



VEŠ, KAJ DIHAŠ?

POROČILO MERITEV DELCEV PM₁₀ IN PM_{2.5}
NA ŠKOFLJICI (APRIL–OKTOBER 2025)



Inštitut
za zdravje
in okolje



Ljubljana, november 2025

1. KAZALO

1. KAZALO	2
2. UVOD	3
3. ZNAČILNOSTI DELCEV PM	4
3.1. VPLIV ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z DELCI PM NA ZDRAVJE LJUDI	5
3.2. FIZIOLOŠKI IN ZDRAVSTVENI VPLIVI DELCEV PM.....	5
3.3. RANLJIVE SKUPINE IN SOCIALNO-EKONOMSKI VIDIKI.....	6
3.4. ZAKONSKI IN PRIPOROČENI MEJNI PRAGOVI.....	6
4. O PROJEKTU »VEŠ, KAJ DIHAŠ?«	7
4.1. NAMEN IN CILJI PROJEKTA	7
4.2. METODA LJUBITELJSKE ZNANOSTI (ANG. CITIZEN SCIENCE)	8
5. LOKACIJE MERITEV	9
6. METODOLOGIJA MERITEV	13
6.1. MERILNE NAPRAVE IN PARAMETRI	13
6.2. ČASOVNI OKVIR MERITEV	13
6.3. VREMENSKI IN DRUGI ZUNANJI VPLIVI.....	14
6.4. ZANESLJIVOST IN CELOVITOST PODATKOV	14
6.5. PRIMERJALNE MERITVE Z ARSO (LJUBLJANA – VOJKOVA)	14
7. REZULTATI MERITEV – ŠKOFLJICA	15
7.1. REZULTATI PM _{2.5}	15
7.2. REZULTATI PM ₁₀	20
7.3. KLJUČNE UGOTOVITVE	23
8. PREGLOGI IN PRIPOROČILA	24
8.1. OPTIMIZACIJA LOKALNIH PROMETNIH TOKOV IN ZMANJŠEVANJE KRATKIH VOŽENJ.....	24
8.2. SPODBUJANJE AKTIVNE MOBILNOSTI IN IZBOLJŠEVANJE DOSTOPA DO JAVNEGA PREVOZA	24
8.3. PODPORA SOUPORABI VOZIL IN DRUGIH OBLIK SKUPNE MOBILNOSTI	24
8.4. ZMANJŠANJE EMISIJ IZ INDIVIDUALNIH KURIŠČ	25
8.5. PREHOD NA NIZKO-EMISIJSKO MOBILNOST	25
8.6. OZAVEŠČANJE PREBIVALCEV Z VKLJUČEVANJEM RAZLIČNIH STAROSTNIH SKUPIN.....	25
8.7. SPREMLJANJE KAKOVOSTI ZRAKA IN OCENJEVANJE UČINKOV UKREPOV	25
9. SKLEP	26
10. ZAKLJUČEK	26
11. VIRI	27

2. UVOD

Onesnaženost zraka predstavlja največje okoljsko tveganje za zdravje na evropski in svetovni ravni. Po ocenah Evropske agencije za okolje (EEA, 2023) slaba kakovost zraka negativno vpliva na zdravje in dobro počutje ljudi, kar letno privede do prevelikega števila prezgodnjih smrti v Evropi, ki bi jih bilo mogoče preprečiti.

Glavni onesnaževali zraka, ki predstavljajo največjo nevarnost za zdravje ljudi, so prašni delci (PM), ogljikov monoksid (CO), ozon (O₃), dušikov dioksid (NO₂) in žveplov dioksid (SO₂). Izpostavljenost tem snovem lahko povzroči različne zdravstvene težave, pri čemer so tveganja prisotna tako ob kratkotrajni kot tudi ob dolgotrajni izpostavljenosti (WHO, b. d.).

Po ocenah EEA (2023) je v letu 2020 v EU zaradi izpostavljenosti drobnim delcem PM_{2.5}, ki so presegali priporočeno mejo Svetovne zdravstvene organizacije (5 µg/m³), prezgodaj umrlo najmanj 238.000 ljudi. Onesnaženje z dušikovim dioksidom je povzročilo okoli 49.000 prezgodnjih smrti, izpostavljenost ozonu pa približno 24.000.

Onesnaženost zraka ne vpliva zgolj na zdravje ljudi, temveč ima tudi pomembne gospodarske posledice. Povzroča višje stroške zdravstvene oskrbe, zmanjšuje pričakovano življenjsko dobo ter vodi do izgube delovnih dni v številnih gospodarskih panogah. Poleg tega negativno vpliva na rastlinstvo, kakovost tal in vode ter na delovanje ekosistemov (EEA, 2025a).

EEA (2025b) opozarja, da so delci PM_{2.5} onesnaževalo, ki povzroča največ zdravstvenih težav in prezgodnjih smrti. Beleži se sicer trend zmanjšanja trdnih delcev: EEA navaja, da so med letoma 2005 in 2023 so emisije prašnih delcev PM₁₀ zmanjšale za približno 36 %, emisije delcev PM_{2.5} pa za okoli 38 %.

Kljub temu pa kakovost zraka v številnih evropskih mestih še vedno ne dosega priporočenih mejnih vrednosti, zaradi česar so prebivalci izpostavljeni koncentracijam onesnaževal, ki presegajo varne ravni. (EEA, 2025a).

Skoraj vsi Evropejci (96 %), ki živijo v mestih, so izpostavljeni koncentracijam drobnih delcev (PM_{2.5}), ki presegajo priporočeno raven Svetovne zdravstvene organizacije (EEA, 2024). Po ocenah bi izboljšanje kakovosti zraka do ravni, ki jih priporoča Svetovna zdravstvena organizacija (WHO), lahko preprečilo več kot polovico prezgodnjih smrti, povezanih z izpostavljenostjo drobnim delcem PM_{2.5} (EEA, 2025a).

V Sloveniji je sistem meritev kakovosti zraka osredotočen predvsem na večja urbana središča, medtem ko manjša mesta niso vključena v stalno spremljanje. Posledično za ta območja ni zanesljivih podatkov o onesnaženosti zraka, kar omejuje razumevanje lokalnih okoljskih razmer ter otežuje oblikovanje učinkovitih ukrepov za varovanje zdravja prebivalcev in okolja.

S projektom *Veš, kaj dihaš?* smo želeli zapolniti to vrzel ter pridobiti podatke o kakovosti zraka na manjših urbanih območjih, ki so v nacionalnih analizah pogosto prezrta. Meritve koncentracij delcev PM_{2.5} in PM₁₀ smo izvedli na Vrhniku, v Domžalah in na Škofljici, pri čemer smo lokacije izbrali skupaj z lokalnim prebivalstvom. Poseben poudarek smo namenili območjem, na katerih se zadržujejo ranljive skupine.

Za izvedbo meritev smo uporabili merilne naprave IQAir Visual Outdoor. Meritve so potekale od aprila do oktobra, zaradi časovnice projekta pa zimsko obdobje – ko so zaradi kurilne sezone koncentracije delcev praviloma višje – ni bilo zajeto. Kljub občasnim izpadom podatkov zaradi tehničnih omejitev projekt predstavlja prvi sistematični vpogled v koncentracije delcev PM na teh območjih ter pomemben prispevek k razumevanju kakovosti zraka v izbranih slovenskih krajih.

3. ZNAČILNOSTI DELCEV PM

Delci PM₁₀ in PM_{2,5} predstavljajo ključni pokazatelj kakovosti zunanega zraka. Njihov izvor in lastnosti so močno odvisni od lokalnih virov, vremenskih razmer in topografije. Delci PM (*particulate matter*) so kompleksna zmes trdnih delcev in tekočih kapljic, prisotnih v zraku, ki nastajajo pri različnih naravnih in antropogenih procesih. Lahko so primarni, kadar se v ozračje sprostito neposredno iz virov, kot so promet, industrija ali kurišča, ali sekundarni, kadar nastanejo z reakcijami plinastih onesnaževal (npr. dušikovih oksidov, žveplovega dioksida, amonijaka in hlapnih organskih spojin) v atmosferi (WHO, 2021; EEA, 2025c).

Delci se razlikujejo po velikosti, kar določa njihovo obnašanje v ozračju in vpliv na okolje. Najpogosteje se spremljata dve frakciji:

- PM₁₀ – delci s premerom do 10 µm (mikrometrov),
- PM_{2,5} – delci s premerom do 2,5 µm, imenovani tudi fini delci (EEA, 2025c).

Evropska unija in Svetovna zdravstvena organizacija uporabljata skupno maso frakcij PM₁₀ in PM_{2,5} kot glavni kazalnik kakovosti zraka, na podlagi katerega se določajo mejne in priporočene vrednosti (WHO, 2021; EEA, 2025c). Po kemični sestavi so delci raznoliki in lahko vsebujejo sulfate, nitrane, amonijak, natrijev klorid, črni ogljik, mineralni prah in vodo (WHO, b. d.).

DELCI PM₁₀

Delci PM₁₀ so drobni delci z aerodinamičnim premerom do največ 10 µm. Ti delci večinoma nastajajo pri mehanskih procesih, kot so obraba cestnih površin, pnevmatik in zavor, prašenje tal, gradbeni posegi ter naravni procesih, npr. erozija in morski aerosoli. Delce PM₁₀ pogosto najdemo na območjih z visoko prometno obremenitvijo ali v kotlinah, kjer se zrak zaradi temperaturnih inverzij slabše premešava (NIJZ, 2023).

Fizikalno so delci PM₁₀ razmeroma težji in se zato hitreje usedajo na površine, kar pomeni, da se zadržujejo bližje viru nastanka. Kemično jih sestavljajo predvsem mineralni delci (silikati, aluminijeve in kalcijeve spojine), skupaj z manjšimi deleži organskega ogljika, sulfata, nitrata in kovin (WHO, 2021).

DELCI PM_{2,5}

Delci PM_{2,5} so zelo drobni delci s premerom do 2,5 µm, ki nastajajo predvsem pri izgorevanju goriv v prometu, industriji in energetskih napravah ter pri sekundarnih kemijskih reakcijah med plini v ozračju (kot so dušikovi oksidi, žveplov dioksid in hlapne organske spojine) (WHO, b. d.).

Fizikalno so PM_{2,5} manjši, lažji in zato bolj obstojni v zraku, kar jim omogoča dolgotrajno lebdenje in prenos na večje razdalje. Njihova majhna velikost povečuje sposobnost difuzije in omogoča vstop v spodnje dihalne poti (vendar vplivi na zdravje niso obravnavani v tem poglavju) (WHO, b. d.).

Kemična sestava delcev PM_{2,5} je raznolika; običajno vključuje sulfate, nitrane, amonijeve soli, črni ogljik, mineralne delce, natrijev klorid in vodo (WHO, b. d.).

Ti delci nastajajo tako neposredno pri izgorevanju (primarni delci) kot tudi posredno – s kemično pretvorbo plinov v atmosferi (sekundarni delci). Zaradi majhne velikosti in sestave predstavljajo pomemben delež celotne mase trdnih delcev v zraku ter so najpogosteje uporabljeni pokazatelj za ocenjevanje kakovosti zraka (EEA, 2025c).

3.1. VPLIV ONESNAŽENOSTI ZRAKA Z DELCI PM NA ZDRAVJE LJUDI

Onesnaženost zraka predstavlja najpomembnejše okoljsko tveganje za zdravje prebivalstva v Evropi ter enega ključnih dejavnikov prezgodnje umrljivosti in obolevnosti. Po najnovejših ocenah Evropske agencije za okolje (EEA) imajo drobni delci PM_{2,5} med vsemi onesnaževali zraka najizrazitejši vpliv na zdravje ljudi.

Svetovna zdravstvena organizacija poudarja (WHO), da znanstveni dokazi jasno kažejo na posebno škodljivost dolgotrajne izpostavljenosti finim delcem PM_{2,5}. Zaradi svoje majhnosti ti delci zlahka vstopajo v dihalni sistem, kar povečuje njihov vpliv na zdravje. V svojih zadnjih poročilih WHO izpostavlja, da je ta frakcija delcev med najpomembnejšimi kazalniki onesnaženosti zraka, saj je dolgotrajna izpostavljenost povezana z največjim zdravstvenim tveganjem (EEA, 2025c).

Po ocenah EEA (2025b) je bilo leta 2022 v 27 državah članicah EU približno 239.000 prezgodnjih smrti povezanih z izpostavljenostjo delcem PM_{2,5}. V primerjavi z letom 2005 se je število prezgodnjih smrti, pripisanih drobnim delcem, do leta 2022 v EU-27 zmanjšalo za približno 45 %. Takšen trend kaže, da je Unija na dobri poti k doseganju ciljev, določenih v akcijskem načrtu za ničelno onesnaževanje.

Večji del evropskega prebivalstva živi na območjih, zlasti v urbanih središčih, kjer so ravni onesnaženosti zraka pogosto povišane. Izpostavljenost delcem PM_{2,5}, tako kratkotrajna kot dolgotrajna, je povezana s številnimi bolezenskimi stanji, vključno z možgansko kapjo, kronično obstruktivno pljučno boleznijo, rakom sapnika, bronhijev in pljuč, poslabšanjem astme ter okužbami spodnjih dihal. WHO navaja dodatne povezave med onesnaženostjo zraka in pojavom sladkorne bolezni tipa 2, debelosti, sistemskih vnetnih procesov, Alzheimerjeve bolezni ter demence. Mednarodna agencija za raziskave raka (IARC, 2016) je drobne delce PM_{2,5} razvrstila med dokazane povzročitelje raka pri ljudeh. Študije prav tako kažejo, da lahko dolgotrajna izpostavljenost onesnaženemu zraku vpliva na delovanje skoraj vseh organov v telesu ter prispeva k razvoju in poslabšanju že obstoječih zdravstvenih stanj.

Posebej ranljiva skupina so otroci in mladostniki, saj so njihovi organi, dihalni sistem ter imunski odzivi še v razvoju. Izpostavljenost onesnaženemu zraku v otroštvu lahko negativno vpliva na rast in razvoj ter poveča tveganje za pojav kroničnih bolezni v kasnejših življenjskih obdobjih. Kljub temu otroci nimajo vpliva na kakovost zraka v okolju, v katerem živijo, niti na oblikovanje okoljskih politik, zato je zaščita te skupine ključnega pomena pri ukrepih za izboljšanje kakovosti zraka.

3.2. FIZIOLOŠKI IN ZDRAVSTVENI VPLIVI DELCEV PM

Majhnost delcev PM, predvsem PM₁₀ in PM_{2,5} omogoča njun prodor globoko v človeški dihalni sistem; PM_{2,5} doseže alveole in lahko preide v sistemski krvni obtok (Brook idr., 2010).

Fiziološki mehanizmi škodljivega delovanja vključujejo:

- **Oksidativni stres:** Osnovni mehanizem delovanja delcev je sprožitev oksidativnega stresa, ki povzroči nastanek reaktivnih kisikovih zvrsti (ROS) in s tem poškodbo celic in DNA (NIJZ, 2020; U.S. EPA, 2025).
- **Vnetje:** Vdor delcev sproži lokaliziran in sistemski vnetni odziv, ki je ključen dejavnik pri pospeševanju kroničnih bolezni (NIJZ, 2020; U.S. EPA, 2025).
- **Kardiovaskularno disfunkcijo:** Sistemsko vnetje povzroča povečano viskoznost krvi, nagnjenost k trombozi in motnje endotelijske funkcije, kar pospešuje arteriosklerozo in povečuje tveganje za akutne srčno-žilne dogodke (Brook idr., 2010; NIJZ, 2020).

Kratkoročni vplivi izpostavljenosti vključujejo akutno poslabšanje astme in kronične obstruktivne pljučne bolezni (KOPB), poslabšanje bolezni srca in žilja, ter povečanje dnevne umrljivosti, zlasti pri posameznikih z že obstoječo patologijo. Dolgoročna izpostavljenost je povezana z razvojem KOPB, pljučnega raka, ishemične bolezni srca in kapi. Najnovejše raziskave, poudarjene s strani javnozdravstvenih institucij, povezujejo dolgotrajno izpostavljenost delcem PM tudi z nastankom nevroloških bolezni (npr. Parkinsonova in Alzheimerjeva bolezen) in presnovnih bolezni (npr. sladkorna bolezen tipa 2) (NIJZ, 2020 in 2025).

3.3. RANLJIVE SKUPINE IN SOCIALNO-EKONOMSKI VIDIKI

Negativnim učinkom onesnaženega zraka so najbolj podvrženi otroci in nosečnice, starejši odrasli (zaradi oslabiljenega kardiovaskularnega in respiratornega sistema), posamezniki z že obstoječimi kroničnimi boleznimi (dihalne, srčno-žilne, sladkorni bolniki) ter socialno in ekonomsko šibki posamezniki, ki so pogosto izpostavljeni višjim koncentracijam onesnaževal (EEA, 2025a; NIJZ, 2020).

3.4. ZAKONSKI IN PRIPOROČENI MEJNI PRAGOV

Analiza meritev delcev (PM) je ključna za oceno kakovosti zraka in potencialnih vplivov na zdravje prebivalstva. Rezultati meritev se primerjajo z določeni referenčnimi pragovi, ki se delijo na pravno zavezujoče in zdravstveno priporočene vrednosti.

3.4.1. SLOVENSKI IN EVROPSKI ZAKONSKI MEJNI PRAGOV (MV)

Slovenska zakonodaja, natančneje *Uredba o kakovosti zunanjega zraka* (Ur. l. RS, št. 9/2018 in dopolnitve), določa mejne vrednosti (MV), ki so pravno zavezujoče. Te vrednosti v celoti sledijo zahtevam Direktive 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta.

MV določajo najvišjo dovoljeno koncentracijo onesnaževal (PM_{10} in $PM_{2.5}$) in morajo biti dosežene v določenem časovnem okviru. Preseganje teh vrednosti sproži zakonsko obvezne ukrepe za izboljšanje kakovosti zraka.

Onesnaževalo	Obdobje vzorčenja	Mejna vrednost (MV)	Število dovoljenih preseganj na leto	Vir in status
PM_{10}	24-urna povprečna	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35	MV (Uredba RS/EU)
PM_{10}	koledarsko leto	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	MV (Uredba RS/EU)
$PM_{2.5}$	koledarsko leto	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	MV (Uredba RS/EU)

Tabela 1: Dovoljene mejne vrednosti $PM_{2.5}$ in PM_{10}

3.4.2. PRIPOROČENI ZDRAVSTVENI PRAGOVİ SVETOVNE ZDRAVSTVENE ORGANIZACIJE (WHO)

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) s svojimi *Smernicami za kakovost zraka* (AQGs), posodobljenimi leta 2021, določa priporočene mejne vrednosti. Ti pragovi temeljijo na najnovejših znanstvenih dokazih in predstavljajo raven, ki zagotavlja maksimalno zaščito zdravja ljudi.

Priporočene vrednosti WHO niso pravno zavezujoče, so pa bistveno strožje od zakonskih MV EU, saj želijo zmanjšati tveganja za zdravje tudi pri nizkih koncentracijah PM (WHO, 2021).

Onesnaževalo	Obdobje vzorčenja	Priporočena vrednost (AQG)
PM ₁₀	24-urna povprečna	45 µg/m ³
PM ₁₀	letna povprečna	15 µg/m ³
PM _{2.5}	24-urna povprečna	15 µg/m ³
PM _{2.5}	letna povprečna	5 µg/m ³

Tabela 2: Priporočene mejne vrednosti PM_{2.5} in PM₁₀ (WHO)

Pri interpretaciji rezultatov meritev je treba upoštevati, da so zakonske MV merilo za pravno skladnost, medtem ko so priporočene vrednosti WHO merilo za oceno tveganja za zdravje in smernica za dolgoročno izboljšanje kakovosti zraka.

4. O PROJEKTU »VEŠ, KAJ DIHAŠ?«

4.1. NAMEN IN CILJI PROJEKTA

Projekt *Veš, kaj dihaš?* je usmerjen v spremljanje kakovosti zraka ter ozaveščanje o povezavi med kakovostjo zraka in zdravjem prebivalcev. Osrednji namen projekta je izboljšati razumevanje lokalne kakovosti zraka, povečati dostopnost podatkov širši javnosti ter spodbuditi razpravo o vplivih onesnaženosti na vsakdanje življenje.

Ključni cilji projekta so:

- ozaveščanje prebivalcev o kakovosti zraka v njihovem okolju,
- vključevanje javnosti pri izbiri lokacij in spremljanju meritev,
- pridobivanje meritev na območjih, ki so za lokalne skupnosti relevantna,
- priprava predlogov ukrepov za izboljšanje stanja na podlagi zbranih podatkov.

Poudarek projekta je na povezovanju okolja in zdravja, saj je kakovost zraka eden najpomembnejših dejavnikov pri zmanjševanju zdravstvenih tveganj, zlasti pri občutljivih skupinah. Projekt zato združuje strokovne meritve, sodelovanje lokalnih skupnosti ter informativno-ozaveščevalne aktivnosti.

V projektu smo se osredotočili na manjša urbana območja, saj ta pogosto niso vključena v obsežnejše analize, ki se praviloma osredotočajo na večja mesta. Zaradi posebnosti Ljubljanske kotline in vpliva prometnih vpadnic smo se odločili izvesti meritve kakovosti zraka v Domžalah, na Vrhniki in na Škofljici.

Časovni okvir meritev je bil usklajen s potekom projektne aktivnosti. Pred pričetkom meritev smo izvedli izbor merilne opreme, komunikacijsko kampanjo ter analizo in usklajevanje lokacij, kar je predstavljalo ključne predpriprave. Meritve smo začeli izvajati marca 2025, ko so bile naprave nameščene in so bile vse lokacije potrjene.

Za zagotavljanje enotnega in primerljivega obravnavanega obdobja smo v analizo vključili čas, ko so bile vse naprave delujoče. Analizirano obdobje meritev tako zajema čas od 18. 4. 2025 do 31. 10. 2025.

4.2. METODA LJUBITELJSKE ZNANOSTI (ANG. CITIZEN SCIENCE)

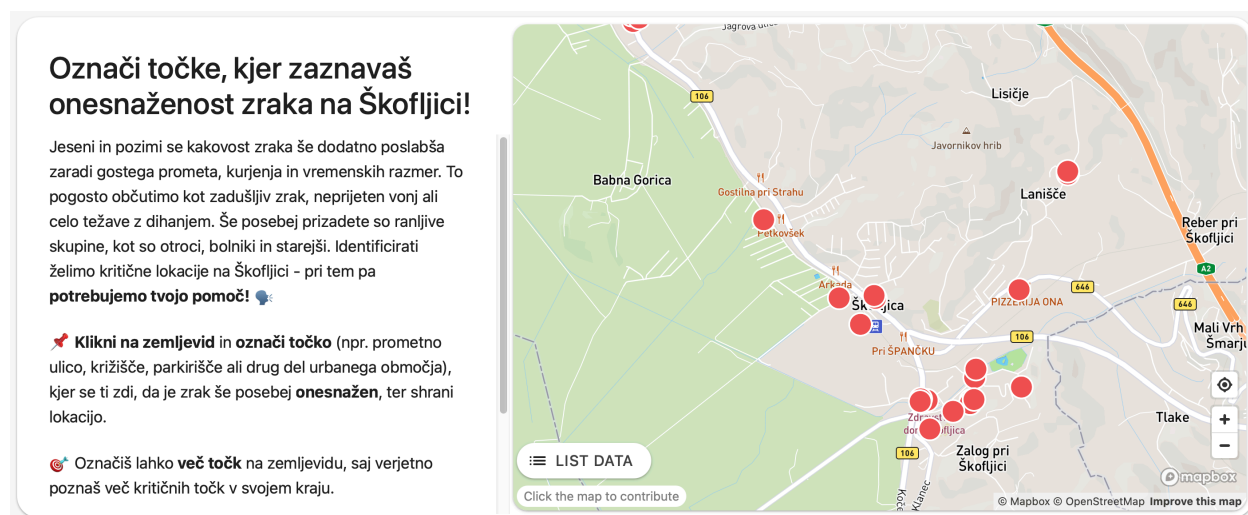
Projekt temelji na metodi ljubiteljske znanosti (ang. *citizen science*), saj smo v aktivnosti meritev vključili prebivalce Škofljice, Vrhnike in Domžal.

Prebivalci mest so sodelovali že v zgodnjih fazah projektnega procesa, zato so lahko izpostavili razmere in potrebe svojega lokalnega okolja ter tako prispevali k usmerjanju meritev na območja, ki so zanje najbolj pomembna (več v poglavju *Kampanja*). Na vsaki merilni lokaciji smo vključili prostovoljca, s katerim smo bili v rednem stiku glede poteka meritev in morebitnih prekinitiv.

Metoda ljubiteljske znanosti je tako prispevala k temu, da so pri projektu lahko sodelovali tudi prebivalci, ki so pomagali pri zbiranju podatkov in spremljanju meritev na posameznih lokacijah.

4.2.1. KAMPANJA

Povišane koncentracije onesnaževal so pogosto izrazito lokalno pogojene, zato smo v proces izbire lokacij za izvedbo meritev kakovosti zraka vključili tudi prebivalce območij z načrtovanimi meritvami (Domžale, Škofljica, Vrhnika). Za zagotovitev aktivnega vključevanja smo izvedli kampanjo, ki je potekala v več zaporednih fazah in bila zasnovana z namenom pridobiti čim bolj reprezentativen nabor predlaganih merilnih mest.



Slika 1: Prikaz kolektivnega kartiranja v aplikaciji Canvis.app

Na družbenih omrežjih smo izvedli ciljno usmerjeno komunikacijsko kampanjo, namenjeno dosegu prebivalcev izbranih krajev in spodbujanju njihovega sodelovanja pri določanju potencialnih merilnih lokacij. Z objavami smo jih povabili k podaji opažanj o kakovosti zraka v njihovi neposredni okolici ter k izpostavitvi mest, kjer po njihovem mnenju prihaja do slabše kakovosti zraka. Takšen pristop je zagotovil širšo prostorsko zajetost zbranih informacij ter omogočil boljši vpogled v lokalne razmere.

Prebivalci so svoje predloge oddali prek spletnega zemljevida, na katerem so lahko označili lokacijo in utemeljili razloge za njeno izbiro. Za zbiranje prostorskih predlogov smo uporabili metodo kolektivnega kartiranja, pri čemer je bila kot orodje za oddajo predlogov uporabljena platforma Canvis.app. Na zemljevid so uporabniki vnašali točke, ki so jih prepoznali kot pomembne za spremljanje onesnaženosti zraka.

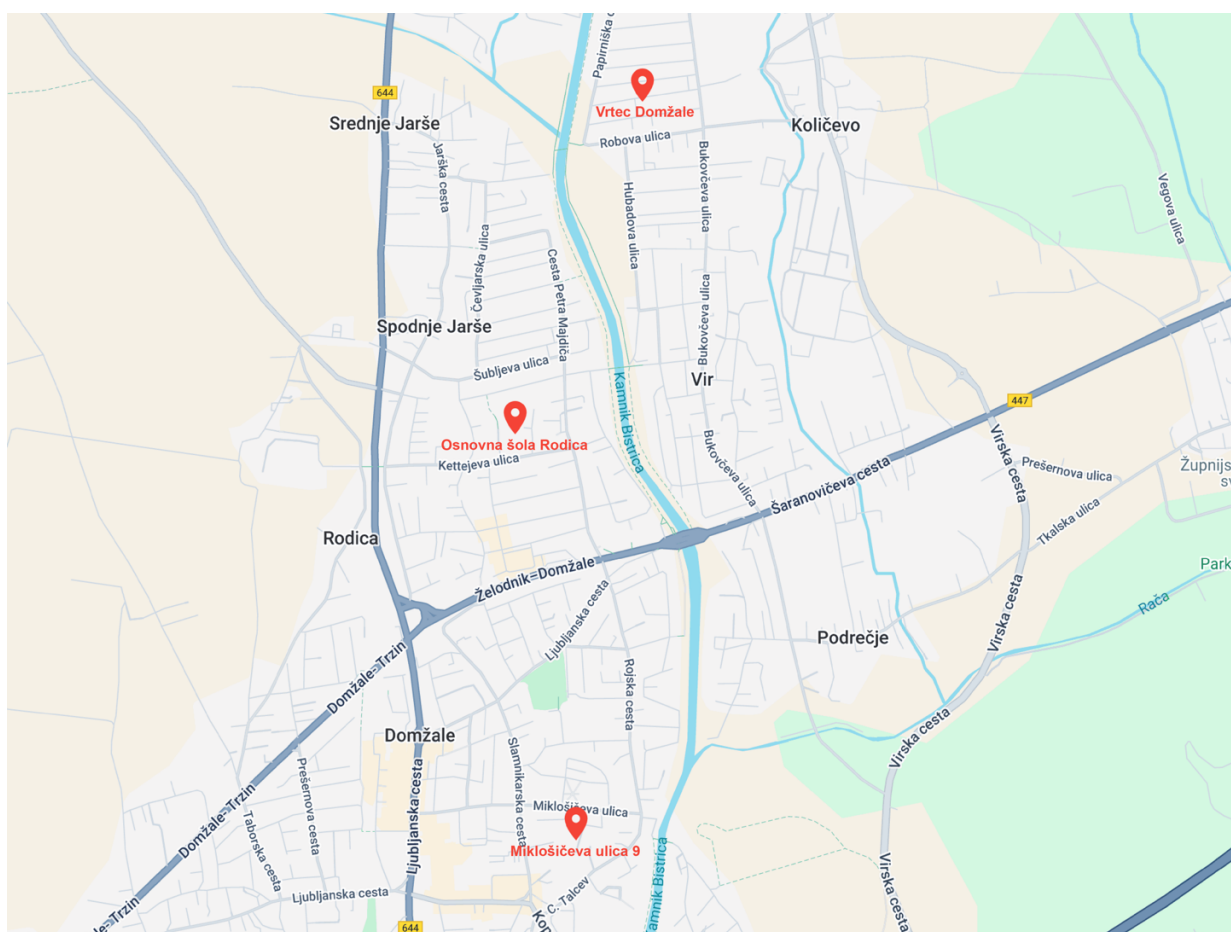
5. LOKACIJE MERITEV

Lokacije meritev so bile izbrane na podlagi kampanje ljubiteljske znanosti z metodo kolektivnega kartiranja, v okviru katere so prebivalci predlagali merilna mesta. Pri izbiri končnega nabora so bili upoštevani naslednji kriteriji:

- predlogi prebivalcev v postopku kolektivnega kartiranja (Canvis.app),
- vključevanje območij, na katerih se zadržujejo ranljive skupine (otroci, starejši, nosečnice, pacienti),
- prisotnost virov onesnaženja v okolici (promet, ogrevanje, obremenjene točke),
- možnost dostopa in varne namestitve merilnikov.

Poleg meritev v treh krajih je bila izvedena tudi primerjalna meritev na referenčni postaji ARSO v Ljubljani, kar je omogočalo preverjanje skladnosti in kakovosti meritev. Izbrane merilne lokacije so v nadaljevanju predstavljene po posameznih krajih.

DOMŽALE

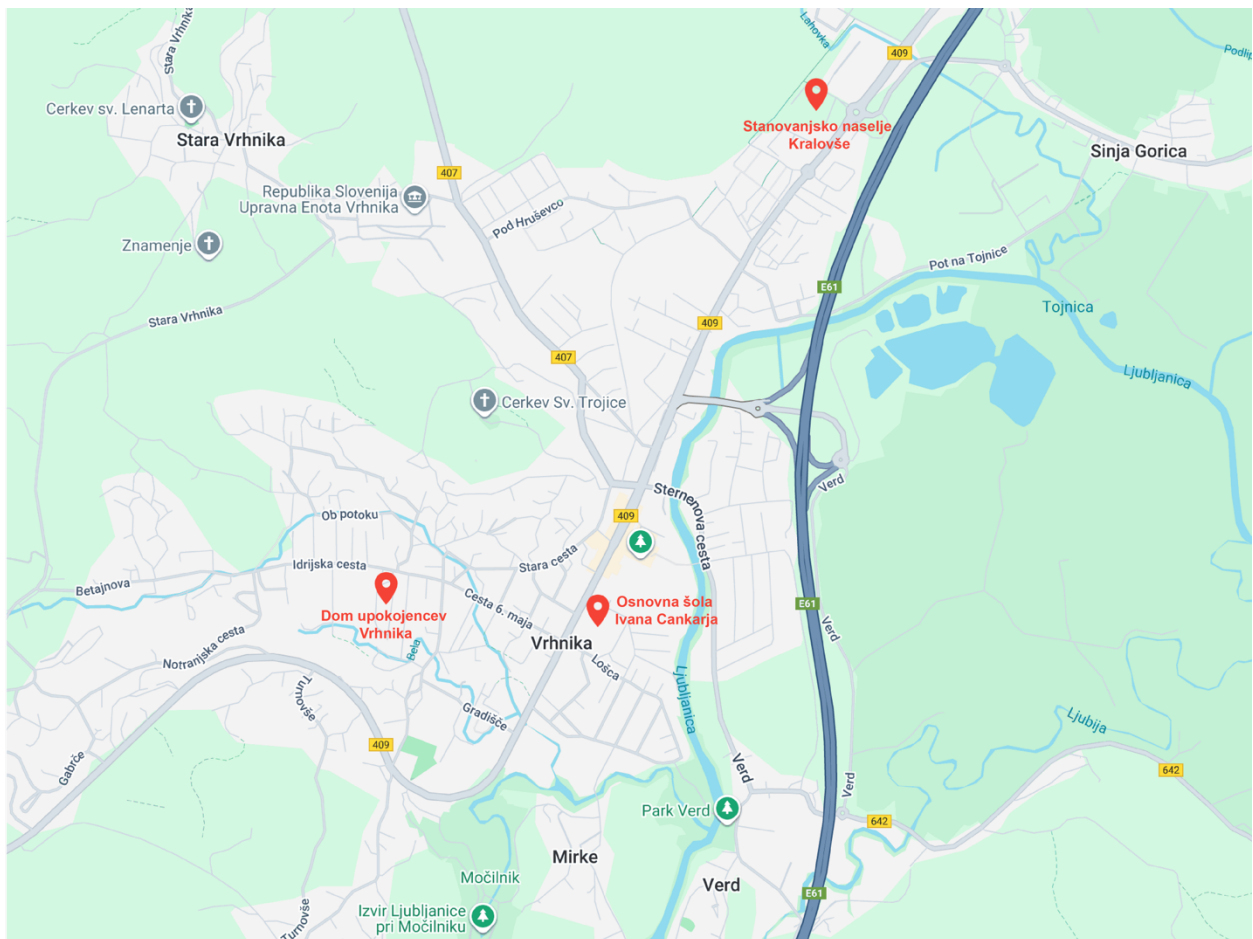


Slika 2: Prikaz merilnih mest v Domžalah

Lokacija	Naslov	Tip lokacije	Ranljive skupine
OŠ Rodica	Kettejeva ulica 13, 1230 Domžale	Osnovna šola	Otroci, šolsko osebje
Vrtec Domžale – enota Cigidom	Šubičeva ulica 12, 1230 Domžale	Vrtec	Predšolski otroci, vzgojitelji
Stanovanjsko naselje pri stadionu	Miklošičeva ulica, 1230 Domžale	Stanovanjsko območje	Družine, otroci

Tabela 3: Merilna mesta v Domžalah

VRHNIKA

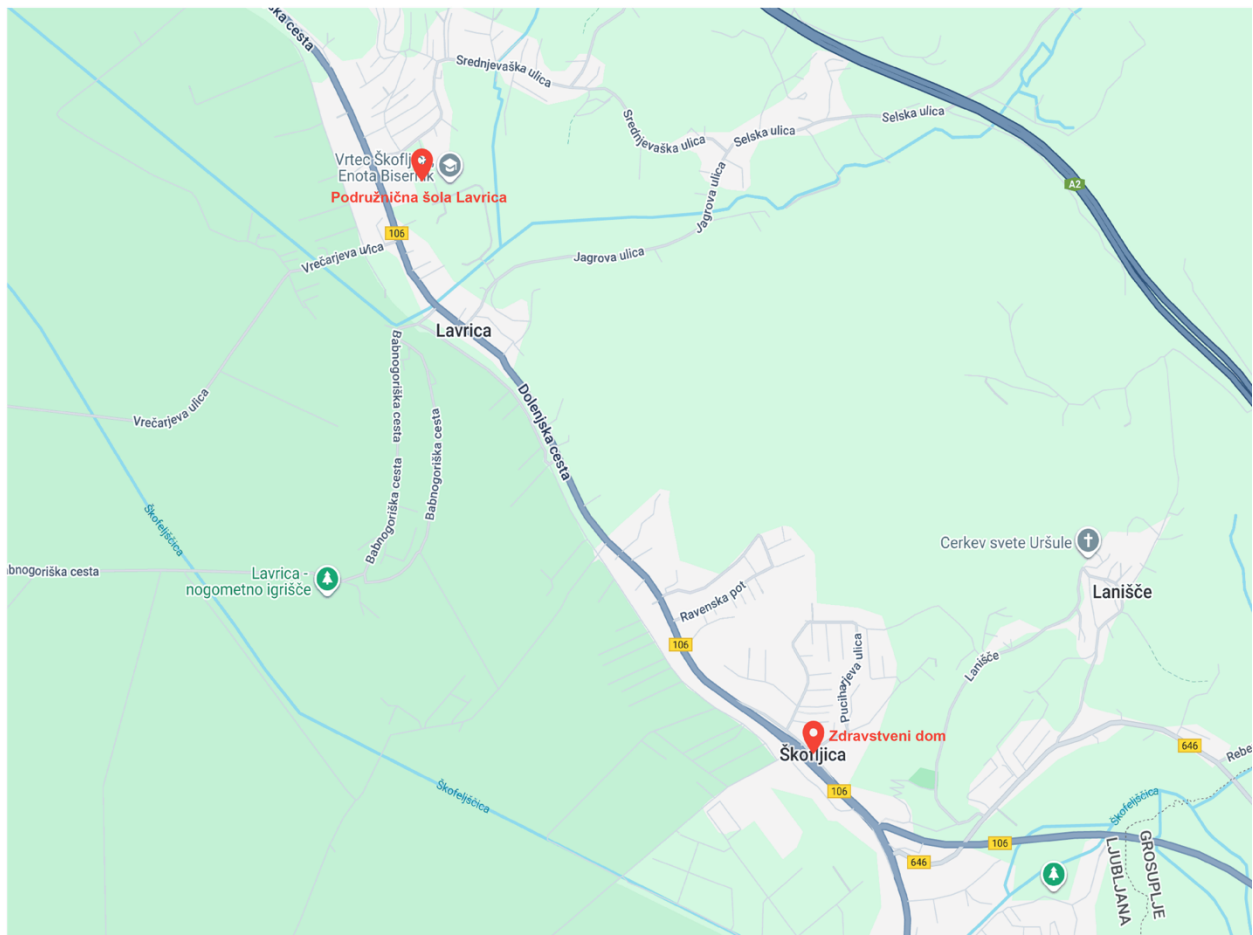


Slika 3: Prikaz merilnih mest na Vrhniki

Lokacija	Naslov	Tip lokacije	Ranljive skupine
Oš Ivana Cankarja Vrhnika	Lošca 1, 1360 Vrhnika	Osnovna šola	Otroci, šolsko osebje
Dom upokojencev Vrhnika	Idrijska cesta 13, 1360 Vrhnika	Dom za starejše	Starejši, kronični bolniki
Stanovanjsko naselje Kralovše	—	Stanovanjsko območje	Družine, stanovalci izpostavljeni prometu

Tabela 4: Merilna mesta na Vrhniki

ŠKOFLJICA



Slika 4: Prikaz merilnih mest na Škofljici

Lokacija	Naslov	Tip lokacije	Ranljive skupine
Zdravstveni dom Škofljica	Škofljica 25	Zdravstvena ustanova	Pacienti, nosečnice, zdravstveno osebje
Podružnična šola Lavrica	Kamnikarjeva ulica 6, Lavrica	Osnovna šola	Otroci, šolsko osebje

Tabela 5: Merilna mesta na Škofljici

PRIMERJALNA MERITEV

Lokacija	Naslov	Tip lokacije	Namen
ARSO merilna postaja	Vojkova cesta 1b, Ljubljana	Referenčna merilna postaja	Primerjava meritev z ARSO standardi

Tabela 6: Referenčna merilna postaja

Izbor merilnih mest zajema kombinacijo šol, vrtca, zdravstvene ustanove, stanovanjskih območij in primerjalne referenčne postaje. Takšen izbor omogoča zanesljiv in reprezentativen vpogled v kakovost zraka na območjih, na katerih se zadržujejo ranljive skupine prebivalcev, ter zagotavlja ustrezno osnovo za nadaljnjo tehnično analizo meritev.

6. METODOLOGIJA MERITEV

6.1. MERILNE NAPRAVE IN PARAMETRI

Za izvajanje meritev so bili uporabljeni senzorji IQAir Visual, ki omogočajo stalno spremljanje kakovosti zraka v realnem času. Naprave so zasnovane kot dostopni merilniki, ki so preprosti za uporabo, delujejo zanesljivo ter se samodejno povezujejo z globalno platformo IQAir. Platforma omogoča javno prikazovanje rezultatov na interaktivnem zemljevidu in s tem povečuje preglednost ter dostopnost podatkov za prebivalce.

Naprava lahko spremlja do osem okoljskih parametrov, med drugim:

- indeks kakovosti zraka (AQI),
- delce PM₁ (dim, zelo drobni delci),
- delce PM_{2.5},
- delce PM₁₀,
- temperaturo,
- relativno vlažnost,
- zračni tlak.

V okviru našega projekta se osredotočamo na meritve PM_{2.5} in PM₁₀, ki sta najpogosteje uporabljena indikatorja za ocenjevanje onesnaženosti zraka.

Za analizo so bile uporabljene dnevne povprečne vrednosti, izračunane iz kratkotrajnih meritev. Dnevna agregacija zmanjšuje vpliv kratkotrajnih nihanj, ki so posledica trenutnih virov ali lokalnih vremenskih razmer, ter omogoča bolj zanesljivo primerjavo med lokacijami in časovnimi obdobji.

6.2. ČASOVNI OKVIR MERITEV

Časovni okvir izvedbe meritev je bil usklajen s potekom projektnih aktivnosti. Pred začetkom meritev smo izvedli izbor merilne opreme, komunikacijsko kampanjo ter analizo in usklajevanje lokacij, kar je predstavljalo ključne predpriprave. Meritve smo lahko začeli izvajati marca 2025, ko so bile naprave zagotovljene, nameščene in so bile vse predvidene lokacije potrjene.

Meritve so potekale v obdobju od 1. marca do 31. oktobra 2025. Zaradi logističnih izzivov, dostopnosti lokacij in krajevnih posebnosti se je dejanski začetek meritev po posameznih lokacijah nekoliko razlikoval. Del naprav je potreboval dodatni čas za pravilno umerjanje, na nekaterih lokacijah pa je bilo treba zagotoviti tudi dodatno internetno povezavo za prenos podatkov na platformo. Takšne razlike so pri terenskih raziskavah običajne in se pri interpretaciji rezultatov upoštevajo z označevanjem obdobji, ko je bila posamezna naprava aktivna.

Za zagotovitev enotnega in primerljivega obravnavanega obdobja smo v analizo vključili le čas, ko so bile vse naprave stabilno delujoče in so bili na vseh merilnih mestih zagotovljeni popolni prenosi podatkov. Tako analizirano obdobje meritev zajema čas od 18. 4. 2025 do 31. 10. 2025.

6.3. VREMENSKI IN DRUGI ZUNANJI VPLIVI

Koncentracije delcev PM so močno pogojene z vremenskimi in lokalnimi okoljskimi dejavniki. Najpomembnejši vplivi vključujejo:

- **veter:** razredčuje zrak ali prinaša delce iz drugih območij,
- **padavine:** z izpiranjem zmanjšujejo koncentracije delcev v zraku,
- **temperature:** vplivajo na kurilne navade ter nastanek sekundarnih delcev,
- **temperaturne inverzije:** zadržujejo onesnažen zrak pri tleh in povzročajo povišane vrednosti PM.

V analizi smo uporabili vremenske podatke meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad (ARSO).

6.4. ZANESLJIVOST IN CELOVITOST PODATKOV

Med izvajanjem meritev smo zaznali več časovnih obdobj, v katerih posamezne merilne naprave niso imele dostopa do internetne povezave ali so bile kratkotrajno izključene zaradi tehničnih oziroma logističnih okoliščin (npr. prekinitve napajanja, motnje na lokaciji ali začasna neaktivnost naprave). Identificirane motnje smo v več primerih odpravili z izvedbo ciljnih terenskih intervencij, s katerimi smo zagotovili nadaljnje nemoteno delovanje merilnih naprav.

Kljub začasnim prekinitvam internetne povezave dostopnost podatkov za ta časovna obdobja ni bila okrnjena. Naprave *IQAir Visual Outdoor* so opremljene z notranjim pomnilnikom, ki omogoča lokalno shranjevanje meritev v obdobjih brez vzpostavljenе internetne povezave. Po ponovni aktivaciji omrežne povezave naprave samodejno sinhronizirajo in prenesejo vse lokalno shranjene podatke na platformo. Na ta način začasni izpadi povezljivosti niso vplivali na celovitost ali kontinuiteto podatkovnega niza.

6.5. PRIMERJALNE MERITVE Z ARSO (LJUBLJANA – VOJKOVA)

Za zagotavljanje kakovosti podatkov so bile v okviru projekta izvedene kontinuirane primerjalne meritve na referenčni merilni postaji ARSO na Vojkovi cesti v Ljubljani. Ker projekt uporablja javno dostopne nizkocenovne senzorje, je bilo ključno redno preverjati njihova odstopanja, stabilnost in zanesljivost beleženja podatkov v primerjavi z državnim referenčnim merilnim sistemom.

Merilnik je bil skozi celoten projekt občasno oziroma v daljših neprekinjenih intervalih nameščen neposredno na ARSO kontejnerju, kar je zagotovilo, da sta bila oba sistema izpostavljena enakim meteorološkim in emisijskim pogojem. Primerjava časovnih serij meritev omogoča oceno odstopanj, linearnosti in odzivnosti senzorjev v različnih koncentracijskih območjih ter daje vpogled v njihovo stabilnost skozi celotno trajanje projekta.

Rezultati kontinuiranih primerjalnih meritev predstavljajo temelj za interpretacijo meritev na terenu, saj omogočajo razumevanje kakovosti podatkov, opredelitev negotovosti ter okvirno primerljivost rezultatov z uradnimi referenčnimi metodami.

Primerjava rezultatov je pokazala, da ARSO vrednosti PM_{2.5} pri nizkih koncentracijah zaznava nekoliko višje, pri višjih pa nekoliko nižje vrednosti od naših meritev. Relativne in simetrične relativne napake so okoli 20 %. Pri PM₁₀ so bile zaznane nekoliko večje relativne in simetrične relativne napake (20–23 %).

7. REZULTATI MERITEV – ŠKOFLJICA

V okviru projekta smo se odločili analizirati rezultate meritev kakovosti zraka za izbrano časovno obdobje, s poudarkom na pregledu povprečnih dnevni koncentracij, identifikaciji pojavov povišanih vrednosti ter preverjanju njihove skladnosti s priporočenimi mejnimi vrednostmi Svetovne zdravstvene organizacije (WHO). Poseben del analize je bil namenjen oceni vpliva Evropskega tedna mobilnosti na zaznane koncentracije onesnaževal, saj nas je zanimalo, ali se v tem obdobju odražajo zaznavne spremembe oziroma učinki na kakovost zraka.

V okviru projekta *Veš, kaj dihaš?* smo med aprilom in oktobrom 2025 izvajali dnevne meritve koncentracij delcev PM_{2.5} in PM₁₀ na dveh lokacijah v občini Škofljica: pri zdravstvenem domu (ZD Škofljica) ter pri OŠ (Podružnična šola Lavrica).

Analizirano obdobje zajema čas od 18. aprila do 31. oktobra 2025. Namen tega poročila je celovito predstaviti rezultate meritev kakovosti zraka v izbranem obdobju, z vključitvijo pregleda povprečnih dnevni koncentracij, pojavov povišanih vrednosti, njihove skladnosti z mejnimi priporočili Svetovne zdravstvene organizacije (WHO, 2021) ter ocene vpliva Evropskega tedna mobilnosti na zaznane koncentracije.

7.1. REZULTATI PM_{2.5}

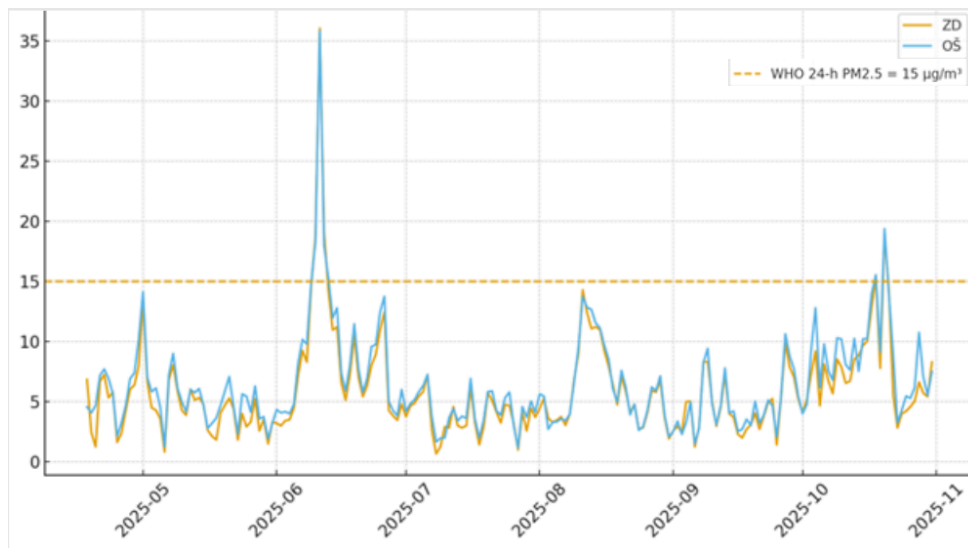
7.1.1. DNEVNE KONCENTRACIJE PM_{2.5}

Graf 1 prikazuje dnevne koncentracije PM_{2.5}, izmerjene na dveh lokacijah na Škofljici (ZD Škofljica in OŠ – Podružnična šola Lavrica) med aprilom in oktobrom 2025. V tem času so bile ravni delcev večinoma nizke do zmerne, kar je značilno za toplejše mesece, ko ogrevanje ne prispeva k onesnaženju, meteorološke razmere pa omogočajo dobro razpršitev emisij. Večina dni je ostala pod priporočeno mejo Svetovne zdravstvene organizacije (15 µg/m³), kar potrjuje ugodno kakovost zraka v tem delu leta. Kljub temu graf prikazuje tudi nekaj kratkotrajnih epizod s povišanimi koncentracijami, ki lahko vplivajo predvsem na bolj občutljive skupine prebivalcev.

Primerjava obeh merilnih mest kaže, da sta obe lokaciji večino časa zelo usklajeni, kar potrjuje doslednost meritev in podobno izpostavljenost skupnim virom onesnaženja. Opazimo lahko, da OŠ sicer dosega v povprečju višje vrednosti.

Najvišja izmerjena koncentracija je bila zabeležena dne 11. 6. 2025 na lokaciji ZD in je znašala 36,06 µg/m³. Od septembra naprej se je začelo postopno naraščanje koncentracij, oktobra pa so koncentracije na merilnem mestu OŠ več dni zapored presegale mejo WHO in dosegle vrednosti do 18–19 µg/m³. To je značilno za začetek kurilne sezone, ko se emisije iz individualnih kurišč povečajo, hkrati pa stabilnejše ozračje in pogosta temperaturna inverzija zmanjšata razredčenje onesnaževal.

V celotnem obdobju je meja WHO presežena večkrat, vendar večinoma kratkotrajno. Izstopali sta epizodi v juniju in oktobru. Čeprav so presežki omejeni na krajša obdobja, lahko pomembno vplivajo na občutljive skupine, kot so otroci, starejši in kronični bolniki. Kljub temu splošna slika kaže, da je bila kakovost zraka na Škofljici od aprila do novembra stabilna in razmeroma ugodna, a še vedno dovolj spremenljiva, da upravičuje stalno spremljanje in odzivanje na epizode povišanih koncentracij.



Graf 1: Dnevne koncentracije PM_{2.5} na Škofljici, 18. april–31. oktober 2025

7.1.2. SEMAFOR PM_{2.5}

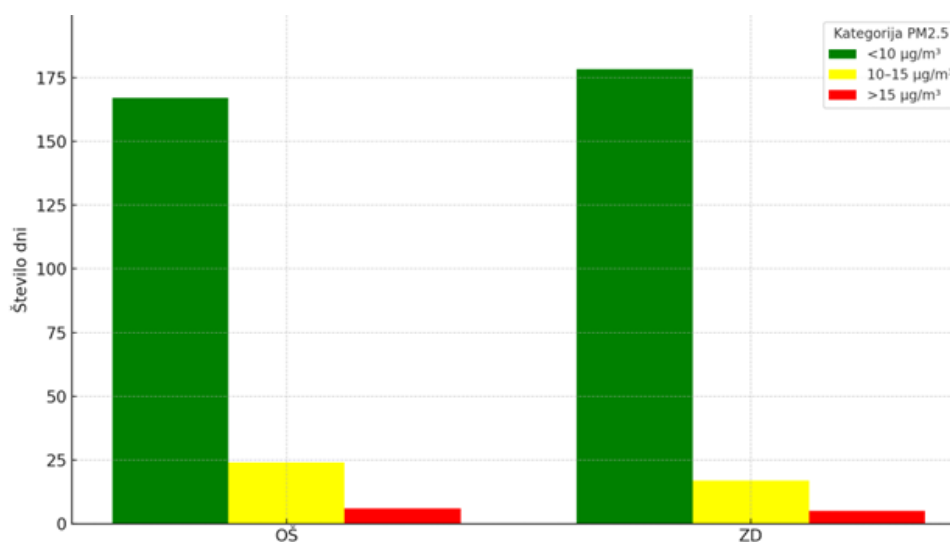
Na spodnjem grafičnem prikazu so predstavljene tri kategorije koncentracij PM_{2.5}, in sicer: <10 µg/m³ (dobra kakovost zraka), 10–15 µg/m³ (zmerna kakovost zraka) ter >15 µg/m³ (preseganje priporočene meje WHO). Semafor omogoča hitro orientacijo v pogostosti dni z različnimi stopnjami onesnaženosti, rezultati pa prikazujejo razlike med merilnima mestoma ZD in OŠ.

Iz grafa 2 je razvidno, da je bilo največ dni v zeleni kategoriji (<10 µg/m³), pri čemer je lokacija ZD zabeležila več takšnih dni (176) kot OŠ (167). Lokacija ZD je imela tudi manj dni v rumeni (10–15 µg/m³) in rdeči (>15 µg/m³) kategoriji, kar pomeni, da je ta lokacija v povprečju dosegala boljšo kakovost zraka kot območje šole.

Preseganja nad priporočeno mejo WHO (>15 µg/m³) so bila zabeležena skupno enajst dni: šest dni na lokaciji OŠ in pet dni na lokaciji ZD. Čeprav so presežki redki, so pomembni z vidika izpostavljenosti občutljivih skupin in potrjujejo, da se epizode povišanih koncentracij na obeh lokacijah občasno pojavljajo.

Lokacija	10–15 µg/m ³	<10 µg/m ³	>15 µg/m ³	Skupaj dni
OŠ	24	167	6	197
ZD	16	176	5	197

Tabela 7: Pregled števila dni po posameznih kategorijah koncentracij PM_{2.5} na Škofljici



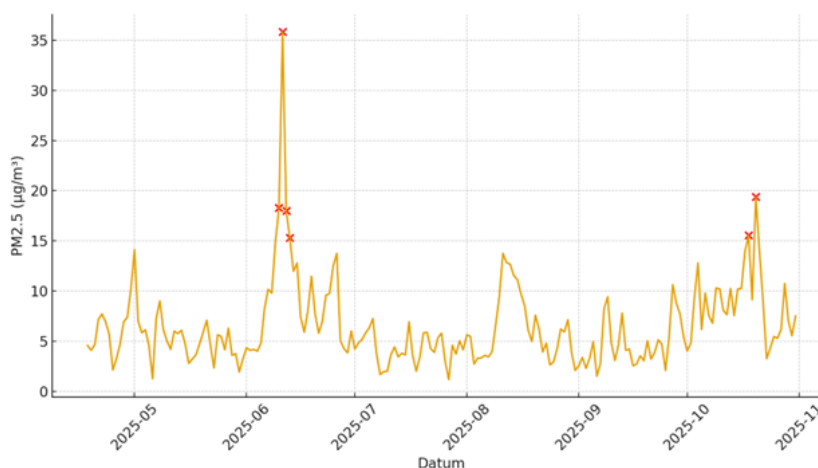
Graf 2: Semafor PM_{2.5} – število dni po kategorijah mejnih vrednosti, Škofljica, 18. april–31. oktober 2025¹

7.1.3. PRESEGANJA MEJNIH VREDNOSTI WHO (PM_{2.5} >15 µG/M³)

WHO (2021) priporoča, da 24-urna povprečja PM_{2.5} ne presegajo 15 µg/m³. Na lokaciji OŠ je bilo takih dni 6, medtem ko je bilo na lokaciji ZD zabeleženih 5 preseganj.

OŠ in ZD kažeta zelo podobne sezonske vzorce koncentracij PM_{2.5}, saj so se večino časa koncentracije PM_{2.5} gibale med 3 in 10 µg/m³, kar uvrščamo v nizke do zmerne vrednosti. Kljub temu so se v določenih obdobjih pojavila izrazita preseganja priporočene mejne vrednosti WHO (15 µg/m³), ki so na grafu 2 označena z rdečo barvo.

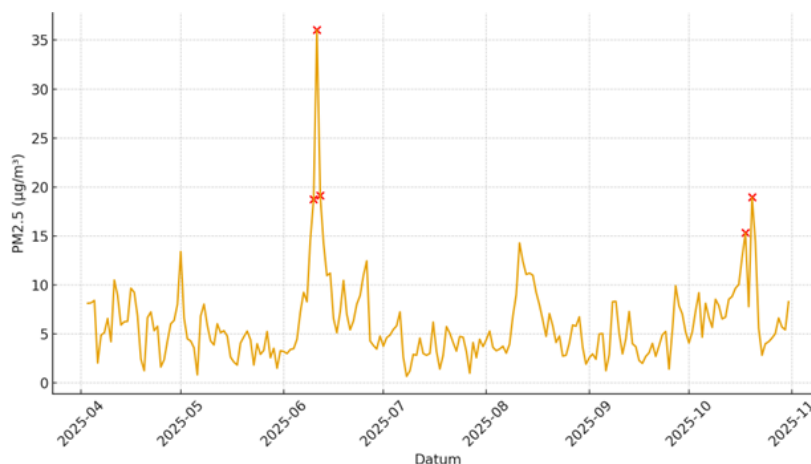
Na lokaciji OŠ je zaznanih šest preseganj priporočene meje WHO. Najizrazitejša epizoda se je pojavila v prvi polovici junija, ko je koncentracija PM_{2.5} dosegla približno 35,83 µg/m³, kar je več kot dvakrat nad priporočeno vrednostjo WHO. V istem časovnem obdobju so se pojavili še dodatni presežki med 15 in 18 µg/m³, kar nakazuje več zaporednih dni s povišanimi vrednostmi. Drugo obdobje zabeleženih preseganj je bilo v sredini oktobra, ko so se vrednosti ponovno povzpele nad 15 µg/m³.



Graf 3: Pregled epizod z najvišjimi koncentracijami PM_{2.5} (>15 µg/m³), lokacija OŠ

¹ Opomba: Barvne oznake so simbolične in ne odražajo smernic WHO, razen meje 15 µg/m³, ki predstavlja priporočeno dnevno mejno vrednost WHO za PM_{2.5}.

Na lokaciji ZD je bilo zabeleženih pet presežkov, kar je en manj kot na lokaciji OŠ, pri čemer se časovna pojavnost epizod med obema lokacijama skoraj povsem ujema. Najvišja zabeležena vrednost je tudi tukaj dosegla približno 36,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in sicer na isti dan kot na OŠ (11. 6. 2025). Ob tej glavni epizodi so se pojavili še dodatni presežki, kar kaže na več zaporednih dni povišanih koncentracij in s tem na daljše obdobje onesnaženosti. Drugi izrazitejši vrh se je pojavil v sredini oktobra, ko so vrednosti ponovno presegle 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ujemanje obeh časovnih obdobj potrdjuje, da so presežki verjetno posledica regionalnih vplivov, saj sta potek in dinamika koncentracij na obeh lokacijah skoraj identična.



Graf 4: Pregled epizod z najvišjimi koncentracijami PM_{2.5} (>15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), lokacija ZD

VREMENSKE ZNAČILNOSTI DNI S PRESEGANJI (PM_{2.5} >15 $\mu\text{G}/\text{M}^3$)

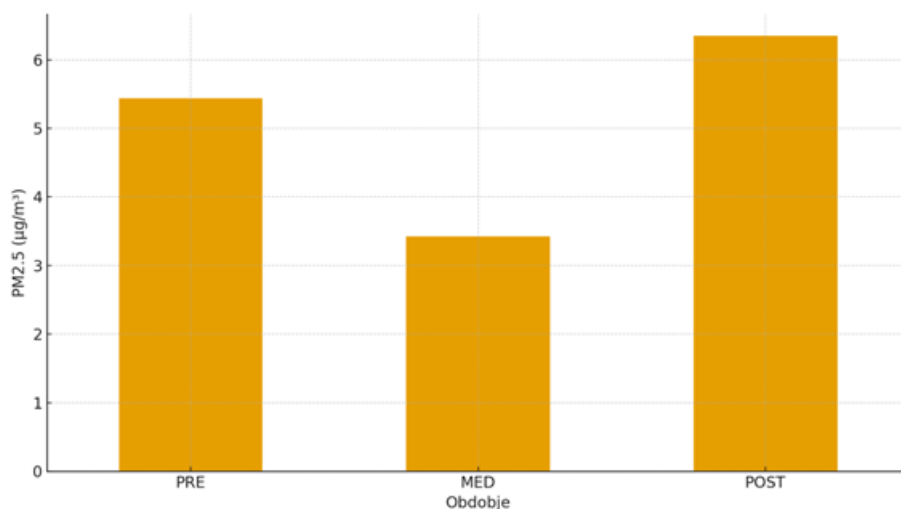
Kot omenjeno, je med 10. 6. 2025 in 14. 6. prevladovalo suho, toplo in stabilno vreme, s postopnim dvigovanjem temperatur (od 20,6 °C do 24,5 °C), s slabo prevetrenostjo in brez padavin. V času oktobrskega viška onesnaženosti je prevladovalo hladno, suho in mirno vreme, s temperaturami večinoma med 9 in 12 °C. Nižja jesenska temperatura, odsotnost vetra in minimalne padavine so ustvarile stabilno zračno plast, ki je omejevala mešanje zraka. To so tipične razmere za jesenske epizode povišanih vrednosti PM_{2.5}, saj se delci zaradi hladnejšega, stabilnega zraka zadržujejo bližje tlam. V tem času so bile na vseh lokacijah zaznane tudi najvišje jesenske vrednosti PM_{2.5}. Oktobra je tudi začetek kurilne sezone, kar predstavlja dodaten vir onesnaženosti v ozračju.

7.1.4. UČINEK EVROPSKEGA TEDNA MOBILNOSTI NA RAVNI PM_{2.5}

Da bi ocenili vpliv aktivnosti v Evropskem tednu mobilnosti (ETM) na kakovost zraka, smo analizirali tri časovne faze:

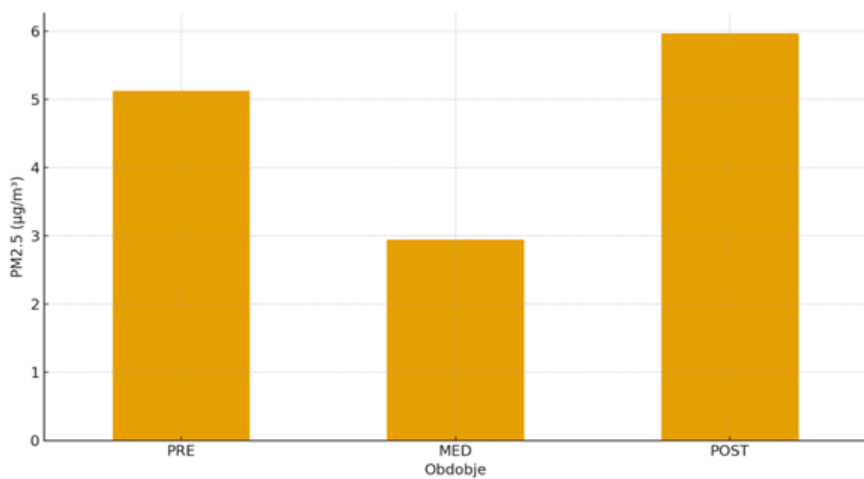
- Pred ETM (PRE): 9.–15. september 2025
- Med ETM (MED): 16.–22. september 2025
- Po ETM (POST): 23.–29. september 2025

Na lokaciji OŠ so ravni PM_{2.5} pred ETM znašale približno 5,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Med tednom mobilnosti je koncentracija opazno padla na približno 3,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kar predstavlja zmanjšanje za približno tretjino glede na izhodiščno obdobje. Tak trend nakazuje, da so se v času izvajanja aktivnosti ETM razmere za kakovost zraka izboljšale. Po zaključku ETM se je povprečna koncentracija ponovno zvišala in dosegla približno 6,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je nekoliko več kot pred začetkom ETM. Rezultati zato kažejo izrazit vpliv v smeri začasnega izboljšanja kakovosti zraka med samim tednom mobilnosti.



Graf 5: Vrednosti PM_{2.5} pred, med in po tednu mobilnosti, lokacija OŠ

Tudi na lokaciji ZD je opaziti zelo podoben vzorec. Povprečna vrednost pred ETM je znašala približno 5,1 µg/m³, med ETM pa se je znižala na približno 2,9 µg/m³. Tako kot na OŠ so bile najnižje vrednosti izmerjene prav v času izvajanja ETM. Po zaključku tedna mobilnosti so se ravni PM_{2.5} ponovno povišale na približno 6,0 µg/m³, kar je več od izhodiščnega stanja. Skladnost obeh lokacij potrjuje, da je zaznano znižanje koncentracij PM_{2.5} najverjetneje posledica kombinacije zmanjšane prometa in relativno ugodnejših meteoroloških razmer v tem obdobju (npr. brez inverzije).



Graf 6: Vrednosti PM_{2.5} pred, med in po tednu mobilnosti, lokacija ZD

Med 9. in 15. 9. 2025 je prevladovalo suho in nekoliko manj prevetreno vreme (med 0,9 in 1,6 m/s), s temperaturami med 17,6 in 20,8 °C. To bi lahko povzročilo rahlo povišane koncentracije delcev, saj ni bilo padavin ali močnejšega vetra, ki bi zrak nekoliko prečistile. V obdobju 16.–22. 9. 2025, ko je potekal ETM, so se temperature nekoliko znižale, pojavili so se šibkejši vetrovi (med 0,9 in 1,6 m/s) ter občasne padavine. Zrak se je bolj premešal, kar je povzročilo najnižje vrednosti PM_{2.5} in PM₁₀ v celotnem mesecu. Po 23. septembru se je vreme začelo ohlajati (temperature okoli 13–15 °C), prevetrenost je bila šibka (1,1–1,6 m/s), padavin pa je bilo malo. Vendar pa se je po zaključku ETM (faza POST) na vseh treh lokacijah povprečna koncentracija PM_{2.5} ponovno povečala in preseгла ravni iz faze PRE.

7.2. REZULTATI PM₁₀

7.2.1. DNEVNE KONCENTRACIJE PM₁₀

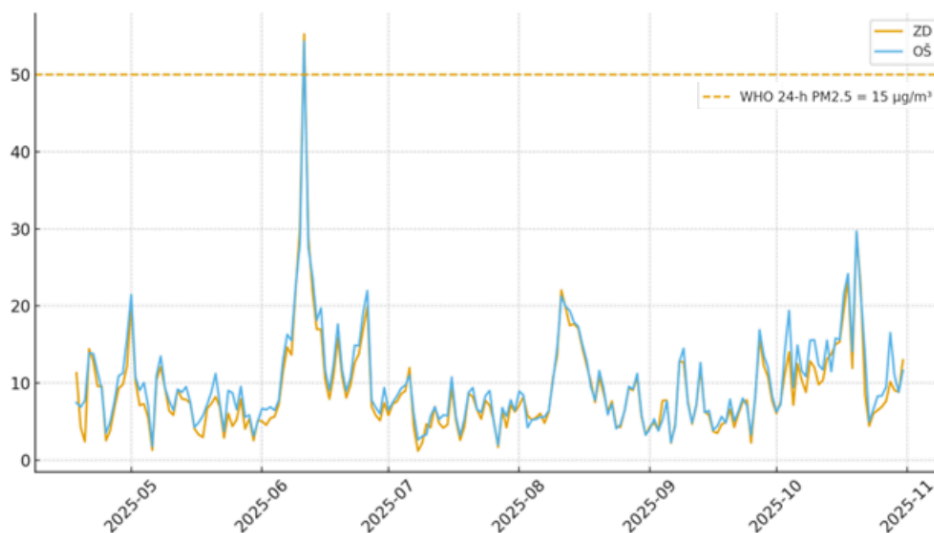
Graf 7 prikazuje dnevne koncentracije PM₁₀ na dveh merilnih lokacijah na Škofljici (OŠ in ZD) v obdobju april–oktober 2025. Vrednosti na obeh lokacijah večino časa potekajo zelo podobno, kar kaže na prevladujoč vpliv regionalnih razmer ter manjše medlokacijske razlike. Črtna črta na 45 µg/m³ predstavlja referenčno mejno vrednost za oceno izrazitejših epizod povišanih koncentracij delcev.

Večino opazovanega obdobja so bile koncentracije PM₁₀ nizke do zmerne, kar je značilno za tople mesece, ko so emisije iz ogrevanja zanemarljive, razpršitvene razmere pa praviloma ugodne. Kljub temu se v podatkih jasno pojavljata obdobji z izrazito višjimi vrednostmi: v začetku junija in ponovno v oktobru, ko koncentracije presegajo običajen sezonski nivo.

Najizrazitejši višek je bil zaznan v začetku junija, ko je na obeh lokacijah opazen nenaden, kratek porast koncentracij, ki je presegel 50 µg/m³.

V oktobru se koncentracije ponovno povečajo, tokrat z več zaporednimi dnevi, ko PM₁₀ dosega vrednosti med 20 in 30 µg/m³. Tak trend je skladen z začetkom hladnejšega obdobja, ko se pogosteje pojavljajo temperaturne inverzije in s tem manj ugodne razpršitvene razmere, kar omogoča postopno kopičenje delcev v ozračju.

Skupno gledano so bile koncentracije PM₁₀ od aprila do oktobra 2025 večinoma nizke, občasni višji dvigi pa so bili kratkotrajni in predvsem povezani z regionalnimi meteorološkimi vplivi. Referenčna mejna vrednost 45 µg/m³ je bila presežena le enkrat, medtem ko preostali viški ostajajo v območju zmerne obremenitve.



Graf 7: Dnevne koncentracije PM₁₀ na Škofljici, 18. april–31. oktober 2025

7.2.2. SEMAFOR PM₁₀

Na spodnjem grafičnem prikazu so predstavljene tri kategorije koncentracij delcev PM₁₀: <20 µg/m³ (dobra kakovost zraka), 20–45 µg/m³ (zmerna kakovost zraka), >45 µg/m³ (preseganje priporočene 24-urne meje WHO).

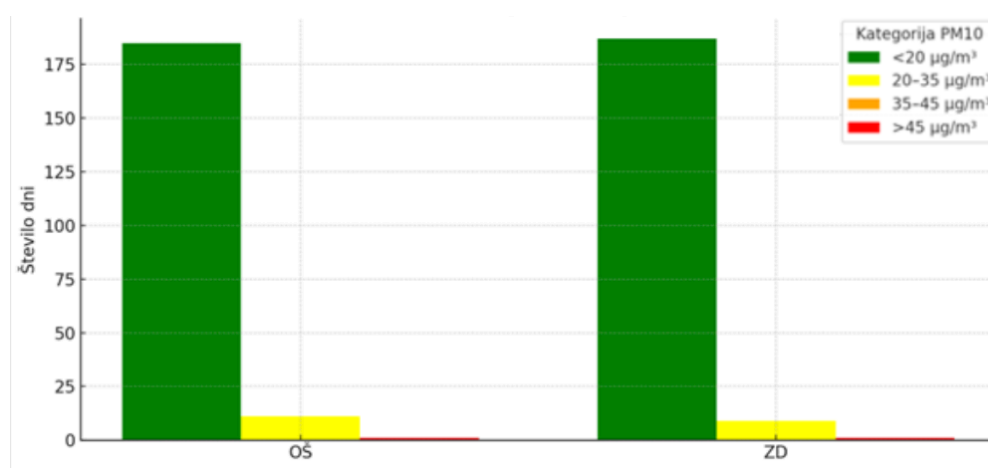
OŠ – Podružnična šola Lavrica

Na lokaciji OŠ je bilo 185 dni uvrščenih v najnižjo kategorijo (<20 µg/m³), kar pomeni dobro kakovost zraka večino opazovanega obdobja.

11 dni je spadalo v kategorijo 20–45 µg/m³, medtem ko je bila le ena meritev, ki je presegla referenčno vrednost WHO (45µg/m³).

ZD Škofljica

V kategoriji <20 µg/m³ je bilo zabeleženih 187 dni, kar je nekoliko več kot na lokaciji OŠ. V kategoriji 20–45 µg/m³ pa je bilo zabeleženih 9 dni. V kategoriji >45 µg/m³ (referenčna vrednost WHO) je bil zabeležen en dan.



Graf 8: Semafor PM₁₀ – število dni po kategorijah mejnih vrednosti, Škofljica, 18. april–31. oktober 2025²

7.2.3. PRESEGANJA MEJNIH VREDNOSTI PM₁₀

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO, 2021) priporoča, da povprečna letna izpostavljenost delcem PM₁₀ ne presega 15 µg/m³, 24-urno povprečje pa 45 µg/m³. V obdobju meritev sta bila zabeležena dva presežka dnevne mejne vrednosti WHO. Na obeh merilnih mestih (ZD in OŠ) je bil presežek zabeležen enkrat, in sicer v obliki posamezne epizode povišanih koncentracij delcev. Oba presežka sta se pojavila istočasno, in sicer 11. 6. 2025, kar nakazuje na skupen vzrok in ne na izolirane lokalne vplive. Ker so se vsi viški pojavljali na isti dan, omenjeni presežki najverjetneje odražajo predvsem meteorološko pogojen dogodek.

Lokacija	Datum	Najvišja vrednost PM ₁₀ (µg/m ³)	Presežek mejne vrednosti?
OŠ	11. 06. 2025	54,29	DA
ZD	11. 06. 2025	55,25	DA

Tabela 8: Epizode preseženih mejnih vrednosti PM₁₀ na Škofljici

² Opomba: Barvne oznake so simbolične in ne odražajo smernic WHO, razen meje 45 µg/m³, ki predstavlja priporočeno dnevno mejno vrednost WHO za PM₁₀.

VREMENSKE ZNAČILNOSTI DNI S PRESEGANJI PM₁₀ (>45 µg/m³)

reseganje dnevne mejne vrednosti PM₁₀ na Škofljici dne 11. junija 2025 je bilo najverjetneje posledica kombinacije prometne obremenitve in vremenskih značilnosti. Ker so vremenski pogoji enaki, je kontekst posameznih epizod podrobneje pojasnjen v podpoglavju *Vremenske značilnosti dni s preseganji (PM_{2.5} > 15 µg/m³)*.

7.2.4. UČINEK EVROPSKEGA TEDNA MOBILNOSTI NA RAVNI PM₁₀

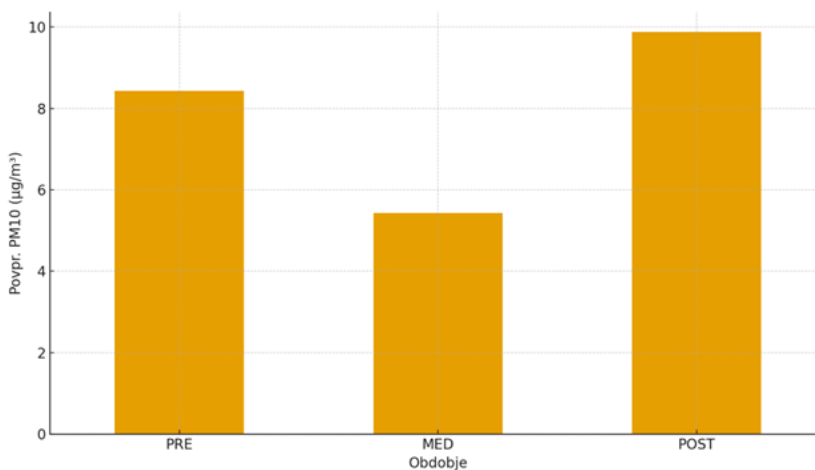
Da bi ocenili vpliv aktivnosti v Evropskem tednu mobilnosti (ETM) na koncentracije PM₁₀, smo analizirali tri časovne faze:

- Pred ETM (PRE): 9.–15. september 2025
- Med ETM (MED): 16.–22. september 2025
- Po ETM (POST): 23.–29. september 2025

Na obeh lokacijah je opaziti jasen padec koncentracij PM₁₀ v času ETM.

Na lokaciji OŠ so povprečne koncentracije PM₁₀ v obdobju ETM pokazale jasen vzorec zmanjšanja v času izvajanja aktivnosti. V tednu pred ETM (PRE) je povprečna vrednost znašala približno 8,4 µg/m³, kar odraža značilne zgodnje jesenske razmere. Med Evropskim tednom mobilnosti (MED) se je koncentracija znižala na okoli 5,4 µg/m³, kar pomeni občutno izboljšanje kakovosti zraka v primerjavi s predhodnim obdobjem. Po zaključku ETM (POST) je povprečna koncentracija ponovno porasla in dosegla okoli 9,9 µg/m³, kar je najvišja vrednost med vsemi tremi obdobji. Takšna dinamika kaže na kratkotrajno izboljšanje razmer med ETM.

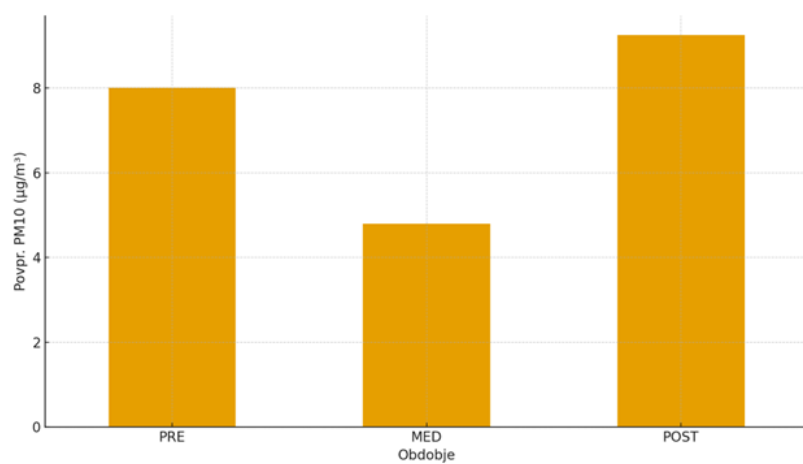
V obdobju od 9. do 29. septembra 2025 so se temperature zraka postopno zniževale od 20 °C v prvi polovici meseca do okoli 14–17 °C v zadnjem tednu, kar pomeni, da ni bilo izrazitih temperaturnih ekstremov. Veter je bil večino dni šibak, med 1,0 in 1,6 m/s, le posamezni dnevi z 0,9 m/s so bili še nekoliko manj prevetreni.



Graf 9: Vrednosti PM10 pred, med in po tednu mobilnosti, lokacija OŠ

Podoben vzorec je opazen tudi na lokaciji ZD, kjer so bile koncentracije PM₁₀ pred ETM (PRE) v povprečju okoli 8,0 µg/m³. V času izvajanja ETM (MED) so se vrednosti znižale na približno 4,8 µg/m³, kar predstavlja izrazito zmanjšanje in hkrati najnižjo koncentracijo v celotnem opazovanem nizu. Po zaključku Tedna mobilnosti (POST) se koncentracije ponovno povečajo in dosežejo približno 9,1 µg/m³. Tako kot na lokaciji OŠ rezultati kažejo na izboljšanje kakovosti zraka v obdobju ETM ter ponovni dvig koncentracij

po koncu aktivnosti, kar je najverjetneje povezano s kombinacijo običajnega jesenskega poslabšanja razpršitvenih razmer in vrnitve k vsakodnevnim prometnim vzorcem.



Graf 10: Vrednosti PM10 pred, med in po tednu mobilnosti, lokacija ZD

7.3. KLJUČNE UGOTOVITVE

- Primerjava obeh merilnih mest kaže, da je bila kakovost zraka v obdobju april–oktober 2025 na obeh lokacijah večinoma dobra. Kljub splošno nizkim ravnom pa lokacija pri šoli v povprečju beleži nekoliko višje dnevne koncentracije PM delcev kot lokacija pri zdravstvenem domu.
- V tem obdobju sta bili zabeleženi dve izrazitejši večdnevni epizodi preseganja priporočene mejne vrednosti WHO za PM₁₀, in sicer v prvi polovici junija ter ponovno v mesecu oktobru. Vsaka od merilnih lokacij je beležila en dan s preseženo mejno vrednost WHO za 24-urno povprečje. Najvišja izmerjena vrednost je bila zabeležena na lokaciji ZD, na kateri je vrednost PM₁₀ dosegla 55,25 µg/m³.
- Rezultati analize Evropskega tedna mobilnosti (ETM) kažejo, da je ETM najverjetneje prispeval k začasnemu izboljšanju kakovosti zraka, saj so bile ravni delcev PM v času izvajanja aktivnosti nižje kot v tednu pred in zatem. Čeprav vpliva zmanjšane prometa ni mogoče povsem ločiti od sočasnih meteoroloških razmer, podatki nakazujejo, da je kombinacija obeh dejavnikov pripomogla h kratkotrajnemu znižanju koncentracij delcev v obdobju poteka ETM.
- Preseganje dnevne mejne vrednosti delcev PM₁₀ na Škofljici dne 11. junija 2025 je bilo najverjetneje posledica kombinacije vremenskih značilnosti in povečane prometne obremenitve zaradi začetka počitnic ter praznikov v Avstriji in južni Nemčiji. Ključni dejavnik je bilo skoraj popolno brezvetrje, ki je preprečilo razredčevanje delcev in omogočilo njihovo kopičenje pri tleh. Nadpovprečno visoke temperature so ustvarile stabilno zračno plast in dodatno zmanjšale vertikalno mešanje zraka, jutranja šibka temperaturna inverzija pa je verjetno še okrepila zastajanje onesnaževal. Ker padavin ni bilo, ni prišlo do mokrega odstranjevanja delcev, obenem pa so suhe razmere povečale prašnost površin. V takšnih pogojih lahko tudi običajni lokalni viri – promet, dvigovanje prahu s cest ter morebitna gradbišča – povzročijo izrazit dvig koncentracij PM₁₀. Povečan tranzit turistov proti južni Evropi v tem času pa je verjetno dodatno prispeval k obremenitvi, kar skupaj pojasnjuje preseganje, izmerjeno tistega dne.

8. PREGLOGI IN PRIPOROČILA

Kakovost zraka v manjših slovenskih občinah je rezultat kombinacije lokalnih virov emisij. Največji vpliv imajo emisije iz prometa in individualnih kurišč, k čemur v mnogih manjših okoljih dodatno prispeva razpršena poselitev, ki povečuje odvisnost od osebnega avtomobila. Ugotovitve mednarodnih analiz (Hoen, A. idr., 2021) kažejo, da lahko lokalne skupnosti z naborom premišljenih in prilagojenih ukrepov pomembno zmanjšajo emisije ter prispevajo k izboljšanju zdravja prebivalcev.

Na podlagi teh ugotovitev in ob upoštevanju slovenskega lokalnega konteksta v nadaljevanju predstavljamo priporočene ukrepe.

8.1. OPTIMIZACIJA LOKALNIH PROMETNIH TOKOV IN ZMANJŠEVANJE KRATKIH VOŽENJ

Ena ključnih značilnosti manjših občin je visoka odvisnost od osebnega vozila, tudi za zelo kratke razdalje. Učinkoviti ukrepi vključujejo (Hoen, A. idr., 2021):

- izboljšanje varne peš in kolesarske infrastrukture med naselji,
- uvajanje območij umirjenega prometa v središčih (cone 30 km/h),
- urejanje varnih šolskih poti,
- spodbujanje lokalnih storitev in aktivnosti v neposredni bližini prebivalcev.

Takšni ukrepi lahko pomembno zmanjšajo obseg prometa in s tem povezane emisije. Hoen in drugi (2021) poudarjajo, da zmanjševanje potrebe po vožnji predstavlja enega najučinkovitejših lokalnih pristopov pri zmanjševanju onesnaženosti.

8.2. SPODBUJANJE AKTIVNE MOBILNOSTI IN IZBOLJŠEVANJE DOSTOPA DO JAVNEGA PREVOZA

Aktivna mobilnost je za manjše občine posebej pomembna, saj (Hoen, A. idr., 2021):

- neposredno zmanjšuje število kratkih voženj z avtomobilom,
- prinaša številne koristi za zdravje,
- je izvedljiva tudi ob omejenih finančnih sredstvih.

Priporočljivi ukrepi vključujejo:

- izboljšanje in povezovanje lokalnih kolesarskih poti,
- ureditev varnih pešpoti in prehodov,
- zagotovitev infrastrukture za e-kolesa (npr. stojala, osnovne polnilne točke),
- sodelovanje z državo in prevozniki za optimizacijo obstoječih avtobusnih linij.

8.3. PODPORA SOUPORABI VOZIL IN DRUGIH OBLIK SKUPNE MOBILNOSTI

Tudi v manjših občinah se lahko souporaba vozil izkaže kot koristen ukrep, saj zmanjšuje potrebo po individualnih prevozih. Med izvedljive pristope spadajo (Hoen, A. idr., 2021):

- sistemi souporabe e-koles za vsakodnevne poti,
- občinski avtomobili v souporabi (npr. model »avto za skupnost«),
- spodbujanje lokalnih podjetij k uvedbi skupnih službenih vozil.

8.4. ZMANJŠANJE EMISIJ IZ INDIVIDUALNIH KURIŠČ

Emisije iz ogrevanja gospodinjstev so pogosto največji vir onesnaženosti zraka, zato je obravnava tega področja bistvenega pomena za izboljšanje kakovosti zraka. Priporočeni ukrepi vključujejo (Focus, 2025; MOPE 2024):

- ozaveščanje o pravilnem in učinkovitem kurjenju (suha, ustrezno skladiščena drva; prepoved kurjenja odpadkov),
- spodbujanje zamenjave zastarelih kurilnih naprav z bolj učinkovitimi,
- informiranje o državnih subvencijah za zamenjavo kurilnih naprav,
- izvajanje občinskih nadzorov kurjenja v najbolj problematičnih obdobjih,
- promocija alternativnih načinov ogrevanja (kjer je to mogoče).

Pri manjših občinah so ti ukrepi pogosto pomembnejši kot promet, saj lahko bistveno zmanjšajo koncentracije delcev PM.

8.5. PREHOD NA NIZKO-EMISIJSKO MOBILNOST

Manjše občine lahko zmanjšajo emisije iz prometa s postopnimi ukrepi, kot so:

- postavitve osnovnih polnilnih točk za električna vozila,
- prehod občinskega voznega parka na nizko-emisijske tehnologije,
- spodbude za uporabo e-koles.

8.6. OZAVEŠČANJE PREBIVALCEV Z VKLJUČEVANJEM RAZLIČNIH STAROSTNIH SKUPIN

Učinkovitost ukrepov je tesno povezana z razumevanjem in sprejetostjo med prebivalci, zato ima ozaveščanje pomembno vlogo. Priporočamo:

- kampanje o vplivih onesnaženega zraka na zdravje,
- programe ozaveščanja mladih in otrok,
- aktivnosti v okviru Evropskega tedna mobilnosti,
- vključevanje prebivalcev v pripravo lokalnih načrtov mobilnosti in energetske strategije.

8.7. SPREMLJANJE KAKOVOSTI ZRAKA IN OCENJEVANJE UČINKOV UKREPOV

Kot poudarjajo Hoen idr. (2021), je učinkovita politika mogoča le ob razpoložljivosti ustreznih in zanesljivih podatkov. Zato manjšim občinam priporočamo, da sistematično krepijo svojo podatkovno osnovo za načrtovanje ukrepov, in sicer tako, da:

- vzpostavijo ustrezne merilne točke za spremljanje kakovosti zraka,
- redno spremljajo kakovost zraka,
- ugotovitve vključujejo v strateške občinske dokumente,
- periodično ocenjujejo učinke ter temu ustrezno prilagajajo ukrepe.

9. SKLEP

V manjših slovenskih krajih so podatki o kakovosti zraka pogosto omejeni ali sploh niso sistematično spremljani, kar otežuje celovito razumevanje lokalnih virov onesnaževanja in načrtovanje ustreznih ukrepov. Kljub tej vrzeli pa je na podlagi razpoložljivih informacij in izkušenj iz primerljivih okolij mogoče prepoznati ukrepe, ki so sorazmerni razmeram manjših občin in lahko pomembno prispevajo k izboljšanju kakovosti zraka.

Razumevanje stanja kakovosti zraka ter poznavanje vplivov onesnaženosti na zdravje pomembno oblikujeta odnos skupnosti do uvajanja ukrepov. Kadar so prebivalci pravočasno informirani in vključeni v oblikovanje rešitev, so sprejemanje ukrepov, njihova učinkovitost in dolgoročna podpora skupnosti praviloma bistveno večji.

10. ZAKLJUČEK

V občinah Škofljica, Vrhnika in Domžale ni vzpostavljenih uradnih meritev kakovosti zraka, zato so projektne meritve zapolnile pomembno vrzel pri spremljanju kakovosti zraka v navedenih občinah. Zagotovile so izhodišče za razumevanje lokalnih razmer ter predstavljajo pomemben korak k nadaljnjemu oblikovanju ustreznih ukrepov za izboljšanje kakovosti zraka.

Meritve so potrdile potrebo po nadaljnjem spremljanju. Čeprav je bila merilna kampanja izvedena v toplejšem delu leta, ko se običajno pričakuje nižja obremenjenost zraka s prašnimi delci, smo zaznali več dni z povečanimi koncentracijami PM_{2,5} in PM₁₀, v posameznih primerih tudi nad priporočenimi mejami. To dodatno poudarja potrebo po zanesljivih podatkih kot podlagi za razumevanje dejanskega stanja in dolgoročnih trendov.

Ker je hladna polovica leta zaradi ogrevanja in neugodnih vremenskih razmer praviloma najbolj problematična, bomo z meritvami nadaljevali do aprila 2026. S tem bomo zagotovili celovit letni vpogled v stanje kakovosti zraka ter ustvarili trdno podatkovno podlago za oceno vplivov, načrtovanje ciljnih ukrepov in spremljanje njihove učinkovitosti.

Izrazito pozitiven je bil tudi odziv prebivalcev, ki so se aktivno vključevali preko kampanje na družbenih omrežjih ter sodelovali z oddajanjem mnenj in prispevkov v okviru kolektivnega kartiranja. Visoka stopnja angažiranosti kaže, da prebivalci prepoznajo pomen kakovosti zraka in želijo biti vključeni v procese oblikovanja rešitev. Prav tako so javne institucije, s katerimi smo sodelovali, izkazale visoko pripravljenost za sodelovanje in zanimanje za predstavljene vsebine, kar potrjuje pomembnost nadaljnega ozaveščanja in vključevanja lokalnih deležnikov.

Rezultati projekta potrjujejo, da so merilne kampanje v manjših občinah nujen korak pri razumevanju lokalnih okoljskih izzivov ter pri spodbujanju aktivnega sodelovanja prebivalcev in institucij. Le na podlagi ustreznih podatkov, jasnih analiz in vključujočega pristopa lahko občine učinkovito načrtujejo ukrepe, ki bodo prispevali k boljši kakovosti zraka ter s tem k zdravju in blaginji prebivalcev.

11. VIRI

Brook, R. D., idr. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbeece1>

Direktiva 2008/50/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 21. maja 2008 o kakovosti zunanjega zraka in čistejšem zraku za Evropo. UL L 152, 11.6.2008, pp. 1–44. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>

European Environment Agency (EEA). (2023). Število prezgodnjih smrti zaradi onesnaženosti zraka v EU še naprej upada, toda kljub temu so potrebna dodatna prizadevanja za vzpostavitev okolja brez strupov. <https://www.eea.europa.eu/sl/highlights/stevilo-prezgodnjih-smrti-zaradi-onesnazenosti>

European Environment Agency (EEA). (2025a). *Air pollution*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>

European Environment Agency (EEA). (2025b). *How air pollution affects our health*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>

European Environment Agency (EEA). (2025c). *What is particulate matter and what are its effects on human health?* <https://www.eea.europa.eu/en/about/contact-us/faqs/what-is-particulate-matter-and-what-are-its-effects-on-human-health>

European Environment Agency (EEA). (2024). *Kakovost evropskega zraka se še naprej izboljšuje, vendar so ravni onesnaženosti na številnih področjih še vedno nevarne*. <https://www.eea.europa.eu/sl/highlights/kakovost-evropskega-zraka-se-se>

Focus – Društvo za sonaraven razvoj (Focus). (2025). *Stroka je enotna: Zmanjšati moramo emisije iz malih kurilnih naprav*. <https://focus.si/stroka-je-enotna-zmanjsati-moramo-emisije-iz-malih-kurilnih-naprav/>

Hoen, A. Hilster, D. Király, J. de Vries, J. de Bruyn, S. (2021). *Air pollution and transport policies at city level*. CE Delft. <https://epha.org/wp-content/uploads/2021/03/ce-delft-200218-air-pollution-and-transport-policies-at-city-level.pdf>

International Agency for Research on Cancer (IARC). (2016). *Outdoor air pollution*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 109. <https://publications.iarc.who.int/Book-And-Report-Series/IARC-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2016>

Lelieveld, J., idr. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. <https://www.nature.com/articles/nature15371>

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo (MOPE). (2024). *Kaj lahko sami storite za čistejši zrak?* <https://www.gov.si teme/kaj-lahko-sami-storite-za-cistejsi-zrak/>

Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ). (2020). *Vpliv delcev na zdravje*. <https://nijz.si/moje-okolje/zrak/vpliv-delcev-na-zdravje/>

- Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ). (2023). *Zdravstveni statistični letopis Slovenije 2021: Onesnaženost zraka – delci PM₁₀ in PM_{2.5}*. <https://nijz.si/publikacije/zdravstveni-statisticni-letopis-2021/>
- Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ). (2025). *Zdravstveni statistični letopis Slovenije 2023: Onesnaženost zraka – delci PM₁₀ in PM_{2.5}*. <https://nijz.si/publikacije/zdravstveni-statisticni-letopis-2023/>
- Osnovna šola Rodica (OŠ Rodica). (2025). *Evropski teden mobilnosti*. <https://www.sola-rodica.si/2025/09/22/58583/>
- United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). (2025) *Integrated Science Assessment for Particulate Matter*. <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-particulate-matter>
- Uredba o kakovosti zunanjega zraka. (2011). *Uradni list RS*, št. [9/11](#), [8/15](#), [66/18](#) in [44/22](#) – ZVO-2. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED5493>
- World Health Organization (WHO). (b. d.). *Air Quality and Health – Health impacts: Types of pollutants*. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
- World Health Organization (WHO). (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>



Za mnenja, predstavljena v projektu 'Veš, kaj dihaš?', so izključno odgovorni avtorji in ne odražajo nujno stališč Ministrstva za okolje, podnebje in energijo ali Eko sklada j.s.

Vir slike na naslovnici: Občina Škofljica