

OSNOVNA ŠOLA ŠALEK VELENJE
Šalek 87, 3320 Velenje

MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ SAŠA REGIJE

RAZISKOVALNA NALOGA

**KVALITETA ZRAKA IN MERJENJE ČRNEGA
OGLJIKA V VELENJU**

Tematsko področje: EKOLOGIJA Z VARSTVOM OKOLJA

Avtorji:

Ajan Suljkanović, 8. razred

Tine Govek, 8. razred

Filip Goličnik, 8. razred

Mentorja:

dr. Igor Košak, prof. fiz. in proiz. teh. vzg.

Marko Moškotevc, prof. zgo. in geo.

Velenje, 2026

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Osnovni šoli Šalek Velenje.

Mentorja: dr. Igor Košak, prof. fiz. in proiz. teh. vzg., Marko Moškotevc, prof. zgo. in geo.

Datum predstavitve: marec 2026

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Osnovna šola Šalek Velenje, šolsko leto 2025/2026
KG Velenje/črni ogljik/Aerosol/individualna kurišča/promet
AV SULJKANOVIĆ, Ajan/GOVEK, Tine/GOLIČNIK, Filip
SA KOŠAK, Igor/MOŠKOTEVC, Marko
KZ 3320 Velenje, SLO, Šalek 87
ZA Osnovna šola Šalek Velenje
LI 2026
IN **KVALITETA ZRAKA IN MERJENJE ČRNEGA OGLJIKA V VELENJU**
TD Raziskovalna naloga
OP VIII, 36 str., 4 tab., 16 graf., 7 sl., 3 pril., 12 vir.
IJ SL
JI sl/en

AI V raziskovalni nalogi smo raziskovali vpliv onesnaženosti s črnim ogljikom na kvaliteto zraka v Velenju. Čist zrak pomembno vpliva na naše zdravje, in ker ljudje veliko časa preživimo na prostem, je pomembno, da se zavedamo nevarnosti, ki jih prinaša onesnaženje zraka s črnim ogljikom. Najprej smo s pomočjo Knjižnice Velenje in spleta pregledali ustrezno literaturo. S pomočjo podjetja Aerosol smo pridobili podatke o meritvah črnega ogljika v zadnjem letu na petih merilnih mestih v Velenju in okolici. Med temi smo izbrali OŠ Šalek, OŠ Mihe Pintarja Toleda in Vinsko Goro. Opravili smo tudi intervju z dr. Asto Gregorič z Univerze v Novi Gorici, ki strokovno sodeluje z omenjenim podjetjem. Z raziskovalnim delom smo ugotovili, da je kvaliteta zraka na območju mesta Velenje ustrezna, medtem ko je kvaliteta zraka v Vinski Gori slabša. Ugotovili smo, da sta največja onesnaževalca zraka promet in individualna kurišča, ki pa zaradi urejenega sistema daljinskega ogrevanja v Velenju prispevata manjši del onesnaževanja. Mestna občina Velenje v zadnjih letih veliko pozornosti namenja ekologiji. O tem priča tudi priznanje Green Leaf, uspešna vzpostavitev prometnih rešitev brez ogljičnega odtisa (Lokalc, Kamerat, električni vozni park MOV). Raziskovalno delo je v prihodnje možno razširiti tudi na druga naselja v Velenjski kotlini, kjer meritve še ne potekajo. Zanimiva bi bila tudi raziskava števila dni z meglo ali temperaturnim obratom, ki jih zaradi obsega raziskovalne naloge nismo vključili.

KEY WORD DOCUMENTATION

- ND Osnovna šola Šalek Velenje, 2025/2026
- CX Velenje/black carbon/Aerosol/domestic heating sources/traffic
- AU SULJKANOVIĆ, Ajan/GOVEK, Tine/GOLIČNIK, Filip
- AA KOŠAK, Igor/MOŠKOTEVC, Marko
- PP 3320 Velenje, SLO, Šalek 87
- PB Osnovna šola Šalek Velenje
- PY 2026
- TI **AIR QUALITY AND BLACK CARBON MEASUREMENT IN VELENJE**
- DT RESEARCH WORK
- NO VIII, 36 p., 4 tab., 16 graph., 7 fig., 3 ann., 12 ref.
- LA SL
- AL sl/en
- AB In this research project, we investigated the impact of black carbon pollution on air quality in Velenje. Clean air has a significant effect on our health, and since people spend a lot of time outdoors, it is important to be aware of the dangers posed by air pollution with black carbon. First, with the help of the Velenje Library and online sources, we reviewed relevant literature. With the assistance of the company Aerosol, we obtained data on black carbon measurements from the past year at five monitoring sites in Velenje and its surroundings. Among these, we selected OŠ Šalek, OŠ Mihe Pintarja Toleda, and Vinska Gora. We also conducted an interview with PhD Asta Gregorič from the University of Nova Gorica, who professionally collaborates with the aforementioned company. Through our research, we found that air quality in the city of Velenje is satisfactory, while air quality in Vinska Gora is poorer. We determined that the two largest sources of air pollution are traffic and individual heating systems; however, due to the well-organized district heating system in Velenje, their contribution to pollution is lower. In recent years, the Municipality of Velenje has devoted considerable attention to environmental issues. This is evidenced by the Green Leaf award, the successful implementation of carbon-free transport solutions (Lokalc, Kamerat, electric vehicle fleet of the Municipality). In the future, the research could be expanded to include other settlements in the Velenje Basin where measurements are not yet conducted. A study of the number of days with fog or temperature inversions would also be interesting, but due to the scope of this research project, it was not included.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ČRNI OGLJIK	3
2.2 ONESNAŽEVANJE ZRAKA S ČRNIM OGLJIKOM.....	6
2.3 ONESNAŽENOST ZRAKA S ČRNIM OGLJIKOM V SLOVENIJI.....	7
3 GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANIH MEST	10
3.1 MERITVE EMISIJ ČRNEGA OGLJIKA	11
3.2 MERJENJE ČRNEGA OGLJIKA V LJUBLJANI 2014	13
3.3 ONESNAŽENOST S ČRNIM OGLJIKOM V CELJU.....	16
3.4 MERITVE EMISIJ ČRNEGA OGLJIKA IN KVALITETA ZRAKA V VELENJU	19
3.5 INTERVJU Z DR. ASTO GREGORIČ	25
4 METODOLOGIJA.....	28
5 REZULTATI MERITEV	28
6 RAZPRAVA	32
7 ZAKLJUČEK.....	33
8 POVZETEK	34
9 VIRI IN LITERATURA	35
ZAHVALA.....	
PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1: Vpliv črnega ogljika na podnebne spremembe.....	3
Slika 2: Viri emisij črnega ogljika	5
Slika 3: Izpostavljenost mikrodelcem v evropskih mestih	6
Slika 4: Vplivi na onesnaževanje zraka v Sloveniji	7
Slika 5: Geografska lega Ljubljanske, Celjske in Velenjske kotline	10
Slika 6: Shema delovanja Aethalometra	11
Slika 7: Merilna mesta v Velenjski kotlini.....	19

SEZNAM TABEL

Tabela 1: Ukrepi za zmanjšanje emisij črnega ogljika.....	12
Tabela 2: Koncentracije črnega ogljika v Ljubljani 2014.....	13
Tabela 3: Lokacije meritev in povprečne vrednosti črnega ogljika	17
Tabela 4: Parametri vrednosti črnega ogljika.....	20
Tabela 5: Pregled presežnih vrednosti PM 10 v letu 2024.....	24

SEZNAM GRAFOV

Graf 1: Porazdelitev deleža koncentracij črnega ogljika glede na izvor v Ljubljani	14
Graf 2: Upadanje emisij črnega ogljika v Ljubljani.....	14
Graf 3: Viri črnega ogljika v Mestni občini Celje.....	16
Graf 4: Število dni s preseženo dnevno vrednostjo PM 10 v Celju upada.....	18
Graf 5: Časovni potek koncentracij po merilnih mestih zadnji teden oktobra 2025.....	20
Graf 6: Časovni potek koncentracij na OŠ Šalek zadnji teden oktobra 2025	21
Graf 7: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v pomladanskih mesecih.....	22

Graf 8: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v poletnih mesecih	22
Graf 9: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v jesenskih mesecih	23
Graf 10: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v zimskih mesecih.....	23
Graf 11: Izmerjene vrednosti PM 10 v letu 2024.....	24
Graf 12: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na OŠ Šalek.....	29
Graf 13: Meritve črnega ogljika kot posledica kurišč na OŠ Šalek	29
Graf 14: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na OŠ MPT	30
Graf 15: Meritve črnega ogljika kot posledica kurišč na OŠ MPT.....	30
Graf 16: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na POŠ Vinska Gora	31
Graf 17: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na POŠ Vinska Gora	31

SEZNAM PRILOG

Priloga 1: Formula za merjenje imisij črnega ogljika

Priloga 2: Vabilo na predstavitev projekta INKA

Priloga 3: Ukrepi MOV za zmanjšanje emisij v prometu

SEZNAM KRATIC IN OKRAJŠAV

ARSO – Agencija za okolje Republike Slovenije

MOV – Mestna občina Velenje

SLOVAR MANJ ZNANIH POJMOV

Aerosol: *v zraku ali plinih razpršena trdna ali tekoča snov.*¹

Aglomerat: *sprimek, mešanica plinov.*²

¹ Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana: Državna založba Slovenije, 1998, str. 4.

² Prav tam, str. 5.

Albedo: odbojnost.³

Biomasa: odmrli organski material, zlasti rastlinskega izvora, ki ga je mogoče uporabljati za pridobivanje energije.⁴

Detektor: aparat za odkrivanje, ugotavljanje česa: natančni detektorji odkrijejo zelo majhne količine plina v zraku.⁵

Emisija: odvajanje odpadnih snovi ali snovi, ki nastanejo kot stranski produkt, izpust.⁶

Indikator: kar napoveduje ali kaže stanje ali nakazuje razvoj česa; kazalec.⁷

Imisija: vnašanje onesnaženih snovi v okolje, zlasti v ozračje.⁸

Inverzija: preobrat, preusmeritev, toplotni obrat.⁹

Onesnaževalo: škodljiva snov, ki se v okolje sprošča zaradi dejavnosti človeka.¹⁰

Piroliza: proces toplotne obdelave pri odsotnosti kisika, ki ogljikovodik pretvarja v plinsko in tekoče stanje (katran).

Resuspenzija: prenos in ponovno dvigovanje usedlih delcev.

Sanitarna voda: voda iz omrežja, ki se ogreje na določeno temperaturo 45-60 °C.¹¹

³ Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana: Državna založba Slovenije, str. 9.

⁴ Prav tam, str. 46.

⁵ Prav tam, str. 132.

⁶ Prav tam, str. 198.

⁷ Prav tam, str. 296.

⁸ Prav tam, str. 299.

⁹ Prav tam, str. 310.

¹⁰ Prav tam, str. 772.

¹¹ Prav tam, str. 1198.

1 UVOD

Črni ogljik sestavlja skoraj čisti ogljik, ki se v atmosferi pojavlja kot delec in je glavna sestavina saj. Ta snov močno vpliva na podnebje, okolje in zdravje ljudi. Z zniževanjem emisij črnega ogljika lahko upočasnimo stopnjo podnebnih sprememb in zmanjšamo škodljive vplive na naše okolje in zdravje.

Namen raziskovalne naloge je preveriti kvaliteto zraka in ugotoviti emisije črnega ogljika v našem domačem okolju. Z nalogo želimo tudi preveriti, ali je kvaliteta zraka v Velenju ustrezna in kakšna sta vpliva individualnih kurišč in prometa, ki sta najpogostejša onesnaževalca zraka.

Cilj raziskovanja je pregled opravljenih meritev, ki jih od leta 2024 v Mestni občini Velenje opravlja podjetje Aerosol. Izbrali bomo tri merilna mesta, to so Osnovna šola Šalek, Osnovna šola Mihe Pintarja Toleda in Vinska Gora. Menimo, da bosta na emisije odločilno vplivala lega in delež individualnih kurišč.

S pomočjo izvedenega intervjuja z gospo Asto Gregorčič in pregleda strokovnih člankov pa bomo v nalogi ugotovili, ali se kvaliteta zraka v izbranih mestih (Ljubljana, Celje, Velenje) v zadnjih letih res izboljšuje.

HIPOTEZE

Z raziskovalno nalogo želimo preveriti kakovost zraka v Šaleku in Velenju. Z raziskovalnim delom bomo analizirali opravljene meritve, ki bodo pokazale, kakšna je kakovost zraka v različnih mesecih in na različnih merilnih mestih.

Hipoteza 1:

Kakovost zraka v Šaleku je slaba, saj zrak vsebuje veliko trdnih delcev, predvsem črnega ogljika.

Menimo, da bodo rezultati meritev (podjetje Aerosol d. o. o.) pokazale, da je kvaliteta zraka na vseh merilnih mestih slaba in zdravju škodljiva.

Hipoteza 2:

Na kakovost zraka v zimskih mesecih odločilno vplivajo individualna kurišča.

Ker se meritve na naši šoli izvajajo skozi vse leto, bomo lahko primerjali vrednosti emisij črnega ogljika v različnih letnih časih.

Hipoteza 3:

Na slabšo kvaliteto zraka odločilno vpliva kotlinska lega mesta Velenje.

Meritve črnega ogljika so opravili tudi v drugih večjih slovenskih mestih. Za primerjavo rezultatov bomo analizirali izsledke merjenj v Ljubljani in Celju, ki imata tako kot Velenje kotlinsko lego.

Hipoteza 4:

Za zmanjšanje emisij črnega ogljika lahko največ naredimo sami s preudarnim ogrevanjem v zimskih mesecih.

V raziskavi bomo dokazali, da lahko tudi posamezniki bistveno vplivajo na zmanjšanje emisij črnega ogljika. Potrebni so naslednji ukrepi: reden pregled kurilnih naprav, dobra priprava kuriva z ustrezno kurilno vrednostjo, omejitve pri kurjenju na prostem, smotrno ogrevanje stanovanjskih površin, uporaba okolju prijaznega prevoza.

2 PREGLED OBJAV

S pomočjo obeh mentorjev smo pregledali objave na temo raziskovalne naloge. Ugotovili smo, da je tema aktualna in da je bilo opravljenih kar nekaj raziskav, ki smo jih vključili v nalogo. Med literaturo izpostavljamo naslednja dela: *Črni ogljik – povzročitelj podnebnih sprememb, Letno poročilo o stanju okolja v Mestni občini Velenje, Merjenje črnega ogljika in določanje njegovih virov, Onesnaženje s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, Onesnaženost zraka v Ljubljani: Koncentracije dušikovih oksidov, ozona, benzena in črnega ogljika v letih 2013 in 2014, Vpliv črnega ogljika na okolje in zdravje ljudi.*

S pomočjo spleta smo pridobili tudi slikovno gradivo. Dokumentacijo in podatke smo pridobili s pomočjo podjetja Aerosol, Agencije Republike Slovenije za okolje in Mestne občine Velenje.

2.1 ČRNI OGLJIK

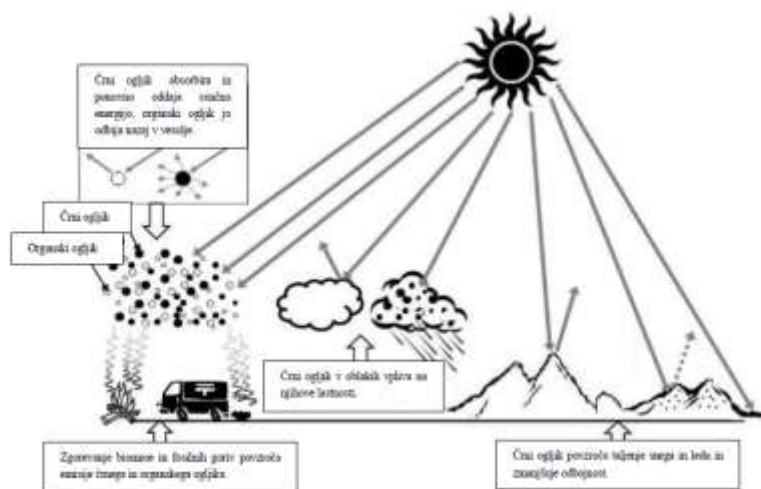
Črni ogljik (ang. Black Carbon - BC) je trdna oblika večine čistega ogljika, ki absorbira sončno sevanje vseh valovnih dolžin. Gre za sestavni del saj in je med delci (ang. Particulate matter - PM) najbolj močan absorber sončne svetlobe. Črni ogljik se emitira direktno iz vira in sajam daje črno barvo. Znano je, da bolj črne saje močneje prispevajo k segrevanju ozračja. Različni tipi saj vsebujejo različno količino črnega ogljika. Saje so produkt nepopolnega izgorovanja goriv in so kompleksna mešanica z večinskim delom črnega in organskega ogljika. (Forstnerič, 2017)

Črni ogljik je regionalno onesnaževalo s kratko življenjsko dobo, ki je v ozračju obstojno od nekaj dni do nekaj tednov, najvišje vrednosti pa se pojavljajo v zimskem obdobju leta. Kratka življenjska doba črnega ogljika pomeni, da so vrednosti v ozračju najvišje blizu virov nastajanja emisij in se skozi čas in prostor precej spreminjajo. Ta visoko časovna in prostorska spremenljivost črnega ogljika precej različno vpliva na podnebje, ki pa je ravno nasprotno od ogljikovega dioksida (angleško CO₂) in drugih toplogrednih plinov z življenjsko dobo daljšo od enega leta, ki spadajo med globalna onesnaževala z relativno enakomerno koncentracijo po vsem svetu. (Forstnerič, 2017)

Izraz črn v idealnem primeru opisuje predmet, ki popolnoma absorbira svetlobo, njegova odbojnost, absorptivnost in emisivnost, so enake nič. V atmosferi se oblika in velikost delcev s

časom spreminja. Ob nastanku je velikost črnega ogljika nekaj nm, nato pa se združi in tvori aglomerate grafitnih kroglic. (Grižon, 2022)

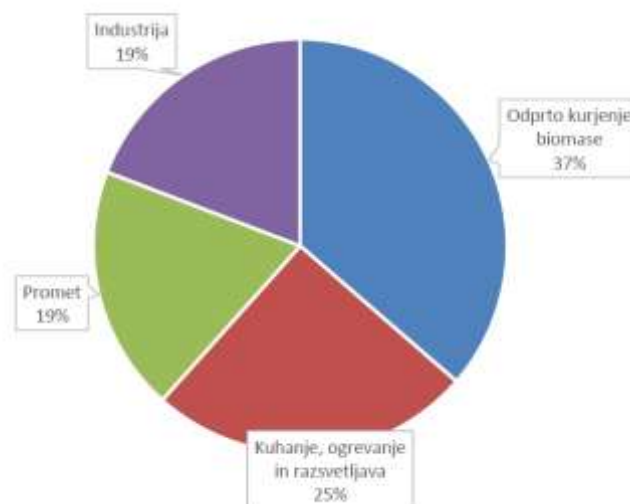
Glavni viri njegovega onesnaževanja so: promet, individualna kurišča, industrijski procesi ter požari, ki jih povzroči človek, pa tudi naravni požari. Črni ogljik absorbira sončno sevanje, vpliva na procese v oblakih ter spreminja taljenje snežne in ledene odeje. Ena najpomembnejših lastnosti črnega ogljika je močna sposobnost absorpcije v spektralnem območju vidne svetlobe. Delci črnega ogljika so lahko nosilci absorbiranih škodljivih spojin, zato ima črni ogljik znaten negativen učinek na okolje in zdravje ljudi. (Grižon, 2022)



Slika 1: Vpliv črnega ogljika na podnebne spremembe (vir: Grižon, 2022)

Viri in koncentracije črnega ogljika so povezane predvsem z vse več dokazi o njihovih škodljivih učinkih na zdravje, vplivih na kakovost zraka s pogostimi prekoračitvami mejnih vrednosti in podnebnimi spremembami. Promet, energetski in industrijski obrati so viri emisij, ki uporabljajo tekoča fosilna goriva (na sliki 1). Vire črnega ogljika delimo na:

1. mobilne vire: predvsem cestna vozila na dizelski pogon, gorivo iz lokomotiv in ladij ter gradbeniški, gozdarski in kmetijski stroji;
2. stacionarne vire: segrevanje stanovanj v malih in srednje velikih kurilnih napravah, kjer je še posebej pomembno kurjenje biomase, kot sta premog in les;
3. odprto biomasno izgorevanje: gozdni in drugi divji požari, kurjenje kmetijskih odpadkov ter ostalo kurjenje. (Grižon, 2022)



Slika 2: Viri emisij črnega ogljika (vir: Grižon, 2022)

Mejne vrednosti za črni ogljik niso zakonsko določene. Povprečna dnevna mejna vrednost ne sme biti presežena več kot 35-krat v enem koledarskem letu, pri čemer kot spremenljivo preseganje šteje vrednost, ki mejno presega za največ $25 \mu\text{g}^3$. Večina virov emisij črnega ogljika nastaja neposredno zaradi človekove dejavnosti, kar pomeni, da so koncentracije črnega ogljika običajno najvišje v urbanih območjih, kjer je gostota virov velika. To vodi do izpostavljenosti velikega števila ljudi pri zdravju škodljivih količinah črnega ogljika. Največji delež emisij prispeva izgorevanje biomase pri naravnih divjih požarih in antropogenih gozdnih požarih, požarih na travnatih površinah in izgorevanje kmetijskih odpadkov. Četrtno vseh emisij predstavlja kurjenje trdnih goriv v odprtih ognjiščih, pečeh za kuhanje in ogrevanje. Enak prispevek pa prinašajo dizelski ter bencinski motorji in stacionarni viri, kot so elektrarne, industrijski kotli, železarska in jeklarska industrija. Promet je običajno največji vir emisij črnega ogljika, povezanih s cestnimi dizelski motorji, 31 % emisij nastane zaradi terenskih vozil, 7 % prihaja iz ladijskega prometa, kar lahko vidimo na sliki 2. (Grižon, 2022)

Za emisije črnega ogljika so značilna sezonska nihanja; več emisij v zimskem času, medtem ko v toplejšem delu leta koncentracije običajno padejo. V večini razvitih držav je možno opaziti pomemben napredek k zmanjšanju emisij črnega ogljika in drugih delcev. Črni ogljik nastaja ob nepopolnem izgorevanju ogljikovih snovi, lahko pa je produkt pirolize ogljikovih snovi, npr. spremembe kemijske strukture ogljikovih spojin zaradi izgube atomov vodika in/ali kisika pri temperaturi nad $250 \text{ }^\circ\text{C}$, dehidracije sladkorja ali segrevanja lesa v ozračju brez kisika. Aerosoli, ki absorbirajo svetlobo so: črni ogljik, mineralni prah in rjavi ogljik. Črni ogljik močno absorbira svetlobo v celotnem vidnem delu spektra. (Grižon, 2022)

2.2 ONESNAŽEVANJE ZRAKA S ČRNIM OGLJIKOM

Onesnaženost zraka povzročajo industrija, promet, kmetijstvo in izgorevanje lesa oz. trdnih goriv. Posledica so mikro delci, ki povzročajo bolezni dihal, srca, ožilja. Ti mikroogljčni delci (saje) so običajno manjši od 1 mikrometra in močno absorbirajo svetlobo ter ogljik, zato so tako imenovani ogljični delci ali črni ogljik. Delci, ki so manjši od 10 mikrometrov, predstavljajo mešanico primarnih in sekundarnih virov onesnaženosti. Zaradi močne absorpcije sončne svetlobe zelo prispevajo tudi h globalnem segrevanju. (Glojek, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, 2022)



Slika 3: Izpostavljenost mikrodelcem v evropskih mestih (vir: www.europarl.europa.eu)

Poleg samih virov na onesnaževanje ozračja vplivajo tudi vremenske razmere in relief. Ozračje pri tleh je bolj stabilno, manj prevetreno in se ne meša z višje ležečimi plastmi, kar vpliva na večjo onesnaženost le tega. Dosedanje raziskave pravijo, da onesnaženost zraka v urbanih središčih večinoma povzroča promet (na sliki 3). Na manj naseljenih območjih pa izgorevanje biomase, ki pa se težko regulira. (Glojek, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, 2022)

Mejna presežna vrednost za delce je lahko presežena 35-krat v koledarskem letu, letna vrednost pa ne sme presegati $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Za črni ogljik mejne vrednosti niso določene, vendar je vsako višanje koncentracij povezano s povečanjem akutnih in kroničnih bolezni. (Glojek, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, 2022)

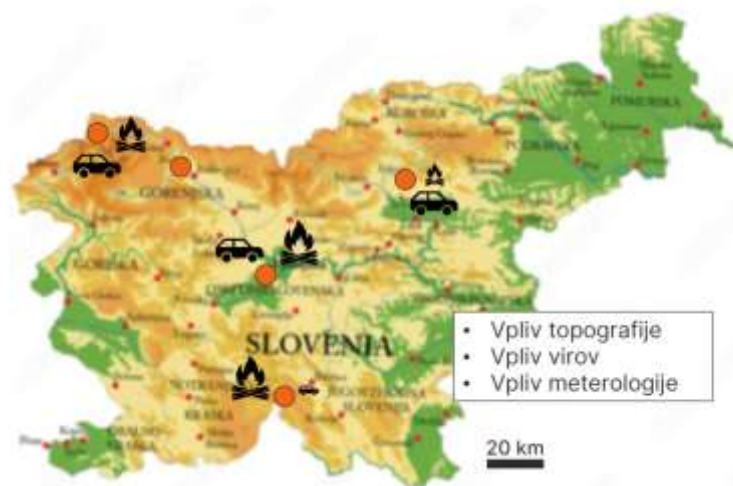
Meritve tudi kažejo, da je lahko onesnaženost zraka z delci v manjših kotanjah precej večja kot v večjih mestih. Izmerjeni rezultati koncentracije delcev v zraku so zelo zaskrbljujoči, saj ob večerih dosežejo nivo onesnaženih mest, kot je indijsko metropolitansko območje New Delhi.

Pomembno je namreč, kdaj zakurimo, kako pravilno pripravimo kurivo in da primerno vzdržujemo kotle. Zagotovo pa pripomore tudi učinkovitost stavb in ogrevalnih sistemov, zato moramo omeniti tudi energetska sanacija objektov. (Glojek, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, 2022)

V času premešanega ozračja, višjih temperaturah, daljših dnevih, ko so manjše potrebe po kurjenju biomase, pa se koncentracije delcev v zraku znatno znižajo. (Glojek, Onesnaženost zraka z delci in črnim ogljikom, 2022)

2.3 ONESNAŽENOST ZRAKA S ČRNIM OGLJIKOM V SLOVENIJI

Slovenija zaradi svoje zavetrne lege sodi med neprevetrena območja in med takšna sodi tudi večina slovenskih mest. Izjema v tem pogledu so le obalna mesta, kar je razvidno na sliki 4. Tudi Ljubljana sodi med neprevetrena mesta, kjer ni stalnih močnejših vetrov, kar povzroča slabše samočistilne sposobnosti zraka. Ker leži v kotlini, so temperaturne inverzije ob radiacijskem vremenu pogoste in izrazite. Zaradi zgoščevanja dejavnosti in poselitve se je kakovost zraka v Ljubljani po 2. svetovni vojni hitro slabšala. V drugi polovici 90. let in v prvih letih po letu 2000 pa so koncentracije žveplovega dioksida po zaslugi zamenjave energentov in uveljavitve daljinskega ogrevanja upadle na raven, ki ne predstavlja ogrožanja. (Glojek in drugi: Onesnaženost zraka v Ljubljani, 2022)



Slika 4: Vplivi na onesnaževanje zraka v Sloveniji (vir: Rigler, 2025)

Po hudih primerih onesnaženega zraka v tujini (Donora – Pensilvanija, ZDA 1948, London,

Velika Britanija 1952), ko se je zaradi onesnaževanja povečala smrtnost, so tudi v Sloveniji začeli razmišljati o zraku, ki ga dihajo prebivalci. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

Prve meritve žveplovega dioksida in dima so po britanski metodi opravili regijski zavodi za javno zdravje. Izmerjene koncentracije so bile tako visoke, da je bil zrak v slovenskih mestih med najbolj onesnaženimi na svetu – sprva v Ljubljani, Mariboru in Celju, pozneje pa tudi v Zasavju. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

Prve meritve kakovosti zunanega zraka v Sloveniji so bile opravljene v 60. letih 20. stoletja. Merili so ravni kislih plinov in dima po standardni britanski metodi. Med kislimi emisijami je prevladoval žveplov dioksid (SO₂), zato so bile meritve prikazane kot koncentracije žveplovega dioksida. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

Leta 1975 je bil sprejet Zakon o varstvu zraka, ki je določal, da mora biti javnost obveščana o ravneh onesnaženosti zraka in opozorjena ob prekoračitvah, ki bi lahko ogrozile zdravje ljudi. Prav tako je zahteval ukrepe za zmanjševanje onesnaževanja. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

Poleg stalnega spremljanja so bile v Sloveniji izvedene tudi številne kampanje občasnega merjenja. Največ meritev po referenčnih metodah je bilo opravljenih v letih 2010 in 2011. Meritve so pokazale, da so bile koncentracije delcev PM previsoke tam, kjer ni stalnih postaj. Glavni vir preseženih vrednosti ni bila industrija, temveč individualne kurjave in v manjši meri promet. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

V obdobju od leta 1970 do 1980 je Hidrometeorološki zavod (HMZ) izvedel preiskave, ki so služile kot osnova načrtovanja ukrepov za varstvo zraka pri večjih virih onesnaževanja in večjih mestih (Termoelektrarna Šoštanj, Termoelektrarna Trbovlje, Jedrska elektrarna Krško, Ljubljana, Maribor, Celje). Ugotovili so, da je prišlo do višje stopnje onesnaženosti pozimi, zaradi temperaturnih inverzij, do katerih je prišlo zaradi leg teh mest v kotlinah oziroma dolinah. Meritve so pokazale visoke koncentracije žveplovega dioksida in dima predvsem v

mestih in okolih termoelektrarn. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

V Ljubljani so meritve zaradi izgradnje toplarne v Šiški opravili že v 70. letih. Meritve so bile izvedene v Stanežičah ob Ljubljani (načrtovanje velike stanovanjske soseske za okoli 15000 ljudi, posebno pozornost so namenili lokalnim vetrovom) in v soseski Fužine v Ljubljani (visoke stanovanjske zgradbe so postavili v smeri sever – jug, tako da so šibki vetri Golovca omogočili prezračevanje soseske s čistim zrakom). Meritve so pokazale, da se toplotna inverzija najpogosteje pojavi med 150 in 200 metri nad dnem kotline. (Glojek in drugi: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

3 GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI OBRAVNAVANIH MEST

Ljubljana, Celje in Velenje ležijo v kotlinah (na sliki 5), kar odločilno vpliva na njihovo podnebje. Kotlinska lega je povezana s temperaturnim obratom (inverzijo), ki se pojavlja v hladnem delu leta. Za vsa tri mesta je tako značilno večje število dni z meglo, ki je posledica onesnaženega zraka v kombinaciji s kotlinsko lego.



Slika 5: Geografska lega Ljubljanske, Celjske in Velenjske kotline (vir: Senegačnik, 2025)

Ljubljanska kotlina leži v južnem delu Predalpskih pokrajin in ima zmerno celinsko podnebje, v času zime pa je pogost temperaturni obrat, ki lahko traja tudi več dni. Nastala je s tektonskim ugrezanjem površja in rečnimi nanosi. Zaradi nizke nadmorske višine (med 250 in 550 m) so podnebni pogoji za kmetijstvo ustrezni. Ljubljanska kotlina je najgosteje poseljena pokrajina v Sloveniji in gospodarsko središče države z glavnim mestom. Zaradi dnevnih migrantov se število ljudi v Ljubljani vsak dan poveča še za polovico in znaša preko 400 tisoč. Zato sta največji težavi mesta prometna preobremenjenost in onesnaženost zraka.

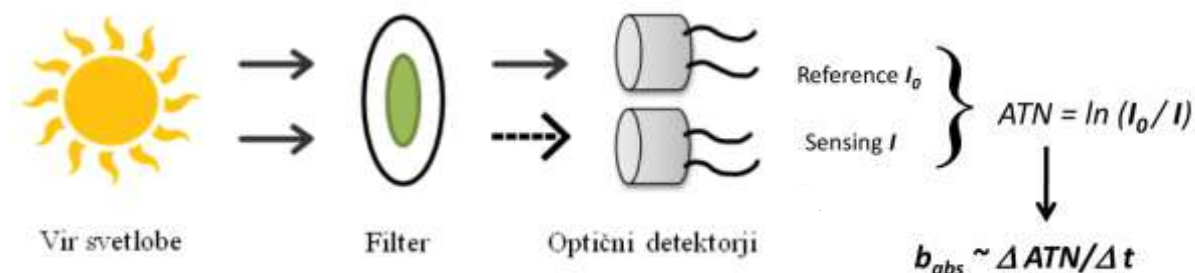
Celjska kotlina je sestavljena iz gričevnatega dela na severu in ravninskega na jugu. S treh strani jo obdajajo Predalpske pokrajine, proti vzhodu je odprta proti Obpanonski Sloveniji. Povprečna nadmorska višina ravninskega dela je med 240 in 310 m. Južni del kotline je tektonska udorina, ki jo je reka Savinja s pritoki zapolnila s prodrom in peskom. Območje pripada zmerno celinskemu podnebju osrednje Slovenije. Industrializacija in urbanizacija sta vplivali na kmetijstvo, ki je postalo bolj postranska dejavnost. Zaradi izrazito kotlinske lege mesto Celje močno obremenjuje onesnaženost zraka, predvsem v času temperaturne inverzije.

Velenjska kotlina je predalpska kotlina ob srednjem toku reke Pake. Na vzhodnem delu se s Paškim Kozjakom dotika zahodnih obronkov Pohorja. Od Kozjaka jo na severu zapira višje hribovje, ki se na zahodu poveže z vzhodnim delom Kamniško–Savinjskih Alp. Na jugu jo od Savinjske doline ločujejo nižji griči. Dolina je po nastanku tektonska udornina in je za Ljubljanskim barjem druga najmlajša udornina v Sloveniji. Območje pripada zmerno celinskemu podnebju osrednje Slovenije. Bolj hladen je severozahodni del doline. Največ padavin pade v poletnih mesecih. Na obravnavanem območju najpogosteje pihajo zahodni ali severozahodni vetrovi. V zimskih mesecih je pogost pojav temperaturni obrat ali inverzija.

3.1 MERITVE EMISIJ ČRNEGA OGLJIKA

Meritve koncentracij črnega ogljika temeljijo na absorpciji svetlobe na delcih, ki se nabirajo na filtru. Za merjenje uporabljamo optične analitske metode. (Grižon, 2022)

Ena takšnih metod se izvaja z uporabo merilnega inštrumenta Aethalometer, ki ga je razvilo slovensko podjetje Aerosol d. o. o. Meritve so odvisne od učinkovitosti zgorevanja, zato emisijskih faktorjev ne moremo izračunati iz količine goriva na preprost način. Za določitev masne koncentracije črnega ogljika merimo pri rdečih in bližje infrardečih valovnih dolžinah svetlobe. Tako ga lahko ločimo od rjavega ogljika ali mineralnega prahu. Aethalometer neprekinjeno zbira aerosolne delce tako, da skozi filtrski trak vzorči zrak s pretokom nekaj litrov na minuto, pod njim pa so detektorji, ki merijo intenziteto prepuščene svetlobe. Koncentracije črnega ogljika izračunamo iz sprememb atenuacije svetlobe z valovno dolžino 880 nm. Zaradi nabiranja aerosolov ogljika, ki absorbirajo svetlobo, se začne manjšati vidna prepustnost filtra in s tem povečevati atenuacija. Na podlagi optičnih lastnosti delcev, ki absorbirajo svetlobo, lahko določimo prispevek virov h koncentracijam črnega ogljika, pri čemer lahko ločimo prispevek zgorevanja biomase in prometa. (Grižon, 2022)



Slika 6: Shema delovanja Aethalometra (vir: Grižon, 2022)

Raziskave potrjujejo, da h koncentracijam delcev v zraku največ prispeva izgorevanje biomase. V Sloveniji večina prebivalstva ogreva hiše na biomaso, zato je pričakovati povišanje koncentracij onesnaževal v hladni polovici leta, zlasti na podeželju. Zmanjšanje izpustov je mogoče doseči z zamenjavo starih kurilnih naprav z drugimi načini ogrevanja ali novejšimi kurilnimi napravami z učinkovitejšim izgorevanjem, vgradnjo sekundarnih tehnologij za zmanjšanje izpustov, in pa z izboljšanjem učinkovitosti kurjenja in ogrevalnih navad prebivalcev. Več ukrepov je prikazanih v tabeli 1. Črni ogljik povezujemo tudi s škodljivimi vplivi na ekosisteme, slabšo vidljivostjo, zmanjšano kmetijsko proizvodnjo in poškodbami stavb ter drugih materialov. (Grižon, 2022)

Črni ogljik vpliva na podnebni sistem tako da: 1. neposredno absorbira svetlobo v zraku in posledično segreva atmosfero; 2. zmanjšuje odbijanje svetlobe-albeda; 3. spremeni število in sestavo delcev, na katerih se kondenzira vodna para, kar vpliva na življenjsko dobo, odbojnost in stabilnost oblakov. V časovnem razponu 100 let po izpustu emisije ima kilogram črnega ogljika tolikšen sevalni prispevek kot 680 kilogramov CO₂. (Grižon, 2022)

Tabela 1: Ukrepi za zmanjšanje emisij črnega ogljika

Energija za gospodinjstva	<ul style="list-style-type: none">• Ogrevanje peči s čisto biomaso• Eliminacija kerozinskih svetilk• Zamenjava peči na drva in gorilnikov s pečmi ter kotli na palete
Industrijska proizvodnja	<ul style="list-style-type: none">• Posodobitev opekarskih peči
Transport	<ul style="list-style-type: none">• Uporaba filtrov za cestna in terenska dizelska vozila• Odprava dizelskih vozil z visokimi izpusti
Agrikultura	<ul style="list-style-type: none">• Prepoved sežiganja kmetijskih odpadkov na prostem
Fosilna goriva	<ul style="list-style-type: none">• Izboljšanje izgorevanja nafite in proizvodnje plina
Ravnanje z odpadki	<ul style="list-style-type: none">• Prepoved sežiganja komunalnih odpadkov na prostem

Moderne tehnologije omogočajo zmanjšanje emisij črnega ogljika. K zmanjšanju pa lahko prispevamo tudi sami. V bivalnih prostorih znižamo temperaturo ogrevanja, saj je najnižja temperatura zraka za toplotno ugodje sedeče osebe 21° C. Trdna goriva zamenjamo s čistejšimi gorivi in energijami; poskrbimo za redno vzdrževanje in čiščenje kurilnih, dimovodnih in prezračevalnih naprav. Pri pečeh na tekoča ali plinasta goriva poskrbimo za pravilno namestitve gorilnikov pred kurilno sezono. Z ustreznim izobraževanjem kmetovalcev lahko zmanjšanje emisij črnega ogljika dosežemo tudi v kmetijstvu. (Grižon, 2022)

3.2 MERJENJE ČRNEGA OGLJIKA V LJUBLJANI 2014

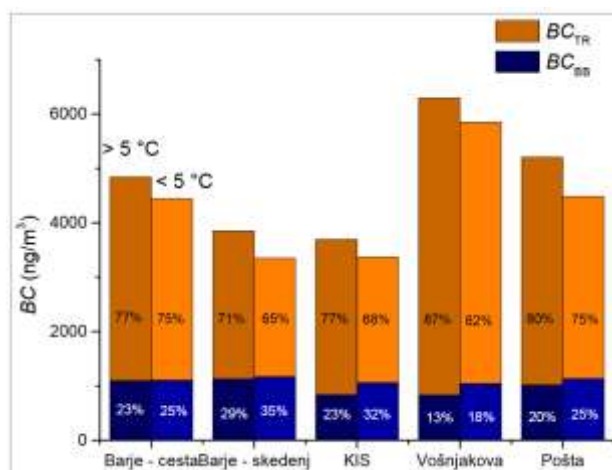
Najvišje koncentracije črnega ogljika so izmerili na merilnih mestih na območjih obremenjenih s prometom. Največjo koncentracijo črnega ogljika so izmerili na primestnem ozadju na merilnem mestu na Brezovici, kjer je lahko prispevek zgorevanja biomase ponoči celo višji od prispevka prometa. (več avtorjev: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)

Koncentracije črnega ogljika so najvišje na merilnih mestih, ki ležijo neposredno ob prometnih cestah. Najvišje koncentracije so izmerili na merilnem mestu na Vošnjakovi ulici (in na merilnem mestu ob avtocesti Barje – cesta). Kljub zapori avtomobilskega prometa so bile koncentracije črnega ogljika visoke tudi pri Pošti. Najnižje koncentracije so izmerili na merilnih mestih, ki so odmaknjena od neposrednega vpliva prometa. To sta merilni mesti Barje – skedenj in KIS. Koncentracije so prikazane v tabeli 2. (več avtorjev: Onesnaženost zraka v Ljubljani, 2022)

Tabela 2: Koncentracije črnega ogljika s prispevkom prometa in kurjenja biomase v Ljubljani med 14. 1. in 14. 2. 2014

	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC_{tr} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC_{bb} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	BC_{tr}/BC (%)	BC_{bb}/BC (%)
Vošnjakova	$6,2 \pm 3,8$	$5,2 \pm 3,7$	$1,0 \pm 0,6$	84	16
KIS	$3,5 \pm 2,2$	$2,6 \pm 1,9$	$0,9 \pm 0,6$	73	27
Pošta	$4,8 \pm 3,2$	$3,7 \pm 2,8$	$1,1 \pm 0,7$	77	23
Barje – cesta	$4,6 \pm 2,6$	$3,5 \pm 2,2$	$1,1 \pm 0,7$	76	24
Barje – skedenj	$3,6 \pm 2,1$	$2,4 \pm 1,6$	$1,2 \pm 0,8$	68	32

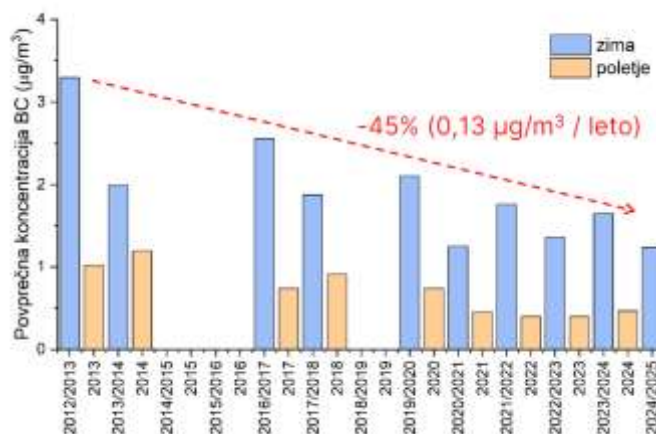
Prispevek kurjenja biomase (BC_{BB}) je precej homogeno porazdeljen po širšem območju Ljubljane. V obdobju meritev v Ljubljani je koncentracija BC_{BB} znašala okrog $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Višji prispevek so izmerili na mestnem obrobju (do 32 % celotne koncentracije BC), medtem ko so v središču mesta (merilni mesti Vošnjakova in Pošta) izmerili nižji prispevek BC_{BB} (16 in 23 %). Na mestnem obrobju, kjer prevladujejo stanovanjske hiše, je vir BC_{BB} predvsem lokalno kurjenje lesa za ogrevanje. *Onesnaženost zraka z delci PM opisujemo z masno koncentracijo – maso delcev na določen volumen zraka ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ zraka).*



Graf 1: Porazdelitev deleža koncentracij črnega ogljika glede na izvor (promet BC_{TR}, kurjenje biomase BC_{BB}) v Ljubljani po merilnih mestih

Iz dnevnega poteka koncentracij črnega ogljika, prispevka prometa (BC_{TR}) in prispevka biomase (BC_{BB}) je iz grafa 1 razvidno, da promet najmočneje prispeva h koncentracijam črnega ogljika, medtem ko se prispevek kurjenja biomase rahlo poveča v jutranjih in večernih urah, kar je opazno predvsem na mestnem obrobju (merilni mesti na Barju) v bližini lokalnega vira iz malih kurišč. Vpliv prometa je največji na merilnih mestih ob prometnih cestah, medtem ko z oddaljenostjo od ceste vpliv prometa na koncentracijo črnega ogljika hitro pojema, kar je lepo razvidno pri primerjavi merilnih mest na Barju (Barje – skedenj in Barje – cesta).

Zgorevanje biomase v zimskem obdobju dodatno prispeva k večji razliki med poletnimi in koncentracijami črnega ogljika, medtem ko je vpliv prometa v obeh letnih časih enak. (več avtorjev: Koncentracije ogljikovega dioksida in črnega ogljika v Ljubljani, 2022)



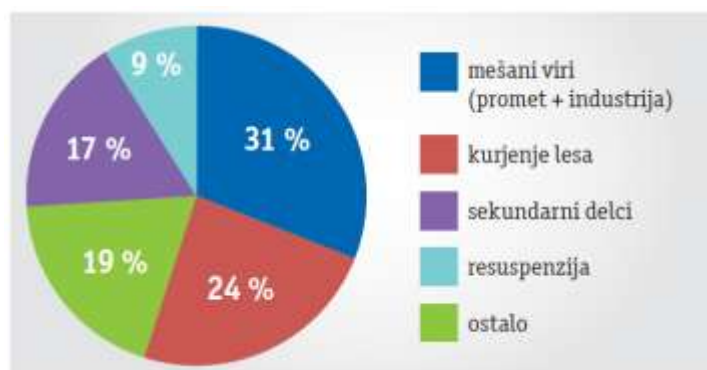
Graf 2: Upadanje emisij črnega ogljika v Ljubljani (vir: Rigler, 2025)

Iz grafa 2 je razvidno, da so povprečne koncentracije emisij črnega ogljika v Ljubljani od leta 2012 do leta 2025 upadle. Če je pozimi leta 2012 povprečna koncentracija črnega ogljika znašala $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ je do leta 2025 upadla na manj kot $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vrednosti emisij kažejo na to, da se je kvaliteta zraka bistveno izboljšala. Iz slabe kvalitete zraka je po najnovejših podatkih sprejemljiva. Tudi emisije črnega ogljika v poletnih mesecih kažejo, da se je ta zmanjšal. Leta 2013 je znašal $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do leta 2024 pa je upadel na $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. To pomeni, da se je kvaliteta zraka v poletnih mesecih iz sprejemljive izboljšala in postala dobra.

3.3 ONESNAŽENOST S ČRNIM OGLJIKOM V CELJU

Glavni viri onesnaževanja v Mestni občini Celje so industrija, tehnološki procesi, cestni promet, industrijske kotlovnice in kotlovnice za ogrevanje stavb in pripravo sanitarne vode ter mala kurišča. Velikost emisij in vrsta onesnaževal iz teh virov je odvisna od vrste uporabljenega goriva (plin, lesna biomasa, lahko kurilno olje). (več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)

Odlok o načrtu za kakovost zraka na območju Mestne občine Celje je začel veljati leta 2013 in določa območje izvajanja ukrepov glede onesnaženosti zraka zaradi čezmernih koncentracij delcev PM 10. V uredbi so zabeleženi ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zraka z delci PM 10, s katerimi naj bi dosegli skladnost z mejnimi vrednostmi koncentracij delcev ter zmanjšali škodljive vplive na zdravje in okolje. Letna mejna koncentracija PM 10 za varovanje zdravja ljudi je $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)



Graf 3: Viri črnega ogljika v Mestni občini Celje (vir: Jereb, 2018)

Iz grafa 3 je razvidno, da so prometna sredstva in prometna infrastruktura pomembni razvojni dejavniki, ki v mestu omogočajo lažjo dostopnost in večjo mobilnost, je cestni promet tudi velik vir onesnaževanja zraka s prašnimi delci PM 10, katerih del je tudi črni ogljik. (več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)

Prometno omrežje znotraj občine sestavljajo državne in občinske ceste. Prometno zelo dobro dostopno je tudi mestno jedro, kar povečuje tamkajšnje pritiske na okolje. Bolj kot razširjenost cestnega omrežja je za oceno onesnaženosti zraka ob prometnicah pomembna gostota njihovega prometa. Predvsem gost tovorni promet je velik onesnaževalec zraka. (več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)

V obdobju med letoma 2011 in 2015 izmerjene povprečne letne koncentracije delcev PM 10 v

zraku na merilnem mestu Celje – bolnica niso presegle mejne letne vrednosti $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Preseženo pa je bilo dovoljeno število dnevnih prekoračitev, kar se je zgodilo 35-krat na leto, večinoma v zimskem obdobju. Na merilnem mestu v Gajih v zahodnem predmestju Celja so bile letne vrednosti delcev PM 10 v zraku podobne kot na merilni postaji Celje – bolnica in niso presegle predpisane letne mejne vrednosti. Tudi na tem merilnem mestu je bilo v obdobju med letoma 2011 in 2016 preseženo dovoljeno število dnevnih prekoračitev, kar se je zgodilo 35-krat. (več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)

Tabela 3: Lokacije meritev in povprečne vrednosti črnega ogljika

lokacija meritev	obdobje meritev	koncentracija črnega ogljika ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) povprečje \pm standardni odklon
lokacija A	19. 1. – 13. 2. 2017	$6,32 \pm 4,86$
	13. 3. – 8. 5. 2017	$2,69 \pm 2,85$
lokacija B	23. 3. – 3. 4. 2017	$2,83 \pm 2,31$
lokacija C	4. 4. – 14. 4. 2017	$1,67 \pm 1,43$
lokacija K4	13. 3. – 23. 3. 2017	$7,25 \pm 6,06$
lokacija K5	20. 4. – 8. 5. 2017	$2,57 \pm 4,04$

Lokacije meritev so bile:

A – pritličje Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru, 20 m stran od Mariborske ceste, ki se dviguje iz podvoza, 2 metra nad tlemi.

B – sejna soba Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru (4. nadstropje), 18 m nad lokacijo A.

C – Komunikacijska soba Fakultete za logistiko Univerze v Mariboru (zadnja stran stavbe), v bližini parkirišča, 2 m nad tlemi.

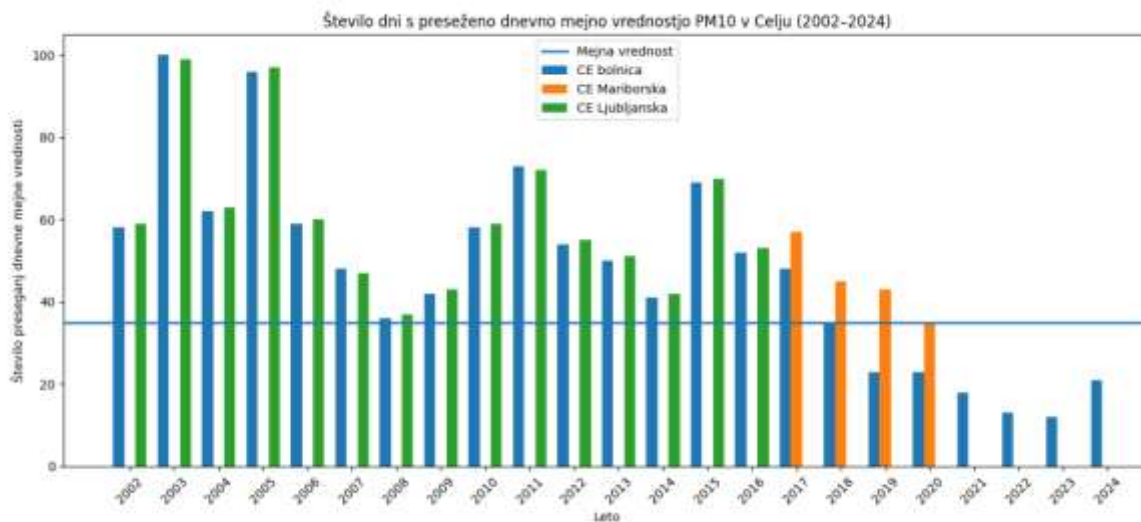
K4 – tik ob križišču Mariborske in Kidričeve ceste; v okolici je osem vozniških pasov.

K5 – tik ob cesti, nasproti avtobusni postaji, kjer se srečajo štiri vozniški pasovi.

(več avtorjev: Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju, 2018)

Iz tabele 3 vidimo, da so najvišje koncentracije črnega ogljika zabeležili v zimskem obdobju, na lokaciji A v povprečju $6,32 \pm 4,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ob prometnem križišču K4 v povprečju $7,25 \pm 6,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pozimi 2010/2011 je bila na merilnem mestu ob bolnišnici zabeležena povprečna koncentracija $4,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. V spomladanskem obdobju od marca do maja so bile izmerjene koncentracije črnega ogljika (razen ob križišču K4) večinoma nižje (na lokaciji A na primer $2,69 \pm 2,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Povprečje je mera za srednjo vrednost statističnega znaka. Drugi najpomembnejši statistični parameter je standardni odklon ali standardna deviacija (σ). Pove nam, za koliko vrednosti statističnega znaka odstopajo od povprečja.



Graf 4: Število dni s preseženo dnevno vrednostjo PM 10 v Celju upada (vir: <https://celje.info>)

Podatki iz grafa 4 jasno kažejo, da je bilo stanje v Celju pred 15–20 leti bistveno slabše. V posameznih letih je število preseganj presegalo tudi 80 ali 90 dni letno, medtem ko se v zadnjem desetletju vrednosti občutno znižujejo.

Leto 2024 je imelo na merilnem mestu Celje – bolnica 21 preseganj, kar je precej pod dovoljeno mejo. Presežne vrednosti se pojavljajo na merilnem mestu bolnica, medtem ko obe največji vpadnici, to sta Ljubljanska in Mariborska cesta, nimata več presežnih vrednosti, kar kaže na dejstvo, da promet bistveno ne vpliva preseganje dovoljenih mejnih vrednosti PM 10.

Celje ima na eni strani zelo ugodno prometno lego, na drugi pa je na območju mesta pogost toplotni obrat, ki izdatno prispeva k povečanemu onesnaženju, predvsem z delci črnega ogljika.

3.4 MERITVE EMISIJ ČRNEGA OGLJIKA IN KVALITETA ZRAKA V VELENJU

V sklopu projekta INKA-B-ZZP (indikator kakovosti bivanja v urbanem okolju) se tudi v Velenju izvajajo meritve okoljskih obremenitev (hrup in onesnaženost zraka). Cilj projekta je razviti napovedni model ter predlagati učinkovite ukrepe za zmanjšanje obremenitev okolja in izboljšanje kakovosti bivanja v urbanem okolju.



Slika 7: Merilna mesta v Velenjski kotlini (vir: Rigler, 2025)

Meritve v Mestni občini Velenje se izvajajo od februarja 2024. Štiri merilna mesta, prikazana na sliki 7, so v mestnem središču, od tega tri pri osnovnih šolah, eno v Sončnem parku. Peto merilno mesto pa je v Vinski Gori ter predstavlja okolico mesta in lego na obrobju Velenjske kotline.

INKA uporablja 4-stopenjski modularni sistem, ki iz meritev in modelov hitro izdela kazalnike in napovedi za naslednjih 72 ur. Podatki se osvežujejo vsako uro, napovedi se izračunajo štirikrat dnevno. (<https://inka.pnz.si/>)

Zrak (črni ogljik, BC): disperzijski model (GRAL) izračuna, kako veter, vremenske razmere in relief raznašajo delce črnega ogljika iz prometa. Tako dobimo zemljevide trenutnih obremenitev in kratkoročne napovedi koncentracij BC po soseskah. (<https://inka.pnz.si/>)

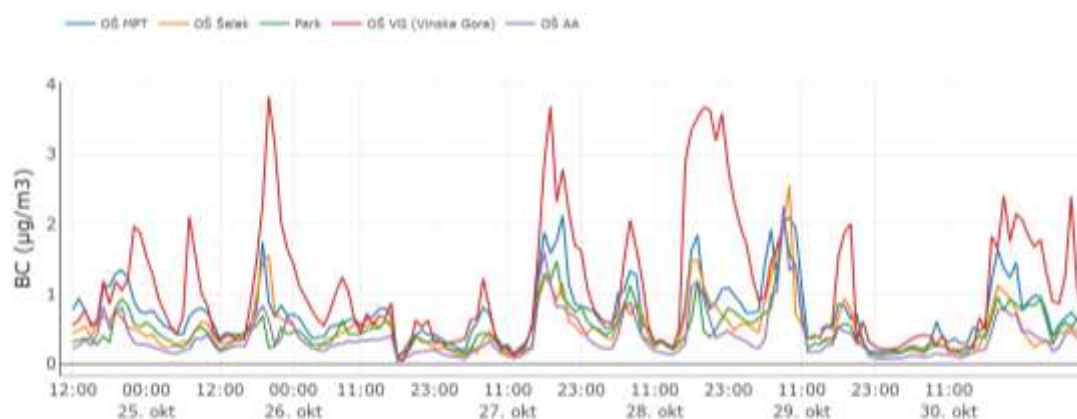
Promet: makroskopski model za ceste ocenjuje prometne tokove po urah (jutranje/večerne konice, delavniki/vikendi) in služi kot vhodni podatek za napovedi črnega ogljika in hrupa. (<https://inka.pnz.si/>)

Algoritem INKA-B-ZZP temelji na združevanju podatkov o onesnaženosti zraka (Z) in zvočni obremenitvi (Z) zaradi cestnega prometa (P) ter omogoča celostno vrednotenje okoljskih dejavnikov, ki vplivajo na kakovost bivanja v mestnem okolju. Rezultat je enoten in razumljiv kazalnik, ki združene podatke pretvori v preprost indikator kakovosti bivanja. (<https://inka.pnz.si/>)

Tabela 4: Parametri vrednosti črnega ogljika

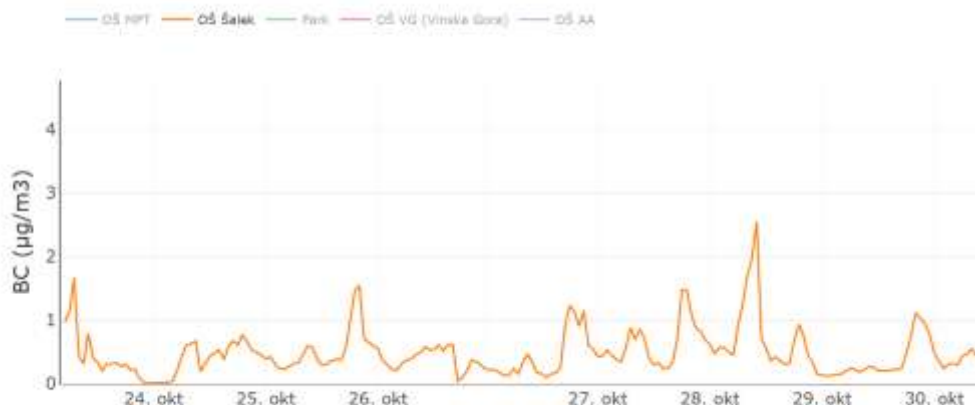
BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Odlična	$\leq 0,2$
Zelo dobra	0,2 – 0,5
Dobra	0,5 – 1
Sprejemljiva	1 – 3
Slaba	3 – 7
Zelo slaba	7 – 12
Izredno slaba	> 12

Indikator ZRAK temelji na izmerjeni koncentraciji črnega ogljika (BC). Izmerjene vrednosti pretvorimo v opisne stopnje kakovosti zraka po vnaprej določenih pragovih, vidnih v tabeli 4. Na prikazu to pomeni jasno barvno lestvico, kjer višje vrednosti BC pomenijo slabšo kakovost zraka. Indikator se posodablja vsako uro in je na voljo tako za trenutno stanje kot za kratkoročno napoved. (<https://inka.pnz.si/>)



Graf 5: Časovni potek koncentracij po merilnih mestih zadnji teden oktobra 2025

Na grafu 5 vidimo, da so največje imisije na Vinski Gori, kjer v konicah znašajo do $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je slaba kakovost zraka. Vrednosti imisij v mestnem okolju dokaj podobne in bistveno ne odstopajo na nobenem merilnem mestu. Najvišje imisije ne presegajo $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je sprejemljiva kakovost zraka. Imisije so večje v nočnih urah, na kar verjetno najbolj vpliva padec temperature in kurjenje iz individualnih kurišč.



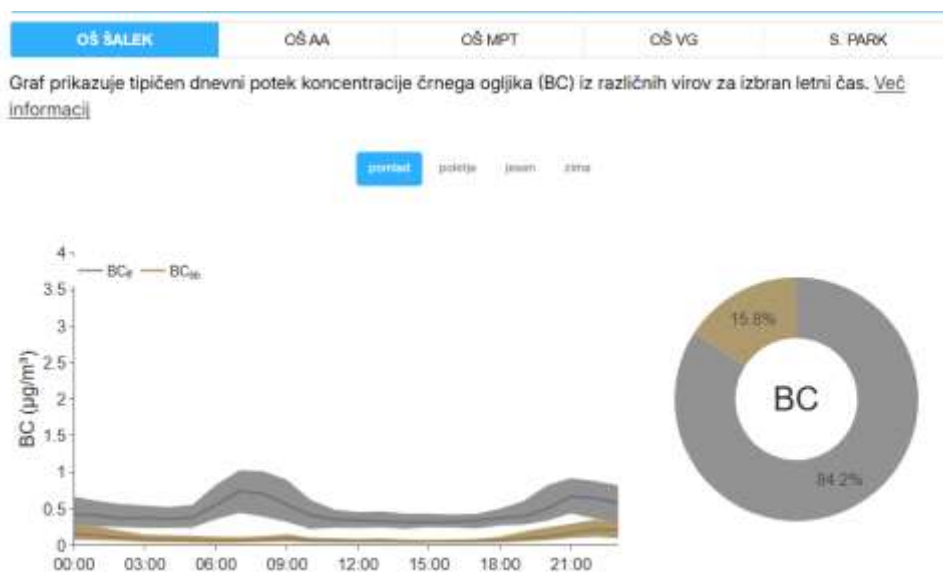
Graf 6: Časovni potek koncentracij na OŠ Šalek zadnji teden oktobra 2025

Iz grafua 6 je razvidno, da povprečne imisije na merilnem mestu v Šaleku znašajo med 0 in 2,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Opazno je, da vrednosti nihajo, na kar odločilno vplivajo vreme, gostota prometa in individualna kurišča. Glede na lego naselja lahko sklepamo, da veliko k manjšim imisijam vpliva tudi dobra prevetrenost.

Mestna občina Velenje je vključena v projekt 100 podnebno nevtralnih pametnih mest. Mesto ima dobro urejeno daljinsko ogrevanje. Projekt je inovativen in združuje tri meritve: promet, onesnaženost z zvokom in onesnaženost zraka. Pri zraku je bila uporabljena dodatna inovativna metoda merjenja črnega ogljika.

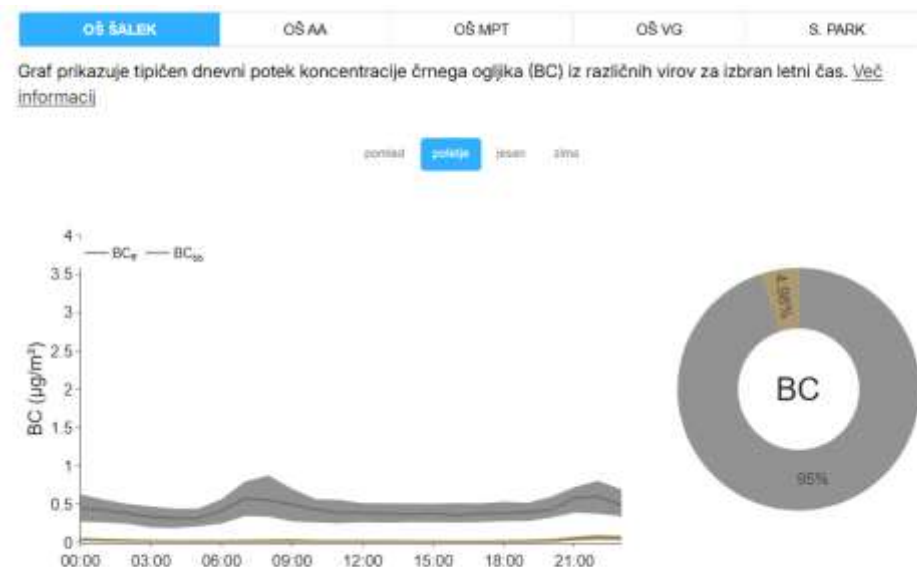
Črni ogljik predstavlja del trdih delcev PM 2,5, za katere je znano, da zelo slabo vplivajo na zdravje ljudi. To so zelo majhni delci, ki dobro prodrejo v pljuča. Črni ogljik je potrebno meriti ločeno od skupne mase delcev PM 2,5, ker ti vsebujejo tudi naravne in mineralne snovi, ki za naše telo niso škodljive. Glavni vir črnega ogljika je promet, drugi pa kurjenje lesne biomase. Kurjenje lesne biomase v Mestni občini Velenje ne povzroča veliko onesnaženja, saj ima mesto zelo dober daljinski sistem ogrevanja.

Kurjenje lesne biomase je regijski problem, zato te delce vseeno zaznamo tudi v mestu. Središče Velenja ima zaradi daljinskega sistema ogrevanja bistveno boljši zrak, posledično pa je tudi kakovost bivanja v centru Velenja boljša kot na Vinski gori, kjer je ogromno zasebnih kurišč.



Graf 7: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v pomladanskih mesecih

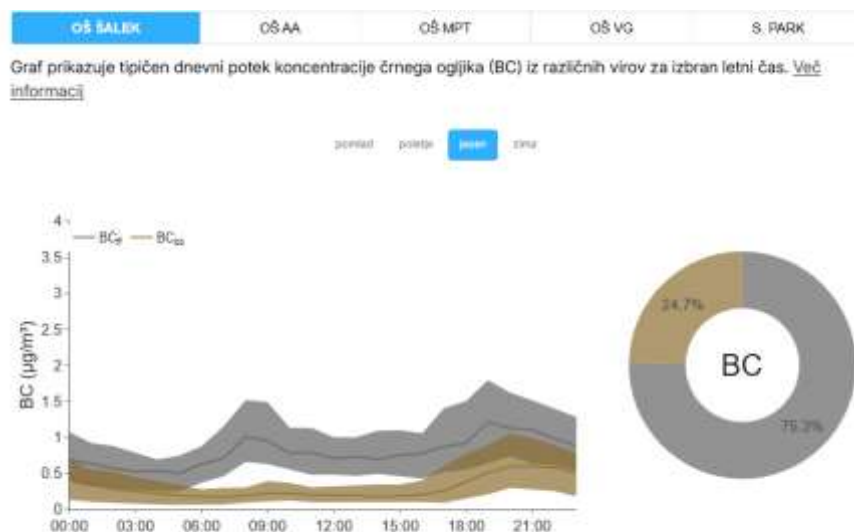
Na grafu 7 vidimo, da delež prometa (BC_{BB}) pri imisijah črnega ogljika v pomladnih mesecih na merilnem mestu v Šaleku predstavlja dobrih 15 %, delež kurišč (BC_{FF}) pa slabih 85 % emisij. Imisije prometa so najvišje med 21. in 24. uro, kar je dokaj nenavadno. Imisije ne presegajo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kakovost zraka dobra. Najverjetneje gre za tranzitni promet mimo Šaleka. Največje imisije kurišč pa so med 6. in 9. uro in po 21. uri. Glede na dejstvo, da gre za kurilno sezono, so rezultati pričakovani.



Graf 8: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v poletnih mesecih

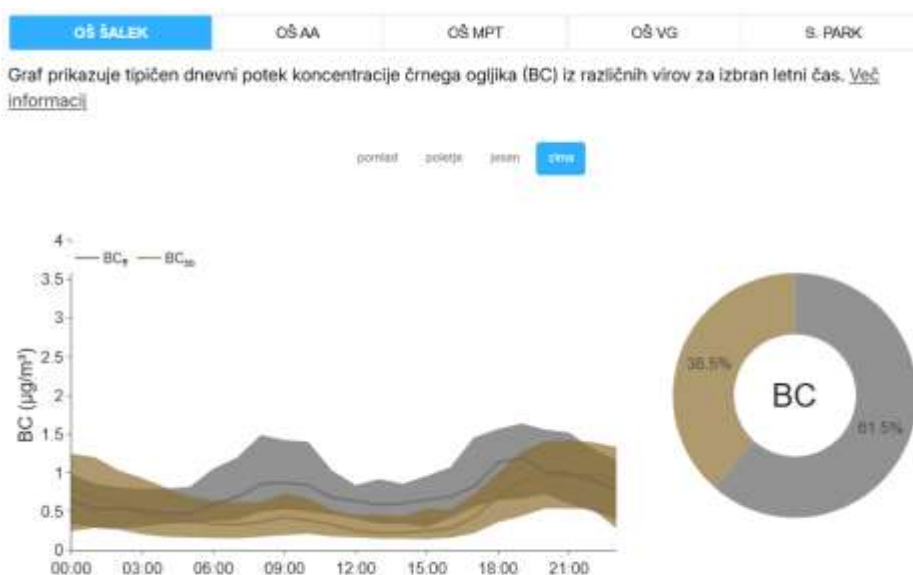
Na grafu 8 vidimo, da delež prometa (BC_{BB}) pri imisijah črnega ogljika v poletnih mesecih na merilnem mestu v Šaleku predstavlja slabih 5 %, delež kurišč (BC_{FF}) pa okoli 95 % imisij. Imisije prometa so nekoliko višje med 21. in 24. uro. Delež prometa je zelo nizek. Največje

imisije kurišč pa so med 6. in 9. uro in po 21. uri. Imisije ne dosega niti $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kakovost zraka dobra. Glede na dejstvo, da ne gre za kurilno sezono, so rezultati nepričakovani.



Graf 9: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v jesenskih mesecih

Na grafu 9 vidimo, da delež prometa (BC_{BB}) pri imisijah črnega ogljika v jesenskih mesecih na merilnem mestu v Šaleku predstavlja slabih 25 %, delež kurišč (BC_{TT}) pa okoli 75 % emisij. Imisije prometa so najvišje okoli 20. ure. Najverjetneje gre za tranzitni promet mimo Šaleka. Največje imisije kurišč pa so med 8. in 9. uro in po 19. uri. Imisije ne presegajo $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kakovost zraka dobra. Glede na dejstvo, da gre za kurilno sezono, so rezultati pričakovani.



Graf 10: Koncentracije črnega ogljika na OŠ Šalek v zimskih mesecih

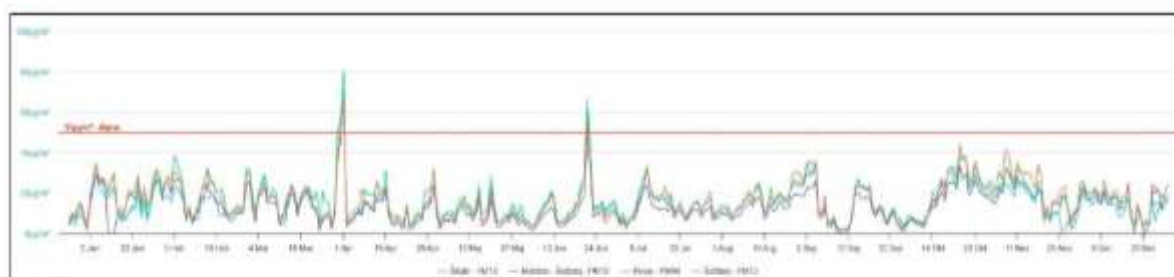
Na grafu 10 vidimo, da delež prometa pri imisijah črnega ogljika v zimskih mesecih na merilnem mestu v Šaleku predstavlja slabih 40 %, delež kurišč pa dobrih 60 % imisij. Imisije prometa so najvišje po 21. uri, kar je dokaj nenavadno, saj je pozimi uporaba vozil glede na poletje večja. Največje imisije kurišč pa so med 7. in 10. uro in po 19. uri. Imisije znašajo med 1 in 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kakovost zraka sprejemljiva. Glede na dejstvo, da gre za kurilno sezono, so rezultati pričakovani.

Tabela 5: Pregled presežnih vrednosti PM 10 v letu 2024 (vir: MOV, 2025)

Merilno mesto	dnevne vrednosti nad mejno vrednostjo (v dnevih)	Letna mejna koncentracija (35 dni)
Šoštanj	2	ni presežena
Škale	3	ni presežena
Pesje	4	ni presežena
Mobilna postaja	1	ni presežena

Vir: EIS

Kot je razvidno iz Letnega poročila o stanju okolja v Mestni občini Velenje (vir: Mestna občina Velenje, 2025), lahko v tabeli vidimo, da je bila v letu 2024 zelo dobra kvaliteta zraka. Mejne vrednosti za delce PM 10 so se na štirih merilnih mestih pojavila samo 10-krat. Letna mejna koncentracija 35 dni ni bila presežena tudi s sesštevkom vseh štirih merilnih mest. Izmerjene vrednosti delcev PM 10 na grafu 11 pa kažeta samo dvakrat letno preseganje mejnih vrednosti, in sicer ob koncu marca in konec junija.



Vir: EIS

Graf 11: Izmerjene vrednosti PM 10 v letu 2024 (vir: MOV, 2025)

3.5 INTERVJU Z DR. ASTO GREGORIČ

1. Zaposleni ste na Fakulteti v Novi Gorici, kjer tudi predavate pri predmetu Atmosfera, plini, aerosoli in podnebne spremembe. Kaj so vaše glavne ugotovitve v zadnjem obdobju? Ali se lahko upravičeno bojimo, da se kvaliteta zraka v večjih slovenskih mestih slabša?

Res, predavam na Univerzi v Novi Gorici, kjer študentom predstavim predvsem ozračje z vseh različnih vidikov, se pravi naše ozračje ni samo kakovost zraka, ampak tudi kakšen delež sončnih žarkov lahko pride do Zemeljskega površja in vse to obravnavamo s študenti, kjer se naučijo različnih vrst meritev, kaj je to kakovost zraka, katere parametre se meri, ter kako to vpliva na klimo. V resnici je kvaliteta zraka v mestih odvisna od tega, kakšni so viri emisij. Če je več prometa (najbolj znan vir škodljivih snovi v zraku), se mesta v Sloveniji trudijo, da bi uporabljali več javnega transporta in manj avtomobilov. Poskušamo pa tudi zmanjšati kurjenje z lesom. Jaz se ukvarjam s področjem optičnih meritev delcev - to pomeni, kako ti delci vplivajo na svetlobo. To pomeni da, nekateri delci svetlobo absorbirajo in bi jih videli črno, nekateri pa svetlobo sipajo svetlobo (kot npr. megla, ki jo vidimo belo).

2. Podjetje Aerosol iz Ljubljane na naši šoli že drugo šolsko leto izvaja meritve emisij črnega ogljika v zraku. Zavedamo se, da lahko tudi z izobraževanjem mladih storimo veliko za izboljšanje zraka. Kje vidite največje prednosti šol na tem področju?

Šole lahko predvsem vplivajo na izobraževanje mladih in da nam učitelji razložijo, kaj je to kakovost zraka, kako lahko mi vplivamo na kakovost zraka, kaj bi lahko vsak posameznik naredil, da bi bila kakovost zraka boljša. Ko je zunaj topleje, lahko rečejo staršem, da gredo v šolo peš, namesto da jih starši pripeljejo z avtomobilom. Seveda pa lahko gredo tudi starši v službo s kolesom. To seveda ni vedno izvedljivo, ampak se pa da. Tudi načini kurjenja zelo vplivajo na emisije, to se pravi, da suh les sprošča manj delcev v zrak v primerjavi z mokrim.

3. V zimskih mesecih opažamo, da se na avtomobilih pojavlja veliko mikroskopsko majhnih trdih delcev, ki se usedajo na zunanje površine avtomobilov. Ali k temu prispeva ogrevanje in kurjenje v individualnih kuriščih? Naše mesto ima dobro urejen sistem daljinskega toplotnega ogrevanja, zato bi pričakovali, da je onesnaževanje v Velenju manjše. Kakšno je vaše mnenje glede omenjenega?

Ta prah, ki ga vidite na avtomobilih, so večji delci, ki se posedajo iz zraka. Del vseh aerosolov nastaja z emisijami, veliko teh delcev pa predstavljajo resuspendirani delci in to je prah, ki se posede na naš avtomobil. Prah, ki ga vidimo na avtomobilu večinoma niso ti delci, ki nastajajo pri kurjenju, ampak so to delci dvignjeni s tal - ti delci so večji in jih lažje vidimo. Črni ogljik pa je tako majhen, da ga zelo težko vidimo s prostim očesom. Onesnaževanje zaradi kurjenja lesa v Velenju je zagotovo manjše kot v drugih slovenskih mestih in je to zelo spodbudno, ker dokazuje, da je daljinsko ogrevanje res dober sistem in se zato lahko ogrevamo na človeku bolj prijazen način in da je okolje, v katerem živimo čistejše. Je pa res, da okoliške vasi nimajo daljinskega ogrevanja in da se ta onesnaženost posledično razširi tudi na mesto.

4. Črni ogljik je drugi najpogostejši onesnaževalec zraka. Zakaj je črni ogljik v primerjavi z ogljikovim dioksidom še posebej nevaren? Ker imamo v urbanih okoljih (mesta) veliko parkovnih površin bi te lahko zmanjšale emisije črnega ogljika. Ali kot strokovnjakinja na tem področju svetujete gibanje in rekreacijo v mestnem okolju? Kdaj je po vaše najboljši čas za gibanje in rekreacijo (v mislih imamo predvsem zimsko obdobje)?

Dve stvari sta, ki najbolj ločita črni ogljik in ogljikov dioksid in sicer: ogljikov dioksid je plin, medtem ko črni ogljik predstavlja trdne delce. Oba parametra vplivata na podnebje. Ogljikov dioksid absorbira svetlobo in zato onemogoča, da bi ta toplota Zemlje spet prehajala v vesolje in s tem se Zemlja počasi segreva. Ogljikov dioksid je zelo težko izločiti iz ozračja. Črni ogljik tudi vpliva na podnebje in ozračje ter vpliva tudi na zdravje. Črni ogljik za razliko od ogljikovega dioksida lahko izločimo iz ozračja. Če bi prenehali proizvajati te delce, bi se koncentracija le teh v desetih dneh znižala na nič – delci bi se izločili iz ozračja. V času največjega onesnaženja zraka je boljše, da se gibamo v notranjih prostorih, to pa zato, da ne vdihujemo preveč tega onesnaženega zraka. Vendar so samo določena obdobja v zimskem času, ki se jih moramo izogibati. Drugače pa je gibanje na zelenih površinah v mestih zelo priporočljivo. Po meritvah smo ugotovili, da so koncentracije najvišje v jutranjem in v večernem času. Odvisno je od tega, kdaj največ škodljivih emisij sprostimo v zrak in kako se te razpršijo in čez dan - ko imamo dovolj sonca in vetra se koncentracije znižajo in takrat je najboljši čas za rekreacijo.

5. Poseben problem je tudi povečana uporaba klimatskih naprav v poletnih mesecih. Danes ima klimatsko napravo praktično že vsako gospodinjstvo. Ali opazate povečanje izpustov tudi v poletnih mesecih?

Iz klimatskih naprav ne moremo zaznati izpuste direktno v mesto, zato ker klimatske naprave delujejo na elektriko. Veliko elektrike nastane v termoelektrarnah, kjer se uporablja premog in zato je uporaba elektrike v poletnem času povezana z emisijami CO₂, ampak to direktno ne vpliva na kakovost zraka, vpliva pa na izpuste ogljikovega dioksida in to je dolgoročno slabše za naše podnebje.

6. Ker prihajate iz zahodnega dela Slovenije nas zanima ali prevetrenost Vipavske doline kaj vpliva na emisije delcev črnega ogljika v tem delu Slovenije? Burja je pogost pojav predvsem v hladnem delu leta.

Izraz emisije pomeni, koliko delcev nastane in če me vprašate, ali so emisije črnega ogljika v vetrovnih dneh drugačne, je odgovor ne. Emisije so primerljive, ampak koncentracije oziroma kakovost zraka je boljša ker jih veter odnese oz. razprši.

7. Ali menite, da zapiranje rudnika v Velenju in posledično prestrukturiranje Velenjske kotline ter termoelektrarne Šoštanj lahko pripomore k boljši kakovosti zraka? Blok VI, ki je bil zgrajen pred leti je namreč moderen objekt, zgrajen po vseh takrat veljavnih okoljskih standardih.

To je zelo odvisno od tega, kako bo to prestrukturiranje potekalo. Zelo pomembno je, da izvajamo meritve. Tako bomo lahko ocenili, kako je to vplivalo na kakovost zraka.

Hvala za vaše odgovore. Verjamemo, da bo tudi naša raziskovalna naloga prispevala kak kamenček v mozaik izboljšanja kvalitete zraka v Velenju.

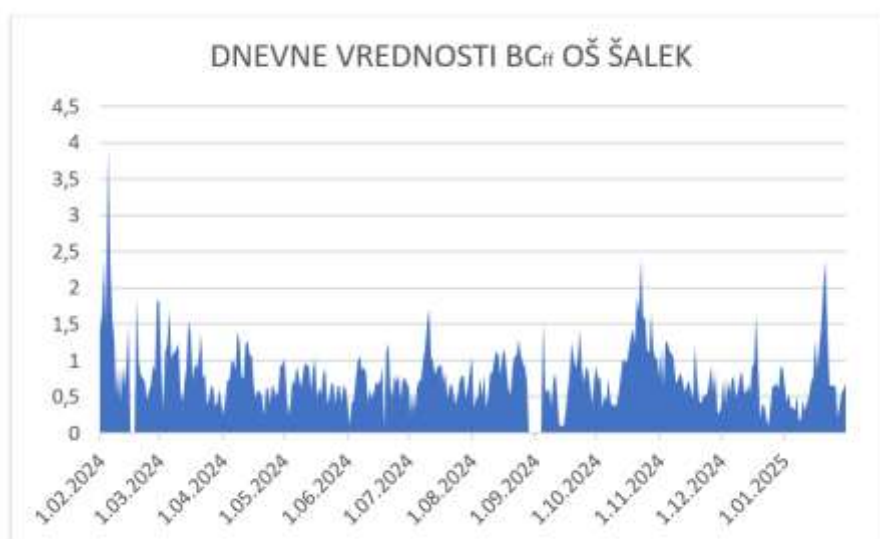
4 METODOLOGIJA

Pri raziskovalnem delu smo sledili priporočilom Raziskovalčevega praktikuma (Povše, 2020). Pri navajanju virov in literature ustnih virov smo upoštevali napotke s predavanja za raziskovalce. Teoretični del naloge smo pripravili s pomočjo ustrezne literature na temo črnega ogljika, ki je zelo obsežna. Pomagali smo si z Digitalno knjižnico Slovenije, nekaj uporabne literature pa smo pridobili s pomočjo dr. Mateja Ogrina, predstojnika Oddelka za geografijo na Filozofski fakulteti Univerze v Ljubljani in mag. Ane Kočar, vodjo Medobčinske službe za varstvo okolja na Mestni občini Velenje, za kar se obema iskreno zahvaljujemo. Podatke o meritvah smo pridobili s pomočjo dr. Martina Riglerja in dr. Aste Gregorič iz podjetja Aerosol. S slednjo smo opravili tudi daljši intervju. Udeležili smo se tudi predstavitve projekta INKA v Domu kulture Velenje meseca oktobra in seminarja za osnovnošolske raziskovalce, ki je potekal v mesecu novembru na Šolskem centru Velenje.

5 REZULTATI MERITEV

S pomočjo podjetja Aerosol smo pridobili podatke na petih merilnih mestih v Velenju in okolici. Izbrali smo tri referenčna merilna mesta in sicer Osnovno šolo Šalek, ki leži v vzhodnem delu mesta in je zaradi bližine reke Pake in in dolinske lege v smeri zahod-vzhod dobro prevetreno. Drugo izbrano merilno mesto je Osnovna šola Mihe Pintarja Toleda, ki leži v mestnem jedru neposredno ob Kidričevi cesti. Zaradi večjega obsega prometa bodo meritve pokazale, kakšen je vpliv prometa na onesnaženost zraka s črnim ogljikom. Tretje izbrano merilno mesto pa je podružna osnovna šola na Vinski Gori, ki leži sredi istoimenskega naselja, kjer je gostota poselitve manjša kot v mestu Velenje. Zaradi individualnih kurišč bodo meritve onesnaženosti s črnim ogljikom iz individualnih kurišč na tem mestu verjetno večje od mesta Velenje, kjer je urejen sistem daljinskega ogrevanja iz Termoelektrarne Šoštanj. Ker se meritve na vseh merilnih mestih niso začele v enakem časovnem intervalu, smo za vsako opazovano mesto analizirali podatke za obdobje enega leta (OŠ Šalek in POŠ Vinska Gora 1. 2. 2024 – 31. 1. 2025, OŠ Mihe Pintarja – Toleda 1. 6. 2024 – 31. 5. 2025).

Rezultate meritev, ki se beležijo v urnih intervalih smo preračunali v povprečne dnevne vrednosti, saj je bil obseg podatkov prevelik. Tako smo dobili dnevne vrednosti za promet in individualna kurišča. Izračun je zahteval veliko mero iznajdljivosti in uporabo Excelovih tabel, saj gre za podatke v obsegu nekaj manj kot 18000 enot na merilno mesto. Združene podatke prikazujemo v grafih po merilnih mestih.

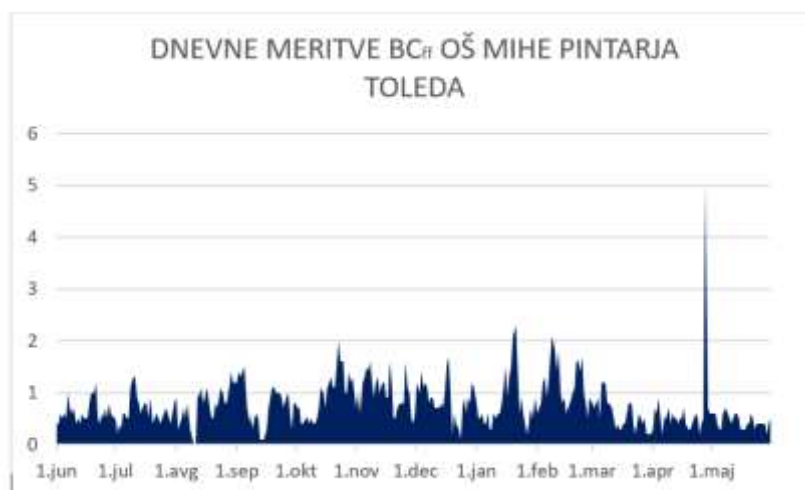


Graf 12: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na OŠ Šalek

Iz grafov 12 in 13 je razvidno, da so izmerjene vrednosti črnega ogljika na merilnem mestu OŠ Šalek v obdobju med 1. 2. 2024 in 31. 1. 2025 večinoma manjše od $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Imisije prometa (BC_{ff}) so višje od imisij individualnih kurišč. V Šaleku je večje blokovsko naselje, ob njem pa je tudi večje število individualnih hiš, zato so izmerjene vrednosti imisij individualnih kurišč (BC_{bb}) višje. Promet tudi ne poteka v neposredni bližini Osnovne šole Šalek, ampak na levem bregu reke Pake skozi predor pod ruševinami gradu Šalek, kar zagotovo vpliva na nižje izmerjene vrednosti. Imisije prometa so najvišje v zimskih mesecih, kar je pričakovano. Enako velja za individualna kurišča, saj so imisije v poletnih mesecih pod $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kvaliteta zraka zelo dobra.

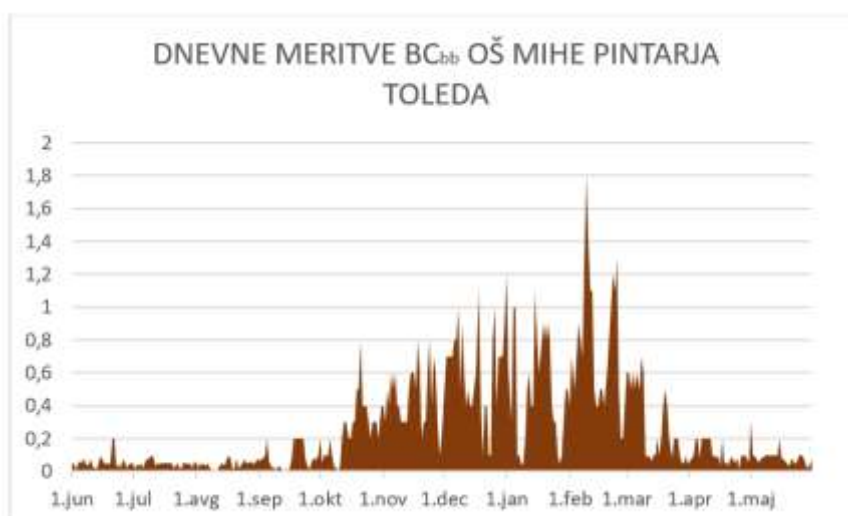


Graf 13: Meritve črnega ogljika kot posledica individualnih kurišč na OŠ Šalek



Graf 14: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na OŠ Mihe Pintarja Toleda

Iz grafov 14 in 15 je razvidno, da so izmerjene vrednosti črnega ogljika na merilnem mestu OŠ Mihe Pintarja Toleda v obdobju med 1. 6. 2024 in 31. 5. 2025 večinoma manjše od $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Edina izjema je obdobje konec aprila, ko so imisije presegle $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Imisije prometa (BC_{fr}) so višje od imisij individualnih kurišč (BC_{bb}). Kidričeva cesta je zelo prometno obremenjena, kar verjetno prispeva k večjim imisijam. Promet poteka v neposredni bližini merilnega mesta. Imisije individualnih kurišč so najvišje v zimskih mesecih, kar je pričakovano, čeprav gre za območje kjer je prevladujoč delež daljinskega ogrevanja. Izmerjene imisije so primerljive z imisijami v Šaleku. Enako velja za individualna kurišča, saj so imisije v poletnih mesecih pod $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kvaliteta zraka odlična.

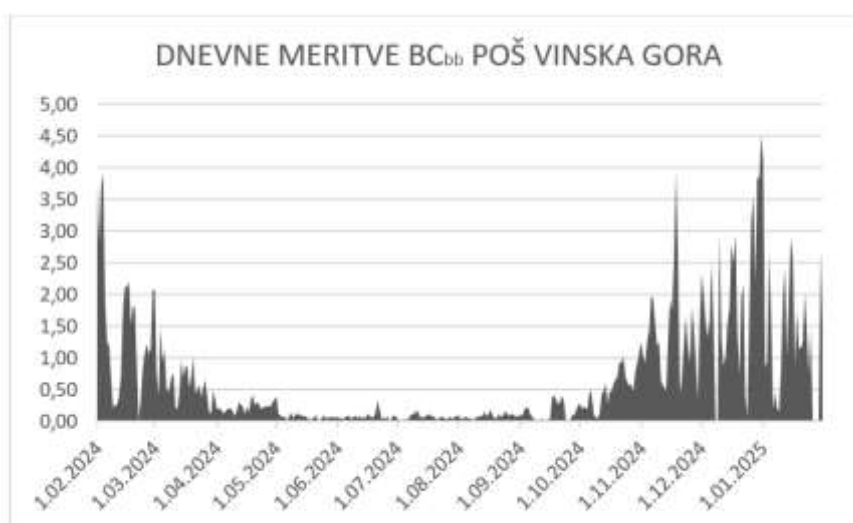


Graf 15: Meritve črnega ogljika kot posledica individualnih kurišč na OŠ Mihe Pintarja Toleda



Graf 16: Meritve črnega ogljika kot posledica prometa na POŠ Vinska Gora

Iz graf 16 in 17 je razvidno, da so izmerjene vrednosti črnega ogljika na merilnem mestu POŠ Vinska Gora v obdobju med 1. 2. 2024 in 31. 1. 2025 večinoma manjše od $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Imisije prometa (BC_{ff}) so pozimi nižje od imisij individualnih kurišč (BC_{bb}), kar je pričakovano, saj gre za gručasto naselje z individualnimi kurišči, ki leži nad dolino. Vinska Gora ni prometno obremenjena, kar zagotovo prispeva k manjšim imisijam. Imisije individualnih kurišč so najvišje v zimskih mesecih, kar je pričakovano. Izmerjene imisije individualnih kurišč so bistveno višje od imisij v Šaleku in na Kidričevi cesti in dosegajo tudi vrednosti preko $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kvaliteta zraka predvsem v zimskih mesecih slaba. Imisije prometa ves opazovalni čas znašajo med 1 in $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kvaliteta zraka le sprejemljiva in slabša kot v Velenju.



Graf 17: Meritve črnega ogljika kot posledica individualnih kurišč na POŠ Vinska Gora

6 RAZPRAVA

Prvo hipotezo, da je kakovost zraka v Šaleku slaba, saj zrak vsebuje veliko trdnih delcev, predvsem črnega ogljika, smo s pomočjo našega raziskovalnega dela ovrgli. Rezultati meritve, ki jih izvaja podjetje Aerosol, so pokazale, da je kvaliteta zraka na vseh merilnih mestih razen na Vinski Gori poleti zadovoljiva, izmerjene vrednosti pa v Šaleku tudi pozimi ne presegajo $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar pomeni, da je kvaliteta zraka zadovoljiva.

Drugo hipotezo, da na kakovost zraka v zimskih mesecih odločilno vplivajo individualna kurišča, lahko potrdimo.

Izmerjene meritve so pokazale, da se kakovost zraka v zimskih mesecih zaradi individualnih kurišč na vseh merilnih mestih poslabša. Najbolj onesnažen zrak ima Vinska Gora, sledita pa Kidričeva cesta in Šalek. Na onesnaževanje najbolj odločilno vplivajo individualna kurišča in lega, saj bi v centru Velenja pričakovali slabšo kvaliteto zraka kot v Šaleku. Ugotavljamo da tudi prevetrenost ne prispeva k zmanjšanju emisij v zimskih mesecih.

Tretjo hipotezo, da na slabšo kvaliteto zraka odločilno vpliva kotlinska lega mesta Velenje, lahko ovržemo.

Meritve so pokazale, da ima Velenje v primerjavi z Ljubljano in Celjem bistveno boljše kvaliteto zraka. Poleg kotlinske lege na kvaliteto zraka odločilno vpliva tudi promet. Velenje ima za razliko od Celja bistveno boljše urejen sistem ogrevanja, kar zagotovo prispeva k manjšim emisijam v zimskih mesecih, saj gre za primerljivi mesti.

Četrto hipotezo, za zmanjšanje emisij črnega ogljika lahko največ naredimo sami s preudarnim ogrevanjem v zimskih mesecih, lahko potrdimo.

Meritve, ki jih v Velenju izvaja podjetje Aerosol, so pokazale, lahko največ k boljši kvaliteti zraka prispevamo sami. Ugotovili smo, da je v hladnem delu leta pomembna dobra priprava kuriva z ustrezno kurilno vrednostjo, omejitve pri kurjenju na prostem, smotrno ogrevanje stanovanjskih površin, uporaba okolju prijaznega prevoza. Vse omenjeno je v Mestni občini Velenje dobro urejeno, zato ne presenečajo nižje emisije prometa in individualnih kurišč. Na stereotip, da imajo manjša naselja ob regionalnih središčih boljši zrak, lahko hitro pozabimo.

7 ZAKLJUČEK

V naši raziskovalni nalogi smo raziskovali kvaliteto zraka in merjenje črnega ogljika v Velenju.

Z raziskovalnim delom smo začeli meseca septembra. Idejo za raziskovanje smo dobili ob opazovanju naprav, ki že dve leti merijo črni ogljik na naši šoli. Ker smo tudi v zimskih mesecih opazili večje onesnaževanje zraka, smo se odločili, da raziščemo, kako črni ogljik vpliva na kvaliteto zraka v Velenju in okolici.

Najprej smo pregledali literaturo na temo črnega ogljika. Nato smo se udeležili predstavitve projekta INKA in opravili intervju z dr. Asto Gregorič iz podjetja Aerosol. Podjetje nam je posredovalo neobdelane podatke na petih merilnih mestih, od katerih smo izbrali tri referenčna merilna mesta (OŠ Šalek, OŠ Mihe Pintarja Toleda in POŠ Vinska Gora). Sledilo je empirično delo z obdelavo podatkov, saj smo urne podatke s pomočjo Excela preračunali v dnevne vrednosti ločeno za promet in individualna kurišča za vsa tri merilna mesta. Sledila je še obdelava podatkov in komentar pridobljenih podatkov s pripravo grafov. Ob tem smo naredili še primerjavo z Ljubljano in Celjem, saj je na temo črnega ogljika že nekaj literature, ki nam je omogočila primerjavo vseh treh mest.

Naše raziskovalno delo je mogoče razširiti na celotno Velenjsko kotlino. Zanimiva bi bilo izvesti raziskavo kakovosti zraka v Šoštanju zaradi Termoelektrarne Šoštanj in v nekaterih manjših naseljih v okolici Velenja, kot so: Bevče, Kavče, Konovo, Pesje, Paka pri Velenju, Paški Kozjak, Šentilj in Škale. Zaradi obsega naloge smo se omejili na tri opazovana mesta, pomemben faktor pa je bil tudi potek meritev, saj trenutno potekajo na petih merilnih mestih.

Zavedamo se, da je tudi zrak tisti, ki določa našo življenjsko energijo. Vsi ljudje tako in drugače preživimo čas na prostem, zato je pomembno, da že doma razmišljamo o tem, kako kvaliteten zrak bodo imeli naši zanamci.

8 POVZETEK

V raziskovalni nalogi smo raziskovali vpliv onesnaženosti s črnim ogljikom na kvaliteto zraka v Velenju. Čist zrak pomembno vpliva na naše zdravje, in ker ljudje veliko časa preživimo na prostem, je pomembno, da se zavedamo nevarnosti, ki jih prinaša onesnaženja zraka s črnim ogljikom.

Najprej smo s pomočjo Knjižnice Velenje in spleta pregledali ustrezno literaturo. S pomočjo podjetja Aerosol smo pridobili podatke o meritvah črnega ogljika v zadnjem letu na petih merilnih mestih v Velenju in okolici. Med temi smo izbrali OŠ Šalek, OŠ Mihe Pintarja Toleda in Vinsko Goro. Opravili smo tudi intervju z dr. Asto Gregorič z Univerze v Novi Gorici, ki strokovno sodeluje z omenjenim podjetjem.

Z raziskovalnim delom smo ugotovili, da je kvaliteta zraka na območju mesta Velenje ustrezna, medtem ko je kvaliteta zraka v Vinski Gori slabša. Ugotovili smo, da sta največja onesnaževalca zraka promet in individualna kurišča, ki pa zaradi urejenega sistema daljinskega ogrevanja v Velenju prispevajo manjši del onesnaževanja. Mestna občina Velenje v zadnjih letih veliko pozornosti namenja ekologiji. O tem priča tudi priznanje Green Leaf, uspešna vzpostavitev prometnih rešitev brez ogljičnega odtisa (Lokalc, Kamerat, električni vozni park MOV).

Raziskovalno delo je v prihodnje možno razširiti tudi na druga naselja v Velenjski kotlini, kjer meritve še ne potekajo. Zanimiva bi bila tudi raziskava števila dni z meglo ali temperaturnim obratom, ki jih zaradi obsega raziskovalne naloge nismo vključili.

9 VIRI IN LITERATURA

ARHIVSKI VIRI

AEROSOL – Podatki o meritvah črnega ogljika v MOV 2024-25

Opazovalna mesta: OŠ Šalek, OŠ Mihe Pintarja Toleda, POŠ Vinska Gora

ARSO – Agencija Republike Slovenije za okolje

Kakovost zrak v Sloveniji v letu 2024

MOV – Mestna občina Velenje

Letno poročilo o stanju okolja v MOV 2024

SLOVARJI

Slovar slovenskega knjižnega jezika. Ljubljana: Državna založba Slovenije, 1998.

LITERATURA

1. Forstnerič, Leja, *Škodljivi vplivi črnega ogljika v ozračju na okolje in zdravje ljudi*, NIJZ, Ljubljana, 2017.
2. Glojek, Kristina, Gregorič, Asta, Močnik, Griša et al.: *Onesnaženost zraka z delci in s črnim ogljikom*, GeograFF 25/9, Filozofska fakulteta, Ljubljana, 2022.
3. Grižon, Lara, *Vpliv črnega ogljika na okolje in zdravje ljudi*, diplomsko delo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, 2022.
4. Jereb, Borut, Vovk Korže, Ana, Bezgovšek, Nika: *Onesnaženost s PMx delci in črnim ogljikom v Celju*, Geografski obzornik, številka 2, 2018.
5. Močnik, Griša, Lenačič, Matevž: *Črni ogljik, povzročitelj podnebnih sprememb*, prispevek na konferenci NAK za učitelje naravoslovnih predmetov.
6. Povše, Anita: *Raziskovalčev praktikum: priročnik za izdelavo in predstavitev raziskovalne naloge*. Velenje: Šolski center Velenje, 2020.
7. Rigler, Martin: *Merjenje črnega ogljika in njegovih virov ter primeri sodelovanja s slovenskimi občinami*, Predstavitev nove evropske direktive o kakovosti zraka, Ljubljana, 27. 5. 2025.
8. Rigler, Martin, Martinec, Matija, Vičič, Maja: *Merjenje koncentracij črnega ogljika in določanje njegovih virov v okolici treh osnovnih šol – uvod v projektno učenje*, Fizika v šoli, letnik 26, številka 2.

ELEKTRONSKI VIRI

Green go, <https://www.velenje.si/elektricni-vozili-greengo-zdaj-na-voljo-tudi-obcanom-in-drugim/>, dostop 1. 12. 2025.

Kaj dela EU za zmanjšanje emisij zraka,

<https://www.europarl.europa.eu/topics/sl/article/20230822STO04226/kaj-dela-eu-za-zmanjsanje-onesnazenosti-zraka>, dostop 1. 12. 2025.

Kako je s kakovostjo zraka v Celju, <https://www.celje.info/aktualno/kako-je-z-onesnazenostjo-zraka-v-celju-lani-in-na-kaj-ravno-zdaj-opozarja-nijz/>, dostop 15. 1. 2026.

Kamerat, <https://www.velenjcan.si/druzba/voznja-s-kameratom-v-veliko-pomoc-starejsim-in-gibalno-oviranim-pri-mobilnosti/>, dostop 1. 12. 2025.

Lokalc, <https://svet24.si/lokalno/savinjska/novice/slovenija/velenje-skoraj-300000-potnikov-na-300000-kilometrih-1813217>, dostop 1. 12. 2025.

Projekt INKA, <https://inka.pnz.si/>, dostop 1. 12. 2025.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se vsem, ki so nam pomagali pri raziskovalnem delu, še posebej obema mentorjema za vse nasvete in usmerjanje. Hvala tudi Asti Gregorič za opravljen intervju in našim bližnjim za podporo. Hvaležni smo tudi podjetju Aerosol in direktorju Martinu Riglerju za posredovanje podatkov o meritvah. Zahvaljujemo se tudi gospodu Urhu Ferležu za jezikovni pregled naše naloge.

PRILOGE

Priloga 1: Formula za merjenje imisij črnega ogljika

$$ATN = \ln(I_0 / I)$$

To je **atenuacija (ATN)** – meri, koliko se signal (najpogosteje svetloba) oslabi, ko gre skozi nek medij (npr. filter, vzorec, aerosole ...).

- I_0 = referenčna intenziteta
→ koliko signala imaš **brez vzorca** (ali na začetku)
- I = merjena (sensing) intenziteta
→ koliko signala pride skozi **z vzorcem**
- \ln = naravni logaritem

Zakaj logaritem?

Ker absorpcija deluje **multiplikativno** (vsaka plast “poje” določen delež svetlobe), logaritem pa to lepo pretvori v **linearno mero oslabitve**.

☞ Če je:

- $I = I_0 \rightarrow ATN = 0$ (ni absorpcije)
- $I < I_0 \rightarrow ATN > 0$ (nekaj se absorbira)
- večja kot je ATN → več absorpcije

$$b_{a\beta s} \sim \Delta ATN / \Delta t$$

Tukaj gremo korak dlje: gledamo **kako hitro se ATN spreminja s časom**.

- $b_{a\beta s}$ = absorpcijski koeficient
(pogosto uporabljen v meritvah aerosola, npr. black carbon)
- $\Delta ATN / \Delta t$ = sprememba atenuacije na časovno enoto
→ kako hitro se filter “temni”

Torej:

- če ATN hitro narašča → veliko absorbirajočih delcev
- če ATN raste počasi → manj absorpcije

Znak \sim pomeni *sorazmerno*, ker v praksi zraven pridejo še:

- pretok zraka
- površina filtra
- kalibracijski faktorji

Priloga 2: Vabilo na predstavitev projekta INKA



VABILO

Spoštovani,

v Mestni občini Velenje razvijamo celovit sistem za spremljanje kakovosti bivanja, ki bo omogočal natančno spremljanje zraka, hrupa in prometa. S tem želimo izboljšati življenjske pogoje v mestu ter občankam in občanom ponuditi podatke za večjo ozaveščenost in aktivno vključevanje v trajnostni razvoj.

V četrtek, 9. oktobra, ob 11. uri vas vabimo v malo dvorano Doma kulture Velenje (Titov trg 3) na javno predstavitev inovativnega razvojnega projekta za spremljanje kakovosti bivanja, ki bo potekala v obliki delavnice, odprte za strokovno in splošno javnost.

Projekt predvideva razvoj prvega celovitega sistema za spremljanje, napovedovanje in zmanjševanje okoljskih obremenitev. V Velenju, ki sodeluje kot pilotno okolje, so bila že vzpostavljena merilna mesta za spremljanje kakovosti zraka in zvočnega okolja. Sistem združuje okoljske podatke v skupni kazalnik kakovosti bivanja, ki bo Mestni občini Velenje v pomoč pri oblikovanju ukrepov za zmanjšanje emisij in izboljšanje življenjskih pogojev. Kazalnik bo v času demonstracijske faze dostopen tudi javnosti – preko spleta in na informacijski tabli na Titovem trgu.

Program delavnice:

- Predstavitev projekta in konzorcija – Martin Rigler, Aerosol, d. o. o.
- Merjenje in napovedovanje kakovosti zraka (črni ogljik) – Asta Gregorič, Aerosol, d. o. o.
- Zvočne obremenitve in ocenjevanje zvočnega okolja (SoundScape) – Luka Dolenc, IMS, d. o. o.
- Kazalnik bivanja INKA-B-ZP – Jernej Vozelj, PNZ, d. o. o.

Vijudno vabljene, da se dogodka udeležite in s svojim sodelovanjem prispevate k razpravi o prihodnjem razvoju kakovostnega bivanjskega okolja v Mestni občini Velenje.

Udeležbo potrdite na elektronski naslov: ana.toccar@velenje.si

Peter Dermol

Projekt, ki poteka v sodelovanju s podjetji Aerosol d. o. o., PNZ d. o. o. in IMS merilni sistemi d. o. o., traja od marca 2023 do februarja 2026 in ga financira Evropska unija – NextGenerationEU.

Velenje, 2. oktober 2025

**MESTNA
OBČINA
VELENJE**

Titov trg 1
SI-3020 Velenje
T: 03 9961 600
E: info@velenje.si
W: velenje.si
ID za GDV SI45062964
Podoben SZR MDV
pri Rossi Slovenije
056 0138 3016 0018 411

Priloga 3: Ukrepi MOV za zmanjšanje emisij v prometu



KAMERAT

Mestna občina Velenje
MC Velenje
Udarnik MC Velenje

**brezplačni,
okolju prijazni prevozi**

starejših in
gibalno oviranih

080 15 70

Prevoze opravljajo prostovoljci!



Izjavljamo, da smo pri pripravi raziskovalne naloge upoštevali etična načela in smernice v skladu z veljavnimi pravnimi akti raziskovalnega področja.

Podpisani:

Avtorji: Ajan Suljkanović, Tine Govek in Filip Goličnik

Ajan Suljkanović Tine Govek Filip Goličnik

Mentorja: dr. Igor Košak in Marko Moškotevc

