, вклучувајќи PM2.5 и PM10).
- Јаглерод моноксид.
- Сулфур диоксид.
- Азот диоксид.

Табела 2-5. Индексот на квалитетот на воздухот (AQI). Нивои на здравствена грижа, нумерички вредности и значења

Air Quality Index Levels of Health Concern	Numerical Value	Meaning
Good	0 to 50	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk
Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
Unhealthy	151 to 200	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy	201 to 300	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.
Hazardous	301 to 500	Health alert: everyone may experience more serious health effects

AQI е поделен на **шест** категории со кодирани бои, како што е прикажано во Табела 2-5, при што секоја категорија одговара на различно ниво на здравствена грижа. Кодирањето во боја ѝ овозможува на јавноста брзо да утврди дали квалитетот на воздухот достигнува нездрави нивоа во нивните заедници. Специфичните точки на прекин (**concentration breakpoints**) на концентрацијата за секое од шесте нивоа варираат во зависност од загадувачот.

За секој загадувач, AQI вредност од 100 генерално одговара на концентрацијата на амбиентален воздух еднаква на ниво на краткорочен NAAQS за заштита на јавното здравје. Вредностите на **AQI под 100** генерално се сметаат за задоволителни. Вредностите на **AQI над 100** се сметаат за нездрави за чувствителни групи на луѓе (види Табела 2-6), а нездрави за сите луѓе кога вредностите на AQI достигнуваат високи нивои.

Табела 2-6. Сензитивни групи на специфичен загадувач за AQI поголем од 100 (***Additional information available on the AirNow website***)

Загадувач	Популација која е во ризик
Јаглерод моноксид (CO)	Луѓе со срцеви заболувања
Азот диоксид (NO_2)	Луѓе со астма, деца и постари возрасни лица
Озон (O_3)	Луѓе со белодробни заболувања, деца и тинејџери, постари возрасни лица, луѓе кои се активни на отворено (вклучувајќи и работници на отворено), луѓе со одредени генетски варијанти и луѓе со ограничена исхрана за одредени хранливи материи.
Честички (PM2,5)	Луѓе со срцеви или белодробни заболувања, постари возрасни лица, деца и луѓе со низок социо-економски статус.
Честички (PM10)	
Сулфур диоксид (SO_2)	Луѓе со астма, деца и постари возрасни лица.

U.S. EPA ги пресметува вредностите на AQI врз основа на податоци за загаденоста на воздухот што се просечно проценети во текот на 1, 8 или 24 часа, во зависност од загадувачот (Табела 2-4). Причината за различни просечни времиња е тоа што различни загадувачи влијаат на човечкото тело на различни начини. На пример, **O_3** може да предизвика кашлање, болка или чешање на грлото, воспалени дишни патишта или отежнато дишење во рок од неколку часа

до еден ден по изложувањето. Од друга страна, **SO_2** може да предизвика отежнато дишење, wheezing и стегање во градите во рок од 5 минути. Варијацијата во поместувањето на симптомите се должи на специфичниот начин на кој телото реагира на изложеност.

AQI користи формула за претворање на просечните мерења (на пример, 24-часовен просек за **PM2,5**, 8-часовен просек за **O_3**) во соодветна вредност на AQI. За податоци во реално време, U.S. EPA разви метод за проценка на AQI од краткорочни проседи наречен **NowCast AQI** (NowCast AQI). **NowCast AQI** го покажува квалите-тот на воздухот за најактуелниот час што е достапен со користење на пресметка која вклучува податоци за повеќе минати часови. NowCast AQI користи **подолги проседи** за временски периоди на стабилен квалитет на воздухот и **пократки проседи** кога квалитетот на воздухот се менува брзо, како на пример за време на настан со шумски пожар. Достапни се и лесни за користење онлајн калкулатори кои им овозможуваат на корисниците или да ги пресметаат вредностите на AQI од измерените концентрации или обратно.

2.3 Мониторинг со користење сензори за воздух (Monitoring Using Air Sensors)

Мониторингот на квалитетот на воздухот, без разлика дали се користи единствен воздушен сензор или мрежа на сензори, бара планирање. Има многу чекори вклучени во планирање и реализирање студија (истражување) за следење на воздухот и овде се разгледува секој од тие чекори и вклучува информации, размислувања и совети за секој од нив. Фокус е даден на мониторинг проекти кои користат сензор(и) во неподвижна, надворешна средина. Дополнителни размислувања може да бидат важни ако се користат сензори во други апликации (на пример, мобилен мониторинг, лична изложеност, следење на воздухот во затворени простории).

Планирање студија за мониторинг (planning a monitoring study)

- **Прашање**. Определување на целта за мониторинг.
- **План**: развивање план за мониторинг вклучувајќи насоки за избор на сензор за поддршка на планот кој го мери целниот загадувач со општите карактеристики кои се потребни.

- **Поставување** (Setup). лоцирање локација(и) за следење, инсталирање сензор(и), дизајнирање сензорска мрежа(и) и планирање и спроведување на колокација за да се одреди како да се интерпретираат податоците од сензорот.
- **Собирање податоци.** прегледување на активностите за собирање податоци, заедничка контрола на квалитетот и проверки за уверување и како системот за управување со податоци може да ги поддржи овие задачи.
- **Оценување**. анализирање, толкување, комуницирање и дејствување според добиени резултати од следењето (мониторингот).

2.4 Планирање и спроведување на мониторинг на воздухот

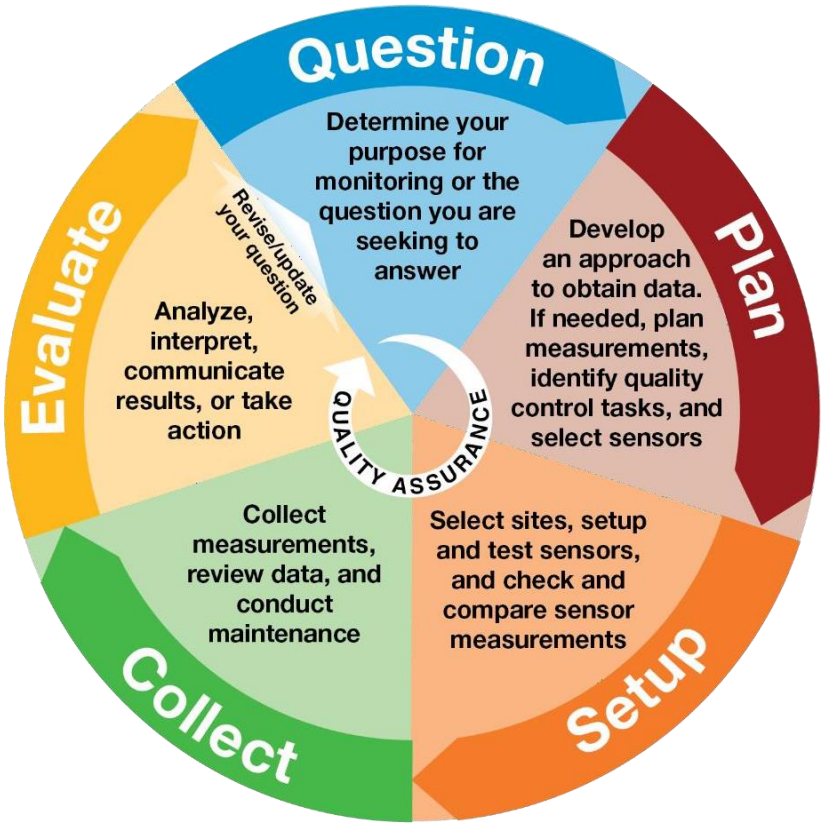
Следењето на воздухот со помош на сензори може да биде комплицирано и бара претходно планирање за да биде успешно. Ова планирање е критична компонента за обезбедување квалитет (QA - quality assurance) и е неопходно за обезбедување на корисни и висококвалитетни податоци. Чекорите и активностите за планирање им овозможуваат на корисниците да собираат квалитетни податоци, да градат доверба во податоците и да им дозволат на другите да ги користат податоците, како што е применливо.

Како што е прикажано на слика 3-1, постојат **пет клучни чекори** во планирање за следење на воздухот. Ова однапред планирање ќе заштеди време и пари и ќе осигури дека се собираат корисни мерни податоци или дека целта на собирањето податоци е исполнета. Количината на времето поминато на секој чекор на Слика 3-1 зависи од нашата цел. Ако користиме единствен сензор за воздух за да бараме знаење за образовни цели, може брзо да се избере, распореди и ракува со нашиот сензор. Покомплексен проект бара трошење време на секој чекор.

Дали сите проекти со сензори за воздух треба да ги следат петте чекори во тркалото за планирање (Слика 3-1)?

Не. Иако повеќето проекти со сензори ќе имаат корист од следење на петте чекори во тркалото за планирање, има некои ситуации кога податоците од

сензорот се користат само за едукативни или информативни цели. На пример, можеби ќе нé интересира да користиме сензор за да разбереме **кога квалитетот на воздухот е подобар или полош во нашата населба**. Можеби не е потребна точна концентрација на определен загадувач. Овој тип на случај не бара толку многу планирање.



Слика 3-1. Пет чекори се препорачуваат за планирање проекти за следење на воздухот со помош на воздушни сензори

Препорачани чекори за следење го вклучуваат следново:

1. Прашање (**Question**). Од суштинско значење е да се одвои време за да се утврди и документира прашањето или прашањата на кои треба да одговори студијата за следење на воздухот пред да се развие план за собирање мерења. Едноставно прашање како што е: "**Дали концентрациите на озон** (**O_3**) **во мојата населба се повисоки попладне отколку наутро?**", може да ни помогне да започнеме.

2. Креирање план (**Plan**). Со поставеното прашање, треба да се развие детален план како да ги добиеме мерењата. Планот е основа за собирање квалитетни податоци и обезбедува патоказ со информации за персонал, избор и распоредување на сензори, обработка на податоци, валидација на податоци, задачи за контрола на квалитетот (QC - quality control) и многу повеќе.

3. Поставување (**Setup**). За да обезбедиме корисни резултати, треба да избереме локација(и) за следење за да ја измериме атмосферата или изворот на интерес со минимални пречки од околината (на пример, згради, дрвја). Добро поставената локација е клучна за добивање репрезентативни податоци за областа што се следи. Поставувањето често вклучува локација каде што сензорите може да се стават рамо до рамо со референтен инструмент, исто така познат како колокација, за собирање податоци корисни за проверка на работата на сензорот и за развивање равенки за корекција на податоците.

4. Собирање податоци (**Collect**). Со јасно дефиниран план за мерење и правилно лоцирани сензори, треба да се започне со собирање податоци. Мерењето на квалитетот на воздухот не е лесно иако само се вклучува сензор и се собираат мерења. Периодично проверување на сензорите во текот на проектот е важно за да бидеме сигурни дека тие функционираат правилно и собираат квалитетни податоци.

5. Оценување (**Evaluate**). Пристапот за анализа и презентирање на податоците е од клучно значење за успешно комуницирање со резултатите и, на крајот, за постигнување на нашите цел (и) за собирање податоци за квалитетот на воздухот.

Може да откриеме дека за време или по евалуација на нашите податоци, остануваат некои неодговорени прашања. Како што е прикажано на Слика 3-1, можеби ќе треба да го ревидираме/ажурираме нашето прашање и соодветно да го прила-годиме нашиот план и активностите за следење. Обезбедување квалитет (QA – Quality Assurance) ги вклучува сите чекори што ги извршуваме за планирање и управување со проектот и за собирање, оценување и прегледување на податоци. Комплетирањето на овие чекори ја зголемува веројатноста за собирање веродостојни и корисни податоци.

2.5 Утврдување на цели за мониторинг

Неопходно е корисниците на сензори за воздух да поставуваат прашања и да обезбедат јасна цел за мониторинг пред да започнат со собирање податоци. Прашањето кои податоци можеби веќе постојат и зошто се потребни нови податоци за квалитетот на воздухот е важно пред да се купи сензор за воздух. Дефинирањето на прашањата на кои треба да се одговори ќе помогне да се идентификува:

- Кој загадувач е од интерес.
- Условите на терен со кои веројатно ќе се сретнеме.
- Период на собирање податоци.
- Вид на потребни мерења (на пример, **краткорочни** наспроти **долгорочни**, стационарни мерења) и саканиот квалитетот на овие мерења.

Сите овие карактеристики за собирање податоци ќе го одредат сензорот за воздух кој најдобро одговара за нашата намена.

Како што ја разгледуваме нашата цел за мониторирање, треба да размислиме и што ќе правиме со собраните податоци и информации. Дали има конкретни луѓе, групи, организации или компании со кои ќе ги споделимте нашите наоди? Дали има акции за кои се надеваме дека ќе информираме и инспирираме други луѓе? Кои се некои од тие потенцијални акции? Овие намери може да го обликуваат нашето прашање, да ни помогнат да регрутираме членови на тимот и да ги информираме за нашите потреби за квалитет на податоците. Не треба да чекаме додека не ги собереме податоците за да одредиме како ќе ги користиме!

Постојат многу цели за следење со сензори за воздух, вклучувајќи, но не огра-ничувајќи се на:

- Општиот интерес за квалитет на воздухот.
- Образование и партиципативно научно ангажирање.
- Идентификување на загрижувачки загадувач на воздухот (на пример, идентификување на жариште).
- Дополнување на референтни инструменти.
- Спроведување на истражување.

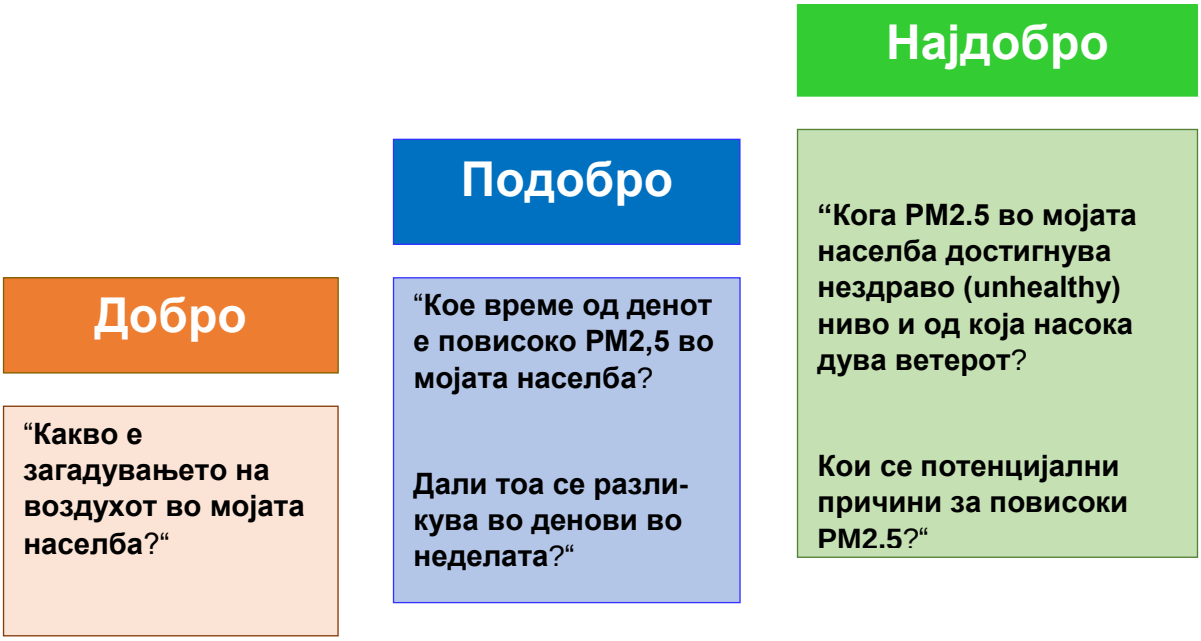
Треба да се идентификува прашање што дефинира зошто може да биде потребно следење на загадувањето на воздухот:

- Која е мојата загриженост или сомневање за квалитетот на воздухот?
- Што веќе знам за грижата за квалитетот на воздухот (да бидам што е можно поконкретен за тоа кога, каде и што)?
- Што не е познато за ситуацијата што сакам да ја разберам?
- Што мислам дека можеби ја предизвикало ситуацијата? Кои се другите можни причини?
- Кои се моите посакувани резултати за мониторинг?
- Каде се најблиските референтни инструменти и кои загадувачи ги мерат тие инструменти?
- Дали загадувачите измерени со најблиските референтни инструменти ги одразуваат изворите што предизвикуваат загриженост (Табела 2-1)?

Развивање на добро прашање е процес на добро дефиниран пат до постигнување на сакана цел за следење. Некои корисници може да започнат со љубопитност или загриженост, претчувство или сомневање за квалитетот на воздухот, како и идеи за исходот(ите). Добро прашање ги има следниве карактеристики:

- Се стреми да разбере.
- Се адресира на загриженост или сомнеж.
- Може да се одговори со користење на достапни ресурси (пример: време, буџет, вештини).

Можеби ќе треба да го измениме почетното прашање за да го направиме што е можно поконкретно и подетално, како што е прикажано на Слика 3-2. Можеби ќе бидат потребни неколку обиди за да се развие прашање што ги има овие карактеристики. Оваа однапред работа помага да се осигура дека проектот ќе го постигне посакуваниот исход.



Слика 3-2. Пример за додавање детали на основното прашање или цел

2.6 Развивање на план

Планот треба да вклучува:

- детали за загадувач (и).
- параметри на животната средина [на пример, **температура** (T), **релативна влажност** (RH), **брзина на ветер**, насока на ветер] што треба да се следат.
- каде ќе се собираат податоците.
- како ќе се спроведе собирање на податоци.

Без разлика дали ќе се монтира еден сензор на куќа за следење на загадувачи на воздухот или ќе се користи мрежа од сензори за воздух за да се процени квалитетот на воздухот во заедницата (на пример, населба, град, регион), деталниот план ќе помогне да се осигура дека сите задачи се завршени и сите сензори и придружни инструменти собираат корисни податоци за избраната апликација.

Креирањето план е вреден процес кој може да помогне да се минимизираат компликациите подоцна. Развивањето на специфичен план за следење, исто

така, ќе им овозможи на корисниците на сензор за воздух да го споделат дизајнот на проектот со други пред да инвестираат време и пари. Плановите може да се разликуваат по сложеност, колку што е потребно за проект и наменска употреба на податоците. Доколку е можно, корисниците на сензори за воздух треба да го споделат својот план со експерт(и) (на пример, локална агенција за следење на воздухот, универзитетски професор, консултант за животна средина) кој е подготвен да даде идеи и конструктивен фидбек. Корисниците на воздушен сензор исто така треба да размислат да го споделат својот план со публиката за која се наменети резултатите. Планот може да им помогне на корисниците на сензори за воздух да ги идентификуваат потенцијалните проблеми во рана фаза. Ваквиот напор е исплатлив бидејќи е веројатно дека на крајните корисници ќе им треба дел или сите оваа информација за да одговорат на прашања за мерењата при презентирање на резултатите.

Што е проектен план за обезбедување квалитет (**QAPP** - Quality Assurance Project Plan)?

QAPP е пишан документ кој објаснува како организациите обезбедуваат, користат активности за обезбедување квалитет (**QA** - quality assurance) и контрола на квалитетот (**QC** - quality control), дека собраните податоци можат да се користат за нивната намена. QAPP дава поголема доверба дека собраните податоци ќе ги исполнат целите на проектот и ќе им помогнат на другите да го разберат квалитетот на податоците.

Како што е прикажано во **Табела 3-1**, планот може да вклучува многу теми кои ги опфаќаат сите чекори за следење на воздухот. Ако се распореди еден сензор, планот едноставно може да нé води да ги разгледаме темите во табелата. Сепак, неопходен е детален план за пообемни мрежи со сензори за воздух, кои обично вклучуваат повеќе луѓе, организации и ресурси. Во овој случај, планот станува критична алатка за успех.

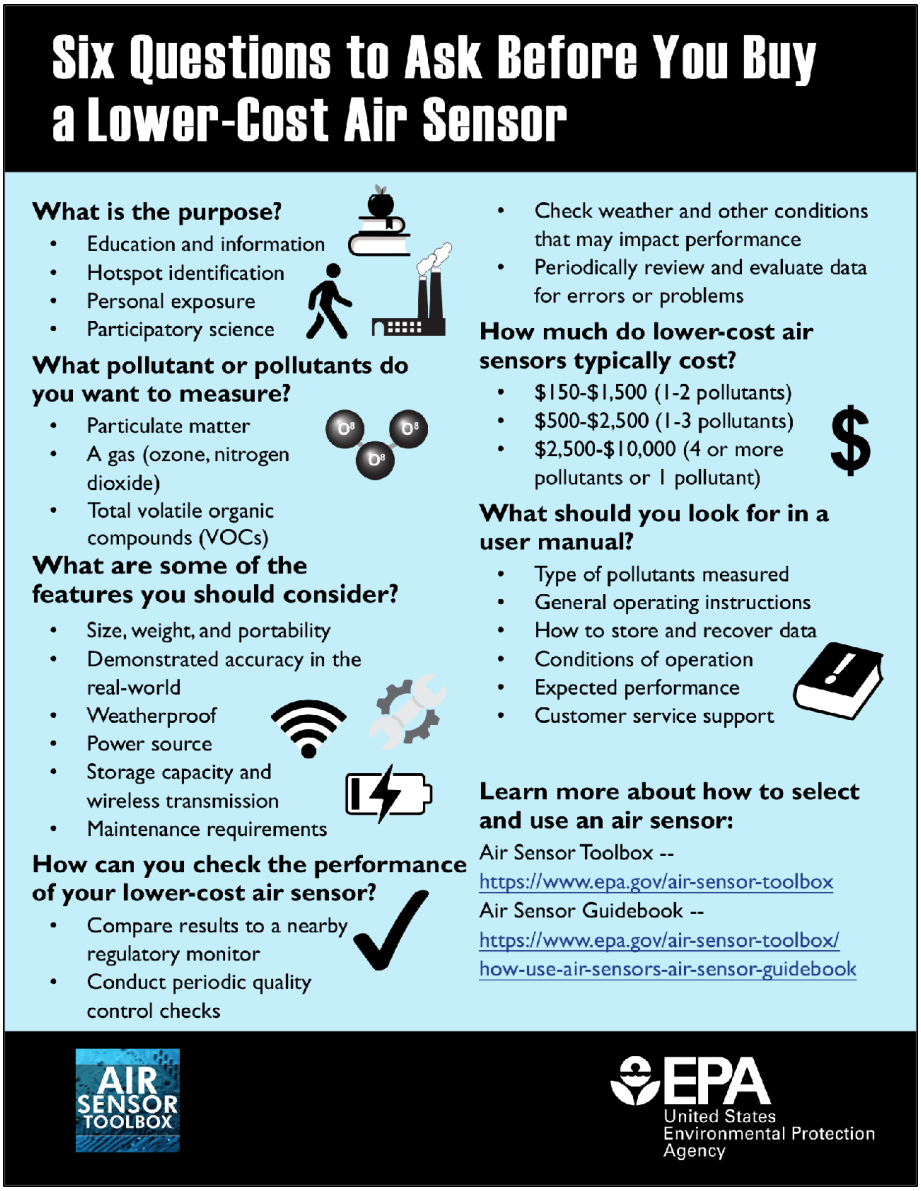
Табела 3-1. Заеднички теми и информации вклучени во план за мониторинг на воздух.

Тема	Информации за вклучување
Цел и организациски теми	
Цел за правење мониторинг	Да се наведе специфична тема/проблем за животна средина што треба да се истражува, одлука што треба да се донесе или исход што треба да се постигне со помош на податоци добиени од сензорот.
Организација на проект/задача	Да се одредат улогите и одговорностите на сите клучни играчи во проектот
Ангажирање на локални партнери	Да се побара увид од државни/локални/ агенции за квалитет на воздух или здравствени агенции, универзитети, истражувачки организации или други. Да се вклучат рано и да се разговара со нив за проектот и за посакуваните резултати.
Опис на проект/задача	Да се сумира работата, целите, распоредот (временска рамка) и очекуваните исходи.
Цели и критериуми за квалитет на податоците	Да се дефинира: 1) Зошто се потребни податоци? 2) Дали овие податоци веќе постојат? 3) Кои мерења се потребни и што треба да претставуваат? 4) Дали е потребно одредено ниво на точност?
Планирање за вонредни ситуации	Да се определат резервни планови ако нешто се промени во текот на проектот (на пример, Што ќе се случи ако персоналот си замине? Како да се справиме со сензорите што не се добри? Што се случува ако опремата биде вандализирана?). Да се биде подготвен за различни потенцијални исходи и да се планираат планови за решавање проблеми.
Обука и искуство	Да се идентификуваат сите барања за обука и/или сертификација (на пример, работа со сензор, курсеви за програмирање преку Coursera).
Документација и евиденција	Да се определи како ќе се документираат активностите за следење на воздухот. Ова може да вклучува стандардни оперативни процедури (SOPs - standard operating procedures), формулари за обезбедување квалитет/контрола на квалитет (QA/QC), дневници на локацијата итн.
Поставување теми	
Методи на мерење	Да се опише опремата и методите на мерење што се користат во мрежата за следење.
Поставување критериуми	Да се разговара за критериуми за поставување сензори за воздух, земајќи ја предвид безбедноста на локацијата.
Локации кои ќе се мониторираат	Да се разговара за избраната локација или локациите за следење (за мрежа) и да се даде образложение.
Тестирање и инспекција на инструмент/опрема	Да идентификува и опише како ќе се изберат сензорите за воздух и ќе се тестираат за да се одреди дали работат правилно.

Калибрација и/или корекција на инструмент/опрема	Да се одредат локации за колокација и да се воспостават методи за калибрација и/или колокација и корекција на податоците.
Други податоци кои се потребни	Да се идентификуваат типови на податоци кои потекнуваат од други извори кои можат да се користат во анализата. Овие податоци може да вклучуваат податоци за референтен мониторинг во близина на сообраќај.
Збирка теми	
Одржување и операции	Да се наведат методите или процедурите што ќе се користат за одржување и ракување со сензорите за воздух, вклучувајќи посети на локација, рутинско одржување, одржување во итни случаи, дневни прегледи на податоци, периодична колокација итн.
Контрола на квалитет	Да се опишат типови на извршени проверки на квалитет на податоци.
Обработка на податоци и пристап	Да се разбере како податоците се обработуваат, складираат и прилагодуваат. Да се одлучи како ќе се пристапува до податоците и кој ќе ги поседува податоците.
Методи за верификација и валидација	Да се опишат методите или процедурите што ќе се користат за проверка и валидација на податоците за време на периодот на собирање.
Управување со податоци	Да се определи како ќе се управуваат податоците за следење на воздухот, следејќи ја патеката на генерирање податоци на терен до конечна употреба на податоците и крајното складирање.
Теми за евалуација	
Методи за анализа на податоци и визуелизација	Да се опишат методите или чекорите што се користат за одговор на прашања (на пример, потреби за обработка на податоци, потреби за софтвер за визуелизација).
Споредување на резултатите со оригиналните цели	Да се опише како резултатите добиени од овој проект ќе се усогласат со цел(ите) за квалитетот на податоците на проектот.
Евалуација, комуникација и акција	Да се опише како ќе се користат резултатите од проектот за следење на воздухот.

2.7 Избор на сензор за воздух

Пред да се купи сензор за воздух, оценувањето на специфични критериуми ќе ни помогне да ги усогласиме сензорите за воздух со нашата апликација од интерес и целта за собирање податоци. Слика 3-3 дава преглед на **шест важни прашања што треба да се постават пред да се купи сензор за воздух**.



Слика 3-3. Прашања што треба да се разгледаат пред да се купи сензор за воздух

Која е целта?

- Едукација и информирање.
- Идентификација на жариште.
- Лична изложеност.
- Партиципативна наука.

Кој загадувач или загадувачи сакате да ги измериме?

- Честички.

- Гас (озон, азот диоксид).
- Вкупни испарливи органски соединенија (VOCs).

Кои се некои од карактеристиките што треба да ги земеме во предвид?

- Големина, тежина и преносливост.
- Демонстрирана точност во реалност.
- Водоотпорен.
- Извор на енергија.
- Капацитет за складирање и безжичен пренос.
- Барања за одржување.

Како можеме да ги провериме перформансите на нашиот ефтин сензор за воздух?

- Да се споредат резултатите со близок регулаторен монитор.
- Да се споредат периодични контроли на квалитетот.
- Да се провери носителот и други услови кои можат да влијаат на перформансите.
- Периодично да се прегледуваат и проценуваат податоците за грешки или проблеми.

Колку обично чинат евтини сензори за воздух?

- 150 – 1.500 $ (1-2 загадувачи).
- 500 – 2.500 $ (1-3 загадувачи).
- 2.500 – 10.000 $ (1-4 загадувачи).

Што треба да бараме во упатството за користење?

- Вид на загадувачи кои се мерат.
- Општи упатства за работа.
- Како да складираме и обновиме подато.
- Услови за работа.
- Очекувани перформанси.

- Поддршка за услуги на потрошувачите.

2.7.1 Целни загадувачи и перформанси на сензорот

Избор на целен загадувач (Selecting a target pollutant). Целниот загадувач(и) што треба да се мери со сензор ќе зависи од поставеното прашање и целта за следење. Табелите 2-1 и 2-2, ги идентификуваат заеднички извори и здравствени ефекти на различни загадувачи. Важно е да се има предвид дека цената на сензорот може да зависи од типот и бројот на избраните загадувачи. За секој целен загадувач, да се разгледаат и други фактори (на пример, граница за откривање, опсег на мерење, точност) за да се одреди дали сензорот ќе ги задоволи нашите потреби за мониторинг.

Како работат сензорите за воздух?

Дизајнот и перформансите на сензорите се активна област на истражување и иновации. Со текот на времето може да се воведат нови методи.

PM (PM10, PM2.5) сензори: Во моментов, PM обично се мери со помош на оптички пристап каде што светлина распрскана од честичка(и) се користи за да се процени концентрацијата на масата на честичките. Количината на расфрлана светлина може да варира поради големината, обликот и хемискиот состав на честичките. Овој метод може да открие само тесен опсег на големини на честички. Со текот на времето, честичките може да се насоберат во сензорот што предизвикува промени во перформансите. Животот варира, но често е помеѓу 1 и 4 години. **PM** сензорите обично се корисни за надворешни, внатрешни и апликации за следење на чад. Во моментов, многу сензори нема за детектирање PM10 или прашина.

Сензори за гас (O_3, NO_2, CO, SO_2): Во моментов, повеќето гасни загадувачи се мерат со помош на електрохемиски (EC - electrochemical) или сензори за метални оксиди (MOSs - metal oxide sensors). Тие можат да реагираат на целниот загадувач, промени во T или RH или други интерферентни гасови. Сензорите може да ја изгубат чувствителноста со текот на времето, без разлика дали се користат или не и треба да се комбинираат барем сезонски. Животниот век може да биде помеѓу 6 месеци и 2 години. Мерењата при ниски концентрации

често се тешки и најуспешната примена за некои сензори може да биде во близина на извори.

Вкупни VOC (tVOC) сензори: Во моментов, повеќето tVOC сензори се MOS или сензори за детектор за фотојонизација (PID - photoionization detector). Тие откриваат широк спектар на VOCs, но не ги мерат сите VOCs и повеќе реагираат на некои соединенија од други. Затоа, пријавената концентрација не може да се припише на специфично соединение или дури и на збир од неколку соединенија. Сензорите може да реагираат и на промени во T, RH, и на други интерферентни гасови.

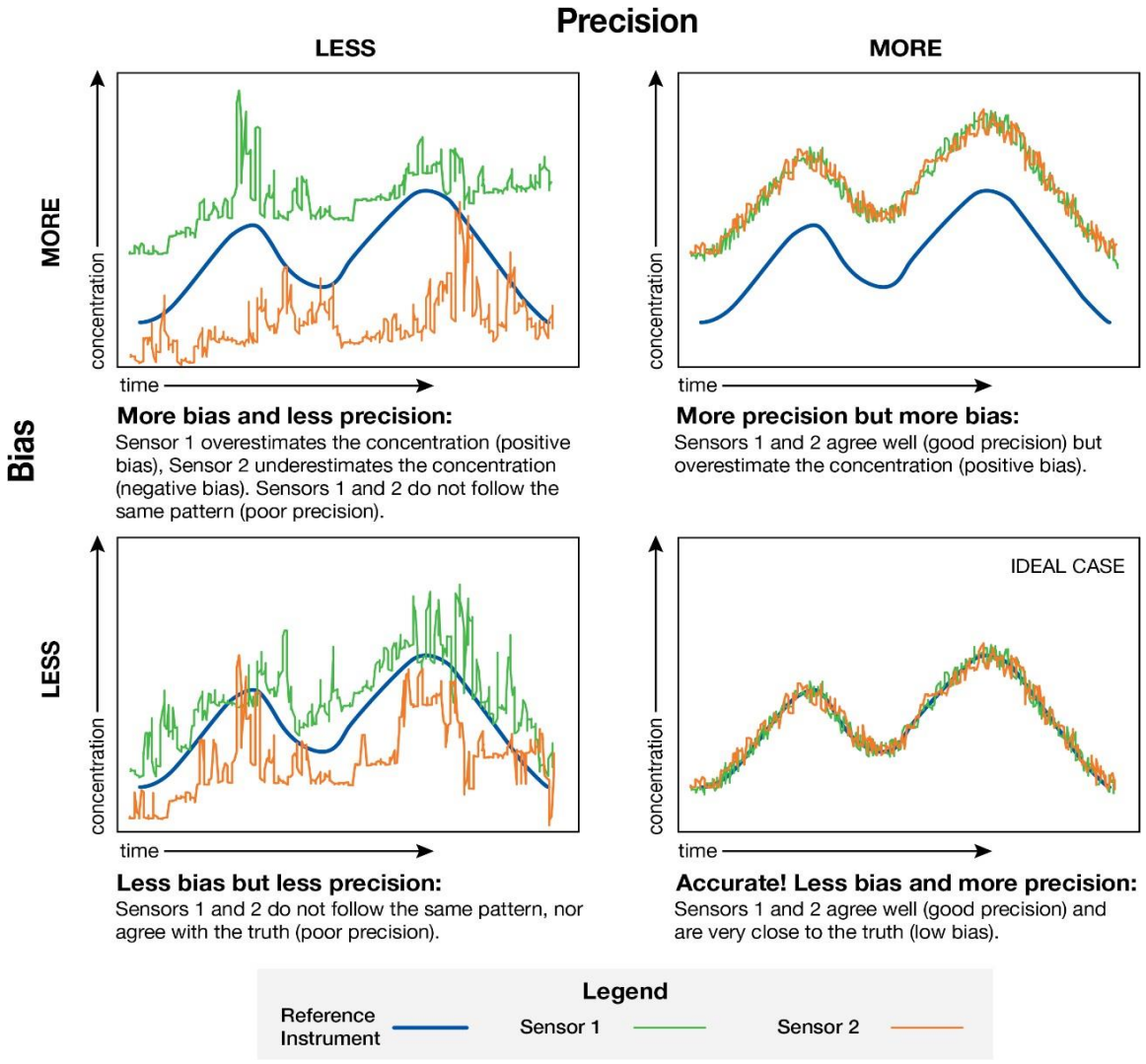
Животниот век може да биде од месеци до една година за PID сензорите и подолг за MOS.

Мерен опсег и ограничување на откривање. Загадувачи во воздухот често може да бидат присутни при многу ниски или многу високи концентрации во амбиенталниот воздух. Опсегот на мерење се однесува на најниски и највисоки концентрации на загадувачи што може да ги измери уредот. Сензорот ќе биде најкорисен кога го мери целниот загадувач во целиот опсег на концентрации кои вообичаено се наоѓаат во атмосферата (Табела 2-1, “Очекуван опсег“ за секој загадувач). Во зависност од близината на изворот на загадување, суштинска е способноста на сензорот да мери или многу ниски или многу високи концентрации. Граница за откривање е најниска концентрација на загадувач што уредот може рутински да ја открие. Важно е да се знаат спецификациите на производителот за ограничувањето за откривање за да се осигурамте дека сензорот за воздух може да мери пониски концентрации кои обично се наоѓаат во САД.

Точност на сензорот (Sensor accuracy).

Точноста ја опишува измерената вредност помеѓу мерење на концентрација на загадувач на сензор и концентрација измерена со референен инструмент. Точност на сензорот се одредува со две компоненти: **прецизност** и **пристрасност**. Прецизноста се однесува на тоа колку добро збир на сензори го репродуцира мерењето на загадувач под идентични услови (на пример, иста концентрација и температура). Пристрасноста се однесува на грешка при мерењето. На пример, сензорот секогаш може да мери малку повисока или

пониска од вистинската концентрација. Слика 3-4 покажува примери на парцели кои илустрираат точност, прецизност и пристрасност. Пред да купат сензор, купувачите треба да ја проценат прецизноста и пристрасноста на сензорот за воздух користејќи ги **спецификациите на производителот**, **извештаи за евалуација** и **објавена литература**. Исто така, корисниците треба да вршат проверки на прецизноста и пристрасноста за да ја квалификуваат точноста на сензорот за воздух.

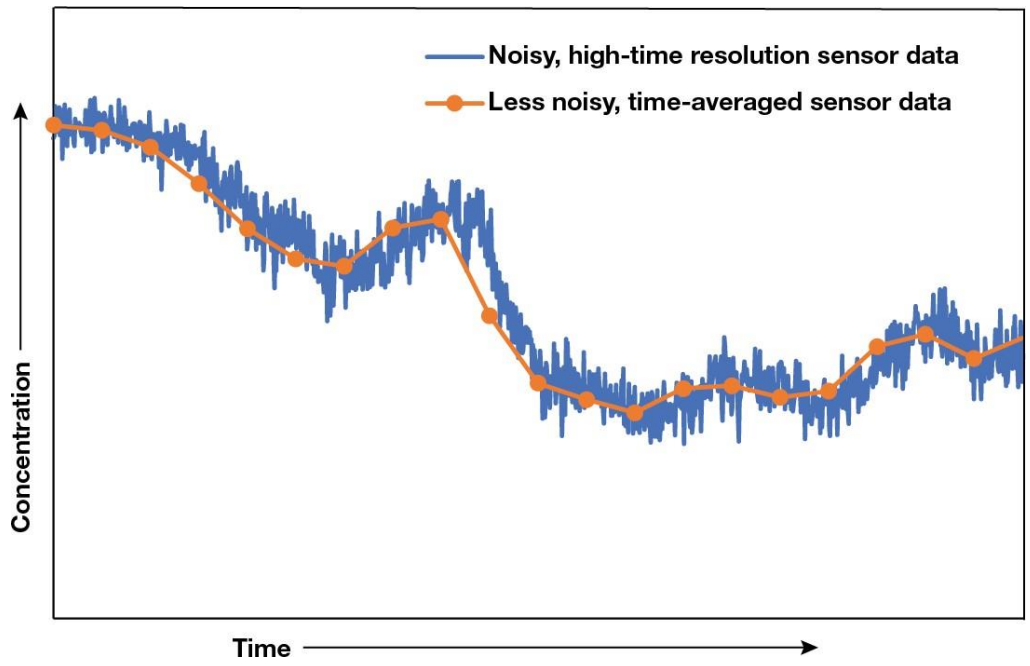


Слика 3-4. Илустрација на пристрасност, точност и прецизност на сензор за воздух

Корисниците треба да бидат свесни дека точноста, прецизноста и пристрасноста на сензорот може да се менуваат со текот на времето. На пример, изложеноста на топли температури или влажен воздух може да доведе до постепено зголемување на пристрасноста на сензорот. Сензорите за **озон** (**O_3**), особено, мо-

жат да станат помалку чувствителни со текот на времето (долг рок на користење) или поради флуктуации во температура и влажноста. Пристрасноста на сензорот за честички (PM) може да се промени ако се промени изворот на загадувач, типот на честички или големината на честичките. Сензорот исто така може да доживее пречки од други загадувачи во атмосферата, што ќе доведе до неточни мерења на концентрацијата. Некои производители на сензори обезбедуваат датум на истекување, по кој мерењата на сензорот веќе нема да бидат точни.

Податоците од сензорот за воздух се нарекуваат "**со шум**" ("noisy") кога податоците флуктуираат од една до друга вредност. Бучава во податоците може да биде



Слика 3-5. Пример за измерени податоци со бука (шум)

предизвикана од повеќе фактори, вклучувајќи електрични пречки, прецизност на сензорот, брзи временски промени и просечен период. За да се намали бучавата, податоците од сензорот за воздух често се креираат просечни во подолги временски периоди за полесно да се видат трендовите во податоците. На пример, 1-минутни податоци на **PM2.5** можат брзо да осцилираат од една минута во друга. Од овие точки на податоци од 1 минута се креира просек од 1 час (60 минути) кој ќе го намали шумот во податоците. Слика 3-5 покажува пример за бучни наспроти помалку бучни податоци.

Општи карактеристики на Сензор

Издржливост (Durability). Сензорите се разликуваат по големина, форма, издржливост и квалитет на градба. Издржливоста се однесува на способноста на сензорот за воздух да се испраќа, преместува, да издржи абење и да продолжи да работи. На пример, сензорите често се фрлаат наоколу за време на испораката и некои компоненти или делови може да се отстранат внатре, предизвикувајќи, од проблеми со комуникацијата или евиденција на податоци до целосно уништување. Сензори што ги носи корисникот или се распоредени за мобилно следење на возила може да се затресат, да се удрат од други предмети или да паднат и мора да бидат дизајнирани да се справуваат со овие удари. Сите сензори кои го мерат квалитетот на надворешниот воздух веројатно ќе бидат изложени на променливи временски услови како што се ветер, топлина, студ, влага и прашина и треба да бидат изградени за да се справуваат со оваа изложеност. Упатството за употреба или листот со спецификации на производителот треба да обезбеди детали за општата издржливост на сензорот.

Куќиште (Enclosure). Куќиште е заштитна рамка или структура што го содржи сензорот и неговите компоненти и ги штити компонентите од вода, светлина, температурни варијации (на пример, со додавање грејачи или вентилатори за ладење) и електромагнетен шум. Куќиштето на сензорот мора да дозволи воздухот да допре до компонентите на сензорот додека ги штити компонентите од временски влијанија. Материјалите, дизајнот на куќиштето и ориентацијата на сензорот (на пример, локација на влез на воздух, патека на протокот на воздух) може да влијаат на измерените нивои на концентрација на загадувачи и времето на одговор. На пример, одредени видови пластика и облоги може да реагираат со загадувачот од интерес или да го испуштат загадувачот, попречувајќи ги мерењата на сензорот за воздух. Дополнително, куќиштето може да влијае на внатрешните T (температура) или RH (влажност), што потенцијално ќе влијае и на мерењата на сензорот за воздух. Сензори кои се изложени на амбиентални услови подолг временски период може да доживеат акумулација на прашина, нечистотија, мраз/снег и други остатоци во близина на влезот на сензорот. Ова може да ја промени точноста и пристрасноста на сензорот, а корисниците треба да се погрижат влезот на сензорот да остане без пречки.

Лесен за користење (**Ease-of-use**). Широк спектар на луѓе со различни нивои на искуство може да користат сензор за воздух и важно е да се разбере колку е лесно или тешко да се ракува со сензор. Сите, особено помалку искусни корисници, ги ценат сензорите што се полесни за користење.

Напојување (**Power**). Барањата за енергија се разликуваат кај сензорите и вклучуваат приклучок, батерија или соларна енергија. Изборот на опции за напојување ќе зависи од апликацијата на корисникот. Некои сензори може да ја променат нивната фреквенција на земање примероци во зависност од видот на напојувањето што се користи. Ова може да резултира некои сензори да евидентираат податоци во подолги интервали кога се конфигурирани за работа на батерии или соларна енергија. Уреди со приклучување на извор на енергија се најпогодни за стационарни апликации за следење со пристап до ѕиден штекер. Сепак, корисниците треба да обезбедат дека напојувањето е достапно и лесно на местото на инсталација. Уреди на батерии често се погодни за мобилни апликации или краткорочни активности за собирање податоци, иако корисниците треба да бидат свесни за тоа колку долго трае батеријата по полнење и во кој момент полнењето е премногу ниско за целосно да управува со сензорот. За уреди со соларна енергија, корисниците треба да се консултираат со производителот за да обезбедат соодветна големина на соларни компоненти за уредот и достапна сончева светлина на локацијата за следење (на пример, географска ширина, должина, сезона) и информации за правилно поставување, ориентација и одржување. Ако треба да се дизајнира сопствена соларна опција, може да бидат достапни некои комерцијални соларни комплети кои содржат соларни панели и батерии. Треба да се има на ум дека решението за соларна енергија може да чини скапо.

Екран за прикажување (**Display**). Некои сензори не вклучуваат приказ на податоци и бараат од корисниците да посетат веб-локација или наместо тоа да користат апликација за прегледување податоци. Други имаат екран или дисплеј што им овозможува на корисниците да гледаат информации од сензорот, податоци во реално време и/или да гледаат историски податоци. Некои сензори вклучуваат светла што укажуваат на напојување или може да ја менуваат бојата во зависност од концентрацијата на загадувачот и овие светла може да се спарат

со екран за податоци или да бидат единствена форма на приказ. Треба да се процени дали екран е неопходен за нашиот проект.

Пренос на податоци (Data transmission). Достапни се неколку опции за пренос на податоци. Опциите варираат од сензор до сензор и вклучуваат, но не се ограничени на, мобилна, WiFi, Bluetooth, сателитска и ниско-енергетска мрежа со широка површина (LoRa - low-power wide-area network). Некои сензори складираат податоци во самиот уред (на пример, локално складирање во процесорот на уредот, мемориска картичка) и податоците мора да се префрлаат рачно. При изборот на сензори, корисниците треба да ја разгледаат нивната апликација и дали методите за пренос на податоци на сензорот ќе одговараат на нивните потреби, ограничувања на трошоци (на пример, трошоците за претплата поврзани со мобилни услуги) и дали ќе работат на нивната посакувана локација за следење.

Пристап до податоци (**Data access**). Постојат различни опции за складирање податоци што може да влијаат на опциите за пристап до податоци. Сензори со вградено складирање податоци бараат преземање физички податоци. Други сензори ги пренесуваат податоците до централни сервери и до податоците може да се пристапи со далечинско преземање или повик од интерфејс за програмирање на апликации (API - Application Programming Interface). Корисниците треба да размислат како може да се пристапи до податоците, кој има дозвола за пристап, кој има права на сопственост на податоците и колку долго податоците ќе бидат достапни. Откако ќе може да се пристапи до податоците, корисниците ќе треба целосно да го разберат форматот на податоците, анализата на податоците и опциите за визуелизација. За уреди што споделуваат информации со јавноста, внимателно треба да се разгледа кои информации се прикажани бидејќи може да има проблеми со приватноста (на пример, споделување одредена адреса).

Ракување со податоци (**Data handling**). Конверзија на информации од сиров сензорски сигнал до конечна пријавена концентрација на загадувач се случува на различни начини, но често вклучува некаква математичка равенка или модел. Овие методи може да зависат само од податоците собрани со сензорот или може да вклучуваат други податоци (на пример, метеоролошка станица во близина). Корисниците треба да побараат од производителите да опишат **како се**

обработуваат податоците и која било друга зависност на податоци за да разберат дали тие податоци ќе бидат достапни во нивната област на проучување. Производителите на сензори може да изберат да ги објават нивните методи за ракување со податоци или да ги задржат сопственички.

Цена на чинење (**Cost**). Цената на сензорот може многу да варира во зависност од измерениот загадувач и степенот на потребна точност и чувствителност. Дури и за сензори кои го мерат истиот загадувач, трошоците може да варираат во зависност од карактеристиките на уредот. Некои производители на сензори нудат различни опции за купување, вклучувајќи купување, или изнајмување. Корисниците треба да бидат свесни дека има однапред трошоци (на пример, купување на сензор и компоненти за сензор) и долгорочни трошоци кои можат да вклучуваат, но не се ограничени на, поправка или замена на сензорот и нивните компоненти, услуги за калибрација, трошоци за пренос на податоци (на пример, мобилна услуга) или такси за хостирање и складирање податоци (на пример, складирање во облак на сервер на производителот или друг сервер). Дополнително, други потенцијални трошоци (или време) може да вклучуваат анализа на податоци, толкување и комуникација на податоци од сензорот за воздух. Се разбира, трошоците се зголемуваат доколку се потребни повеќе сензори (на пример, сензорски мрежи).

2.8 Одредување локација за сензор за воздух

Наоѓањето локации за поставување сензори за воздух, без разлика дали е единствен воздушен сензор или мрежа од сензори (и други инструменти), е критична задача. Наоѓањето соодветни локации им овозможува на сензорите за воздух да собираат корисни податоци што ги претставуваат околните услови, осигурува дека сензорот има напојување (и пристап до интернет, доколку е потребно), обезбедува безбедност за сензорот, овозможува лесен пристап за одржување и додава кредибилитет на податоците.

Целиот овој процес, вклучително и оценување на логистика за пристап до локацијата и безбедност, може да одземе многу време, па корисниците треба да почнат рано да пронаоѓаат соодветни локации.

Совет: Процесот на лоцирање места за воздушни сензори треба да започне што е можно порано. Одредувањето локации за сензори за воздух одзема многу време со многу логистика. Најдобро е да се започне рано за да се најдат добри локации. Едноставен флаер за проектот и детали за сензорот (на пример, моќност, големина, тежина, потреби за пристап) може да помогне да се комуницира со сопствениците на потенцијални локации во домови и деловни субјекти.

Пример за тоа како би избрале локации за мониторинг врз основа на наша цел за следење

Нека нашето истражувачко прашање е: “**Кои се типични концентрации на че-стички во мојот град**? **Каде има највисоки концентрации**?

Еве неколку потенцијални локации за следење врз основа на прашањето за истражувањето:

- Каде луѓето живеат/работат?
- Во близина на локации каде што се собираат многу луѓе.
- Близу подложни и чувствителни популации (на пример, училишта, болници).
- Помеѓу празнини во постоечка регулаторна мрежа за мониторинг.
- Позадинска локација (на пример, област која не е засегната од сомнителен извор на загадување).
- Близу вистинска (или очекувана) максимална концентрација.
- На места или во близина на извор(и) на емисии.
- Нагоре/надолу на ветрот на изворите на загрижувачки емисии.
- До локација со референтни монитори за активности за колокација/корекција.

2.8.1 Инсталирање сензори за воздух (Air Sensors)

Корисници треба внимателно да постават сензор или инструмент на локација каде што може сигурно и безбедно да го мерат амбиенталниот воздух или изворот на загадување кој е од интерес, со минимални пречки од опкружувањето на избраната локација. Добро поставен сензор дава податоци што се репрезентативни за квалитетот на воздухот во областа што се следи.

Концентрациите на загадувањето на воздухот може значително да бидат засегнати од локални извори (на пример, противпожарна јама, скара), згради и објекти, меѓу други фактори. Овие фактори може да варираат врз основа на целниот загадувач или целта за следење и корисниците треба да ги земат предвид потенцијалните ефекти од овие фактори при изборот на локација за мониторинг. Податоците ќе бидат најкорисни ако сензорот може да го измери загадувачот од интерес со мало влијание од други извори на локацијата.

Клучни размислувања при поставување на сензор за воздух на одредена лока-ција:

- **Општи локации**. Со оглед на целта на мерењата, каде треба да се наоѓа локацијата?
- **Безбедност**. Да се осигура се дека сензорот е безбеден и заштитен од вандализам или кражба и дека операторите на локацијата можат да останат безбедни.
- **Пристап**. Да се определат потребни услови (дозволи, клучеви, итн.) за посета на локацијата за инсталирање/сервисирање на сензорите.
- **Поставување**. Општо земено, сензорот треба да се постави најмалку 6 стапки над нивото на земјата, покривот или други предмети и подалеку од пречки, вегетација или извори на емисија што би го попречиле мерењето.
- **Напојување**. Да се утврдат барањата и рано да се воспостави извор за напојување.
- **Фотографии**. Да се фотографира инсталацијата на сензорот и областа околу локацијата.
- **Комуникација**. Да се обезбеди сигурна комуникација (мобилна, Wi-Fi, итн.) пред инсталацијата.
- **Документација**. Да се обезбедат информации за локацијата, вклучувајќи географска ширина, должина, надморска височина, блиски прегради, датум на инсталација итн.

Локација. Пред да се постави сензор, корисно е да се земат во предвид целите за следење, бидејќи тие можат да влијаат на изборот на идеална локација. На пример, сензорот што ќе се користи за следење на **емисии од автобуси во**

мирување може да се постави на различна локација од онаа што се користи за проценка на локалниот индекс за квалитет на амбиенталниот воздух (**AQI** - air quality index).

Пристап. Иако се лесни за користење, сензорите за воздух генерално не се нешто што можеме да го "**поставиме и заборавиме**". Ќе сакаме да пристапиме до веб сајтот за да го инсталираме сензорот и периодично да го проверуваме. Некои корисници сметаат дека формалните договори за пристап се корисни за експлицитно дефинирање на овие услови.

Напојување. Сензорите за воздух можеби ќе треба да се приклучат на напојување, може да имаат соларни панели или може да ги нудат двете опции. Некои сензори кои нудат опции за напојување може да работат различно во зависност од тоа која опција се користи (на пример, фреквенцијата на објавување податоци може да се промени). Може да биде скапо и да одземе време да се испорача струја на локација што нема постоечката инфраструктура.

Достапните локациски места треба да се тестираат наместо да се претпоставува дека работат. Треба да се користи напојување заштитено од пренапони за да можат и други да го користат штекерот без да го исклучат нашиот сензор. Можеби ќе бидат потребни продолжни кабли за оптимална безбедност на поставувањето на сензорот (на пример, опасност при поместување, ризик од пожар). Водата и електричната енергија не се мешаат, затоа е потребна заштита од вода за сите приклучоци. Соларни панели можеби не се соодветни ако локацијата не добива доволно сонце и ќе треба периодично одржување за да се отстрани прашината. Областите во кои има исклучување на електричната енергија од јавна безбедност може да имаат корист од соларна енергија за да се спречат прекини на мониторингот.

Комуникација. Сензорите може да пренесуваат податоци до интерфејс базиран на облак користејќи различни технологии (на пример, мобилни, WiFi, LoRa). Некои сензори може да понудат само една опција, додека други сензори може да обезбедат повеќе опции. Потребни се комуникации со производителот за да се разберат специфичните барања како што се ограничувања на мрежата (на пример, 2G, 5G), ограничувања на оператор (на пример, Verizon, AT&T), покриеност на областа (САД и меѓународни) и потреби за јачина на сигналот. Ако се користи сопствена мобилна hotspot, можеби ќе се сака да се знае типичната

употреба на податоци за правилно да се проценат трошоците и дали сетирањето на сензорот може да се прилагоди за да се намали користењето на податоци.

Безбедност. Сензорите и нивната периферна опрема (како соларни панели) се предмет на манипулации и кражби. Може да помогне мал знак кој го опишува проектот и уредот. Корисниците сакаат да постават сензори на безбедни локации. Идеите вклучуваат монтирање на сензор на висина надвор од дофат на раце, на незабележливо место или зад заклучена порта или ограда. Кога се размислува за безбедни локации, треба да се има на ум дека на сензорите им треба слободен проток на воздух и да се земе предвид физичката безбедност кога се посетува областа или дури и додека се качуваме по скала или скалило за инсталација или одржување.

Поставување. Идеално е да се постават сензори во близина на типична висина на зона за дишење (3-6 стапки). Сензорите треба да се постават подалеку од извори на загадувачи (на пример, огнена јама, скара) или места за загадување (на пример, дрвја, бариера од грмушки) за да се добие порепрезентативна мерка за квалитет на воздухот во локална област. Сензорите исто така треба да бидат поставени за да се овозможи слободен проток на воздух до сензорот. Да се избегнува поставување сензори во близина на високонапонски далноводи, што може да создаде електронски пречки. Да се има предвид дека некои локации (на пример, на врв на згради) може да имаат специфични инженерски барања за да издржат ветер, итн.

Фотографии. Фотографии од распоредување на сензор може да ни помогнат во толкување на податоците подоцна. Треба да се фотографираат функции во близина кои можат да влијаат на читања на сензорот. На отворено, ова може да се блиски згради, патишта или пејзажи. Во затворен простор, ова може да се градежни карактеристики како што се прозорци, врати и отвори за издувни гасови. Фотографиите исто така треба да доловат типична употреба во област или просторија каде што се поставени сензорите. Потребно е да се има писмена или усна согласност кога се фотографира било кој во заедницата, особено деца.

Дополнителна документација. Дневник за распоредување може да ни помогне при снимање белешки за поставување на сензор (на пример, локација, висина, датум на инсталација) и одржување (на пример, чистење, замена на компоненти). Најлесно е да ги следиме или означиме овие информации со

доделување на ID на секој сензор (на пример, сериски број, име на корисник). Можеби ќе сакате да снимите повеќе информации за тоа како се користи областа.

2.9 Специфики за дизајнирање мрежа на Air Sensors (сензори за воздух)

Мрежа со сензори за воздух (air sensor network) е составена од два или повеќе сензори поставени на неколку различни локации во една област за да се добијат повеќе **информации за варијации во концентрации на загадувачи**. Примери за мрежа вклучуваат распоредување воздушни сензори низ населба за да се добие општо знаење за нивои на загадување на воздухот или, дизајнирање на мрежа за следење **за да се лоцира потенцијален извор на загадување** што влијае на локацијата.

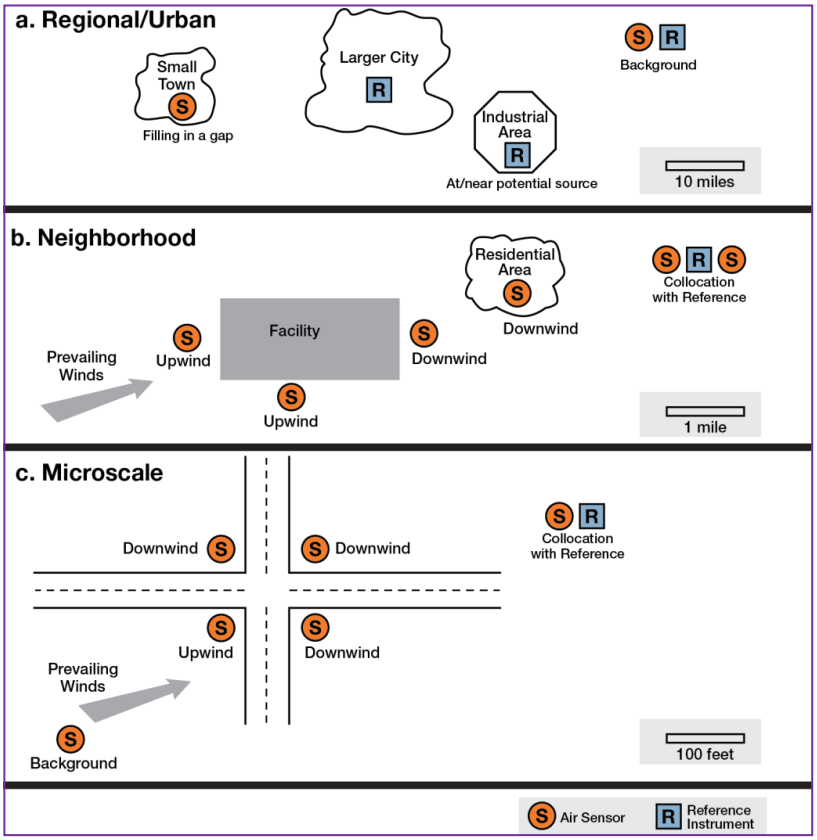
Изборот на општи локации за мрежа со сензори за воздух на почеток може да изгледа застрашувачки. Како да им се помогне на корисниците да дизајнираат успешна и наменска сензорска мрежа?

Започнување со одговарање на прашања – зошто и каде да се собираат мерења:

- Какви видови промени во квалитетот на воздухот очекувам во областа?
- Како очекувам една локација да се разликува од друга?
- Каде треба да ставам сензори за мерење и прикажување на овие разлики?
- Кој е типичен или преовладувачки проток на ветер во областа и како ветровите можат да ги транспортираат загадувачите?
- Дали ми требаат метеоролошки податоци за да ги интерпретирам податоците за квалитетот на воздухот?
- Дали би можел да користам податоци од постоечките мрежи за следење на воздухот?
- Кој е мојот буџет за сензори за воздух и приближно колку можам да си дозволам?

Да се идентификуваат локации на карта за да се постават сензори за воздух:

- Да се рашират локациите за распоредување на сензори за да се добие добра просторна покриеност.
- Да се избегнуваат хиперлокални извори (пример, станици каде се пуши цигари, скари) и локации каде ветровите можат да канализираат и да заробат загадувачи, освен ако тоа е конкретно истражувачко прашање.
- Ако некоја област е загрижувачка (извор на загадувач, област со сомнителни повисоки концентрации), сензорите треба да се лоцираат во близина (внатре) во загрижувачката област И каде струењето на ветрот е големо и мало, за да може да се направат значајни споредувања.
- Да се пронајде референтен инструмент за идни активности за колокација.



Слика 3-8. Пример мапи за поставување мрежи за сензори за воздух со различни размери во зависност од целта: а) Регионална/урбана мрежа, b) Мрежа во населба, c) Микроразмер, мрежа на мали површини

Потребно е да се побараат информации од локална агенција за квалитет на воздухот, универзитетски професори, консултанти за животна средина или други експерти кои се корисни ресурси за да помогнат во дизајнирање ефективни сензорски мрежи.

Мрежите со сензори за воздух може да имаат различни размери во зависност од целта за добивање податоци од мерења. Слика 3-8 прикажува примери на мрежи на сензори за воздух од различни размери за три примери.

Во секој панел, Слика 3-8 идентификува оптимална локација за колокација на сензорот. Општо земено, се препорачува колокација за која било активност за сле-дење за да се осигураме дека сензорот за воздух прикажува (дава) точни податоци.

Слика 3-8 a) покажува пример за користење на сензор за воздух за да се пополни празнина за следење на воздухот. Оваа регионална и урбана мрежа се состои од референтни инструменти лоцирани во поголем град, индустриска област и локација во позадина. Сензорите за воздух можат да ја пополнат празнината во оваа мрежа со обезбедување информации за квалитетот на воздухот за мал град кој **нема постоечки референтни монитори**. Во овој случај, квалитетот на воздухот на позадинската локација е најсличен со оној на малиот град кој се соочува со слични метеоролошки услови, загадувачи и концентрации на загадувачи. Изворите на загадување би биле различни, а концентрациите на загадувачи најверојатно ќе бидат повисоки на другите две референтни локации. Така, во овој пример колокацијата е спроведена на заднинската локација со која се поврзува сензорот со референтниот инструмент на таа локација.

Слика 3-8 b) покажува пример на сензорска мрежа за населба или станбена област загрижена за емисии на загадувачки материи од близок објект. Мрежата го мери квалитетот на воздухот околу објектот (и во насока на ветерот и против ветерот) и во станбена област лоцирана надолу. Мрежата вклучува и два воздушни сензори распоредени до референтниот инструмент. Колокацијата обезбедува податоци за да се процени точноста на сензорите и да се развијат корекции за другите сензори во мрежата. Двата распоредени сензори обезбедуваат повторени мерења што овозможува дополнително обезбедување на квалитет бидејќи мерењата може да се споредат.

На **Слика 3-8 c)**, корисниците можат потенцијално да го одредат влијанието врз квалитетот на воздухот поради загрижувачкиот капацитет (facility) со

спореду-вање на концентрации на загадувачи во насока на ветерот и против ветерот. За овој тип на мрежа, знаењето за преовладувачката насока на ветрот е критично и корисниците најверојатно ќе треба да постават сензори за воздух на неколку локации за да вршат мерења во насока на ветерот и против ветер под различни услови на ветер. Локациите наспроти ветер од објектот ги претставуваат позадинските услови за квалитетот на воздухот пред воздухот да струи над областа за која станува збор. Локации спроти ветерот на објектот го претставуваат квалитетот на воздухот откако ветровите ќе ги подигнат концентрациите на загадувачите од објектот. Во овој случај, мерењата на брзината на ветерот и насоката на ветерот би биле корисни за толкување на податоците.

Слика 3-8 c) покажува пример на мрежа со микро размери (мала површина) која користи мерења од сензори за воздух за да се процени придонесот за загадувањето на воздухот поради сообраќајот на возила на раскрсница. **Сензорот за заднина** (background sensor) го мери општиот квалитет на воздухот во областа надвор од раскрсницата за која станува збор. **Сензорот за воздух против ветер** (upwind air sensor) го мери квалитетот на воздухот пред да струи воздухот во раскрсницата, а сензорите за воздух во насока на ветер (downwind air sensors) го мерат квалитетот на воздухот на раскрсницата. Споредувањето на концентрациите во насока на ветер и против ветер им овозможува на корисниците да го проценат придонесот на сообраќајот за квалитетот на воздухот. Како и со соседната мрежа на Слика 3-8 b), корисниците ќе треба да ја земат предвид насоката на преовладувачките ветрови за да одредат соодветна локација на сензорот во позадина, наспроти во насока на ветер и против ветер. Во овој случај, сензорите може да се распоредат на блиска референтна локација која има слични концентрации на загадувачи и метеоролошки услови, а исто така е под влијание на блиски извори на сообраќај.

За мрежи каде што целта е да се споредат мерења на сензори собрани на ра-злични локации, од клучно значење е прво да се оцени прецизноста или соглас-носта на мерењата направени од сите сензори. Ова може да се постигне со рас-поредување на сите сензори за воздух за да се оцени прецизноста и пристрасноста на податоците на секој сензор за воздух и потоа да се користи таа врска (на пример, равенка) за да се примени корекција(и) на сите сензори што се користат во мрежата, така што податоците од сите на сензорот се поспоредливи. Преземајќи го овој чекор понатаму и соединувањето на сензорите за воздух со

референтниот инструмент, може да се развие равенка за корекција за да ги направи податоците од сензорот поспоредливи со референтните податоци, со што ќе се овозможи да се направат споредби и помеѓу сензорот и референтните инструменти.

Накратко, широк опсег на мрежи може да се дизајнираат за да обезбедат општи информации за квалитетот на воздухот во одредена област, да собираат податоци за конкретни истражувачки прашања и многу повеќе. Силно се препорачува **колокација** (Collocation) за да бидеме сигурни дека сензорот(ите) за воздух известува точни податоци.

3. Практично реализирано истражување. Споредбена анализа на мерење на загадување на воздухот во рурални и урбани средини

Мерења на концентрации на загадувачи во воздухот се реализирани на амбиентален (надворешен) воздух во две основни училишта во Скопје:

a) ОУ "Драга Стојанова", општина Сопиште.

b) ОУ "Круме Кепески", општина Кисела Вода.

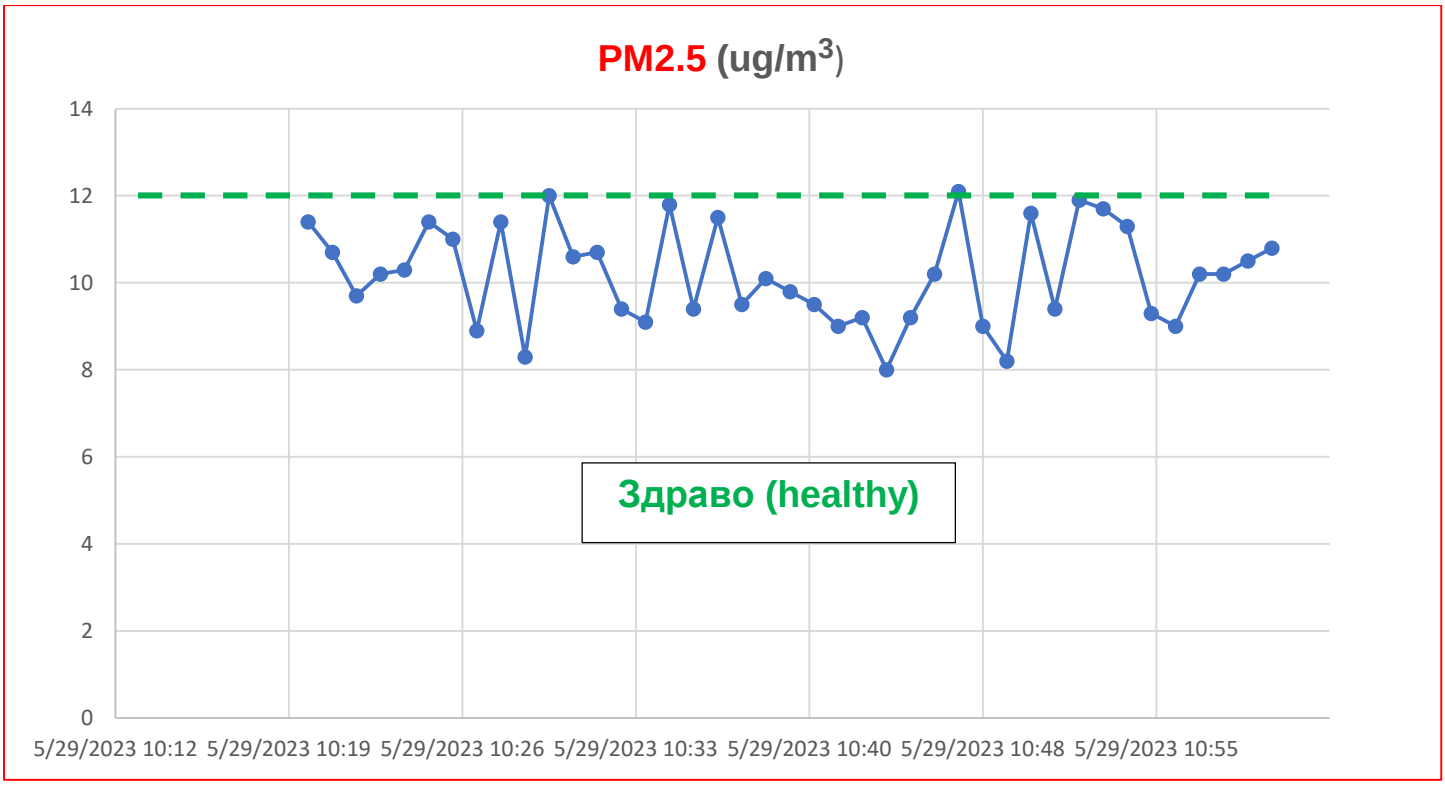
Мерењата се реализирани во работни денови за учениците, во различен период од денот и во различни временски услови. Времето беше сончево, топло, и дуваше благ пријатен ветер, кој помагаше да се намалат концентрациите на одредени загадувачи. Добиени се следните резултати:

3.1 Споредување на концентрации на загадувачи во ОУ "Драга Стојановска" од општина Сопиште и ОУ "Круме Кепески" и ОУ "Кирил Пејчиновиќ" од општина Кисела Вода

Во истражувањето главен акцент се стави на неколку клучни загадувачи кои со концентрации над дозволените создаваат негативни ефекти врз здравјето на луѓето, а особено врз децата (најмладите):

- **PM2.5** (Particulate Matter 2.5) честички.
- **PM10** (Particulate Matter 10) честички.
- **Јаглерод диоксид (CO_2).**

- **Формалдехид** (**HCHO** - Formaldehyde).
- **Испарливи органски соединенија** (**TVOC -** volatile organic compounds).
- **Индекс на квалитет на воздухот (AQI - Air Quality Index).**

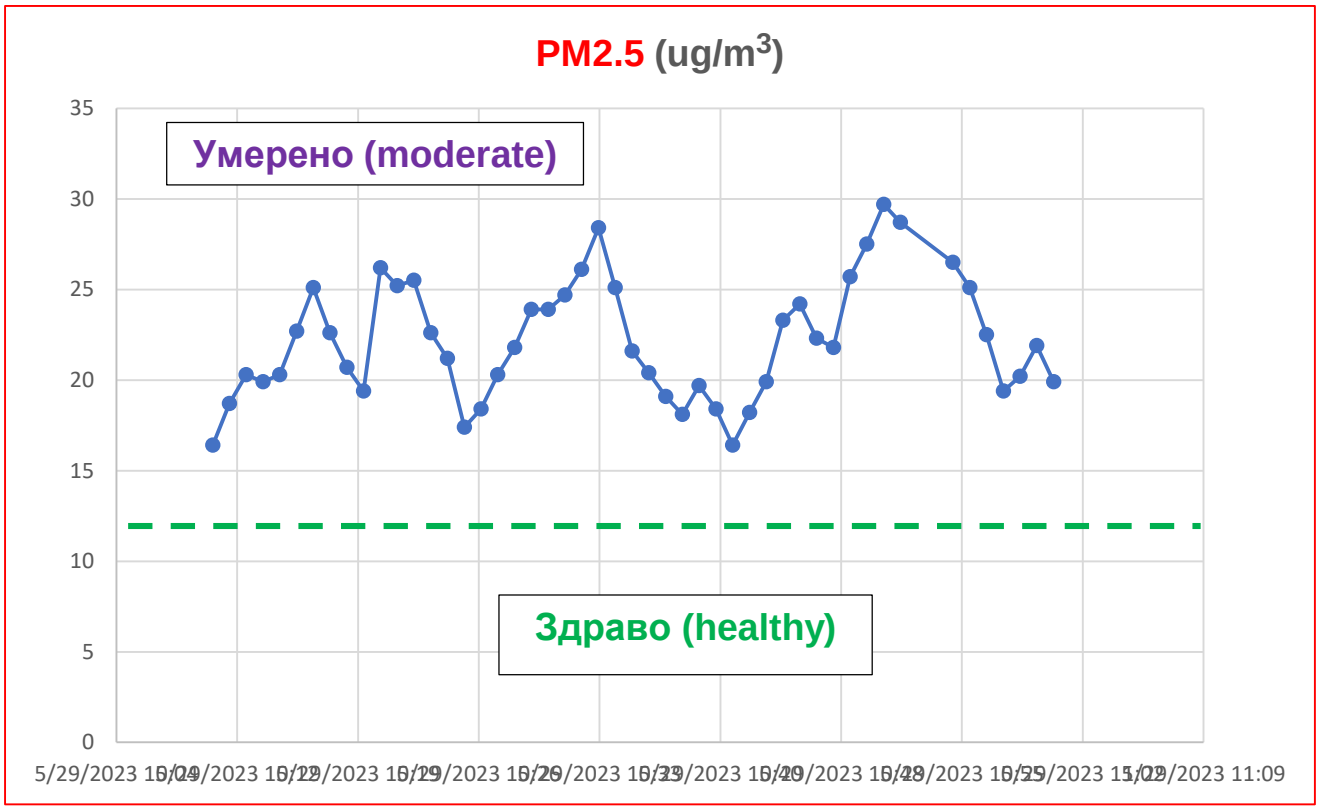


Слика 1. Концентрации на **PM2.5** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)

На слика 1 графички се прикажани концентрациите на **PM2.5** честички во ос-новното училиште "Драга Стојановска" во општина **Сопиште** кое се наоѓа во чиста животна средина. Сите вредности се наоѓаат во интервал од **8** до **12 μg/m^3** (според **Прилог 1 – референтни параметри за квалитет на воздухот**), што значи дека учениците дишат **добар - здрав** (**healthy**) квалитет на воздух..

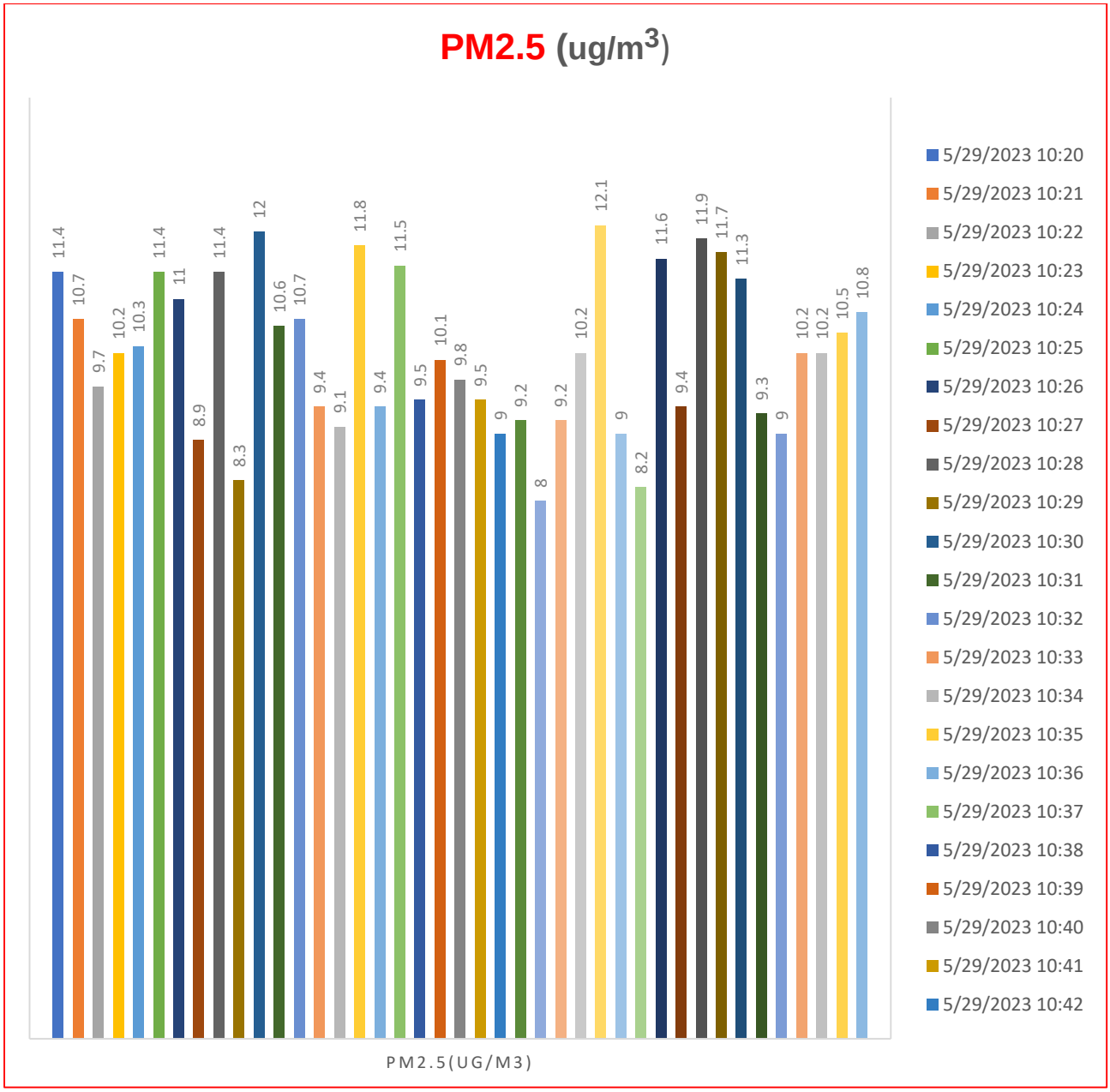
На слика 2 се прикажани концентрациите на **PM2.5** честички во непосредна близина на основно училиште "Круме Кепески" во општина **Кисела Вода** кое е ло-цирано до прометна улица. Измерените вредности се наоѓаат во интервал од **16** до **30 μg/m^3** (**Прилог 1**), што покажува дека учениците дишат **умерено** (**moderate**) **загаден воздух** (квалитет на воздух). Графикот покажува дека загадувањето е поголемо во интервали кога е зголемен протокот на сообраќај на улицата, осбено

кога има метеж (застој на возила кои загадуваат). Тогаш се појавуваат жаришта на загадување.

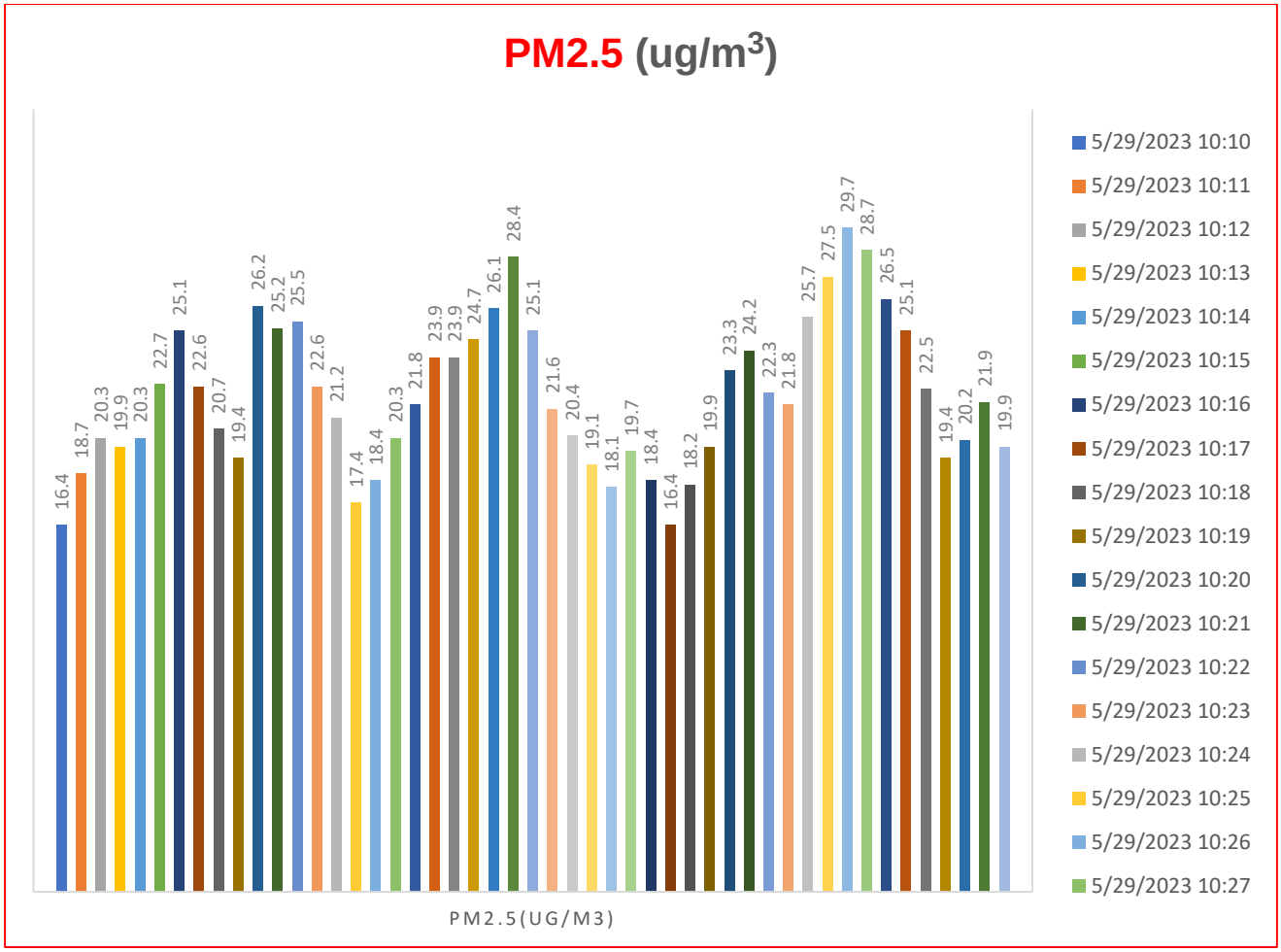


Слика 2. Концентрации на **PM2.5** (ОУ “Круме Кепески“ - Кисела Вода) (од 10 до 11 часот) (29.05.2023)

На слика 3 и слика 4 се прикажани концентрации на загадување со PM2.5 честички (како на слика 1 и слика 2), со друг графички приказ кој визуелно прикажува какво е загадувањето на воздухот во одреден временски период, во две основни училишта во општините Сопиште и Кисела Вода

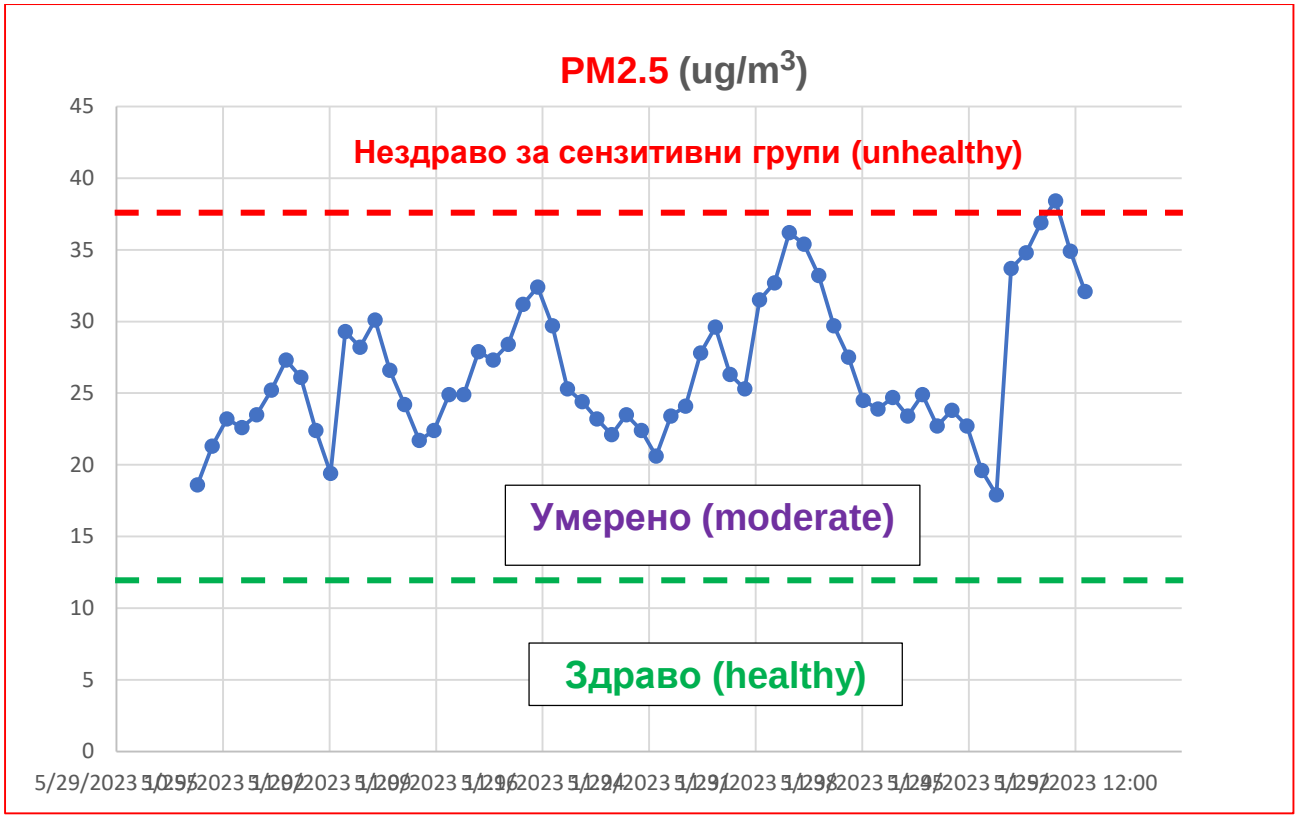


Слика 3. Концентрации на **PM2.5** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ “Драга Стојановска“ - Сопиште)



Слика 4. Концентрации на **PM2.5** (ОУ "Круме Кепески" - Кисела Вода) (од 10 до 11 часот) (29.05.2023)

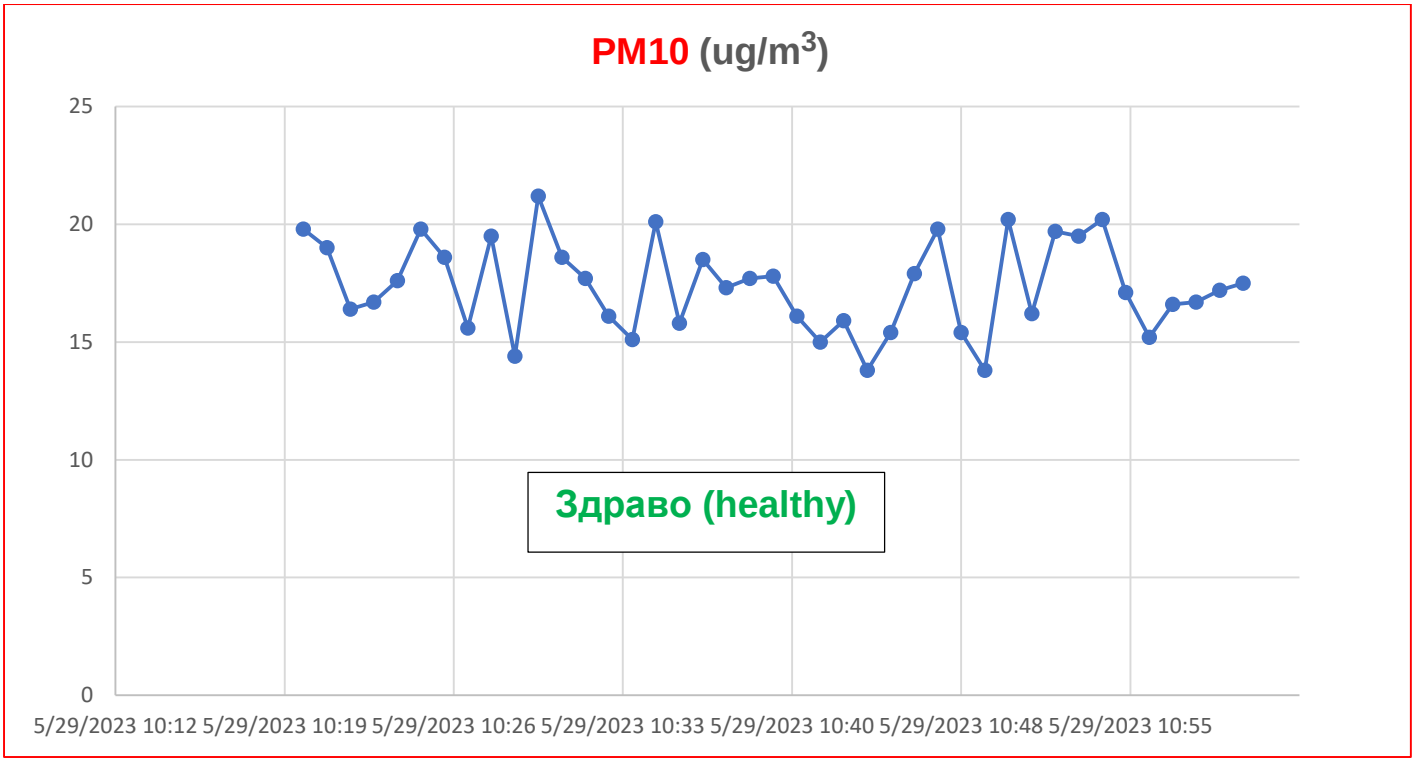
На слика 5 се прикажани концентрации на **PM2.5** честички во близина на ОУ "Кирил Пејчиновиќ" во општина Кисела Вода. Сите измерени вредности во целиот интервал на опсервација имаат вредности значајно повисоки од **12 ug/m^3**, што укажува дека квалитетот на воздухот може да има умерена здравствена загриженост за лица кои се чувствителни на загадување на воздухот. Во одреден момент вредноста на PM2.5 ја надминува вредноста **35.5 ug/m^3** која е гранична вредност кон ниво нездраво за сензитивни групи (овие групи може да имаат здравствени ефекти).



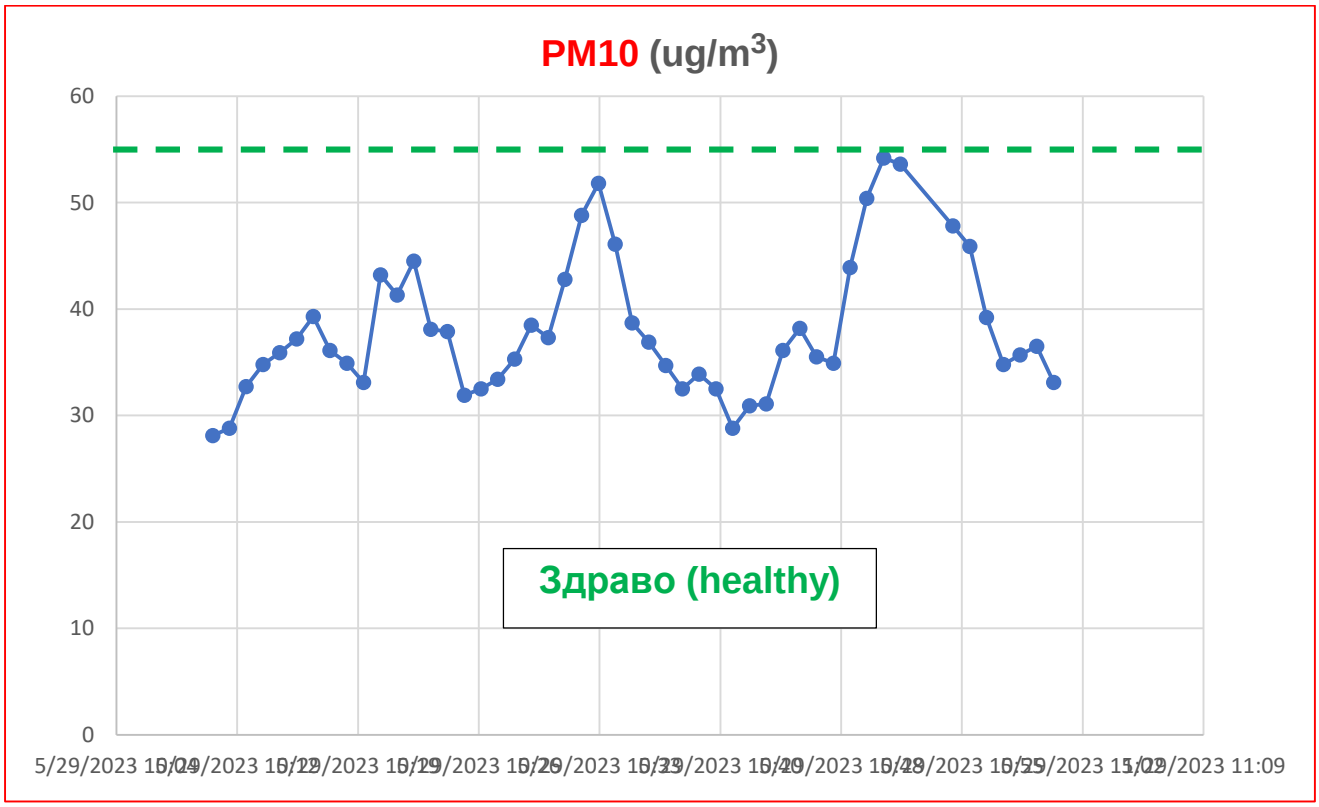
Слика 5. Концентрации на **PM2.5** (ОУ "Кирил Пејчиновиќ" – Кисела Вода) (од 11 до 12 часот) (29.05.2023)

На слика 6 графички се прикажани концентрациите на **PM10** честички во основното училиште "Драга Стојановска" во општина **Сопиште**. Сите вредности се наоѓаат во интервал помал од **54 μg/m³** (**Прилог 1** – **референтни параметри за квалитет на воздухот**), што значи дека учениците дишат **добар - здрав** (**healthy**) квалитет на воздух.

На слика 7 се прикажани концентрациите на **PM10** честички во непосредна близина на основно училиште "Круме Кепески" во општина **Кисела Вода**. Измерените вредности се двојно повисоки од оние во ОУ во Сопиште и се наоѓаат многу близу до граничната вредност на умерено загадување од **54 μg/m³** (**Прилог 1**).

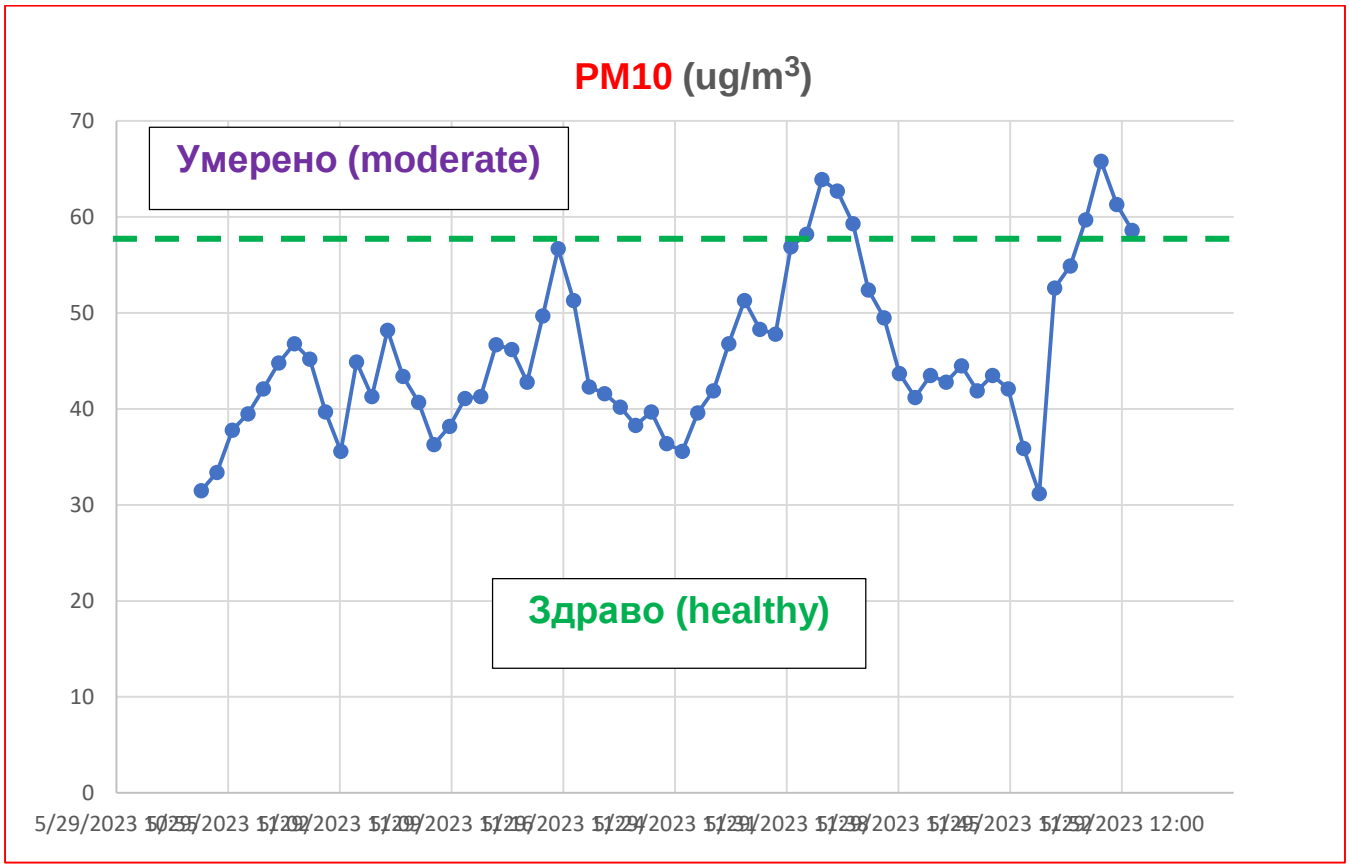


Слика 6. Концентрации на **PM10** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)



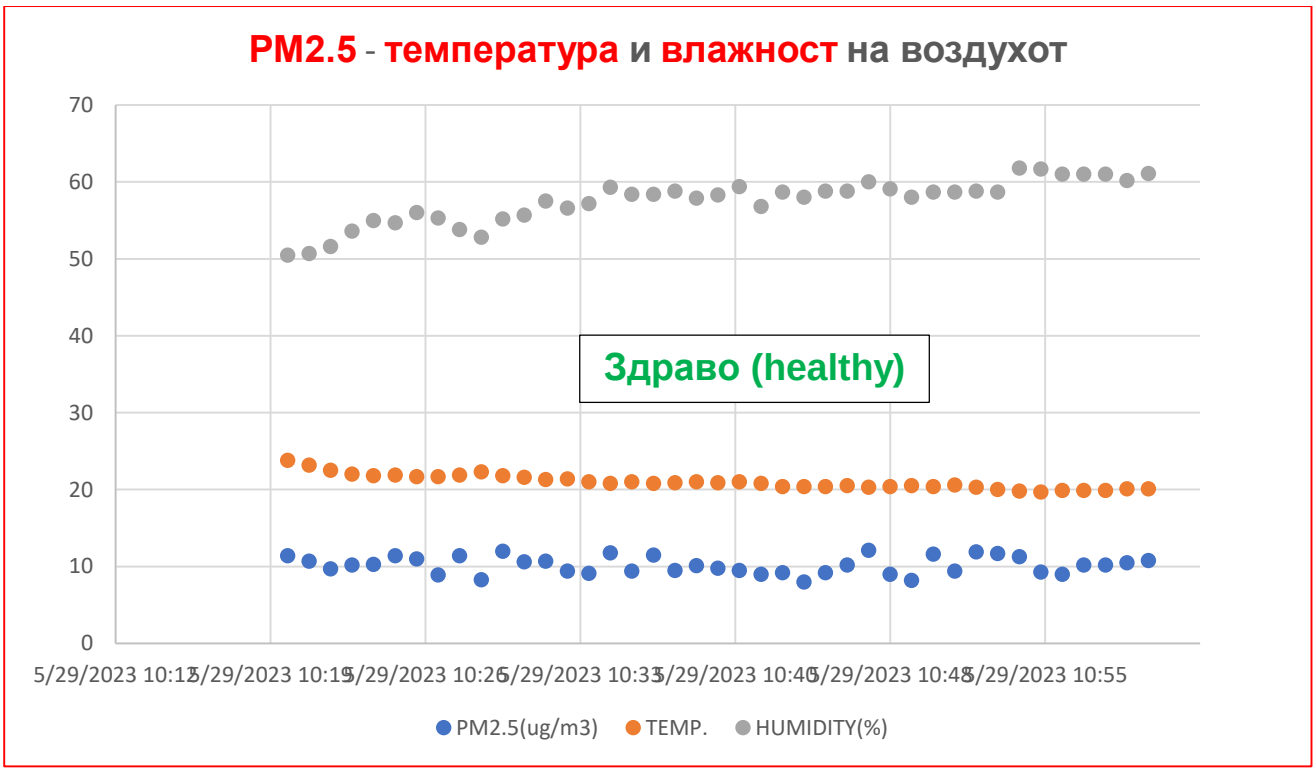
Слика 7. Вредности за **PM10** (ОУ "Круме Кепески" - Кисела Вода) (од 10 до 11 часот) (29.05.2023)

На слика 8 се прикажани концентрациите на **PM10** честички во непосредна близина на основно училиште “Кирил Пејчиновиќ“ во општина **Кисела Вода**. Измерените вредности се повисоки од оние во ОУ во Сопиште и во одредени моменти ја надминуваат граничната вредност на умерено загадување од **54 µg/m^3** (**Прилог 1**).



Слика 8. Концентрации на **PM10** (ОУ “Кирил Пејчиновиќ“ – Кисела Вода) (од 11 до 12 часот) (29.05.2023)

На слика 9 е даден графички приказ на концентрации на загадување на **PM2.5** и вредности на **температура** и **влажност** на воздухот (во ОУ во Сопиште) во соодветен временски момент. Овој приказ визуелно покажува поврзаност на зага-дувачки вредности на **PM2.5** со промена на временски услови.



Слика 9. Концентрации на **PM2.5**, **температура** и **влажност на воздухот** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)

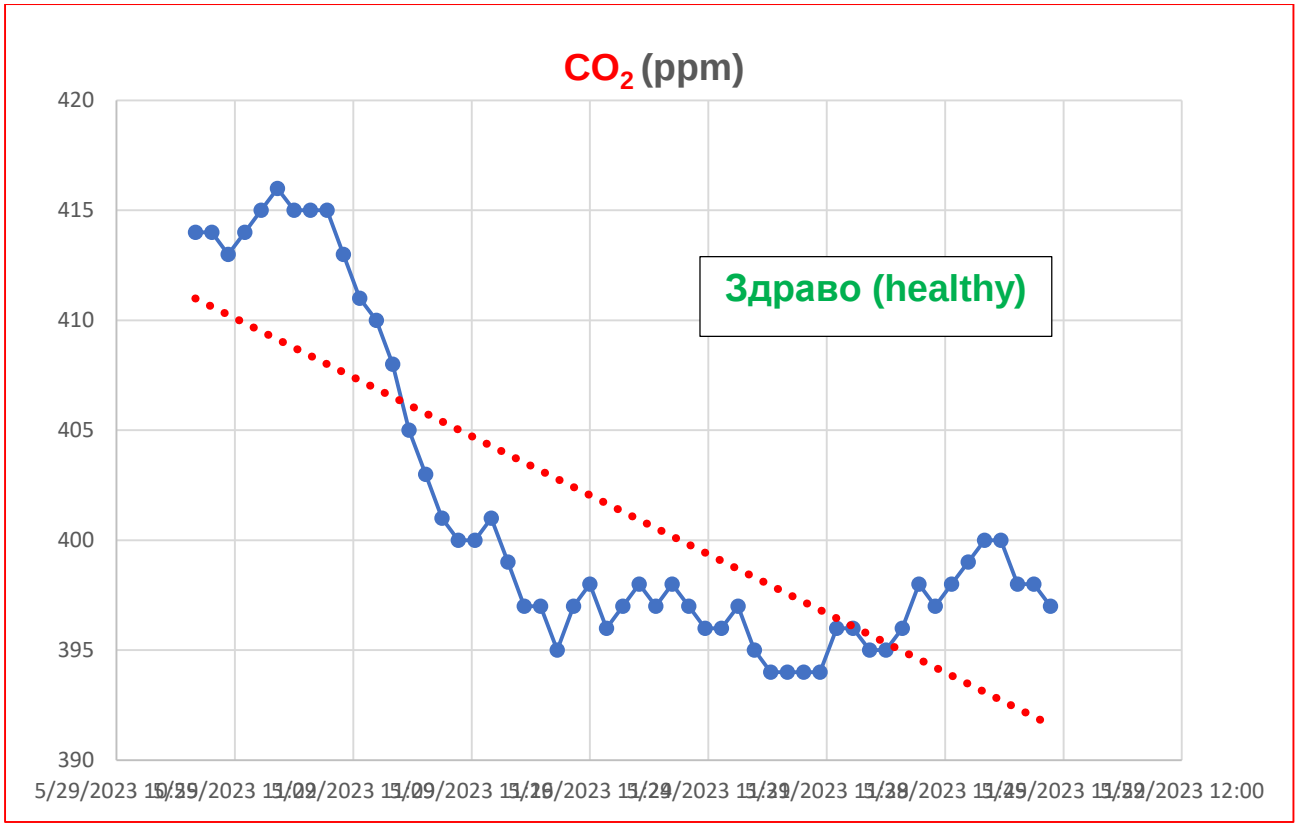
На слика 10 е даден графички сприказ на концентрации на јаглерод диоксид - **CO_2** во основното училиште "Драга Стојановска" во општина **Сопиште**. Сите вред-ности се наоѓаат во интервал помал од **700 ppm** (**Прилог 1 – референтни параметри за квалитет на воздухот**), што значи дека учениците дишат **добар - здрав** (**healthy**) квалитет на воздух.

Карактеристично за **CO_2** (безбоен гас и без мирис) е што тој се создава од процесот на дишење. Неговата концентрација се зголемува кога во просторија има повеќе лица и просторијата не е проветрувана често. Во такви услови кон-центрацијата може да биде висока (многу над **700 ppm**) што предизвикува про-блеми како што се поспаност, вртоглавица, губење на внимание и когнитивно ош-тетување.



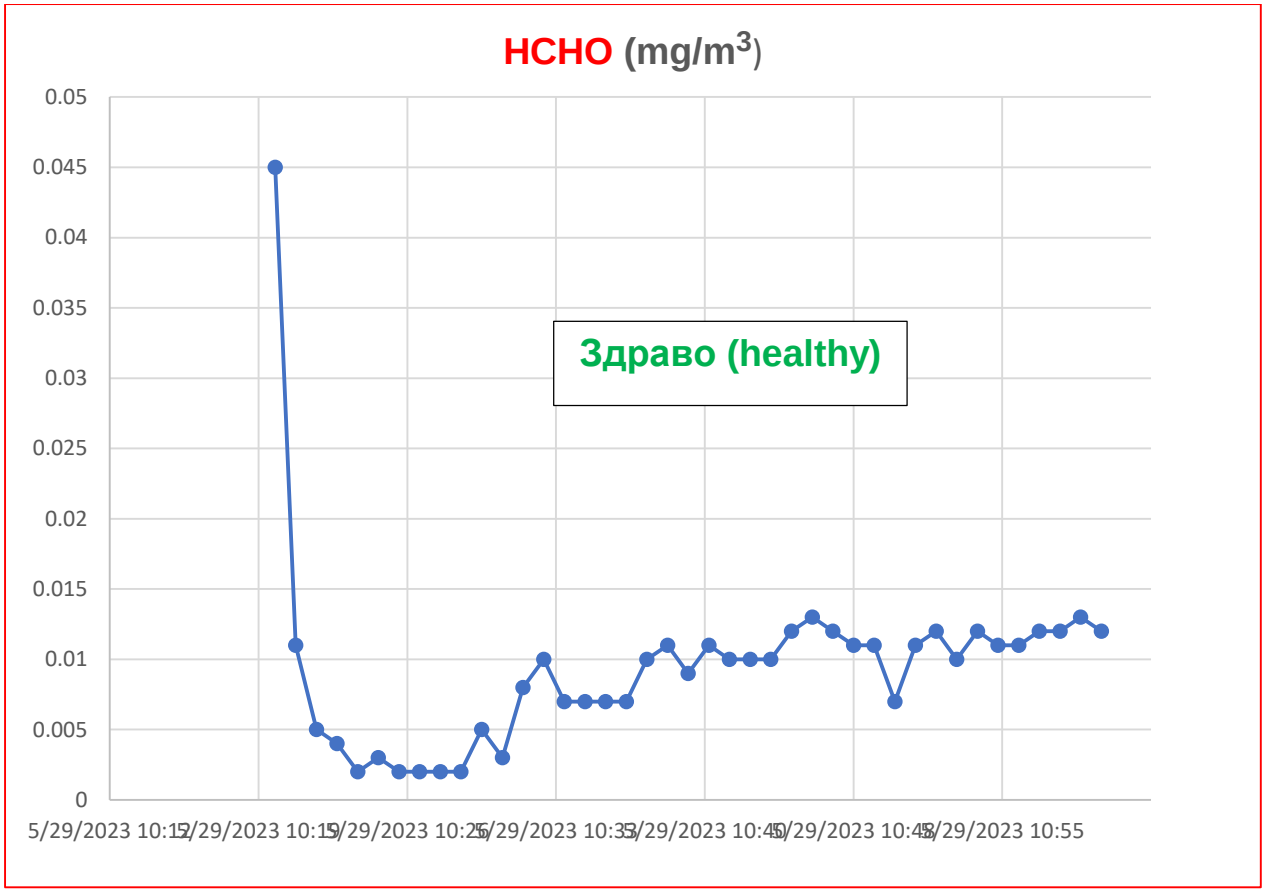
Слика 10. Концентрации на **CO_2** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)

На слика 11 е даден графички приказ на концентрации на загадувач јаглерод диоксид (**CO_2**) во ОУ во Сопиште. Сите измерени концентрации се значително помали од граничната вредност **700 ppm**, што укажува дека квалитетот на воздухот пред училиштето е на задоволително ниво. Прикажана е **тренд линија** која е опаѓачка во целиот период на реализирано мерење.



Слика 11. Концентрации на CO_2 со тренд линија (од 11.00 до 11.52 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" – Сопиште)

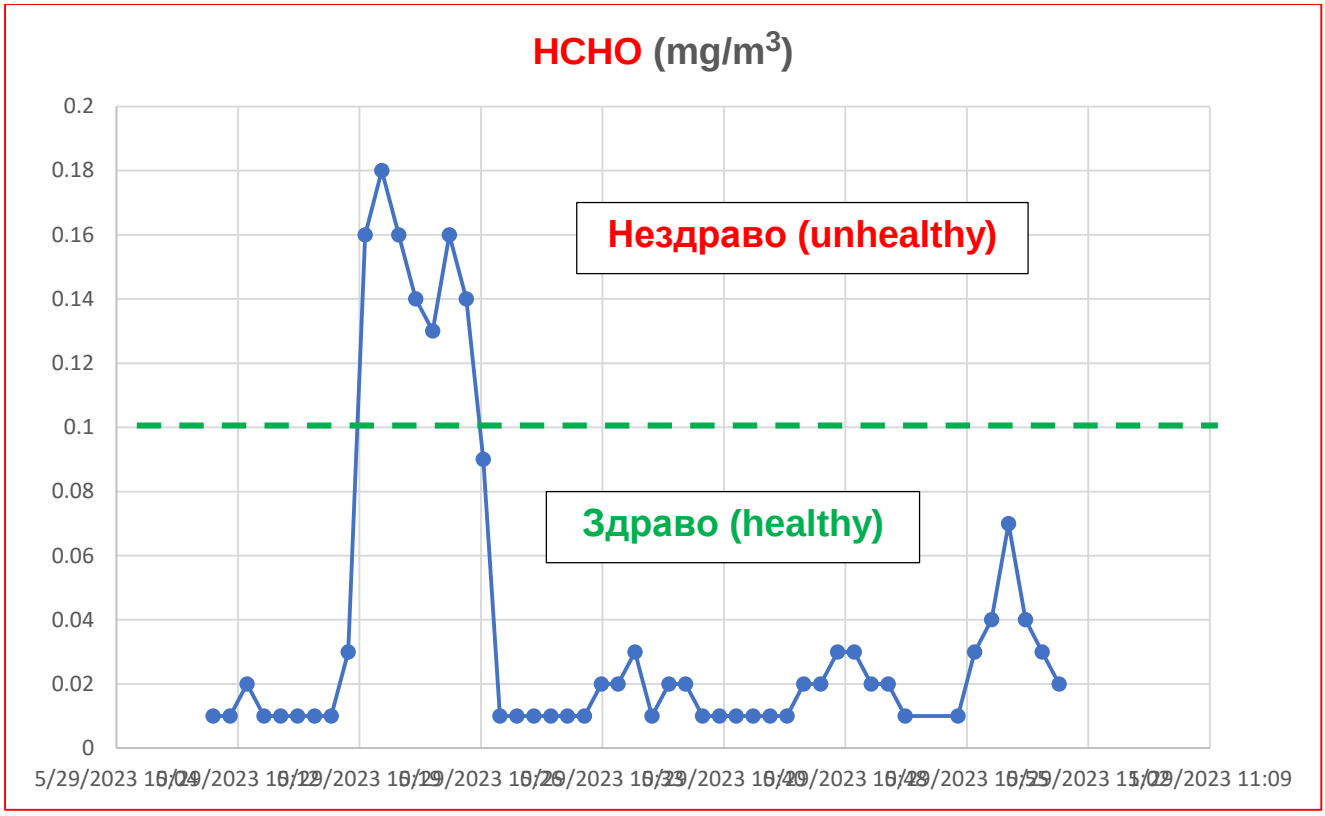
На слика 12 се прикажани концентрации на загадувач формалдехид (HCHO) во ОУ во Сопиште. Може да се забележи дека сите вредности се помали од референтната вредност **0.1 mg/m³** (Прилог 1). Ова покажува дека овој опасен загадувач се наоѓа во многу мали количини во воздухот, кои не се штетни за здравјето на луѓето. 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·



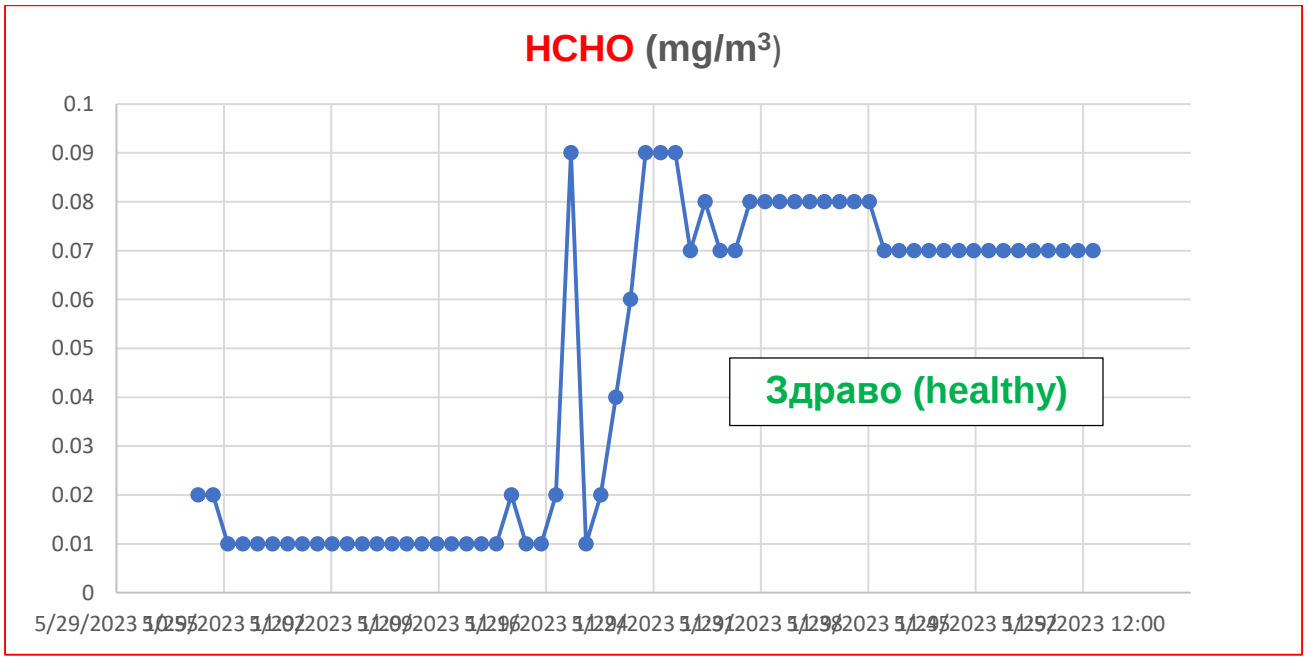
Слика 12. Концентрации на **HCHO** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)

Слика 13 покажува сериозно ниво на концентрации на формалдехид во воздухот во непосредна близина на ОУ "Круме Кепески" во општина Кисела Вода. Се забележува дека во определен временски период концентрациите ја надминуваат граничната вредност од **0.1 mg/m³.** Но, и во останатото време на мерење на овој загадувач неговите вредности се многу повисоки од оние во ОУ во Сопиште.

Слика 14 покажува значајно повисоко ниво на концентрации на формалдехид во воздухот во непосредна близина на ОУ "Кирил Пејчиновиќ" во општина Кисела Вода. Се забележува дека во определен временски период концентрациите се приближуваат до граничната вредност од **0.1 mg/m³,** и такви високи концентрации се задржуваат во подолг временски период.



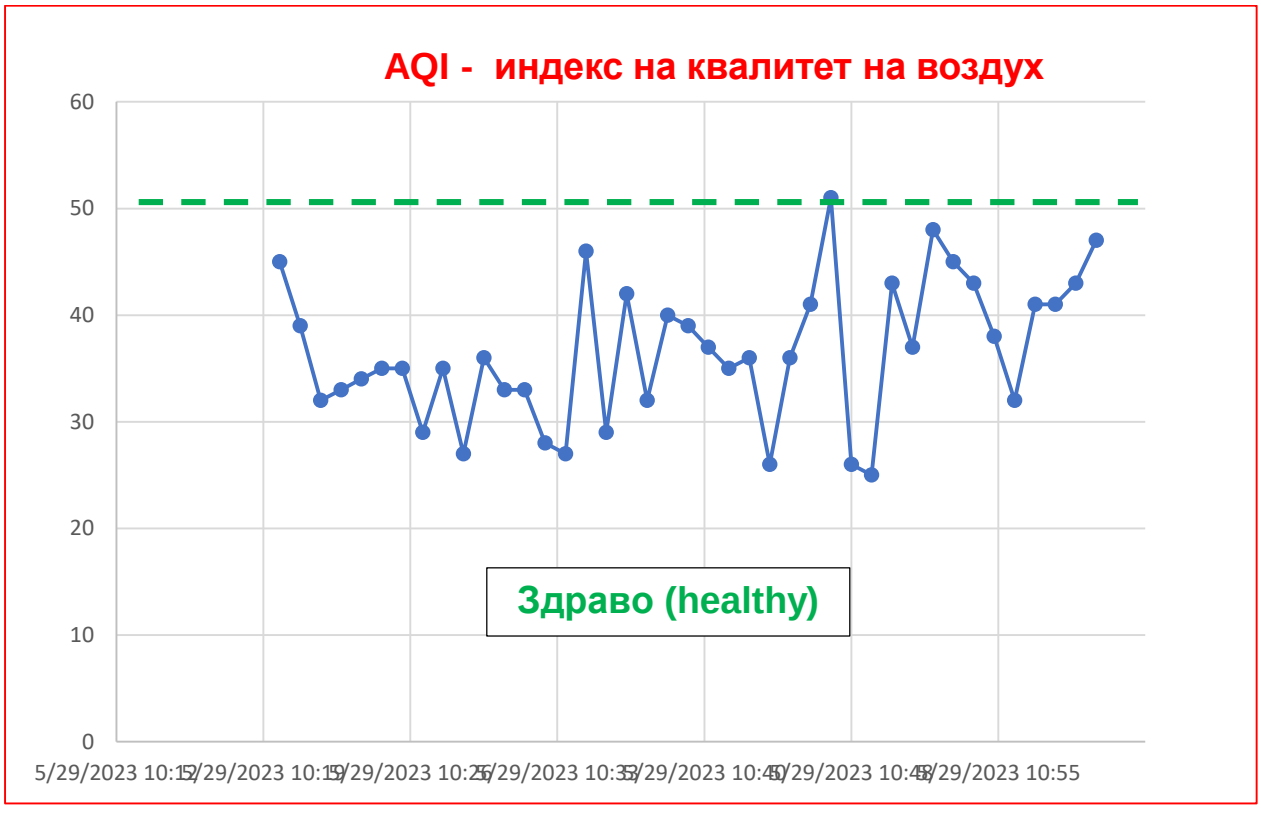
Слика 13. Вредности за **HCHO** (ОУ "Круме Кепески" - Кисела Вода) (од 10 до 11 часот) (29.05.2023)



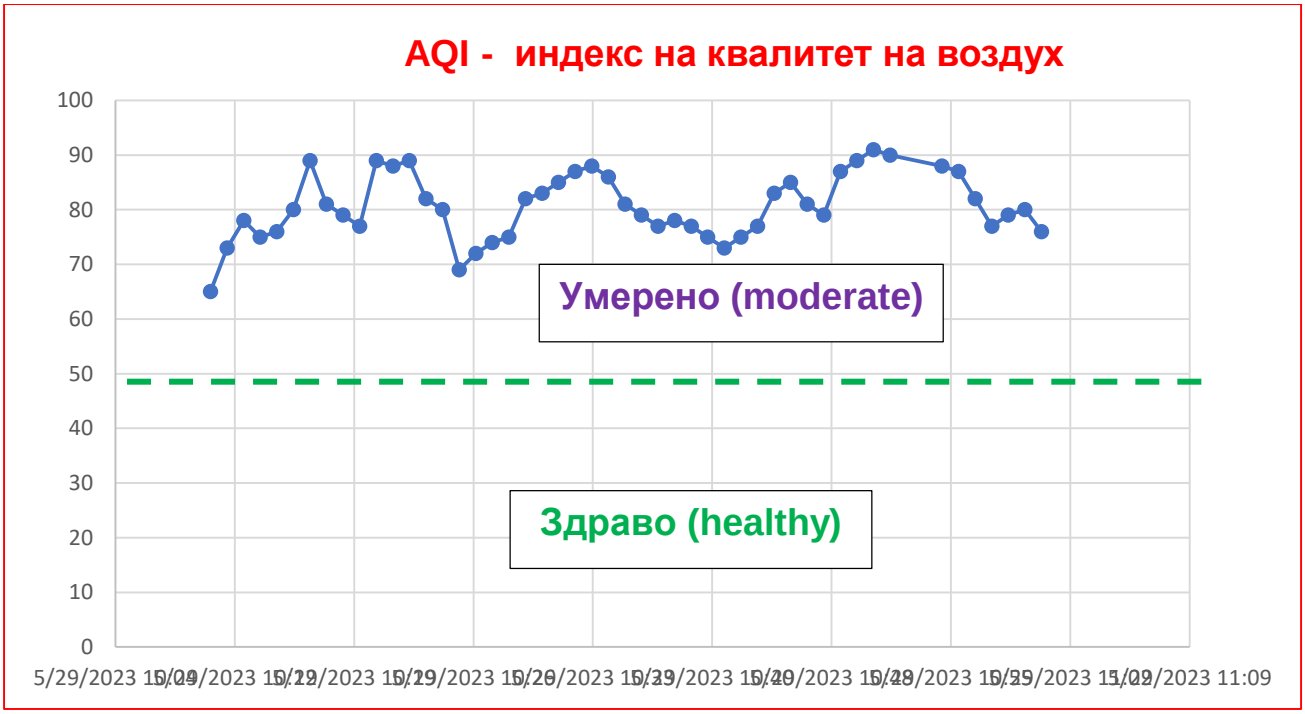
Слика 14. Концентрации на **HCHO** (ОУ "Кирил Пејчиновиќ" – Кисела Вода) (од 11 до 12 часот) (29.05.2023)

Слика 15 ги прикажува вредностите на **AQI - индекс на квалитет на воздух** во основното училиште во Сопиште. Сите измерени вредности имаат **AQI** помало од **50**, што значи дека квалитетот на воздухот се смета за задоволителен, а загадувањето на воздухот претставува мал или никаков ризикк.

На слика 16 графички се прикажани вредности на **AQI** во ОУ "Круме Кепески" во општина Кисела Вода. Сите измерени вредности имаат **AQI** повисоко од **50**, што укажува на умерено ниво на загадување (квалитетот на воздухот е прифатлив, меѓутоа, може да има умерени здравствени проблеми за лица кои се невообичаено чувствителни на загадувањето на воздухот). Овие вредности се многу близу до **AQI = 100**, гранична вредност над која загадувањето на воздухот се смета за "**нездраво**". Вредноста на **AQI** значително се зголемува во топли сончеви денови со слаб ветер, бидејќи во овие денови загадувањето на воздухот останува концентрирано и поблиску до земјата.

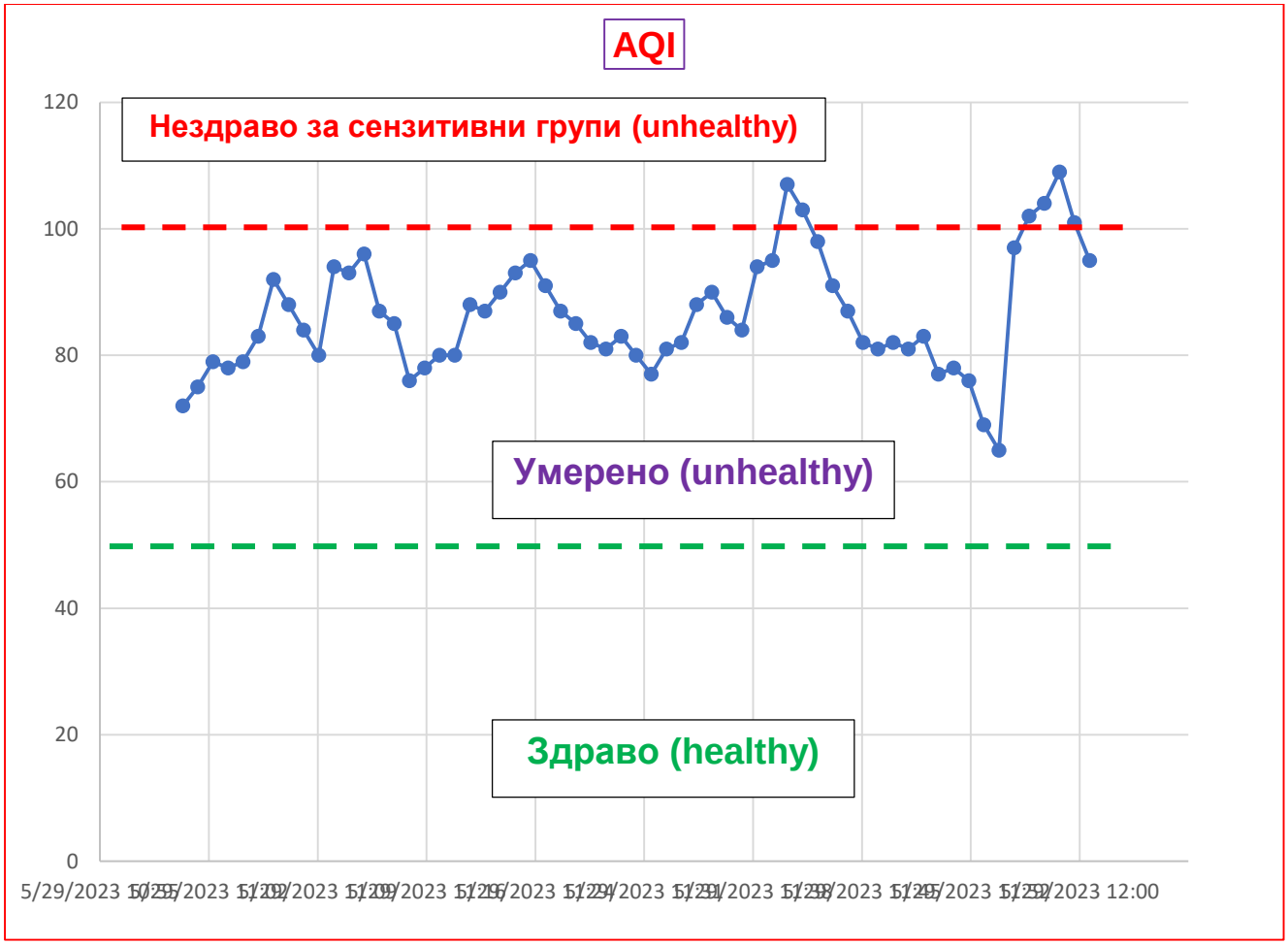


Слика 15. Вредности за **AQI** (од 10.20 до 11.00 часот) (29.05.2023) (ОУ "Драга Стојановска" - Сопиште)



Слика 16. Вредности за **AQI** (ОУ "Круме Кепески" - Кисела Вода) (од 10 до 11 часот) (29.05.2023)

На слика 17 графички се прикажани вредности на **AQI** во ОУ "Кирил Пејчиновиќ" во општина Кисела Вода. Сите измерени вредности имаат **AQI** повисоко од **50** (најмногу измерени вредности се меѓу **50** и **100**), што укажува на умерено ниво на загадување (квалитетот на воздухот е прифатлив, меѓутоа, може да има умерени здравствени проблеми за лица кои се невообичаено чувствителни на загадувањето на воздухот). Но, во одредени мали временски периоди вредностите на **AQI** надми-нуваат **100**, што значи дека загадувањето на воздухот се смета за "**нездраво**". Овие вредности се нездрави за сензитивни групи (**Unhealthy for Sensitive Groups**).



Слика 17. Вредности на **AQI** (ОУ "Кирил Пејчиновиќ" – Кисела Вода) (од 11 до 12 часот) (29.05.2023)

Заклучни согледувања

Скоро целото загадување на воздухот што го дишеме е создадено од човекот и можеме да кажеме дека многу смртни случаи може да се спречат само ако престанеме да го загадуваме воздухот. Денес сé повеќе луѓе живеат во градови кои се толку многу загадени што стануваат опасно место за живеење. Така, загадувањето на воздухот е проблем и на индустријализацијата и на урбанизацијата.

Загадувањето на воздухот не влијае само на нашите бели дробови. Тоа влијае и на нашиот **мозок**. Најмалите честички од загаден воздух, можат да преминат во **крвотокот**, а од крвотокот, пумпан од срцето, можат да стигнат до целото тело, загрозувајќи го секој орган, вклучително и мозокот. Велиме дека загадувањето на воздухот нема граници, а тоа се случува и во нашето тело, бидејќи

загадувачите од воздухот можат да ја преминат плацентарната бариера, да стигнат до фетусот и да го променат церебралниот кортекс (мозокот) на нашите деца **уште пред да го земат првиот здив**.

Загадувањето на воздухот претставува контаминација на воздухот со хемиски, физички или биолошки агенси. Аерозагадувањето е најголем ризик по здравјето кој потекнува од надворешна околина. Загадувањето на воздухот е една несакана состојба на природната средина каде што воздухот е загаден со супстанции што се штетни за здравјето на човекот. Загадениот воздух ни штети на сите, но најранливи се постарите луѓе, децата, како и луѓето со хронични срцеви и белодробни нарушувања. Воздухот надвор, но и внатре во нашите домови, може да е загаден.

Загадувачи на воздухот кои потекнуваат од човекот се: индустријата, горењето фосилни горива, моторните возила и др.. Резултатите укажуваат дека дури и ако количината на **PM2,5** честичките е во рамки на дозволени граници тие може да ѝ наштетат на најранливата популација. Со други зборови, **не постои *безбедна* количина на PM2,5 честички – постои само повеќе или помалку штетна.** Долготрајната изложеност на **PM** честички во рано детство може да придонесе и за воспалителни процеси во мозокот при што се менува одговорот на имунолошкиот систем.

Според бројни научни истражувања кои ја објаснуваат поврзаноста помеѓу човековото здравје и аерозагадувањето, не може да се избегне заклучокот: **аерозагадувањето му штети на целокупното човеково здравје**. **Истовремено и физичкото и психичкото здравје се на удар.** Поврзаноста меѓу изложеност на загадувачи и ризик да се развие одредена физичка, бихејвиорална или ментална болест е правопропорционална. Со други зборови – зголемена, долготрајна изложеност на загадувачи значително го зголемува ризикот да се развие респираторна акутна или хронична болест (ова особено се однесува на најмладите), да се дијагностицира рак, да се зарази со вирус и притоа да се развие тешка клиничка слика, да развие болести на кардиоваскуларен систем, да го зголеми ризикот за инфаркт и мозочен удар.

Сензорите за воздушни мерења (Air sensors) се класа на **не-регулаторна технологија** (non-regulatory technology) кои се пониски по цена, преносливи и генерално полесни за ракување од монитори што се користат за **регулаторно**

следење (мониторинг) (regulatory monitoring). **Сензорите за мерење параметри во воздухот** и **регулаторните монитори** се разликуваат по тоа што **регулаторните монитори** се **златен стандард** (the gold standard) и се дизајнирани да ги исполнат строгите барања за изведба за користење во регулаторен мониторинг.

Сензорите за воздух (Air Sensors) обично обезбедуваат релативно брзи или моментални мерења на концентрација на загадувачи на воздухот и овозможуваат мерење на квалитетот на воздухот на повеќе локации. Терминот **сензор за воздух** често опишува интегриран сет на хардвер и софтвер кој користи еден или повеќе сензорни елементи (понекогаш наречени сензори или други термини) за откривање или мерење на концентрации на одредени загадувачи.. Повеќето сензори за воздух вклучуваат извор на енергија, компоненти за откривање загадувачи на воздухот и временски параметри, електроника за пренос на податоци (на пример, мобилни) и микропроцесор за контрола на уредите. Некои сензори за воздух може да вклучуваат батерија, дисплеј екран и компонента на систем за глобално позиционирање (GPS) за одредување на локација. Сензори кои пренесуваат податоци може да се поврзат со облак сервери кои складираат, обработуваат и обезбедуваат пристап до податоци. Дополнително, податоците може да се прикажат на мапи или графички записи (хистограми).

Кога се распоредени, инсталирани, конфигурирани и функционираат правилно, се одржуваат внимателно и со внимателно планирање на проектот, сензорите за воздух можат да обезбедат корисни информации за низа апликации за квалитетот на воздухот. Секој што сака да користи сензори за воздух треба да има информации за: основно знаење за квалитетот на воздухот, планирарање и спроведување на мониторинг на воздухот, како да се избере сензор за воздух и за сознанија за перформансите на сензорите. Корисници на сензори за воздух се: научни истражувачи, агенции за животна средина, здравствени работници, институции за итни случаи, развој на технологии, едукатори и јавност.

Квалитетот на воздухот е сложена тема бидејќи вклучува емисија на загадувачи на воздухот, хемиска и физичка трансформација на загадувачи и атмосферски услови кои можат да ги придвижат или заробат загадувачите и да влијаат на брзината на хемиските реакции. Квалитетот на воздухот се мери на различни начини. Влијанието на квалитетот на воздухот врз здравјето и животната средина вариираат во зависност од концентрацијата и видот на загадувачот.

Загадувањето на воздухот се состои од комплексна мешавина на различни хемикалии во форма на цврсти честички (во низа големини), капки течност и гасови. Загадувањето на воздухот се создава како резултат на човечки (т.е. антропогени) и природни извори на загадувачи. Примери за антропогени извори вклучуваат електрани кои произведуваат електрична енергија, автомобили и камиони и капацитети за производство на нафта и гас. Природни извори на загадувачи вклучуваат шумски пожари, бури од прашина, вулканска активност и биогени извори (на пример, растенија, почви).

Некои од овие загадувачи се краткотрајни во атмосферата (т.е. од часови до денови), додека други се долготрајни (т.е. години). Како и времето, квалитетот на воздухот се менува од ден на ден, па дури и од час во час. Количество на време во кое одреден загадувач останува во атмосферата зависи од неговата **реактивност** со други супстанции и неговата **тенденција да се таложи** на површината (исто така наречена таложење). Овие фактори се водени од видот на загадувач и временските услови, вклучувајќи температура, сончева светлина, врнежи, влажност и брзина на ветер. Силните ветрови можат да ги намалат концентрациите со разредување или распрснување на загадувачите на поголема географска област, додека стагнирачки воздух (нема проток на воздух) може да доведе до концентрации на загадувачи кои постепено се зголемуваат.

Додека се во атмосферата, загадувачите можат да подлежат на хемиски реакции со други гасови и честички. Атмосферските услови можат да влијаат на овие хемиски реакции (на пример, сончева светлина е потребна за да се создаде **O_3**) и времето го контролира движењето и дисперзијата на загадувачи од локации на спротивен ветар (каде што воздухот се движи пред да помине над област од интерес) до локациите надолу (каде што оди воздухот по преместување на област од интерес). Локалната географија може да ги канализира и насочува загадувачите на воздухот до локации кои можат да влијаат на луѓето и на животната средина. На крајот, загадувачите се отстрануваат од атмосферата со таложење на површината на земјата или додека луѓето дишат во загадувањето. Еден од најголемите предизвици во мониторингот на квалитетот на воздухот е одредувањето на потеклото на измерениот загадувач, што бара разбирање на сите фактори - времето, атмосферската хемија и географијата - кои влијаат на загадувачите во нивното патување од оригиналниот извор до локацијата на мерење.

Концентрациите на загадувачи може значително да се разликуваат во зависност од времето во денот, ден во недела и сезона. Овие разлики може да се припишат на промени во шемите на емисии, **атмосферски услови** (на пример, висина на мешање, температура, сончева светлина), **распоред на активности на изворот** (на пример, дневни шеми на сообраќаен шпиц) и **хемиски реакции**.

Озонот O_3 обично варира бавно од час во час, но често се подложува на дневна промена (т.е. дневен циклус) од ниски конце-нтрации ноќе до повисоки концентрации во текот на денот. Секојдневната разлика во емисии на прекурсори на **O_3** (на пример, емисии од возила) може да произведе пониски концентрации на **O_3** за време на викенди отколку во работни денови. Бидејќи сончевата светлина и топлината помагаат да се претворат емисиите во **O_3**, концентрациите обично се повисоки во текот на летото.

Истражувачки инструменти опишуваат широк опсег на технологии кои се движат од евтини технологии за сензори за воздух, преку прототип на инструменти од среден опсег, до инструменти од највисок лабораториски тип, модифицирани за користење на терен. Овие инструменти често се изградени или дизајнирани за специфични апликации. Тие може да бидат дизајнирани да истражуваат одредено истражувачко прашање или како прототип дизајнирани за мерење на загадувачи кои немаат постоечки метод на мерење. Овие инструменти најчесто се управувани од експерти за да се постигнат потреби на изведба за нивна примена. Откако ќе се покаже силна споредливост со FRM/FEM инструментите, тие може да се користат како референтен монитор **ако/кога** не е изводливо да се распореди FRM/FEM. На пример, инструмент како E-BAM може да се смета за речиси референтен инструмент бидејќи има споредливи перформанси со инструменти FRM/FEM, но е дизајниран да се користи на отворено и дизајниран да биде преносliв за да може брзо да се распореди за мерење на чад од шумски пожари на по нерамен терен. Нема ознака FEM, но има многу од карактеристиките на FEM, и кога е управуван од обучен персонал може да обезбеди вредни податоци за оваа апликација.

Далечинско мерење (Remote sensing) е метод за мерење на загадувачи на растојание без физички контакт (на пример, мерење на рефлектирана или емитирана светлина). Далечински сензор може да биде корисен за откривање на PM честички, загадувачи со гасовити критериуми и некои VOCs. Далечинско

набљудување може да се распореди во авион, сателитски платформи во орбита или на специфични копнени локации.

Сензори за воздух (Air sensors) се класа на технологија што се пониски по цена, попреносливи и генерално полесни за ракување од референтните монитори или истражувачките инструменти. Сензорите за воздух можат да мерат некои, но не сите загадувачи на воздухот, вклучително и PM честички и гасови. Сепак, точноста, животниот век и доверливоста на сензорите се разликуваат поради основната технологија за мерење, квалитетот на различните компоненти на сензорот за воздух, условите на околината и методите на работа.

Истражувањето недвосмислено покажува дека концентрациите на загадувачи во близина на ОУ во општина Сопиште се значително пониски од оние во ОУ во Општина Кисела Вода. Тоа се должи на следните фактори:

- Густина на сообраќај - главен загадувач на воздухот.
- Надморска висина – поголемо струење на воздухот.
- Близина на објекти кои се загадувачи – фабрики, градилишта и сл.
- Урбана средина – густо населена и станбени и деловни објекти кои значително го намалуваат струењето на воздухот.
- Можност за пренесување загадувачи од подалечни општини – во урбана средина како општина Кисела Вода загадувачите полесно доаѓаат од загадувачки средини кои имаат големи загадувачи, како општините Центар и Аеродром (каде на годишно ниво има најголемо загадување).

ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРА:

1. Damian Carrington, “Air Pollution linked to more severe mental illness”, 2021.
2. Puthumana JS, Ngaage LM, “Risk factors for cooking-related burn injuries in children”, WHO Global Burn Registry, 2022.
3. OECD, “INDOOR AIR POLLUTION”, 2003.
4. American Chemical Society, “Romantic, Candle-lit Dinners: An Unrecognized Source of Indoor Air Pollution”, 2009.
5. University of California - Berkeley, “Many Cleaners, Air Fresheners May Pose Health Risks When Used Indoors”, 2006.
6. University of Washington, “Scented laundry products emit hazardous chemicals through dryer vents”, 2011.
7. Asthma+Lung UKK, “Air pollution”, 2020.
8. C40 Cities, “How to implement transit-oriented development”, 2021
9. Eating and Health, “Fixing Stove Hoods To Keep Pollution Out of the Kitchen”, 2013
10. C40 Cities, “How to shift your bus fleet to zero emission by procuring only electric buses”, 2021..
11. National Institute of Environmental Health Sciences, “Flame Retardants”, 2016
12. C40 Cities, “How to build an electric vehicle city: deploying charging infrastructure”, 2021.
13. EWG research, “Test Find Toxic Fire Retardants in Mothers – and even more in Toddlers”, 2014.
14. Environment GO, “Seven Effects of Indoor Air Pollution”, 2022
15. C40 Cities, “How to drive electric vehicle uptake in your city”, 2021.
16. World Health Organization, “Household air pollution”, 2022.
17. C40 Cities, “Why your city should aim for 100% clean energy by 2050”, 2021.
18. Environment GO, “Effects of Fracking on Health and the Environment”, 2022.
19. World Health Organization, “Household air pollution”, 2022.
20. C40 Cities, “How to encourage residents and businesses to install building-scale clean energy”, 2021.
21. C40 Cities, “How to install solar panels on city-owned property and lead by example”, 2021.
22. Daikin, “Вентилација”, https://www.daikin.mk/mk_mk/area-of-expertise/ventilation.html, 2022
23. Creative commons, “Јаглеводород”, 2022.
24. Gavin Schmidt, “Methane: A Scientific Journey from Obscurity to Climate Super-Stardom”, NASA, 2004.

25. Transberg, Bo, Olivier Corradi, “Real-Time Carbon Accounting Method for the European Electricity Markets”, 2019
26. Fisher Juliya, “Energy Density of Coal”, 2003.
27. Sciencedaily, “Infant Inhalation of Ultrafine Air Pollution Linked to Adult Lung Disease”, 2010.
28. American Heart Association, “Evidence growing of air pollution’s link to heart disease”, 2010.
29. EPA, “Air Pollutants”, 2006.
30. Европска агенција за животна средина, “Предвреме починати луѓе во Европа како последица на долгорочно загадување на воздухот”, 2013
31. World Health Organization, “Exposure from Air Pollution in Cities”, 2013.
32. Jesse D Berman, Jesse Burkhardt, “Acute Air Pollution Exposure and the Risk of Violent Behavior in the United States”, 2019.
33. Colorado state university, “Exposure to Air Pollution increases violent crime rates”, 2019.
34. Pei-Fen Kuo, “Analyzing the relationship between air pollution and various types of crime”, 2021.
35. WHO, “Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease”, 2016.
36. Kampa M, Castanas E. “Human health effects of air pollution”, 2008.
37. Shin J, Park JY, Choi J. “Long-term exposure to ambient air pollutants and mental health status”, 2018.
38. Zeng Y, Lin R, Liu L, Liu Y, Li Y. “Ambient air pollution exposure and risk of depression: A systematic review and meta-analysis of observational studies”, 2019.
39. C40 Cities, “How to make public transport an attractive option in your cits”, 2021.
40. Kouchaki M, Desai SD. “Anxious, threatened, and also unethical: How anxiety makes individuals feel threatened and commit unethical acts”, 2015.
41. Malvina Bondy, Sefi Roth, “Crime is in the Air: The Contemporaneous Relationship between Air Pollution and Crime”, 2019.
42. The World Health Organization (WHO), “Air Quality: Health Impacts of Air Pollution”, 2022.
43. C40 Cities, “How to achieve a walking and cycling transformation in your city”, 2021.
44. The World Health Organization (WHO), “BreatheLife2030”, 2022
45. The World Health Organization (WHO), “Six impactful actions cities can take to improve their air quality”, 2022.
46. C40 Cities, “How to drive a modal shift from private vehicles to public transport, walking and cycling”, 2021.
47. C40 Cities, “Why every city needs universal waste collection and safe disposal as the foundation for sustainable waste management”, 2019.
48. ITDP, “Leapfrogging Past the toxic Urban Highway”, 2021

ПРИЛОГ 1. Air Quality Parameter for Reference

Status/ Pollutant	Good (healthy)	Moderate (umereno)	Unhealthy for Sensitive Groups	Unhealthy	Very Unhealthy	Hazardous
PM 2.5 (μg/m^3)	**< 12**	**12.1 – 35.4**	**35.5 – 55.4**	**55.5 – 150.4**	**150.5 – 250.4**	**> 250.5**
PM 10 (μg/m^3)	**< 54**	**55 – 154**	**155 – 254**	**255 – 354**	**355 – 424**	**> 425**
CO_2 (ppm)	**< 700**	**701 – 1000**	**1001 - 1500**	**1501 – 2500**	**2501 – 5000**	**> 5001**
HCHO (mg/m^3)	**< 0.1**			**> 0.1**		
TVOC (mg/m^3)	**0.0 – 0.6**			**> 0.6**		
AQI	**0 – 50**	**51 – 100**	**101 – 150**	**151 – 200**	**201 – 300**	**> 301**

- **PM2.5** (Particulate Matter 2.5) се однесува на фини честички со дијаметар од 2,5 микрометри или помалку. Поради својата мала големина, **PM 2,5** може да се апсорбираат во **крвотокот** и **белите дробови**, така што долготрајна изложе-ност 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 сл.
- **PM10** (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 **PM2.5**.
- **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**.
- **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.

- **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 стакленѝчки гас кој придонесува во глобалното затоплување. Други јаглеводородни VOCs се исто така значајни стакленѝчки 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..

Вредноста на **AQI** до 100 генерално одговара на национален стандард за ква-литет на воздухот. Кога загадувањето на воздухот се смета за "**нездраво**" (вред-ност од **101** или повеќе) неколку дена по ред (**APAD - Air Pollution Action Days**), Агенцијата ги предупредува луѓето да преземат мерки на претпазливост. **APAD** (денови со зголемено загадување на воздухот) се вообичаени во топли, сончеви денови со слаб ветер, бидејќи во овие денови загадувањето на воздухот останува концентрирано и поблиску до земјата.

Индекс на квалитет на воздухот (AQI) - Нивоа на здравствена грижа (Air Quality Index (AQI) - Levels of Health Concern)

- **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 чувствителни 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.