

ONESNAŽENOST ZRAKA S ČRNIM OGLJIKOM – ŠTUDIJA PRIMERA IZ LOŠKEGA POTOKA

Kristina Glojek, mag.*, dr. Asta Gregorič, dr. Matej Ogrin*****

* Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta Univerze v Ljubljani,
Aškerčeva 2, SI-1000 Ljubljana

** AEROSOL razvoj in proizvodnja znanstvenih inštrumentov, d.o.o.,
Kamniška 41, SI-1000 Ljubljana

*** CIPRA Slovenija,
Trubarjeva 50, SI-1000 Ljubljana

e-pošta: kristina.glojek@ff.uni-lj.si, asta.gregoric@aerosol.eu, slovenija@cipra.org



Izvirni znanstveni članek

COBISS 1.01

DOI: 10.4312/dela.50.5-43

Izvilleček

Predstavljena je raziskava onesnaženosti zraka s črnim ogljikom in finimi delci na primeru podeželskega območja v občini Loški Potok v letu 2017/18. Meritve onesnažil so potekale na dveh različnih lokacijah, v vasi Retje na dnu kraške kotanje in na vrhu hriba Tabor v naselju Hrib. Rezultati meritev kažejo, da na onesnaženost zraka s črnim ogljikom vplivajo predvsem ogrevanje gospodinjstev na biomaso (skoraj 80 % vseh izpustov črnega ogljika) in neugodne meteorološke razmere za redčenje onesnažil v času temperaturnih inverzij, ko smo v Retjah izmerili več kot trikrat višje koncentracije kot v dneh s premešanim ozračjem. V zimi 2017/18 so bile povprečne koncentracije v Retijski kotanji celo višje kot v Ljubljani, kar opozarja na problem onesnaženega zraka tudi na podeželju.

Ključne besede: lokalno onesnaževanje zraka, ogljični delci, podeželje, hribovit relief, temperaturna inverzija, izgorevanje biomase

I UVOD

Od vseh onesnažil v zraku so z delci in še bolj s črnim ogljikom povezani največji negativni vplivi na zdravje ljudi (Health effects of ..., 2012; Health effects of ..., 2013). Najpomembnejši prepoznani učinki na zdravje so prezgodnja umrljivost, poslabšanje boleznih dihal in srčno-žilnih bolezni, spremembe v delovanju avtonomnega živčevja, spremembe krvnega pritiska in pljučna obolenja (Bond in sod., 2013; Health effects of ..., 2013; Kranjec in sod., 2016). Delci v zraku pomembno vplivajo tudi na podnebje, saj vplivajo na optične lastnosti ozračja in tako spreminjajo Zemljino sevalno ravnotežje. Črni ogljik

močno vpija Sončevo sevanje in je za ogljikovim dioksidom najpomembnejši povzročitelj podnebnih sprememb (Bond in sod., 2013; IPCC, 2013).

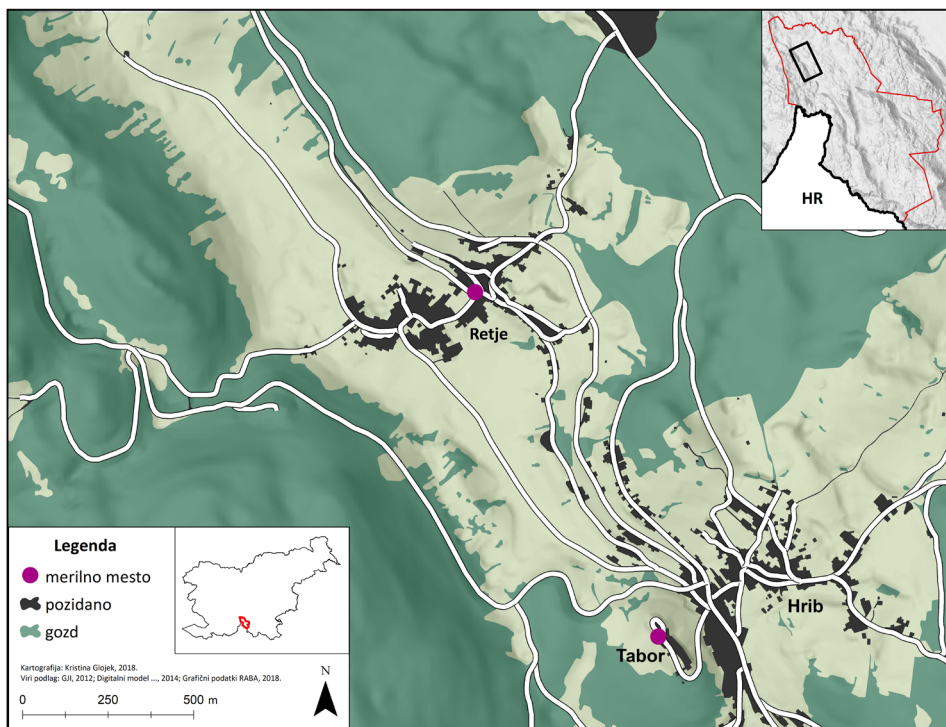
Glede na vplivno območje in raven opazovanja govorimo o globalni, regionalni in lokalni onesnaženosti zraka. Na regionalno in lokalno onesnaženost zraka zelo pomembno vplivajo značilnosti površja in raba tal. Vpliv površja je zlasti izrazit na reliefno razgibanih območjih, kjer se razmere v ozračju in s tem onesnaženost zraka spreminjajo na zelo kratke razdalje. V kotlinah, dolinah in kraških kotanjah, kjer leži večina naselij v Sloveniji, se pogosto vzpostavijo specifične meteorološke razmere in s tem drugačen prostorski in časovni vzorec onesnaženosti zraka kot na širšem območju in na ravninah (Rakovec, Žabkar, 2012; Petkovšek, 1979). Zlasti v hladni polovici leta so v reliefnih kotanjah talne temperaturne inverzije pogost in izrazit pojav (Ogrin, 2003) in tedaj se pri tleh oblikuje zelo stabilna zračna plast, ki močno ovira ali celo preprečuje navpično izmenjavo zraka z zgornjimi deli ozračja in prevetritev.

Neugodne meteorološke razmere za redčenje in visoki izpusti so tudi razlog za čezmerno onesnaženost zraka v Sloveniji. Dosedanja uradna merilna mreža kakovosti zraka Agencije Republike Slovenije za okolje je glede na heterogene reliefne razmere Slovenije precej skopa in zajema predvsem urbana območja. O stanju onesnaženosti zraka na podeželju, ki zajema večino ozemlja Slovenije (Prostorske tipologije ..., 2017) in kjer po najnovejših podatkih živi pribl. 50 % vseh prebivalcev Slovenije (Prebivalstvo po ..., 2018), pa praktično nimamo podatkov. Več raziskav onesnaženosti zraka z delci na območju Slovenije (npr. Ogrin in sod., 2014; Ogrin in sod., 2016; Ježek, 2015; Močnik, 2009; Šegula in sod., 2010; Koleša, Šegula, Komar, 2012; Koleša, Šegula, Muri, 2011; Šegula in sod., 2011; Drinovec, Ježek, Močnik, 2012; Jereb in sod., 2018) je proučevalo kakovost zraka v urbanih območjih. Večji poudarek je bil tudi na prometnemu onesnaževanju (npr. Bolte, 2005, Cerkvenc, 2012, Projekt SILAQ ..., 2003), zanemarjalo pa se je proučevanje vpliva uporabe biomase za ogrevanje gospodinjstev. Dosedanje meritve in raziskave pa kažejo, da h koncentracijam delcev v zraku v Sloveniji največ prispeva ravno izgorevanje biomase (glej zgoraj navedene reference). Tuje raziskave na podeželju in v mestih (Puxbaum in sod., 2006; Glasius in sod., 2008; Caseiro in sod., 2009; Wählin in sod., 2010; Klenø Nøjgaard in sod., 2012; Fuller in sod., 2013; Herich in sod., 2014; Denier van der Gon in sod., 2015), so pokazale, da že manjši delež gospodinjstev, ki se ogreva na biomaso, močno vpliva na poslabšanje kakovosti zraka na nekem območju. Glede na to, da se v Sloveniji večina individualnih hiš ogreva na biomaso, je pričakovati visoke koncentracije onesnažil v hladni polovici leta tudi na podeželju, zlasti v poseljenih kotanjah. V prispevku želimo predstaviti onesnaženost zraka s črnim ogljikom in finimi delci na primeru podeželskega območja kraške kotanje Retje v občini Loški Potok. Za ta namen smo v letu 2017/18 opravljali meritve z Aethalometrom in spektrometrom za meritve velikosti delcev z meritvijo njihove mobilnosti (MPSS, *ang. Mobility Particle Size Spectrometer*).

2 OBMOČJE PROUČEVANJA

Proučevano podeželsko območje je Retijska kotanja, ki se nahaja v občini Loški Potok. Občina leži na skrajnem jugu Slovenije, na meji med Notranjsko, Dolenjsko in Gorskim Kotarjem na Hrvaškem.

Slika 1: Območje proučevanja z označenima merilnima postajama kakovosti zraka in meteorološko postajo Društva za raziskovanje vremena in podnebja.



Gre za kraško območje s številnimi kotanjami. Nadmorske višine se gibljejo med 403 in 1.254 m, povprečna nadmorska višina je 884 m. Zaradi razmeroma visokih nadmorskih višin se povprečne letne temperature v večjem delu občine gibljejo med 6 in 8 °C. Preko celega leta se lahko najnižje temperature spustijo do ali pod ledišče (Povprečne homogenizirane ..., 2018). Nizke temperature na območju niso le posledica razmeroma visoke nadmorske višine, ampak predvsem dobrih pogojev za ohlajanje zraka v kraških kotanjah (pojav temperaturne inverzije), zlasti pozimi ob mirnih, jasnih nočeh. Minimalne temperature kraških polj in kotanj na območju je zaradi lege in podobne nadmorske višine mogoče primerjati z uradno izmerjenimi minimalnimi temperaturami na Babnem polju v sosednji občini, kjer je bila izmerjena uradna najnižja temperatura zraka v Sloveniji (-34,5 °C) (Slovenski vremenski ..., 2018). Retijska kotanja je dolga malo manj kot 3 km, v ožjem delu široka pribl. 250 m, v osrednjem, ki je najširši, pa širina doseže približno 500 m. Višinska razlika med dnem in obodom je med 100 in 200 m.

Slika 2: Pogled na vas Retje s cerkvico sv. Lenarta na hribu Tabor v ozadju (zjutraj (levo) in sredi dneva (desno)) (foto: K. Glojek).



Gozdarstvo in lesarstvo predstavljata pomembno gospodarsko dejavnost na območju, les pa je tudi glavni energent ogrevanja gospodinjstev (Predstavitev občine ..., 2018; Glojek, 2018).

S 13,7 prebivalci/km² (Gostota naseljenosti ..., 2018) sodi občina Loški Potok med najredkeje poseljene občine v Sloveniji. V Retijski kotanji ležita največji naselji v občini, in sicer naselje Retje na dnu kotanje s 380 prebivalci in del naselja Hrib s 379 prebivalci, ki leži na severovzhodnem pobočju kotanje (Prebivalstvo po ..., 2018). Na širšem območju ni večjih industrijskih obratov, zato industrijsko obremenjevanje ozračja ni problematično. Prometne obremenitve so majhne ali zelo majhne, saj z izjemo odseka Sodražica–Hrib, s povprečnim letnim dnevnim prometom 1.330 vozil, ostali odseki v povprečju zabeležijo manj kot 100 vozil na dan (Povprečni letni ..., 2016).

3 MERILNE METODE IN METEOROLOŠKI PODATKI

Na proučevanem območju sta bili postavljeni dve merilni mesti. Eno na dnu kotanje v vasi Retje (715 m) (ime merilne postaje: Retje), drugo na vrhu hriba Tabor (815 m), ki Retijsko kotanjo loči od sosednje Travniške in je del naselja Hrib (ime merilne postaje: Tabor). Glavne značilnosti, nastavitve in časovno obdobje merjenja z merilnimi instrumenti, katerih podatke predstavljamo v članku, so opisani v preglednici 1.

Preglednica 1: Opis merilnih instrumentov z glavnimi značilnostmi, nastavitvami in časovnim obdobjem merjenja na merilnih postajah Retje in Tabor.

Inštrument	Model inštrumenta	Merilno mesto	Časovno obdobje	Princip merjenja	Občutljivost in zaznavnost	Druge lastnosti	Izhodni podatki
Aethalometer	AE-33, Magee Scientific	Retje, Tabor	24. 10. 2017—28. 5. 2018	Atenuacija (oslabitev, absorpcija) svetlobe	Pretok: 5 l/min Časovna ločljivost: 1 min Natančnost: 30 ng	Meritve pri 7-valovnih dolžinah; σ : 7,7 m ² /g (Drinovec in sod., 2015)	Absorpcijski koeficient, izračunane masne koncentracije črnega ogljika (ng/m ³)
Spektrometer za meritev velikosti delcev	TROPOS referenčni MPSS št. 1 s TSI CPC 3772	Retje	30. 11. 2017—11. 3. 2018	Mobilnost delcev v električnem polju	Pretok: 1,0:5,0 l/min (CPC: elektrometer) Časovna ločljivost: 5 min Meja zaznavnosti: velikostni razpon: 20–800 nm delci, koncentracije: do 10 ⁶ #/cm ³ (Wiedensholer in sod., 2012)	Deli instrumenta: DMA TSI 3081, CPC na butanol, bipolarni nabojevalnik, vakumska črpalka Vir: Kr. 85	Velikostna porazdelitev delcev od 20 do 800 nm, številčne koncentracije delcev (#/cm ³)
	TSI MPSS s TSI CPC 3785	Tabor	30. 11. 2017—11. 3. 2018		Pretok: 1,0:5,0 l/min (CPC: elektrometer) Časovna ločljivost: 5 min Meja zaznavnosti: 20–600 nm delci koncentracije: do 10 ⁶ #/cm ³ (Wiedensholer in sod., 2012)	DMA TSI 3081 vodni CPC Vir: rentgenski žarki	Velikostna porazdelitev delcev od 20 do 600 nm, številčne koncentracije delcev (#/cm ³)
Celokupni kondenzacijski števec	TSI TCPC, model 3772	Retje	30. 11. 2017—23. 1. 2018	Kondenzacija delcev	Pretok: 1 l/min Časovna ločljivost: 5 min Meja zaznavnosti: do 10 ⁴ #/cm ³	CPC na butanol Vir: Kr. 85	Številčne koncentracije delcev (#/cm ³)
Meteorološki senzor	TPR 159, AMES	Retje, Tabor	24. 10. 2017—28. 5. 2018	Senzor	Časovna ločljivost: 1 min Natančnost: ± 0,15 °C; ± 2 % RH; ± 1 mbar	Temperaturni senzor: Pt100 RH senzor: Polprevodniški kapacitivni senzor za pritisk: piezoelektrični	Temperatura, relativna zračna vlaga (RH), zračni tlak

Legenda:

σ – presek optične absorpcije na enoto mase črnega ogljika

#/cm³ – enota, število delcev na cm³ zraka

DMA – diferencialni analizator mobilnosti (ang. Differential Mobility Analyzer)

CPC – kondenzacijski števec delcev (ang. Condensation Particle Counter)

TCPC – celokupni kondenzacijski števec delcev (ang. Total Condensation Particle Counter)

Z meritvami koncentracij črnega ogljika in meteorološkimi meritvami na območju vasi Retje in Hrib smo začeli 25. oktobra 2017, z meritvami številčnih koncentracij in drugimi meritvami delcev v zraku pa 30. novembra 2017. Meritve črnega ogljika (Aethalometer AE33) so potekale do konca maja 2018 (do 28. 5. 2018), meritve številčnih koncentracij finih delcev (Spektrometer za meritev velikosti delcev – TROPOS MPSS s CPC 3772 in TSI MPSS s CPC 3782) pa do 11. marca 2018.

3.1 Določitev virov črnega ogljika

Meritve atenuacije z Aethalometerom AE33 potekajo pri sedmih valovnih dolžinah (λ) (370 nm, 470 nm, 520 nm, 590 nm, 660 nm, 880 nm in 950 nm), kar omogoča karakterizacijo absorpcije delcev v področju od ultravijolične do infrardeče. Spektralno odvisnost absorpcije (vpijanja) lahko posplošeno opišemo s potenčnim zakonom: $b_{ab} = I / \lambda^\alpha$, kjer je α Ångströmov eksponent (Moosmüller in sod., 2011). S slednjim je mogoče razlikovati med delci črnega ogljika, katerih izvor je izgorevanje lesne biomase in tistimi, ki nastajajo pri izgorevanju dizelskih goriv. Izpust iz dizelskih motorjev vsebuje velik delež črnega ogljika in ima, dokler je svež, Ångströmov eksponent blizu 1 (enakomerna absorpcija svetlobe skozi celoten vidni valovni spekter) (Schnaiter in sod., 2003). Dim, ki nastaja pri izgorevanju biomase (lesa), vsebuje poleg črnega ogljika tudi organske snovi, ki močno absorbirajo v modrem in ultravijoličnem (UV) delu svetlobnega spektra, kar vpliva na povišan Ångströmov eksponent. Za lesni dim ali dim, ki nastane pri izgorevanju biomase, pričakujemo Ångströmov eksponent višji od okoli 1,7 (Favez in sod., 2009; Sandradewi in sod., 2008a; Sandradewi in sod., 2008b; Saleh et al., 2013; Zotter in sod., 2017).

Ångströmov eksponent smo izračunali za interval valovnih dolžin med 470 nm in 950 nm, saj je tam kontrast med delci različnih virov največji (Zotter in sod., 2017). Za izračun smo uporabili metodologijo, ki je opisana v članku Sandradewi in sod. (2008a). Končni prispevek izgorevanja biomase in prometa h koncentracijam črnega ogljika smo ocenili s t. i. Aethalometričnim modelom (Sandradewi in sod., 2008a), ki predvideva, da so skupne koncentracije črnega ogljika posledica teh dveh virov. Glede na Ångströmove eksponente značilne za oba vira, ki so jih določili v intenzivnih merilnih kampanjah v švicarskih alpskih dolinah (Sandradewi in sod., 2008a), v Ljubljani ter drugih slovenskih in avstrijskih mestih (Ogrin in sod., 2014, Drinovec in sod., 2011, Drinovec in sod., 2012, Drinovec in sod., 2013, Jereb in sod., 2018) smo tudi za podeželsko območje izbrali enake vrednosti Ångströmovih eksponentov – 1 za promet in 2 za izgorevanje biomase. Glede na porazdelitev vrednosti Ångströmovega eksponenta, izračunanega na osnovi meritev, je izbor primeren tudi za podeželsko območje. Vsekakor pa bodo podrobni izsledki nadaljevanja študije pomembni za določitev negotovosti izbranih vrednosti Ångströmovih eksponentov značilnih za slovensko podeželsko okolje.

3.2 Meteorološki podatki v času meritev

Poleg meritev delcev so se na obeh merilnih mestih (Retje, Tabor) izvajale tudi meritve nekaterih meteoroloških parametrov – temperatura (T), zračni tlak (p) in relativna



vlačnost (RH). Podatke o temperaturi, vetru, relativni vlažnosti in padavinah smo pridobili tudi z meteorološke postaje pri vrtcu v naselju Hrib, ki je last Društva za raziskovanje vremena in podnebja (ime postaje: Hrib).

Meteorološke podatke smo uporabili za splošen opis meteoroloških razmer in ugotavljanje pojava temperaturne inverzije. Kadar je bila temperatura na merilni postaji v Retjah (rdeča črta na sliki 3) nižja od temperature na merilni postaji na hribu Tabor (rumena črta na sliki 3), smo pojav označili za temperaturno inverzijo, če pa je bila temperatura na dnu v Retjah višja kot na hribu Tabor, smo ozračje obravnavali kot manj stabilno, kar običajno omogoča mešanje onesnažil. Pri določitvi obdobj s temperaturno inverzijo smo si pomagali tudi z drugimi meteorološkimi parametri (relativna zračna vlaga, veter in padavine), opazovanjem na terenu (pojav megle, dimni dvig) in dodatnimi meritvami temperature znotraj višinskega profila prizemne plasti Retijske kotanje (Ogrin, 2016, 2017; mobilne meritve).

Preglednica 2: Obdobja stabilnega ozračja – temperaturne inverzije in premešanega ozračja pozimi 2017/18.

December	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27					

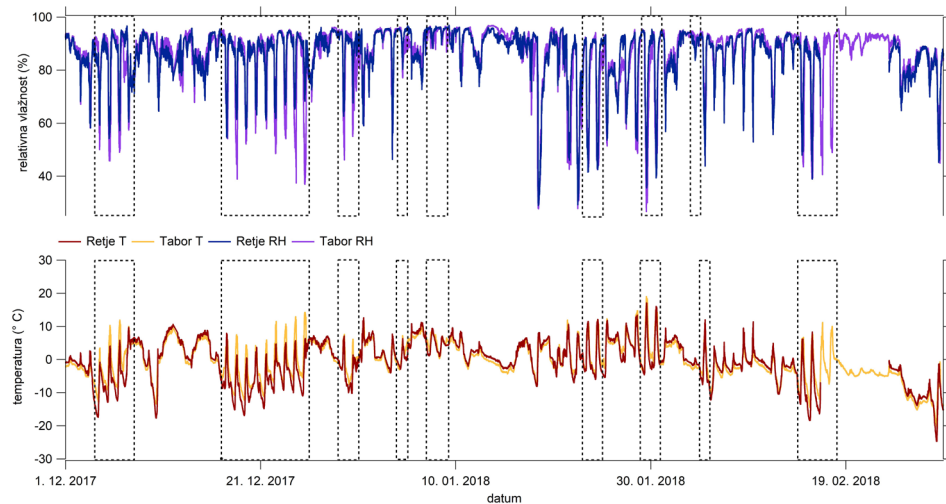
Legenda:

-  dan s temperaturno inverzijo
-  dan s premešanim ozračjem

V preglednici 2 so navedeni posamezni dnevi stabilnega in premešanega ozračja v zimskem času, ki so označeni tudi s črtkano črto na sliki 3. Za dneve s temperaturno inverzijo so bili določeni dnevi, ko se je temperaturna inverzija pojavila tako zjutraj kot zvečer, za obdobja premešanega ozračja pa so bili določeni dnevi brez pojava temperaturne inverzije, ko je bilo ozračje intenzivno premešano ves dan (temperatura z višino pada).

Za zimsko merilno obdobje je bilo značilno spremenljivo vreme z le nekaj daljšimi obdobji stabilnega vremena med decembrom in marcem. Temperatura zraka se je v času zimskih meritev gibala med $-24,7$ °C (Retje, 28. 2. 2018) in ok. 14 °C (29. 1. 2018). Povprečna temperatura na merilni postaji pri vrtcu na Hribu (775 m) je bila $0,5$ °C, v Retjah (715 m) $-0,7$ °C in na Taboru (815 m) $-0,3$ °C. Opazne so razlike v temperaturah med merilnima mestoma na vrhu hriba Tabor in v vasi Retje, blizu dna kotanje, zlasti razlike v minimalnih temperaturah v času pojava temperaturne inverzije.

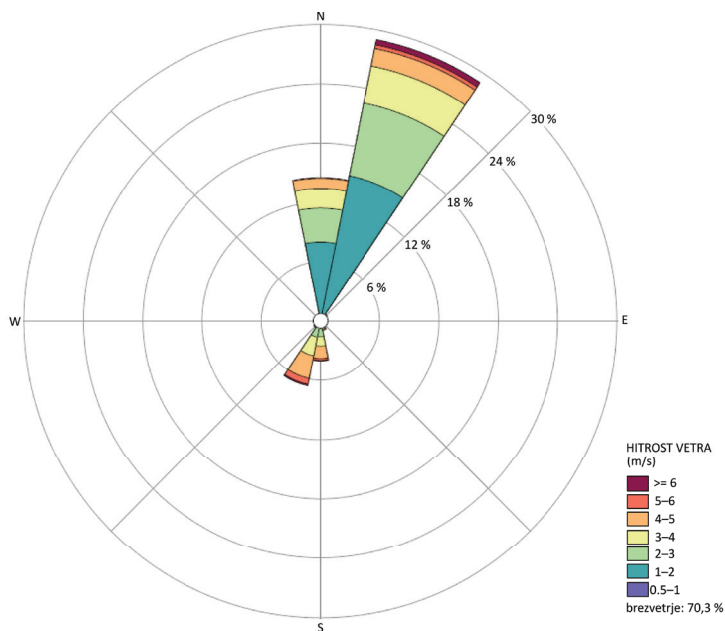
Slika 3: Temperatura zraka (T) ($^{\circ}\text{C}$) in relativna zračna vlaga (RH) (%) na postaji v Retjah (715 m) in na Taboru (815 m) v obdobju zimskih meritev (od 1. 12. 2017 do 1. 3. 2018). S črtkano črto so označeni izbrani dnevi s temperaturno inverzijo.



Največ temperaturnih inverzij je bilo v decembru. Tedaj so bile tudi najbolj izrazite (največji temperaturni gradienti). Najmanj in najmanj intenzivnih temperaturnih inverzij (najmanjši temperaturni gradienti) pa je bilo v januarju, ki je bil tudi daleč najtoplejši mesec v zimi 2017/18 (v povprečju na Hribu $+2,7^{\circ}\text{C}$, v Retjah $+2,2^{\circ}\text{C}$ in na Taboru $+2,1^{\circ}\text{C}$). Odklon od dolgoletnega povprečja 1981–2010 na Babnem polju in v Novi vasi na Blokah, ki sta najbližji primerljivi uradni meteorološki postaji proučevanemu območju, je bil $4,7$ in $4,8^{\circ}\text{C}$ (Arhiv meritev ..., 2018; Povprečne homogenizirane ..., 2018). Nahladnejši zimski mesec je bil februar (v povprečju na Hribu $-3,6^{\circ}\text{C}$, v Retjah $-2,9^{\circ}\text{C}$ in na Taboru prav tako $-2,9^{\circ}\text{C}$), ki je bil najbolj mrzel v zadnjih dneh meseca, vendar pa zaradi pogostih padavin pogoji za razvoj temperaturne inverzije niso bili najboljši. V vseh treh mesecih je količina padavin presegla dolgoletno povprečje 1982–2010 (Povprečne homogenizirane ..., 2018). Snežna odeja je pokrivala tla večino decembra in februarja, v januarju pa je zaradi otoplitve sneg skopnel.

Kljub razmeroma dinamičnemu vremenu v zimskem obdobju 2017/18, so bile hitrosti vetra na lokaciji Hrib v tem času v povprečju le $0,97$ m/s. Zaradi zatišne lege na dnu kotanje so bile v Retjah hitrosti vetra verjetno še nižje, a podatkov s te lokacije nimamo. Najpogostejša so bila obdobja brezvetrja (70 % obdobja), preostanek obdobja (30 %) pa je bilo vetrovno s hitrostjo vetra med $0,5$ in 6 m/s. Prevladovali so vetrovi iz severnega kvadranta (sever-severovzhodnik, severni veter), ki se pojavljajo ob anticiklonalnem tipu vremena in ob prehodu hladne fronte. Pred prehodom hladne fronte na območju piha južni in jugozahodni veter, ki dosega najvišje hitrosti, najpogosteje med 4 in 5 m/s. Od 11. do 14. decembra je pihal močan veter jugozahodne smeri, ki je povzročal vetrolome.

Slika 4: Frekvenčna porazdelitev hitrosti vetra (%) glede na smer v zimskem merilnem obdobju (od 1. 12. 2017 do 1. 3. 2018) na vremenski postaji Hrib.



Vir podatkov: Arhiv podatkov Društva ..., 2017, 2018.

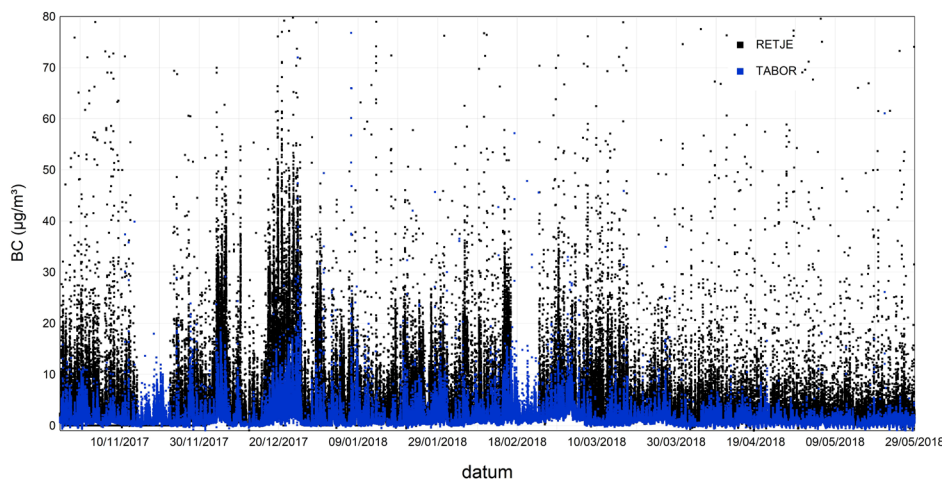
4 KONCENTRACIJE IN VIRI ČRNEGA OGLJIKA IN FINIH DELCEV TER RAZPRAVA

Koncentracije na lokaciji Tabor so se gibale od nekaj 100 ng/m^3 do ok. $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ črnega ogljika in od nekaj 1.000 do 20.000 – $30.000 \text{ } \#/ \text{cm}^3$ finih delcev v obdobjih z večjimi izpusti ali v obdobjih bolj stabilnih vremenskih razmer.

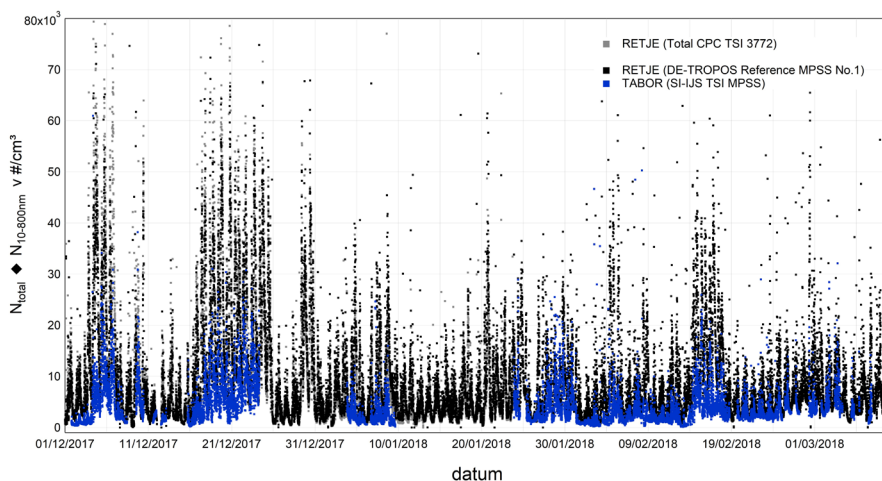
V vasi Retje v kraški kotanji smo izmerili precej višje koncentracije črnega ogljika ter finih delcev, ki so večkrat dosegle izredno visoke vrednosti in v krajših obdobjih tudi presegle $70 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ črnega ogljika in $60.000 \text{ } \#/ \text{cm}^3$ delcev. Velike razlike v koncentracijah med merilnima mestoma so posledica same lokacije merilnih postaj. Postaja v Retjah se nahaja blizu dna kotanje v bližini večjega števila virov izpustov, medtem ko se postaja Tabor nahaja na vrhu hriba z manjšim številom virov izpustov v neposredni bližini in večjo prevetrenostjo.

Najvišje koncentracije črnega ogljika so pozimi, spomladi pa se znižujejo. Z višjimi temperaturami se namreč zmanjša potreba po ogrevanju, hkrati pa je pri višji temperaturi in močnejšem sončnem obsevanju tudi mešanje ozračja intenzivnejše. V zimskem obdobju meritev, od 1. 12. 2017 do 1. 3. 2018 (preglednica 3), je mediana črnega ogljika v vasi Retje znašala $2,4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ in $6.300 \text{ } \#/ \text{cm}^3$ finih delcev. Na vrhu hriba Tabor je bila

Slika 5: Časovni potek minutnih koncentracij ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) črnega ogljika v obdobju od 25. oktobra 2017 do 19. aprila 2018.



Slika 6: Časovni potek številčnih koncentracij (število delcev na cm^3 zraka – $\#/ \text{cm}^3$) finih delcev (10–800 nm) za obdobje od 1. decembra 2017 do 10. marca 2018.



pozimi mediana črnega ogljika $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in $2.500 \#/ \text{cm}^3$ finih delcev. Povprečne vrednosti (aritmetična sredina) koncentracij so višje od navedenih median zaradi neenakomerne porazdelitve z občasnimi zelo visokimi koncentracijami.

Po izračunu predstavljenem v poglavju 3.1 je bil prispevek izgorevanja biomase k celokupnim koncentracijam črnega ogljika v vseh letnih časih večji ali enak 50 %.

Kurilna sezona na območju je dolga in seže v pomlad. Prispevek lokalnega izgorovanja biomase je v Retjah še večji kot na Taboru. V zimi 2017/18 (BC_{IB} v preglednici 3) je prispevek izgorovanja biomase v Retjah znašal 79 %, na Taboru pa 62 % skupnih koncentracij črnega ogljika. Zaradi lege v kotanji je vas Retje daljše obdobje v senčni legi kot Tabor, kar vpliva na povečano potrebo po ogrevanju. Prispevek izgorovanja biomase je bil v dneh premešanega ozračja manjši kot v dneh s temperaturno inverzijo, kar gre najverjetneje pripisati višjim temperaturam v času advekcije v primerjavi s stabilnejšimi dnevi (določeni dnevi s temperaturno inverzijo) in s tem manjšimi potrebami po ogrevanju.

Preglednica 3: Mediana (MED), aritmetična sredina (AS) in standardna deviacija (SD) masnih koncentracij črnega ogljika (BC), izražena v absolutnih vrednostih; prispevek izgorovanja biomase (BC_{IB}), izražen kot delež skupne koncentracije BC ter številčne koncentracije finih delcev ($NC_{10-800nm}$). Vrednosti so prikazane za zimsko obdobje (od 1. 12. 2017 do 1. 3. 2018) za obe merilni mesti, ločeno za obdobja s temperaturno inverzijo in obdobja premešanega ozračja.

Postaja	Časovno obdobje	BC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			BC_{IB} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			BC_{PR} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			BC_{IB} (%)		$NC_{10-800nm}$ ($\#/cm^3$)		
		MED	AS	SD	MED	AS	SD	MED	AS	SD	MED	AS	MED	AS	SD
RETJE	Zima 2017/18	2,4	5,2	7,4	1,8	4,2	6,3	0,3	1,0	3,0	79	81	6.300	10.200	19.300
	Temp. inverzija	5,6	8,1	8,3	4,9	7,1	7,3	0,4	1,1	3,0	86	87	12.600	15.500	12.400
	Premešano ozračje	1,6	2,7	4,6	1,1	1,7	2,2	0,4	1,0	3,4	67	73	4.500	6.300	2.900
TABOR	Zima 2017/18	0,9	1,7	2,3	0,5	1,2	1,9	0,3	0,5	0,9	62	65	2.500	4.000	4.200
	Temp. inverzija	1,8	2,8	3,0	1,3	2,5	2,1	0,4	0,7	1,1	70	71	4.300	5.600	4.500
	Premešano ozračje	0,9	1,2	1,3	0,5	0,7	0,9	0,3	0,5	0,7	54	59	1.800	2.300	2.900

Legenda:

BC – črni ogljik (ang. Black Carbon)

BC_{IB} – črni ogljik, ki nastane pri izgorovanju biomase

BC_{PR} – črni ogljik iz prometa

$NC_{10-800nm}$ – številčne koncentracije 10–800 nm delcev

Vidne so velike razlike v koncentracijah onesnažil glede na meteorološke pogoje. Občutno višje koncentracije so bile izmerjene v dneh s temperaturno inverzijo, ko je bilo v vasi Retje v povprečju izmerjeno več kot 3-kratno, na lokaciji Tabor pa 2-kratno povišanje koncentracij v primerjavi z dnevi premešanega ozračja. Zaradi temperaturne inverzije se namreč vsa onesnažila (plini in delci) zadržujejo znotraj omejene plasti v kotanji, ki onemogoča, da bi se koncentracije razširile v višje plasti ozračja. V času stabilnega ozračja pri tleh (izbrani dnevi s temperaturno inverzijo) je mediana v Retjah znašala $5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika in $12.600 \#/cm^3$ finih delcev. Na hribu Tabor je bila v izbranih dneh s temperaturno inverzijo mediana črnega ogljika $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, finih delcev pa $4.300 \#/cm^3$. Koncentracije v

času temperaturne inverzije na Taboru so zelo podobne koncentracijam onesnažil v Retjah v času premešanega ozračja. V izbranih dneh s premešanim ozračjem je namreč mediana v Retjah znašala $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika in 4.500 \#/cm^3 finih delcev. Na Taboru pa je mediana v tem času znašala $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika in 1.800 \#/cm^3 finih delcev. Odvisno od višine inverzne plasti se lahko vrh hriba Tabor nahaja v temperaturni inverziji ali pa nad njo. Zaradi tega so bile na postaji Tabor razlike v koncentracijah tudi med obdobji stabilnega vremena (razvoj temperaturne inverzije) precejšnje (standardna deviacija je znašala 4.500 \#/cm^3).

Če srednje vrednosti masnih koncentracij črnega ogljika in številčnih koncentracij finih delcev, izmerjenih v Loškem Potoku, primerjamo s srednjimi vrednostmi izmerjenih koncentracij v istem obdobju v Ljubljani (mediana: $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika in 6.800 \#/cm^3 finih delcev; aritmetična sredina: $3,5 \pm 3,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika in $8.000 \pm 4.900 \text{ \#/cm}^3$ finih delcev) (Aerosol d.o.o., 2018; Nacionalni laboratorij ..., 2018) vidimo, da so bile tako masne koncentracije črnega ogljika kot tudi številčne koncentracije finih delcev v Retjah v povprečju višje, medtem ko so bile srednje vrednosti koncentracij na lokaciji Tabor nižje od ljubljanskih. Povprečje številčnih koncentracij v vasi Retje za zimo 2017/18 je primerljivo s povprečnimi zimskimi koncentracijami v večjih severno- in srednjeevropskih mestih kot so npr. Helsinki, Stockholm, Augsburg (v povprečju od 10.000 do 20.000 \#/cm^3) (Aalto in sod., 2012; Borsós in sod., 2012). Povprečne koncentracije na Taboru pa so primerljive z vrednostmi merilnih postaj podeželskega ozadja (Birmili in sod., 2016), za katere je značilno, da so od večjih virov izpustov oddaljene med 10 in 50 km (Larssen, Sluyter, Helmis, 1999; Putaud in sod., 2010).

5 SKLEP

Na koncentracije onesnažil na proučevanem območju odločilno vpliva količina lokalnih izpustov ter lega v kotanji, ki vpliva na pojav temperaturne inverzije. V času temperaturne inverzije se na dnu kotanje oblikuje jezero hladnega zraka, ki je težje in gostejše od zgornjega toplejšega zraka, s katerim se ne meša. To povzroča nabiranje onesnažil znotraj jezera hladnega zraka in s tem povečano onesnaženost zraka v kotanji. V vasi Retje številčne koncentracije finih delcev ter masne koncentracije črnega ogljika večkrat dosežejo izredno visoke vrednosti, ki lahko v obdobjih stabilnega ozračja in ob visokih izpustih presežejo 60.000 \#/cm^3 finih delcev ter $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ črnega ogljika. Vendar pa v času premešanega ozračja koncentracije onesnažil, kljub obsežnim lokalnim izpustom, močno upadejo. V dneh s temperaturno inverzijo so masne koncentracije črnega ogljika in številčne koncentracije finih delcev v Retjah v povprečju več kot 3-krat, na Taboru pa 2-krat višje kot v obdobjih premešanega ozračja. Razlog temu je razmeroma čisto ozadje proučevanega območja z majhno gostoto poselitve in večjo oddaljenostjo od drugih večjih virov izpustov. Vzrok za slabo kakovost zraka v Retijski kotanji je torej izključno v lokalnih izpustih, saj so v prevetrenih razmerah koncentracije precej manjše od tistih ob inverziji.

Intenzivno spreminjanje koncentracij onesnažil je poleg človeških aktivnosti tudi posledica debeline sloja temperaturne inverzije, ki v Retijski kotanji dosega le nekaj deset

metro in tako že ob močnejšem vetru ali intenzivnejšem sončnem obsevanju hitro razpade. Daljših obdobj stabilnega ozračja, ko je prizemna mejna plast ostala nepremešana več dni, je bilo zabeleženih le nekaj v decembru in februarju.

Glavni vir izpustov delcev na območju je lokalno izgorevanje biomase, ki v Retjah pozimi h koncentracijam črnega ogljika prispeva kar 79 %, na Taboru pa 62 %. Rezultati meritev v Loškem Potoku v sezoni 2017/18 so pokazali, da so v hladni polovici leta koncentracije finih delcev ter črnega ogljika v hribovitih podeželskih območjih lahko primerljive s koncentracijami, ki jih v literaturi navajajo za srednjeevropska mesta. V Retijski kotanji so bile v zimi 2017/18 koncentracije delcev in črnega ogljika v povprečju celo višje od ljubljanskih, vendar pa sta časovno spreminjanje in razpon koncentracij onesnažil na proučevanem območju veliko večja. Zaradi mnogo manjše prostornine Retijske kotanje v primerjavi z Ljubljansko kotlino, se na tem območju koncentracije delcev ob aktivnosti virov hitro dvignejo na zelo visoko raven. Se pa te tudi hitreje znižajo kot v Ljubljani, saj plitva inverzna plast v Retijski kotanji hitreje razpade. Poleg tega je ozadje območja redko poseljeno, z malo viri izpustov in so tako ob intenzivnem mešanju ozračja kotanje z okoliškim zrakom koncentracije hitro zmanjšajo. Zaradi same razporeditve virov izpustov in lege v kotanji so zvišanim koncentracijam delcev in črnega ogljika v hladni polovici leta najbolj izpostavljeni prebivalci Retij.

Podobne razmere je pričakovati tudi v drugih podobnih hribovitih in gorskih podeželskih območjih v Sloveniji in Evropi, kjer biomasa predstavlja pomemben vir ogrevanja gospodinjstev, območja pa se nahajajo v kotanjah s pogostimi temperaturnimi inverzijami. Ker h koncentracijam delcev v zraku v Sloveniji največ prispeva lokalno izgorevanje biomase v individualnih gospodinjstvih, se bo potrebno problema onesnaževanja zraka lotiti celoviteje. Zlasti to velja za podeželje, kjer so ukrepi, kot je daljinsko ogrevanje, težje izvedljivi in manj učinkoviti kot v mestih. Zmanjšanje izpustov gospodinjstev na podeželju je mogoče doseči z zamenjavo starih kurilnih naprav (peči in kotlov) z drugimi načini ogrevanja (npr. toplotnimi črpalkami) ali novejšimi kurilnimi napravami z učinkovitejšimi izgorevanjem, vgradnjo sekundarnih tehnologij za zmanjšanje izpustov (katalizatorji, elektrostaticni filtri), z izboljšanjem učinkovitosti kurjenja (optimalna uporaba obstoječe kurilne naprave, pravilna priprava, izbira in uporaba ustreznega goriva) in ogrevalnih navad prebivalcev z ustreznim ozaveščanjem in usposabljanji ter uporabo skupnih kotlovnice za več stavb. V alpski dolini (Vorau) na avstrijskem Štajerskem so se tovrstni ukrepi izkazali kot uspešni pri zmanjševanju izpustov individualnih gospodinjstev (Klauser in sod., 2017). Ob naštetih ukrepih je za zmanjšanje izpustov hkrati nujno potrebna tudi energetska sanacija stavb (toplotna izolacija, menjava oken z energetske varčnimi). Takšne ukrepe v Sloveniji poskuša spodbujati tudi Eko sklad, ki je bil ustanovljen z namenom spodbujanja okoljskih naložb (Eko sklad, 2018). Pomembno je poudariti, da morajo ukrepi vključevati vsa gospodinjstva, saj h koncentracijam delcev prispevajo vsi viri na območju. Že majhen delež peči z visokim emisijskim faktorjem lahko pomembno vpliva na kakovost zraka v celotni kotanji. Raziskava v Loškem Potoku je pokazala, da je kombinacija lokalnih virov in topografije ključna pri stanju kakovosti zraka na lokalni ravni in nakazuje, da so razmere podobne marsikje na območju poseljenih kraških kotanj.

Zahvala

Na tem mestu gre iskrena zahvala za pomoč in podporo raziskavi zaposlenim na podjetju Aerosol, Inštitutu Jožef Stefan in TROPOS inštitutu iz Leipziga. Posebna zahvala je namenjena tudi občini Loški Potok, ki je raziskavo idejno in finančno podprla. Hvala Martini Ristorini, Mihju Marklju in Danijeli Strle, ki so pomagali pri terenskih meritvah. Hvala župniku Bojanu Travnu in gasilskemu društvu Retje, ki so odstopili svoje prostore za postavitve merilnih postaj ter hvala celotni lokalni skupnosti za prijazen sprejem in prijetno delovno okolje.

Literatura in viri

- Aalto, P., Hämeri, K., Paatero, P., Kulmala, M., Bellander, T., Berlind, N., Bouso, L., Castaño-Vinyals, G., Sunyer, J., Cattani, G., Marconi, A., Cyrys, J., Klot, S., Peters, A., Zetzsche, K., Lanki, T., Pekkanen, J., Nyberg, F., Sjövall, B., Forastiere, F., 2012. Aerosol particle number concentration measurements in five European cities using TSI-3022 condensation particle counter over a three-year period during health effects of air pollution on susceptible subpopulations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, b55, str. 1064–1076. DOI: 10.1080/10473289.2005.10464702.
- Aerosol d.o.o. 2018. Podatki meritev črnega ogljika na Agenciji Republike Slovenije v okviru projekta SBC-SL (Smart black carbon street light).
- Arhiv meritev – opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. Agencija Republike Slovenije za okolje. URL: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWb1R3LwVnaz9SYtVmYh9ic1-FGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZX-ZulWYnwCchJXYtVGdlJnOn0UQQdSf>; (citirano 5. 8. 2018).
- Arhiv podatkov Društva za raziskovanje vremena in podnebja, 2017. 2018.
- Birmili, W., Weinhold, K., Rasch, F., Sonntag, A., Sun, J., Merkel, M., Wiedensohler, A., Bastian, S., Schladitz, A., Löschau, G., Cyrys, J., Pitz, M., Gu, J., Kusch, T., Flentje, H., Quass, U., Kaminski, H., A. J. Kuhlbusch, T., Meinhardt, F., Schwerin, A., Bath, O., Ries, L., Gerwig, H., Wirtz, K., Fiebig, M., 2016. Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN). *Earth System Science Data*, 8, str. 355–382. URL: <https://www.earth-syst-sci-data.net/8/355/2016/essd-8-355-2016.pdf> (citirano 17. 5. 2017).
- Bolte, T., 2005. Vpliv prometa na imisijo delcev. Magistrsko delo. Maribor, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, 100 str.
- Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D., W., Forster, P. M., Bernsten, T., DeAngelo, B., J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., Koch, D., Kinne, S., Kondo, Y., Quinn, P. K., Sarofim, M. C., Schultz, M. G., Schulz, M., Venkataraman, C., Zhang, H., Zhang, S., Bellouin, N., Guttikunda, S. K., Hopke, P. K., Jacobson, M. Z., Kaiser, J. W., Klimont, Z., Lohmann, U., Schwarz, J. P., Schindell, D., Storelvmo, T., Warren, S. G., Zender, C. S., 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system. A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 11, str. 5380–5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.

- Borsós, T., Řimnáčová, D., Ždímal, V., Smolík, J., Wagner, Z., Weidinger, T., Burkart, J., Steiner, G., Reischl, G., Hitznerberger, R., Schwarz, J., Salma, I., 2012. Comparison of particulate number concentrations in three central European capital cities. *Science of The Total Environment*, 433, str. 418–426. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.06.052.
- Caseiro, A., Bauer, H., Schmidl, C., Pio, C. A., Puxbaum, H., 2009. Wood burning impact on PM₁₀ in three Austrian regions. *Atmospheric Environment*, 43, str. 2186–2195. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.012.
- Cerkvenik, B., 2012. Ocena emisij onesnaževal v zrak. Predstavitev študije na konferenci. Ljubljana, Inštitut za energetiko Energis. URL: http://www.civitasljubljana.si/uploads/datoteke/12%2003%2015%20MOL%20delavnica%20_v6.ppt (citirano 1. 10. 2018)
- Denier van der Gon, H. A. C., Bergström, R., Fountoukis, C., Johansson, C., Pandis, S. N., Simpson, D., Visschedijk, A. J. H., 2015. Particulate emissions from residential wood combustion in Europe – revised estimates and an evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, str. 6503–6519.
- Drinovec, L., Ježek, I., Močnik, G., 2011. Meritve aerosoliziranega črnega ogljika in razdelitev glede na vire emisij – Maribor in Vrbanški plato, zima 2010/2011. Ljubljana, Aerosol d.o.o., 16 str.
- Drinovec, L., Ježek, I., Močnik, G., 2012. Meritve in viri ogljičnih aerosolov. Celje 2010/2011. Ljubljana, Aerosol d.o.o., 20 str.
- Drinovec, L., Ježek, I., Močnik, G., 2013. Black carbon and carbonaceous matter - measurements and source apportionment. Klagenfurt and surroundings, 2010–2013. Ljubljana, Aerosol d.o.o., 25 str.
- Drinovec, L., Močnik, G., Zotter, P., Prévôt, A. S. H., Ruckstuhl, C., Coz, E., Rupakheti, M., Sciare, J., Müller, T., Wiedensholer, A., Hansen, A. D. A., 2015. The “dual-spot” Aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation. *Atmospheric Measurement Techniques*, 28, 5, str. 1965–1979.
- Eko sklad. Slovenski okolijski javni sklad. URL: <https://www.ekosklad.si/> (citirano 14. 9. 2017).
- Favez, O., Cachier, H., Sciare, J., Sarda-Estève, R., and Martinon, L., 2009. Evidence for a significant contribution of woodburning aerosols to PM_{2.5} during the winter season in Paris, France, *Atmospheric Environment*, 43, str. 3640–3644. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.04.035.
- Fuller, G. W., Tremper, A. H., Baker, T. D., Yttri, K. E., Butterfield, D., 2014. Contribution of wood burning to PM₁₀ in London. *Atmospheric Environment*, 87, str. 87–94. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.02.008.
- Glasius, M., Ketzel, M., Wählin, P., Bossi, R., Stubkjær, J., Hertel, O., Palmgren, F., 2008. Characterization of particles from residential wood combustion and modelling of spatial variation in a low-strength emission area. *Atmospheric Environment*, 42, str. 8686–8697. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.04.037.
- Glojek, K., 2018. Preliminarni rezultati anketiranja gospodinjstev v naseljih Retje in Hrib občine Loški Potok. Ljubljana, Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta.

- Gostota naseljenosti in indeks feminitete, občine, Slovenija, polletno, 2018. Statistični urad Republike Slovenije. URL: https://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C4010S&ti=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/20_05C40_prebivalstvo_obcine/&lang=2 (citirano 18. 9. 2018).
- Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. 2018. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. URL: http://rkg.gov.si/GERK/documents/RABA_2018_04_30.RAR (citirano 11. 5. 2018).
- Health effects of black carbon. 2012. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. 86 str.
- Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. 2013. Svetovna zdravstvena organizacija, Regionalni urad Svetovne zdravstvene organizacije za Evropo, 15 str. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf?ua=1 (citirano 7. 8. 2018).
- Herich, H., Gianini, M. F. D., Piot, C., Močnik, G., Jaffrezo, J.-L., Besombes, J.-L., Prévôt, Hueglin, C., 2014. Overview of the impact of wood burning emissions on carbonaceous aerosols and PM in large parts of the Alpine region. *Atmospheric Environment*, 89, str. 64–75. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.02.008.
- IPCC, 2013. Climate change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. (ur.). Cambridge in New York, Cambridge University Press, 1535 str. URL: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf (citirano 7. 8. 2018).
- Jereb, B., Batkovič, T., Herman, L., Šipek, G, Kovše, Š., Gregorič, A., Močnik, G., 2018. Exposure to black carbon during bicycle commuting – alternative route selection. *Atmosphere*, 9, 1, str. 1–12. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4433/9/1/21/htm> (citirano 7. 8. 2018).
- Ježek, I., 2015. Contribution of traffic and biomass burning to air pollution discriminated with Aethalometer measurements of black carbon. Doktorska disertacija. Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko, 113 str.
- Klauser, F., Kelz, J., Sturmlechner, R., Stressler, H., Schwabl, M., Reichert, G., Weissinger, A., Halsinger, W., Schmidl, C., 2017. The model region Vorau in Styria. CleanAir by biomass. 27th European Biomass Conference and Exhibition, Stockholm.
- Klenø Nøjgaard, J., Elbæk Nielsen, I., Ellermann, T., Hertel, O., Eriksson, A., Pagels, J., 2012. Quantification of residential wood combustion (RWC) in ambient air. Aarhus University, Department of Environmental Science. URL: http://envs2.au.dk/Projekter/Seminar_RealWorldEmissions/KlenoNojgaard_RealWorldEmissions.pdf (citirano 17. 3. 2018).
- Koleša, T., Šegula, A., Komar, Z., 2012. Opredelitev virov delcev PM10 v Trbovljah. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. URL: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/ViriTrbovlje.pdf> (citirano 1. 9. 2018).

- Koleša, T., Šegula, A., Muri, G., 2011. Opredelitev virov delcev PM₁₀ v Novi Gorici. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, 25 str.
- Kranjec, N., Galičič, A., Eržen, I., Kuček, A., 2016. The impact of ultrafine particles on daily counts of deaths from respiratory diseases in the Municipality of Ljubljana: A temporal variability study. *International Journal of Sanitary Engineering Research*, 10, 1, str. 35–47.
- Larssen, S., Sluyter, R., Helmis, C., 1999. Criteria for EUROAIRNET. The EEA Air Quality Monitoring and Information Network. Technical Report No. 12. Copenhagen European Environmental Agency, 56 str.
- Močnik, G., 2009. Meritve črnega ogljika in karakterizacija aerosolov na podlagi Angstromovega eksponenta. Zagorje, november 2009. Ljubljana, Aerosol, d.o.o., 14 str.
- Moosmüller, H., Chakrabarty, R. K., Ehlers, K. M., Arnott, W. P., 2011. Absorption Ångström coefficient, brown carbon, and aerosols. Basic concepts, bulk matter, and spherical particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, str. 1217–1225.
- Nacionalni Laboratorij za zdravje, okolje in hrano, 2018. Podatki meritev finih delcev na Kmetijskem inštitutu Republike Slovenije v okviru projekta UFIREG (Ultrafine particles – cooperation with environmental and health policy).
- Ogrin, D. Arhiv meritev Oddelka za geografijo Filozofske fakultete v Ljubljani.
- Ogrin, M., Vintar Mally, K., Planinšek, A., Gregorič, A., Močnik, G., Drinovec, L., 2016. Nitrogen dioxide and black carbon concentrations in Ljubljana. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, 118 str.
- Ogrin, M., Vintar Mally, K., Planinšek, A., Močnik, G., Drinovec, L., Gregorič, A., Iskra, I., 2014. Onesnaženost zraka v Ljubljani. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete, 123 str.
- Ogrin, M., 2003. Vpliv reliefa na oblikovanje nekaterih mezoklimatskih tipov v Sloveniji. *Geografski vestnik*, 75, 1, str. 9–24.
- Petkovšek, Z., 1979. Emisijski potencial SO₂ za večino kotlin Slovenije – Emission potential of SO₂ for majority of basins in Slovenia. *Razprave – Papers*, 23, 1, str. 37–49. URL: http://www.meteo-drustvo.si/data/Arhiv_razprave_papers/razprave/po_stevilkah/79/23_1/razprave_79_23_1_37-49.pdf (citirano 7. 8. 2018).
- Povprečne homogenizirane vrednosti za obdobje 1981–2010, merilni postaji Babno polje in Nova vas na Blokah, 2018. Agencija Republike Slovenije za okolje.
- Povprečni letni dnevni promet. Prometne obremenitve 2016. Direkcija Republike Slovenije za infrastrukturo. URL: http://www.di.gov.si/si/delovna_podrocja_in_podatki/ceste_in_promet/podatki_o_prometu/ (citirano 5. 8. 2018).
- Prebivalstvo po velikih in petletnih starostnih skupinah in spolu, naselja, Slovenija, letno, 2018. Statistični urad Republike Slovenije. URL: https://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=05C5002S&ti=&path=../Database/Dem_soc/05_prebivalstvo/10_stevilo_preb/25_05C50_prebivalstvo_naselja/&lang=2 (citirano 18. 9. 2018).
- Predstavitev občine Loški Potok. 2018. [Neobjavljena PowerPoint predstavitev, ki jo je posredoval Ivan Benčina, župan občine Loški Potok.]

- Preliminarno poročilo projektov AIRPECO in PEOPLE. 2004. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. URL: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/AIRPECOinPEOPLEporocilo.pdf> (citirano 1. 9. 2018).
- Projekt SILAQ – Meritve PM10 in PM2,5 delcev. 2003. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. URL: <http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/silaq.pdf> (citirano 1. 9. 2018).
- Prostorske tipologije – Mestna in podeželska območja, Slovenija, 2017. Statistični urad Republike Slovenije. URL: <https://www.stat.si/StatWeb/Methods/Classifications> (citirano 18. 9. 2018).
- Putaud, J.-P., Van Dingenen, R., Alastuey, A., Bauer, H., Birmili, W., Cyrus, Flentje, H., Fuzzi, S., Gehrig, R., Hansson, H. C., Harrison R. M., Herrmann, H., Hitzenberger, R., Hüglin, C., Jones, A. M., Kasper-Giebl, A., Kiss, G., Kousa, A., Kuhlbusch, T. A. J., Löschau, G., Maenhaut, W., Molnar, A., Moreno, T., Pekkanen, J., Perrino, C., Pitz, M., Puxbaum, H., Querol, X., Rodriguez, S., Salma, I., Schwarz, J., Smolik, J., Schneider, J., Spindler, G., ten Brink, H., Tursic, J., Viana, M., Wiedensohler, A., Raes, F., 2010. A European aerosol phenomenology – 3. Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe. *Atmospheric Environment*, 44, str. 1308–1320. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2009.12.011.
- Puxbaum, H., Caseiro, A., Sánchez-Ochoa, A., Kasper-Giebl, A., Claeys, M., Gelencsér, A., Legrand, M., Preunkert, S., Pio, C., 2006. Levoglucosan levels at background sites in Europe for assessing the impact of biomass combustion on the European aerosol background. *Journal of Geophysical research*, 12, str. 1–11. DOI: 10.1029/2006JD008114.
- Rakovec, J., Žabkar, R., 2012. Vplivi naravnih meteoroloških pogojev na onesnaženost zraka. V: Majkovič, D., Volfand, J. *Zrak v Sloveniji*. Celje, Fit media, str. 95–103.
- Saleh, R., Hennigan, C. J., McMeeking, G. R., Chuang, W. K., Robinson, E. S., Coe, H., Donahue, N. M., Robinson, A. L., 2013. Absorptivity of brown carbon in fresh and photo-chemically aged biomass-burning emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, str. 7683–7693. DOI: 10.5194/acp-13-7683-2013.
- Sandradewi, J., Prévôt, A. S. H., Szidat, S., Perron, N., Alfarra, M. R., Lanz, V. A., Weingartner, E., Baltensperger, U., 2008a. Using aerosol light absorption measurements for the quantitative determination of woodburning and traffic emission contributions to particulate matter, *Environmental Science & Technology*, 42, str. 3316–3323. DOI: 10.1021/es702253m.
- Sandradewi, J., Prévôt, A. S. H., Weingartner, E., Schmidhauser, R., Gysel, M., Baltensperger, U., 2008b. A study of woodburning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer, *Atmospheric Environment*, 42, str. 101–112. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.034.
- Schnaiter, M., Horvath, H., Möhler, O., Naumann, K. H., Saathoff, H., Schöck, O. W., 2003. UV-VIS-NIR spectral optical properties of soot and soot-containing aerosols, *Journal of Aerosol Science*, 34, str. 1421–1444. DOI: 10.1016/S0021-8502(03)00361-6.

- Slovenski vremenski rekordi. Agencija Republike Slovenije za okolje. 2018. URL: http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/slovenski-vremenski-rekordi.pdf (citirano 5. 8. 2018).
- Šegula, A., Fašing, J., Rode, B., Planinšek, A., Lešnik, M., Pavli, P., Muri, G., 2010. Opredelitev virov delcev PM₁₀ v Zagorju ob Savi. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, 27 str.
- Šegula, A., Pavli, P., Komar, Z., Lešnik, M., Koleša, T., Gjerek, M., Kvasič, T., 2011. Meritve onesnaženosti zraka z mobilno postajo na Bukovžlaku. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje, 58 str. URL: http://gis.arso.gov.si/related/arso_doc/Public_zrak/mobilne_postaje/Bukovzлак_2011.pdf (citirano 20. 3. 2018).
- Wählin, P., Rørdam Olesen, H., Bossi, R., Stubjær, J., 2010. Air Pollution from residential wood combustion in a Danish village. Measuring campaign and analysis of results. NERI Technical Report no. 777. Aarhus, National Environmental Research Institute, 49 str. URL: <http://www.dmu.dk/pub/fr777.pdf> (citirano 14. 9. 2018).
- Wiedensholer, A., Birmili, W., Nowak, A., Sonntag, A., Weinhold, K., Merkel, M., Wehner, B., Tuch, T., Pfeifer, S., Fiebig, M., Fjåraa, A. M., Asmi, E., Sellegri, K., Depuy, R., Venzac, H., Villani, P., Laj, P., Aalto, P., Ogren, J. A., Weingartner, E., Riccobono, F., Santos, S., Grüning, C., Faloon, K., Beddows, D., Harrison, R., Monhan, C., Jennings, S. G., O'Dowd, C. D., Marinoni, A., Horn, H.-G., Keck, L., Jiang, J., Scheckman, J., McMurry, P. H., Deng, Z., Zhao, C. S., Moerman, M., Henzing, B., de Leeuw, G., Löschau, G., Bastian, S., 2012. Mobility particle size spectrometers: harmonization of technical standards and data structure to facilitate high quality long-term observations of atmospheric particle number size distributions. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, str. 657–685. DOI: 10.5194/amt-5-657-2012.
- Zotter, P., Herich, H., Gysel, M., El-Haddad, I., Zhang, Y., Močnik, G., Hüglin, C., Baltensperger, U., Szidat, S., and Prévôt, A. S. H., 2017. Evaluation of the absorption Ångström exponents for traffic and woodburning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, str. 4229–4249. DOI: 10.5194/acp-17-4229-2017.