МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ УНИВЕРЗИТЕТ

INTERNATIONAL SLAVIC UNIVERSITY

МЕЃУНАРОДЕН СЛАВЈАНСКИ ФАКУЛТЕТ
СВЕТИ НИКОЛЕ
РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

ФАКУЛТЕТ ЗА ТЕХНИЧКИ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА
ПОСЛЕДИПЛОМСКИ СТУДИИ

СТУДИСКА ПРОГРАМА
КОМПЈУТЕРСКИ СИСТЕМИ И МРЕЖИ

МАГИСТЕРСКА РАБОТА
Сензорски технологии за следење на квалитетот на воздухот и користење обновлива енергија врз декарбонизација и емисии на загадувачи во воздухот

СТУДЕНТ: Дарко Даме Тасевски
БРОЈ НА ИНДЕКС: М238005
МЕНТОР: Проф. Д-р Маријан Стевановски

Свети Николе, 2025 година

Содржина

Апстракт 6
Abstract 7
ВОВЕД 8
I. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ 9
1.1 Cloud решенија за податоци за загадување на воздухот – софтвер за мониторинг (следење) на квалитет на воздухот во реално време 9
Алатки со кои располага клауд софтверот за следење на квалитетот на воздухот 11
1. Контролна табла 11
2. Основна аналитика 12
3. Индекс на квалитет на воздух (Air Quality Index) 12
4. Компјутеризиран систем за управување со одржување 13
5. Напредна аналитика 13
6. Надворешни извори на податоци 14
7. Мапирање на топлински мапи 14
8. Откривање на извори на загадување 15
9. Пресметување на концентрации на PM честички 15
Веб–базирана облак (клауд) интеракција и визуелизација на податоци за загадување на воздухот 16
Интернет на нешта (Internet of Things) 16
Безжични сензорски мрежи (WSN – Wireless Sensor Networks) 17
HTML, CSS, JavaScript 19
Софтверска архитектура 21
Визуелизација на точки 23
Придонес и значење на информатичките технологии во заштита на животната средина 26
Како технологијата базирана на облак го револуционизира мониторингот на квалитетот на воздухот 27
Еволуција на системите за следење на квалитетот на воздухот 27
Улога на сензорската технологија 28
Компоненти и дизајн на системот 29
Значењето на фирмверот (firmware) 29
Техники за обработка на податоци 30

Обезбедување на квалитет во мониторингот на квалитетот на воздухот 31
Иднината на мониторингот на квалитетот на воздухот базиран на облак..... 31
Архитектура на информацискиот систем AirDMS 32
Комуникациски систем 33
Перспективи на донесувањето одлуки за животната средина во 21 век..... 35
1.2 Сензорски системи за мерење на концентрации на штетни гасови во воздухот, во реално време 38
Сензорски систем за моделирање на локална временска прогноза 42
Сензорски монитори за мерење концентрации на сулфур диоксид (SO2) во воздух, во реално време 45
Извори на сулфур диоксид (SO2) 46
Хиперлокален мониторинг 48
Карактеристики 50
1.3 Како ветерот е поврзан со загадувањето на воздухот 53
Дување на ветер; Зошто толку многу градови имаат сиромашни источни делови (краеви)? 55
Кога мора да се мери ветерот 57
Како се мерат брзината и насоката на ветерот 58
Зошто мрежите за следење на квалитетот на воздухот треба да собираат податоци за брзината и насоката на ветерот 61
Метеоролошки фактори 61
Брзина и насока на ветер 62
Температура 62
Влажност 63
Мерење на видливоста 63
Врнежи од дожд 65
Сончево зрачење 66
Вклучени мерења на брзината и насоката на ветерот во мрежа на Clarity . 66
1.4 Инверзии 66
Нормален термички градиент 67
Симулиран настан на загадување на воздухот 68
1.5 Видови на обновлива енергија што моментално постојат 73
Моменталната состојба на користење на обновлива енергија 74

Квалитетот на воздухот и придобивки од обновлива енергија за јавното здравје ... 80
Влијанија од употреба на обновлива енергија врз декарбонизација и емисии на загадувачи на воздухот ... 82
Обновлива енергија во Европа: Придобивки за климата и енергијата и интеракција со емисиите на загадувачи на воздухот ... 82
Трендови и проекции во Европа во 2024 ... 83
1.6 Мониторинг на квалитетот на воздухот: Како различни видови технологии за мониторинг на воздухот придонесуваат за поцелосно разбирање на загадувањето на воздухот ... 85
Традиционално следење на квалитетот на воздухот со употреба на опрема FRM и FEM ... 86
Мобилно следење на квалитетот на воздухот ... 87
Стационарно следење со сензори за воздух со ниска цена ... 89
1.7 Мониторинг на квалитетот на воздухот со помош на сателити ... 91
Сателитите можат да ја надополнат мрежата за следење на воздухот на копно според законот за чист воздух ... 93
Како сегашниот систем за следење ги помести работите толку наопаку? ... 94
Можат ли да се решат овие проблеми? ... 97
Поставување граници ... 99
Научниците развиваат метод за следење на загадувањето со сателити ... 100
1.8 Други пристапи за следење на квалитетот на воздухот: истражување со употреба на мов во Орегон ... 102
II. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО ... 108
2.1 Практично истражување ... 108
Просечни дневни концентрации на PM2.5 ... 108
Локација: КАМ маркет – излез Дабиље ... 108
Просечни неделни концентрации на PM2.5 ... 109
Просечни дневни концентрации на PM2.5 ... 119
Локација: ООУ “Никола Вапцаров” Струмица ... 119
Просечни неделни концентрации на PM2.5 ... 119
Просечни дневни концентрации на PM2.5 ... 127
Локација: Кружен тек, влез на Струмица (север) ... 127
Просечни неделни концентрации на PM2.5 ... 128
III. АНАЛИЗА НА ИСРАЖУВАЊЕТО ... 136

Заклучни согледувања 136
Загадување на воздухот 137
Користена литература 141
Прилози 144
Листа на слики 144

Апстракт

Зголемената забрзаност на климатските промени и загадувањето на воздухот во урбаните средини го забрза и развојот на напредни сензорски технологии и системи за обновлива енергија. Овој труд ја истражува синергистичката улога на мониторингот на квалитетот на воздухот, овозможен од сензори и усвојувањето на обновлива енергија во поттикнувањето на декарбонизацијата и намалувањето на емисиите на загадувачи. Неодамнешните иновации во дизајнот на сензори – особено оние што користат наноматеријали и IoT рамки - овозможуваат следење во реално време со висока резолуција на клучните загадувачи, како што се NO_x, SO_2, O_3 и испарливи органски соединенија (VOC). Овие технологии им овозможуваат на креаторите на политики и урбаните планери да идентификуваат жаришта на загадување и да спроведат целни интервенции.

Истовремено, интеграцијата на обновливи извори на енергија, како што се: сончевата енергија, ветерот и биоенергијата во урбаните и индустриските инфраструктури значително ја намалува зависноста од фосилни горива, со што се намалуваат емисиите на стаклени гасови. Распоредувањето на паметни мрежи и енергетски ефикасни системи дополнително ги подобрува еколошките перформанси. Овие технологии заедно формираат повратна јамка: сензорите обезбедуваат практични податоци за оптимизирање на употребата на обновлива енергија, додека чистата енергија ги намалува самите загадувачи што се следат. Овој двоен пристап не само што ги поддржува глобалните цели за одржливост туку и поттикнува поздрави животни средини и отпорни урбани екосистеми.

Клучни зборови: климатски промени, емисии на загадувачот, сензорски технологии, мониторинг на квалитетот на воздухот, NO_x (азотни оксиди), SO_2 (сулфур диоксид), O_3 (озон), VOC (испарливи органски соединенија).

Abstract

The escalating urgency of climate change and urban air pollution has accelerated the development of advanced sensor technologies and renewable energy systems. This paper explores the synergistic role of sensor-enabled air quality monitoring and renewable energy adoption in driving decarbonization and reducing pollutant emissions. Recent innovations in sensor design – particularly those leveraging nanomaterials and IoT frameworks – e nable real-time, high-resolution tracking of key pollutants such as NO_x, SO_2, O_3, and volatile organic compounds (VOCs). These technologies empower policymakers and urban planners to identify pollution hotspots and implement targeted interventions.

Simultaneously, the integration of renewable energy sources like solar, wind, and bioenergy into urban and industrial infrastructures significantly curtails reliance on fossil fuels, thereby lowering greenhouse gas emissions. The deployment of smart grids and energy-efficient systems further enhances environmental performance. Together, these technologies form a feedback loop: sensors provide actionable data to optimize renewable energy usage, while clean energy reduces the very pollutants being monitored. This dual approach not only supports global sustainability goals but also fosters healthier living environments and resilient urban ecosystems.

Keywords: climate change, pollutant emissions, sensor technologies, air quality monitoring, NO_x (nitrogen oxides), SO_2 (sulfur dioxide), O_3 (ozone), VOC (volatile organic compounds).

ВОВЕД

Во ерата на климатски промени и зголемена еколошка свест, потребата за иновативни решенија за следење и подобрување на квалитетот на воздухот станува сè поитна. Сензорските технологии играат клучна улога во оваа трансформација, овозможувајќи прецизно и континуирано следење на емисиите на загадувачи, како што се јаглерод диоксид (CO_2), азотни оксиди (NO_x), и фини честички (PM2.5 и PM10). Овие технологии не само што овозможуваат во реално време анализа на состојбата на воздухот, туку и придонесуваат кон поефикасно планирање на мерки за декарбонизација.

Истовремено, преминот кон обновливи извори на енергија – како што се сончевата, ветерната и хидроенергијата – претставува фундаментален чекор кон намалување на емисиите на стаклени̇чки гасови. Комбинирањето на сензорски системи со обновливи енергетски решенија создава синергиски ефект: овозможува не само мониторинг, туку и оптимизација на енергетската потрошувачка и намалување на зависноста од фосилни горива.

Јагленот е еден од највалканите начини за производство на електрична енергија (енормно го загадува воздухот што го дишеме со многу штетни последици по здравјето на луѓето и животната средина и создава канцерогени загадувачи), па затоа речиси сè ќе изгледа почисто во споредба со него. Често слушаме дека природниот гас е “чист“. Во споредба со јагленот, природниот гас произведува помалку емисии на глобално затоплување и загадување на воздухот. Факт е дека електраните на природен гас сè уште произведуваат значителна количина на загадување на воздухот, а тоа е проблем.

Оваа тема ги обединува технолошките иновации и еколошките стратегии, истражувајќи како дигитализацијата и енергетската транзиција можат заеднички да придонесат кон почист воздух, здрави заедници и одржлива иднина.

I. ТЕОРЕТСКИ ДЕЛ

1.1 Cloud решенија за податоци за загадување на воздухот – софтвер за мониторинг (следење) на квалитет на воздухот во реално време

Клауд (облак) технологија за визуелизирање и анализирање на податоци собрани од хиперлокална сензорска мрежа е лесен за користење софтвер за анализа на податоци за донесување одлуки. Овозможува пристап до податоци во реално време собрани од обемна сензорска мрежа за да се донесуваат одлуки што помагаат да се подобри квалитетот на воздухот во животната средина и да се заштити здравјето на луѓето. Овозможува далечинско управување со мрежата, управување со сензорските уреди и системи, поставување аларми, калибрирање и извршување на теренски операции.

Клауд решението претставува модуларен и флексибилен софтвер кој е дизајниран да го олесни управувањето со кориснички пресметки, лесно работење на мрежата, интуитивната анализа и валидација на податоци и брзо и интуитивно известување,

Карактеристики на клауд решение:

- Базирано во облак.
- Гарантирани сигурни (надежни – reliable) податоци.
- Флексибилно и скалабилно.
- Повеќе корисници.
- Интеграција на податоци.
- Напредни алатки.

Ваквото решение овозможува да се анализира и разбере однесувањето на загадувањето на воздухот, особено во урбани средини, каде загадувањето на воздухот се разликува во микро локации, и концентрациите на параметри на загаден воздух можат неколку пати да бидат поголеми од она што го покажуваат државните референтни станици, кои обично покриваат големи површини – обично една ваква референтна станица постои во градовите (пример: во Скопје

има пет референтни станици, а во поголемите градови во Македонија има по една ваква референтна сензорска станица).

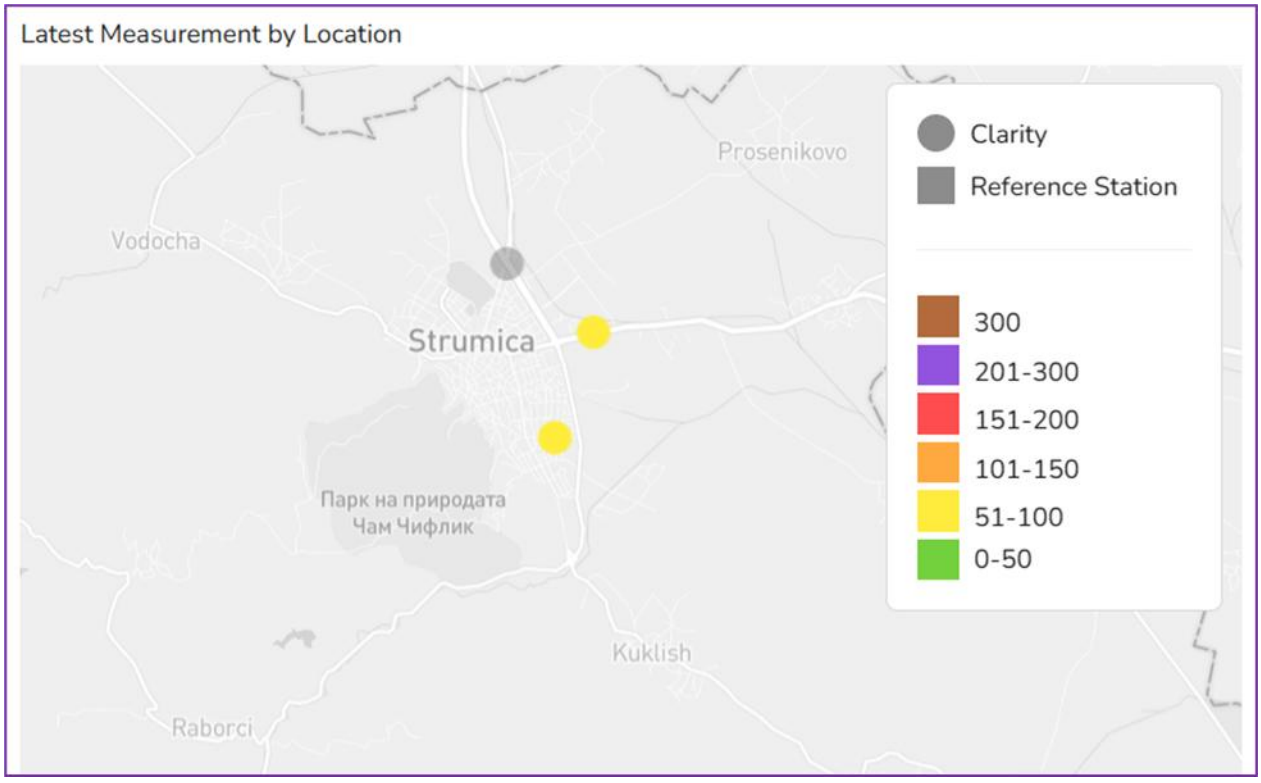
Благодарение на клауд софтверот за мониторинг на квалитетот на воздухот, се добиваат следните бенефити:

- Безбедност и доверливост.
- HTTPS/SSL протоколи. Доверливоста и сопственоста на податоците се гарантирани со EULA (меѓународен стандард).
- Континуирани ажурирања.
- Извештаи за квалитет на воздухот.
- Креирање прилагодени извештаи за да се прикажат податоците за AQ (квалитетот на воздухот) во потребните формати за споделување со клиентите или надворешни агенции.
- Автоматски надзор
- Далечинско следење на здравјето на сензорските мониторинг станици и сензори и решавање проблеми со автоматски совети.
- Гарантирани сигурни податоци.
- Обезбедување сигурни податоци благодарение на автоматското поништување на податоците. Користење напредните алгоритми за автоматско означување на податоците.
- Идентификација на извори на загадување и жаришта.
- Моќни алатки за квалитет на воздух и напредна визуелизација на податоци преку визуелна мапа.
- Далечинско решавање проблеми.
- Сервисирање, дијагностицирање и решавање проблеми со мониторинг станици од далечина. Добивање далечинска поддршка.
- Лесно споделување и интеграција на податоци.
- Споделување на собраните податоци преку API или експортирање во различни формати. Вметнување податоци од уреди од трети страни.
- Јавни податоци за квалитет на воздухот (секој поединец, на својот мобилен уред, во секое време, може да го следи квалитетот на воздухот).
- Креирање јавни веб-портали и виџети за споделување на податоци за квалитет на воздухот на засегнати страни.

Алатки со кои располага клауд софтверот за следење на квалитетот на воздухот

1. Контролна табла

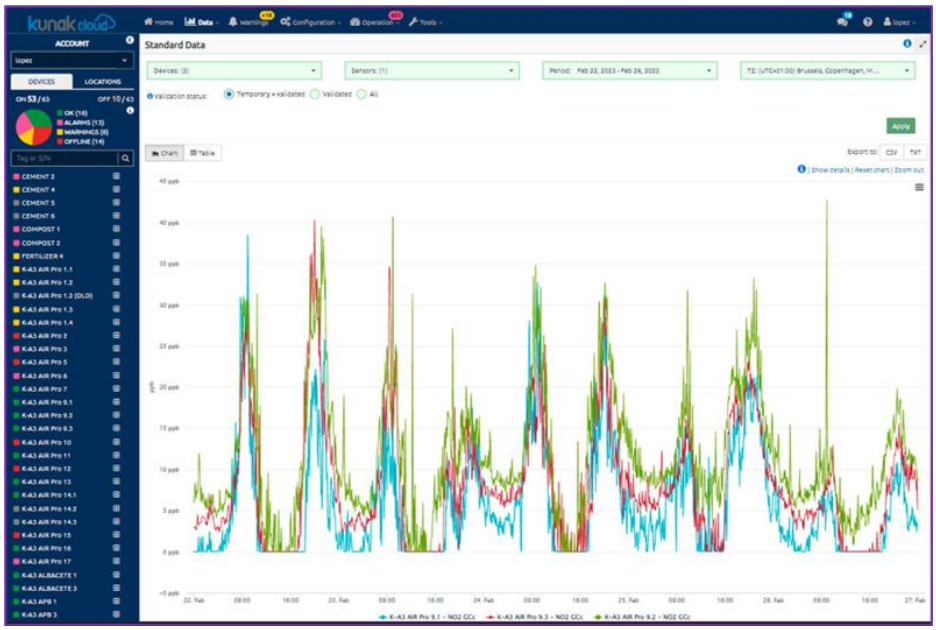
Ја проверува состојбата на сите сензорски уреди кои се поставени во сензорската мрежа и овозможува лесно прегледување на веродостојни податоци во реално време, благодарение на автоматско означување на податоците.



Слика 1.1. Контролна табла на Clarity сензорска мрежа мрежа лоцирана во градот Струмица (од три сензорски монитори, еден монитор е привремено неактивен). (Извор: Clarity movement Co. dashboard)

2. Основна аналитика

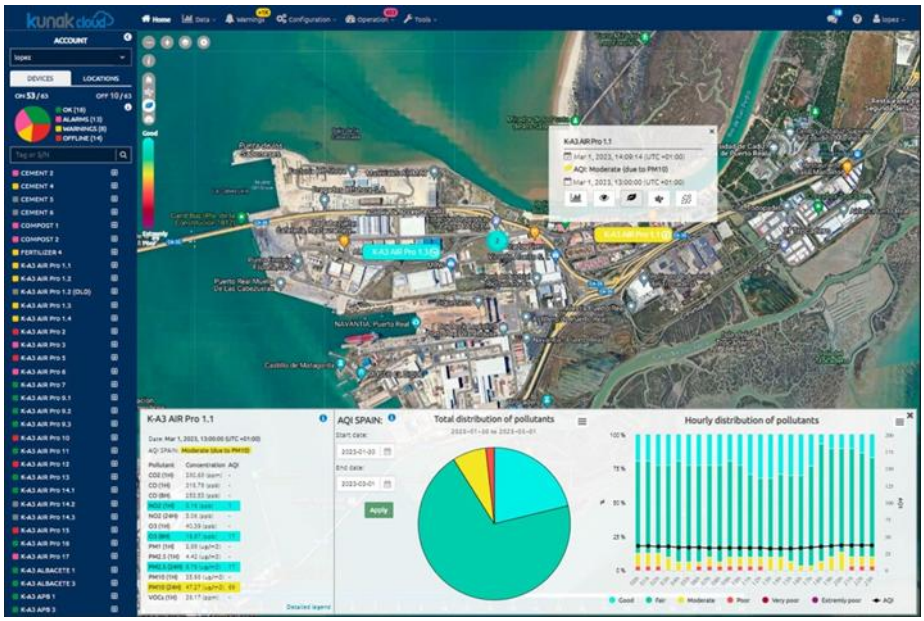
Дава преглед на стандардни податоци, просечни пресметки (часовни, дневни) и основна статистика.



Слика 1.2. Прикажување на концентрации на параметри на загаден воздух (часовни вредности). (Извор: Kunak cloud technology)

3. Индекс на квалитет на воздух (Air Quality Index)

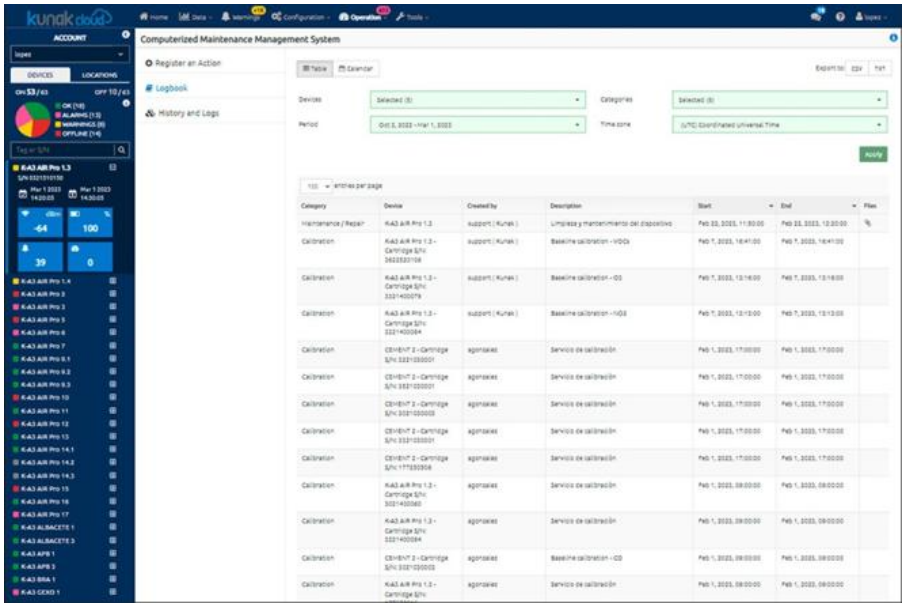
Прикажување на стандардни податоци, пресметки на часовни/дневни просе-ци и основна статистика.



Слика 1.3. Приказ на Индекс на квалитет на воздух на микро локации во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology)

4. **Компјутеризиран систем за управување со одржување** (CMMS - Computerised maintenance management system)

Компјутерски систем за управување со одржување за олеснување на одржу-вањето на уредите, евидентирање на сите работи за одржување.



Слика 1.4. Компјутеризиран систем за управување со одржување на сензорска мрежа. (Извор: Kunak cloud technology)

5. Напредна аналитика

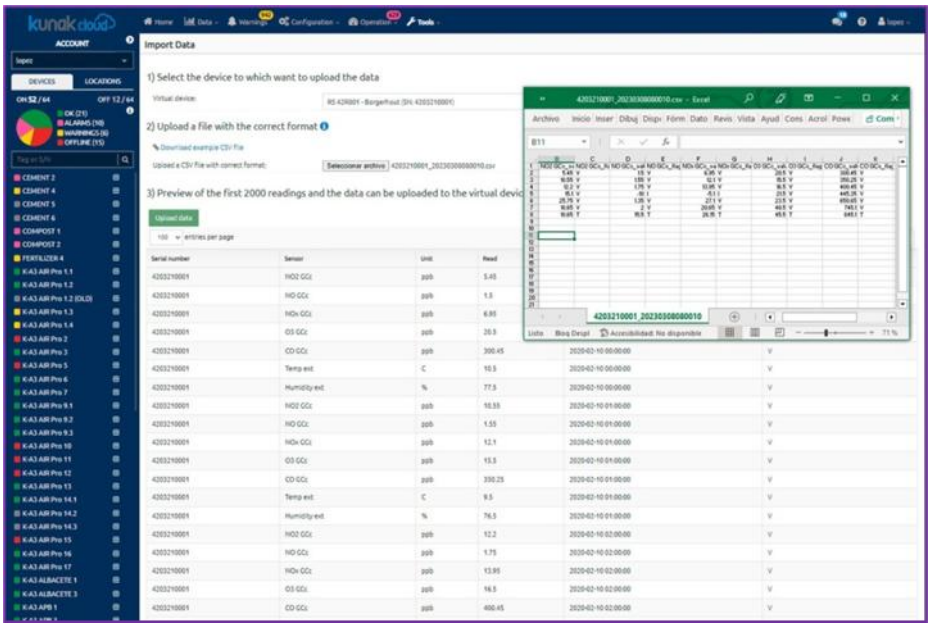
Напредна аналитика од пакет OpenAirMap, како што се пресметка на основна статистика, временски графикони на загадувачите, време, ветер и др.



Слика 1.5. Напредна аналитика со повеќе елементи. (Извор: Kunak cloud technology)

6. Надворешни извори на податоци

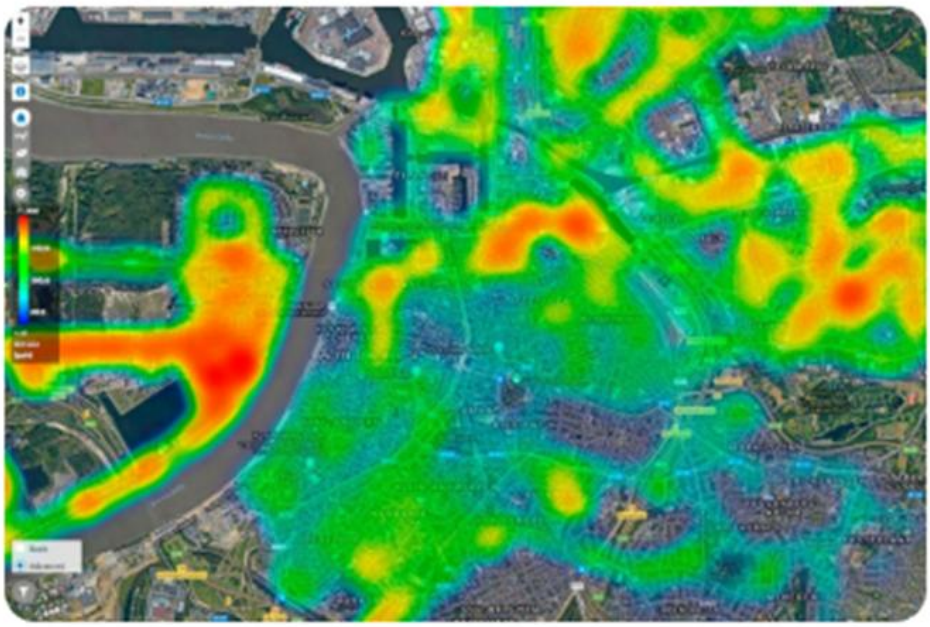
Интеграција на други извори на податоци во реално време или преку увоз на датотеки.



Слика 1.6. Интеграција со надворешни бази на податоци. (Извор: Kunak cloud technology)

7. Мапирање на топлински мапи

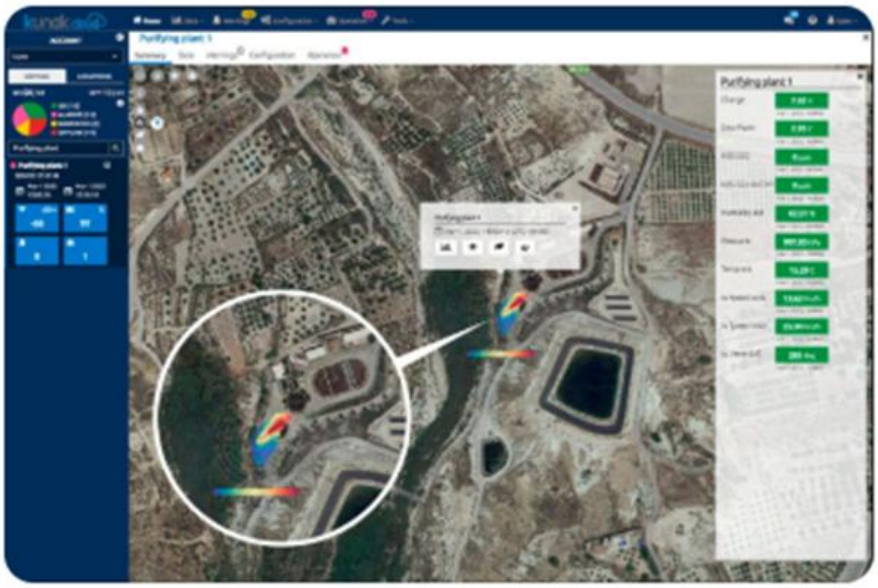
Идентификување жаришта на загаување во одредена област и мапи на вари-јабилна топлина за да се види како тие еволуираат со текот на времето.



Слика 1.7. Идентификување жаришта на загадување во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology)

8. Откривање на извори на загадување

Детекција на извори на загадување преку рози на загадување и поларни графикони директно на мапата.



Слика 1.8. Идентификување жаришта на загадување во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology)

9. Пресметување на концентрации на PM честички

Алатка за анализа на големината на честичките, вклучувајќи графикони за распределба на големината по маса и по број на честички.



Слика 1.9. Идентификување и прикажување на концентрации на PM честички. (Извор: Kunak cloud technology)

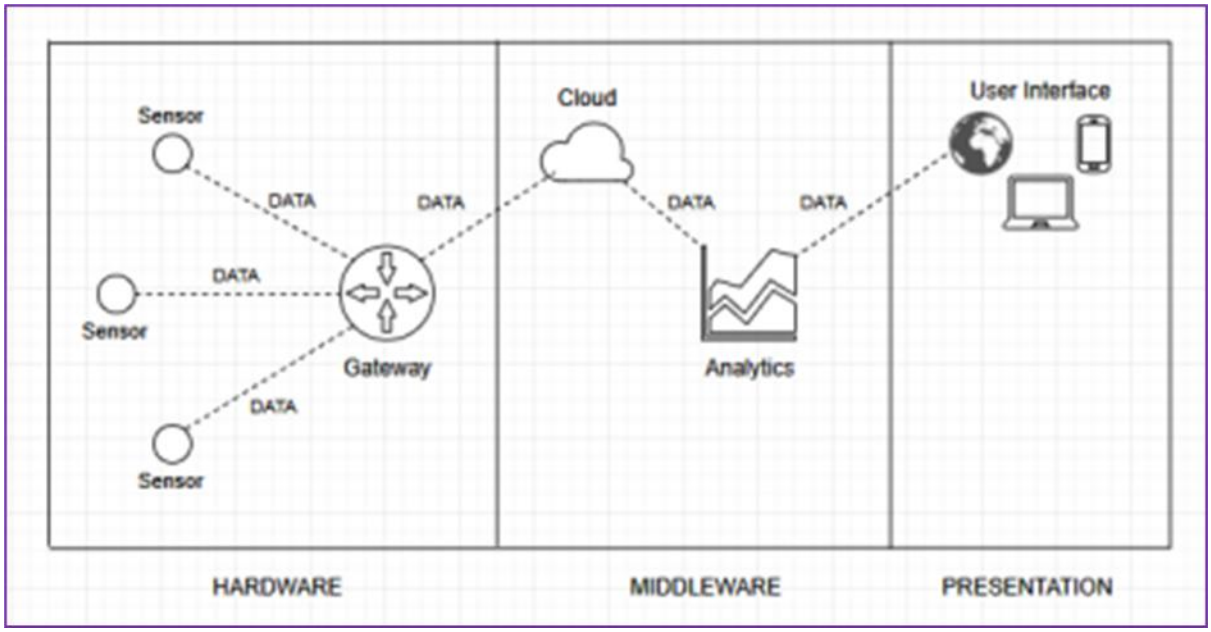
Веб–базирана облак (клауд) интеракција и визуелизација на податоци за загадување на воздухот

Со користење на технологии како што се облак-компјутерство, RFID, безжични сензорски мрежи и отворени интерфејси за апликациски програми, стана полесно да се собираат податоци за визуелизација на различни платформи. Сепак, собраните податоци треба да бидат претставени на ефикасен начин за подобро разбирање и анализа, што бара дизајнирање на алатки за визуелизација на податоци.

Интернет на нешта (Internet of Things)

Со години, компјутерите беа поврзани едни со други преку интернет и ова го отвори патот кон идејата за поврзување на други објекти (нешта) за да се обезбеди глобална мрежа со тоа што машините и уредите ќе комуницираат едни со други. Оваа технолошка парадигма се нарекува Интернет на нештата (IoT), а прогнозата покажува дека IoT ќе достигне 26 милијарди единици до 2020 година и ќе има влијание врз информациите што се достапни моментално.

Технологии на Интернет на нешта има три главни компоненти од перспектива на високо ниво: хардвер, посреднички софтвер и презентација. Хардверот се состои од сензори и вграден комуникациски хардвер. Посредничкиот софтвер се базира на компјутерски алатки, складирање на податоци и аналитика. Конечно, презентацијата е алатка за визуелизација што поддржува различни платформи за подобро толкување на податоците. Најчесто користени компоненти: хардверски слој, радиофреквентна идентификација (RFID), безжични сензорски мрежи (WSN) и шеми за адресирање се широко користени за собирање податоци. Потоа, собраните податоци се складираат, обработуваат и анализираат во посреднички слој со помош на различни технологии како што се cloud computing и машинско учење. Конечно, за да може анализата да се направи пографичка, имплемен-тирани се алатки за визуелизација, што е слојот за презентација. Преглед на оваа структура е илустриран на Слика 10.

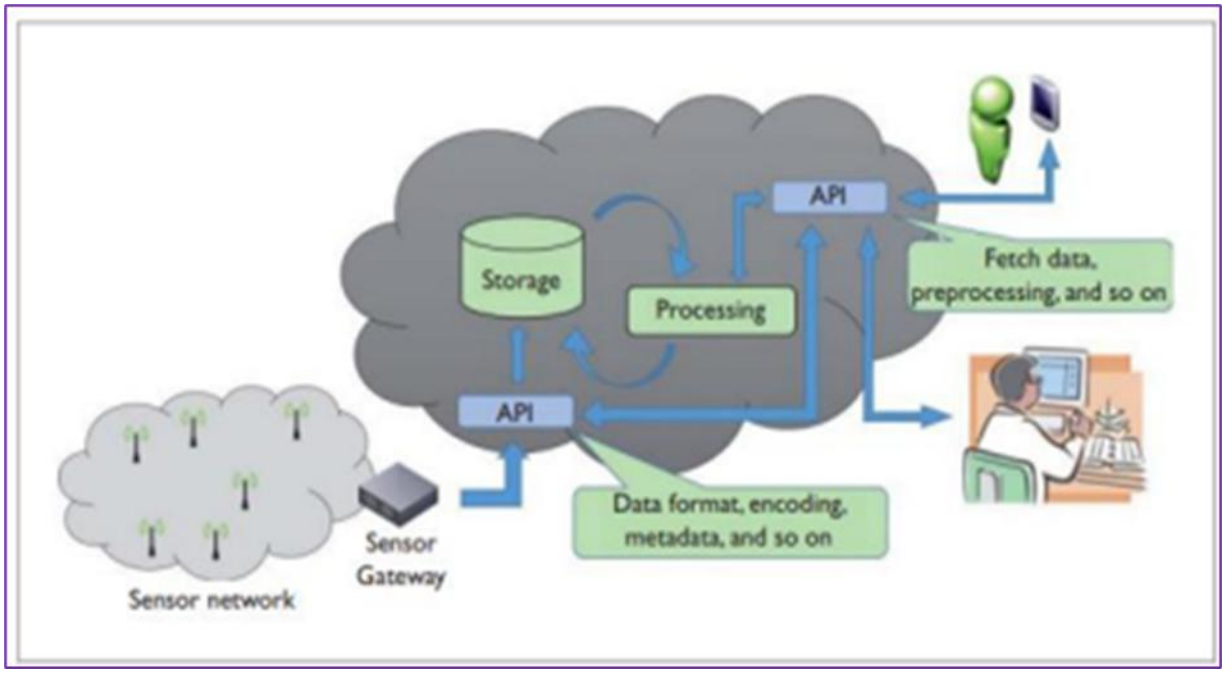


Слика 1.10. Internet of Things компоненти. (Извор: Clarity movement Co.)

Безжични сензорски мрежи (WSN – Wireless Sensor Networks)

Безжичните сензорски мрежи (WSN) се користат за следење на условите на животната средина и се состојат од дистрибуирани сензори за собирање податоци. Тие можат да комуницираат со RFID уреди за подобро следење со земање предвид на локацијата, температурата и движењата. Податоците од сензорите се споделуваат меѓу сензорските јазли и се испраќаат до дистрибуиран или централизиран систем за аналитика. WSN мрежата за следење вклучува различни компоненти

- WSN хардвер: Јазол кој содржи сензорски интерфејси, единици за обработка, примопредаватели и напојување.
- WSN комуникациски модул: Се состои од топологија, рутирање и MAC слој за јазлите да комуницираат меѓу себе.
- WSN посреднички софтвер: Комбинира сајбер инфраструктура со архитектура ориентирана кон услуги (SOA) и сензорски мрежи.
- Безбедна агрегација на податоци: Го продолжува животниот век на мрежата и обезбедува сигурно собирање податоци од сензорите.



Слика 1.11. Безжични сензорски мрежи - архитектури. (Извор: Clarity movement Co.)

Целокупната архитектура на системот се состои од мрежа од сензори кои доставуваат податоци преку еден или повеќе портали во платформа за пресметување базирана на облак со складирање на базата на податоци во позадина. Имплементиран е API (4Dialog API) за да се испитаат пост-обработените множества податоци кои се подготвени и вратени на клиентот од страна на ресурсите за пресметување базирано на облак. Бидејќи сите податоци и API-ја се импле-ментирани со користење на отворени технологии, до нив може лесно да се прис-тапи за да се користат за имплементација на различни апликации.

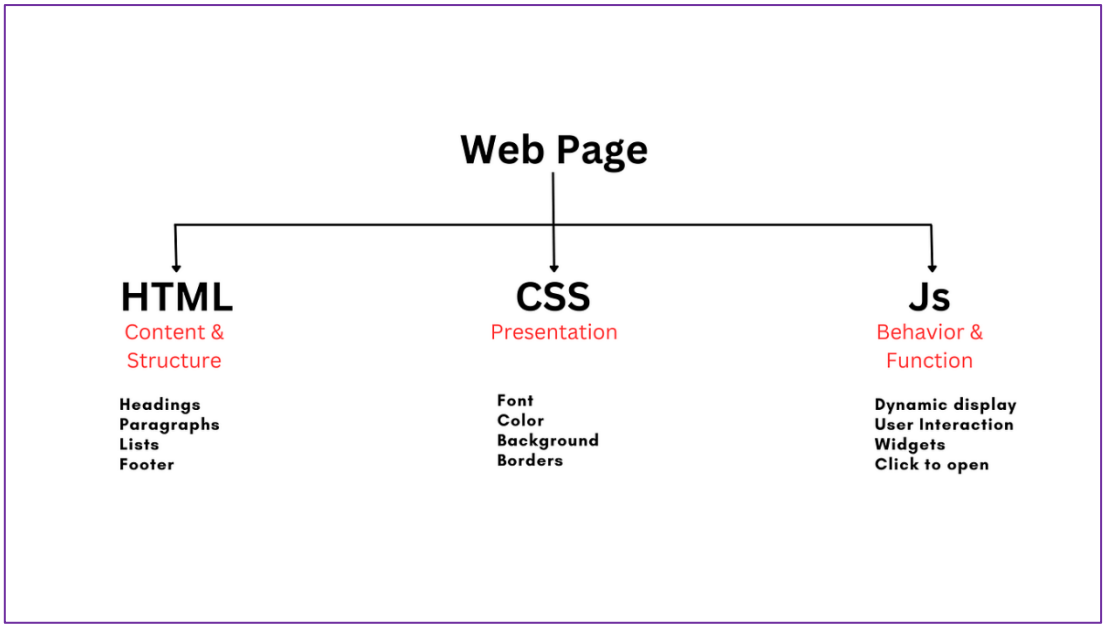
Како што може да се види на Слика 11, делот од системот од хардверскиот слој се состои од WSN (безжична сензорска мрежа) и сензорска порта поврзана со слојот на посреднички софтвер. Посредничкиот софтвер на системот вклучува складиште во облак што се користи, обработка извршена преку технологии за машинско учење и имплементирани API - ја за да се направат податоците достапни. Конечно, слојот презентацијата ги претставува апликациите имплементирани со преземање на податоците од слојот на посреднички софтвер преку имплементираните API - ја.

HTML, CSS, JavaScript

Јазикот за хипертекст означување (HTML) е јазик за означување дизајниран за креирање веб-страници и веб-апликации. HTML-датотеките што се складираат на веб-сервер или локално складирање, се претвораат во веб-страници од веб-прелистувачи, а HTML го опишува изгледот на страницата со нејзините дефинирани елементи. Широко се користи за веб-страници и има вградени елементи како форми што се користат во проектот. Покрај тоа, е брз и лесен за учење, како и лесен за креирање само со едноставен уредувач на текст. Јазикот Cascading Style Sheets (CSS) го опишува стилот на HTML-документите со идентификување на елементите имплементирани во нив. Го поедноставува одржувањето на веб-страницата или веб-апликацијата со одвојување на содржината и стилот.

JavaScript (JS) е динамички скриптен јазик за веб од страна на клиентот кој поддржува објектно-ориентирани, императивни и функционални стилови на програмирање. Ги извршува скриптите во HTML-веб-страниците од страна на клиентскиот компјутер за контролирање на веб-прелистувачите, интеракција со кори-сникот и менување на содржината во прозорецот на веб-прелистувачот преку објекти. Причините за користење на HTML и CSS одделно во проекти во однос на другите застарени методи се следниве:

- **Ефикасност**: Секој пат кога корисник ќе отвори веб-страница, се презема соодветната HTML-датотека, што троши повеќе пропусен опсег во случај нејзината големина да е огромна. Покрај тоа, во случај на поголеми HTML-датотеки, потребно е многу повеќе време за преземање, а цената е поголема. Оттука, подобра алтернатива е користење едноставни HTML-датотеки за секоја страница со ставање на информациите за стилизирање и распоред во една посебна CSS-датотека што ќе се преземе само еднаш.

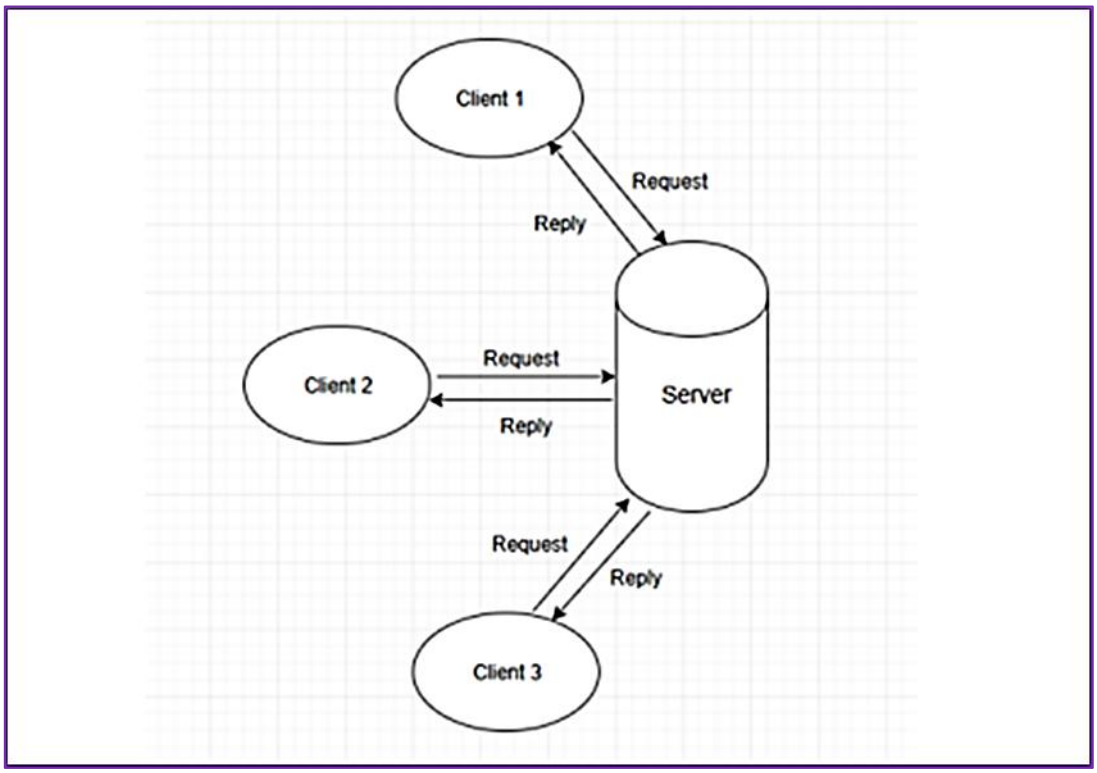


Слика 1.12. Компоненти на Веб страна. (Извор: Clarity movement Co.)

- **Одржување**: Кога информациите за стилизирање и распоред се на едно место, тоа значи дека развивачот треба да ја промени само таа датотека, наместо да ги менува сите страници (HTML-датотеки) за да го промени изгледот на веб-страницата.
- **Пристапност**: Корисниците со оштетен вид можат да користат софтвери за читање на екран за да пристапат до информациите на веб-страниците преку звук, а не преку вид, така што софтверот им ја чита страницата на глас. А за корисниците со оштетена подвижност, постојат софтвери за гласовно внесување кои им овозможуваат на корисниците да се движат по веб-страницата со гласовни команди. Користењето едноставни HTML-да-тотеки го олеснува навигацијата по страницата и побрзото добивање на информациите.
- **Компатибилност на уреди**: Бидејќи HTML-датотеката е обична ознака без информации за стилизирање, може да се применат различни стилски листови за да биде компатибилна со различни уреди.
- **Веб-пребарувачи/пребарувачи**: За веб-страниците лесно да бидат пронајдени од пребарувачите, пребарувачите треба да можат лесно да ги читаат страниците за да ја пронајдат содржината. Користењето едноставни HTML страници им олеснува на пребарувачите да ги толкуваат насловите, што ги прави страниците повисоко рангирани во резултатите од пребарувањето.

– **Добра практика**: Во моментов е познат стандард за одвојување на содржината, стилот и однесувањето за развој на веб-апликација.

HTTP, од друга страна, се базира на клиент-сервер модел (прикажан на Слика 13), кој бара од клиентот да испрати барање до серверот и серверот да испрати одговор. Тоа е широко користен протокол за Интернет и може да се користи и за IoT уреди за објавување податоци. Флексибилен е, лесен за имплементација и има огромна база на развивачи. Исто така, помага да се поедностави архитектурата со тоа што не е потребна клиентска библиотека за да може да се преземат податоци.

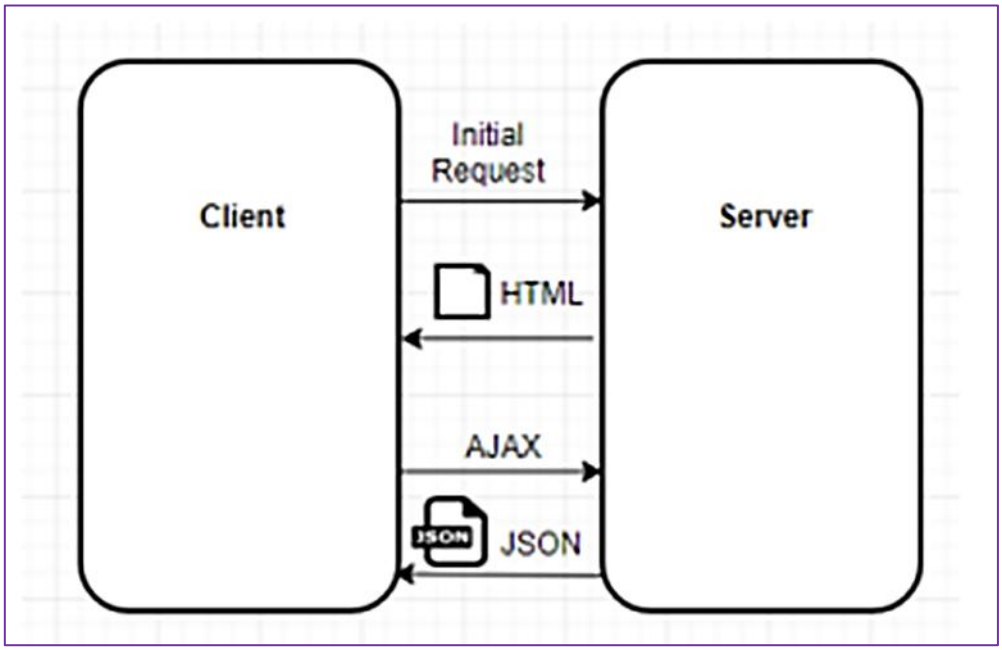


Слика 1.13. Клиент – сервер модел на HTTP. (Извор: Clarity movement Co.)

Софтверска архитектура

Алатката за визуелизација е имплементирана како апликација со една страница (SPA - Single Page Application) за да се спречи слаба интерактивност и одзивност предизвикани од природата на матичната веб-апликација. SPA е тип на веб-апликација која се состои од една страница која не се вчитува редовно, со што обезбедува подобро корисничко искуство поради подобри перформанси. Тра-диционалните веб-апликации имаат проблеми со перформансите поради логиката на страната на серверот, што може да се види на Слика 13. SPA го решава овој проблем со извршување на логиката на корисничкиот интерфејс во

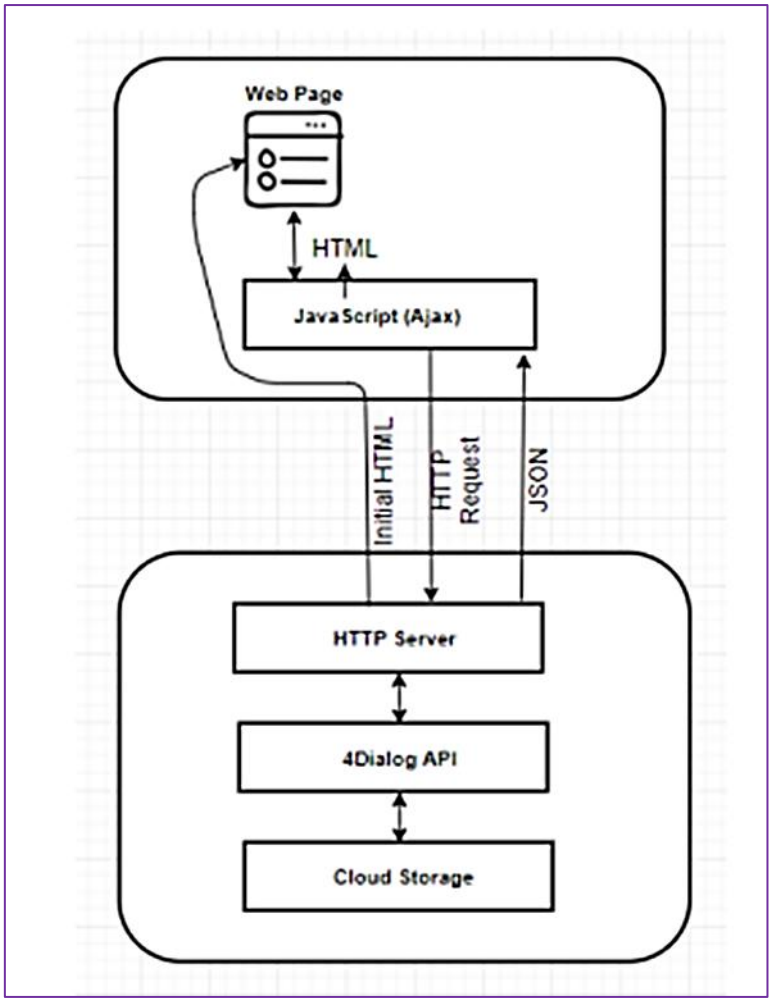
веб-прелистувач со користење на HTML шаблони, а разликата може да се забележи на Слика 14.



Слика 1.14. Клиент – сервер модел со користење HTML шаблони (Single Page Application проток). (Извор: Clarity movement Co.)

Традиционалните нативни апликации вчитуваат HTML, CSS и JS секој пат кога страницата повторно ќе се вчита. SPA - апликациите го намалуваат ова оптоварување на серверот со одвојување на серверот и предниот дел, и на овој начин обезбедуваат подобро корисничко искуство.

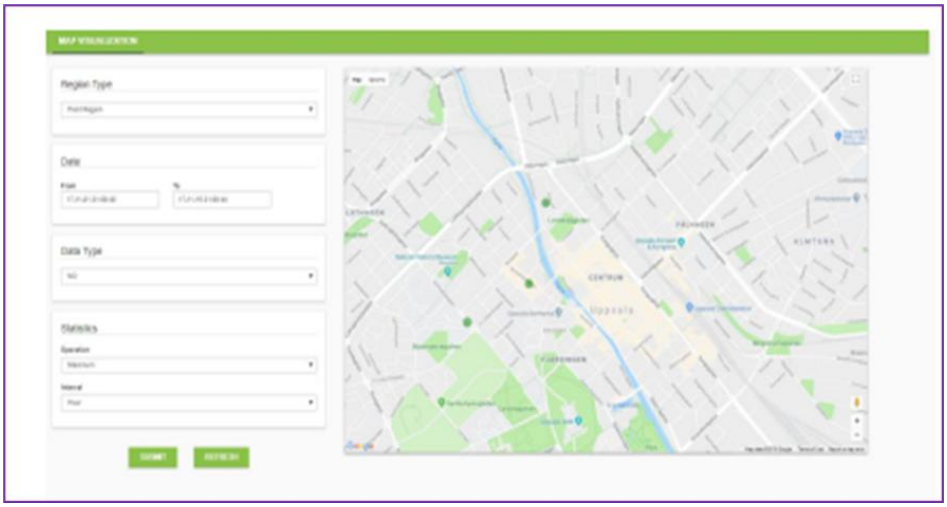
Слика 15 прикажува софтверската архитектура на алатката за визуелизација имплементирана во проект за мониторинг на загадување на воздухот, со помош на SPA концептот. Веб-прелистувачот се состои од веб-страница и JavaScript, а задниот дел е одделен со HTTP серверот, јавниот 4Dialog API што се користи во апликацијата и складиштето во облакот од каде што се преземаат податоците. Важно е да се напомене дека ваков проект користи веќе изграденото складиште (мемориски келии) во облакот и 4Dialog API. Тие делови не се дел од имплементацијата, туку алатки што се користат за преземање податоци за визуелизација.



Слика 1.15. Софтверската архитектура на алатка за визуелизација имплементирана во проект за мониторинг на загадување на воздухот. Извор: Clarity movement Co

Визуелизација на точки

Како што се гледа на Слика 16, ако корисникот го избере Точкест регион како тип на регион на страницата, мапата му/ѝ овозможува да кликне и да постави зелени кружни маркери на мапата.



Слика 16. Точкести маркери (кружни маркери). (Извор: Clarity movement Co.)

Вредностите на географската ширина и должина на секоја точка се испраќаат до API-то во комбинација со други опции за филтрирање за да се добие една добиена вредност за секоја точка што треба да се визуелизира. Пример за барање и одговори за регионот на точките е даден на Слика 17 и слика 18 (софтверска програма за одредување концентрации на PM2.5 честички точно дефинирани кру-жни маркери на дадена локација).

```
{
        “TimeInterval”;
        {
                “From”, “2026-02-14 20:00:00”,
                “To”, “2026-02-14 22:00:00”,
        },
        “Region”:
        {
                “Type”; “PointRegion”,
                “Points”:
        {
                        {
                                “Longitude”: 23.7536,
                                “Latitude”:  46.2839,
                        },
        {
                                “Longitude”: 23.7536,
                                “Latitude”:  46.2839,
                        }
                }
        },
        “Dataset”: “NO”,
        “Statistics”:
        {
                “Operation”: “cNone”,
                “Interval”: “cHour”,
                “GetAccuracies”: False
        },
}
```

Слика 1.17. Point Region Request JSON Example (софтверска програма за креирање точкести маркери со точно зададена географска должина и ширина). (Извор: авторот на овој магистерски труд)

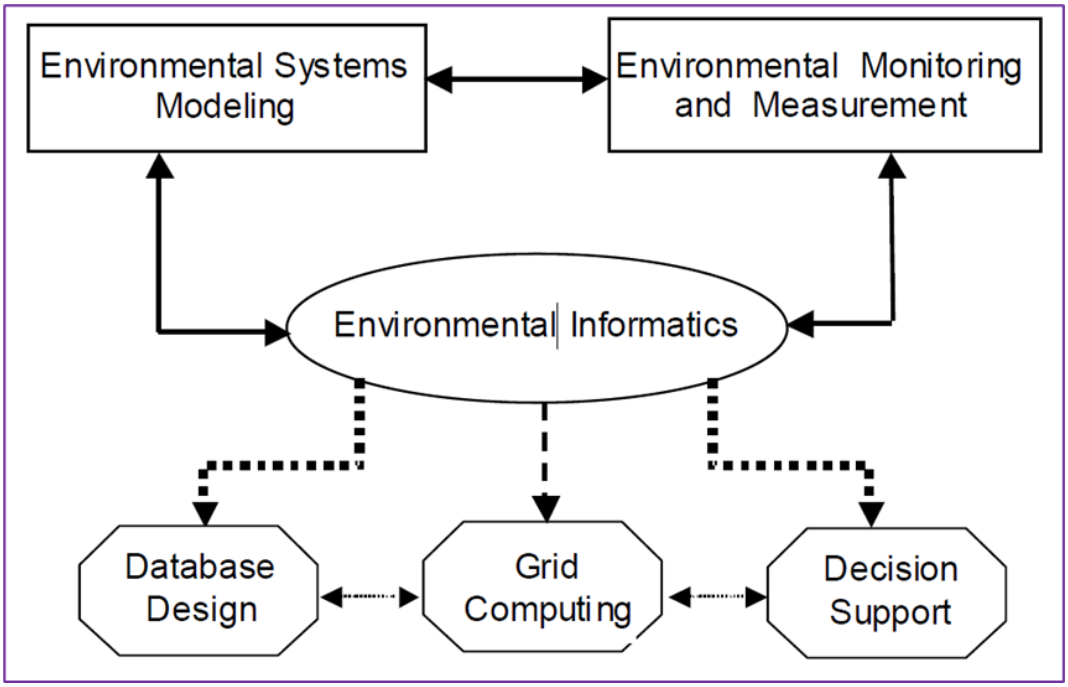
```
{
        “Replies”;
    {
        {
        "Type":  "DataReply",
    "Position":
            “Longitude”: 23.7536,
            “Latitude”:  46.2839,
    },
    "Accuracy": 0.99,
    "Unit": "µg/m3",
    "Data":
    {
            41.58,
            57.19,
            81. 47
            }
        },
    }
    "Type":  "DataReply",
    "Position":
            “Longitude”: 23.7536,
    “Latitude”:  46.2839,
    },
    "Accuracy": 0.99,
    "Unit":  "µg/m3",
    "Data":
    {
            38.29,
            46.24,
            72.31
            }
}

"Status": 0,
"Message": "Success",
"FirstSampleTime": 2026-02-14T20:00+01:00",
"SampleInterval"; "3600"
```

Слика 1.18. Point Region Request JSON Example (софтверска програма за креирање точкести маркери со точно зададена географска должина и ширина). (Извор: автор на овој магистерски труд)

Придонес и значење на информатичките технологии во заштита на животната средина

Како интердисциплинарна област, истражувањето на информатиката за животната средина е всушност интегративен напор. Слика 19 ја опишува интегративната структура помеѓу моделирањето на системите за животната средина, мониторингот и мерењето на животната средина и информатиката за животната средина. Напредокот на вештините за синергија на сензорите и телекомуникациската технологија ја прават изводлива шемата за земање примероци на земја во голем обем. Главните тешкотии поврзани со таков напор лежат врз синтезата на моделот кога се работи со различни карактеристики, размери и сложености. Тие вклучуваат ракување и поврзување помеѓу различни модели за симулација, оптимизација и проценка, како и поврзаните информациски технологии и платформи, поврзување помеѓу влезните и излезните податоци на различните технологии, квантификација на голем број социо-економски фактори и постапка за решавање на добиените интегрирани модели на големи размери. Овие тешкотии влијаеја на практичната применливост на интегрираниот пристап (Fenz et al., 1998; Scharf, 1998; Vijayan et al., 1999). Соочувајќи се со овие тешкотии, од суштинско значење е да се стекне увид во интегративните напори со цел да се идентификуваат ефикасни пристапи за надминување или ублажување на овие предизвици.



Слика 1.19. Компоненти на информатиката за животната средина и нивните релевантни интеракции. (Извор: Агенција за животна средина на ЕУ)

Како технологијата базирана на облак го револуционизира мониторингот на квалитетот на воздухот

Широко распространетото усвојување на технологијата базирана на облак предизвика значителни иновации во следењето на квалитетот на воздухот, фундаментално трансформирајќи го начинот на кој ги перцепираме и се справуваме со предизвиците на загадувањето на воздухот.

Со искористување на напредните можности на cloud computing, системите за следење на квалитетот на воздухот ги надминаа своите претходни ограничувања, еволуирајќи во динамични мрежи способни да обезбедат податоци во реално време од различни локации до централизирана платформа.

Оваа транзиција означува парадигматска промена во нашиот пристап кон управувањето со квалитетот на воздухот (моќта на податоците да се пренесе од институциите на заедниците – до секој поединец), со импликации што ги опфаќаат еколошката наука, јавното здравје и урбанистичкото планирање.

Еволуција на системите за следење на квалитетот на воздухот

Еволуцијата на системите за следење на квалитетот на воздухот е поттикната од технологијата базирана на облак, нудејќи револуционерно решение за надминување на ограничувањата на традиционалните методи за следење.



Слика 1.20. Сензорски монитор со прикажано ниво на PM2.5 честички во воздух. (Извор: Clarity movement Co.)

Оваа еволуција означува холистички пристап кон анализата на податоци и интеграцијата на сензорите. Современите системи сега можат ефикасно да ракуваат со огромни збирки на податоци од безброј сензори дисперзирани на повеќе локации, покажувајќи ја скалабилноста на мрежата.

Системите за следење на квалитетот на воздухот базирани на облак обезбедуваат можности за следење во реално време, значително подобрувајќи се во однос на традиционалните методи кои често даваат одложени резултати.

Оваа функционалност во реално време овозможува брзи одговори на флуктуациите во квалитетот на воздухот, со што се ублажуваат потенцијалните здравствени ризици и штетите врз животната средина.

Понатаму, интегрирањето на разновидни сензори овозможува сеопфатна анализа на различните параметри на квалитетот на воздухот, овластувајќи ги засегнатите страни да осмислат стратегии за намалување на загадувањето и зачувување на животната средина.

Оваа интеграција го следи влијанието врз животната средина и го олеснува активното управување, нагласувајќи го трансформативниот потенцијал на технологијата базирана на облак во промовирањето на почист воздух.

Улога на сензорската технологија

Интеграцијата на сензорската технологија е клучна за подобрување на ефикасноста и прецизноста на системите за следење на квалитетот на воздухот.

Точноста на сензорите е од најголема важност бидејќи директно влијае на веродостојноста на собраните податоци за анализа на квалитетот на воздухот, со што се обликуваат проценките на влијанието врз животната средина.

Покрај точноста, сензорите мора да покажат робусност во однос на барањата за одржување, обезбедувајќи конзистентно собирање и пренос на податоци.

Веројатноста на преносот на податоци е особено клучна во системите базирани на облак, каде што анализата во реално време е императив.

Понатаму, оптимизацијата на енергијата на сензорските технологии е од суштинско значење во ерата обележана со растечка енергетска свест. Со минимизирање на потрошувачката на енергија, сензорите можат да се распоредат пошироко без значително зголемување на вкупниот енергетски отпечаток.

Компоненти и дизајн на системот

Развивањето на систем за следење на квалитетот на воздухот базиран на облак бара прецизно внимание на дизајнирањето и имплементацијата на различни компоненти, од кои секоја исполнува посебна улога во собирањето, преносот и анализата на податоци.

Клучните компоненти вклучуваат интеграција на сензори, управување со енергијата и мерки за заштита од временските услови. Ефективната интеграција на сензорите овозможува сеопфатно собирање податоци, додека робусното упра-вување со енергијата обезбедува конзистентно работење на системот.



Слика 1.21. Користење врвна технологија за сензори за мерење концентрации на параметри во воздух. (Извор: Clarity movement Co.)

Мерките за заштита од временските услови ги заштитуваат компонентите на системот од неповолни услови, зголемувајќи ја целокупната сигурност.

Дополнително, механичкиот дизајн и скалабилноста се витални аспекти што ја поткрепуваат прилагодливоста на системот и можностите за проширување, што го прави робусно решение за иницијативи за следење на квалитетот на воздухот во големи размери.

Значењето на фирмверот (firmware)

Разбирањето на значењето на фирмверот во систем за следење на квалитетот на воздухот базиран на облак бара сеопфатно разбирање на неговата улога во регулирањето и координирањето на различните системски функционалности.

Фирмверот, вграден во системскиот хардвер, ги регулира операциите како што е калибрацијата на сензорот, обезбедувајќи точност и сигурност на собраните податоци.

Оптимизацијата на фирмверот е клучна за подобрување на перформансите и ефикасноста на системот, олеснување на ракувањето со големи количини на податоци и овозможување робусна анализа на податоци.

Редовните ажурирања на фирмверот се императив за решавање на какви било грешки или ранливости што можат да ги компромитираат перформансите на системот, со што се поддржуваат стратегиите за одржување насочени кон спречување на дефекти на системот.

Техники за обработка на податоци

Ефикасното работење на системот зависи од напредни техники за обработка на податоци кои прецизно управуваат со огромните количини на податоци добиени од сензорите за квалитет на воздух.

Овие техники опфаќаат калибрација на сензори, визуелизација на податоци, анализа во реално време и интеграција во облак.

Калибрацијата на сензорите е од суштинско значење за точноста и сигурноста на податоците, а алгоритмите за машинско учење го помагаат процесот на калибрација со прилагодување на отчитувањата врз основа на претходно дефинирани параметри и фактори на животната средина.

Визуелизацијата на податоците игра клучна улога во правењето сложените податоци разбирливи, олеснувајќи го откривањето на трендови и шеми преку визуелно привлечни формати како што се графикони и графикони.

Анализата во реално време овозможува моментален одговор на промените во квалитетот на воздухот, подобрувајќи ја проактивноста на системот.

Интеграцијата во облак ги подобрува можностите на системот со овозможување:

- безбедно складирање,
- лесно пребарување на податоци,
- далечински пристап и
- скалабилност за да се приспособат на зголемените количини на податоци.

Обезбедување на квалитет во мониторингот на квалитетот на воздухот

Обезбедувањето на точноста и веродостојноста на податоците за квалитетот на воздухот е од клучно значење, што бара ригорозни процеси за обезбедување на квалитет во мониторингот.



Слика 1.22. Клауд технологијата обезбедува точни податоци во процес на мониторинг на квалитет на воздухот. (Извор: Clarity movement Co.)

Овие процеси опфаќаат напредни техники за калибрација, конзистентно одржување на сензорите и почитување на строгите стандарди за мониторинг.

Техниките за калибрација ги стандардизираат мерењата добиени од сензорите за квалитет на воздух за да се обезбеди точност на податоците, а одржувањето на сензорите обезбедува конзистентни перформанси и сигурност на системот.

Придржувањето кон стандардите за следење гарантира сигурност на податоците со обезбедување рамка за функционалност на системот и точност на податоците.

Иднината на мониторингот на квалитетот на воздухот базиран на облак

Со оглед на ветувачките резултати од неодамнешни научни теренски студии и растечкиот глобален фокус на здравјето на животната средина, иднината на мониторингот на квалитетот на воздухот е подготвена значително да биде обликувана од напредокот во технологијата базирана на облак.

Аналитиката во облак ќе игра клучна улога во обработката на огромни количини на податоци од сензори, обезбедувајќи увид во реално време што е клучно за непосреден одговор и долгорочно планирање на животната средина.

Далечинскиот мониторинг ќе го олесни ефикасното набљудување на квалитетот на воздухот низ огромни области, дури и на оддалечени и недостапни локации, намалувајќи ја потребата за физичко присуство и овозможувајќи навремени интервенции.

Решенијата за скалабилност што ги нудат технологиите базирани на облак ветуваат поголема флексибилност, дозволувајќи системите да се прошират со минимални инвестиции во инфраструктурата и правејќи ги исплатливо решение за обемни иницијативи за мониторинг.

Движејќи се напред, еволуцијата на овие системи ветува револуција во еколошката наука, јавното здравје и урбанистичкото планирање.

Со продлабочување во техничките сложености и длабоките импликации од мониторингот на квалитетот на воздухот базиран на облак, се впуштаме во патување кон почист воздух и поздрава планета за идните генерации.

Архитектура на информацискиот систем AirDMS

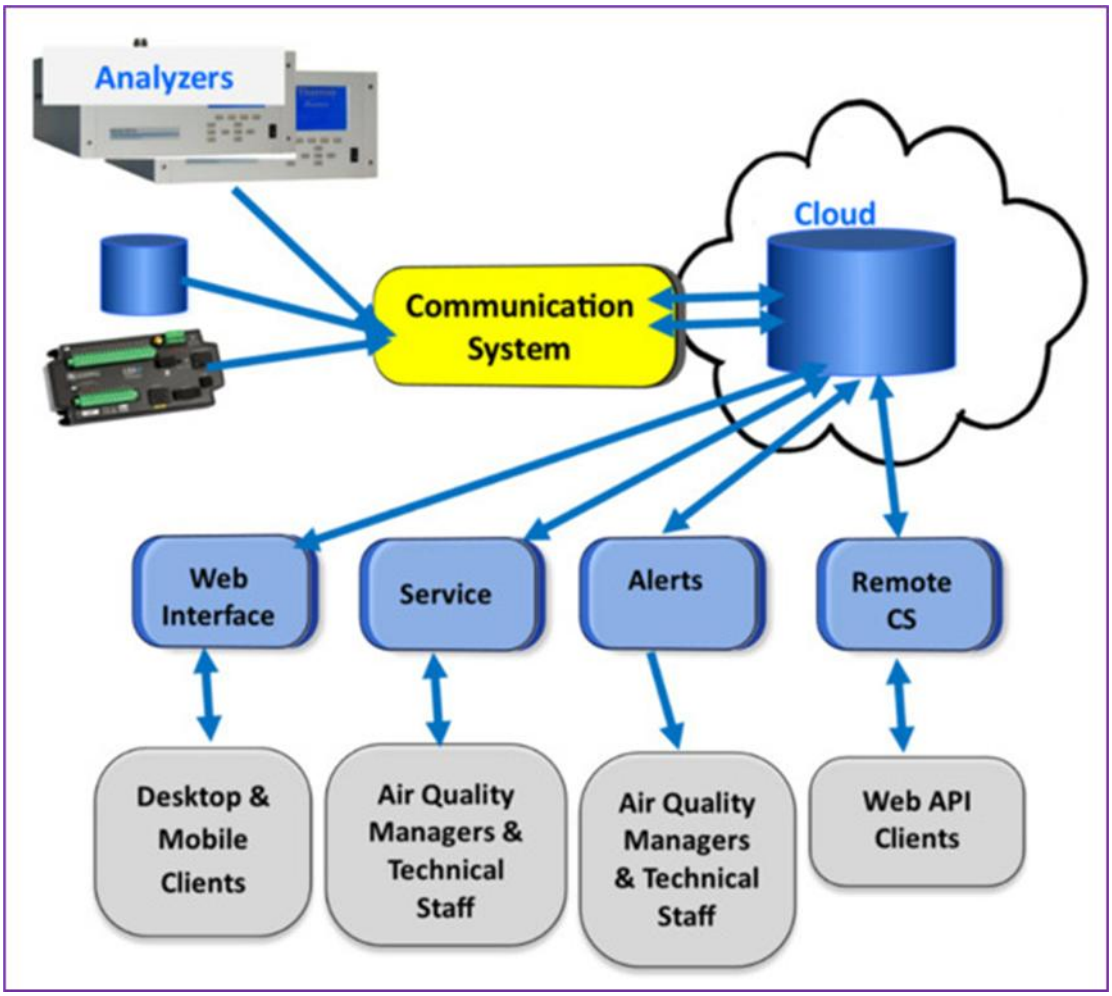
Информацискиот систем AirDMS се состои од:

- Комуникациски систем (CS) кој е систем одговорен за собирање податоци, и
- Информациски систем базиран на облак со четири подделови:
  - Веб-интерфејс, кој дистрибуира податоци за животната средина, вклучувајќи податоци за квалитетот на воздухот, метеоролошки податоци и податоците за бучавата,
  - Систем за далечинска комуникација (RCS), кој автоматски ги презема податоците преку протоколот за интерфејс за програмирање на апликации (API),
  - Услуга AirDMS, која дистрибуира дијагностика на инструментите и
  - Систем за предупредувања AirDMS, кој испраќа предупредувања до овластен персонал во случај на дефект на инструментите или надминување на мерењата над високите или ниските граници.

Овие системи се прикажани во шематски дијаграм на слика 23.

Комуникациски систем

Комуникацискиот систем (КС) е одговорен за собирање на податоците, а по извршувањето на контрола на квалитетот и пресметувањето на просечните вредности (обично 5 минути, часовна, 8 часа и дневна просечна вредност), ги испраќа податоците до централната база на податоци AirDMS, која се наоѓа во облакот. Забележано е дека просечните вредности се пресметуваат само ако достапноста на податоците е поголема од 75% за референтниот период (слика 23).



Слика 1.23. WorkFlow дијаграм на базата на податоци AirDMS. (Извор: Clarity movement Co.)

За секоја мерна вредност, се поврзува и складира знаменце кое ја содржи проверката на квалитетот на мерењето. Можни знаменца се јавуваат:

- кога мерењата не се евидентираат, на пример, кога се сервисира анализатор,
- кога вредностите се неважечки поради тоа што дијагностичките параметри на анализаторот се надвор од однапред одредените граници,
- кога нема доволно мерења достапни за пресметување на просечна вредност,

- кога нема комуникација со анализатор и
- кога вредноста е валидна.

Во случај на неточни вредности, тие се складираат за понатамошна евалуација, но не се прикажуваат на веб-интерфејсот, означувајќи само кратенката според одредена класификација.

Бидејќи CS (комуникациски систем) е развиен со користење на Java, може да се инсталира на многу оперативни системи како што се Windows, Linux и MacOS. Покрај тоа, може да собира податоци од многу извори, вклучувајќи SQL Server, текстуални датотеки, Web API и TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Ги собира податоците директно од анализаторите (стриминг или внатрешно складирани) или од кој било логер на податоци во кој податоците веќе се собрани. Друга поволна карактеристика на CS е тоа што може да работи со плочи компатибилни со Arduino со IoT сензори или дури може да се инсталира во Rasp-berry Pi. И двата се нискобуџетни контролери, кои се покажаа како вредни алатки за мерење, особено за мерење на концентрации на загадувачи во воздухот.

Појавата на информатичките технологии доведе до развој на огромен број различни онлајн извори на информации за квалитетот на воздухот. Во ЕУ, повеќето земји членки обезбедуваат информации за квалитетот на воздухот на јавно достапни веб-страници и преку редовни печатени публикации. Во САД, информациите за квалитетот на воздухот се споделуваат со јавноста преку AIRNow, кој обезбедува мерења и прогнози во реално време за 300 градови. Во Јужна Африка е развиен систем кој овозможува ширење на информации поврзани со квалитетот на воздухот преку алатки за мобилни апликации. Конечно, во Кина и Индија, се користат и печатени и електронски медиуми, заедно со улични панели и веб-страници, за ширење на информации за квалитетот на воздухот до јавноста во урбаните средини

Императив е мерните станици за квалитет на воздухот да работат и да ги евидентираат мерењата на животната средина на континуирана основа. Сепак, често се јавуваат грешки, со краен резултат важните информации често да останат неевидентирани во периоди што траат од неколку часа до неколку дена. Покрај тоа, современите анализатори мерат и критични дијагностички параметри на нивната функција, како што се проток, притисок, температури итн., до кои

може да пристапи техничкиот персонал за време на посетите на локацијата или да се складираат со помош на соодветен софтвер за подоцнежен преглед. Сепак, за системи што прикажуваат мерења во живо, овие параметри треба континуирано да се контролираат.

Перспективи на донесувањето одлуки за животната средина во 21 век

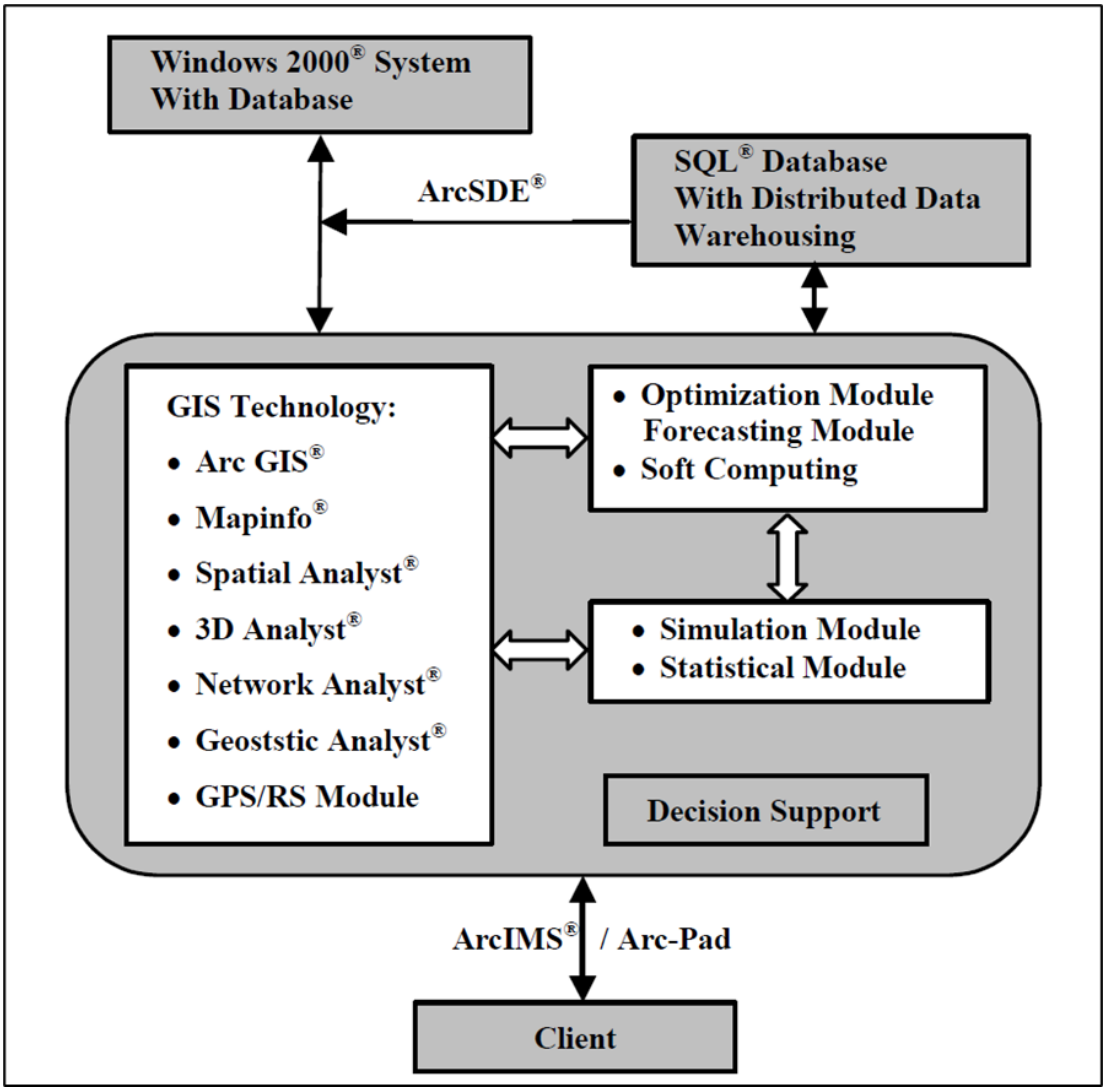
Системите за управување со животната средина генерално имаат повеќецелни, интерактивни, динамични и несигурни карактеристики. Постојат сложеност во одредувањето на системските параметри, одразувањето на интерактивните односи, формулирањето на пристапите за моделирање, толкувањето на резултатите од истражувањето и имплементација на препорачани политики. Често пати, за да се квантифицираат ваквите системи, треба да се направат голем број поедноставувања, како што се линеарни, континуирани, статични, претпоставки со една цел и/или детерминистички претпоставки. Сепак, овие поедноставувања би биле одговорни за конечните грешки откако ќе се појават неуспеси во анализата на системите. Како ефикасно да се одразат овие сложености кога се справуваат со овие вклучени ризици е предизвикувачко прашање со кое се соочуваат истражувачите на животната средина.

Постојат многу предизвици во примената на техниките за моделирање во управувањето со животната средина. Повеќето модели на животната средина можат да се справат само со ограничени просторни и временски единици во системот поради тешкотии во пресметковните барања и достапноста на податоците. Сепак, она што носителите на одлуки сакаат да го знаат може да бидат или детални планови засновани на многу пофини единици или само широко образложение. Ова може да доведе до некомпатибилност помеѓу резултатите на истражувачите и барањата на корисниците и го покренува прашањето за корисноста на решенијата за моделирање. Покрај тоа, собирањето статистички податоци за животната средина е полно со тешкотии, поради широкиот опсег на еколошки феномени, извори на податоци и вклучени агенции, како и сложеноста на нивните временски и просторни карактеристики (Briggs, 1995). Следствено, многу податоци за животната средина се предмет на значителни проблеми со неизвесности, недоследности и грешки. За да се добие

подобрена веродостојност и сигурност, потребни се солидни работи за валидација на влезните податоци пред да се користат за понатамошна анализа, каде што голем број информатички технологии би можеле да играат клучна улога.

Недостатокот на податоци за изворите на загадување, мерките за ублажување, природните услови и евиденцијата за квалитетот на животната средина, како и недостатокот на информации поврзани со културните, социјалните, економските и политичките фактори, честопати го попречуваат развојот на ефикасни стратегии за управување. Неизбежното истражување на лице место би можело да ги ублажи ваквите проблеми. Според тоа, кога моделите се користат за обезбе-дување поддршка при донесување одлуки, истражувачите мора да спроведат солидна работа на лице место за да добијат што е можно поголем увид во системот на студијата како и локалните менаџери и засегнати страни пред да тврдат дека се помудри и дека можат да работат подобро. Вклучувањето на информатичките технологии би било пожелно за олеснување на истражувањето за стекнување продлабочено знаење и разбирање на системот на студијата без силно вклучување во истражување на лице место. Ова ги мотивира многу агенции да изградат онлајн систем за управување со бази на податоци за животната средина и систем за поддршка на одлуките за да помогнат во различни проценки на влијанијата врз животната средина и донесување одлуки за политиките врз основа на брза и пријателска средина.

Се предлага завршувањето на моделирањето или дизајнот врз основа на достапните податоци да значи само половина од патот, а преостанатата половина да се испита како информациите што не се достапни, но можат да се претстават како имплицитно знаење на донесувачите на одлуки или засегнатите страни, би можеле да се соберат со разни инструменти за далечинско набљудување и да се добијат преку иновативни информатички технологии како што се вештачката интелигенција и истражувањето на податоци. Ова би барало високо-перформансно пресметување во повеќето случаи.



Слика 1.24. Предложен систем за поддршка на одлучувањето. (Извор: Агенција за животна средина на ЕУ)

Слика 24 покажува типична системска конфигурација со користење на концептот на 4S информатичка технологија (GIS/GPS/RS/DBMS) што ни овозможува да олесниме разни просторни анализи, споделување и дистрибуција на податоци и проценка на моделирањето. Овој компјутерски јазол би можел да стане еден од паметните јазли на OpenGIS и/или мрежно пресметување за споделување на суштински податоци и знаење дистрибуирани на Интернет за исполнување на целта за управување со знаење од највисока класа или поддршка на огромен компјутерски капацитет за извршување анализа на моделирање со споделување на визија (Chen et al., 2003). Кога се користи овој вид на DSS за решавање на еколошки проблеми, крајните тешкотии може да вклучуваат како системот може да се одржи и како сите компоненти на системот можат сеопфатно да се формулираат и одржуваат во информативниот свет.

1.2 Сензорски системи за мерење на концентрации на штетни гасови во воздухот, во реално време

Модулот Clarity Multi-Gas се користи за мерење дополнителни загадувачи и врвни алатки за споделување и анализа на податоци за квалитетот на воздухот и ги проширува можностите на Node-S, овозможувајќи мерење во реално време на CO, O3, NO2, - три клучни загадувачи кои влијаат на квалитетот на воздухот и јавното здравје. Со дизајнот на модулот за додавање plug-and-play на Clarity, модулот за повеќе гасови ја користи работата на соларна енергија и вграденото клеточно поврзување на Node-S. Без разлика дали го следи урбаното загадување, индустриските емисии или транспортните коридори, овој компактен, се-во-едно сензор обезбедува висококвалитетни податоци без сложеност на повеќе инструменти.

Мерењето на овие опасни гасови кои го загадуваат воздухот и здравјето на луѓето, во реално време, е од исклучително значење за да се следат изворите на загадување и да се лоцираат нови загадувачи. Ова ќе овозможи да се преземаат конкретни активности за намалување на нивната концентрација и да се следи ефикасноста на секоја преземена активност – ќе се мерат концентрациите ПРЕД и ПОСЛЕ преземената активност. На овој начин ќе можат да се преземаат политики засновани на податоци.

Овие опасни гасови најмногу се генерираат од (извори на загадување):

- Сообраќај: особено во шпиц на сообраќај кога има старт-стоп остојба (во ваква состојба возилата најмногу загадуваат).
- Индустриски капацитети и јавни институции: користат фосилни горива (јаглен, нафта, гас, мазут) за затоплување и за производствени процеси.
- Горење дрва во домакинства: мокрите дрва многу загадуваат (десет пати повеќе од суво дрво). Исто така нееколошки печки и отворени камини многу загадуваат.



Слика 1.25. Сензорски модул за мулти-гас. (Извор: National Park Service, САД)

Мулти – гас модул

Критериуми за следење на загадувачи и емисии во сообраќајот.

Параметри кои се мерат:

- Јаглерод моноксид (CO)
- Озон (O3)
- Азот диоксид (NO2).

Спецификации:

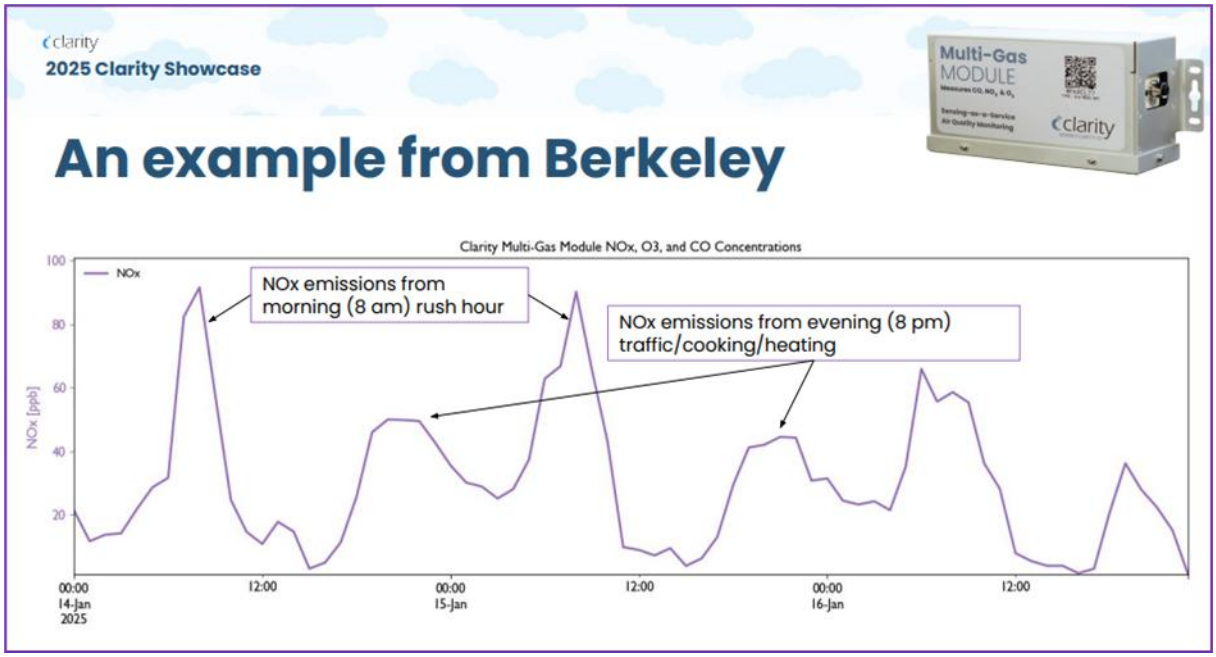
- Соларна енергија – работи на енергетскиот систем Node-S.
- Куќиште отпорно на ултравиолетови зраци, отпорно на атмосферски влијанија.

Случаи за употреба на мулти – гасни модули

CO (јаглерод моноксид) и шумски пожари

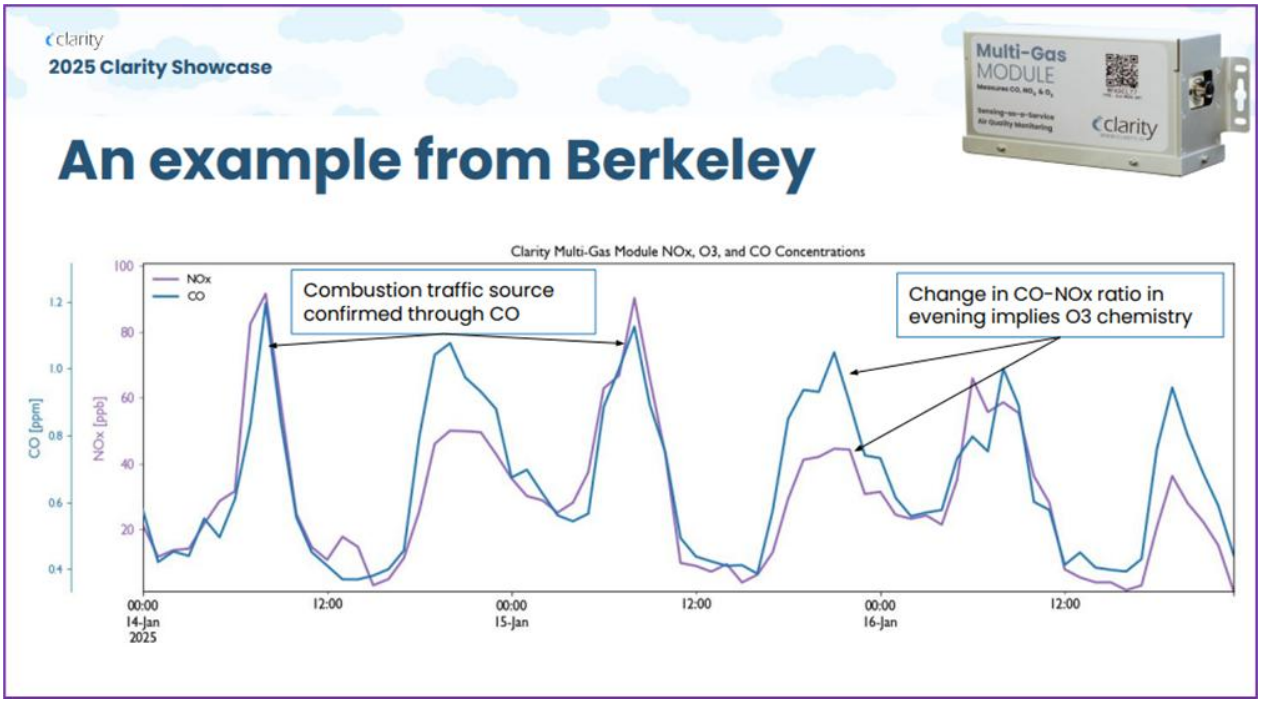
- CO е нус производ од согорувањето, што се испушта и од шумски пожари и од урбани извори.
- Шумските пожари произведуваат значително повеќе PM2.5 по единица на CO од урбани извори.
- Односот PM2.5 – и - CO помага да се разликува чад од шумски пожари од урбано загадување.
- NO2 (азот диоксид) и сообраќај.
- Високи нивои на NO2 ги идентификува жариштата за загадување на воздухот поврзани со сообраќај.
- O3 (приземен озон) и формирање на смог.
- Квантификување ја дневна шема на NO2 (наутро, вечерни врвови) и O3 (попладневен врв).
- Зголемени NO2 и O3 заедно сигнализираат силна фотохемиска активност и формирање на СМОГ.

Пример: Реализирани мерења и анализи со сензорски модул Мулти – гас, во Градот Беркли, Калифорнија.



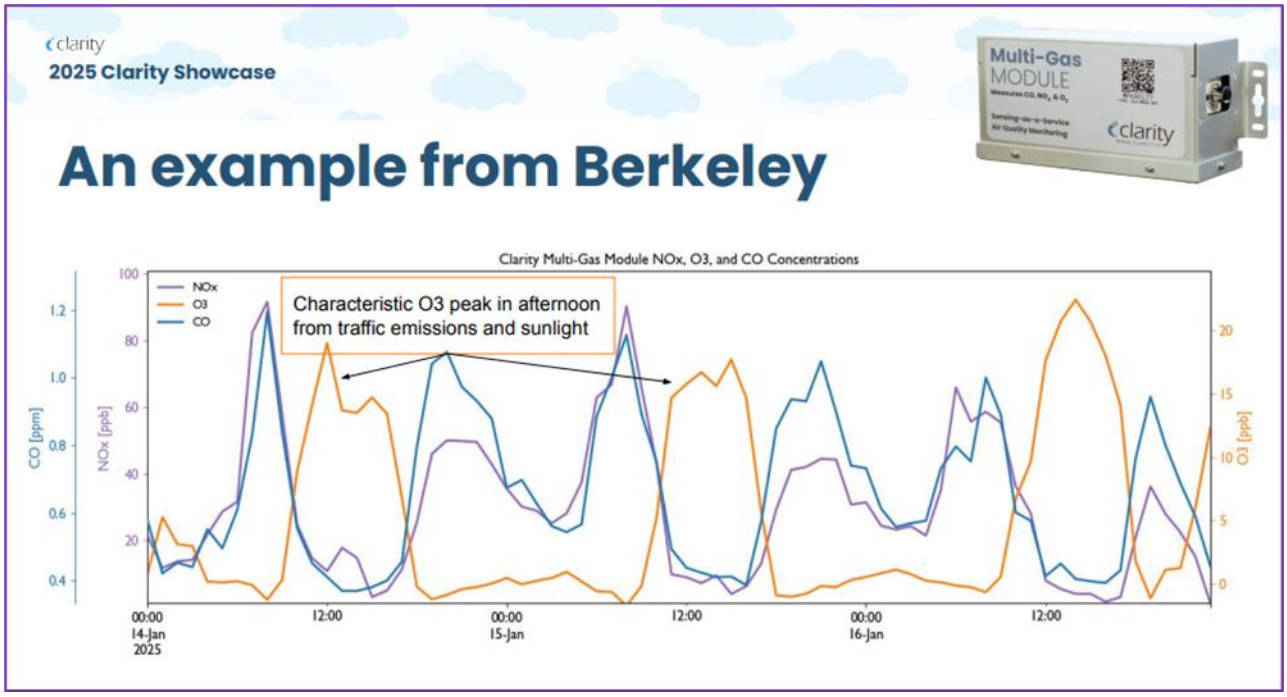
Слика 1.26. Сензорски модул за мулти-гас – Азотни оксиди (во 8 часот наутро и во 20 часот навечер). (Извор: Clarity Movement Co, USA)

- Емисии на NOx од утрински (08:00) шпиц: Во шпиц на сообраќај, особено во утринските (одење на работа) и попладневните часови (враќање од работа), поради стоп-старт режим на работа на возилата, се создаваат високи коонцентрации на отровни гасови, кои можат да останат на одреден постор, и да го загрозат здравјето на луѓето коии живеат во тие области.
- Емисии на NOx навечер (20 часот) сообраќај/готвење/греење. Во вечерните часови има зголемени концентрации на овие гасови поради затоплување на домовите и готвење. Со користење на нееколошки печки и мокри дрва, концентрациите во воздухот се значајно повисоки – како во надворешниот (амбиенталниот воздух), така и на воздухот во затворен простор.



Слика 1.27. Сензорски модул за мулти-гас – мерење концентрации на јаглерод моноксид и азотни оксиди и нивно споредување. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

- Извор на загадување со согорување на горива од сообраќај, потврдено преку CO.
- Промена на односот CO-NOx навечер имплицира O3 хемија.



Слика 1.28. Сензорски модул за мулти-гас – мерење концентрации на приземен озон, јаглерод моноксид и азотни оксиди и нивно споредување. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

– Карактеристичен врв на O3 во попладневните часови од сообраќајни емисии и сончева светлина.

Сензорски систем за моделирање на локална временска прогноза

Компанијата Weather Flow - Tempest произведе и иновира ексклузивен системски уред Tempest Home Weather System. Прецизно дизајнираниот Tempest Weather System користи моќно машинско учење и најсовремени способности за моделирање за да обезбеди најпрецизна, локална достапна прогноза - загарантирана. Без подвижни делови, целосно безжична, едноставна инсталација, со моментален онлајн пристап до временските податоци преку бесплатни апликации за iOS и Android.

Обезбедува предупредување за дожд, молња, ветер и многу повеќе:

– Амбиентална светлина (ambient light).
– UV индекс (UV index).
– Сончево зрачење (solar radiation).
– Брзина и правец на ветер (секои 3 секунди).
– Температура и влажност на воздухот.
– Сензор за светлосни извори (до 40 км).



Слика 1.29. Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest)



Слика 1.30. Поставување Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest)



Слика 1.31. Апликативно софтверско решение за локална прогноза – поставување на паметни мобилни уреди за онлајн следење на концентрации на Сулфур диоксид (SO2) во реално време (Извор: Weather Flow - Tempest)



Слика 1.32. Карактеристики и можности на Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest)

Сензорски монитори за мерење концентрации на сулфур диоксид (SO2) во воздух, во реално време

Во зависност од концентрацијата и периодот на изложеност, сулфур диоксид има различни ефекти врз здравјето на луѓето. Изложеност на висока кон-центрација на сулфур диоксид за кратко време може да предизвика сериозни тешкотии во дишењето. Особено погодени се луѓе со астма, деца, стари лица и лица со хронични респираторни заболувања. Долготрајна изложеност на ниска концентрација на сулфур диоксид може да резултира со чести инфекции на

респираторниот тракт. Има иритирачки ефект врз слузокожата на грлото, носот и очите. Исто така предизвикува рак и е поврзано со развојни и репродуктивни проблеми.

Повеќе научни истражувања потврдуваат дека зголемена концентрација на сулфур диоксид е поврзана со зголемен ризик од мозочен удар.

Извори на сулфур диоксид (SO2)

Сулфур диоксид се испушта кога се согоруваат масла што содржат сулфур. Најчесто го испуштаат термоелектраните, индустријата, возилата и рафинериите.

Бидејќи јагленот и нафтата често содржат сулфурни соединенија, со нивно согорување се добива сулфурен диоксид. Со натамошна оксидација на SO2 (обично во присуство на катализатор како NO2) се образува H2SO4 (сулфурна киселина), амониум нитрат и азотна киселина, а со тоа и кисел дожд. Овие киселини се шират и паѓаат како дожд, снег, магла, град или дури и прашина. Ова е една од причините за загриженост при користењето на овие горива.

Сулфур диоксид е гас кој се добива од согорување на фосилни горива во електрани и индустриски капацитети што може да предизвика респираторни проблеми и кисели дождови. SO2 се испушта директно од индустриски процеси и исто така директно се испушта од возила, особено ако квалитетот на горивото е слаб.

Во просек, емисии по автомобил 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.

Долготраен контакт со околина, затруена од издувни гасови на автомобили, предизвикува општо слабеење на телото – имунодефициенција. Покрај тоа, самите гасови можат да предизвикаат разни болести. На пример, респираторна инсуфициенција, синузитис, ларинготрахеит, бронхитис, бронхопневмонија, рак на белите дробови. Исто така, издувните гасови

предизвикуваат церебрална атеросклероза. Различни нарушувања на кардиоваскуларниот систем, исто така, може да се појават индиректно преку пулмонална патологија.

Пример:

Најлоша термоелектрана е во БиХ. Се работи за Угљевик, која годишно во воздухот емитува повеќе од 100 илјади тони сулфур диоксид. Ја нарекуваат Чернобил во Европа. Во 2018 алармантно било и во Тузла каде концентрацијата на сулфур диоксид била 14 пати повисока од дозволено, па поради тоа биле затворени и училиштата.

Едно од најштетното загадување на воздухот е предизвикано од согорувањето на горива, што резултира со ситни честички и сулфур диоксид. Дишењето високи нивоа на фини честички и/или сулфур оксид наспроти "чист" воздух секојдневно, е поврзано со зголемен ризик од болести.

Најголем извор на енергија во Косово, Србија, Босна, Македонија и Црна Гора е лигнитот. Тој е најевтин извор на енергија, но истовремено и најголем загадувач. И покрај тоа што овие земји се членки на Енергетската заедница кои имаат обврска да ги имплементираат правилата на ЕУ за намалување на загадувањето до 2018 година, тоа не се случи. Инвестициите во нови електрани или технологија за намалување на загадувањето во најголем дел беа одложени. Загадувањето на воздухот не знае за граници и претставува невидлив убиец во Европа. Крајно време е носителите на одлуки во ЕУ да ги зголемат напорите за чистење на воздухот и за декарбонизација на енергетскиот сектор.

Во регионот се планираат дополнителни електрани на јаглен со капацитет од 2,7 гигавати во следната деценија, поголемиот дел финансирани од кинески банки, и најголемиот дел од нив нема да ги исполнуваат условите на ЕУ. Владите во регионот тврдат дека им е неопходно поголемо производство на енергија за да ја задоволат побарувачката и дека новите електрани ќе емитуваат помалку штетни гасови. Наместо да инвестираат во други застарени електрани на јаглен, земјите од Западниот Балкан треба да го зголемат уделот на одржливи форми на обновливи енергии. Термоелектраните Костолац во Србија и Угљевик во БиХ се одговорни за половина од загадувањето со сулфур диоксид во регионот и за 25% од вкупното загадување со сулфур диоксид во Унијата и во регионот. Според мерењата што се извршени во 2016 година, на таа листа термоцентралата РЕК Битола е на осмо место по емисија на сулфур диоксид со 31,775 тони/годишно.

Во однос на емисија на PM10 честички, Битола е на шесто место со емисија од 2,491 тон, додека прва е термоелектрана во Косово.

Квалитетот на воздухот во земјите од Западниот Балкан е катастрофален, оценуваат од Светска здравствена организација. Најголеми загадувачи се термоелектраните на јаглен, но и старите автомобили. Македонија е прва во Европа каде умираат 255 луѓе на 100.000 жители како последица од загаден воздух. Босна и Херцеговина е втора, Србија е трета.

Хиперлокален мониторинг

(густа мрежа на сензорски монитори) во урбани средини за откривање жаришта на загадување и извори на загадување со сулфур диоксид (SO2)

Прв и најважен чекор за решавање на проблемот со загаден воздух со SO2 е поставување густа мрежа од сензорски монитори кои мерат концетрации на сулфур диоксид. Овие сензори работат постојано и мерат концентрации на SO2. На овој начин се овозможува секој граѓанин, во секое време да знае колкава е концентрацијата на сулфур диоксид во МИКРО средина. Ова овозможува брзо да се лоцира изворот на загадување и да се преземаат брзи и ефективни мерки за намалување на последиците, и да се санкционираат загадувачите.

Сензорски монитор за мерење на концентрации на сулфур диоксид (SO2) на амбиентален воздух во урбани средини.

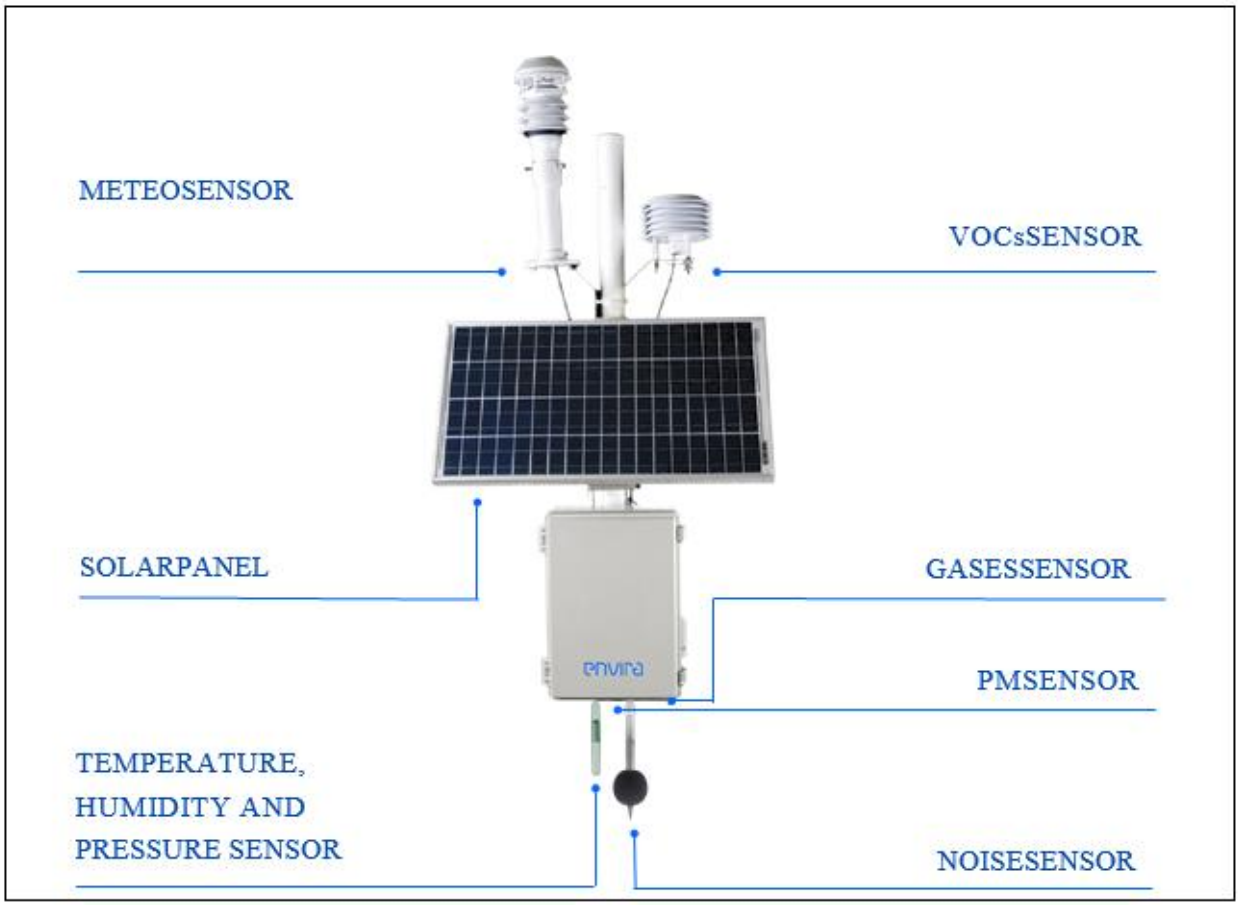


Слика 1.33. Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија)

Nanoenvi EQ™ (компанија Envira od Шпанија) претставува нов чекор во следење на загадувачи во воздухот. Модуларен дизајн, овозможува следење на повеќе загадувачи (NO2, NO, NOx, O3, SO2, H2S, CO, CO2) во една опрема со компактна големина и целосно автономна. Покрај тоа, Nanoenvi EQ™ нуди можност за мерење на суспендирани честички (PM1, PM2.5, PM10), VOCs, бучава и амбиентални параметри.

Преносliва континуирана мониторинг станица за мерење на квалитетот на надворешниот воздух со визуелизација на податоци во реално време.

Nanoenvi EQ™ овозможува да креираме безжични мрежи за мерење на квалитетот на воздухот. Неговите сензори собираат податоци на места каде нема фиксни станици за квалитет на воздухот, или на комплементарен начин овозможува да се прошири полето на дејствување на постојни референтни станици. Благодарение на Безжичните врски на Nanoenvi EQ™, корисникот добива податоци за загадувањето на воздухот во реално време на сопствен компјутер, мобилен телефон или таблет, што овозможува брзо одлучување (донесување релевантни одлуки) во неповолни ситуации.



Слика 1.34. Карактеристики и можности на Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија)

Nanoenvi EQ™ користи протокол MQTT за испраќање податоци и далечинско конфигурирање. На овој начин корисникот може да го интегрира Nanoenvi EQ™ со сопствени системи и да ги истражува неограничените опции понудени со поседување податоци за квалитетот на воздухот во реално време. Дополнително, Nanoenvi EQ™ може да се интегрира со viewing платформа понудена од Envira IoT, која има можност да бара историја, откривање трендови и аномалии, па дури и поставување предупредувања врз основа на собрани податоци.

Корисникот мора да избере варијанта за комуникации и варијанта за напојување. Варијантите на сензорот можат да бидат комбинирани по желба.
Може да се изберат до 4 гасови за тип на сензор AQ.

Карактеристики

Загадувачки параметри + метеоролошки параметри + бучава

Гасови загадувачи: NO, NO2, SO2, H2S, CO.

Честички: PM1, PM2.5, PM10, и VOCs.

Други параметри: Температура, влажност, атмосферски притисок, бучава, дожд, сончева радијација, брзина на ветер, правец на ветер и др.

Поврзување

Станиците Nanoenvi® EQ се интегрирани во IoT мрежите преку заеднички протоколи M2M (3G, 4G, Ethernet и WiFi). Ова овозможува интеграцијата на станиците да биде прилагодлива на различни случаи во однос на поврзувањето, што ги прави Plug and Play уреди.

Напојување

Опремата Nanoenvi® EQ има различни опции за напојување кои вклучуваат опции без батерии и батерии за да се обезбеди електрична автономија на опремата без оглед на тоа каде е инсталирана:

SP: Сончев панел + батерија

PGD: Електрична мрежа + батерија

POE: Напојување преку етернет

PGC: Енергетска мрежа.

Можни конфигурации

Периметар на мониторирање и квалитет на надворешниот воздух: Nanoenvi® EQ може да се конфигурира да мери различни параметри во зависност од околината што сака да се следи.

Градежни работи: честички и прашина. Следење на честички генерирани при градежништво и други општи работи.

Сообраќај: загадувачи кои произлегуваат од сообраќајот. Следење на квалитетот на воздухот и параметрите на бучава кои се засегнати од градскиот сообраќај. Идеален за урбани средини.

Земјоделство: Култури и насади. Следење на параметрите кои директно влијаат на посевите и насадите, вклучувајќи метеоролошки параметри и загадувачи на воздухот.

Индустрија: Периметарски мониторинг – Дисперзија на загадувачи. Контрола на дисперзија на загадувачките параметри чиј извор на емисија се наоѓа во индустриите и кои се исто така под влијание на метеоролошки фактори при нивното ширење.

Визуелизација на податоци

Визуелизација на сопствена платформа за податоци.

Envira има своја облак платформа за податоци која овозможува визуелизација на параметри собрани во реално време и на кој било уред.



Слика 1.35. Софтверско апликативно решение на Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија)



Слика 1.36. Интегрирање на мониторинг системот на платформи на клиентот преку протокол MQTT (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија)

Експлоатација на податоци преку платформи од трети страни

Опремата може да се интегрира и со сопствени платформи на клиентот или со трети лица преку протоколот MQTT.

Приспособливост

Достапни се до 16 еколошки параметри, различни видови на комуникација и моќност.

Отпорен

Куќиште направено од отпорни материјали кои нудат IP65 заштита за секоја околина.

Компактен

Компактен и лесен дизајн кој овозможува лесно да остане незабележан на која било локација.

Автономен

Неговите повеќекратни опции за напојување му овозможуваат да има автономија 24/7.

Преносliв

Лесен систем за инсталација кој овозможува лесно лоцирање на повеќе локации.

Во реално време.

Интегрирана платформа која овозможува визуелизација на параметри во реално време.

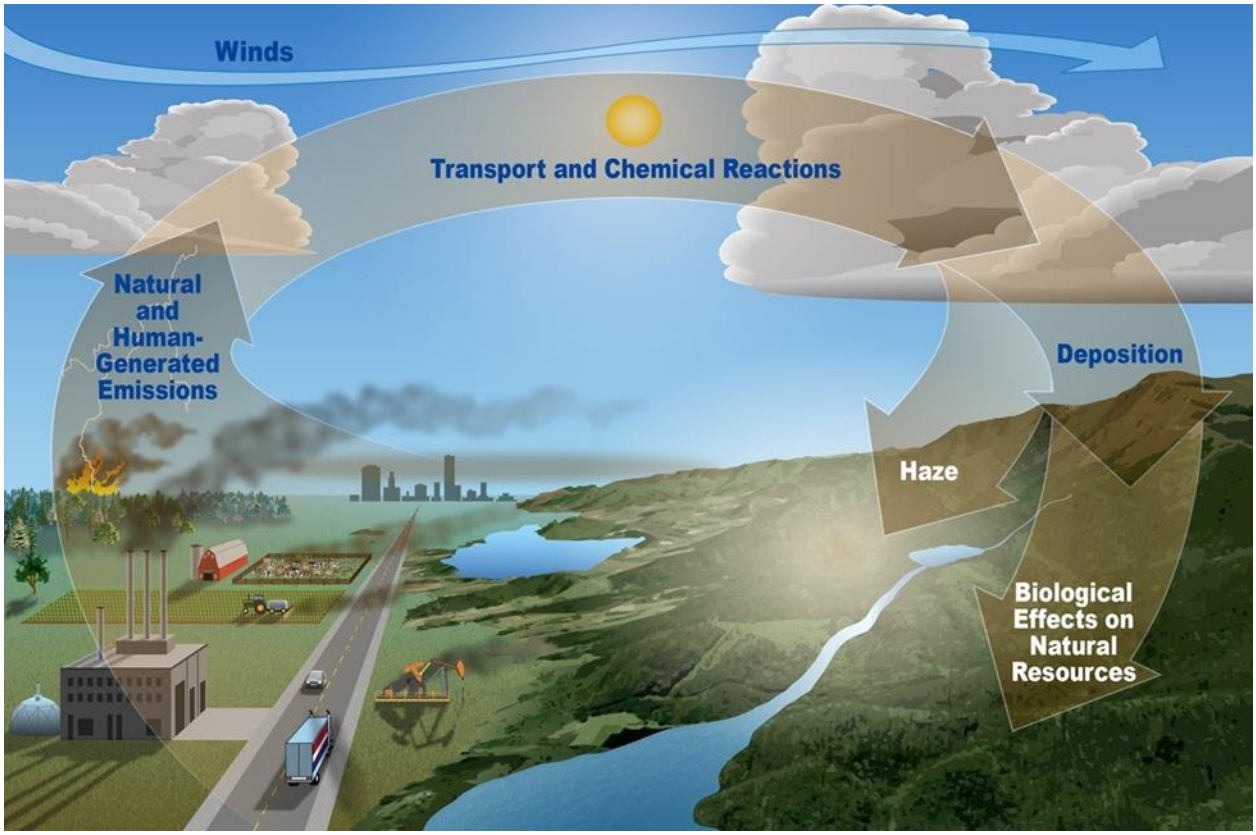
1.3 Како ветерот е поврзан со загадувањето на воздухот

Ветерот ги носи загадувачите на воздухот подалеку од нивниот оригинален извор и може да ги распрсне на друго место, што значи дека загадувањето во една област може да влијае на квалитетот на воздухот во поголема област. За време на сезона на шумски пожари во 2021 година, чадот од пожарите во Калифорнија и Орегон беше однесен од ветерот до држави како Њу Џерси, Њујорк и Пенсилванија, создавајќи нездрави услови за квалитет на воздухот кои се илјадници километри оддалечени од изворот на загадување.

а) Повисоки брзини на ветер генерално се преведуваат во поголема дисперзија на загадувачи на воздухот, што резултира со пониски концентрации на загадување на воздухот во области со посилни ветрови.

б) Како што земјата се загрева во текот на денот, воздухот генерално станува потурбулентен, предизвикувајќи загадувачите на воздухот да се распрснуваат во воздухот.

ц) Кога воздухот е постуден ноќе, се јавуваат постабилни услови, предизвикувајќи загадувачите да имаат тенденција да не се распрснуваат.



Слика 1.37. Ветерот го растерува загадувањето на воздухот формирано од природни и антропогени активности. Загадувачите на воздухот што патуваат повисоко во воздухот, исто така, можат да реагираат и да формираат други видови загадувачи. На пример, сулфур диоксид и азотни оксиди што се емитираат од извори спроти ветерот можат да подлежат на хемиски реакции во атмосферата и да формираат честички, а азотните оксиди, исто така, можат да реагираат и да формираат приземен озон, или смог. Иако ветерот може да ги преместува загадувачите на воздухот на друга географска локација, овие загадувачи сè уште го загрозуваат здравјето на луѓето и животната средина каде и да се населат. (Извор: National Park Service)

Разбирањето на брзината и насоката на ветерот помага:

а) Да се одредат изворите и да се предвидат трендовите на загадување на воздухот во дадена област.

б) Кога ветерот го носи загадувањето на воздухот подалеку од неговиот извор, може да изгледа дека има пониски нивоа на загадување што доаѓаат од овој извор, но ова загадување е само преместено на друго место, влијаејќи на квалитетот на воздухот на друга локација.

Еден таков модел на ветер го објаснува прашањето: Зошто голем број градови имаат тенденција да имаат посиромашни источни краеви со поголемо загадување на воздухот?

Во средните географски широчини на Земјата, каде што може да се најдат повеќе од големите градови во светот, моделот на ветерот познат како западен

ветер дува воздух кон исток. Една студија покажува докази дека овие западни ветрови имаат тенденција да го дуваат загадувањето на воздухот кон исток создавајќи источни делови од градовите со поголемо загадување на воздухот, што историски се поврзува со делови каде што би живееле лица со понизок социоекономски статус.

Начинот на кој ветерот може да го дистрибуира загадувањето на воздухот на друго место е важен фактор кога станува збор за разгледување на нивоа на загадување на воздухот во одреден град или држава. Измерените нивоа на загадувачи таму можат да ги одразуваат не само загадувачите што потекнуваат таму туку и оние што се донесени во областа од надворешни извори преку ветерот, особено кога се разгледува дали локацијата е во насока на ветерот од значаен извор на загадувач. Загадувачите можат да патуваат стотици милји, што може да им отежни на државите во правец на ветерот да ги исполнат стандардите за загадувачи, како што се PM2.5 и приземен озон - всушност, се проценува дека загадувањето на воздухот пренесено преку Тихиот Океан од Азија преку преовладувачките западни ветрови придонело за дури 65 проценти од зголемувањето на приземен озон во западните Соединети Амери-кански Држави во последниве години.

Различни ветрови и модели на ветер го разликуваат начинот на кој се движи загадувањето на воздухот низ целиот свет, што го прави мерењето на брзината и насоката на ветерот од витално значење за вистинско разбирање на сложената динамика на создавањето и дисперзијата на загадувачите на воздухот.

Дување на ветер; Зошто толку многу градови имаат сиромашни источни делови (краеви)?

Од Лондон до Париз, од Њујорк до Хелсинки, сиромаштијата има тенденција да се групира на исток. Една студија (научно истражување) сугерира изненадувачка причина.

Прашањето е толку очигледно што лесно би можеле да заборавиме да го поставиме: зошто градовите толку често имаат сиромашна источна страна? Мистеријата не е што секој град има свои зелени и валкани делови - чини пари да се живее на убави места и да се избегнуваат неубави места, што има

тенденција да ги групира луѓето во нив според богатството. Мистеријата е што сиромашните групи секогаш завршуваат на исток.

Секако, вистинската слика никогаш не е уредна ниту едноставна, но по општа согласност, во списокот на градови со сиромашни источни области би ги вклучиле: Лондон, Париз, Њујорк, Торонто, Бристол, Манчестер, Брајтон и Хоув, Оксфорд, Глазгов, Хелсинки и Казабланка. Нема сомнение дека има некои градови каде што сиромаштијата се групира на запад, но се чини дека е потешко да се најдат; можеби Делхи и Сиднеј!

Приказната изгледа полесна за објаснување од случај до случај. На пример, во Лондон, доковите се наоѓаат низводно на исток, а доковите ретко се многу здрави во градовите. Во поголемиот дел од својата историја, Темза, исто така, го носела отпадот и мирисот на градот кон исток. Не е ни чудо што сиромашните завршиле да живеат таму.

Но, ако се земе предвид Париз, каде што Сена тече кон запад, како и Ејвон во Бристол, или Њујорк, кој ефикасно има две реки и е сосема поинаков облик, или дури и Брајтон, кој воопшто нема реки. И покрај нивните разлики, приказната никогаш не се менува: за сиромаштијата е источната страна.

Една теорија е дека сè е во врска со загадувањето на воздухот. Во средните географски широчини каде што може да се најдат повеќе градови во светот, преовладувачките ветрови се западни, што значи дека дуваат на исток. Грубо, долго време се сметаше дека тие би можеле да понесат чад и мириси со себе, а сега нова студија од Stephan Heblich, Alex Trew and Yanos Zylberberg за Spatial Economics Research Centre сугерира дека оваа теорија можеби е точна.

Во основа, она што се гледа во минатото, поради загадувањето и моделите на ветерот, богатите луѓе бегаат од источните делови на градот бидејќи се многу загадени.



Слика 1.38. Предградијата на Детроит: во САД, за разлика од остатокот од светот, периферијата е дом на побогатите жители на градот. Фотографија: Alamy (Извор: Clarity Movement Co, USA)

За нивното истражување, Zylberberg и неговите колеги изградија симулации на 70 британски градови, вклучувајќи ги и локациите на 5.000 индустриски оџаци, какви што би биле во 1880 година. Користејќи математички модели, тие тврдат дека успеале да го реконструираат движењето на воздухот во рамките на дадената топографија и да откријат каде би завршило загадувањето. Тие заклучија дека областите со високо загадување навистина имаат поголема веројатност да станат сиромашни области и открија дека тие генерално се наоѓаат на исток.

Кога мора да се мери ветерот

Бидејќи брзината и насоката на ветерот даваат важни информации за концентрацијата и движењето на загадувањето на воздухот, одредени операции бараат мерење на ветерот. USEPA бара регулаторните агенции за управу-вање со квалитетот на воздухот да обработуваат одредени метеоролошки податоци – како што се брзината и насоката на ветерот – во поддршка на регулаторното моделирање на квалитетот на воздухот, како што е наведено во Упатството за модели на квалитет на воздухот.

Покрај тоа, многу индустриски операции, како што се електраните и рударските капацитети, користат технологија на анемометри за да се осигураат дека можат да знаат како ќе се дисперзира загадувањето на воздухот генерирано од индустриските активности.

Без разлика дали е потребно да се соберат податоци за брзината и насоката на ветерот од регулаторна гледна точка, брзината и насоката на ветерот се сепак важни фактори кога се бара подобро разбирање на трендовите на квалитетот на воздухот и минимизирање на изложеноста на штетно загадување на воздухот.

Како се мерат брзината и насоката на ветерот

Примарен уред што се користи за мерење на брзината и насоката на ветерот е познат како анемометар. Најчест дизајн на анемометри вклучува три или четири чаши прикачени на хоризонтални краци, кои потоа се прикачени на вертикална прачка.



Слика 1.39. Анемометар. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Како што дува ветерот, чашите ротираат, предизвикувајќи прачката да се врти и означувајќи ја насоката на ветерот. Со броење на тоа колку ротации се случуваат во секој временски период, анемометарот може да се користи за

пресметување на брзината на ветерот. Анемометри – како што е модулот за ветер Clarity, честопати можат да обезбедат и други метеоролошки мерења како што се температура, влажност и воздушен притисок.

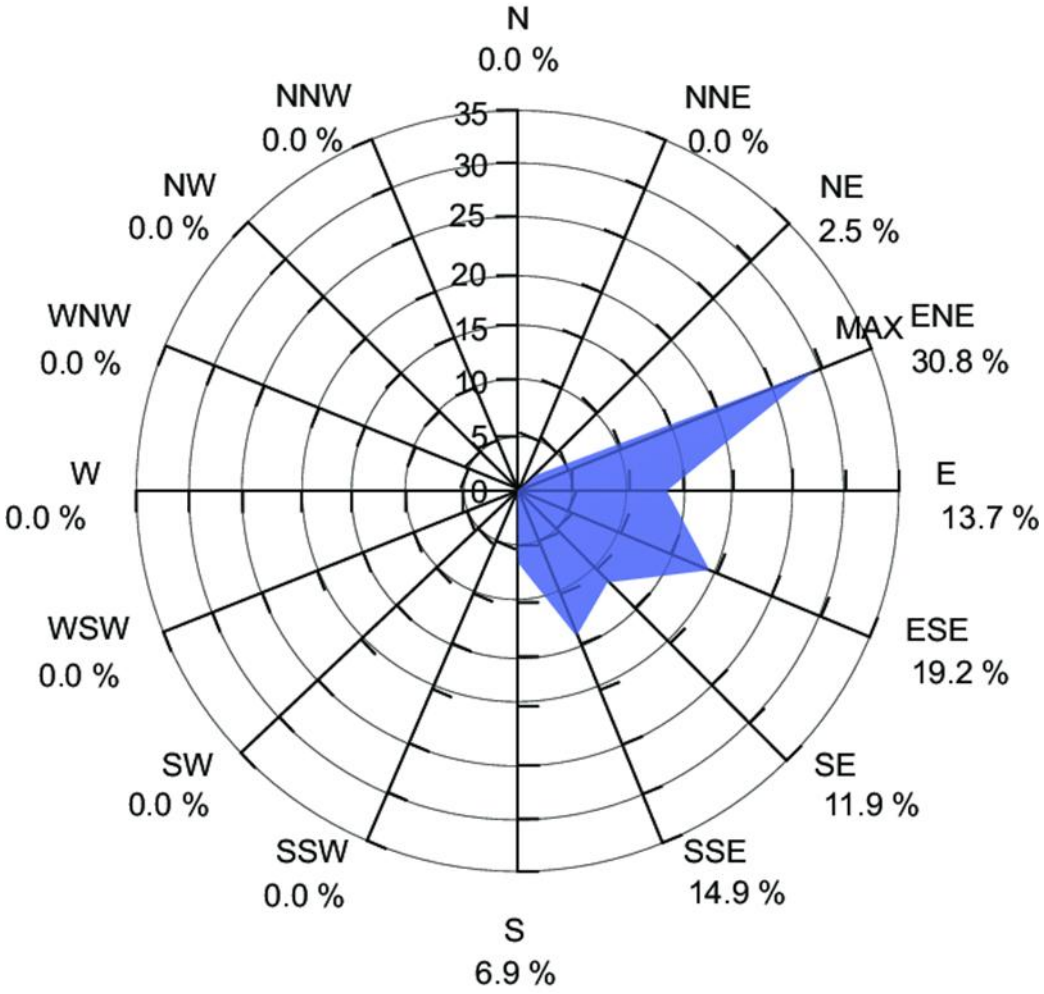
Постојат варијации на дизајн на анемометри, како што е типот на ветерница каде што прачките ротираат хоризонтално, како и анемометар со топла жица каде што се користи електрично загреана жица за да се одреди брзината на ветерот со пресметување на количината на енергија потребна за одржување на жицата топла – поголема брзина на ветерот значи дека е потребна поголема енергија.

Воздушниот притисок може да се мери и за да се одреди брзината на ветерот. Може да се користи барометар, а постојат и цевкести анемометри кои го користат воздушниот притисок за да го одредат притисокот на ветерот, а со тоа и брзината. Со мерење на воздушниот притисок во стаклена цевка што е затворена на едниот крај, а потоа споредување со воздушниот притисок надвор од цевката, може да се пресметаат притисокот и брзината на ветерот.

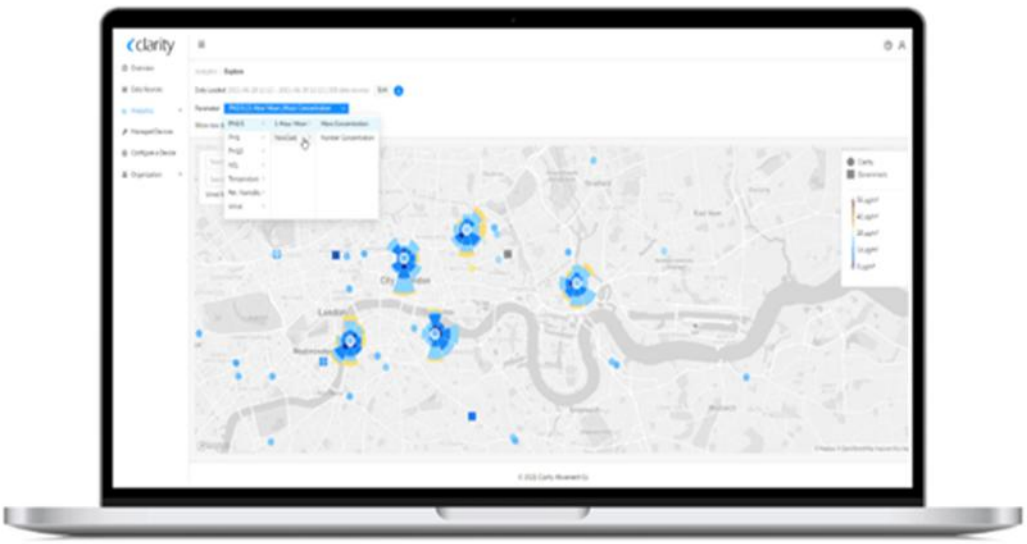
Други анемометри може да користат звучни бранови или ласерски зраци насочени кон честички во ветерот за да ги измерат својствата на ветерот. За оваа намена постојат и други видови технологија, како што се ветробрански чорапи и временски лопатки.

Брзината на ветерот генерално се пренесува со помош на милји на час (mph), километри на час (kph) или јазли, каде што еден јазол (knot) е еквивалентен на една наутичка милја на час, или 1,15 копнени милји на час.

Насоката на ветерот се пријавува според насоката од која потекнува, на пример: северен ветер дува од север кон југ. Ветровите обично се пријавуваат користејќи кардинални насоки или степени на насока, а може да се визуелизираат со рози на ветрови.



Слика 1.40. Розата за ветер погоре ја покажува брзината и насоката на ветерот. Сината форма ја прикажува насоката на ветерот според тоа колку сината форма се протега од центарот е поврзана со нејзината магнитуда. (Извор: Clarity Movement Co, USA)



Слика 1.41. Софтверска апликација на Clarity за прикажување брзина и насока на ветер на Clarity Wind module (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Зошто мрежите за следење на квалитетот на воздухот треба да собираат податоци за брзината и насоката на ветерот

Брзината и насоката на ветерот можат да бидат корисни мерења во различни активности поврзани со квалитетот на воздухот. Брзината и насоката на ветерот можат да помогнат да се разбере каде се движи загадувањето на воздухот. Ако станицата за следење детектира високи нивоа на загадување на воздухот, менаџерите за квалитет на воздухот можат да ја разгледаат брзината и насоката на ветерот за да ги утврдат можните извори на загадување. Спротивно на тоа, ветерот може да се користи за да се разбере зошто може да има пониски нивоа на загадување на воздухот во близина на извор на загадувач ако преовладувачкиот ветер го однел на друго место, како на пример од постројка за согорување.

Анемометрите често се користат во индустриските постројки и рударските операции за да се измери како загадувањето на воздухот што потекнува од локацијата влијае на квалитетот на воздухот на друго место, во однос на брзината и насоката во која се носи. Загадувањето на воздухот кое е донесено од други извори на загадувачи, како што се честички од големи постројки за согорување, е исто така проучено во однос на тоа како ветерот го движи добиеното загадување на воздухот.

Познавањето на тоа како се движи загадувањето на воздухот може да помогне во насочувањето на соодветните мерки што треба да се преземат за заштита на здравјето на луѓето и животната средина.

Метеоролошки фактори

Движењата на воздухот влијаат врз судбината на загадувачите на воздухот. Затоа, секоја студија за загадувањето на воздухот треба да вклучува студија за локалните временски обрасци (метеорологија).

Ако воздухот е мирен и загадувачите не можат да се дисперзираат, тогаш концентрацијата на овие загадувачи ќе се зголеми. Од друга страна, кога дуваат силни, турбулентни ветрови, загадувачите брзо се дисперзираат, што резултира со пониски концентрации на загадувачи.

Метеоролошките податоци помагаат:

- да се идентификува изворот на загадувачите;
- да се предвидат настани на загадување на воздухот, како што се инверзии и денови со висока концентрација на загадувачи;
- да се симулира и предвиди квалитетот на воздухот со помош на компјутерски модели.

При проучување на квалитетот на воздухот, важно е да се измерат следниве фактори, бидејќи тие можат да ни помогнат да ги разбереме хемиските реакции што се случуваат во атмосферата:

- брзина и насока на ветер;
- температура;
- влажност;
- врнежи од дожд;
- сончево зрачење.

Брзина и насока на ветер

Кога се појавуваат високи концентрации на загадувачи на станица за мониторинг, записите од податоците за ветерот можат да ја одредат општата насока и област на емисии. Идентификувањето на изворите значи дека може да се планира намалување на влијанијата врз квалитетот на воздухот.

Инструмент наречен анемометар ја мери брзината на ветерот. Еден тип на анемометар што се користи е звучен (соничен) анемометар.

Соничен анемометар работи врз принципот што брзината на ветерот влијае на времето потребно звукот да патува од една до друга точка. Звукот што патува со ветерот ќе трае помалку време од звукот што патува во ветерот. Со мерење на брзините на звучните бранови во две различни насоки истовремено, соничните анемометри можат да ја измерат и брзината и насоката на ветерот.

Температура

Мерењето на температурата ја поддржува проценката на квалитетот на воздухот, моделирањето на квалитетот на воздухот и активности за прогнозирање.

Температурата и сончевата светлина (сончево зрачење) играат важна улога во хемиските реакции што се случуваат во атмосферата за да формираат фотохемиски смог од други загадувачи.
Поволни услови можат да доведат до зголемени концентрации на смог.

Најчестиот начин за мерење на температурата е да се користи материјал со отпор што се менува со температурата, како што е платинска жица. Сензорот ја мери оваа промена и ја претвора во отчитување на температурата.

Влажност

Освен температурата и сончевото зрачење, водената пареа исто така игра важна улога во многу термички и фотохемиски реакции во атмосферата. Бидејќи молекулите на водата се мали и многу поларни, можат силно да се врзат за многу супстанции. Ако се прикачат на честички што суспендираат во воздухот, тие можат значително да ја зголемат количината на светлина расфрлана од честичките (мерење на видливоста). Ако молекулите на водата се прикачат на корозивни гасови, како што е сулфур диоксидот, гасот ќе се раствори во водата и ќе формира кисел раствор што може да го оштети здравјето и имотот.

Содржината на водена пареа во воздухот се пријавува како процент од притисокот на заситена пареа на водата на дадена температура. Ова се нарекува релативна влажност. Количината на водена пареа во атмосферата е многу варијабилна – зависи од географската локација, близината на водните тела, насоката на ветерот и температурата на воздухот. Релативната влажност е генерално поголема во текот на летото, кога температурата и врнежите од дожд се исто така највисоки.

Мерењето на влажноста ги користи апсорпционите својства на полимерниот филм. Филмот или апсорбира или губи водена пареа како што се менува релативната влажност на амбиентниот воздух. Сензор ги мери овие промени и ги претвора во отчитување на влажноста.

Мерење на видливоста

Аеросолите и фините честички на воздухот, како што се чад или магла, можат да ја намалат видливоста. Мониторингот на аеросолите го мери ова губење на видливоста.

Светлината се расфрла од честичките во воздухот и ова ја формира основата за мерење на аеросолите со помош на инструмент наречен нефелометар.

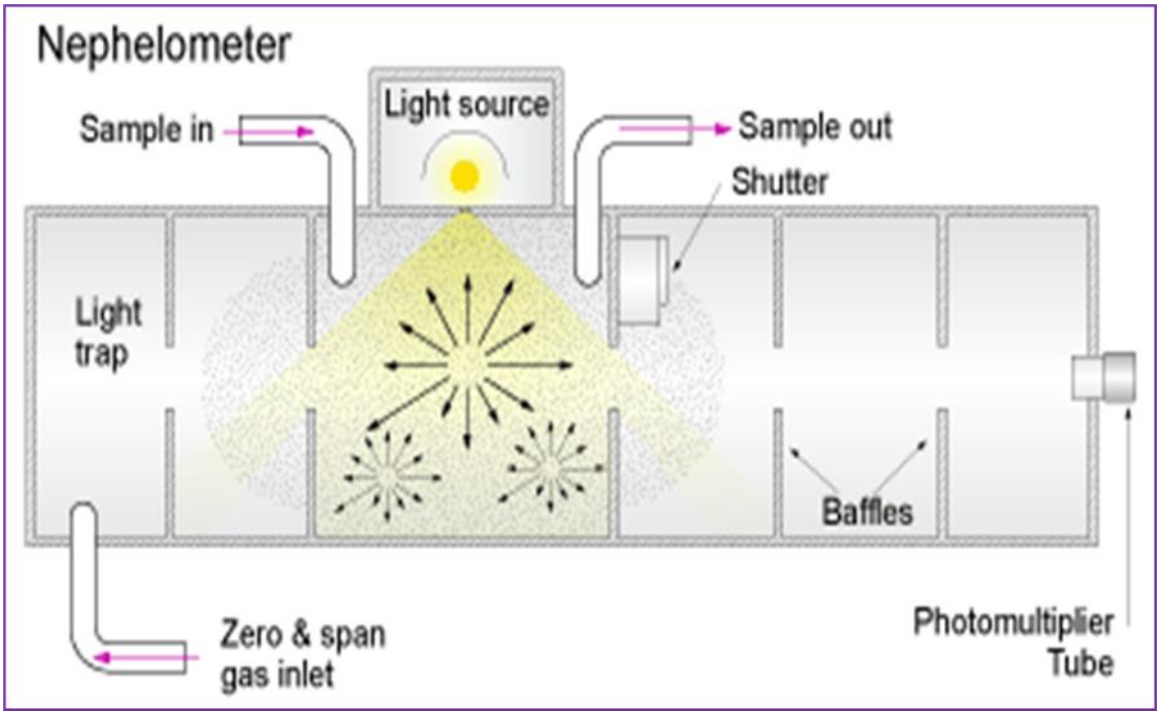
Внатре во инструментот, изворот на светлина се наоѓа во мат црна цевка што содржи “прегради“ за да се минимизира рефлектираната светлина.

Детекторот (фотомултипликаторска цевка) е поставен така што ја мери светлината под прав агол во однос на оската на зракот, за да се избегне каква било директна (нерасеана) светлина од изворот.

Секои честички во примерокот од воздух ќе расеат дел од светлината кон детекторот, кој го мери, засилува и претвора сигналот во коефициент на расејување на светлината (мерка за количината на расејување).

Овој коефициент одговара на концентрацијата на честичките во примерокот и дава проценка на видливоста. Инструментот е особено чувствителен на мали честички чад, вообичаени за време на шумски пожари.

Гасовите во атмосферата влијаат на расејувањето на светлината преку апсорпција, иако при нормални надворешни концентрации ова е занемарливо. Сепак, калибрацијата на нефелометарот го користи овој принцип со полнење на инструментот со специфични гасови со многу високи концентрации.



Слика 1.42. Нефелометар (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Врнежи од дожд

Дождот има ефект на “чистење“ кога ги измива честичките од атмосферата и ги раствора гасовитите загадувачи. Отстранувањето на честичките ја подобрува видливоста. Таму каде што има чести обилни врнежи од дожд, квалитетот на воздухот е генерално подобар.

Ако дождот раствора гасовити загадувачи, како што е сулфур диоксидот, може да формира кисел дожд, што резултира со потенцијално оштетување на материјалите или вегетацијата.

Вообичаен метод за мерење на врнежите од дожд е користење на дождомер со превртување (слика подолу).

Мерачот ги регистрира врнежите од дожд со броење на мали количини на собран дожд. Кога дождот паѓа во инката, тој се влева во сад (кофа за превртување) поделен на две еднакви прегради.

Дизајнот на кофата за превртување прави едниот прегреден дел да се навалува надолу и да се потпира на подлога кога е празен, позиционирајќи го другиот прегреден дел под инката подготвен да прими дождовница.



Слика 1.43. Сад за превртување со дождомер
(Извор: Clarity Movement Co, USA)

Кога одредена количина дожд ќе се исцеди од инката во горниот преграден дел, кофата се навалува во спротивна насока, така што преградата што го содржи дождот ќе се потпре на подлогата на спротивната страна. Потоа собраната вода се празни и другиот преграден дел почнува да се полни.

Инструментот ја пресметува количината и интензитетот на врнежите од дожд користејќи ја површината на инката и бројот и брзината на движења на садот.

Сончево зрачење

Важно е да се следи сончевото зрачење за користење при моделирање на настани од фотохемиски смог, бидејќи интензитетот на сончевата светлина има важно влијание врз брзината на хемиските реакции што го создаваат смогот. Облачноста на небото, времето од денот и географската локација влијаат на интензитетот на сончевата светлина.

Инструмент наречен пиранометар го мери сончевото зрачење од излезот на еден вид сензор од силиконски ќелии.

Вклучени мерења на брзината и насоката на ветерот во мрежа на Clarity

Clarity неодамна го претстави својот Модул за ветер (Wind Module), ултразвучен анемометар и метеоролошка станица. Овој лесен и издржлив сензор ги мери дведимензионалните хоризонтални компоненти на брзината и насоката на ветерот, давајќи ни подобар увид во тоа од каде доаѓа загадувањето на воздухот и каде се движи.

Модулот за ветер, исто така, ги мери атмосферскиот притисок, температурата на околината и релативната влажност на околината.

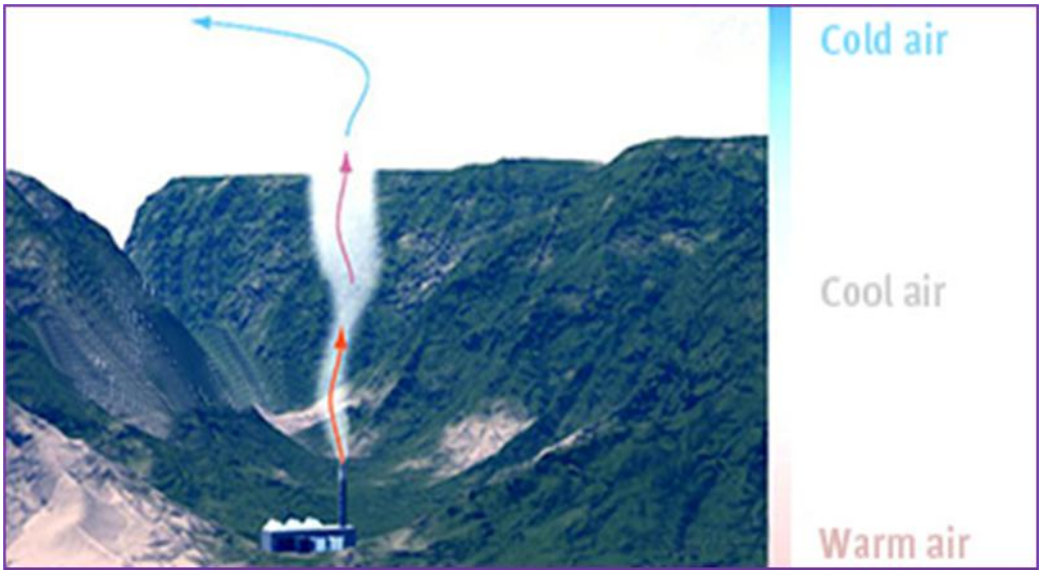
1.4 Инверзии

Во нормални услови, температурата на воздухот се намалува со надморската височина. Ова им овозможува на емисиите кои нормално се потопли од околниот воздух да се зголемат сè додека не достигнат рамнотежа со атмосферата, каде што ефикасно се мешаат и се распрснуваат.

Овој нормален термички градиент е илустриран на сликата долу.

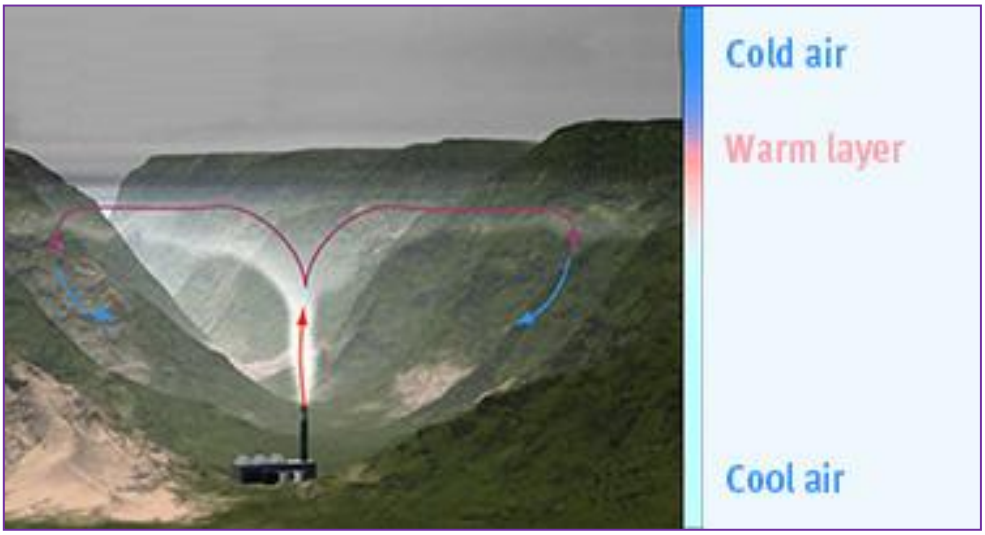
Нормален термички градиент

Под одредени метеоролошки услови, воздухот е многу стабилен и слој од постуден, густ воздух лежи во близина на земјата, а слој од потопол воздух над него. Оваа состојба, наречена температурна или термичка инверзија, спречува дисперзија на емисиите и натрупување на загадувачи во воздухот под дејство инверзија.



Слика 1.44. Нормален термички градиент (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Дијаграмот подолу покажува термичка инверзија каде што страните на долината содржат постуден воздух во близина на земјата.



Слика 1.45. Термичка инверзија (Извор: Clarity Movement Co, USA)



Слика 1.46. Температурна инверзија над Бризбејн гледана од планината Gravatt во сабота, 23 јуни 2001 година. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Симулиран настан на загадување на воздухот

Настан на загадување се случува кога концентрацијата на загадувачи во воздухот ги надминува прифатливите стандарди.

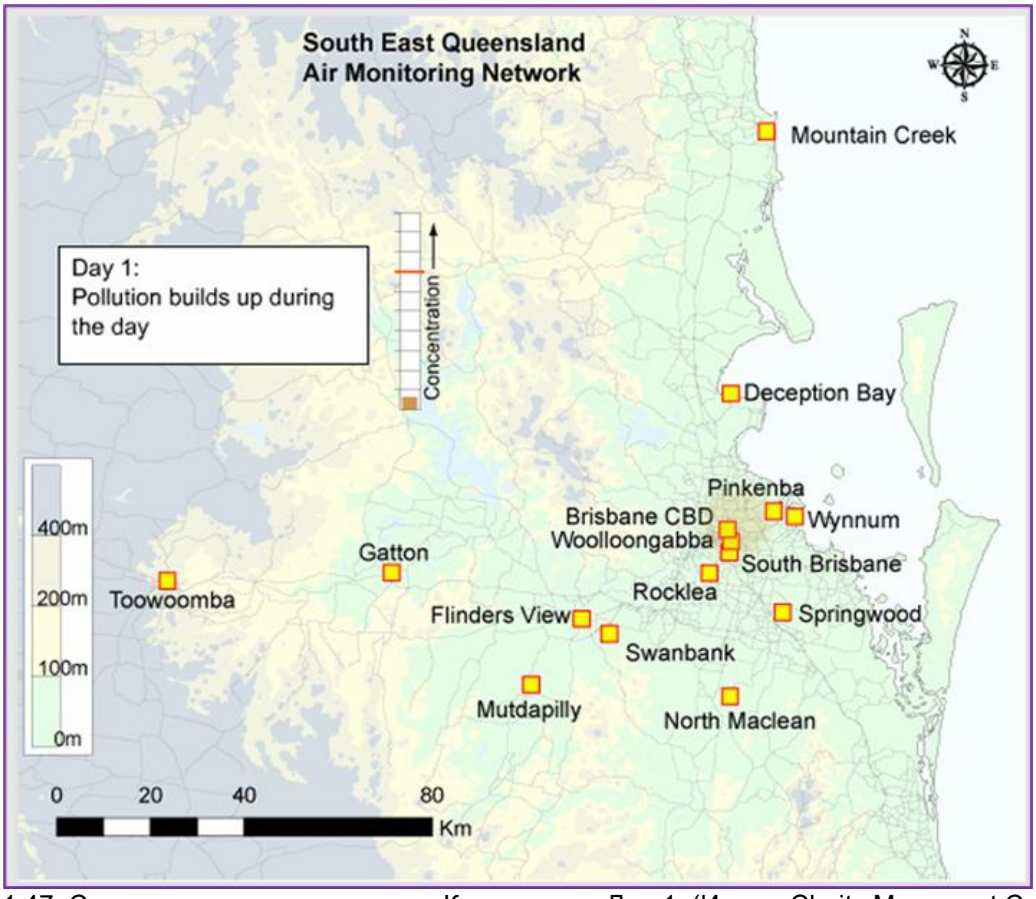
Анимирана илустрација покажува симулација за тоа како може да се развие настан на загадување во текот на неколку дена низ Југоисточен Квинсленд, со оглед на временските услови што го поттикнуваат загадувањето на воздухот.

Може да се следи движењето на загадувачите во контаминиран воздушен простор и да се следи промената на концентрации во столбест графикон.

Ден 1

Анимацијата го прикажува натрупувањето на загадувачи во текот на првиот ден од настанот над централниот деловен округ на Бризбејн (централен деловен округ Бризбејн) поради големиот сообраќај и минималното движење на ветерот. Подоцна во текот на денот, попладневните морски ветрови го поместуваат воздушниот дел кон внатрешноста.

Околната топографија (прикажана со контурите на дијаграмот) ги заробува загадувачите во долините каде што остануваат преку ноќ. Затоа постојат станици за мониторинг лоцирани на места како што се Мутдапили и Норт Меклин, далеку од централниот деловен округ Бризбејн.



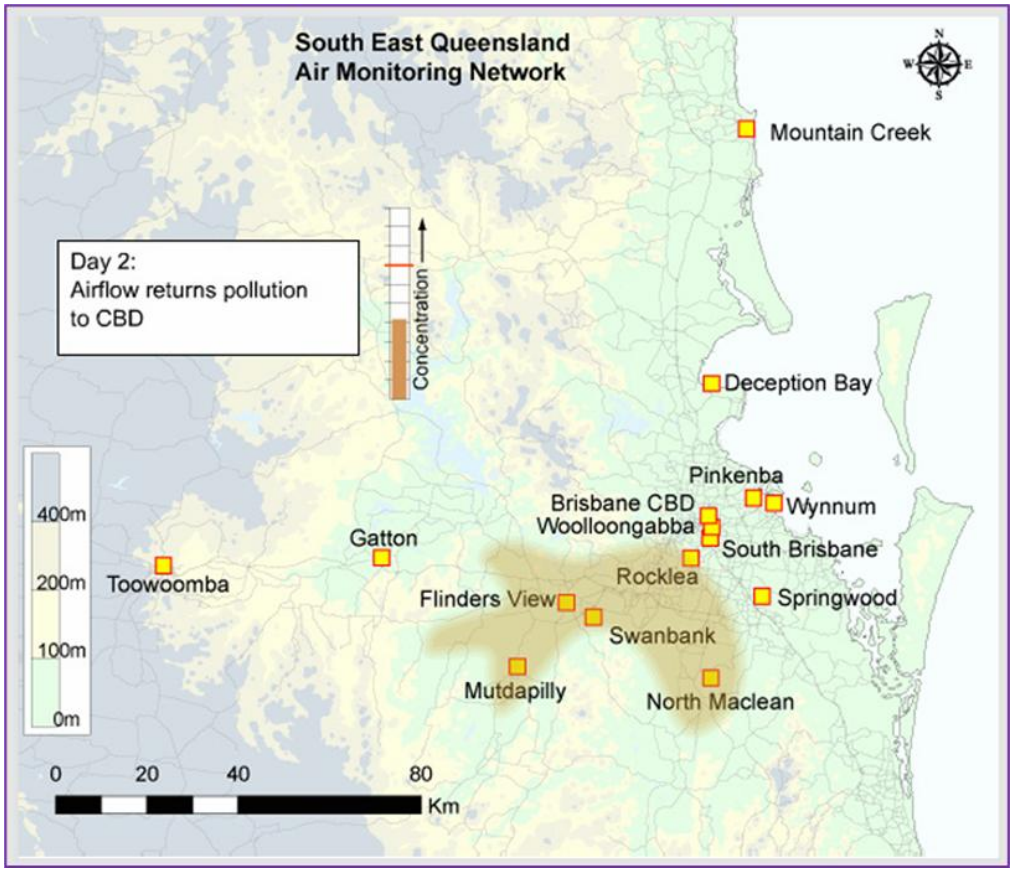
Слика 1.47. Следење на загадувањето во Квинсленд – Ден 1. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Ден 2

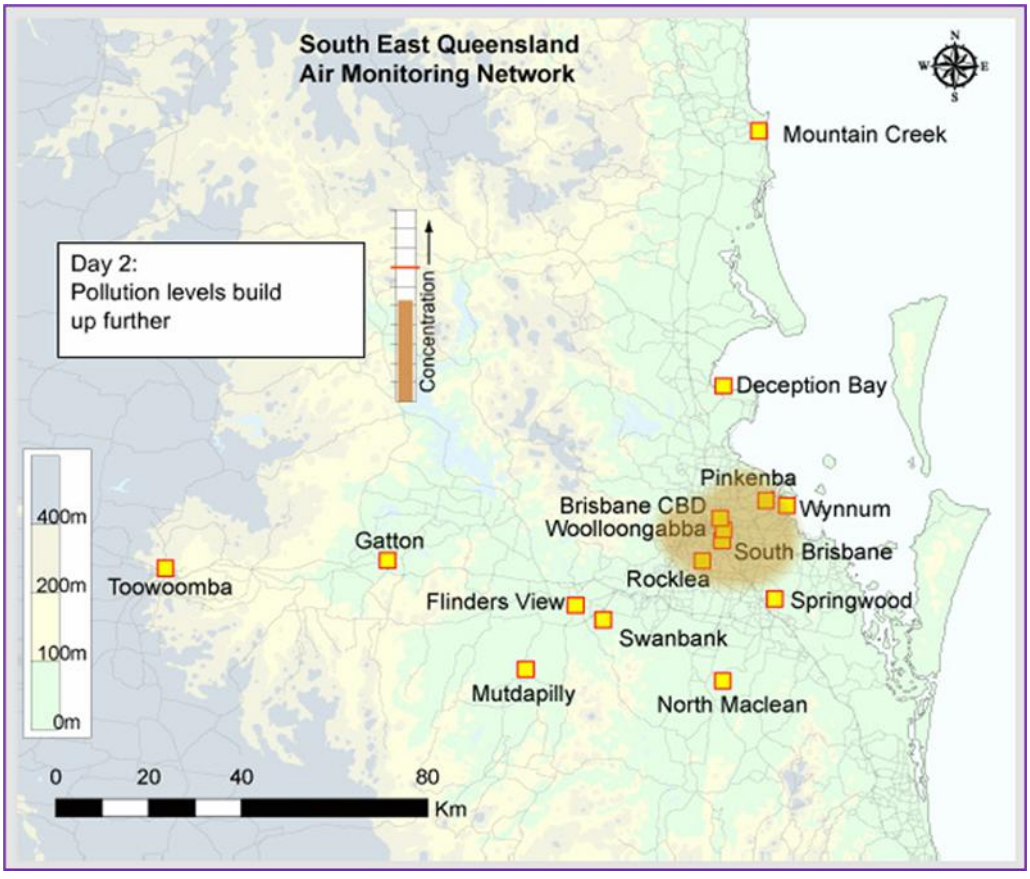
Во текот на вториот ден, воздушните струи го враќаат загадениот воздушен дел назад во централниот деловен округ Бризбејн, каде што истите извори повторно ги зголемуваат нивоата.

Морските ветрови го рециркулираат воздушниот дел со поголема концентрација на загадувачи назад во внатрешните долини по втор пат. Потоа, дренажните воздушни струи ги враќаат во централниот деловен округ Бризбејн уште еднаш следниот ден.

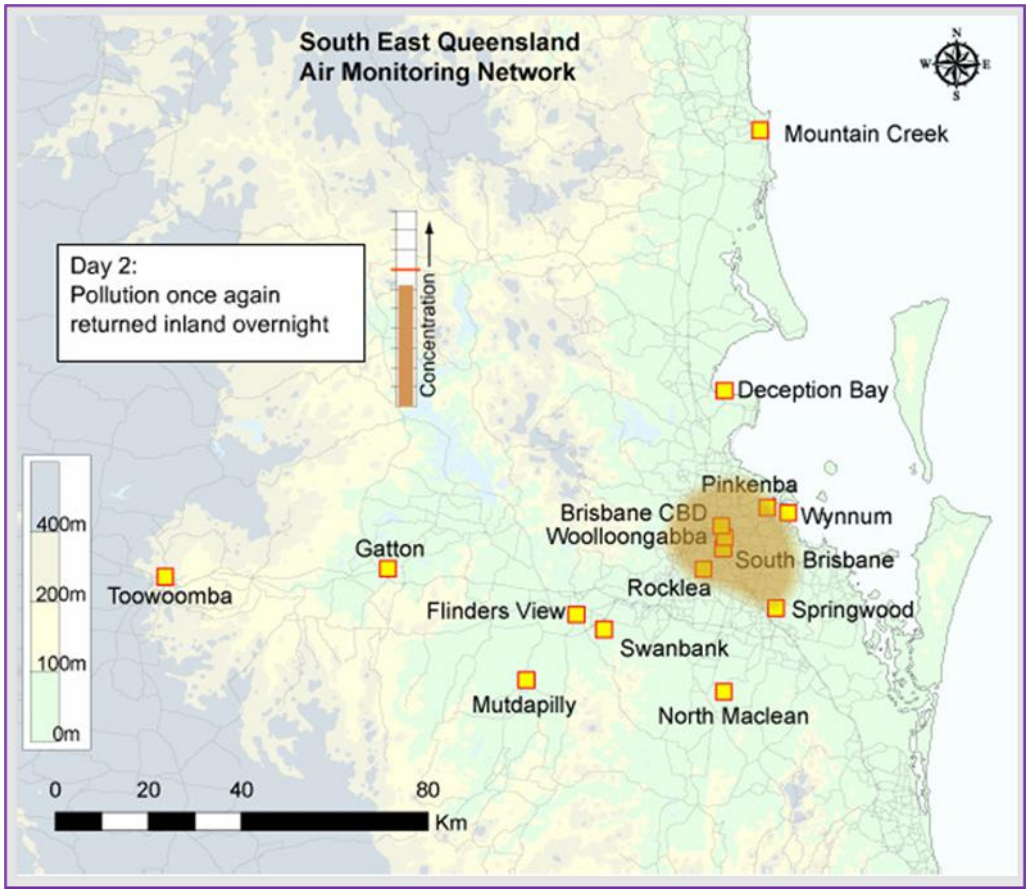
Концентрациите на загадувачи повисоки од прифатливите стандарди се поверојатни кога се случува овој модел на рециркулација, интензивирајќи ја контаминацијата на воздухот.



Слика 1.48. Следење на загадувањето во Квинсленд – Ден 2.(Извор: Clarity Movement Co, USA)



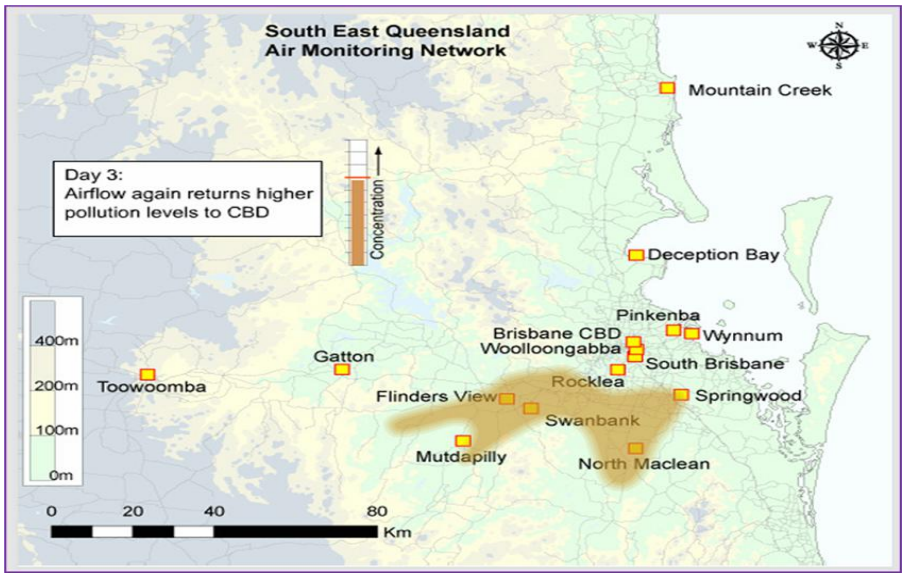
Слика 1.49. Нивои на загадување во Квинсленд – Ден 2. (Извор: Clarity Movement Co, USA)



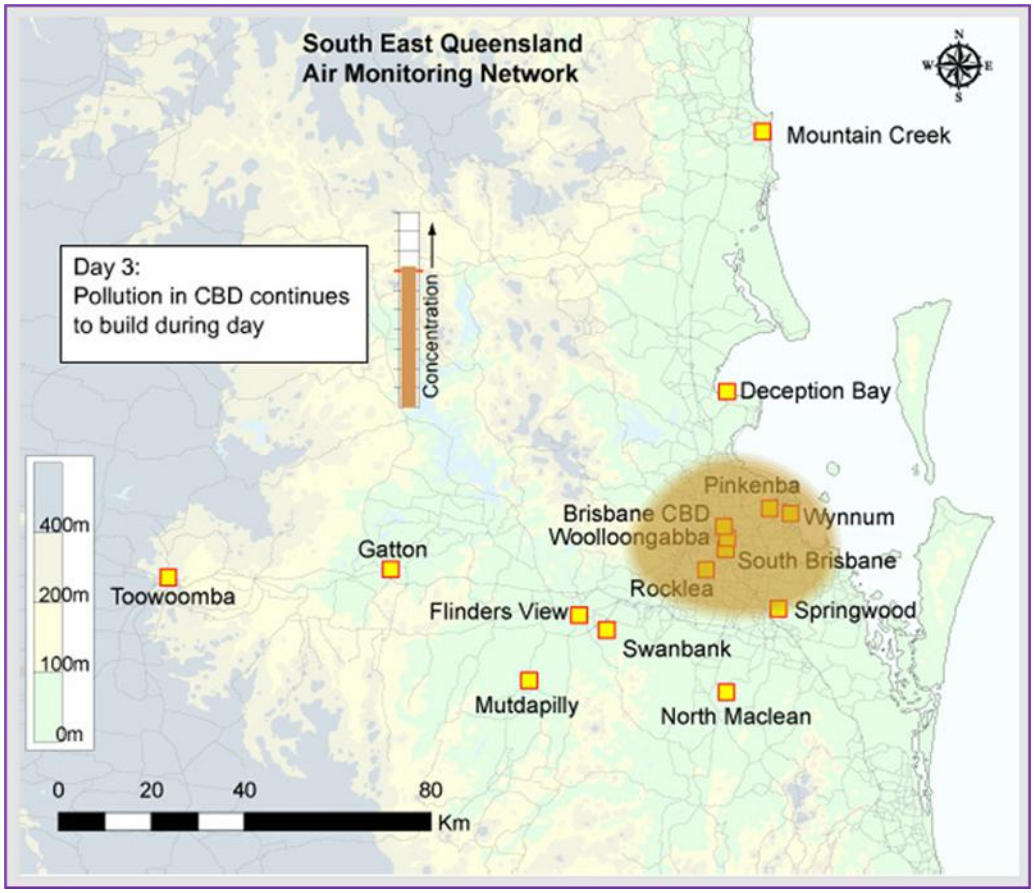
Слика 1.50. Загадување кое повторно се враќа во Квинсленд – Ден 2. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Ден 3

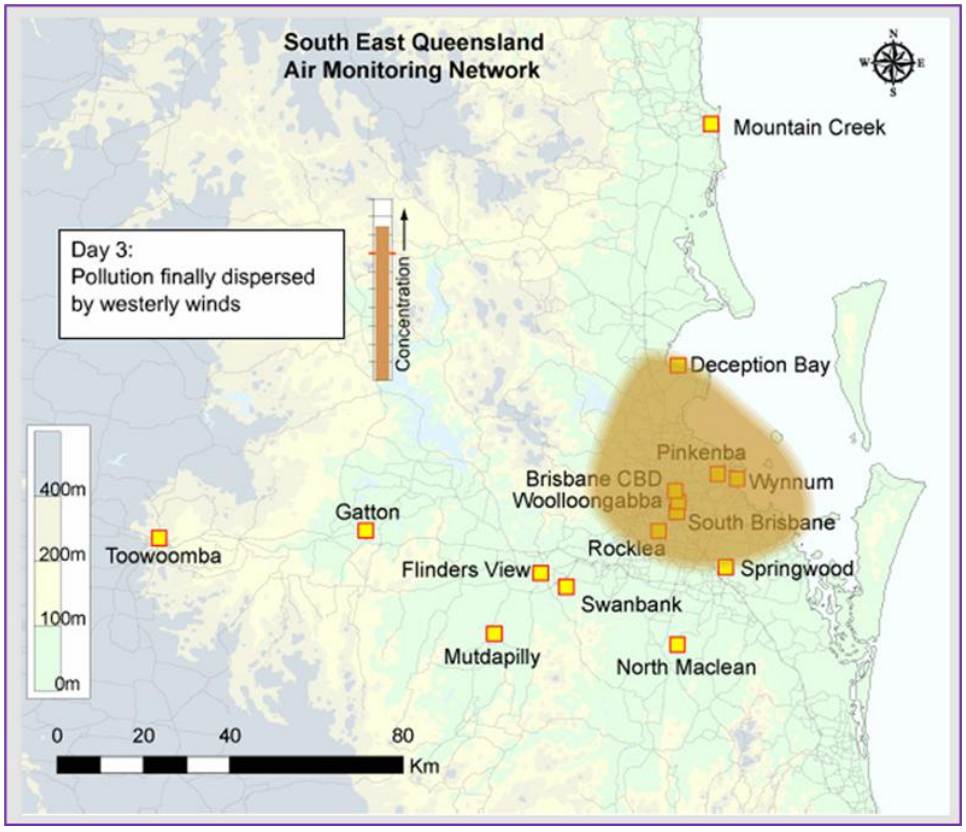
Во третиот ден посилните ветрови конечно го распрснуваат загадениот воздушен слој со тоа што ги носат загадувачите на море, каде што разредувањето со чист воздух ги намалува нивоата на загадувачи. Ова може да се случи и ако ветровите го однесат воздушниот слој далеку во внатрешноста.



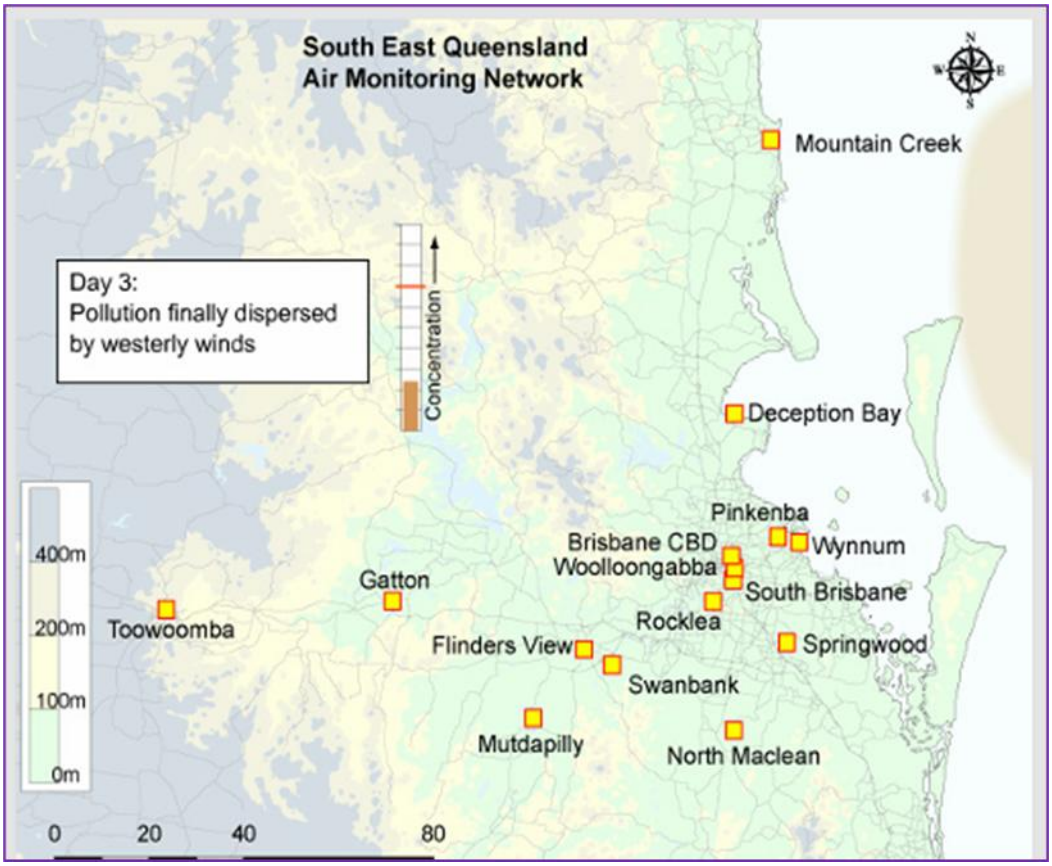
Слика 1.51. Ниво на загадувањето во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA)



Слика 1.52. Загадување во текот на денот во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA)



Слика 1.53. Загадувањето дисперзирано од западните ветрови во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA)



Слика 1.54. Дисперзирано загадување во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

1.5 Видови на обновлива енергија што моментално постојат

Најчести обновливи извори на енергија вклучуваат ветер, сончева енергија и геотермална енергија, а два од најбезбедни и најчести се ветерот и сончевата енергија.

Климатска акција на Обединетите Нации: „Обновливите извори на енергија кои се достапни во изобилство насекаде околу нас, обезбедени од сонцето, ветерот, водата, отпадот и топлината од Земјата се надополнуваат со природата и испуштаат малку или воопшто не испуштаат стакленѝчки гасови или загадувачи во воздухот“.

Енергијата на ветерот се создава со помош на ветерни турбини кои можат да се постават насекаде со брзи ветрови, вклучувајќи ги врвовите на ридовите до отворени води. Енергијата на ветерот е еден од најчистите извори на енергија бидејќи ветерните турбини не влијаат директно на емисиите на загадување на воздухот и не им е потребна вода за ладење.

Сончевата енергија, која користи соларни или фотоволтаични ќелии за претворање на сончевата светлина во електрична енергија, е исто така многу чиста бидејќи не произведува загадувачи на воздухот ниту придонесува за емисии на стаклени̇чки гасови. Сепак, процесот на производство на соларни панели може да произведе некои емисии.

Геотермалната енергија се потпира на топлината произведена во Земјата. Водата се вбризгува длабоко под земја и се загрева од стопленатa внатрешност на Земјата и се враќа како топла вода или пареа. Оваа пареа се користи за напојување на турбина за производство на електрична енергија. Геотермалната енергија произведува само една шестина од јаглерод диоксидот од електрана на природен гас и малку или воопшто нема загадување со NO2 или SO2.

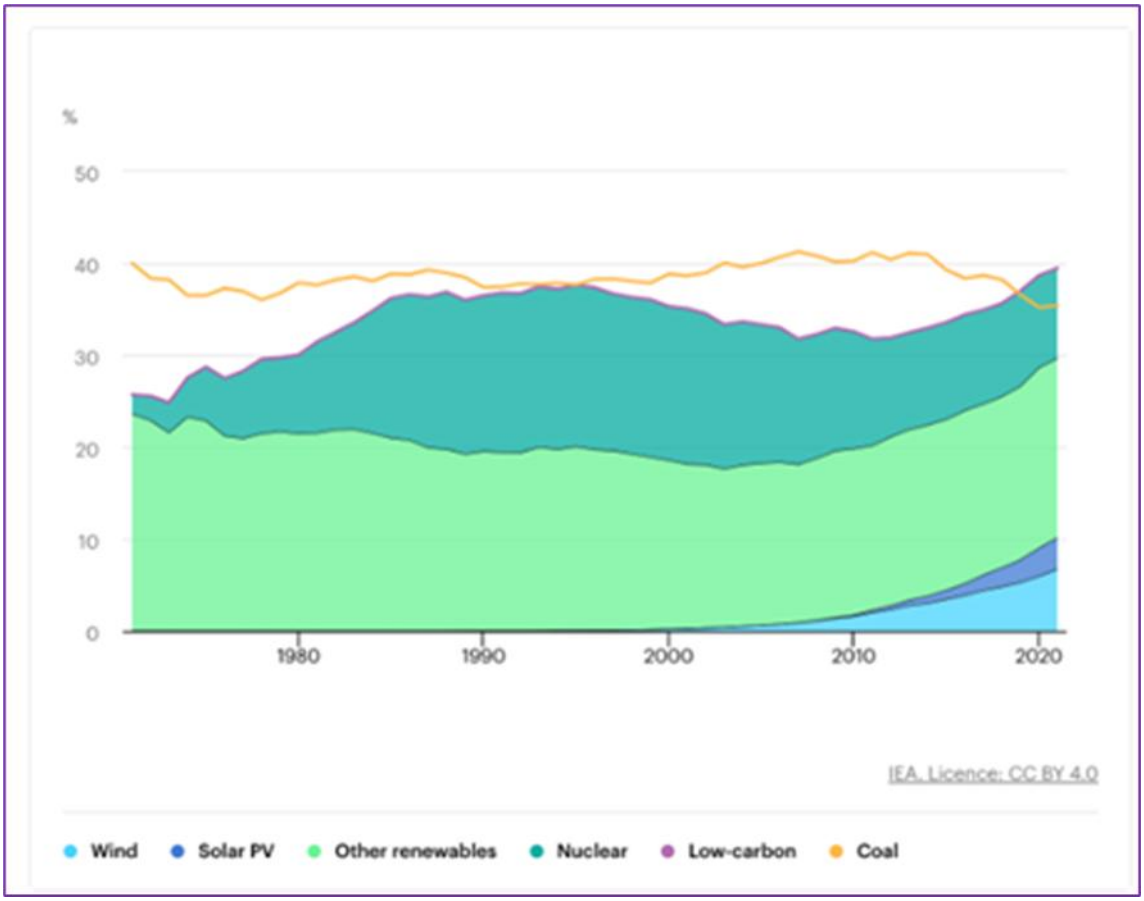
Може да постои возбудлива иднина кога станува збор за нуклеарна фузија. Нуклеарната фузија е процес каде што лесните елементи (водород и хелиум) се комбинираат за да формираат потешки елементи (деутериум и трициум) и да ослободат енергија во процесот, неодамна се најде во насло-вните страници поради научен пробив каде што научниците за прв пат покажаа позитивно енергетско зголемување во реакцијата.

Сепак, сè уште сме далеку од можноста да ја користиме нуклеарната фузија како одржлив извор на енергија. Иако овој процес сè уште не може прак-тично да се примени комерцијално, тој има потенцијал за чист, безбеден, без јаглерод и речиси неограничен извор на енергија во иднина.

Моменталната состојба на користење на обновлива енергија

Употребата на обновлива енергија расте низ целиот свет, но за жал сè уште сочинува само дел од вкупното производство на енергија.

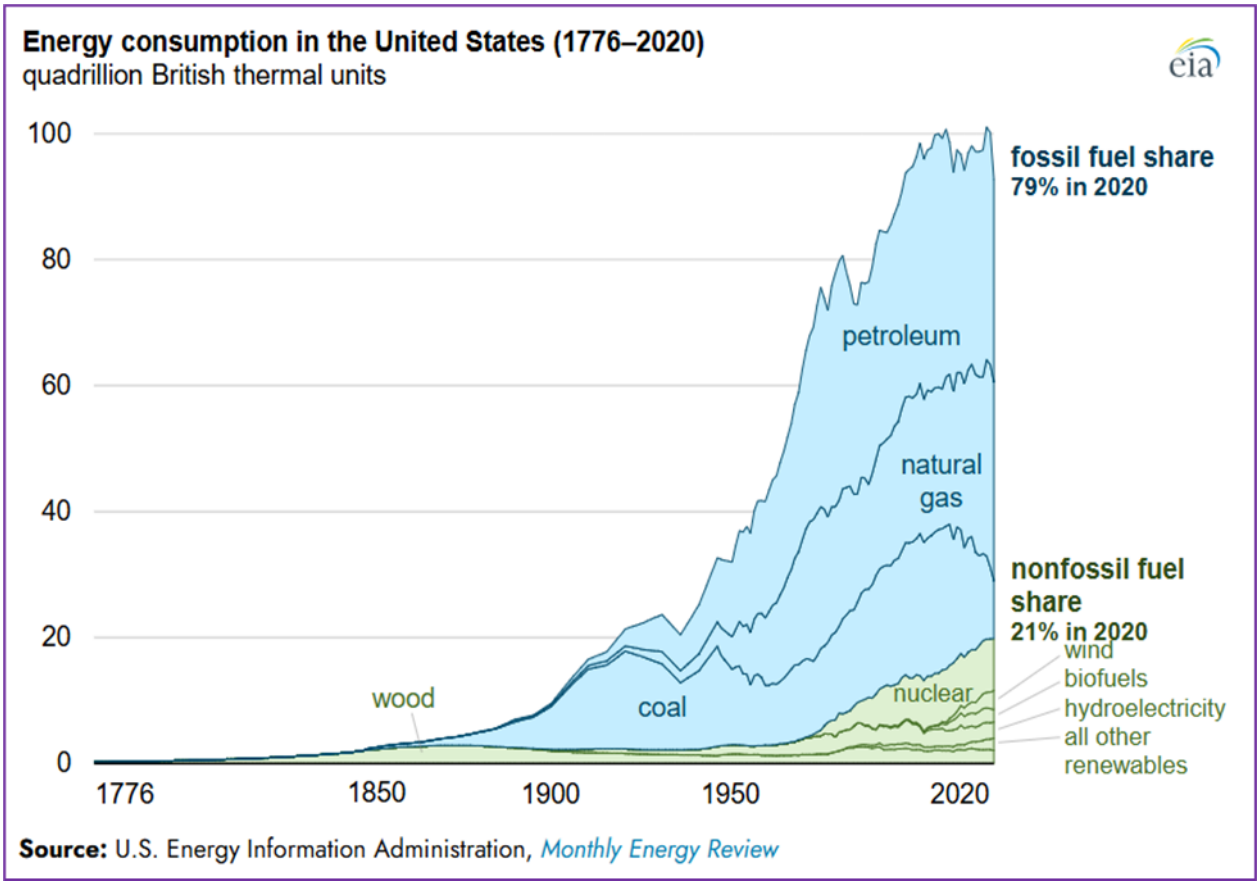
Глобално, иако фосилните горива сè уште сочинуваат најголем дел од производството на енергија, обновливите извори на енергија сега сочинуваат 29% од моменталното производство на електрична енергија.



Слика 1.55. Удел на извори со ниска емисија на јаглерод и јаглен во светското производство на електрична енергија, 1971-2021 (Извор: Clarity Movement Co, USA)

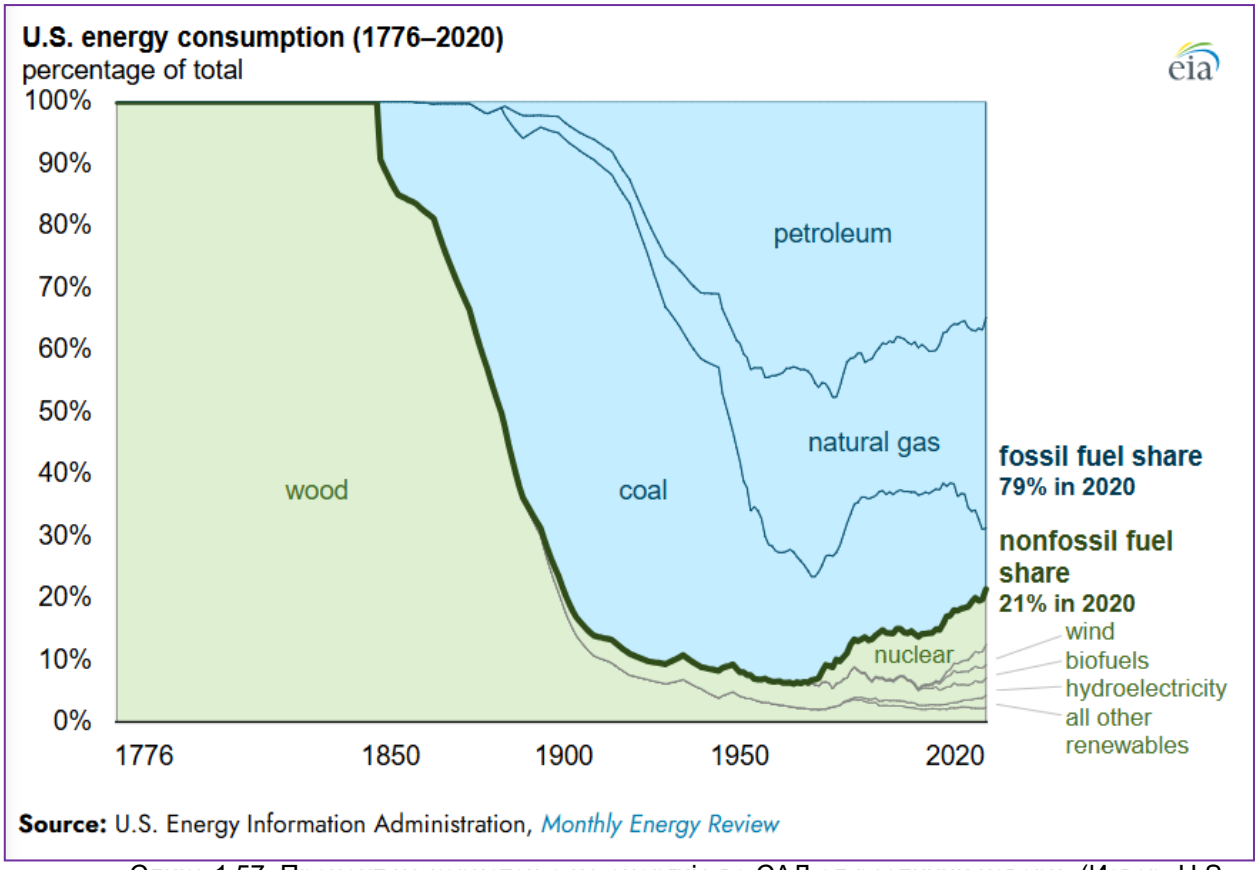
Во Соединетите Американски Држави, 29% од емисиите на стаклени-чки гасови доаѓаат од производство на електрична енергија, особено од согорување на фосилни горива. Сепак, САД ја зголемуваат употребата на извори на енергија од нефосилни горива, при што 21% од потрошувачката на енергија во земјата доаѓа од обновливи извори во 2020 година – најголем удел од почетокот на 1900 – тите.

Нафтата е најкористен извор на енергија во Соединетите Американски Држави откако го надмина јагленот во 1950 година. Потрошувачката на нафта во САД останува под својот врв од 2005 година, а во 2020 година изнесуваше вкупно 32,2 квадрилиони. Потрошувачката на природен гас во САД изнесува вкупно 31,5 квадрилиони во 2020 година, што е мал пад од претходната го-дина, но е второ највисоко ниво на потрошувачка на природен гас во Соеди-нетите Американски Држави досега.



Слика 1.56. Потрошувачката на јаглен во САД падна на 9,2 квадрилиони во 2020 година, најниско ниво во последните 116 години. Потрошувачката на јаглен во САД се намали за повеќе од половина од својот врв во 2005 година; нама-лената употреба во електроенергетскиот сектор е причина за голем дел од овој пад. (Извор: U.S Energy Information Administration)

Со зголемување на понудата и употребата на обновлива енергија како што се ветерот и сончевата енергија, можеме да ги замениме изворите што трошат многу јаглерод, како што се фосилните горива, и да ја намалиме количината на ослободени стаклени̇чки гасови.

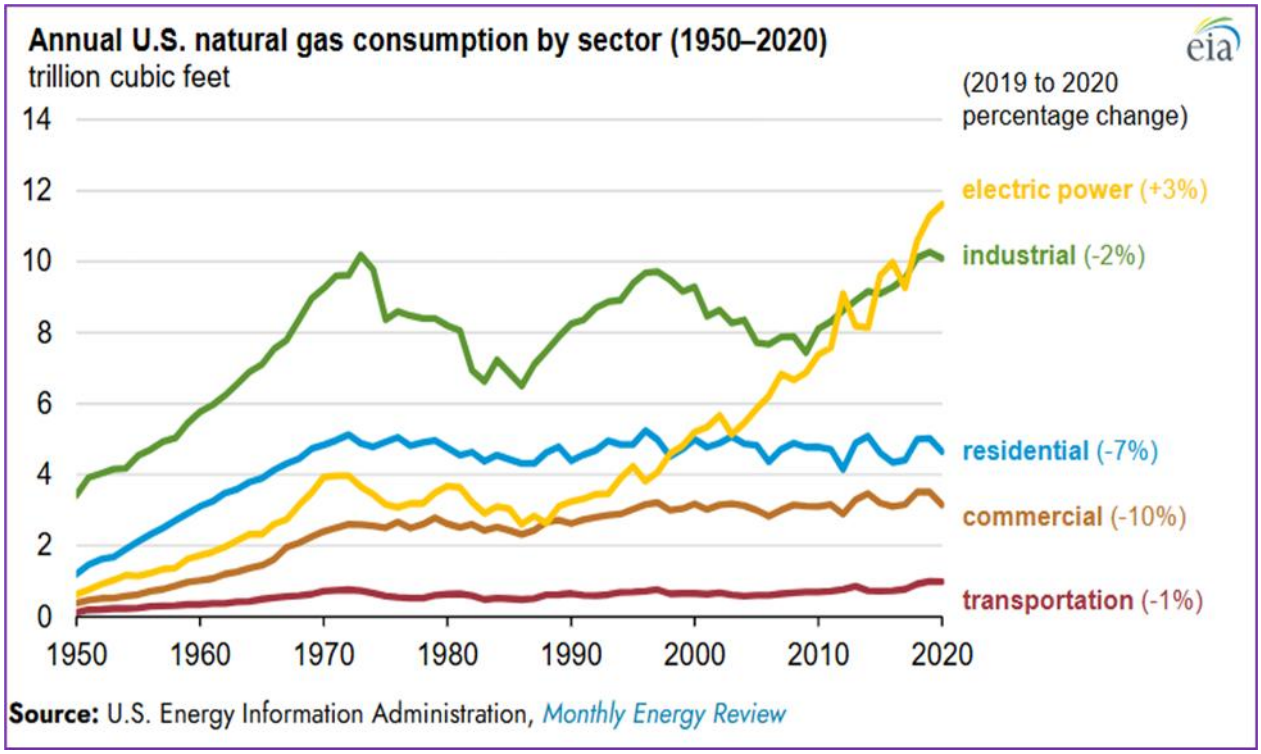


Слика 1.57. Процент на користење на енергија во САД од различни извори. (Извор: U.S Energy Information Administration)

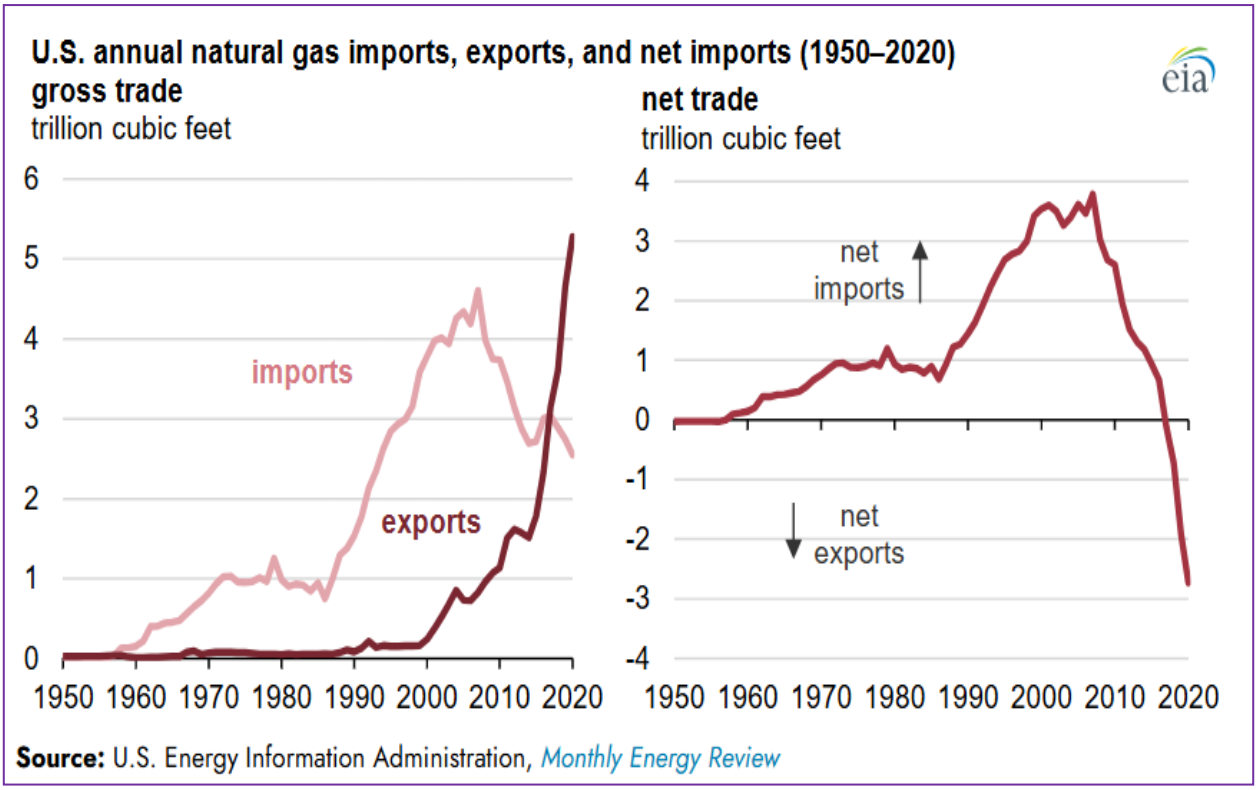
Во 2020 година, потрошувачката на природен гас од страна на електроенергетскиот сектор на САД и извозот на природен гас достигнаа рекордни максимуми, и покрај годишниот пад од 2% во домашното производство на сув природен гас. Производството на сув природен гас не ги вклучува течностите од постројките за природен гас (NGPL - natural gas plant liquids), како што се етан и пропан. Во 2020 година, производството на NGPL порасна на рекордно високи 2,7 трилиони кубни стапки (Tcf - trillion cubic feet), што е зголемување од 7% во однос на 2019 година. Дијаграмот на проток на природен гас во САД го покажува обемот на снабдување со природен гас во САД (производство, увоз и повлекувања од складирање) и располагање (потрошувачка, извоз и дополнувања на складирање) во 2020 година.

Потрошувачката на природен гас во електроенергетскиот сектор во САД порасна на рекордно високо ниво од 11,6 трилиони кубни стапки во 2020 година, што е зголемување од 3% во споредба со 2019 година. Електроенергетскиот сектор во САД потрошил повеќе природен гас од кој било друг сектор во пет од последните шест години. Електричната енергија беше единствениот сектор што ја зголеми потрошувачката на природен гас во 2020 година.

Природниот гас стана сè поважен извор на енергија за електричната енергија во САД во последните неколку години. Природниот гас остана примарен извор на производство на електрична енергија во Соединетите Држави откако го надмина јагленот во 2016 година. Повеќе од 100 електрани на јаглен се заменети со или претворени во природен гас од 2011 година.



Слика 1.58. Годишно конзумирање на природен гас во САД. (Извор: U.S Energy Information Administration)



Слика 1.59. Годишен увоз и извоз на природен гас во САД. (Извор: U.S Energy Information Administration)

Извозот на природен гас од САД се зголеми на рекордно високо ниво од 5,3 трилиони кубни стапки во 2020 година, што е зголемување од 13% во споредба со 2019 година. Извозот на природен га с од САД значително порасна во текот на изминатата деценија, а во 2017 година, извозот го надмина увозот на природен гас за прв пат од 1957 година. Околу 55% од извозот на природен гас од САД во 2020 година беше испратен преку цевковод во Мексико и Канада. Поголемиот дел од остатокот беше испратен во странство како течен природен гас (LNG). Мексико добива повеќе извоз на природен гас од САД од која било друга земја, а извозот на природен гас од САД во Мексико достигна рекордно високо ниво од 2,0 три-лиони кубни стапки во 2020 година. Извозот на LNG од САД, исто така, се зголеми на рекордно високо ниво во 2020 година, а речиси половина отиде во Азија. Увозот на природен гас во 2020 година се намали на помалку од 2,6 трилиони кубни стапки, најниско ниво од 1993 година. Речиси целиот увоз на природен гас во САД потекнува од Канада.

Производството на сув природен гас во САД во 2020 година се намали за 2% во споредба со 2019 година на 33,4 трилиони кубни стапки, делумно поради потоплото време, пониските цени на природниот гас и економските влијанија поврзани со пандемијата COVID-19. Производството на природен гас во

Соединетите Американски Држави генерално се зголеми во текот на изминатата деценија поради широкото усвојување на техниките за хоризонтално дупчење и хидраулично кршење што им овозможуваат на операторите поекономично да произведуваат природен гас од формации на шкрилци.

Квалитетот на воздухот и придобивки од обновлива енергија за јавното здравје

Загадувањето на воздухот е сериозна глобална криза, при што Светската здравствена организација проценува дека 99% од луѓето низ целиот свет дишат воздух што ги надминува границите за квалитет на воздухот и го загрозува нивното здравје.

Според IEA, производството и потрошувачката на енергија се најголем извор на антропогено загадување на воздухот во светот, што значи дека е важно да се препознаат сериозните влијанија што употребата на необновлива и нечиста енергија ги има врз нашиот воздух и здравје.

Податоци од Светска банка ги проценуваат глобалните загуби на благосостојба предизвикани од загадувањето на воздухот на 5,11 трилиони долари во 2013 година или околу 14 милијарди долари дневно.

Поголемото потпирање на обновливи извори на енергија, како што се ветерот и сонцето, има значајни здравствени и економски придобивки, при што една студија покажува 2 милијарди долари здравствени придобивки од енергијата на ветерот, при што 29% и 32% од овие здравствени придобивки се поврзани со расните и етничките малцинства и населението со ниски приходи, соодветно.

Сосема спротивно на тоа, една студија од Харвард процени 74,6 милијарди долари трошоци за животен циклус и јавно здравје поврзани со јагленот секоја година во Соединетите Американски Држави.

Користењето на обновливи извори на енергија ги намалува нивоата на фини честички, или PM2.5. Електраните, транспортот и индустрискиот сектор се едни од најголемите извори на PM2.5, а исто така испуштаат и други загадувачи на воздухот како сулфур диоксид и азотни оксиди во атмосферата.

Како два од најчистите извори на енергија што се моментално достапни, преминувањето на ветерна и сончева енергија може да ги ограничи нивоата на PM2.5 речиси веднаш. Други обновливи извори на енергија, како геотермалната,

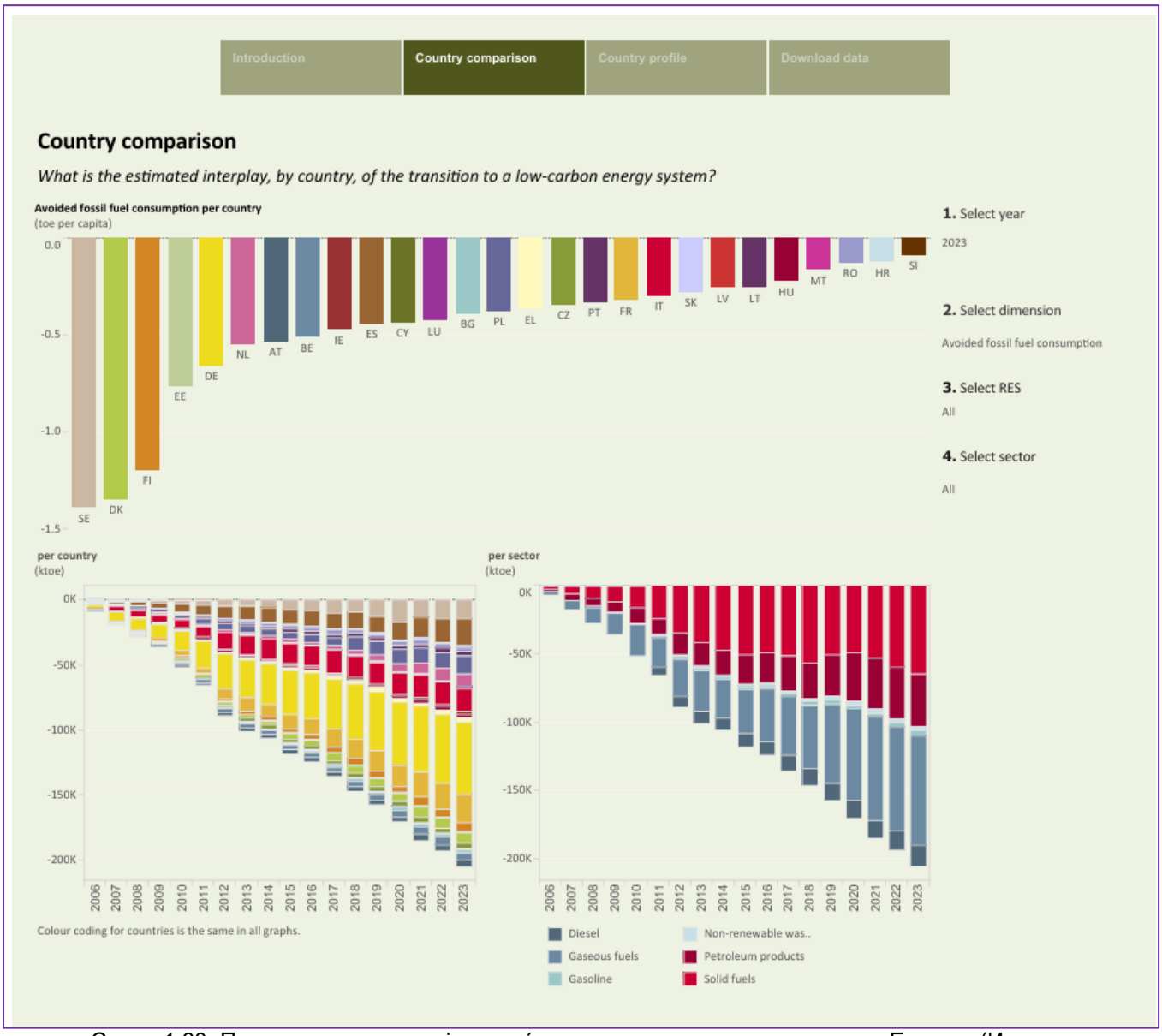
сè уште испуштаат одреден број PM2.5, но значително помалку од фосилните горива.

Обновливата енергија исто така, го намалува производството на озон на ниво на земја и загадување со NO2, кои одат рака под рака бидејќи емисиите на азотни оксиди од електраните на јаглен се еден дел од хемиската реакција што произведува приземен озон и се главен дел од зголемувањето на нивоата на озон.

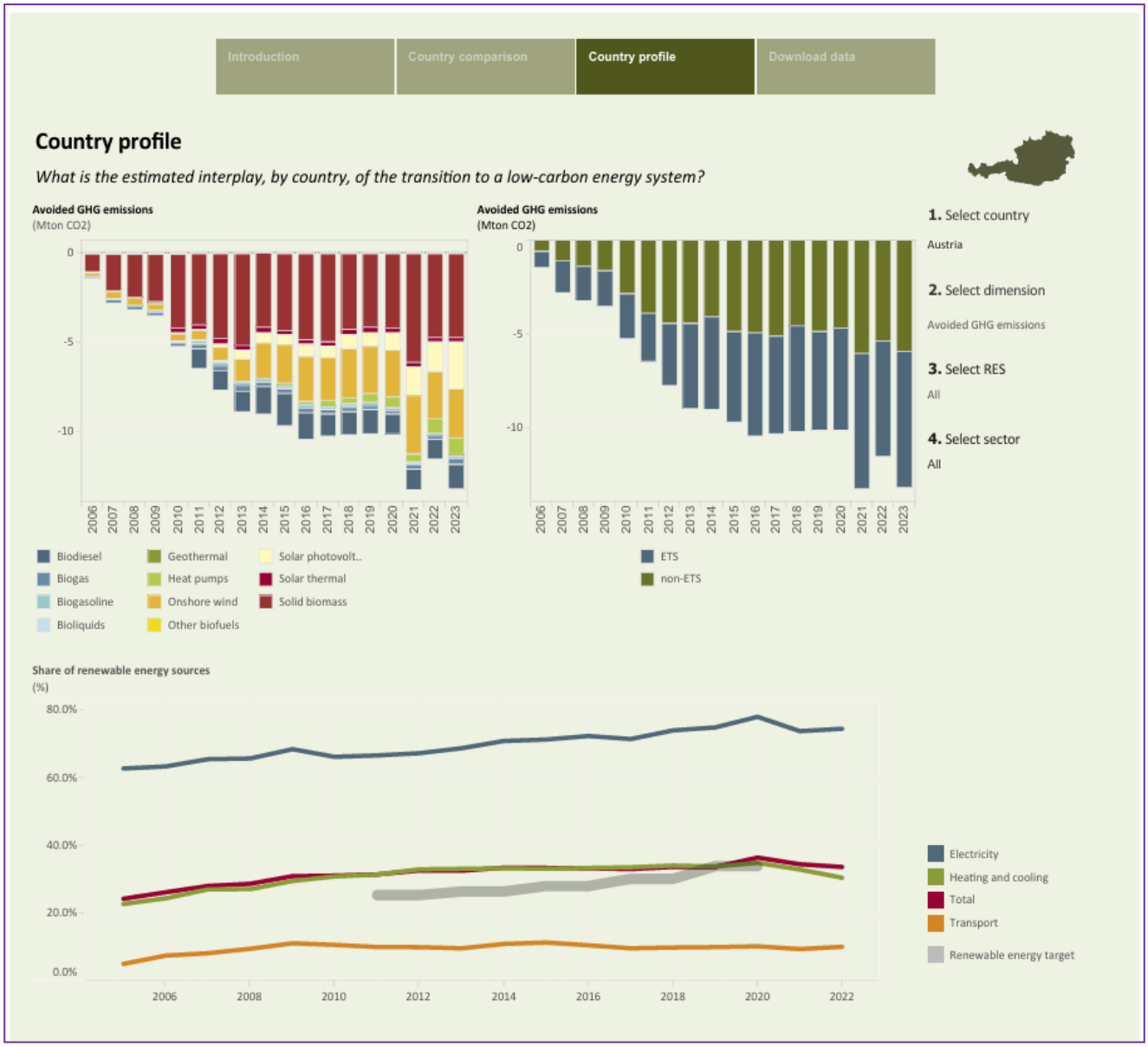
Преминувањето на обновлива енергија исто така, ги намалува и другите загадувачи на воздухот. Податоците од извештајот на EEA (European Environment Agency) покажуваат дека замената на обновлива енергија наместо фосилни горива доведе до намалување од 7% на SO2 и намалување од 1% на емисиите на NOx од 2005 до 2017 година во ЕУ.

Влијанија од употреба на обновлива енергија врз декарбонизација и емисии на загадувачи на воздухот

Обновлива енергија во Европа: Придобивки за климата и енергијата и интеракција со емисиите на загадувачи на воздухот



Слика 1.60. Приказ за компарација помеѓу држави за приказ на емисии во Европа. (Извор: European Environment Agency)



Слика 1.61. Емисии на CO2 во Австрија од различни сектори. (Извор: European Environment Agency)

Трендови и проекции во Европа во 2024

Годишниот извештај на ЕЕА за трендовите и проекциите во Европа ги истражува историските трендови, најновиот напредок и проектираниот иден напредок во ублажувањето на климатските промени преку намалени емисии на стаклени гасови, добивки од обновлива енергија и подобрена енергетска ефикасност. Тој се темели на податоците објавени од земјите членки на ЕУ-27, пет земји членки на ЕЕА и девет договорни страни на Енергетската заедница. Со овој извештај и поврзаните индикатори и збирки на податоци за климата и енергијата, ЕЕА ја поддржува проценката на Европската комисија за напредокот кон исполнување на климатските и енергетските цели на ЕУ.



Слика 1.62. Трендови и проекции во Европа во 2024. (Извор: European Environment Agency)

1.6 Мониторинг на квалитетот на воздухот: Како различни видови технологии за мониторинг на воздухот придонесуваат за поцелосно разбирање на загадувањето на воздухот

Постојат повеќе од еден начин за мерење на квалитетот на воздухот. Денес се користат различни технологии за следење на квалитетот на воздухот, вклучувајќи традиционални FRM/FEM монитори од референтен квалитет, мобилни сензори за квалитет на воздухот, стационарни сензори со ниска цена, технологија за сателитско следење и алтернативни форми на следење, некои проекти дури и успешно користеле мов за да идентификуваат точкести извори на загадување на воздухот. При одредувањето кој тип или типови на технологија за следење ќе бидат најдобри за проект или програма за следење, корисно е да се започне со разгледување на целиот спектар на достапни решенија. Ова ни овозможува да ги истражиме случаите на употреба за кои секоја технологија е најсоодветна, заедно со сите специфични предности и недостатоци. Зголемениот број на проекти што користат повеќе технологии - практика што се нарекува Мониторинг на квалитетот на воздухот 2.0 – претставува возбудлива можност за иднината на глобалниот простор за следење на квалитетот на воздухот.

Како што следењето на квалитетот на воздухот се шири низ целиот свет, така се прошируваат и видовите технологии за следење. Додека во Соединетите Американски Држави, следењето на квалитетот на воздухот започна со имплементација на опрема од референтен степен од страна на федералната влада, тоа еволуираше за да се искористат алтернативни технологии, како што се: мобилни сензори, стационарни сензори со ниска цена, мерење на квалитетот на воздухот спроведено од сателити, па дури и употреба на мов за откривање на загадувачи на воздухот.

Секој вид технологија за следење доаѓа со свои уникатни предности и недостатоци. Секој пристап кон мерењето на квалитетот на воздухот, исто така, дава различни резултати од податоците, различна просторно – временска

резолуција, точност и друго што следствено може да резултира со многу различно разбирање на природата на загадувањето на воздухот.

Како што расте јавната побарувачка за подобри податоци за квалитетот на воздухот, ќе продолжиме да гледаме иновации во технологии за следење на квалитетот на воздухот што можат да помогнат во задоволувањето на овие потреби. На пример, следењето на квалитетот на воздухот во помал обем на локално ниво стана позастапено како што расте јавната свест за прашањата за еколошка правда и другите влијанија врз квалитетот на воздухот на ниво на заедницата.

Најуспешните проекти за следење на квалитетот на воздухот се оние што ги користат предностите на различните технологии за да ја насликаат најцелосната слика за загадувањето на воздухот и тука ја гледаме иднината на следењето на квалитетот на воздухот.

Традиционално следење на квалитетот на воздухот со употреба на опрема FRM и FEM

Владините монитори за квалитет на воздухот со референтен степен, категоризирани како монитори за федерален референтен метод (FRM – federal reference method) или монитори за федерален еквивалент на метод (FEM – federal equivalent method), претставуваат научен стандард за следење на квалитетот на воздухот. Оваа опрема има строги стандарди за перформанси на мерењето и обично се користи за поддршка на донесувањето одлуки за квалитетот на воздухот, креирањето политики и евалуација на постигнувањето на регулаторните стандарди на државно и федерално ниво.

Опремата FRM специјално е дизајнирана за да ги исполни стандардите за мерење на квалитетот на воздухот развиени од регулаторни тела, како што е Агенцијата за заштита на животната средина на Соединетите Американски Држави (USEPA – United States Environmental Protection Agency). FEM мониторите може да вклучуваат други видови технологија, но сепак мора да обезбедат споредливо ниво на перформанси, како што е оценето во однос на официјалните стандарди како што се оние на USEPA.

Поради нивниот висок квалитет на податоци, FRM и FEM мониторите служат како основа за споредба со која се оценуваат други технологии за следење, како што се сензорите со ниска цена. Бидејќи важното донесување

одлуки и регулаторната акција се базираат на податоци за квалитетот на воздухот од FRM и FEM уредите, тие имаат строги оперативни стандарди за параметри, како што се точност, прецизност, опсег на мерење и отстапување, меѓу другите аспекти.

Високите перформанси и стандардите за квалитет на податоците за FRM и FEM мониторите ги поставуваат како “златен стандард“ за следење на квалитетот на воздухот. Понатаму, нивниот долг работен век – над десет години со соодветно одржување и калибрација им овозможи да дејствуваат како долгорочни инструменти за федерално следење на квалитетот на воздухот во Соединетите Американски Држави.

Сепак, оваа технологија не е без свои недостатоци. Традиционалната опрема за следење на FRM и FEM доаѓа со голема цена, со типична цена на купување од 15.000 до 40.000 долари по монитор. Правилното работење на инструментите честопати бара средина со контролирана температура, а рутинската калибрација и одржување бараат квалификувани техничари, што резултира со уште повисоки оперативни трошоци; годишните трошоци за работа на FRM честопати можат да ги надминат значителните трошоци за купување.

Поради нивниот дизајн и инфраструктурата која е потребна за нивна поддршка, како што се наменски засолништа за електрична енергија и податоци за сместување на опремата, тие имаат тенденција да бидат нефлексибилни кога станува збор за одлуки за локација. Кога станува збор за распоредување на мрежа за следење на квалитетот на воздухот, нивната висока цена исто така значи дека можат да се имплементираат помалку монитори во споредба со бројот на сензори со ниска цена или други алтернативни технологии што би можеле да се распоредат по еквивалентна цена. Овие бариери значат дека квалитетот на воздухот има тенденција да се мери на регионално ниво, што може да остави значителни празнини во податоците кога станува збор за разбирање на квалитетот на воздухот на локално или микро ниво.

Мобилно следење на квалитетот на воздухот

За разлика од стационарните монитори за квалитет на воздухот, вклучувајќи ги и FRM/FEM мониторите и стационарните сензори со ниска цена, мобилното следење на квалитетот на воздухот го мери квалитетот на воздухот низ град или регион во даден временски период – обично со монтирање опрема

за следење на или во автомобил или друго возило. Овој пристап дава просторно разновиден, но временски ограничен збир на податоци за да се обезбеди слика за квалитетот на воздухот низ регионот за одреден временски момент.



Слика 1.63. Мобилните монитори за квалитет на воздухот го мерат квалитетот на воздухот низ зона на мониторинг за даден временски момент, но често пати не можат да обезбедат целосна слика за трендови или жаришта на квалитетот на воздухот, кои можат брзо да се менуваат. (Извор: US EPA – Агенција за животна средина на САД)

Една од придобивките од мобилно следење на квалитетот на воздухот е високата просторна резолуција со која може да се изврши мерење. Со користење на пристап “блок по блок“ за собирање податоци на голем број точки на податоци низ градот, мерењата на квалитетот на воздухот може да се снимаат на локации кои обично не се опфатени со традиционална мрежа за следење на квалитетот на воздухот FRM/FEM.

Сепак, како и други иновативни технологии за следење, мобилните монитори за квалитет на воздухот можат да имаат променлив квалитет на податоци што ги прави несоодветни за регулаторна употреба. Сликата за

квалитетот на воздухот што доаѓа од мобилното следење може да биде помалку информативна од онаа на стационарните мрежи за следење.

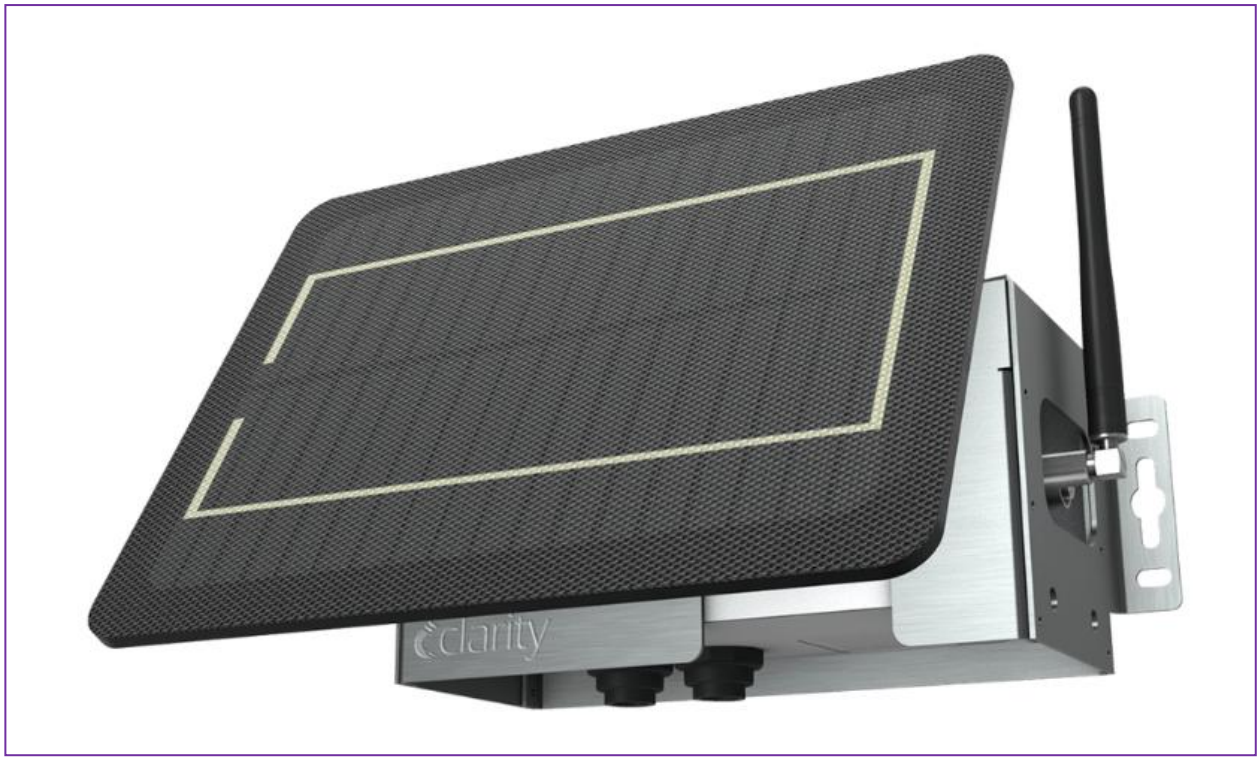
Бидејќи мониторот постојано се движи на локации, лесно може да пропушти жариште на загадување или локален тренд едноставно поради тоа што не е во областа во времето кога се случил настанот на загадување на воздухот. Иако мобилното следење може да собира податоци со поголема просторна резолуција, ова не гарантира дека локалните настани за квалитет на воздухот се снимаат на значаен начин што ни овозможува да ги разбереме трендовите на квалитетот на воздухот со текот на времето.

Стационарно следење со сензори за воздух со ниска цена

Во однос на просторната и временската резолуција, стационарните сензори со ниска цена за квалитетот на воздух се наоѓаат во средната линија помеѓу традиционалното и мобилното следење. Сепак, категоријата е широка – достапни се различни нискобуџетни сензори, со подеднакво широк опсег на перформанси.

Некои нискобуџетни сензори се продаваат и за внатрешна и за надворешна употреба и се најпогодни за домашна употреба од страна на индивидуални потрошувачи. Други нискобуџетни сензори, како оние на Clarity – стават важност не само на самата технологија за мерење туку и на услугите што го обезбедуваат нејзиниот успех. Калибрирањето на уредите во текот на нивното распоредување, како и нивното интегрирање со облак платформа за да се обезбеди скалабилност при градење мрежа, обезбедува попрецизно, поефикасно и попријателско следење на квалитетот на воздухот.

Освен квалитетот на податоците и поврзаните услуги што ги нудат различните брендови, нискобуџетните сензори се разликуваат и во инфраструктурата што им е потребна за работа, без разлика дали се потпираат на WiFi или на наменска електрична услуга, на пример - што, пак, влијае на локациите и условите во кои можат да се распоредат. Кога се разгледува распоредувањето на нискобуџетни сензори на различни места низ целиот свет, нискобуџетните сензори кои се самоодржливи и се поврзуваат со облак преку мобилен телефон за собирање податоци можат да имаат вистински предности.



Слика 1.64. Clarity сензорски монитор (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Во споредба со мобилно нискобуџетно следење, стационарните нискобуџетни сензори сè уште можат да обезбедат висока покриеност на просторни податоци без да пропуштат временски трендови. Флексибилното лоцирање значи дека локациите што би имале најголема корист од поголема покриеност на следење на квалитетот на воздухот, како што се оние блиску до извор на загадување или ранливо население, можат да бидат приоритетни за време на дизајнирањето на мрежата.

Пониски трошоци за купување и работење на стационарни нискобуџетни сензори, флексибилното распоредување и скалабилноста ги прават корисни за градење сензорски мрежи или во области каде што не постои референтна мрежа, или за дополнување на мониторите со референтен степен во регионот со повеќе точки на податоци.

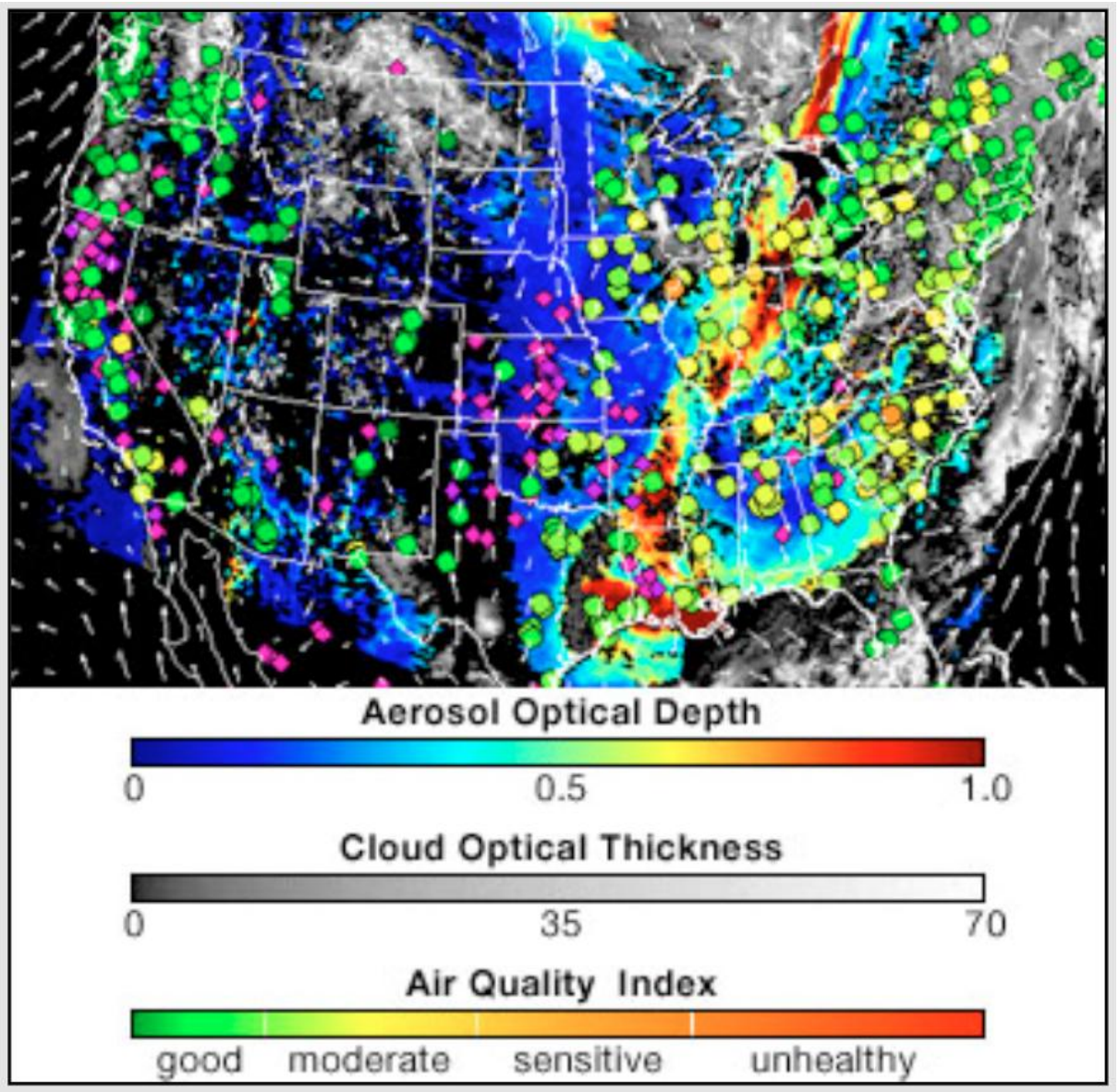
Сепак, како и мобилното следење, стационарните нискобуџетни сензори можат да варираат и во квалитетот на податоците што ги обезбедуваат. Затоа, од клучно значење е да се проценат перформансите на нискобуџетниот сензор што сме заинтересирани да го имплементираме како дел од мрежа за следење на квалитетот на воздухот.

1.7 Мониторинг на квалитетот на воздухот со помош на сателити

За разлика од мониторите за квалитет на воздухот распоредени на ниво на земја, технологијата за следење на квалитетот на воздухот со сателити – како што е спектрорадиометар за снимање со умерена резолуција (MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на НАСА - може да се користи и за следење на настани и трендови на загадување на поголем обем.

Технологијата што се користи за следење на квалитетот на воздухот од вселената е комплексна, справувајќи се со сложеноста на атмосферската хемија. Еден вид мерење, оптичка длабочина на аеросоли (AOD - aerosol optical depth), ја претставува густината на аеросолните честички со мерење на разликата помеѓу сончевото зрачење на врвот на атмосферата на Земјата во споредба со она што достигнува нејзината површина. Поголемо мерење на AOD се случува кога има повеќе честички во воздухот и, со тоа, помалку зрачење што може да се открие на површината. Општо земено, сателитското следење на квалитетот на воздухот функционира со набљудување на тоа како сончевата светлина се расфрла од амбиенталните честички, како што се PM2.5; сепак, овој процес лесно може да биде нарушен од временските услови, својствата на загадувачките честички, мешањето на атмосферата и други фактори. Зависноста од сончевата светлина исто така значи дека ова следење не може да функционира во текот на облачен ден.

Во многу апликации, податоци од сателитско следење на квалитетот на воздухот се спојуваат со мерења од земјата за да се добие “поширока слика“ за квалитетот на воздухот. На пример, комбинирањето на различни точки на податоци од самиот сателитски монитор како што е AOD со оптичка дебелина на облаците или брзина и насока на ветерот со индекс на квалитет на воздухот на ниво на земја (AQI) и знаење за неодамнешни локации на пожари, може да придонесе за поцелосна и попрецизна прогноза за квалитетот на воздухот за време на пожари.



Слика 1.65. Сликата прикажува како научниците од EPA и NASA спојуваат различни мерења кога го испитуваат загадувањето на воздухот. Покрај оптичка длабочина на аеросолите (AOD), оптичка дебелина на облаци и индекс на квалитет на воздухот (AQI), брзината и насоката на ветерот се прикажани со бели стрелки, мерењата на квалитетот на воздухот на земја се прикажани со обоени точки, а пожарите се прикажани со дијаманти. Комбинирањето на различни мерења од сателити и од земја, заедно со компјутерско моделирање, помага да се формира поцелосна слика за квалитетот на воздухот. (Извор: NASA)

Друг вид инструмент за следење на квалитетот на воздухот со сателити е познат како инструмент за следење на озонот (OMI – ozone monitoring instrument) или инструмент за следење на тропосферата (TROPOMI – TROPOspheric Monitoring Instrument) и го користи НАСА. Со мерење на интензитетот на рефлектираната сончева светлина на различни бранови должини и откривање на карактеристики на апсорпција на различни атмосферски гасови во траги, тие можат да мерат не само озон туку и супстанции како азот диоксид, сулфур

диоксид и формалдехид. Оваа технологија може да ја набљудува целата Земја во еден ден и да ги следи промените на глобалниот квалитет на воздухот со текот на времето.

Сепак, како и другите сателитски технологии за следење на квалитетот на воздухот, тие не можат да собираат податоци за време на облачни услови, бидејќи функционираат користејќи сончева светлина рефлектирана назад во вселената. Следењето на квалитетот на воздухот со користење на сателитска технологија може да помогне во пополнување на празнини што ги остават мониторите на земјата, вклучително и над оддалечени региони или водни тела, во земји каде што мониторите на ниво на земја сè уште не се распоредени или на кои им недостасува инфраструктура, како и во секој регион каде што постојната мрежа за следење е ретка или воопшто не постои.

Овој поглед од птичја перспектива исто така значи дека загадувањето на воздухот може да се следи додека се движи низ целиот свет со многу поголема географска покриеност од другите технологии за следење. Тие исто така делуваат како релативно евтин извор на дополнителни податоци за квалитетот на воздухот.

Сепак, сателитското следење на квалитетот на воздухот моментално работи со прилично ниска временска и просторна резолуција во споредба со следењето од земја и со променливи нивоа на точност поради калибрациски пристрасности. Моделите базирани на сателит исто така мора да бидат тестирани од земја со користење на следење од земја, така што тие веројатно ќе продолжат да ги поддржуваат постојните технологии за следење, наместо да го заменат следењето од земја.

Сателитите можат да ја надополнат мрежата за следење на воздухот на копно според законот за чист воздух

Сегашната мрежа за следење на загадување на копно во Соединетите Американски Држави не успева да го земе предвид загадувањето со фини честички (PM2.5) низ поголемиот дел од земјата. Сателитските податоци можат да помогнат во пополнување на празнините.

Чистиот воздух е невидлив. Но, понекогаш и загадениот воздух е невидлив, дури и според мрежата на монитори во Соединетите Американски Држави која е специјално дизајнирана да ни каже што не можеме да видиме.

Мрежата за следење на загадувањето на воздухот, водена од Агенцијата за заштита на животната средина на САД (EPA), покажа дека загадувањето на воздухот во форма на фини честички (наречени PM2.5, што е честичка што има дијаметар од 2,5 микрони или помалку) го прекршува стандардот за квалитет на воздухот за 23,3 милиони луѓе. Но, поранешниот член на RFF, Даниел Саливан откри дека националната мрежа на копнени монитори за квалитет на воздухот на EPA е толку тенка што пропушта многу други области од земјата кои исто така го прекршуваат стандардот. Истражувачка работа покажа дека EPA и нејзината копнена мрежа за следење не успеале да идентификуваат 54 окрузи и уште 25 милиони луѓе во Соединетите Американски Држави кои живеат во области што ги прекршуваат овие стандарди за квалитет на воздухот.

Сателитските податоци можат да помогнат со недостатоците на копнена мрежа за следење. Сателитите сега се сеприсутни и достапни. Тие можат да обезбедат сеопфатни, ажурирани податоци со висока резолуција за проценка на концентрации на PM2.5 низ целата земја. Со сите овие податоци што доаѓаат од сателити, време е сериозно да се преиспита Законот за чист воздух (CAA – Clean Air Act) и регулативата во врска со тоа како областите се означени како области што ги исполнуваат или ги кршат стандардите за квалитет на воздухот.

Како сегашниот систем за следење ги помести работите толку наопаку?

Една голема маана на овој систем е тоа што мрежата за следење на копно е оскудна. На повеќе американски окрузи воопшто им недостасуваат монитори. Од 3.100 окрузи во Соединетите Американски Држави, 651 (21 процент) воопшто немаат монитори за PM2.5. Меѓу тие 651 окрузи од 2015 година, околу 48 проценти имале еден монитор, 24 проценти имале два монитора, а само 29 проценти имале три или повеќе. Понатаму, отчитувањата на мониторот за загадување на воздухот не мора нужно да го претставуваат целиот опсег на концентрации низ области големи колку еден округ.

Зошто мониторите се толку ретки? Една од причините е што се скапи. EPA идентификува специфични “федерални референтни монитори“ како соодветни

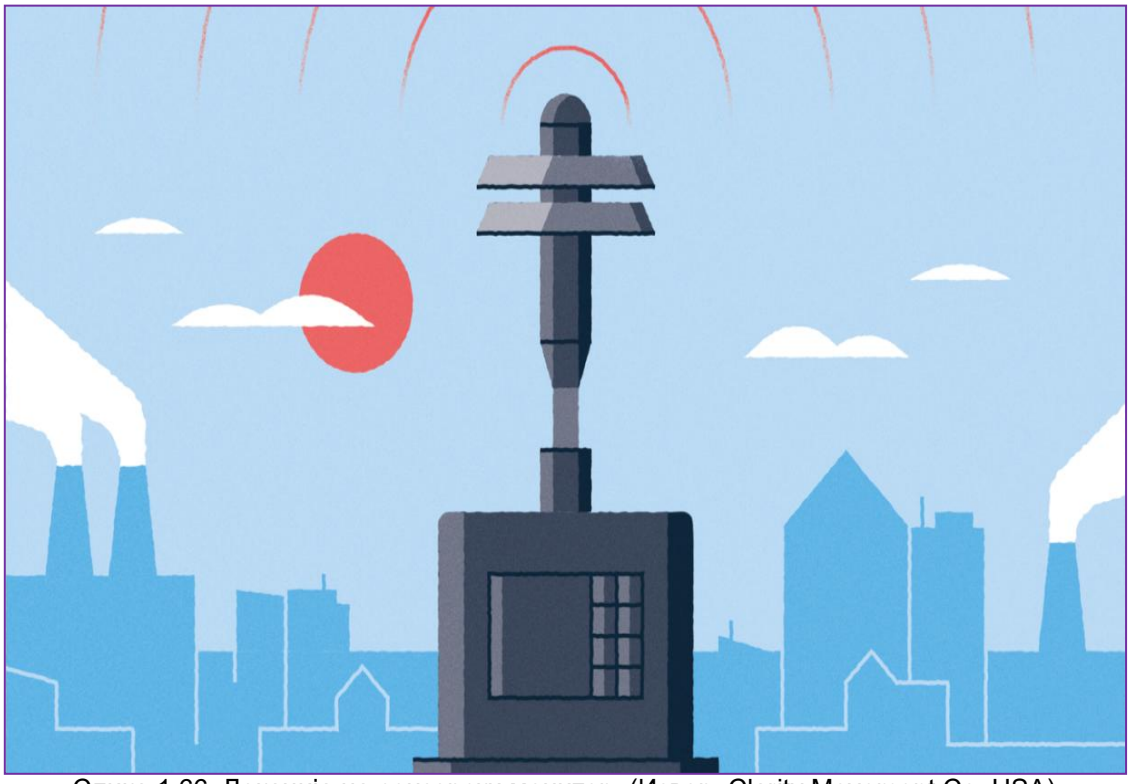
за следење на загадувањето на воздухот во согласност со CAA (како што е документирано во 40 CFR дел 53). EPA вели дека цената на купување на одобрените монитори варира помеѓу 15.000 и 50.000 долари, со дополнителни оперативни трошоци означени како “скапи“. Сепак, “скапото“ е релативно, а постојат и други опции. Државите имаат лесен пристап до пакет сензори за квалитет на воздух што може да се купат за помалку од 2.500 долари. Овие сензори се наменети да бидат релативно евтини и да ги дополнат, а не да ги заменат уредите што ги следат федералните референтни методи за земање примероци и анализа на амбиентниот воздух. Сателитските податоци би можеле да се користат слично, но со подобри резултати.

Со ограничен број монитори во една област, нивното поставување е критично. Уште повеќе ако концентрациите на загадување имаат стрмни просторни градиенти и многу варираат со временските услови, економската активност се менува од ден на ден и економскиот раст продолжува на подолг рок. Сите овие услови генерално важат.

Конвенционална мудрост е да се претпостави дека концентрациите кои се регистрирани од потребната мрежа за следење се репрезентативни за концентрации низ целата област за која станува збор, а доброто поставување на мониторите е клучно за оваа претпоставка. EPA има правила за тоа каде мора да се постават мониторите (според 40 CFR дел 58 од CAA), а администраторот на EPA има крајно овластување да одобри мрежа за следење. Но, правилата експлицитно (и разбирливо) ги балансираат потребите за податоци со владините ресурси.

Додека повеќе технички документи можат да помогнат во регулирањето на поставувањето на мониторите, главен документ во додатокот “Критериуми за дизајн на мрежа за следење на квалитетот на амбиенталниот воздух“ од поврзан федерален регулаторен код ги наведува само минималните барања за следење. На пример, потребни се само три монитори за PM2.5 во одредени метрополитенски области над 1.000.000 луѓе и со дизајнерски вредности блиску или ги надминуваат утврдените национални стандарди за квалитет на амбиенталниот воздух на CAA. Минималните барања налагаат еден во близина на пат и еден во област со очекувана максимална концентрација на ниво на населба или урбана средина. Правилата, исто така, наведуваат дека мониторите

не треба да се наоѓаат “во непосредна близина на кој било единствен доминантен извор (на емисии)“.



Слика 1.66. Локација на сензорски монитор. (Извор: Clarity Movement Co, USA)

Така, државите добиваат многу слобода во тоа каде ги поставуваат мониторите, поради желбата на EPA да биде флексибилна и свесна за трошоците што ги наметнува на локалитетите. Неодамнешното истражување на Grainger, Schreiber, and Chang во 2018 година покажува дека некои монитори се чини дека се поставени во области со ниско загадување во однос на други места во округот, спротивно од главните точкести извори. Со оглед на потенцијално високите административни трошоци за локалната самоуправа со статус на недостигнување и високи поврзани трошоци за влегување во постигнување за регионот така класифициран, не би било изненадувачки да се открие дека некои локални и државни самоуправи би биле во искушение - или всушност би го играле системот, во однос на тоа каде ги поставуваат мониторите.

Но, статистичките истражувања не можат да го осветлат мотивот; истражувањата можат само да покажат дека жариштата на загадување се пропуштаат.

Копнените монитори имаат уште еден проблем, сите не работат постојано. Повторно, овој проблем е поради трошоците и, соодветно, старите технологии за мониторинг. Обработката на податоците што ги собираат мониторите е скапа,

а подобрата технологија доаѓа со висока цена на замена. Додека новите монитори за PM2.5 имаат тенденција да работат најмалку 300 дена годишно, 56 проценти од мониторите за PM2.5 собирале податоци за помалку од 121 ден во 2015 година, а 23 проценти собирале податоци за помалку од 80 дена. Доколку овие денови биле случајно распределени во текот на годината, тогаш поставувањето на дизајнерска вредност што го карактеризира квалитетот на воздухот не треба да води до пристрасност. За жал, работното време на мониторите се објавува однапред. Поради високите трошоци за фирмите доколку нивната област е класифицирана како неисполнета и евентуалниот дополнителен надзор од локалните власти доколку се утврди дека фирмите придонесуваат за проблемите со загадувањето на воздухот, фирмите имаат поттик да загадуваат повеќе во деновите кога мониторите не работат. Ако загадувањето на воздухот “се задржува“ неколку дена, оваа стратегија не би била особено продуктивна. Но, загадувањето со PM2.5 може да се движи брзо. И всушност, неодамнешните докази од Zou во 2018 година покажаа дека фирмите емитуваат помалку во деновите кога работат монитори што мерат PM2,5 и PM10 (честички со дијаметар од 10 микрони или помалку). Овие ефекти продолжуваат дури и по корекција за викенди и празници.

Можат ли да се решат овие проблеми?

Сателитските податоци можат да помогнат во решавање на проблеми што го попречуваат прецизното следење на квалитетот на воздухот.

Сателитите обезбедуваат просторни и временски детали за концентрации што се потребни за сигурно откривање и следење на загадувањето на земјата. На пример, сензори испратени во орбитата на сателити, како што е спектрорадиометар за снимање со умерена резолуција (MODIS) на НАСА, нудат барем едно отчитување на концентрацијата за мрежа од 1 до 3 км² низ целата земја секој ден и приближно во исто време. И бидејќи тие податоци се слободно достапни (иако обработката на податоците има високи почетни трошоци), сателитите ги елиминираат основните проблеми со трошоците и стимулациите што инаку спречуваат да се развива и работи секојдневно посеопфатна и соодветно поставена мрежа за следење на копно.

Но, дали сателитските податоци се лек за сите проблеми и дали треба да го заменат мониторингот од копно во означувањето на областите како

достигнувања и недостигнувања? Одговорот на обете прашања, на краток рок, е НЕ.

Сателитите всушност не го мерат PM2.5 на земјата како такво. Тие мерат нешто што се нарекува оптичка длабочина на аеросолите (AOD), што ја претставува густината на аеросолните честички. Мерката е разликата помеѓу сончевото зрачење на врвот на атмосферата и зрачењето што достигнува до површината на Земјата. Колку повеќе честички во воздухот има толку помалку зрачење се детектира на површината и толку е поголем AOD. Во облачни денови не се можни мерења.

AOD мора да се конвертира во PM2.5. Ова се прави со користење на статистички методи во комбинација со глобален модел на транспорт на атмосферска хемија наречен GEOS-Chem (каде што "GEOS" е кратенка за Годардов систем за набљудување на Земјата) (Goddard Earth Observing System). GEOS-Chem дава информации за тоа:

- како загадувачите се транспортираат од една област во друга од ветерот; и
- како хемиските соединенија се менуваат додека патуваат.

Добиените проценки се калибрираат со усогласување на проценетите концентрации на PM2.5 со отчитувањата од копно. Според тоа, мониторите од копно се клучни влезни податоци во процесот на конверзија на податоци.

Затоа, се препорачува сателитските мерења на PM2.5 да се користат за дополнување, но не и за замена на копнените монитори во процесот на означување на квалитетот на воздухот. Спроведувањето на ваков план би можело да вклучува и:

- преместување на локации на копнени монитори за подобро мерење на жариштa на загадување;
- инсталирање нови копнени монитори во области кои ги немаат; и
- обезбедување сателитски мерења на концентрации на PM2.5 во денови кога копнениот систем не работи.

За последната од овие идеи, на фирмите би можело да им се каже дека сателитските податоци ќе бидат испитани во такви денови; ако жариштата се разгорат за време на немониторирани периоди, веројатните извори ќе бидат повикани на одговорност. Секако, полесно (иако скапо) решение за проблемот со немониторирани денови е да се заменат користените монитори со уреди што

континуирано работат. А уште поевтино би било да се чуваат во тајност деновите во кои е закажано да работат помалку често оперативните станици за мониторинг.

Иако EPA сè уште не ги прифатила податоците за сателитско мониторирање за да го дополни федерално стандардизираниот мониторинг, агенцијата сепак прифатила евтина сензорска технологија за истата цел. Овие уреди се опишани во упатствата на EPA како:

- корисни за локалитети за лоцирање на жаришта (hotspots);
- идентификување на извори на загадување;
- дополнување на податоците за следење; и
- обезбедување на понавремени податоци.

Сепак, овие дополнителни уреди за следење генерално работат многу лошо, во споредба со податоците од мониторите што работат според федералните референтни методи на EPA. Сателитските податоци би можеле да бидат подобри.

Поставување граници

Фундаментално и важно прашање: Како треба да се утврдат границите за областите што не се покриени со природни ресурси, со оглед на тоа што сателитските податоци доаѓаат со релативно висока резолуција од 1 до 3 км^2?

Прво, треба да разбереме како традиционално се одредуваат овие граници. Во основа, државите предлагаат граници на области што не се покриени со природни ресурси со комбинирање на соседни области што го прекршуваат стандардот, заедно со “блиски“ области што содржат извори што би можеле да доведат до прекршувања. Од државите се бара да користат пет вида информации за да ги предложат овие предложени граници:

- јурисдикциски граници;
- податоци за квалитетот на воздухот;
- податоци за емисии;
- информации за географијата и топографијата; и
- податоци за времето.

Државите исто така користат моделирање на квалитетот на воздухот што покажува од каде доаѓа и каде оди загадувањето. EPA е крајно одговорна за

одобрување или поставување граници на областите што не се достигнуваат, се достигнуваат и некласификувани области.

Бидејќи загадувањето на воздухот се дисперзира, границите на областите што не се достигнуваат најдобро, функционираат кога се на страната на тоа да бидат географски поекспанзивни, наместо прецизно нацртани. Сателитските податоци со висока резолуција би можеле да обезбедат попрецизни проценки на границите, што може да ги намали трошоците за намалување на емисиите на долг рок, но грешката на страната на јавното здравје со поголеми граници на површината изгледа мудро, генерално.

Сепак, EPA има многу можности да прифаќа сателитски податоци како додаток на податоци од мониторинг на копно при донесување одлуки за границите на достигнувањата. Имено, додавањето сателитски податоци би барало промена во правилата на EPA. Поради високата резолуција на сателитските податоци, нивната употреба би разјаснила кои јурисдикции треба да бидат вклучени како прекршители. Но, овие податоци и всушност сите податоци за следење треба да се дополнат со други видови податоци и моделирање на квалитетот на воздухот за најефикасно да се идентификуваат областите што придонесуваат за прекршувања на квалитетот на воздухот и кои, според тоа, се области што треба да бидат вклучени во граници на области што не се достигнуваат.

Ниеден од овие методи не е совршено сигурен, а особено не сам по себе. Но, сателитските податоци можат да обезбедат неопходен и евтин дополнителен извор на податоци за квалитетот на воздухот што може да се провери против измамници и слаби анализи. Со комбинирање на копнени податоци со податоци од сателитско следење, може да има многу поголема доверба бидејќи заедниците добиваат точна проценка на квалитетот на нивниот локален воздух и, според тоа се правилно класифицирани.

Научниците развиваат метод за следење на загадувањето со сателити

Истражувачите од Универзитетот Duke осмислија метод за проценка на квалитетот на воздухот на мал дел од површината на Земјата користејќи само сателитски снимки и временски услови.

Сателитите моментално ги проценуваат нивоата на PM.2.5 преку далечинско набљудување кое мери колку сончева светлина е расфрлана назад во вселената од амбиенталните честички.

Сепак, овој метод може да страда од регионални неизвесности како што се облаци и сјајни површини, мешање на атмосферата и својства на PM честичките, и не може да направи точни проценки на размери помали од околу еден квадратен километар.

Иако станиците за следење на загадувањето на земјата можат да обезбедат директни мерења, тие страдаат од свои сопствени недостатоци и се ретко лоцирани низ целиот свет.

Во потрага по подобар метод, истражувачите од Duke се обратија до Planet, американска компанија која користи микросателити за да ја фотографира целата површина на Земјата секој ден со резолуција од три метри по пиксел. Тимот беше во можност да добива дневна слика од Пекинг во текот на изминатите три години.

Клучниот пробив се случи кога David Carlson, доцент по градежно и еколошко инженерство на Универзитетот Duke и експерт за машинско учење, се вклучи да помогне и примени посебен алгоритам кој вклучува метрики како што се ветер, релативна влажност, температура и друго на сетот слики и ги комбинираше со метеоролошки податоци од метеоролошката станица во Пекинг.

Во студијата, истражувачите користеа 10.400 слики за да го обучат својот модел да ги предвиди локалните нивоа на PM2.5 користејќи само сателитски слики и временски услови. Тие го тестираа својот добиен модел на уште 2.622 слики за да видат колку добро може да ги предвиди PM2.5.

Истражувачите покажуваат дека, во просек, нивниот модел е точен до 24% од реалните нивоа на PM2.5 измерени на референтните станици, што е на горниот крај од спектарот за овие типови модели, а воедно има и многу повисока просторна резолуција. Додека повеќето од сегашните стандардни практики можат да предвидат нивоа до 1 милион квадратни метри, новиот метод е точен до 40.000 квадратни метри, приближно со големина на осум фудбалски игралишта поставени едно до друго.

Со тоа ниво на специфичност и точност, истражувачите веруваат дека нивниот метод ќе отвори широк спектар на нови употреби за ваквите модели.

Според Дејвид Карлсон: „Сликите со високо загадување се дефинитивно помагловити и позаматени од нормалните слики, но човечкото око не може навистина да ги одреди точните нивоа на загадување од тие детали. Но, алгоритмот може да ги одреди овие разлики и во карактеристики на ниско и во карактеристики на високо ниво и рабовите се позаматени, а облиците се повеќе замаглени и прецизно да ги претвори во проценки за квалитетот на воздухот“.

1.8 Други пристапи за следење на квалитетот на воздухот: истражување со употреба на мов во Орегон

Секако, постојат начини за карактеризирање на квалитетот на воздухот без употреба на какви било инструменти, додека загадувањето на воздухот е често невидливо, во одредени случаи дури можеме да го користиме нашето сетило за вид или мирис за да претпоставиме дали квалитетот на воздухот е добар или лош. Еден интересен алтернативен пристап за следење на квалитетот на воздухот е истражен во регионот на Тихоокеанскиот Северозапад во Соединетите Американски Држави. Во 2016 година, истражувачите во Портланд, Орегон, спроведоа студија за да видат дали одредени видови мов на дрвјата можат да се користат за проценка на квалитетот на воздухот. Нивното истражување откри нивоа на токсични тешки метали, како што се кадмиум и арсен, кои значително ги надминуваат државните граници. Истражувачите ги користеа овие информации за да создадат мапи каде државните регулатори би можеле да постават сензори за квалитет на воздухот во Портланд, како и да ги мапираат жариштата на нивоа на токсични тешки метали во близина на фабрики за стакло во градот.



Слика 1.67. Истражувачи во Портланд, Орегон, користеле мов што расте на дрвјата во регионот како биоиндикатор за да утврдат нивои на загадувачи на воздухот, вклучувајќи и токсичните тешки метали. (Извор: U.S. Forest Service)

Растенијата, како мов и лишај долго време се користат за тестирање на квалитетот на воздухот во шумите, но ова беше првпат ова успешно да се спроведе во урбана средина. Овој алтернативен метод за следење на квалитетот на воздухот е можен бидејќи мовот делува како природен монитор за загадување на воздухот, апсорбира гасови од околината и може да ги одрази суптилните промени во воздухот.

Користењето мов за следење на квалитетот на воздухот е релативно евтино во споредба со други методи на следење: за 20.000 долари, повеќе од 300 локации низ градот можат да се тестираат со земање примероци од мов, во споредба со цената од 150.000 долари за користење на еден монитор за квалитет на воздухот од референтен квалитет во текот на една година.

Мововите акумулираат загадувачи од атмосферата и можат да послужат како евтина алатка за скрининг за мапирање на квалитетот на воздухот и насочување на поставување на инструменти за следење. Измерени се 22 елементи користејќи 346 примероци од мов собрани низ Портланд, Орегон, во декември 2013 година. Целите беа:

- да се креираат градски мапи што ги прикажуваат концентрациите на секој елемент во мовот, и
- да се идентификуваат потенцијални "жаришта" на загадувањето на воздухот.

Користени се едноставни мапи со точки, хистограми и сумарна статистика за да се опише дистрибуцијата на секој елемент. Петнаесет метали имаа многу десноискривени дистрибуции, што укажува на високи концентрации на метали (во однос на измерени концентрации) во мов на една или повеќе локации. Овие метали вклучуваа токсини со висок приоритет, како што се: кадмиум, никел, олово и арсен. Минатите истражувања покажуваат дека концентрациите на елементи во мовот ги одразуваат атмосферските концентрации, иако јачината на овие врски варира во зависност од елементот и е непозната за елементи што се земени како примерок. Затоа, атмосферските концентрации би требало да се мерат со монитор за квалитет на воздухот за да се утврди дали жариштата предложени од индикаторот за мов се проблематични или претставуваат ризик по здравјето. Обезбедени се сурови податоци за сите елементи што се измерени за да им се овозможи на научниците, регулаторите и граѓаните дополнително да ја истражат важноста и можните извори на жаришта идентификувани со мов.

Мовот, едно од најстарите растенија во светот, е изненадувачки во склад со атмосферата околу него. Во истражувачка студија објавена во списанието "Аналитичка хемија" на ACS, научниците известуваат дека пронашле едноставен и евтин начин за откривање на загадувачи на воздухот, поточно сулфур диоксид, во реално време, врз основа на суптилни промени во листовите од мов. Откритието би можело брзо да ги предупреди властите за потенцијално опасни промени во квалитетот на воздухот со помош на одржлив, природен сензор за растенија.

Растенијата ја развиле способноста да чувствуваат светлина, допир, гравитација и хемикалии во воздухот и почвата, што им овозможува да се адаптираат и да преживеат во променливи средини. Така, растенијата се

користат во студии за проценка на долгорочна штета предизвикана од акумулирано загадување на воздухот низ целиот свет. Сепак, овој тип на студија бара квалификуван персонал и скапа инструментација. Истражувачите сакаат да развијат полесен начин за користење на мовот, особено добар индикатор за загадување со сулфур диоксид, како брз сензор во реално време.

Истражувачите собрале див мов и го изложиле на различни концентрации на сулфур диоксид во комора. Користејќи високочувствителна, евтина веб камера, истражувачкиот тим откри дека листовите од мов изложени на сулфур диоксид малку се собираат или виткаат и ја менуваат бојата од зелена во жолта. Некои од овие промени, анализирани со алгоритам за снимање, започнале во рок од 10 секунди од изложеноста на загадувачот. Сепак, откако сулфур диоксидот бил отстранет од комората, листовите од мов постепено се опоравиле. Овој резултат сугерира дека растението, за разлика од традиционалните колориметриски сензори, може да го регенерира својот капацитет за хемиско мерење. Истражувачите заклучуваат дека комбинирањето на далечински веб камери или дронови за мов или други сензори базирани на растенија, може да доведе до поевтино, побрзо и попрецизно следење на воздухот за концентрации на сулфур диоксид и други загадувачи во огромни региони.

Бидејќи мовот ги добива сите хранливи материи од атмосферата, тој е природен монитор за мерење на загадувањето на воздухот. Оваа револуционерна студија откри нивоа на загадување со кадмиум и арсен доволно високи за да предизвикаат рак. Резултатите ги натераа државните службеници да ги преработат правилата за загадување на воздухот, додека жителите трчаат кај своите лекари за тестови на крв и урина. Експертите сега велат дека со оглед на тоа колку малку знаеме за тоа што има во воздухот што го дишеме и за трошоците за следење на воздухот, можеби треба почесто да се консултираме со мов.

Со оваа пониска цена доаѓа и поголема резолуција на податоци, особено со оглед на тоа колку се распространети мовот и лишаите во Портланд. Иако локализиран настан за квалитет на воздухот може да остави облак што се протега само неколку километри, а монитор за квалитет на воздухот можеби не е лоциран во овој опсег, веројатно е дека има мов на дрвја или карпи во близина

од кои можат да се соберат информации за квалитетот на воздухот, давајќи увид во состојбата на квалитетот на воздухот на таа локација во тоа конкретно време.

Иако овој алтернативен метод за следење е возбудлив, тој исто така не може сам да се користи за мерење на квалитетот на воздухот. Со оглед на недостатокот на прецизност со овој метод најдобро е да се користи како индикатор, а не како извор на податоци за квантифицирање на концентрации на загадувачи на воздухот. Наместо тоа, користењето мов за собирање податоци за квалитетот на воздухот може да биде дополнителен дел од постојни мрежи за следење на квалитетот на воздухот на одредена локација. Овој пристап може да се користи само во географски региони каде што мовот или лишаите се јавуваат природно, затоа не се применува за следење на квалитетот на воздухот во многу региони во светот.

Всушност, она што го пронајдоа во градскиот мов од дрвјата на крајот реши мистерија што државните регулатори ги мачеше со години. Градот има само еден постојан мониторинг за токсично загадување на воздухот и откриваше повеќе кадмиум и арсен отколку што требаше врз основа на дозволите за загадување. Но, не можеше да им каже на луѓето од каде доаѓаат дополнителните тешки метали. Потоа, дојдоа податоците од стотици примероци од мов.

Повеќето луѓе не ги сметаат производителите на витраж за зли загадувачи. Воопшто не мислеле на тоа. Беше изненадувачки. Мовот откри големи жаришта на кадмиум во близина на две фабрики за уметничко стакло. Најзагрижувачки беа нивоата на кадмиум и арсен во близина на фабриката за стакло “Bullseye“. Компанијата ги користи металите за производство на обоено уметничко стакло, но не е обврзана да ги тестира своите емисии или да користи контрола на загадувањето. Значи, регулаторите не знаеја колку загадување со тешки метали испушта фабриката сè додека блиските примероци од мов не кренаа црвено знаме.

Bullseye е таму на истата локација од 1974 година и тие не беа откриени. Можело да се постави монитор за воздух таму.

Било ужасно

Врз основа на тестовите за мов, службениците поставиле монитор за воздух во близина на Bullseye Glass. Нивоите на кадмиум и арсен што ги пронајдоа беа без преседан - доволно високи за да предизвикаат рак.

Сара Ливингстон живее пет блока од Bullseye. Неколку недели пред службениците да ги објават опасните жаришта, таа брзо се упатила кон итната помош не можејќи да дише. ѝ била дијагностицирана пневмонија и насобирање течност околу белите дробови. Откако веста за жариштето се проширила, таа ја тестирала својата мала ќерка за метали и се загрижила, што е тоа што ја предизвикало нејзината болест. Кога нејзините проблеми со белите дробови не се решиле, нејзиниот лекар предложил тестирање за рак.

Било ужасно. Да имаш 16-месечно бебе и да ти кажат дека е можно да имаш рак на белите дробови, и да знаеш дека е можно да е од фабрика за производство на стакло, која била пет блока од нејзината куќа и исфрлала токсични, канцерогени тешки метали од 1974 година!

За да тестираат примероци од мов за загадувачи на воздухот, научниците го сушат и мелат мовот, го втечнуваат и го поминуваат низ машина што ги мери загадувачите.

Резултатите не се преведуваат директно во мерења на квалитетот на воздухот, но тие откриваат жаришта каде што нивоата на загадување се повисоки. Лабораториската работа лесно може да се направи на друго место и да помогне да се надомести недостатокот на монитори за загадување на воздухот.

Пример: Може да постои точкест извор на емисии што може да остави облак што оди само 2 или 3 километри. Освен ако монитор за квалитет на воздухот не е во тој облак, тој нема да го фати, но ако се случи да има мов на дрвјата или лишаи на кората од дрвјата или дури и на карпите, тие можат да се соберат, и тие ќе покажат што имало во воздухот во тоа време.

“Мислам дека оваа студија навистина допре до целта бидејќи многу подиректно се однесува на здравјето на луѓето, за разлика од влијанијата на загадувањето на воздухот врз животната средина, што навистина беше фокус на нашата работа досега“, рече таа. „Беше доста инспиративно да се види како луѓето сфаќаат колку елегантен може да биде овој едноставен систем“.

Оваа истражувачка студија за тестирање на квалитетот на воздухот е вообичаена практика во Европа, а студијата во Портланд може да се повтори во многу градови, иако не во сите, некои места се премногу топли и суви или премногу загадени за да растат мовови и лишаи.

Целта на ова истражување е да ги претворат резултатите од тестовите за мов директно во мерења на квалитетот на воздухот. Но, тоа е сонот!

Ако може да се калибрира и всушност да се каже дека мовот ни кажува нешто што е директно применливо за стандард за квалитет на воздухот - тоа е навистина огромна работа Еден од истражувачите вели:. “Не мислам дека нормалните луѓе имаат вакви соништа, но ова е типот на соништа што ние ги имаме“.

Во меѓувреме, истражувачите се упатуваат кон Синсинати, каде што лекарите наоѓаат деца со покачена жива и кадмиум во крвта. Тие не знаат од каде доаѓаат металите. Но, градскиот мов би можел да понуди некои индиции.

II. МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

2.1 Практично истражување

Истражувањето го реализирав во лабораторијата за интелигентни сензорски системи на Меѓународен Славјански универзитет во Св. Николе. Реализирав реални мерења на сензорски системи кои се поставени на три (3) локации во општина Струмица. Мерењата се реализирани во период од 15 јуни 2025 година, до 30 јуни 2025 година. Врз основа на добиените податоци реализирав аналитичка обработка со графички приказ, статистичка анализа и други анализи и препораки. Реализирав и пресметав просечни дневни концентрации на PM2.5 честички и просечни неделни концентрации на PM2.5 честички. Тие се прикажани на следните визуелни слики со помош на различни видови на графикони.

Просечни дневни концентрации на PM2.5

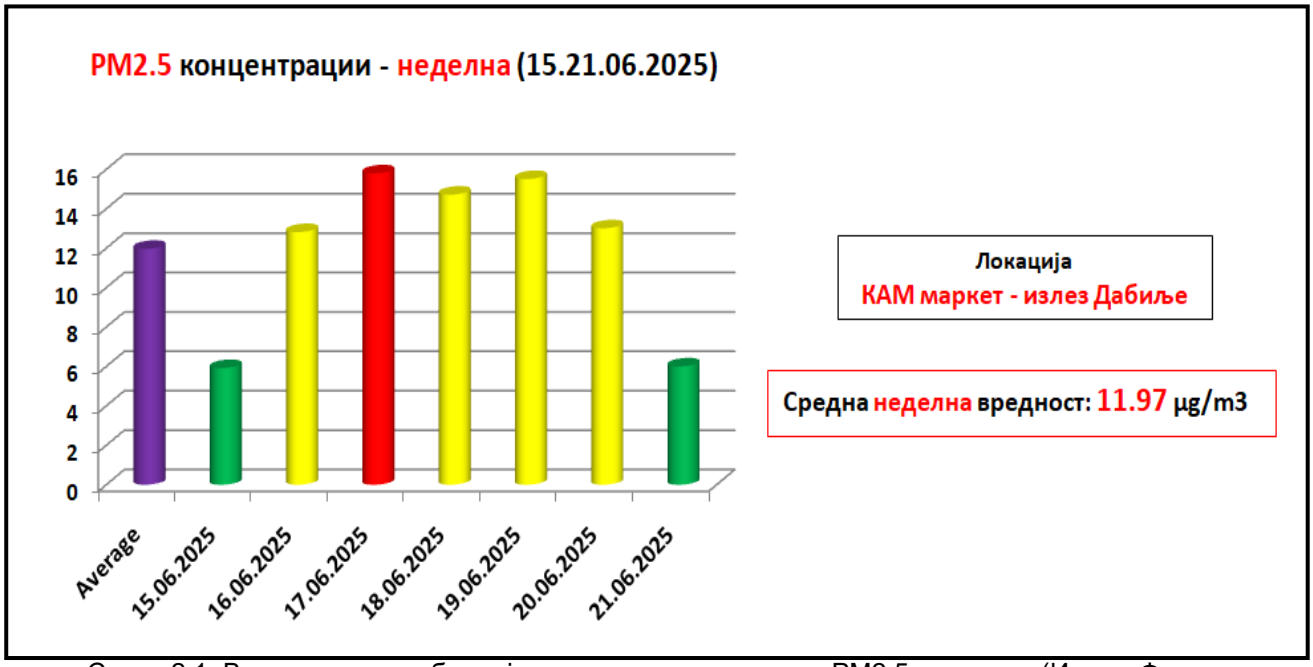
Локација: КАМ маркет – излез Дабиље

1. 15.06.2025 година: 5.92 μg/m^3
2. 16.06.2025 година: 12.82 μg/m^3
3. 17.06.2025 година: 15.80 μg/m^3
4. 18.06.2025 година: 14.72 μg/m^3
5. 19.06.2025 година: 15.51 μg/m^3
6. 20.06.2025 година: 13.01 μg/m^3

7. 21.06.2025 година: 6.003 μg/m^3
8. 22.06.2025 година: 8.43 μg/m^3
9. 23.06.2025 година: 9.33 μg/m^3
10. 24.06.2025 година: 9.23 μg/m^3
11. 25.06.2025 година: 12.81 μg/m^3
12. 26.06.2025 година: 13.77 μg/m^3
13. 27.06.2025 година: 15.42 μg/m^3
14. 28.06.2025 година: 11.12 μg/m^3
15. 29.06.2025 година: 5.008 μg/m^3
16. 30.06.2025 година: 7.43 μg/m^3

Просечни неделни концентрации на PM2.5

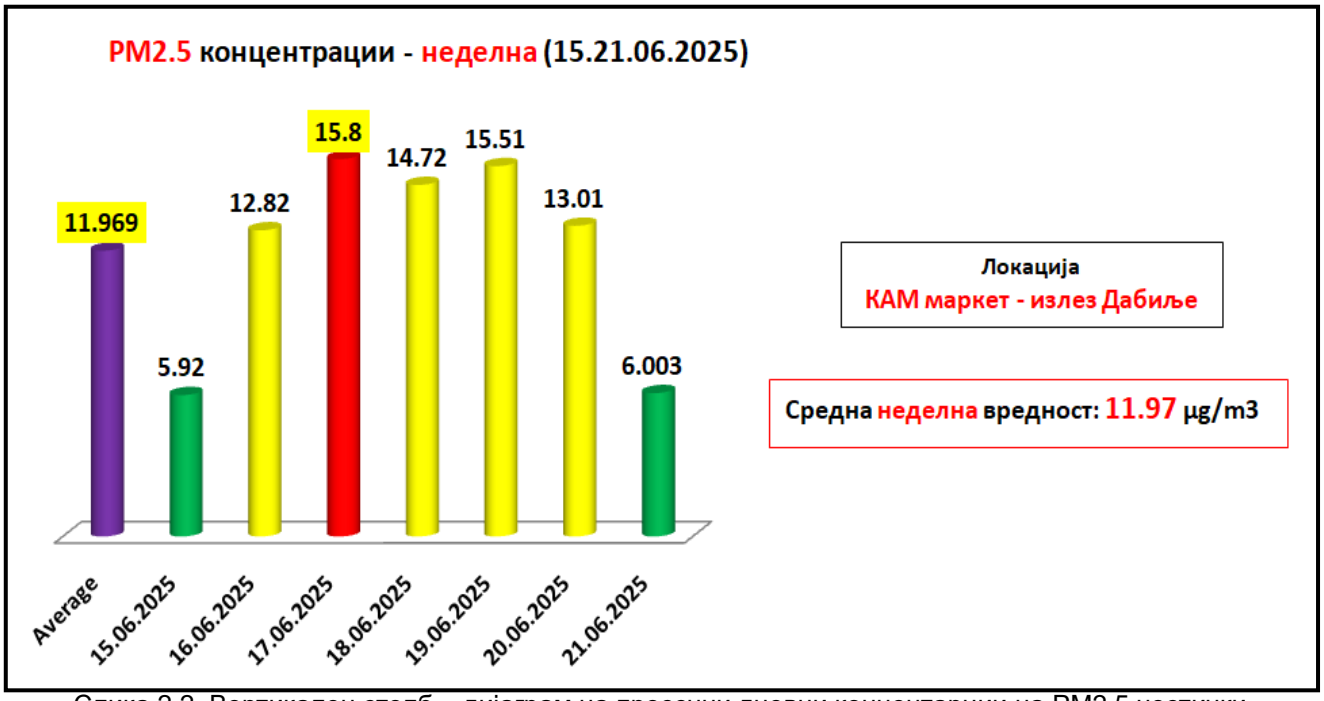
1. од 15.06.2025 до 21.06.2025 година: 11.97 μg/m^3
2. од 22.06.2025 до 30.06.2025 година: 10.28 μg/m^3



Слика 2.1. Вертикален столб – дијаграм на концетрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

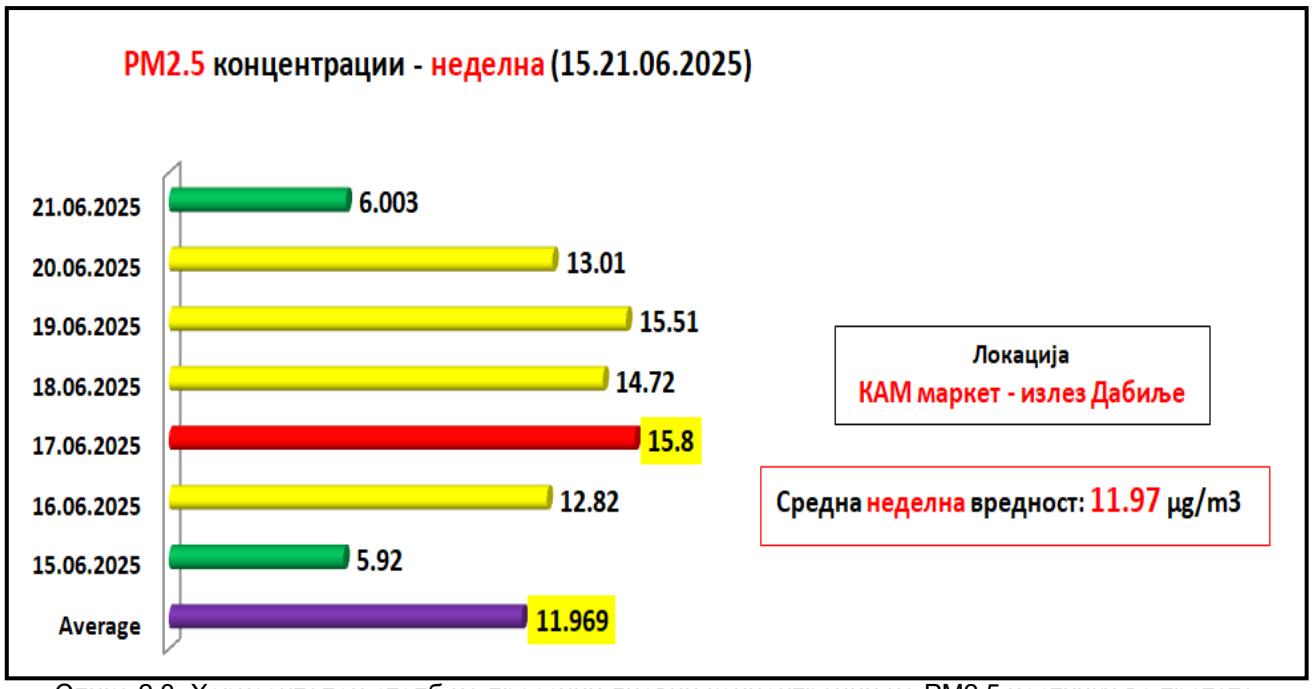
На слика 2.1 е прикажан вертикален столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички, просечни дневни концентрации и просечни (средни) неделни концентрации, измерени со сензорски монитор поставен на локација во близина на КАМ маркет, на излез на Струмица кон населено место Дабиље. Средните дневни концентрации се пресметани од просечни часовни концентрации. Се забележува дека највисоки дневни концентрации на PM2.5 има на 17.06.2025 година (повеќе од 15.00 μg/m^3). Дозволени дневни концентрации на PM2.5 се

12.00 μg/m^3. Над оваа вредност, концентрациите се во умерено ниво на загаденост на воздухот. Дозволени дневни концентрации има во два дена (обоени со зелено). Исто така е прикажана средната неделна концентрациија на PM2.5 честички која изнесува 11.97 μg/m3, и која е во дозволени граници според препораките на Светска здравствена организација.



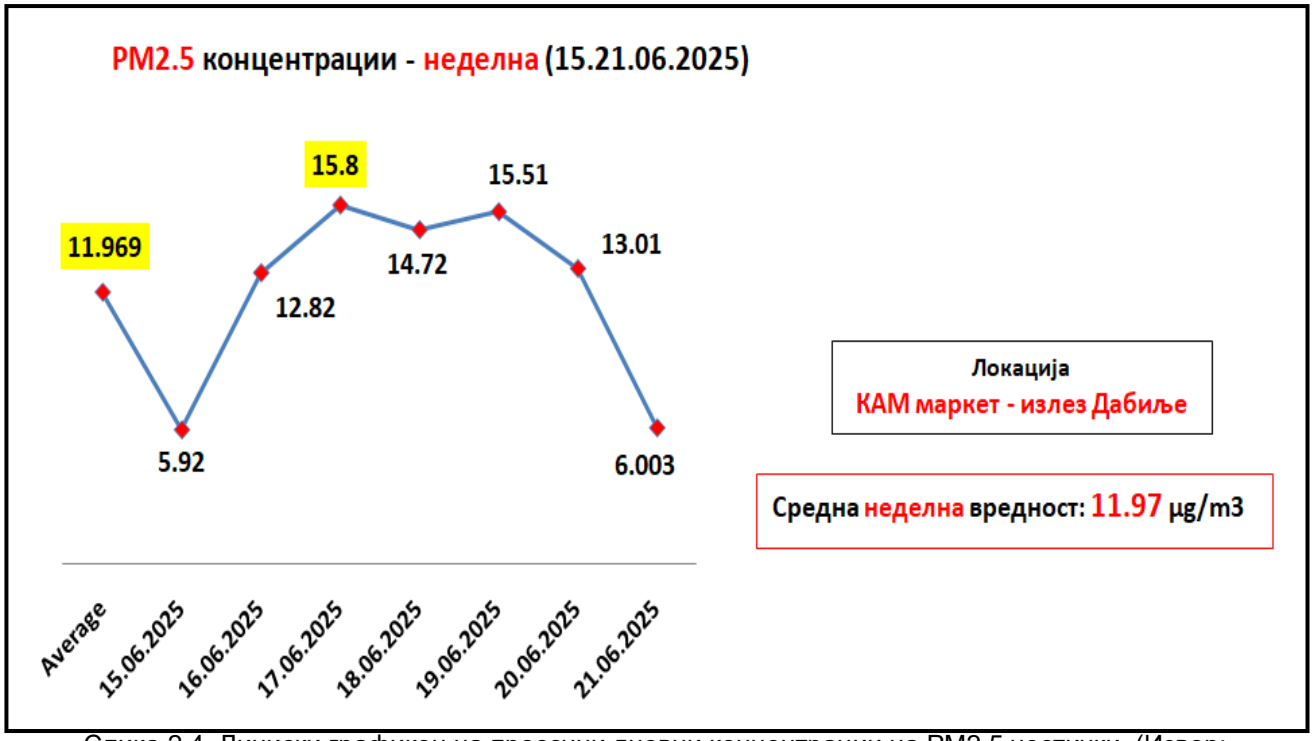
Слика 2.2. Вертикален столб – дијаграм на просечни дневни концентарции на PM2.5 честички (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.2 е прикажан столб дијаграм, вертикален (слично како на слика 2.1), на кој се прикажани измерени нумерички просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. Исто така, е потенцирана најголемата просечна дневна концентрација (црвена боја) и просечната неделна концентрација (прикажана со виолетова боја).



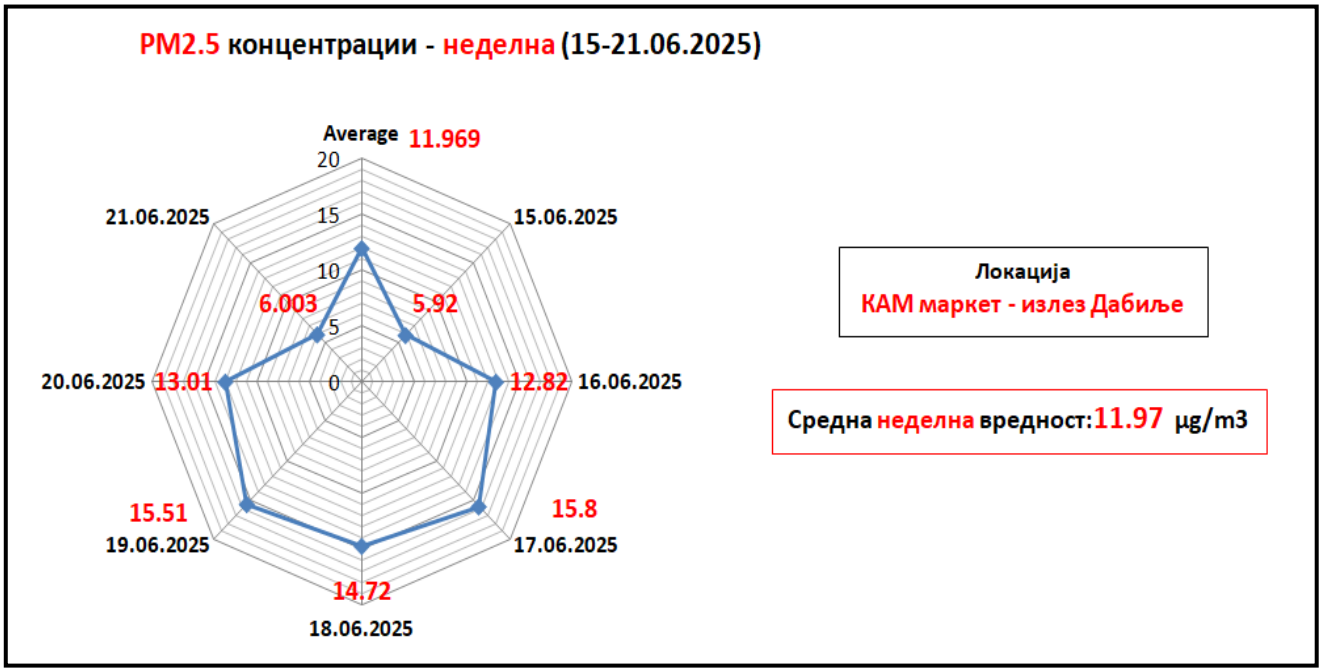
Слика 2.3. Хоризонтален столб на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во третата недела на месец јуни 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.3 е прикажан хоризонтален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во третата недела на месец јуни 2025 година (од 15.06.2025 до 21.06.2025 год.). Прикажани се нумерички вредности на концентрации и со визуелна претстава (користење на соодветни бои) се покажува нивото на загаденост на воздухот со PM2.5 на дадената локација. Овој графички приказ често се користи во научно истражувачки студии и за креирање статистички извештаи на државно ниво, за да се прикаже квалитетот на воздухот и неговото влијание врз здравјето на луѓето (нивоа на загаденост).



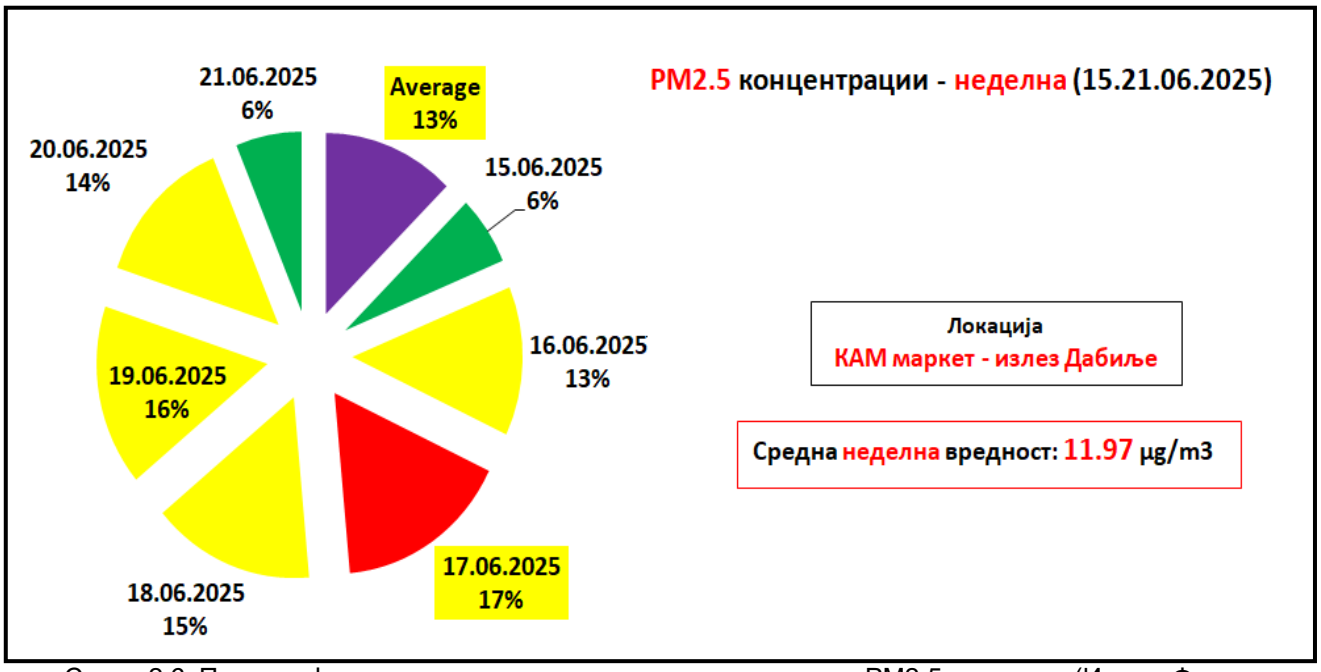
Слика 2.4. Линиски графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.4 презентира линиски графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. Ваквиот приказ е одличен начин за брз увид какви се концентрациите на загадувачи во воздухот и како се менуваат нивоата на загаденост со секој наредени ден.



Слика 2.5. Радар графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

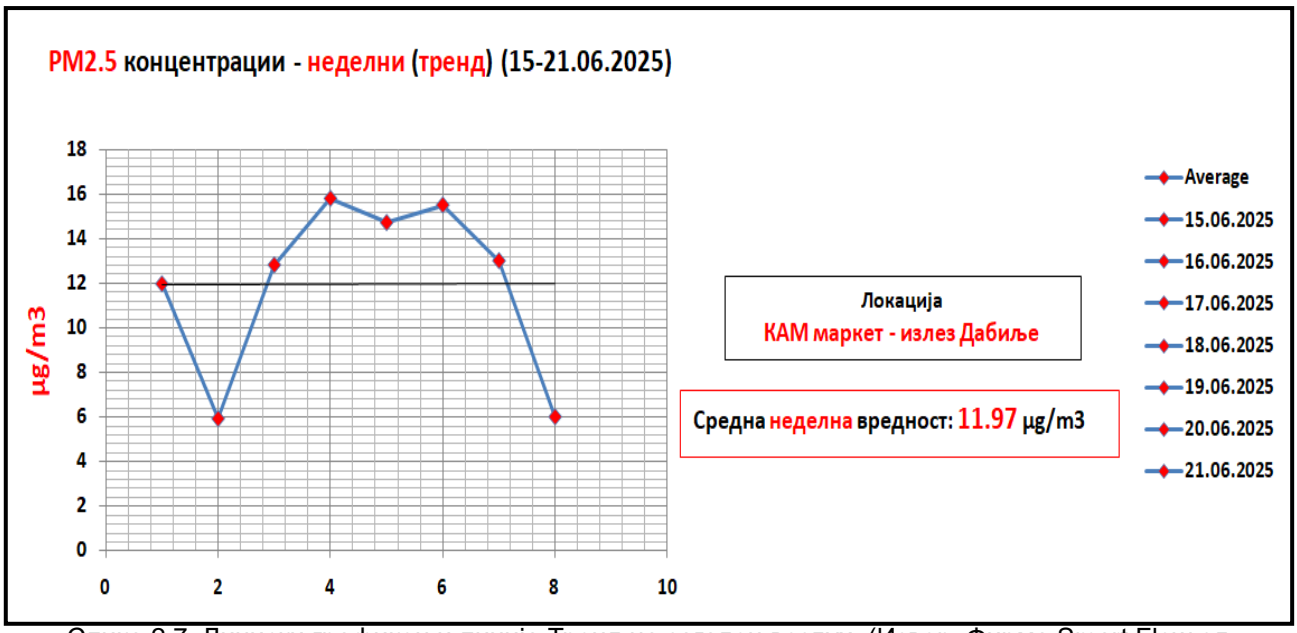
На слика 2.5 е прикажан радар графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. Вакви дијаграми се користат во воздушна и водена навигација, сателитски истражувања и научни студии. Даваат одлична визуелна претстава за секој набљудувач и истражувач и овозможуваат да се донесуваат брзи и релевантни заклучоци.



Слика 2.6. Пита графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

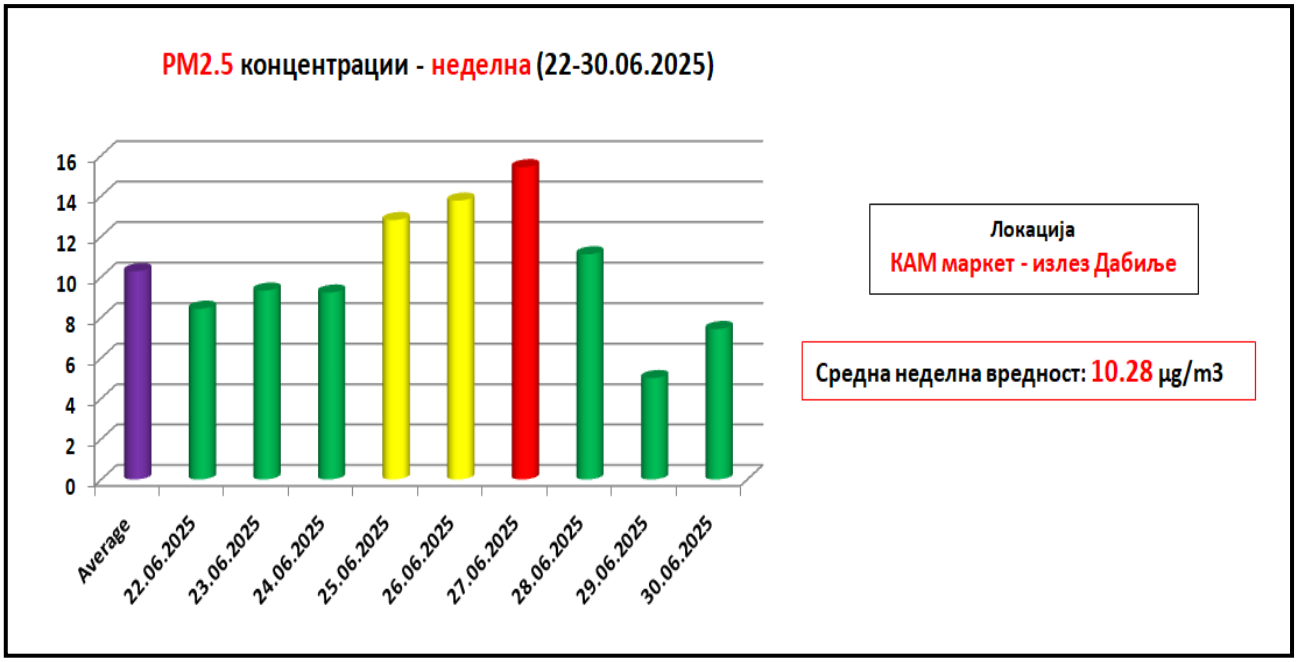
На слика 2.6 е прикажан пита графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. Исто така прикажано е процентуалното дневно учество на загаден воздух во вкупното неделно загадување на воздухот на локација каде е поставен сензорскиот монитор кој континуирано ги мери концентрациите на загаден воздух. Со соодветна боја се покажани деновите кога загадениот воздух, креира соодветно ниво на квалитет на воздухот:

- зелена боја: концентрации во граници на дозволено – добар воздух;
- жолта боја: умерено ниво на загаден воздух, над дозволени препорачани граници од СЗО;
- црвена боја: ден во неделата со највисоки просечни концентрации на PM2.5 честички;
- виолетова боја: просечна неделна концентрација на PM2.5.



Слика 2.7. Линиски графикон и линија Тренд на загаден воздух. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.7 е прикажан линиски графикон и линија *Тренд на загаден воздух*. Оваа линија е хоризонтална што значи дека трендот на загаден воздух се задува цела недела. Тоа значи дека постои симетрија во просечни концентрации на загаден воздух во сите 7 дена во неделата.

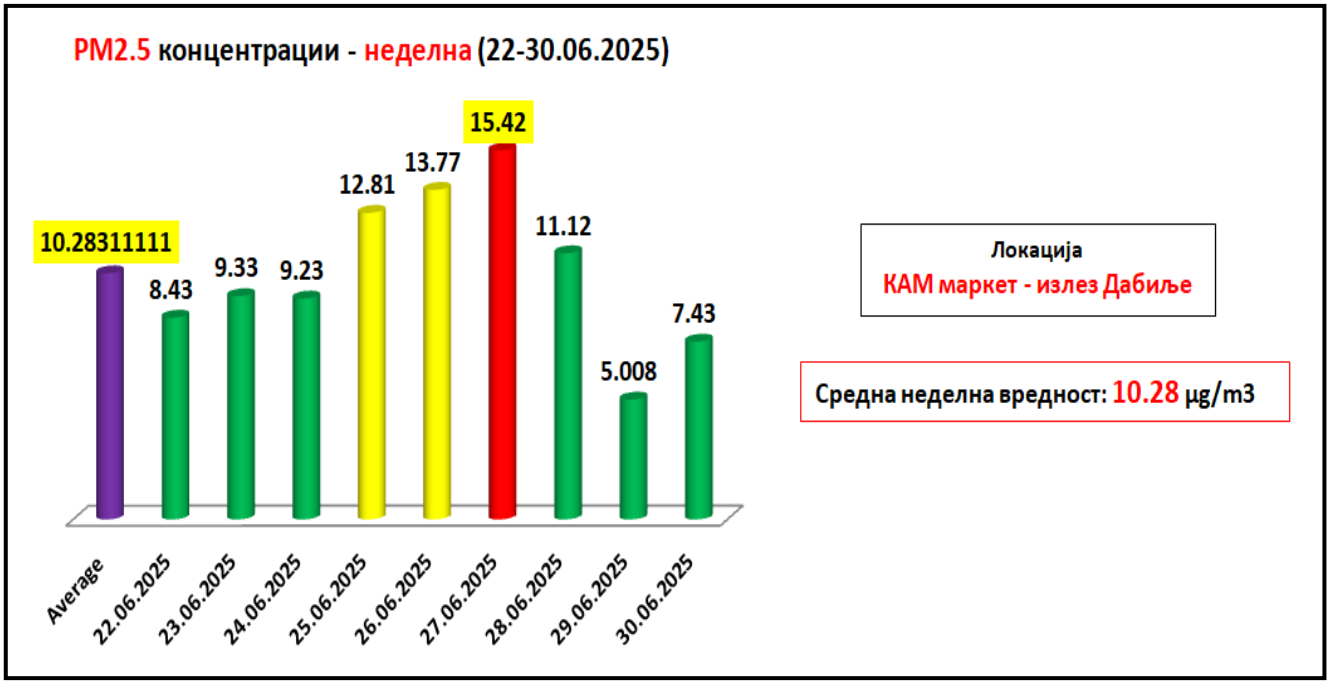


Слика 2.8. Столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички во последниот период од месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.8 покажува столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички во последниот период од месец јуни, 2025 година (продолжена недела). Се забележува дека:

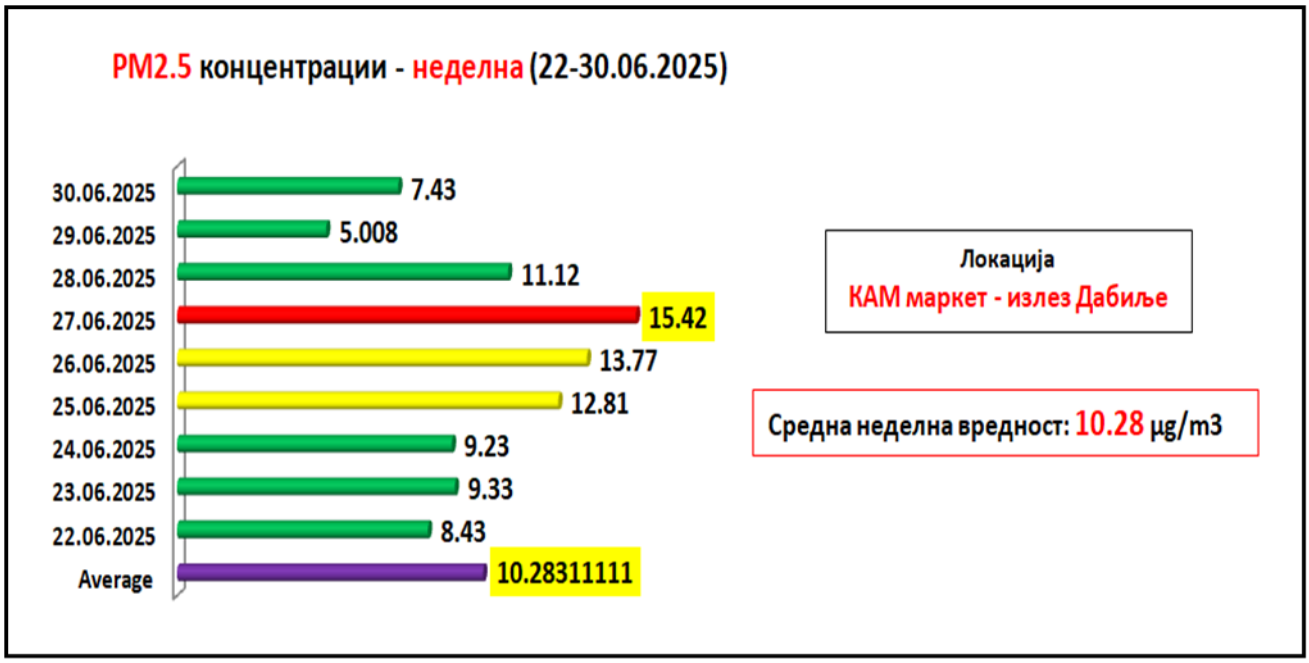
– во шест (6) дена просечните дневни концентрации на PM2.5 се во границите на дозволени (препорачани) вредности (зелена боја);
– во три (3) дена просечните дневни концентрации се во умерено ниво на загаден воздух (над дозволено ниво на загаденост) (жолта и црвена боја).

Просечната неделна вредност на концентрации на PM2.5 е во граници на дозволено (помало од 12 μg/m^3).



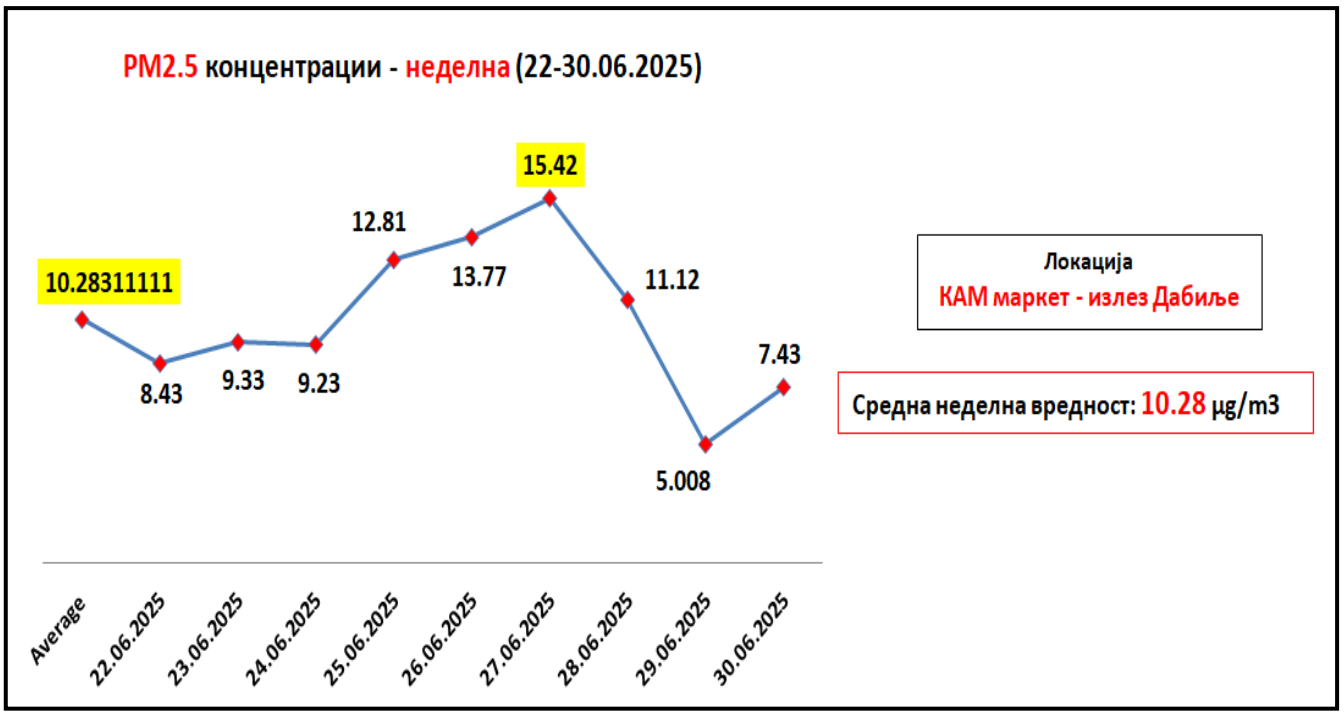
Слика 2.9. Вертикален столб – дијаграм на кој се прикажани измерените просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.9 прикажува вертикален столб – дијаграм на кој се прикажани измерените просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. Може да се забележи дека највисоки дневни концентрации има на 27.06, од 15.42 μg/m^3, а најниски вредности на 29.06, од 5.008 μg/m^3.



Слика 2.10. Хоризонтален столб – дијаграм на кој се прикажани измерените просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

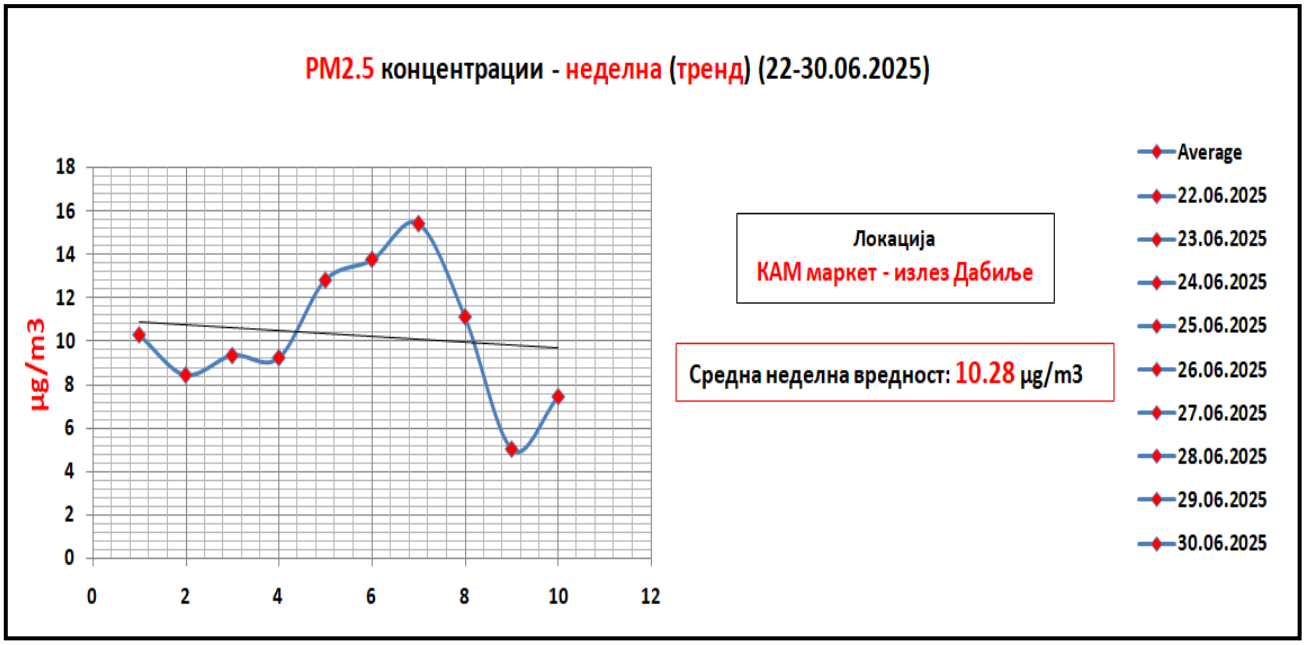
На слика 2.10 е прикажан истиот дијаграм од слика 2.9, само што графичкиот приказ е со хоризонтален столб дијаграм. Ваков визуелен графикон се користи во одредени научни истражувања за да се прикажат соодветни новоа на загаден воздух на x – оската.



Слика 2.11. Линиски графикон кој ги поврзува вредностите на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

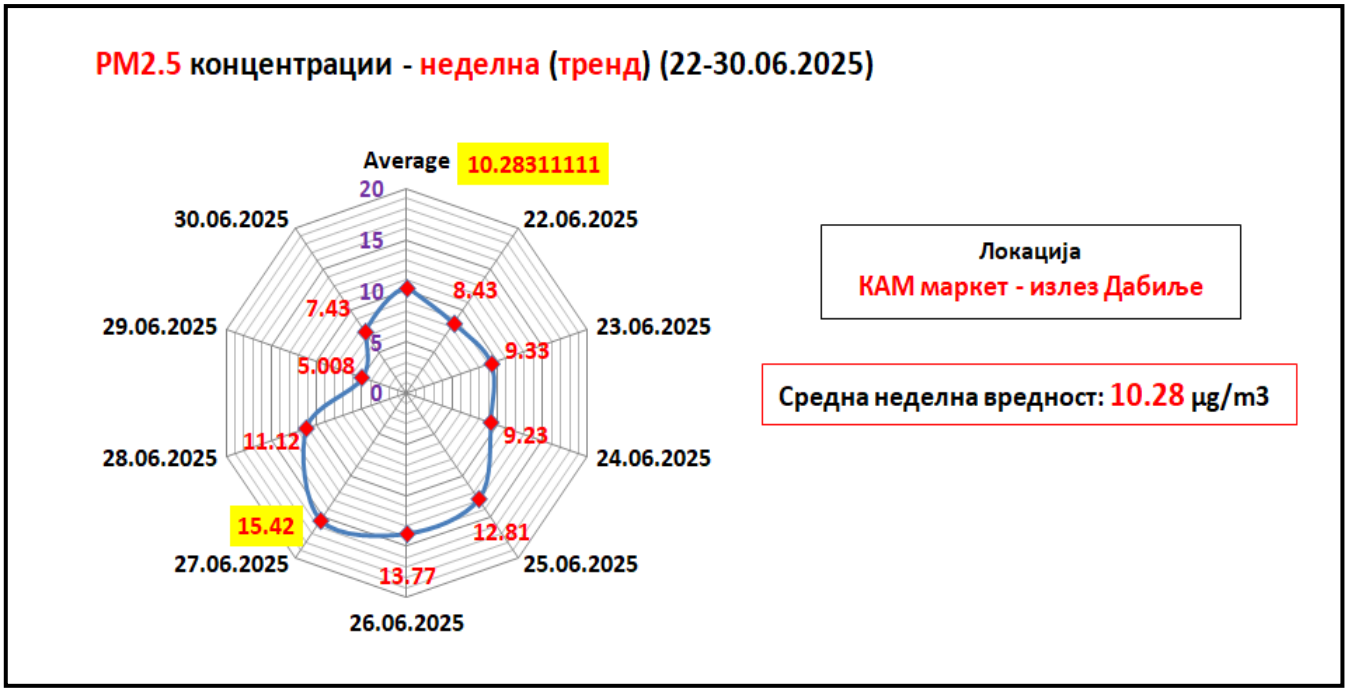
На слика 2.11 е прикажан линиски графикон (линиска интерполација) кој ги поврзува вредностите на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички

со линија и дава апроксимативна вредност за континуирано движење на концентрации на PM2.5 во текот на целиот период на мерење.



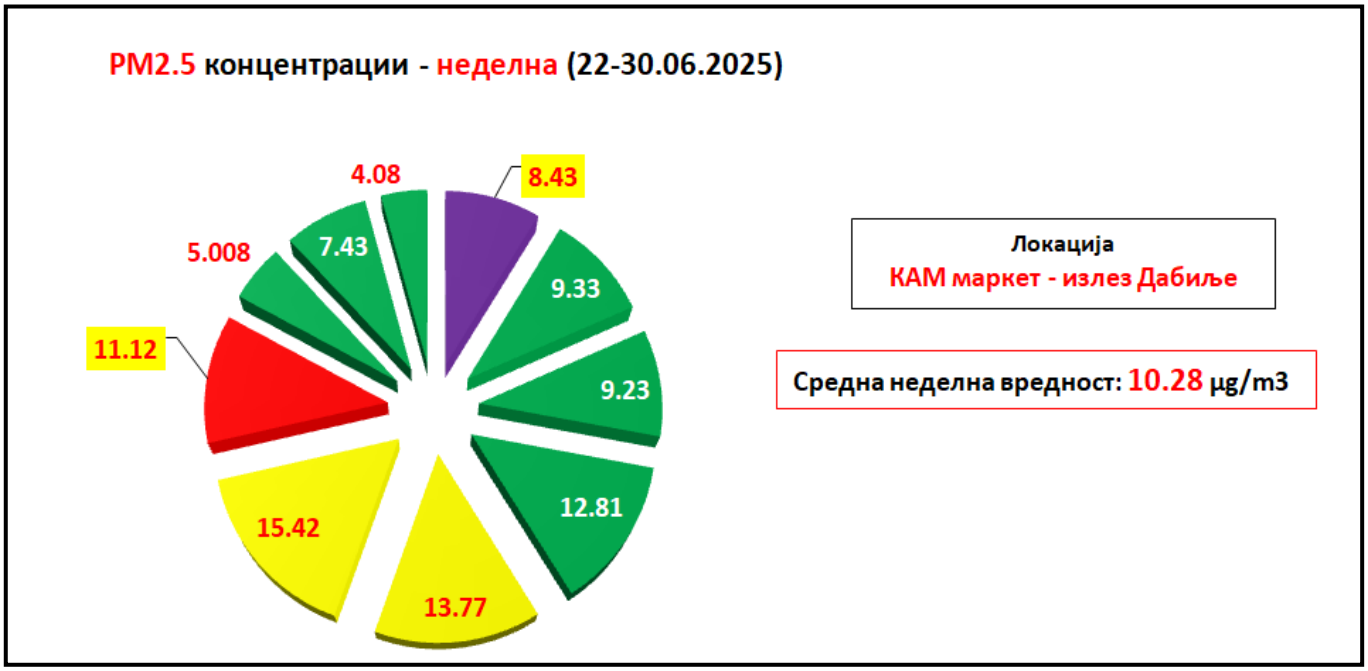
Слика 2.12. Графички приказ на концентрации на загаден воздух. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.12 е прикажан често користен графички приказ на концентрации на загаден воздух каде е дадено континуирано следење и е дадена *Тренд линија на загадување* во целиот период на опсервација. Се забележува дека трендот на загадување е опаѓачки (од почетокот до крајот на анализираниот временски период).



Слика 2.13. Радар графикон на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.13 е прикажан радар графикон на просечни дневни концентрации кој е прегледен визуелен приказ како е квалитетот на воздухот на ова мерно место (индустриски дел на градот Струмица).



Слика 2.14. Пита – графикон на просечните дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.14 е даден тридимензионален пита – графикон на кој се прикажано просечните дневни концентрации на PM2.5 честички во анализираниот временски период.

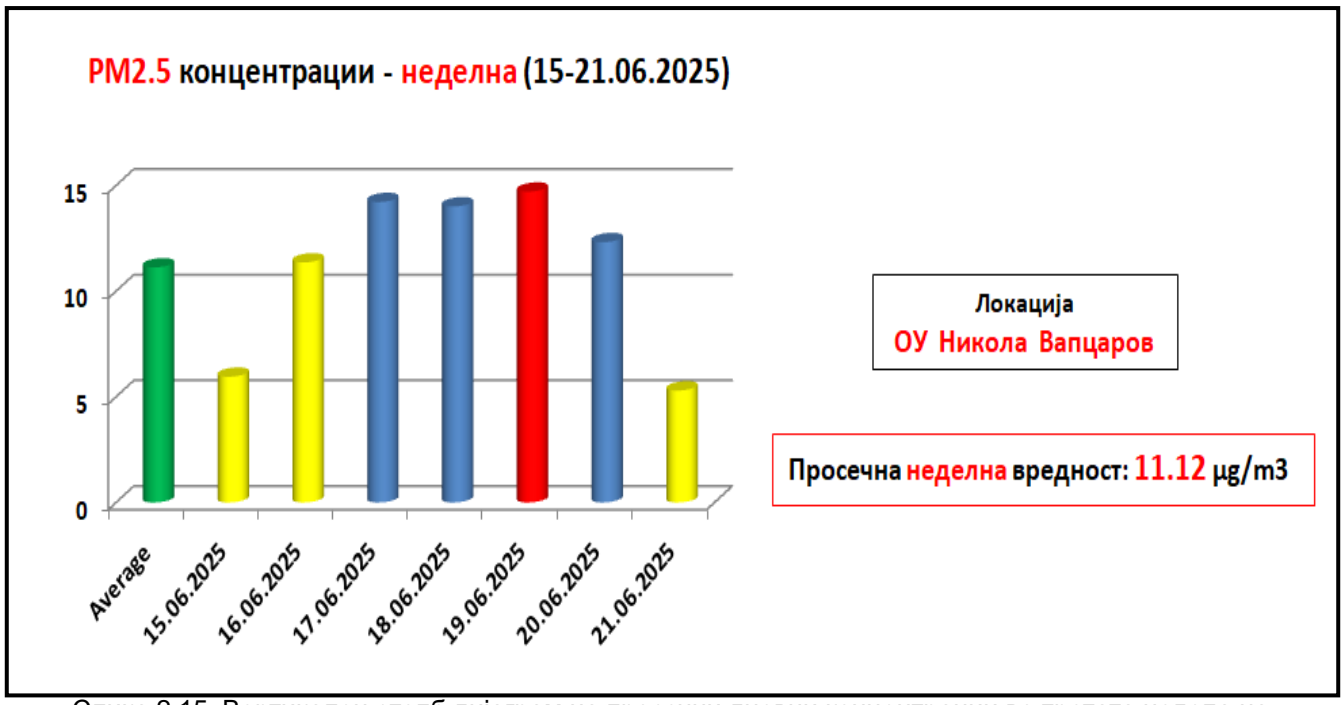
Просечни дневни концентрации на PM2.5

Локација: ООУ “Никола Вапцаров” Струмица

1. 15.06.2025 година: 5.95 μg/m^3
2. 16.06.2025 година: 11.36 μg/m^3
3. 17.06.2025 година: 14.22 μg/m^3
4. 18.06.2025 година: 14.01 μg/m^3
5. 19.06.2025 година: 14.71 μg/m^3
6. 20.06.2025 година: 12.32 μg/m^3
7. 21.06.2025 година: 5.30 μg/m^3
8. 22.06.2025 година: 8.60 μg/m^3
9. 23.06.2025 година: 8.37 μg/m^3
10. 24.06.2025 година: 8.48 μg/m^3
11. 25.06.2025 година: 11.74 μg/m^3
12. 26.06.2025 година: 12.27 μg/m^3
13. 27.06.2025 година: 14.94 μg/m^3
14. 28.06.2025 година: 9.38 μg/m^3
15. 29.06.2025 година: 4.42 μg/m^3
16. 30.06.2025 година: 6.31 μg/m^3

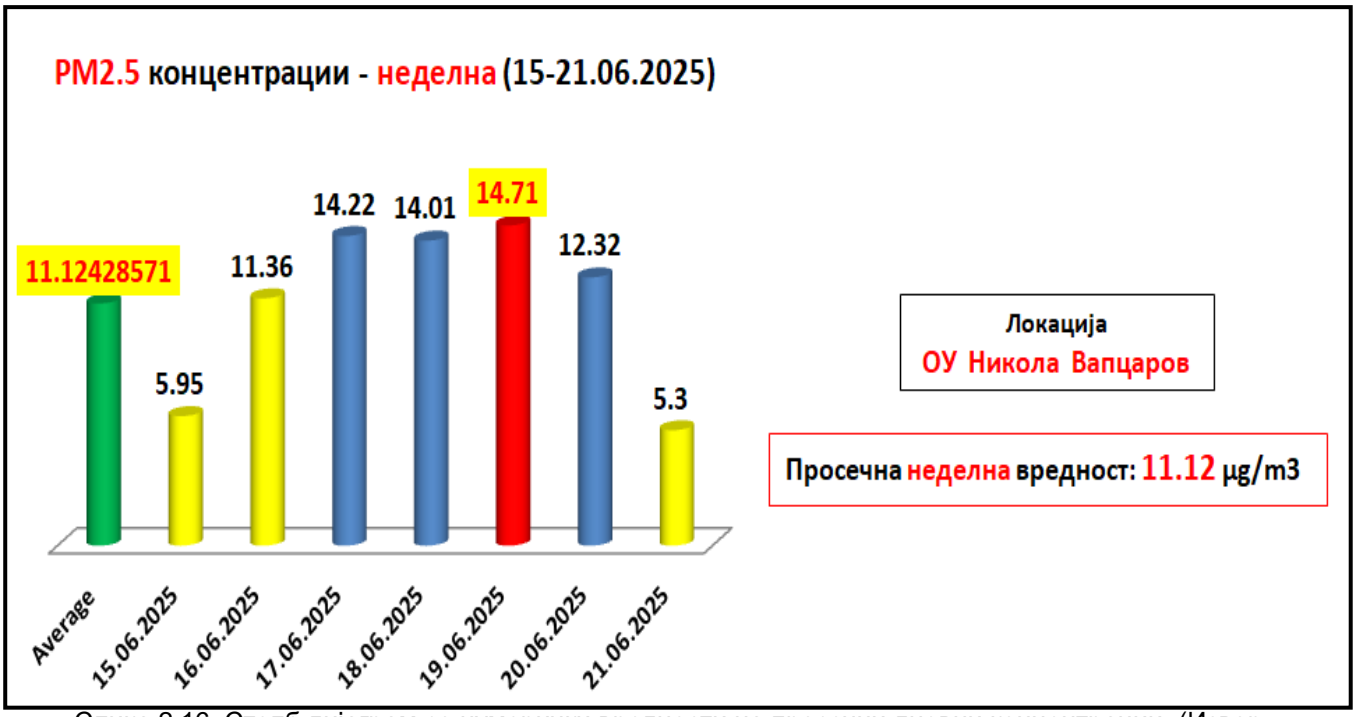
Просечни неделни концентрации на PM2.5

1. од 15.06.2025 до 21.06.2025 година: 11.12 μg/m^3
2. од 22.06.2025 до 30.06.2025 година: 9.39 μg/m^3



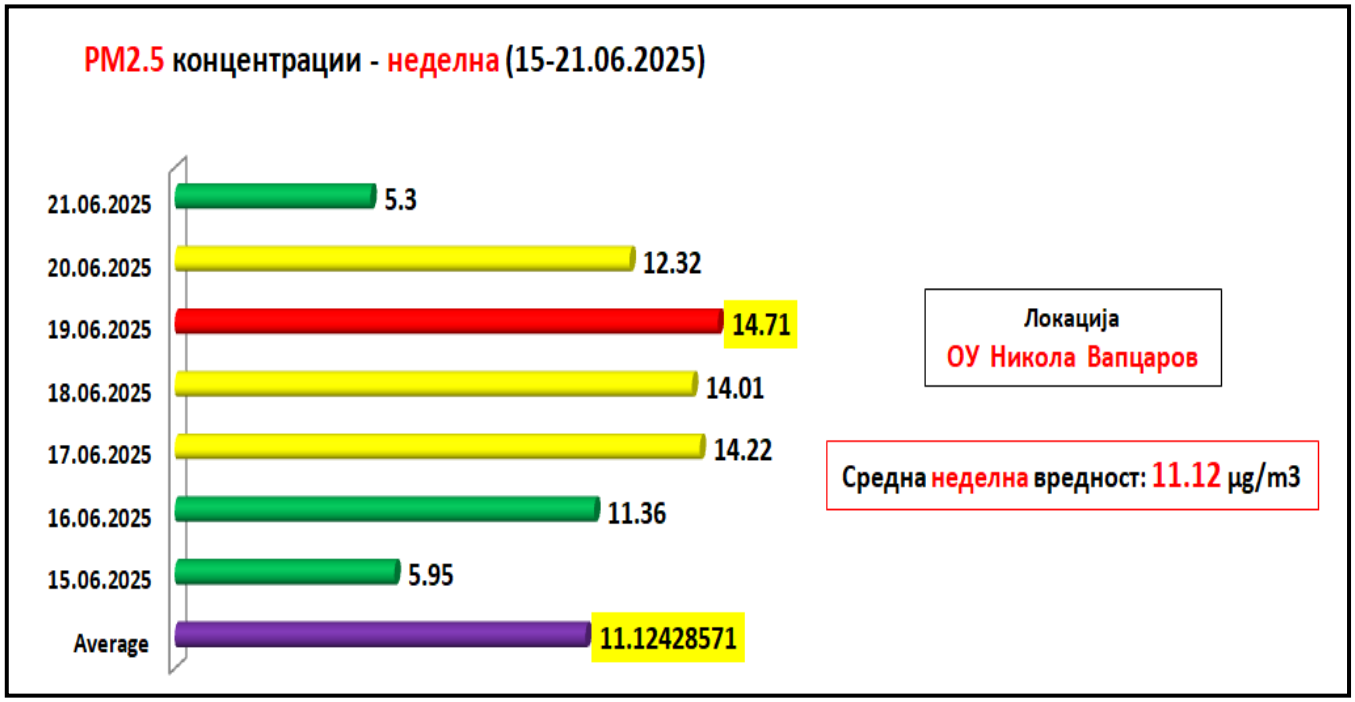
Слика 2.15. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации во третата недела на месец јуни 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.15 е прикажан вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации во третата недела на месец јуни, на мерно место основно училиште „Никола Вапцаров“ во Струмица. Се забележува дека највисоки просечни дневни концентрации се регистрирани на 19.06, од 14.71 µg/m^3.



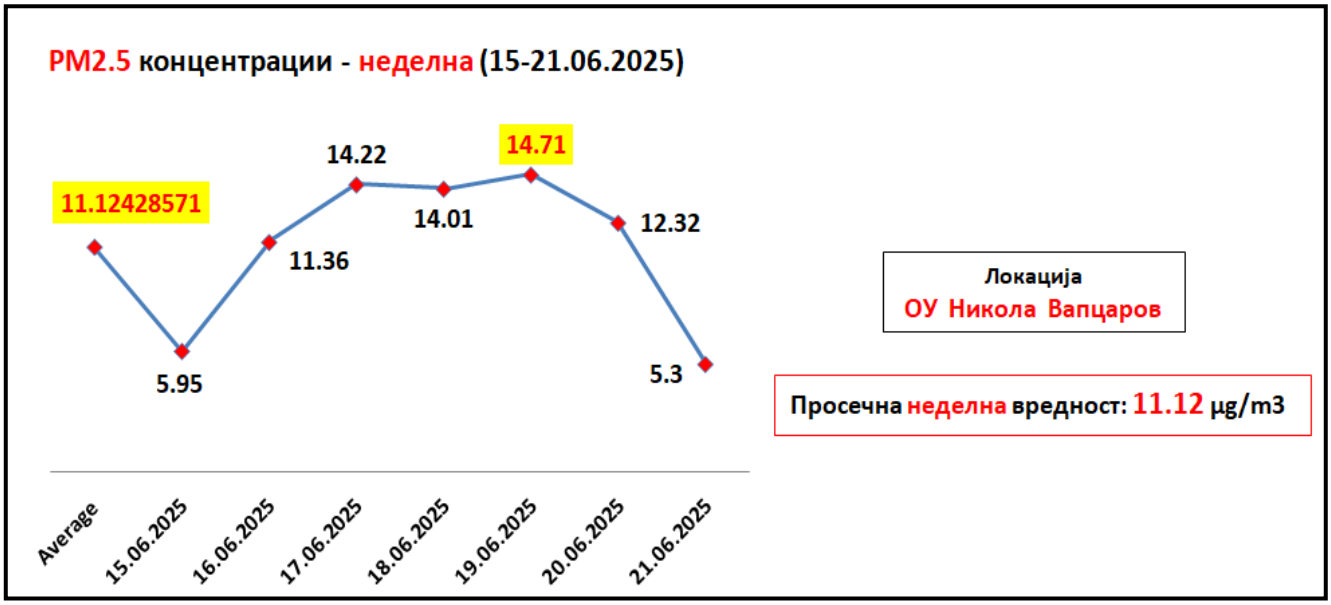
Слика 2.16. Столб дијаграм со нумерички вредности на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.16 е прикажан столб дијаграм со нумерички вредности на просечни дневни концентрации. Се забележува дека најниско ниво на PM2.5 концентрации се измерени на 21.06, чија вредност е 14.71 μg/m^3 и се наоѓа во препорачано ниво од СЗО за дневни концентрации.

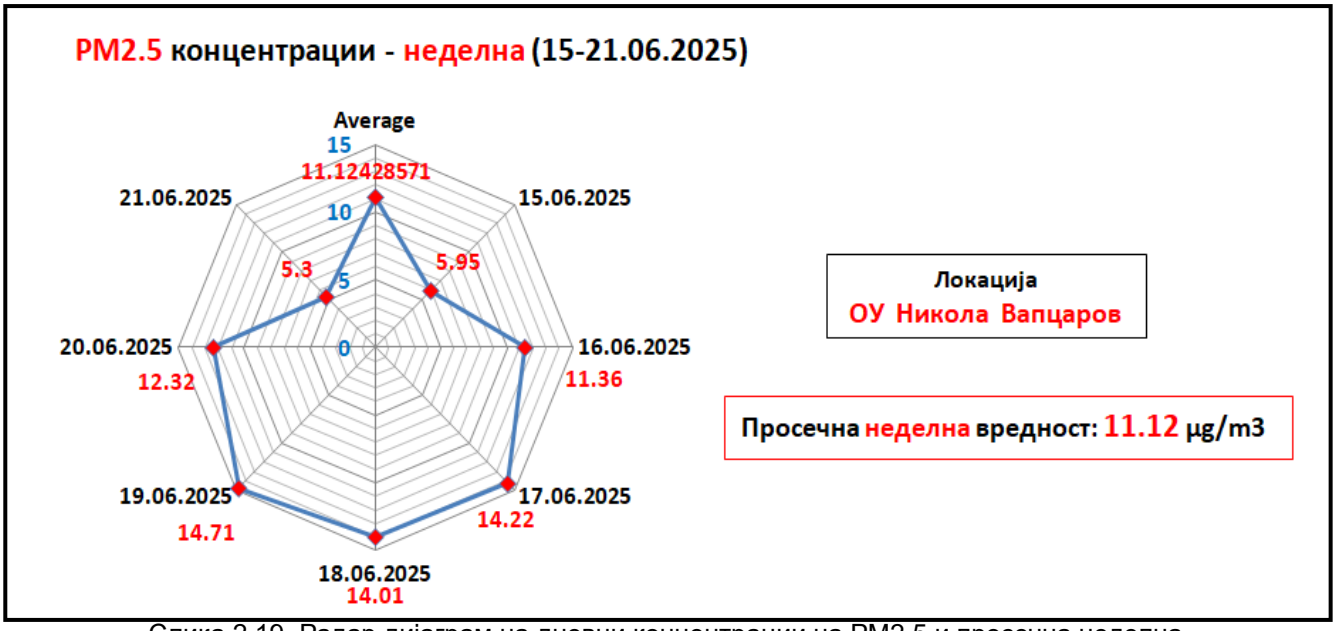


Слика 2.17. Хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.17 прикажува хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 со испишани пресметани просечни вредности на концентрации во анализираниот временски период.

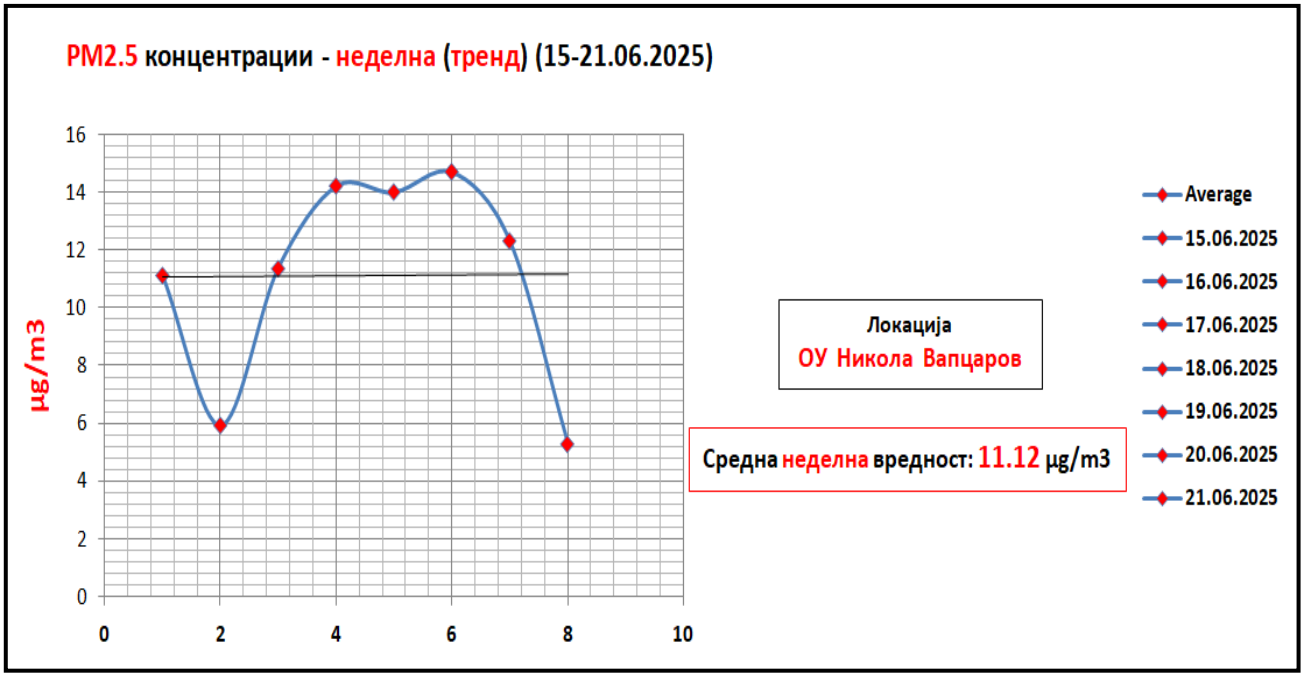


Слика 2.18. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



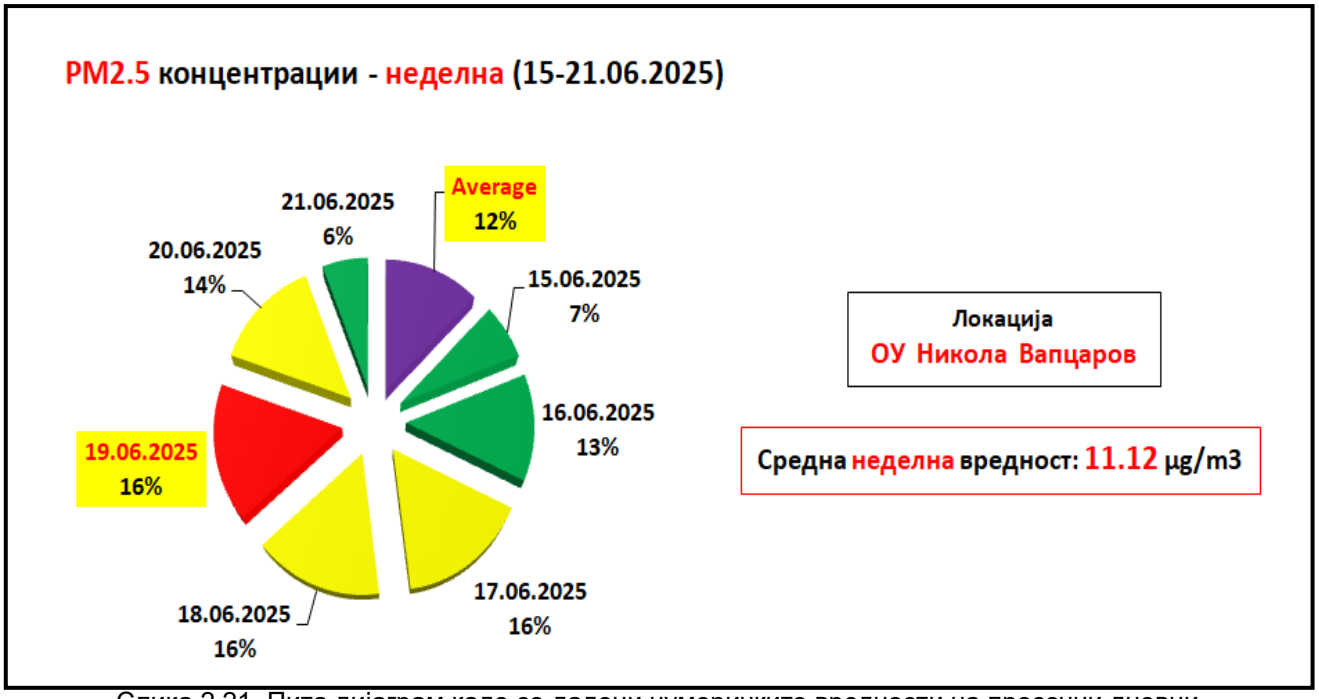
Слика 2.19. Радар дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 и просечна неделна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.19 прикажува радар дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 и просечна неделна концентрација, пресметана од просечни дневни концентрации.



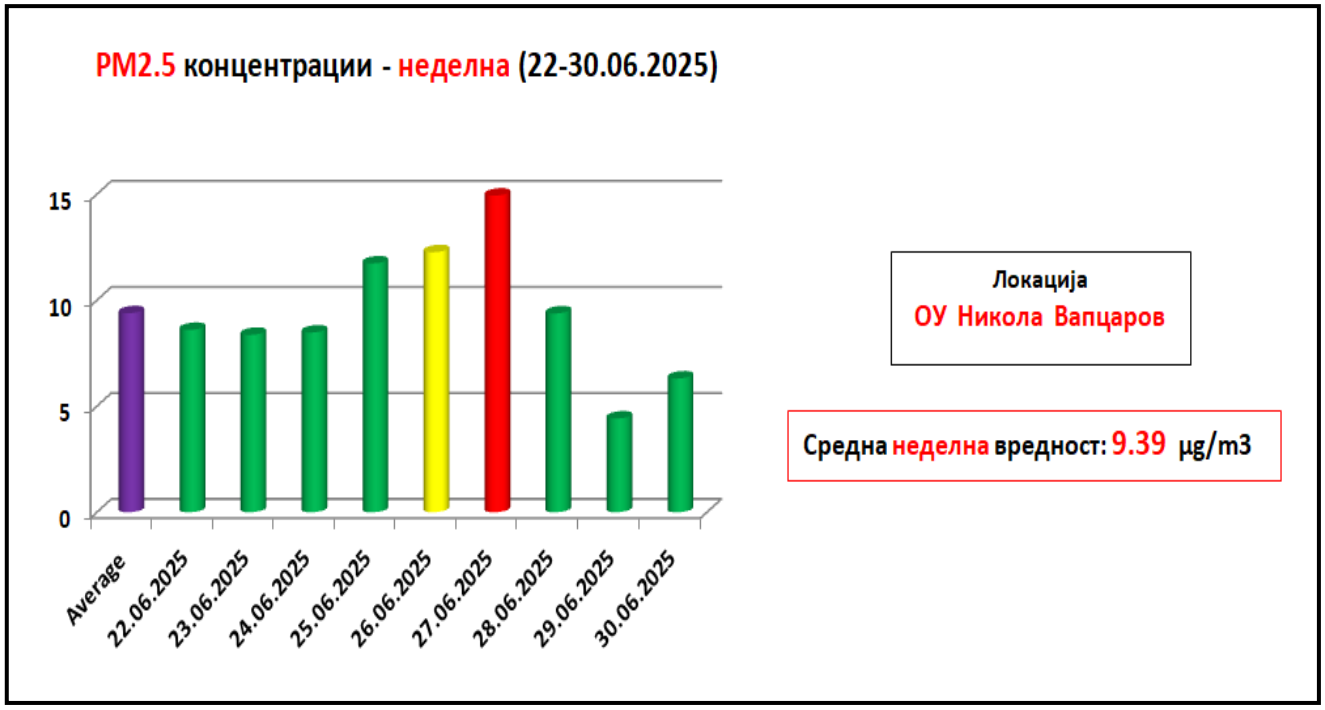
Слика 2.20. Линиски дијаграм со прикажана тренд линија на загадување во третата недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

Слика 2.20 презентира линиски дијаграм со прикажана тренд линија на загадување во третата недела на месец јуни. Оваа линија е благорастечка што покажува дека во оваа недела нема скокови на загадување и оваа мерно место не претставува жариште на загаден воздух.

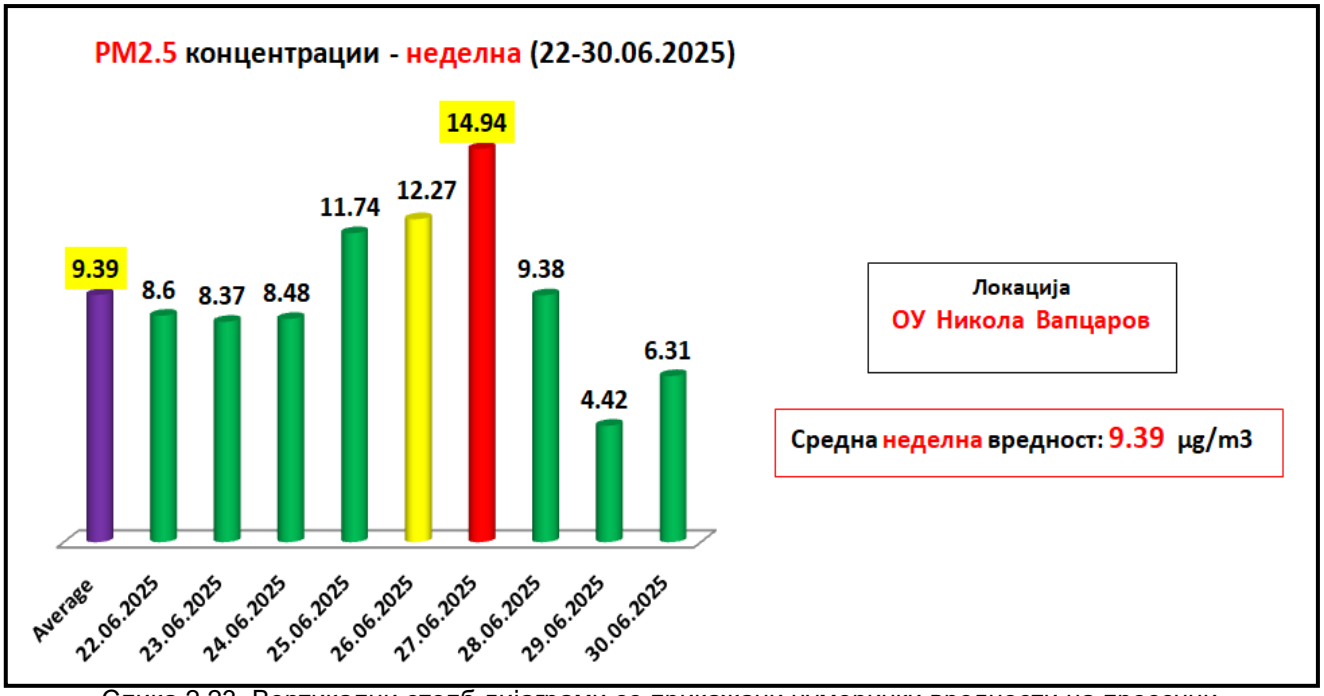


Слика 2.21. Пита дијаграм каде се дадени нумеричките вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5, и процентуални вредности. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.21 е прикажан пита дијаграм каде се дадени нумеричките вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5, и процентуални вредности во учеството на секоја дневна концентрација во вкупната неделна концентрација.

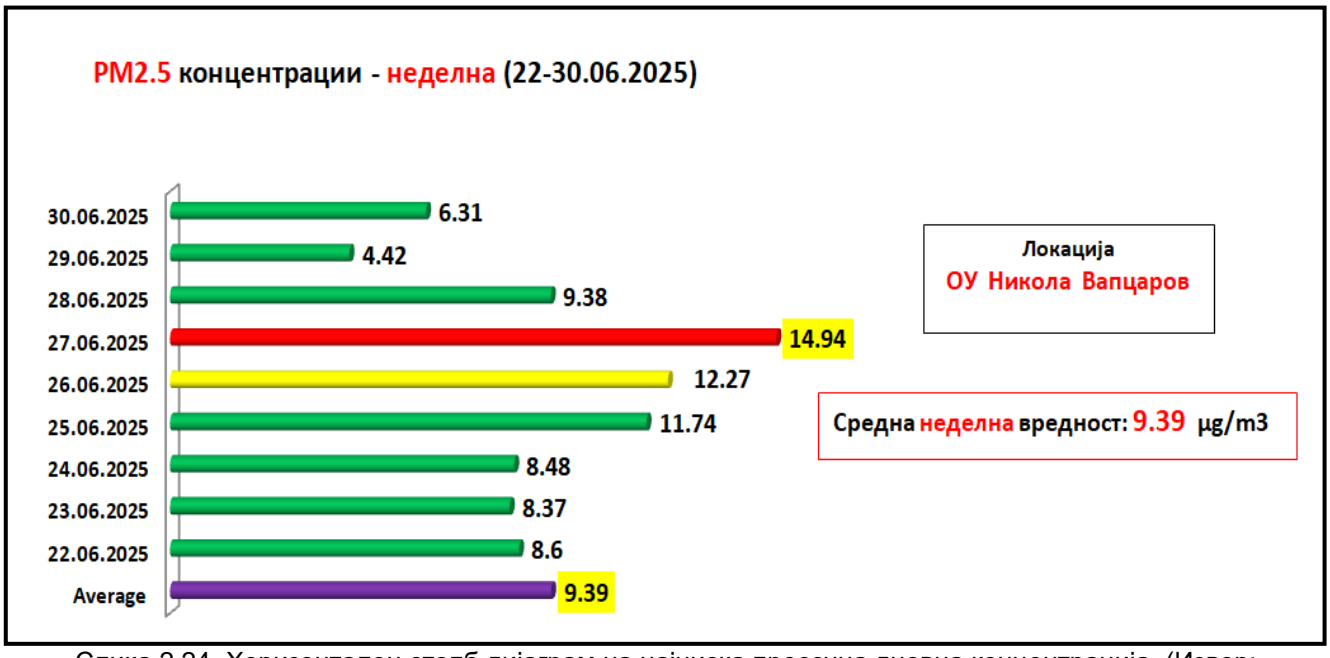


Слика 2.22. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во последната недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



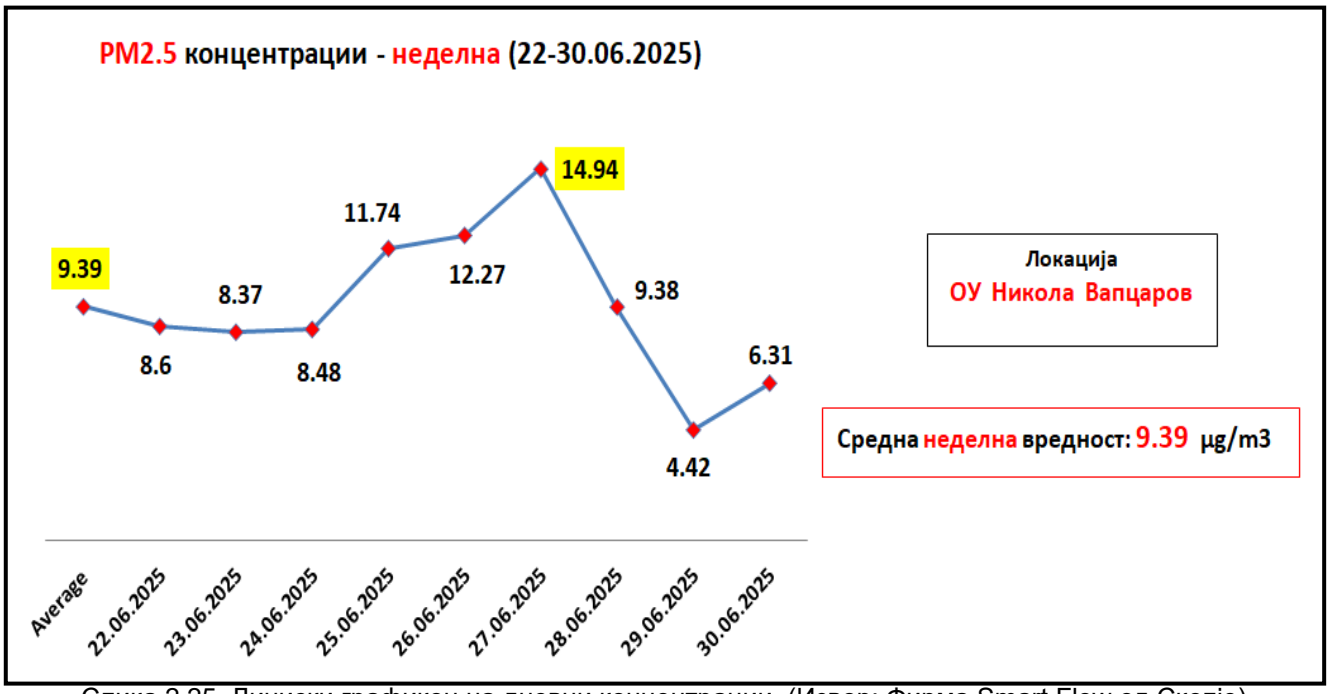
Слика 2.23. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во последната недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.22 и слика 2.23 се прикажани вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во последната недела на месец јуни, 2025 година. Се забележува дека во седум (7) дена од вкупно девет (9) дена, просечните дневни концентрации на PM2.5 се наоѓаат во границите на препорачани вредности (прикажани со зелена боја).



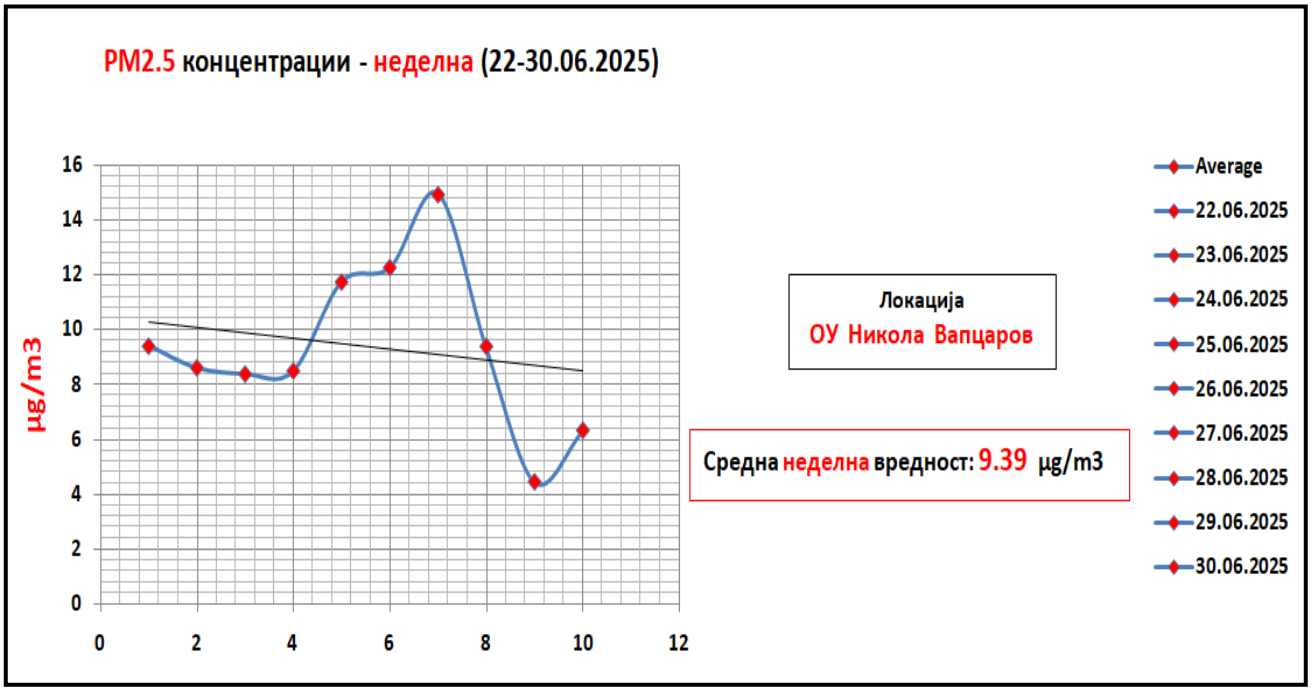
Слика 2.24. Хоризонтален столб дијаграм на најниска просечна дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.24 е прикажан хоризонтален столб дијаграм. Се забележува дека најниска просечна дневна концентрација има на 29.06.2025 година, а највисока вредност на 27.06.2025 година.



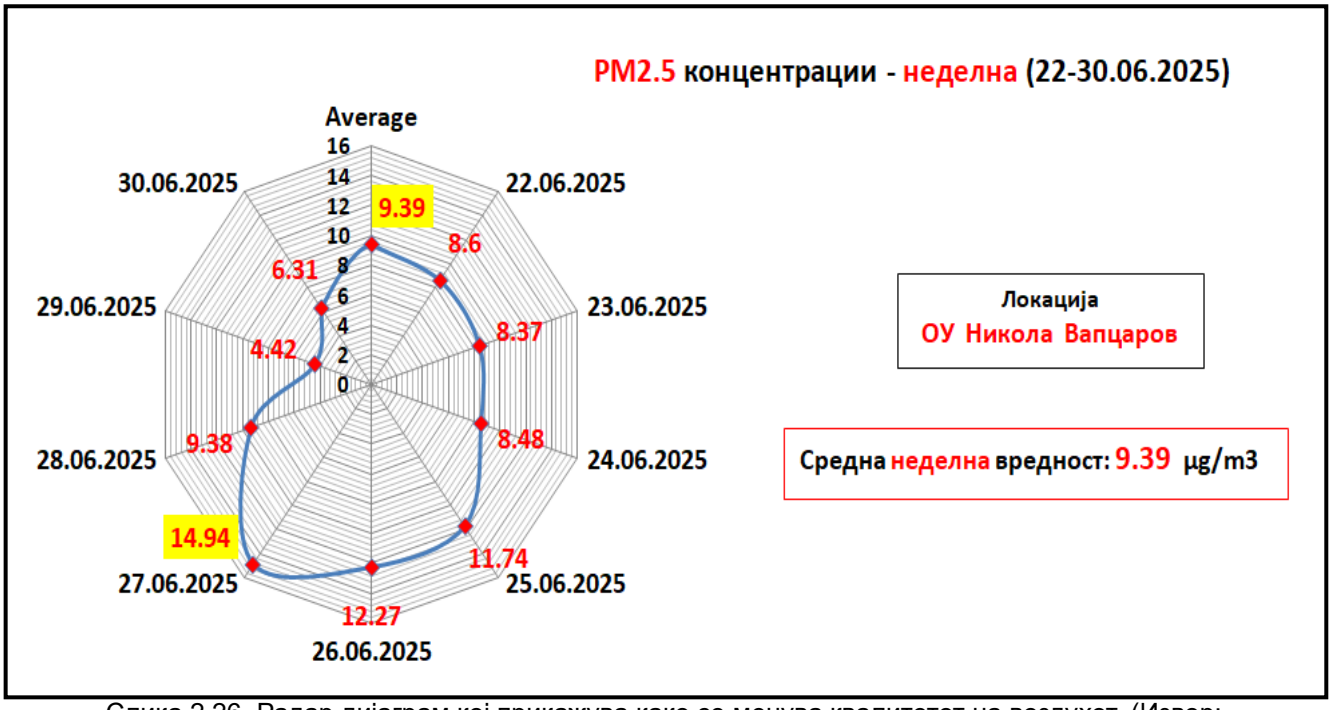
Слика 2.25. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.25 е прикажан линиски графикон на дневни концентрации, каде мерните точки се поврзани и се дава апроксимативна претстава како континуирано се менуваат концентрациите на PM2.5 честички во целиот временски период на опсервација.



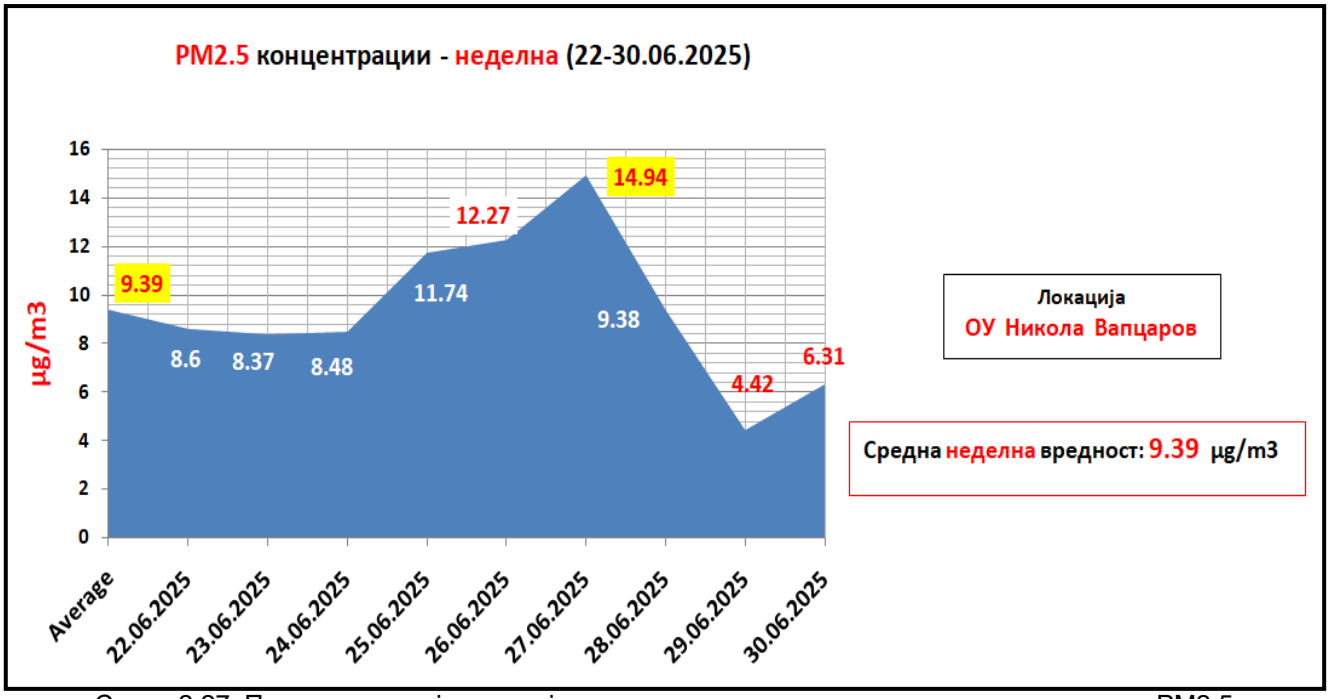
Слика 2.25А. Линиски дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.25А е прикажан линиски дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 честички, и е прикажана *тренд линија на загадување* на воздухот на оваа локација. Линијата на тренд е опаѓачка што покажува дека концентрациите на PM2.5 честички, од почетокот кон крајот на неделата имаат благ тренд на опаѓање, што покажува одредено ниво и тренд на подобрување на квалитетот на воздухот.



Слика 2.26. Радар дијаграм кој прикажува како се менува квалитетот на воздухот. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.26 е прикажан радар дијаграм, визуелен приказ кој пластично прикажува како се менува квалитетот на воздухот за целиот период (крајот на месец јуни) на анализа на концентрации на PM2.5 честички.



Слика 2.27. Површински дијаграм кој дава приказ како се движат концентрациите на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.27 е прикажан површински дијаграм кој дава одличен визуелен приказ како се движат концентрациите на PM2.5 честички во целиот анализиран временски период. Прикажани се и нумеричките вредности на просечни дневни концентрации, кои се добиени од просечни часовни концентрации.

Просечни дневни концентрации на PM2.5

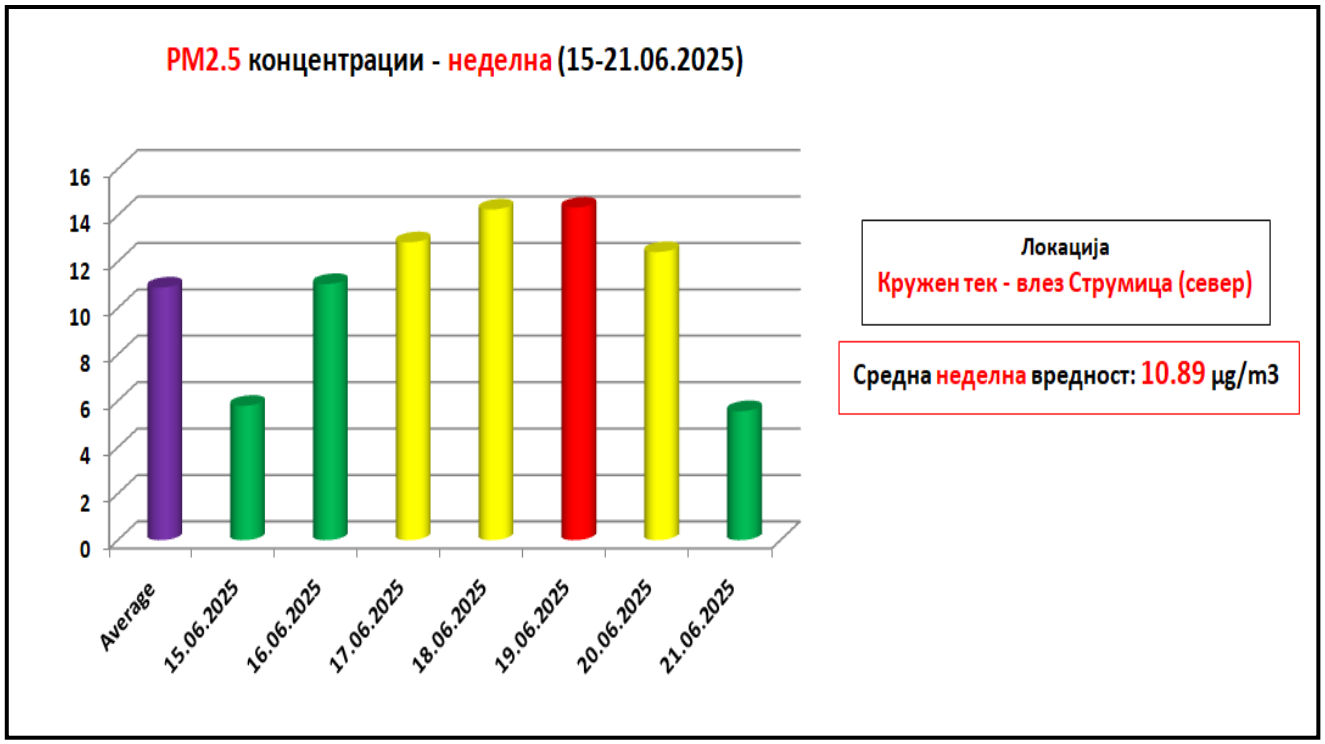
Локација: Кружен тек, влез на Струмица (север)

1. 15.06.2025 година: 5.79 µg/m^3
2. 16.06.2025 година: 11.04 µg/m^3
3. 17.06.2025 година: 12.84 µg/m^3
4. 18.06.2025 година: 14.25 µg/m^3
5. 19.06.2025 година: 14.33 µg/m^3
6. 20.06.2025 година: 12.42 µg/m^3
7. 21.06.2025 година: 5.56 µg/m^3
8. 22.06.2025 година: 8.47 µg/m^3
9. 23.06.2025 година: 7.52 µg/m^3
10. 24.06.2025 година: 8.48 µg/m^3
11. 25.06.2025 година: 10.04 µg/m^3
12. 26.06.2025 година: 11.34 µg/m^3
13. 27.06.2025 година: 14.23 µg/m^3

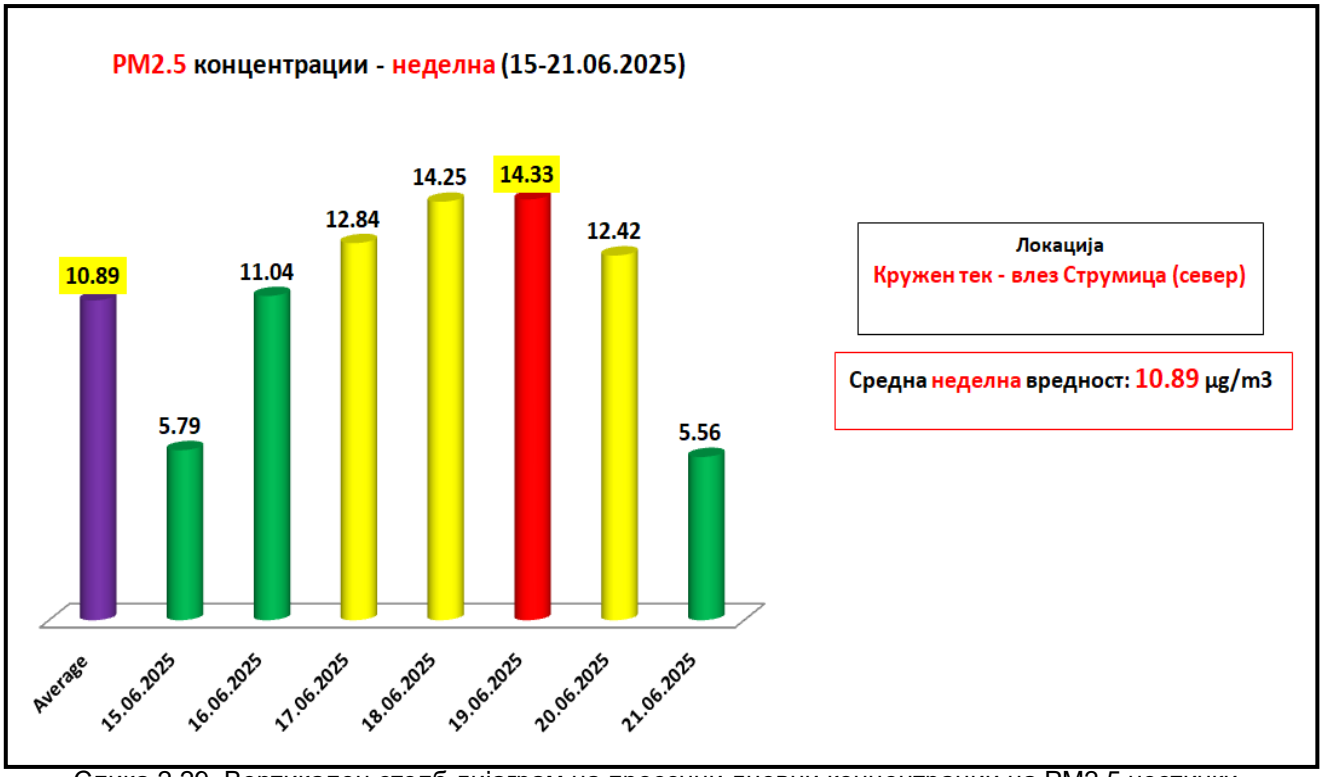
14. 28.06.2025 година: 9.37 μg/m^3
15. 29.06.2025 година: 4.61 μg/m^3
16. 30.06.2025 година: 6.08 μg/m^3.

Просечни неделни концентрации на PM2.5

1. од 15.06.2025 до 21.06.2025 година: 10.89 μg/m^3
2. од 22.06.2025 до 30.06.2025 година: 8.90 μg/m^3

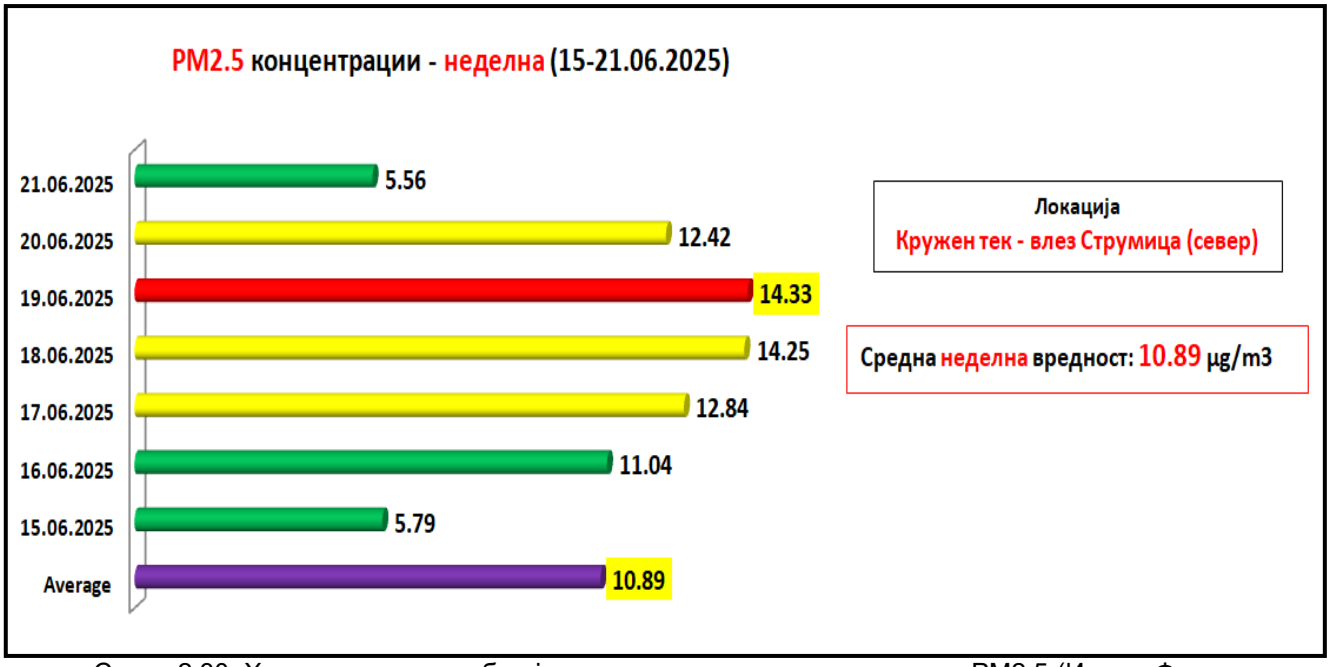


Слика 2.28. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички, измерени на локација Кружен тек, влез на Струмица (север). (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



Слика 2.29. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички, измерени на локација Кружен тек, влез на Струмица (север). (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.28 и слика 2.29 е прикажан вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички, измерени на локација Кружен тек, влез на Струмица (север). Прикажани се нумерички вредности на измерените и пресметани концентрации и со соодветна боја се прикажани нивоата на квалитетот на воздухот според препораките на Светска здравствена организација. Се забележува дека најниски вредности на концентрации на PM2.5 честички има на почетокот и крајот на овој временски период (трета недела од месец јуни, 2025 година).



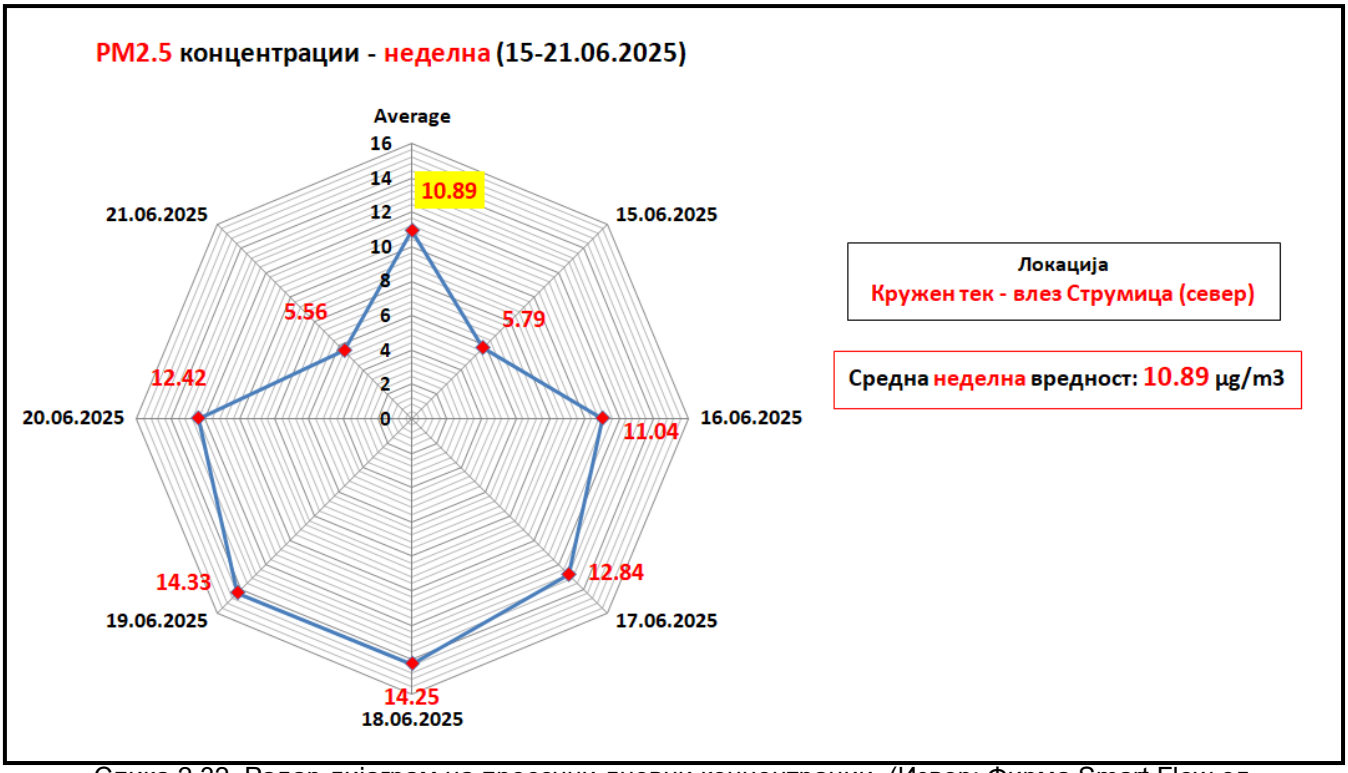
Слика 2.30. Хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.30 е прикажан хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 во временскиот период на опсервација.

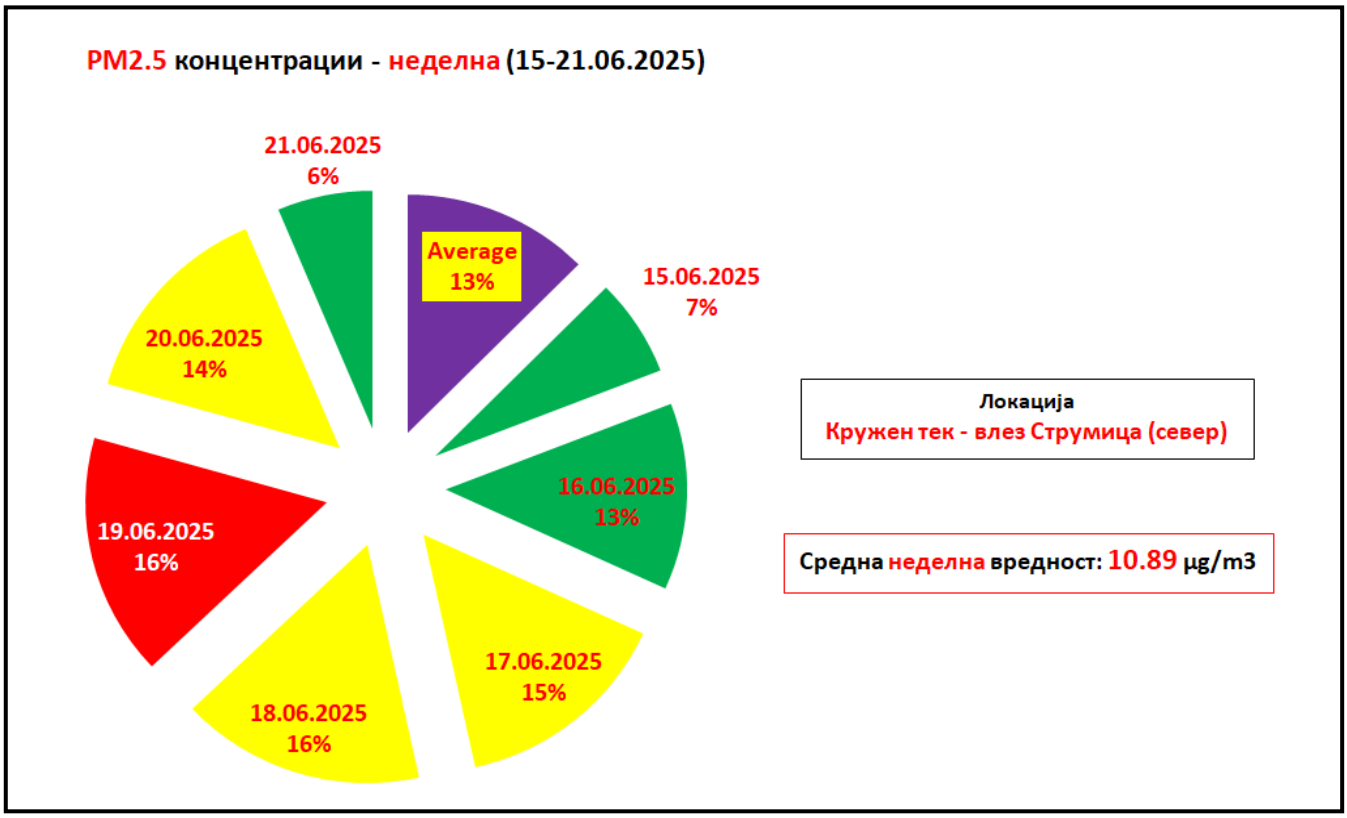


Слика 2.31. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.31 е прикажан линиски графикон на дневни концентрации и соодветни измерени и пресметани нумерички вредности.

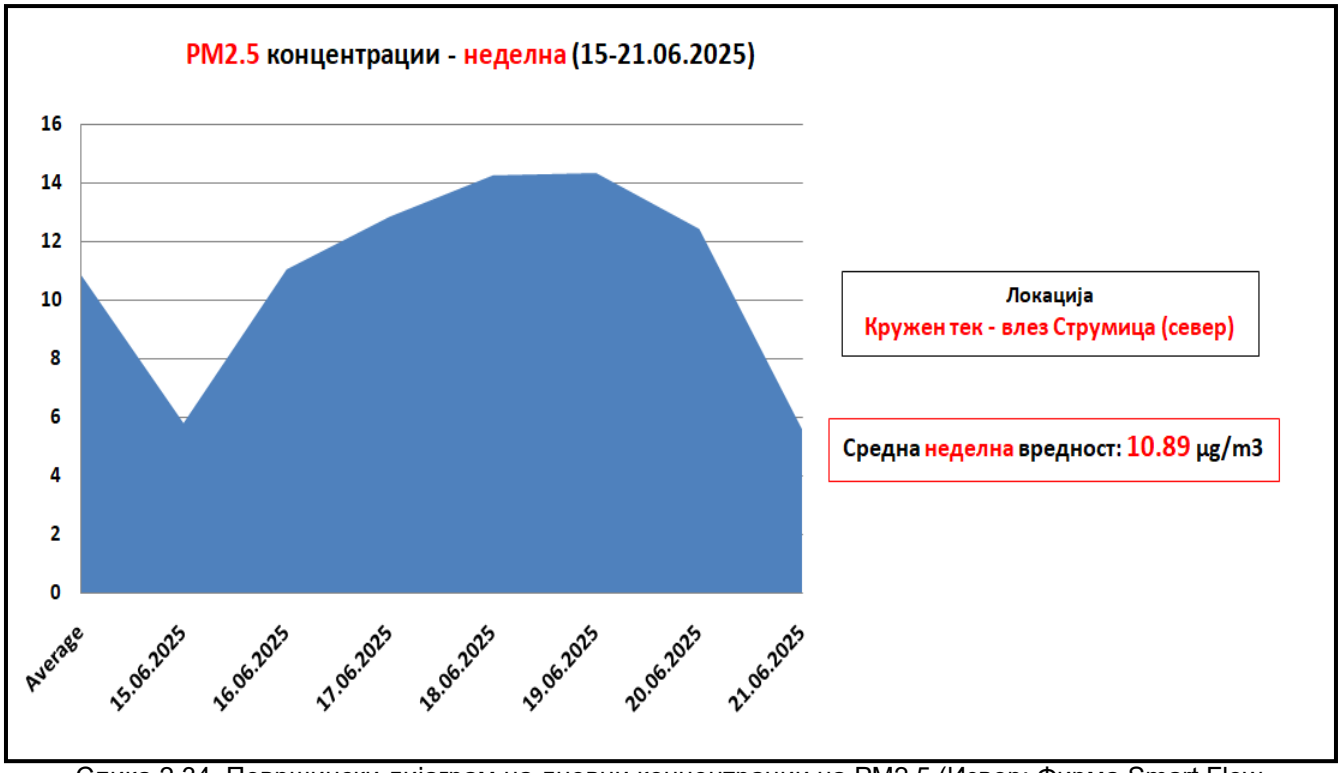


Слика 2.32. Радар дијаграм на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

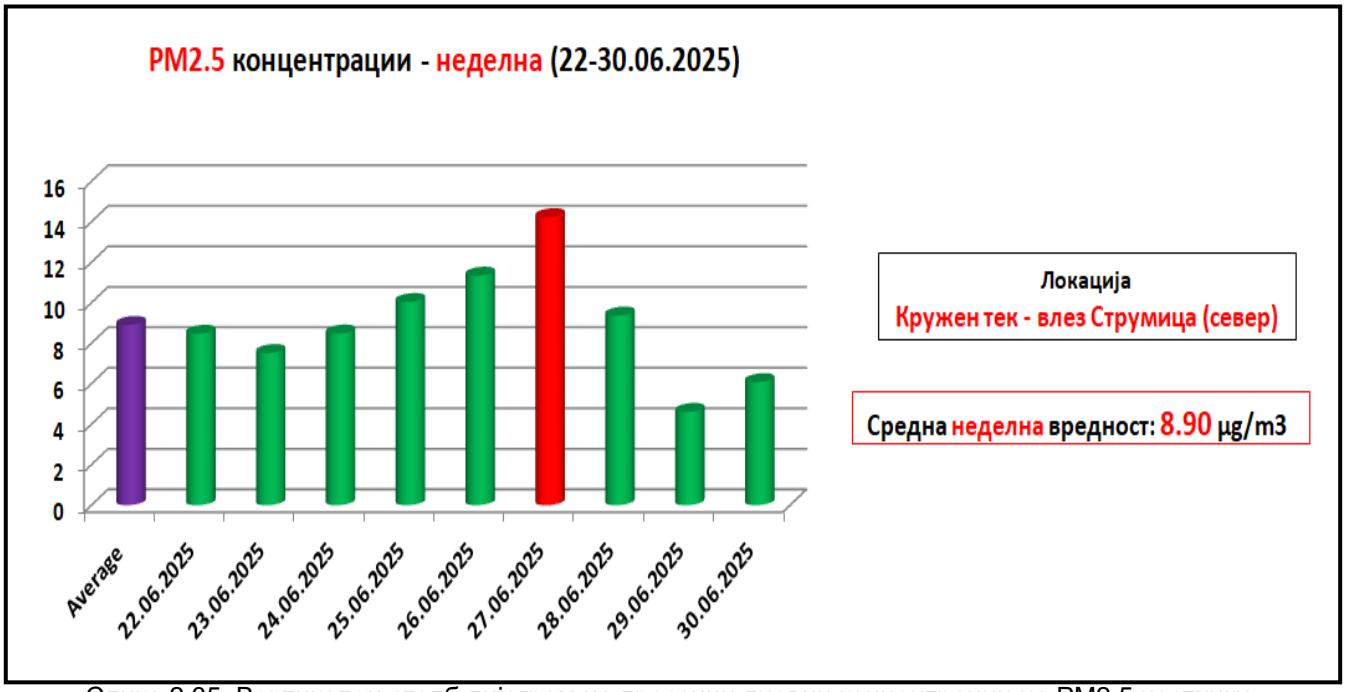


Слика 2.33. Пита дијаграм со процентуален износ на секоја дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

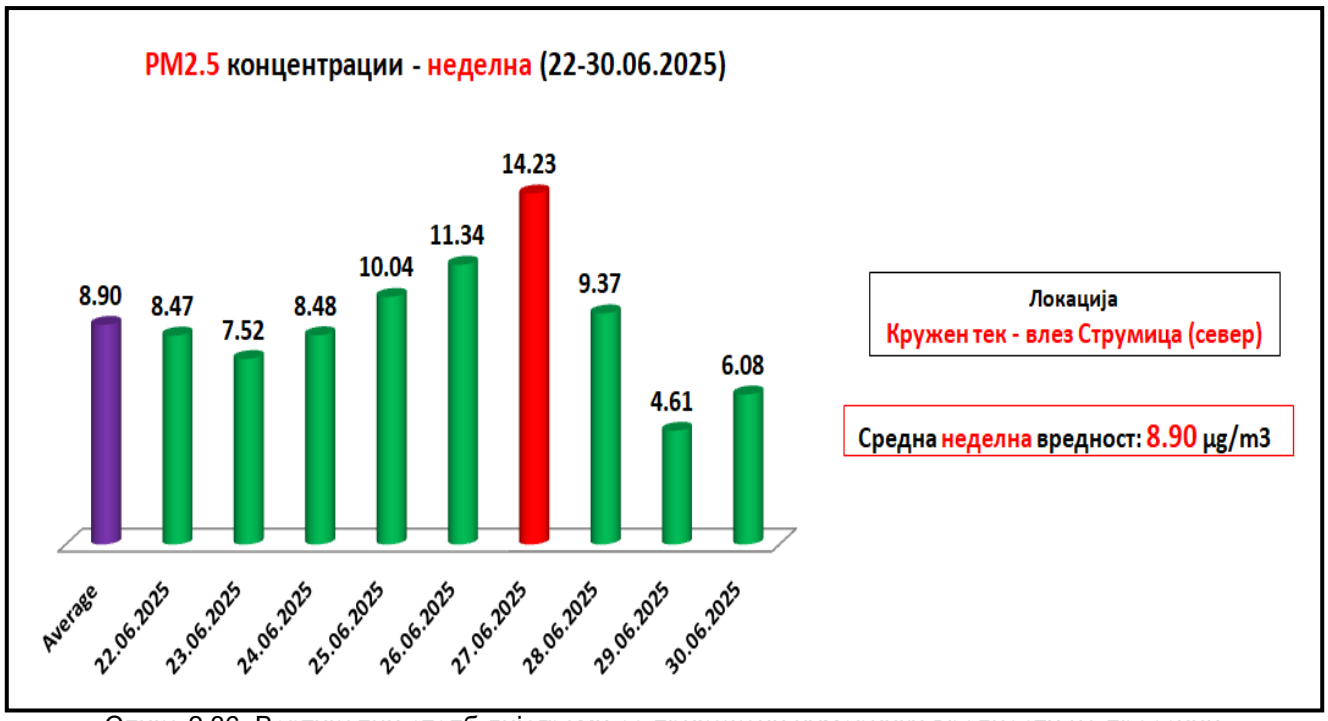
На слика 2.32 е прикажан радар дијаграм на просечни дневни концентрации, а на слика 2.33 е прикажан пита дијаграм со процентуален износ на секоја дневна концентрација во вкупните неделни концентрации.



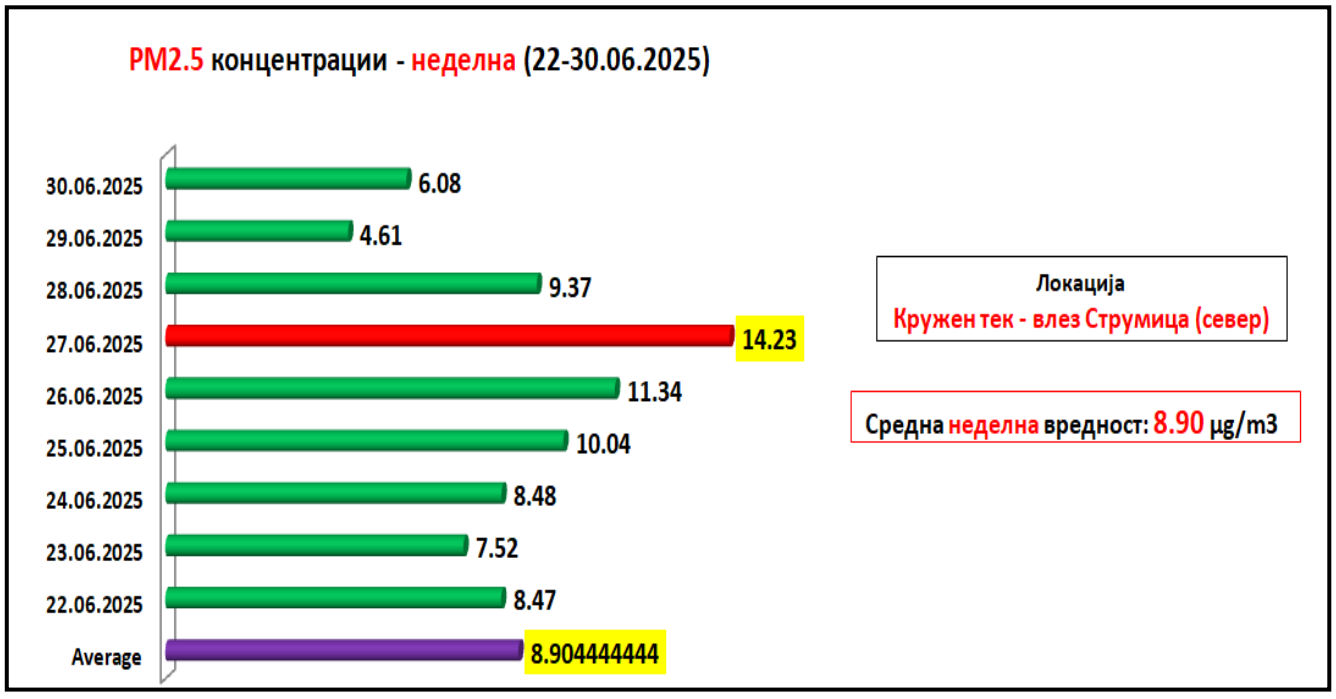
Слика 2.34. Површински дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



Слика 2.35. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

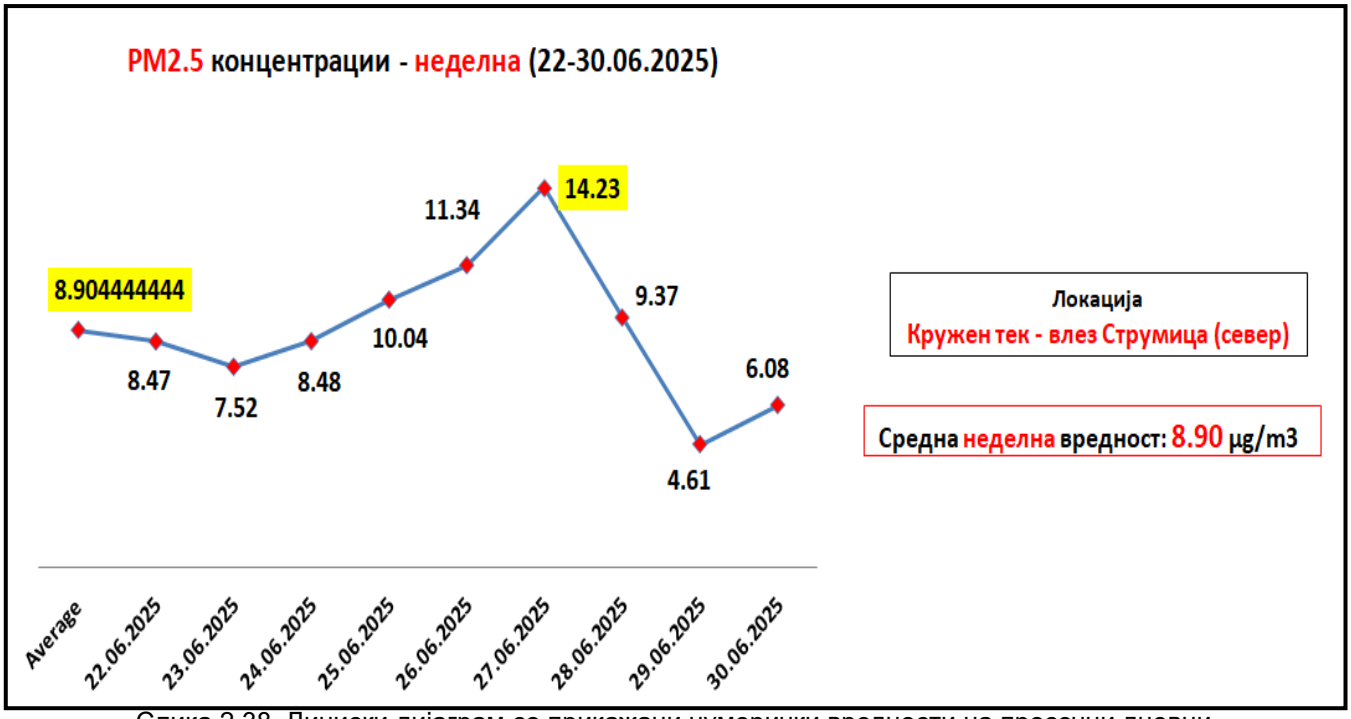


Слика 2.36. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



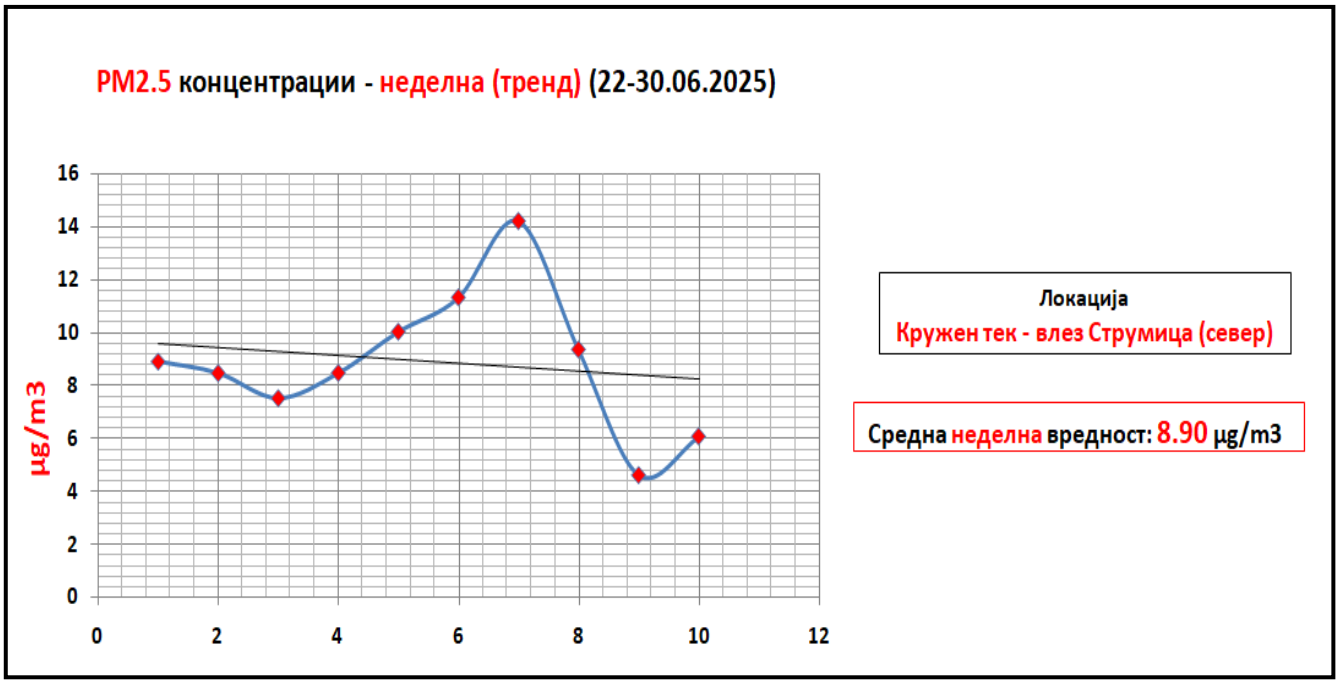
Слика 2.37. Хоризонтале столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.37 е прикажан хоризонтале столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички.



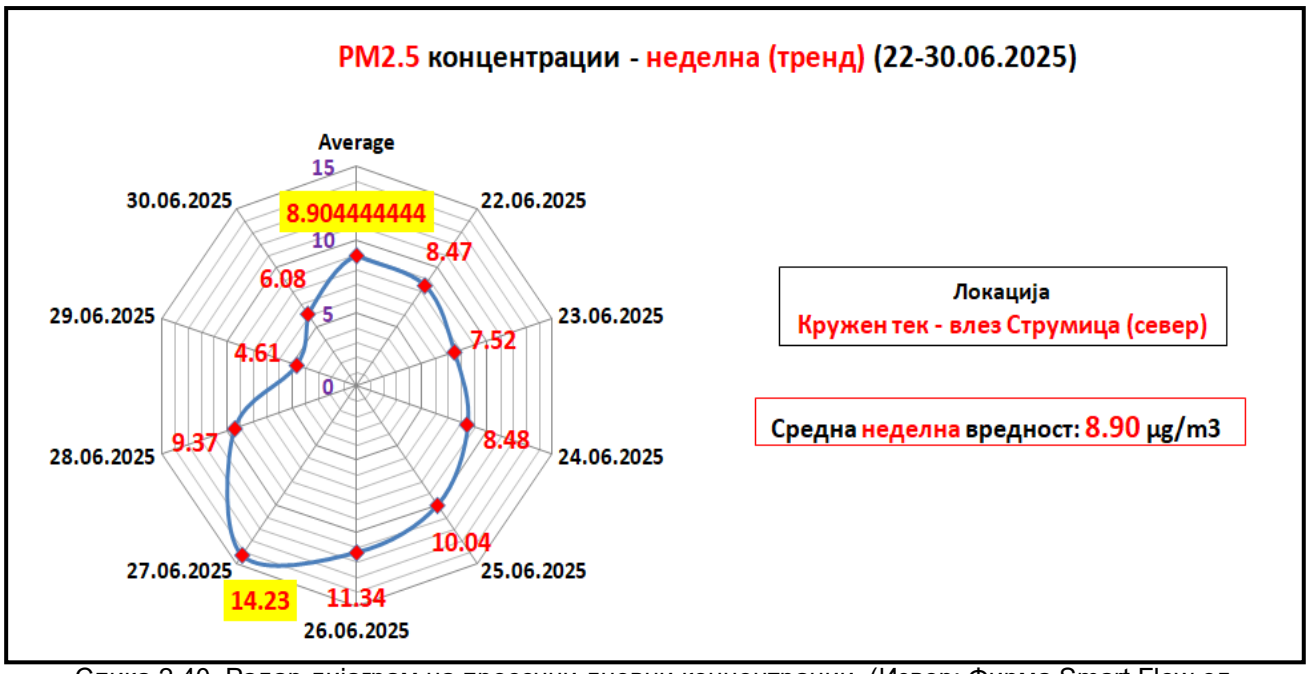
Слика 2.38. Линиски дијаграм со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.38 е даден линиски дијаграм со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5.

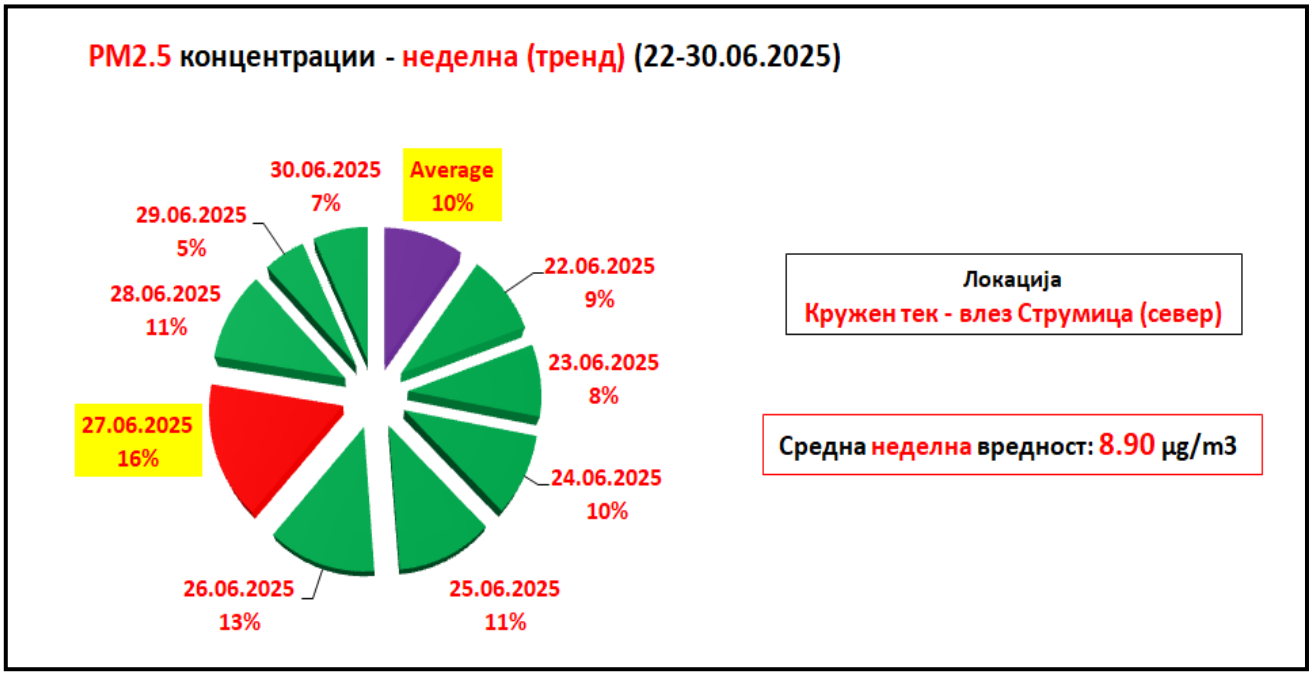


Слика 2.39. Линиски дијаграм со опаѓачка Тренд линија на концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.39 е претставен линиски дијаграм со опаѓачка *Тренд линија на* концентрации на PM2.5.

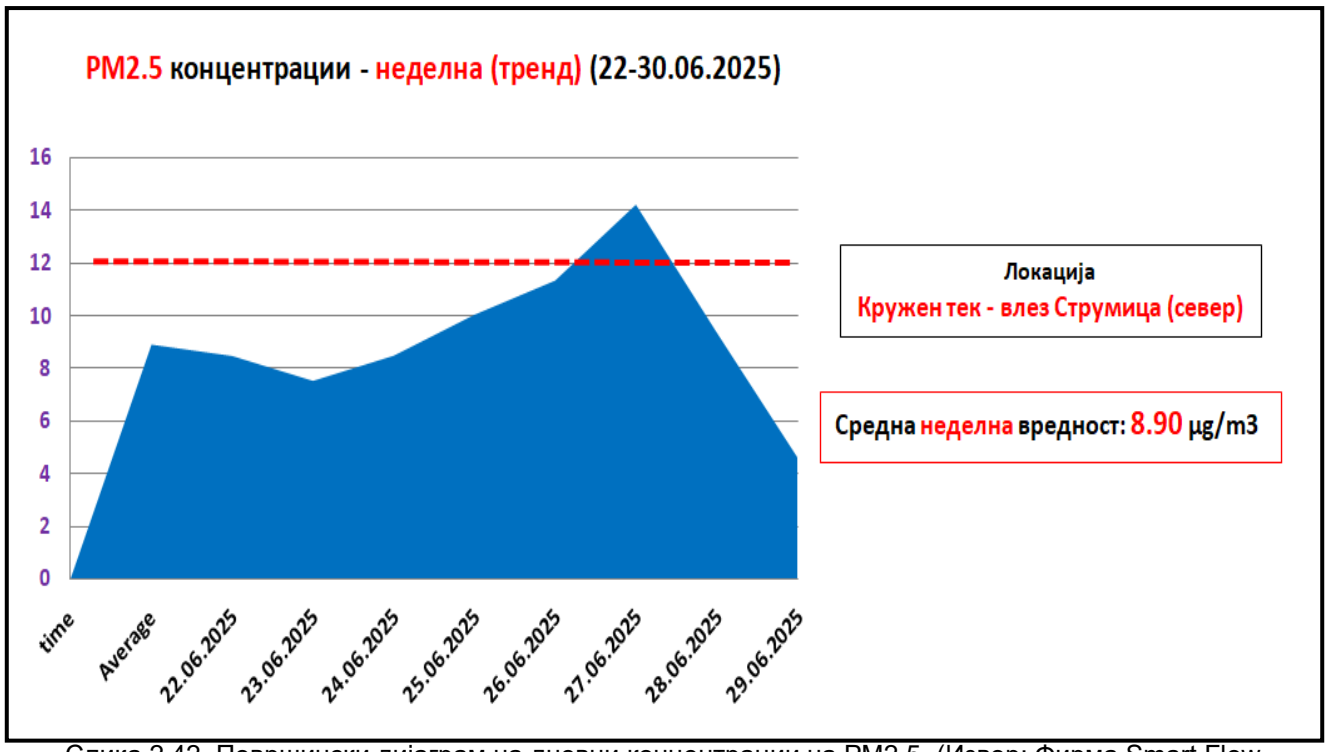


Слика 2.40. Радар дијаграм на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)



Слика 2.41. Пита дијаграм со процентуален износ на секоја дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.40 е прикажан радар дијаграм, а на слика 2.41 е даден визуелен приказ преку пита дијаграм.



Слика 2.42. Површински дијаграм на дневни концентрации на PM2.5. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје)

На слика 2.42 е прикажан површински дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 и гранична линија на добар и просечен квалитет на воздухот (црвена испрекината линија).

III. АНАЛИЗА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Заклучни согледувања

Често слушаме дека природниот гас е “чист“. Во споредба со јагленот, природниот гас произведува помалку емисии на глобално затоплување и загадување на воздухот. Но, јагленот е еден од највалканите начини за производство на електрична енергија (енормно го загадува воздухот што го дишеме со многу штетни и канцерогени загадувачи), па затоа речиси сè ќе изгледа почисто во споредба со него. Факт е дека електраните на природен гас сè уште произведуваат значителна количина на загадување на воздухот, а тоа е проблем.

Индустрискиот, социјалниот и економскиот напредок бара пристап до електрична енергија, а ресурсите на фосилни горива играат голема улога во

производството на електрична енергија долго време во 21 век, но нивните емисии исто така имаат значително негативно влијание врз здравјето на луѓето.

Здравствените ефекти од гасните електрани, иако не се толку изразени како оние од јагленските електрани, сепак се далеку од мали. Здравствените ризици поврзани со гасните електрани се главно ефекти од емисиите за време на работата на гасната електрана. Индиректните здравствени ризици се провлекуваат и во други фази од енергетскиот синџир (т.е. екстракција, транспорт, складирање итн.).

Природниот гас е фосилно гориво. Емисиите што предизвикуваат глобално затоплување од согорувањето на природниот гас се пониски од оние од јагленот или нафтата, но многу повисоки од чистите извори на енергија како што се ветерот или сончевата енергија.

Загадување на воздухот

Согорувањето на природниот гас произведува азотни оксиди (NOx), кои се прекурсори на смог и мали количини на сулфур, жива и честички.

Неконвенционалниот развој на гас може да влијае и на локалниот и на регионалниот квалитет на воздухот на други начини. Некои области, каде што се врши дупчење, доживеале зголемување на концентрациите на опасни загадувачи на воздухот и два од шесте “критериумски загадувачи“ – честички и приземен озон плус неговите прекурсори, регулирани од EPA поради нивните штетни ефекти врз здравјето и животната средина. Изложеноста на покачени нивоа на овие загадувачи на воздухот може да доведе до негативни здравствени исходи, вклучувајќи респираторни симптоми, кардиоваскуларни заболувања и рак. Една студија покажа дека жителите кои живеат на помалку од половина милја од локациите на неконвенционални гасни бунари се изложени на поголем ризик од здравствени ефекти од загадувањето на воздухот од развојот на природен гас, отколку оние кои живеат подалеку од локациите на бунарите. Премногу често, данокот од тоа загадување се поднесува нееднакво.

Природниот гас е фосилно гориво, како нафтата и јагленот, кое ослободува загадување и емисии на глобално затоплување кога согорува. Метанот, примарна компонента на природниот гас (или само „гас“), самиот по себе е моќен загадувач на глобалното затоплување, повеќе од 80 пати помоќен од јаг-лерод диоксидот во период од 20 години.

Загадувањето на воздухот е сериозна глобална криза, при што Светска здравствена организација проценува дека 99% од луѓето низ целиот свет дишат воздух што ги надминува границите за квалитет на воздухот и го загрозува нивното здравје.

Според IEA, производството и потрошувачката на енергија се најголем извор на антропогено загадување на воздухот во светот, што значи дека е важно да се препознаат сериозните влијанија што употребата на необновлива и нечиста енергија ги има врз нашиот воздух и здравје.

Податоци од Светска банка ги проценуваат глобалните загуби на благосостојба предизвикани од загадувањето на воздухот на 5,11 трилиони долари во 2013 година, или околу 14 милијарди долари дневно.

Поголемото потпирање на обновливи извори на енергија, како што се ветерот и сонцето има значајни здравствени и економски придобивки, при што една студија покажува 2 милијарди долари здравствени придобивки од енергијата на ветерот, при што 29% и 32% од овие здравствени придобивки се поврзани со расните и етничките малцинства и населението со ниски приходи, соодветно.

Сосема спротивно на тоа, една студија од Харвард процени 74,6 милијарди долари трошоци за животен циклус и јавно здравје поврзани со јагленот секоја година во Соединетите Американски Држави.

Користењето на обновливи извори на енергија ги намалува нивоата на фини честички, или PM2.5. Електраните, транспортот и индустрискиот сектор се едни од најголемите извори на PM2.5, а исто така испуштаат и други загадувачи на воздухот како сулфур диоксид и азотни оксиди во атмосферата.

Како два од најчистите извори на енергија што се моментално достапни, преминувањето на ветерна и сончева енергија може да ги ограничи нивоата на PM2.5 речиси веднаш. Други обновливи извори на енергија, како геотермалната, сè уште испуштаат одреден број PM2.5, но значително помалку од фосилните горива.

Обновливата енергија, исто така, го намалува производството на озон на ниво на земја и загадување со NO2, кои одат рака под рака бидејќи емисиите на азотни оксиди од електраните на јаглен се еден дел од хемиската реакција што произведува приземен озон и се главен дел од зголемувањето на нивоа на озон.

Преминувањето на обновлива енергија, исто така, ги намалува и другите загадувачи на воздухот. Податоците од извештајот на EEA (European Environment Agency) покажуваат дека замената на обновлива енергија наместо фосилни горива доведе до намалување од 7% на SO2 и намалување од 1% на емисиите на NOx од 2005 до 2017 година во Европската Унија.

Постојат повеќе од еден начин за мерење на квалитетот на воздухот. Денес се користат различни технологии за следење на квалитетот на воздухот, вклучувајќи традиционални FRM/FEM монитори од референтен квалитет, мобилни сензори за квалитет на воздухот, стационарни сензори со ниска цена, технологија за сателитско следење и алтернативни форми на следење – некои проекти дури и успешно користеле мов за да идентификуваат точкести извори на загадување на воздухот. При одредување кој тип или типови на технологија за следење ќе бидат најдобри за проект или програма за следење, корисно е да се започне со разгледување на целиот спектар на достапни решенија. Ова ни овозможува да ги истражиме случаите на употреба за кои секоја технологија е најсоодветна, заедно со сите специфични предности и недостатоци. Зголемениот број на проекти што користат повеќе технологии – практика што се нарекува Мониторинг на квалитетот на воздухот 2.0, претставува возбудлива можност за иднината на глобалниот простор за следење на квалитетот на воздухот.

Како што следењето на квалитетот на воздухот се шири низ целиот свет, така се прошируваат и видовите технологии за следење. Додека во Соединетите Американски Држави, следењето на квалитетот на воздухот започна со имплементација на опрема од референтен степен од страна на федералната влада, тоа еволуираше за да се искористат алтернативни технологии како што се мобилни сензори, стационарни сензори со ниска цена, мерење на квалитетот на воздухот спроведено од сателити, па дури и употреба на мов за откривање на загадувачи на воздухот.

Секој вид технологија за следење доаѓа со свои уникатни предности и недостатоци. Секој пристап кон мерењето на квалитетот на воздухот, исто така, дава различни резултати од податоците, различна просторно временска резолуција, точност и друго и следствено може да резултира со многу различно разбирање на природата на загадувањето на воздухот.

Како што расте јавната побарувачка за подобри податоци за квалитетот на воздухот, ќе продолжиме да гледаме иновации во технологии за следење на квалитетот на воздухот што можат да помогнат во задоволувањето на овие потреби. На пример, следењето на квалитетот на воздухот во помал обем на локално ниво стана позастапено како што расте јавната свест за прашањата за еколошка правда и другите влијанија врз квалитетот на воздухот на ниво на заедницата.

Најуспешните проекти за следење на квалитетот на воздухот се оние што ги користат предностите на различните технологии за да ја насликаат најцелосната слика за загадувањето на воздухот. Тука ја гледаме иднината на следењето на квалитетот на воздухот.

Користена литература

1. "Long-Term Exposure to AIR Pollution and COVID-19 Mortality and Morbidity in DENmark: Who Is Most Susceptible? (AIRCODEN)". Health Effects Institute. November 13, 2023. Retrieved May 17, 2024.
2. "Air pollution hurts the poorest most". UNEP. 2019-05-09. Retrieved 2023-06-02.
3. "Simple cycle gas plant - Energy Education". energyeducation.ca. Retrieved 2023-06-02.
4. "Fossil fuel racism in the United States: How phasing out coal, oil, and gas can protect communities". Energy Research & Social Science. 100. 2023-06-01. doi:10.1016/j.erss.2023.103104. ISSN 2214-6296.
5. "Ask a Scientist: Gas Power Plants Disproportionately Harm Marginalized Communities". Union of Concerned Scientists. February 9, 2024. Retrieved May 17, 2024.
6. "Human Health & Environmental Impacts of the Electric Power Sector | US EPA". US EPA. Retrieved 2023-06-02.
7. "Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM) | US EPA". US EPA. Retrieved 2022-12-21.
8. "How Coal and Gas Damages Your Health | Beyond Coal". coal.sierraclub.org. Retrieved 2022-12-21.
9. Sovacool, Benjamin (December 12, 2012). "The avian and wildlife costs of fossil fuels and nuclear power". Journal of Integrative Environmental Sciences. Retrieved December 14, 2022.
10. "Climate change impacts". Retrieved 2023-06-02.
11. "Decommissioning US Power Plants: Decisions, Costs, and Key Issues". Resources for the Future. Retrieved 2023-06-02.
12. "Natural gas is a much 'dirtier' energy source, carbon-wise, than we thought". Science. Retrieved 2022-12-21.
13. "More methane in atmosphere linked to more fracking". Environment. Retrieved 2022-12-21.
14. "Potential Health Impacts of Oil and Gas Wastewater on Roads". Penn State University. June 21, 2018. Retrieved December 21, 2022.

15. Environmental and Energy Study Institute (EESI). "Fact Sheet | Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels (2021) | White Papers | EESI". www.eesi.org. Retrieved 2022-12-21.
16. "Gas Processing - Earthworks". Earthworks. Retrieved 2022-12-22.
17. "North Palm Springs power plant death involved valve explosion". The Desert Sun. Retrieved 2023-06-01.
18. EJOLT. "Thermal power plant oil spill in Baniyas, Syria | EJAtlas". Environmental Justice Atlas. Retrieved 2023-06-01.
19. "Fuel leakage at West Tripoli power plant could get out of hand". The Libya Observer. Retrieved 2023-06-01.
20. World Health Organization, “Household air pollution”, 2022.
21. C40 Cities, “Why your city should aim for 100% clean energy by 2050”, 2021.
22. Environment GO, “Effects of Fracking on Health and the Environment”, 2022.
23. World Health Organization, “Household air pollution”, 2022.
24. C40 Cities, “How to encourage residents and businesses to install building-scale clean energy”, 2021.
25. C40 Cities, “How to install solar panels on city-owned property and lead by example”, 2021.
26. Daikin, “Вентилација”, https://www.daikin.mk/mk_mk/area-of-expertise/ventilation.html, 2022
27. Creative commons, “Јаглеводород”, 2022.
28. Gavin Schmidt, “Methane: A Scientific Journey from Obscurity to Climate Super-Stardom”, NASA, 2004.
29. Transberg, Bo, Olivier Corradi, “Real-Time Carbon Accounting Method for the European Electricity Markets”, 2019
30. Fisher Juliya, “Energy Density of Coal”, 2003.
31. ScienceDaily, “Infant Inhalation of Ultrafine Air Pollution Linked to Adult Lung Disease”, 2010.
32. 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.
33. C40 Cities, “How to make public transport an attractive option in your city”, 2021.

34. Kouchaki M, Desai SD. “Anxious, threatened, and also unethical: How anxiety makes individuals feel threatened and commit unethical acts”, 2015.
35. Malvina Bondy, Sefi Roth, “Crime is in the Air: The Contemporaneous Relationship between Air Pollution and Crime”, 2019.
36. The World Health Organization (WHO), “Air Quality: Health Impacts of Air Pollution”, 2022.
37. C40 Cities, “How to achieve a walking and cycling transformation in your city”, 2021.
38. The World Health Organization (WHO), “BreatheLife2030”, 2022
39. The World Health Organization (WHO), “Six impactful actions cities can take to improve their air quality”, 2022.
40. C40 Cities, “How to drive a modal shift from private vehicles to public transport, walking and cycling”, 2021.
41. C40 Cities, “Why every city needs universal waste collection and safe disposal as the foundation for sustainable waste management”, 2019.
42. ITDP, “Leapfrogging Past the toxic Urban Highway”, 2021
43. C40 Knowledge Hub, “How to set standards and monitor outdoor air quality”, 2022.
44. World Health Organization, “Ambient air pollution”, 2022.

Прилози

Листа на слики

Слика 1.1. Контролна табла на Clarity сензорска мрежа мрежа лоцирана во градот Струмица (од три сензорски монитори, еден монитор е привремено неактивен). (Извор: Clarity movement Co. dashboard) 11

Слика 1.2. Прикажување на концентрации на параметри на загаден воздух (часовни вредности). (Извор: Kunak cloud technology) 12

Слика 1.3. Приказ на Индекс на квалитет на воздух на микро локации во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology) 12

Слика 1.4. Компјутеризиран систем за управување со одржување на сензорска мрежа. (Извор: Kunak cloud technology) 13

Слика 1.5. Напредна аналитика со повеќе елементи. (Извор: Kunak cloud technology) 13

Слика 1.6. Интеграција со надворешни бази на податоци. (Извор: Kunak cloud technology) 14

Слика 1.7. Идентификување жаришта на загадување во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology) 14

Слика 1.8. Идентификување жаришта на загадување во урбани средини. (Извор: Kunak cloud technology) 15

Слика 1.9. Идентификување и прикажување на концентрации на PM честички. (Извор: Kunak cloud technology) 15

Слика 1.10. Internet of Things компоненти. (Извор: Clarity movement Co.) 17

Слика 1.11. Безжични сензорски мрежи - архитектури. (Извор: Clarity movement Co.) 18

Слика 1.12. Компоненти на Веб страна. (Извор: Clarity movement Co.) 20

Слика 1.13. Клиент – сервер модел на HTTP. (Извор: Clarity movement Co.) 21

Слика 1.14. Клиент – сервер модел со користење HTML шаблони (Single Page Application проток). (Извор: Clarity movement Co.) 22

Слика 1.15. Софтверската архитектура на алатка за визуелизација имплементирана во проект за мониторинг на загадување на воздухот. (Извор: Clarity movement Co.) 23

Слика 1.16. Точкести маркери (кружни маркери). (Извор: Clarity movement Co.).23

Слика 1.17. Point Region Request JSON Example (софтверска програма за креирање точкести маркери со точно зададена географска должина и ширина). (Извор: авторот на овој магистерски труд) 24

Слика 1.18. Point Region Request JSON Example (софтверска програма за креирање точкести маркери со точно зададена географска должина и ширина). (Извор: автор на овој магистерски труд) 25

Слика 1.19. Компоненти на информатиката за животната средина и нивните релевантни интеракции. (Извор: Агенција за животна средина на ЕУ) 26

Слика 1.20. Сензорски монитор со прикажано ниво на PM2.5 честички во воздух. (Извор: Clarity movement Co.) 27

Слика 1.21. Користење врвна технологија за сензори за мерење концентрации на параметри во воздух. (Извор: Clarity movement Co.) 29

Слика 1.22. Клауд технологијата обезбедува точни податоци во процес на мониторинг на квалитет на воздухот. (Извор: Clarity movement Co.) 31

Слика 1.23. WorkFlow дијаграм на базата на податоци AirDMS. (Извор: Clarity movement Co.) 33

Слика 1.24. Предложен систем за поддршка на одлучувањето. (Извор: Агенција за животна средина на ЕУ) 37

Слика 1.25. Сензорски модул за мулти-гас. (Извор: National Park Service, САД).39

Слика 1.26. Сензорски модул за мулти-гас – Азотни оксиди (во 8 часот наутро и во 20 часот навечер). (Извор: Clarity Movement Co, USA) 40

Слика 1.27. Сензорски модул за мулти-гас – мерење концентрации на јаглерод моноксид и азотни оксиди и нивно споредување. (Извор: Clarity Movement Co, USA) 41

Слика 1.28. Сензорски модул за мулти-гас – мерење концентрации на приземен озон, јаглерод моноксид и азотни оксиди и нивно споредување. (Извор: Clarity Movement Co, USA) 42

Слика 1.29. Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest) 43

Слика 1.30. Поставување Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest) 44

Слика 1.31. Апликативно софтверско решение за локална прогноза – поставување на паметни мобилни уреди за онлајн следење на концентрации на Сулфур диоксид (SO2) во реално време (Извор: Weather Flow - Tempest) 44

Слика 1.32. Карактеристики и можности на Сензорски модул за моделирање локална прогноза (Извор: Weather Flow - Tempest) 45

Слика 1.33. Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија) …….48

Слика 1.34. Карактеристики и можности на Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија) …….49

Слика 1.35. Софтверско апликативно решение на Сензорски монитор за мерење концентрации на сулфур диоксид во реално време (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија) ……..51

Слика 1.36. Интегрирање на мониторинг системот на платформи на клиентот преку протокол MQTT (Извор: компанија Envira - Nanoenvi EQ™ од Шпанија) 52

Слика 1.37. Ветерот го растерува загадувањето на воздухот формирано од природни и антропогени активности. Загадувачите на воздухот што патуваат повисоко во воздухот, исто така, можат да реагираат и да формираат други видови загадувачи. На пример, сулфур диоксид и азотни оксиди што се емитираат од извори спроти ветерот можат да подлежат на хемиски реакции во атмосферата и да формираат честички, а азотните оксиди, исто така, можат да реагираат и да формираат приземен озон, или смог. Иако ветерот може да ги преместува загадувачите на воздухот на друга географска локација, овие загадувачи сè уште го загрозуваат здравјето на луѓето и животната средина каде и да се населат. (Извор: National Park Service) ……..54

Слика 1.38. Предградијата на Детроит: во САД, за разлика од остатокот од светот, периферијата е дом на побогатите жители на градот. Фотографија: Alamy (Извор: Clarity Movement Co, USA) ....……57

Слика 1.39. Анемометар. (Извор: Clarity Movement Co, USA) …….58

Слика 1.40. Розата за ветер погоре ја покажува брзината и насоката на ветерот. Сината форма ја прикажува насоката на ветерот според тоа колку сината форма се протега од центарот е поврзана со нејзината магнитуда. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ....……60

Слика 1.41. Софтверска апликација на Clarity за прикажување брзина и насока на ветер на Clarity Wind module (Извор: Clarity Movement Co, USA) ..…….60

Слика 1.42. Нефелометар (Извор: Clarity Movement Co, USA) ……64

Слика 1.43. Сад за превртување со дождомер (Извор: Clarity Movement Co, USA) …… 65

Слика 1.44. Нормален термички градиент (Извор: Clarity Movement Co, USA) 67

Слика 1.45. Термичка инверзија (Извор: Clarity Movement Co, USA) …….67

Слика 1.46. Температурна инверзија над Бризбејн гледана од планината Gravatt во сабота, 23 јуни 2001 година (Извор: Clarity Movement Co, USA) ....……68

Слика 1.47. Следење на загадувањето во Квинсленд – Ден 1. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ……69

Слика 1.48. Следење на загадувањето во Квинсленд – Ден 2. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ...……70

Слика 1.49. Нивои на загадување во Квинсленд – Ден 2. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ...……70

Слика 1.50. Загадување кое повторно се враќа во Квинсленд – Ден 2. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ……71

Слика 1.51. Ниво на загадувањето во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ……71

Слика 1.52. Загадување во текот на денот во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ……72

Слика 1.53. Загадувањето дисперзирано од западните ветрови во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ...……72

Слика 1.54. Дисперзирано загадување во Квинсленд – Ден 3. (Извор: Clarity Movement Co, USA) ...……73

Слика 1.55. Удел на извори со ниска емисија на јаглерод и јаглен во светското производство на електрична енергија, 1971-2021 (Извор: Clarity Movement Co, USA) ...……75

Слика 1.56. Потрошувачката на јаглен во САД падна на 9,2 квадрилиони во 2020 година, најниско ниво во последните 116 години. Потрошувачката на јаглен во САД се намали за повеќе од половина од својот врв во 2005 година; нама-лената употреба во електроенергетскиот сектор е причина за голем дел од овој пад (Извор: U.S Energy Information Administration) ……76

Слика 1.57. Процент на користење на енергија во САД од различни извори. (Извор: U.S Energy Information Administration) ...……..77

Слика 1.58. Годишно конзумирање на природен гас во САД. (Извор: U.S Energy Information Administration) ...……..…...78

Слика 1.59. Годишен увоз и извоз на природен гас во САД. (Извор: U.S Energy Information Administration) ...……..79

Слика 1.60. Приказ за компарација помеѓу држави за приказ на емисии во Европа. (Извор: European Environment Agency) ...……...82

Слика 1.61. Емисии на CO2 во Австрија од различни сектори. (Извор: European Environment Agency) ...……83

Слика 1.62. Трендови и проекции во Европа во 2024. (Извор: European Environment Agency) ...……84

Слика 1.63. Мобилните монитори за квалитет на воздухот го мерат квалитетот на воздухот низ зона на мониторинг за даден временски момент, но често пати не можат да обезбедат целосна слика за трендови или жаришта на квалитетот на воздухот, кои можат брзо да се менуваат. (Извор на слика: US EPA – Агенција за животна средина на САД) 88

Слика 1.64. Clarity сензорски монитор (Извор: Clarity Movement Co, USA) 90

Слика 1.65. Сликата прикажува како научниците од EPA и NASA спојуваат различни мерења кога го испитуваат загадувањето на воздухот. Покрај оптичка длабочина на аеросолите (AOD), оптичка дебелина на облаци и индекс на квалитет на воздухот (AQI), брзината и насоката на ветерот се прикажани со бели стрелки, мерењата на квалитетот на воздухот на земја се прикажани со обоени точки, а пожарите се прикажани со дијаманти. Комбинирањето на различни мерења од сателити и од земја, заедно со компјутерско моделирање, помага да се формира поцелосна слика за квалитетот на воздухот. (Извор: NASA) 92

Слика 1.66. Локација на сензорски монитор. (Извор: Clarity Movement Co, USA).96

Слика 1.67. Истражувачи во Портланд, Орегон, користеле мов што расте на дрвјата во регионот како биоиндикатор за да утврдат нивои на загадувачи на воздухот, вклучувајќи и токсичните тешки метали. (Извор: U.S. Forest Service).103

Слика 2.1. Вертикален столб – дијаграм на концетрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 109

Слика 2.2. Вертикален столб – дијаграм на просечни дневни концентарции на PM2.5 честички (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 110

Слика 2.3. Хоризонтален столб на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во третата недела на месец јуни 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……. 111

Слика 2.4. Линиски графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……112

Слика 2.5. Радар графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...……112

Слика 2.6. Пита графикон на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...……113

Слика 2.7. Линиски графикон и линија Тренд на загаден воздух. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...……114

Слика 2.8. Столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички во последниот период од месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……114

Слика 2.9. Вертикален столб – дијаграм на кој се прикажани измерените просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...115

Слика 2.10. Хоризонтален столб – дијаграм на кој се прикажани измерените просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...116

Слика 2.11. Линиски графикон кој ги поврзува вредностите на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...116

Слика 2.12. Графички приказ на концентрации на загаден воздух. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...117

Слика 2.13. Радар графикон на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...118

Слика 2.14. Пита – графикон на просечните дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...118

Слика 2.15. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации во третата недела на месец јуни 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..120

Слика 2.16. Столб дијаграм со нумерички вредности на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...120

Слика 2.17. Хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...121

Слика 2.18. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...121

Слика 2.19. Радар дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 и просечна неделна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...122

Слика 2.20. Линиски дијаграм со прикажана тренд линија на загадување во третата недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) .122

Слика 2.21. Пита дијаграм каде се дадени нумеричките вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5, и процентуални вредности. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...123

Слика 2.22. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во последната недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...123

Слика 2.23. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички во последната недела на месец јуни, 2025 год. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ...124

Слика 2.24. Хоризонтален столб дијаграм на најниска просечна дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……124

Слика 2.25. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……125

Слика 2.25А. Линиски дијаграм на дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……125

Слика 2.26. Радар дијаграм кој прикажува како се менува квалитетот на воздухот. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……126

Слика 2.27. Површински дијаграм кој дава приказ како се движат концентрациите на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……127

Слика 2.28. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички, измерени на локација Кружен тек, влез на Струмица (север). (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……128

Слика 2.29. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички, измерени на локација Кружен тек, влез на Струмица (север). (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ..……129

Слика 2.30. Хоризонтален столб дијаграм на дневни концентрации на PM2.5. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……...130

Слика 2.31. Линиски графикон на дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……..130

Слика 2.32. Радар дијаграм на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) ……..131

Слика 2.33. Пита дијаграм со процентуален износ на секоја дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) …… 131

Слика 2.34. Површински дијаграм на дневни концентрации на PM2.5. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) …… 132

Слика 2.35. Вертикален столб дијаграм на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) …….. 132

Слика 2.36. Вертикални столб дијаграми со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 133

Слика 2.37. Хоризонтале столб дијаграм на концентрации на PM2.5 честички. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 133

Слика 2.38. Линиски дијаграм со прикажани нумерички вредности на просечни дневни концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 134

Слика 2.39. Линиски дијаграм со опаѓачка Тренд линија на концентрации на PM2.5 (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 134

Слика 2.40. Радар дијаграм на просечни дневни концентрации. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 135

Слика 2.41. Пита дијаграм со процентуален износ на секоја дневна концентрација. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 135

Слика 2.42. Површински дијаграм на дневни концентрации на PM2.5. (Извор: Фирма Smart Flow од Скопје) 136