



**OBČINA
KANAL OB SOČI**

Trg svobode 23
5213 Kanal

T: 05 398 12 00
E: obcina.kanal@obcina-kanal.si

3

Številka: 9000-0004/2023

Datum: 6. april 2023

OBČINSKI SVET OBČINE KANAL OB SOČI

ZADEVA: Določanje virov onesnaženja zraka z delci PM10 na območju občine Kanal ob Soči – intenzivna kampanja z visoko časovno resolucijo 2021 – končno poročilo

PREDLAGATELJ: Župan, Miha Stegel

PRIPRAVIL: doc. dr. Griša Močnik, vodja Centra za raziskave atmosfere na Univerzi v Novi Gorici

PRAVNA OSNOVA: 16. člen Statuta Občine Kanal ob Soči (Uradni list RS, št. 62/19)

NAMEN: Predstavitev končnega poročila o meritvah.

POROČEVALEC: doc. dr. Griša Močnik, vodja Centra za raziskave atmosfere na Univerzi v Novi Gorici

PREDLOG SKLEPA: Občinski svet Občine Kanal ob Soči se seznanil s končnim poročilom Določanje virov onesnaženja zraka z delci PM10 na območju občine Kanal ob Soči – intenzivna kampanja z visoko časovno resolucijo 2021

Miha Stegel
župan

Priloge:

1. Določanje virov onesnaženja zraka z delci PM10 na območju občine Kanal ob Soči – intenzivna kampanja z visoko časovno resolucijo 2021 – končno poročilo.

Univerza v Novi Gorici
Center za raziskave atmosfere
Vipavska 11c
SI-5270 Ajdovščina
Slovenija
Tel: +386 5 6205 830
Fax: +386 5 6205 200
www.ung.si/cra

OBČINA KANAL			
prejeto 23 -11- 2022			
org. en.	števil.	pril.	vred.



Določanje virov onesnaženosti zraka z delci PM10 na območju občine Kanal ob Soči – intenzivna kampanja z visoko časovno resolucijo 2021

Končno poročilo

Pripravil: UNG/CRA
Referenca: UNG-P-KoS-2022-01
Izdaja: končna verzija
Revizija: 1.2
Datum: 23. november 2022

Zahvala

Zahvaljujemo se Marku Maffiju, ravnateljici mag. Ani Košuta Skok in mnogim zaposlenim na OŠ Deskle, brez katerih te meritve ne bi bile mogoče – njihova pomoč in potrpežljivost ne pozna meja.

Sodelujoče inštitucije/laboratoriji

- Univerza v Novi Gorici, Center za raziskave atmosfere (Ajdovščina),
- Paul Scherrer Institut, Laboratory of Atmospheric Chemistry (Villingen, Švica),
- Institut des Géosciences de l'Environnement, Univerza v Grenoblu in CNRS (Grenoble, Francija),
- Haze Instruments d.o.o. (Ljubljana).
- Podatke smo dobili tudi od Agencije RS za okolje.

V skladu s pogodbo med Občino Kanal ob Soči in Univerzo v Novi Gorici so tu predstavljeni podatki in rezultati javni. Objavljeni bodo v znanstvenih delih, zato je reprodukcija rezultatov omejena v prvem letu po oddaji poročila.

Kazalo

Slovar	4
1 UVOD	5
2 METODE	5
2.1 Merilno mesto	5
2.2 Visokoločljivostne meritve	6
2.3 Določanje virov	8
3 Časovni potek koncentracij delcev PM in njihovih merjenih elementov	9
3.1 Razmerje med posameznimi elementi v PM _{2,5} in elementi v PM ₁₀	10
4 Rezultati določanja virov	13
4.1 Zgorevanje lesa	14
4.2 S kalcijem bogat vir	15
4.3 Mineralni prah	16
4.4 S klorom bogat vir	16
4.5 Regionalni prispevek.....	17
4.6 Promet.....	17
5 Sklepi in priporočila	19
6 Literatura	20
7 Priloge	23

Slovar

PM₁₀: aerosolizirani delci, ki so manjši od 10 µm, ki jih lahko v zrak izpustijo viri (primarni delci), lahko pa nastanejo v atmosferi (sekundarni delci). Sestavljeni so iz ogljičnih snovi, mineralnega prahu, kovin in različnih ionov. Nastanejo lahko v naravi ali zaradi aktivnosti ljudi, predvsem pri zgorevanju, lahko pa tudi pri resuspenziji s tal.

PM_{2,5}: aerosolizirani delci, ki so manjši od 2,5 µm, imenovani tudi fini delci, ki jih lahko v zrak izpustijo viri (primarni delci), lahko pa nastanejo v atmosferi (sekundarni delci). Sestavljeni so iz ogljičnih snovi, mineralnega prahu, kovin in različnih ionov. Nastanejo lahko v naravi ali zaradi aktivnosti ljudi, predvsem pri zgorevanju. Delci PM₁₀ vsebujejo vse delce PM_{2,5}.

Elementi: so merjeni z metodo XRF in so manjši del mase delcev PM10 ali PM2.5, vendar so pomembni za interpretacijo virov.

Kovine: so lahko indikatorji industrijskih izpustov ali pa so del mineralnega prahu, ki je lahko naraven, lahko pa del industrijskega procesa. Kadmij, baker, svinec in cink so sledilniki industrijskih izpustov zgorevanja, kobalt, titan in železo pa tipično mineralnega prahu. Barij, nikelj, vanadij cirkonij so sledilci prometa, saj nastanejo pri zaviranju, pri obrabi motorjev ali pa so v sledih prisotni v gorivu.

PMF – positive matrix factorization: je receptorski model za določanje virov onesnaženosti zraka, s katerim iz veliko meritev več parametrov hkrati ločimo vire in določimo njihove prispevke h koncentracijam delcev PM10.

OP - oksidativni potencial: je izmerjen parameter, s katerim ocenimo škodljivost aerosoliziranih delcev na zdravje. Meri se, kako vzorec (delci, vzorčeni na filter in iz njega ekstrahirani) v kemijski reakciji oksidira testno snov (npr. askorbinsko kislino).

Zgorevanje: je pridobivanje energije z oksidacijo goriva, ki vsebuje ogljik. Primer je zgorevanja lesa v pečeh, goriv v industrijskih procesih ali tekočega goriva v motorjih vozil.

Resuspenzija: je dvigovanje delcev, ki so se usedli na tla. Tipično so to grobi delci, saj se fini delci na tleh zlepijo z večjimi delci.

1 UVOD

Onesnaženost zraka predstavlja veliko nevarnost za zdravje ljudi, ekosisteme in podnebje. Je vodilni okoljski vzrok smrti s 7–8 milijonov prezgodnjih smrti na leto po svetu in približno 1700 smrtnimi primeri v Sloveniji (EEA, 2019). K onesnaženosti zraka prispevajo različni antropogeni viri, vključno z industrijo, prometom, kmetijstvom, gospodinjstvi, sežiganjem odpadkov in zgorevanjem biomase, ter naravni viri, kot so npr. prah, ki ga zanaša veter, gozdni požari in vulkani.

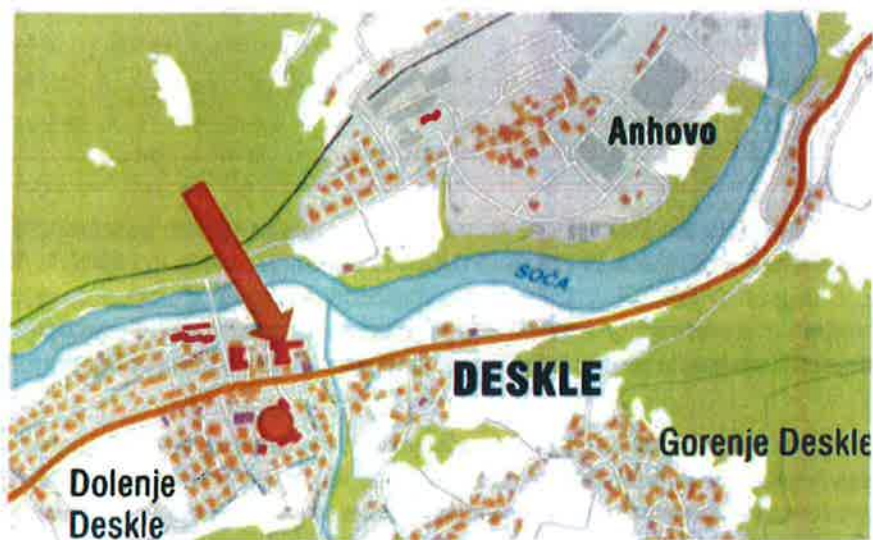
Prebivalci občine Kanal ob Soči se velikega pomena kakovosti zraka zavedajo, saj je pretekla proizvodnja azbesta pustila številne posledice na zdravje ljudi. Na navedenem območju smo izvedli raziskavo za določitev virov onesnaževanja zraka in njihovega prispevka k oksidativnemu potencialu (OP) t. j. merilu škodljivosti delcev v zraku na naše zdravje (Weber in sod.in sod., 2018). V obdobju od novembra 2020 do novembra 2021 smo zbirali podatke o delcih PM₁₀ in njihovi kemični sestavi. Viri analize dnevniških filtrskih meritev smo predstavili v predhodnem poročilu (UNG, 2022). Zaznan je bil s kloridi bogat vir onesnaženja zraka, ki je bil skupaj s kurjenjem lesa med najpomembnejšima viroma OP in ki smo ga pripisali izpustom iz cementarne. Podobnega vira nismo zasledili v drugih študijah z metodo PMF po Evropi.

Ker je ločljivost rezultatov predhodne analize virov filtrskih meritev nizka (dnevni vzorci), ta ne zajema zelo pomembnih informacij glede dnevnih potekov, možni posebni kratkotrajni dogodki onesnaženja pa so spregledani. Da bi dobili natančnejši in poglobljen vpogled na vire onesnaženosti zraka na območju, zlasti tiste s pomembnim vplivom na zdravje, smo opravili **dodatne meritve koncentracij 37-tih elementov v delcih PM z rentgensko fluorescenco s časovno resolucijo 1 ura. Merili smo med 17. februarjem in 17. majem 2021. Rezultate analize virov teh meritev predstavljamo v tem poročilu.**

2 METODE

2.1 Merilno mesto

V dogovoru s občino Kanal ob Soči smo izbrali merilno mesto na strehi OŠ Deskle. Merilno mesto je tipa »urbano ozadje« - merimo koncentracije onesnaževal v zraku, ki so reprezentativne za zrak, kakršnega dihajo prebivalci občine. Je lokacija, na katero noben od pričakovanih lokalnih virov (promet, cementarna, ogrevanje hiš na les) ne vpliva neposredno, hkrati pa je dovolj blizu vseh virov (Slika 1).



Slika 1: Lokacija meritev (oranžna puščica) na strehi OŠ Deskle. Merilno mesto ARSO (oranžen krog). Vir zemljevida: geopedia.si.

2.2 Meritve z visoko časovno ločljivostjo

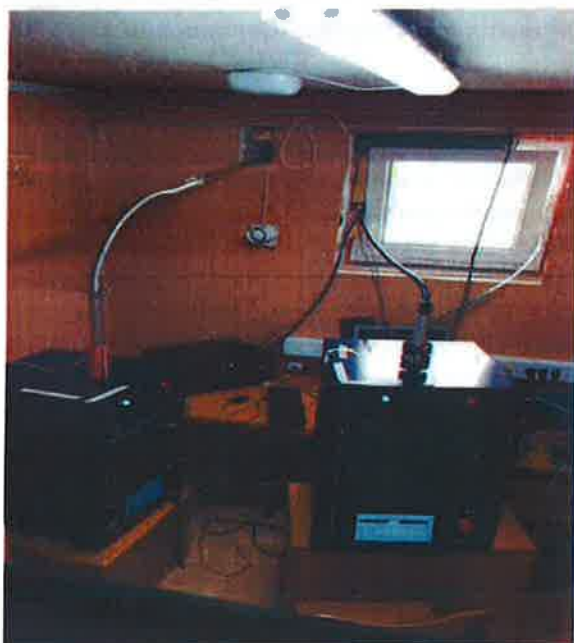
Tradicionalne metode določanja virov onesnaženja zraka z delci temeljijo na zbiranju (običajno 24-urnih) vzorcev na filtrih (Manousakas in sod.in sod., 2021; Viana in sod., 2008), časovna ločljivost rezultatov je nizka in pomembne informacije glede dnevnih potekov ali posebnih kratkotrajnih dogodkov onesnaženja se izgubijo ali jih je težko prepoznati. Pri multivariatni analizi je zelo težko (če ne nemogoče) ločiti emisije virov, ki se spreminjajo zelo podobno v času, saj modeli učinkovito uporabljajo razliko v časovnem poteku med emisijami vira za ločevanje enega vira od ostalih. Manjša kot je časovna ločljivost zajemanja vzorca, težje je izmeriti dovolj razlik v nabor podatkov, saj je v tem primeru primarni vir spreminjanja vzorcev predvsem odvisen od letnega časa. Če pa uporabimo **visoko časovno ločljivost** (npr. 1 ura), lahko izmerimo tudi **spremembe prispevkov posameznega vira čez dan**. Tako lahko izmerimo kratkotrajne dogodke in/ali spremembe v lokalni meteorologiji, ki prispevajo k splošnemu spreminjanju nabora podatkov.

Nedavni tehnološki napredek je omogočil razvoj instrumentov, ki imajo vgrajene analitične zmogljivosti za sprotno analizo vzorcev delcev in določanje koncentracij elementov v okolju z urno ali hitrejšo časovno ločljivostjo (Hasheminassab in sod., 2020). En od takih komercialno dostopnih instrumentov je Cooper Environmental Xact 625i Ambient Metals Monitor, ki uporablja meritve rentgenske fluorescences (X-ray fluorescence, XRF) za določanje količine elementov v vzorcu. Xact zagotavlja in situ avtomatizirane meritve koncentracij elementov v delcih PM₁₀ ali PM_{2,5} v zunanjem zraku za uporabniško določen niz 24 ali več elementov in časovno ločljivostjo vzorčenja okoli 1 ure (Furger in sod., 2017 ; Tremper in sod., 2018). Določanje virov onesnaženja zraka, ki uporablja koncentracije elementov z visoko časovno ločljivostjo, omogoča ločevanje virov, ki prispevajo k občasnim in / ali izjemnim onesnaženjem zraka.



Avtor: Griša Močnik, 2021.

Slika 2: Glava filtrskega merilnika Digitel DHA-80 (levo) in merilnikov XRF (desno) na strehi osnovne šole v Desklah.



Avtor: Griša Močnik, 2021.

Slika 3: inštalacija Xact 625i instrumentov za XRF elementarno analizo.

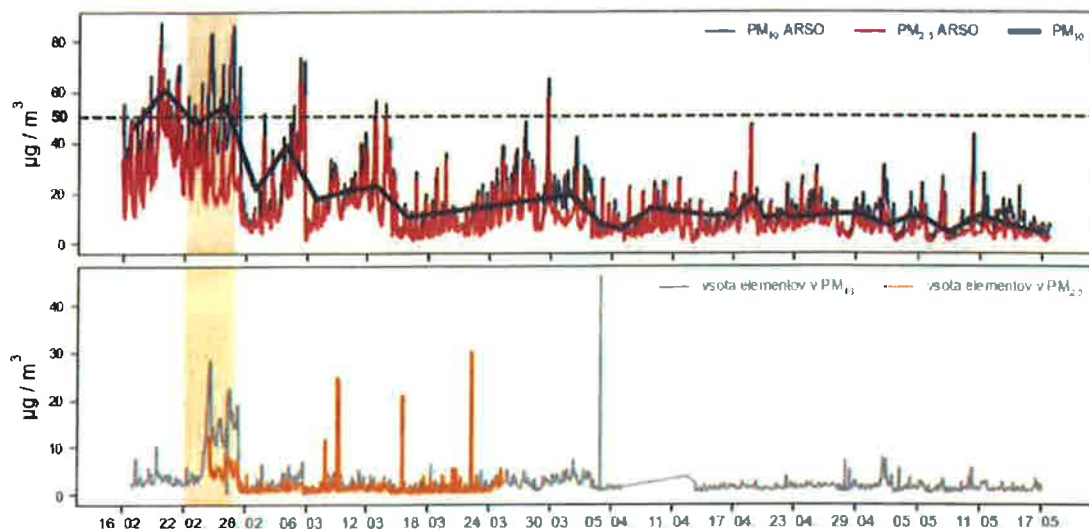
Koncentracije 37 elementov (Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cd, In, Sn, Sb, I, Ba, Hg, Tl, Pb, Bi) v PM10 so bile izmerjene v 1-urnih intervalih z merilnikom Xact 625i od 16. februarja 2021 do 17. maja 2021. Inštrument vleče zrak skozi filtrski trak iz teflona s pretokom 16,7 l/min in 1-urnim intervalom vzorčenja. Trak se potem premakne pod analizator, kjer se vzbudi z uporabo rentgenskega vira (rodijeva anoda, 50 kV, 50 W). Fluorescenco vzbujeno z rentgenskimi žarki merimo z detektorjem, spektre pa inštrument analizira s spektralno analizo, ki upošteva vse vrhove, povezane z danim elementom. Med analizo vzorčuje naslednji vzorec in cikel se ponovi. Natančnost meritev je bila določena pred kratkim (Furger in sod., 2017; Tremper in sod., 2018).

2.3 Določanje virov

Pozitivna faktorizacija matrik (Positive Matrix Factorization, PMF) je receptorski model, ki smo ga uporabili v tej študiji (Pentti Paatero & Tappert, 1994). PMF je bil implementiran prek reševalnika multilinear engine-2 (ME-2) in nadzorovan prek SoFi (Source Finder), ki omogoča celovito in sistematično analizo PMF (F. Canonaco in sod., 2013; Rai in sod., 2019). Rezultati te metode so hkrati »prstni odtisi« virov (profil - torej, katere snovi/elemente vsebujejo) in časovni potek teh virov.

Negotovost v analizah PMF izhaja iz treh glavnih vzrokov: naključnih napak v vrednostih podatkov, rotacijske invariantnosti in napak pri modeliranju. Napake modeliranja je razmeroma enostavno prepoznati s spremljanjem reziduumov rešitve. Reziduumi morajo biti normalno porazdeljeni, nestrukturirani skozi čas in spremenljivke v vseh razponih (Reff in sod., 2007). V Canonaco in sod., 2021, je bila predlagana metoda za ocenjevanje negotovosti, ki temelji na kombinaciji pristopa vrednosti (informacije o rotacijski invariantnosti) in klasičnega pristopa zagona (informacije o statistični negotovosti in naključnih napakah) (Ulbrich in sod., 2009). S PMF lahko dobimo številne rešitve podobne matematične kakovosti; te rešitve veljajo za matematično enako sprejemljive (Paatero in sod., 2014). Uporabnik mora nato identificirati okoljsko najbolj razumne rešitve znotraj dovoljenega obsega in nato oceniti in poročati o spremembah v profilih vira in prispevkih, pripisanih temu obsegu (Canonaco in sod., 2021; Paatero in sod., 2014).

Običajni pristop k izbiri vrst za vključitev v vnos PMF je odvisen od odstotka podatkov pod mejo zaznavnosti (Polissar in sod., 1998). Elementi z več kot 70 % izmerjenih časovnih meritev pod mejo zaznavnosti so bili zato izključeni iz nadaljnje analize, če niso veljali za pomembne sledilce določenih virov. Na koncu je bilo uporabljenih 19 elementov (Si, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Ba in Pb). Podobno kot Rai in sod. (2020) smo manj upoštevali zašumljene podatke (Visser in sod., 2015). V nasprotju s konvencionalnimi analizami, kjer naj bi en sam PMF potek predstavljal optimalen opis nabora podatkov, je tukaj predstavljena rešitev povprečje 500 izračunov, s čimer ocenimo statistične negotovosti. Negotovost smo ocenili kot nizko, zlasti če upoštevamo, da ni bilo zavrnjenih nobenih serij. V drugih študijah, ki so uporabljale podoben pristop za oceno negotovosti rešitve, vendar na podlagi samo okoljsko razumnih rešitev, so bile sporočene ravni primerljive ali višje (Canonaco in sod., 2021; Tobler in sod., 2020).

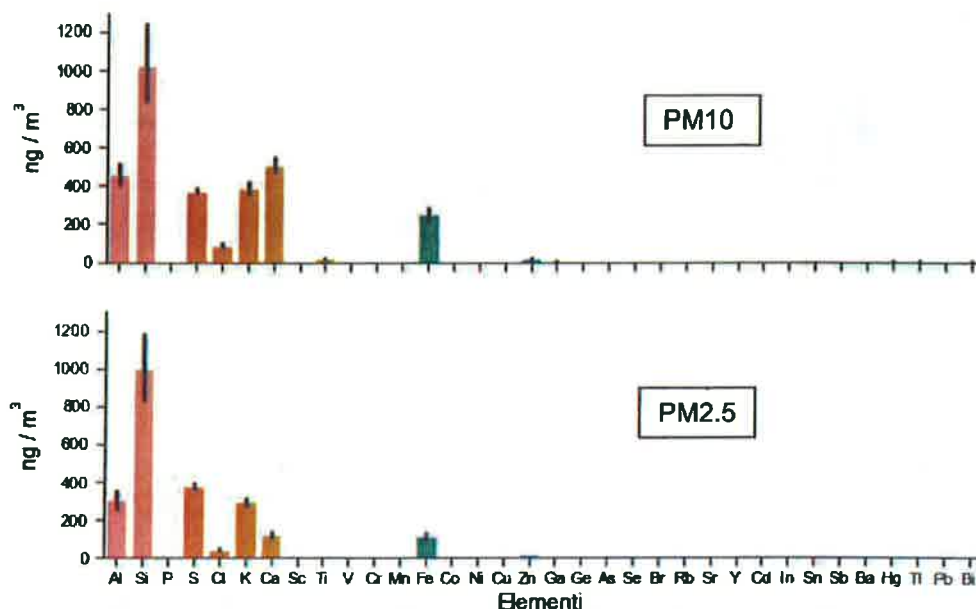


Slika 4: Časovni potek koncentracij ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ (filtrske dnevne meritve in urna povprečja podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje) ter urne vsote elementov v PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ izmerjenih z instrumentom Xact 625i pozimi in pomladi 2021. Označena je dnevna mejna vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za PM_{10} (črtkana horizontalna črta). Osenčeno območje pa predstavlja obdobje, ko je poleg lokalnih izpustov, na koncentracije onesnaževal vplival tudi saharški pesek.

3 Časovni potek koncentracij delcev PM in njihovih merjenih elementov

Na Slika 4 vidimo časovni potek koncentracij delcev PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ ter elementov v obeh frakcijah. Delci PM_{10} sestavljajo fini ($\text{PM}_{2,5}$) in grobi delci (od $\text{PM}_{2,5}$ do PM_{10}) primarnega ali sekundarnega izvora.

Koncentracije delcev so najvišje pozimi proti poletju pa se praviloma znižujejo. Z izjemo zanosa saharkega peska nad Slovenijo v februarju (obdobje vpliva je osenčeno z rumeno), je povišana raven onesnaženosti pozimi posledica visokih antropogenih izpustov in stabilnejših razmer v ozračju zaradi pogostih temperaturnih inverzij. Izmerjene koncentracije delcev PM so primerljive z dolinami drugod v Alpah (Herich in sod., 2014). Dnevna mejna vrednost $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za koncentracijo PM_{10} je bila v hladni polovici leta presežena šestkrat. V času stabilnih razmer dnevne koncentracije PM_{10} (odebeljena črna črta) vsebujejo tudi prispevke prejšnjih dni, obnašanje virov v dnevu pa je tako prikrito (Weber in sod., 2018). Potek urnih koncentracij PM_{10} in $\text{PM}_{2,5}$ ter urna vsota elementov v obeh frakcijah PM pa kažejo na izrazito spreminjanje koncentracij na krajši časovni skali. Opazna so pogosta nenadna povišanja celokupnih masnih koncentracij delcev PM in njihovega elementarnega dela. V kratkih obdobjih so se koncentracije PM_{10} dvignile do $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{2,5}$ pa do $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zanimiva so predvsem nekajurna ekstremna povišanja masnih koncentracij elementarnega dela delcev PM, zlasti elementov v fini frakciji ($\text{PM}_{2,5}$, linija v oranžni barvi). Tovrstna nenadna povišanja nakazujejo na prisotnost in vpliv zgorevanja (individualna kurišča, industrija, promet) in/ali industrijskih procesov na koncentracijo onesnaževal v preučevanem območju.

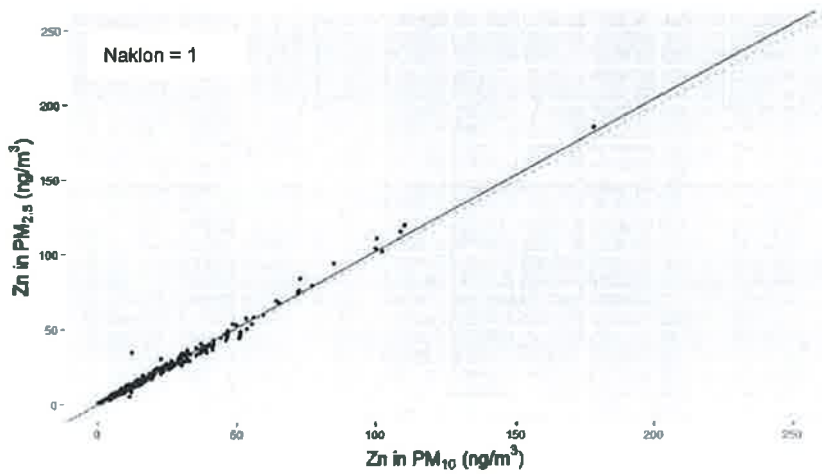
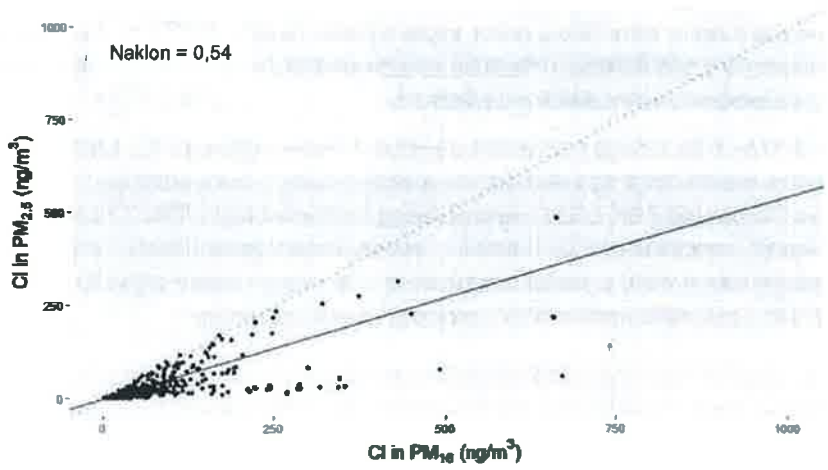
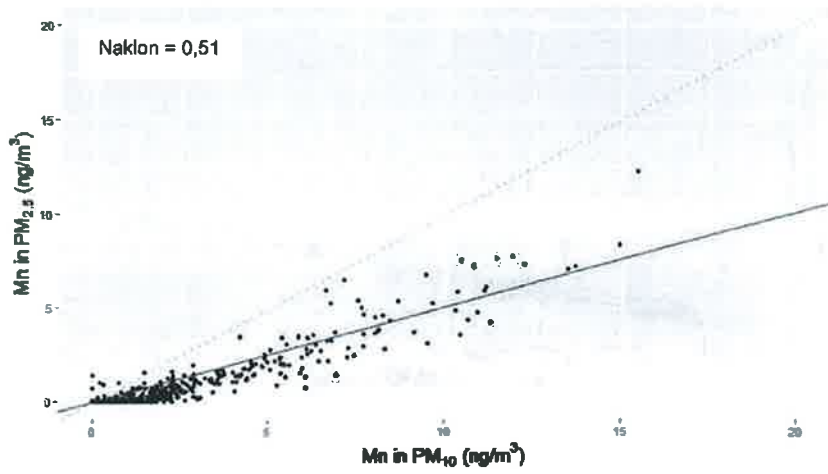


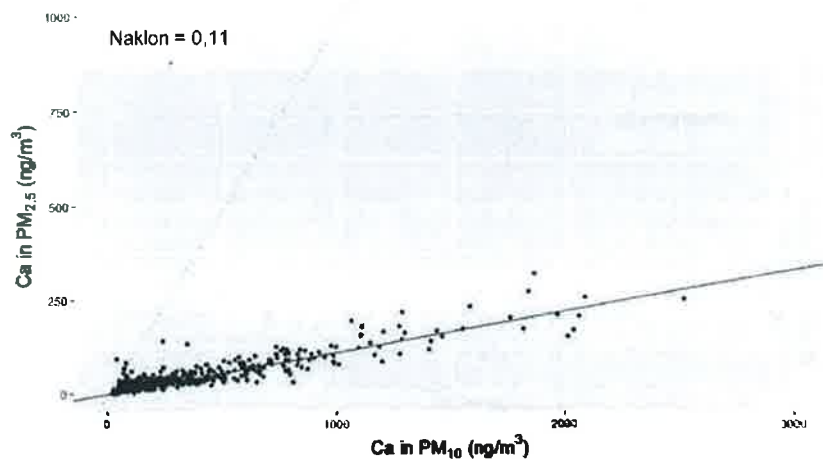
Slika 5: Povprečne koncentracije (ng/m^3) elementov v PM_{10} (levo) in $\text{PM}_{2,5}$ (desno) za obdobje meritev od februarja do aprila 2021. Črne črtice predstavljajo standardni odklon od povprečja.

Z merilnikoma Xact 625i smo pridobili neprekinjene urne koncentracije elementov v ng/m^3 . Statistični pregled elementov za obdobje meritev z obema merilnikoma je prikazana na Sliki 5. Prikazani so vsi elementi, tudi če je bil njihov signal pod mejo detekcije. Večino mase izmerjenih elementov predstavljajo silicij (Si), kalcij (Ca), aluminij (Al), kalij (K), žveplo (S), železo (Fe) in klor (Cl). Zaznani so tudi titan (Ti), mangan (Mn) in cink (Zn). Več o lastnostih, dinamiki in virih navedenih elementov je opisano v naslednjih poglavjih.

3.1 Razmerje med posameznimi elementi v $\text{PM}_{2,5}$ in elementi v PM_{10}

Razmerje elementov v grobih delcih (manj kot $10 \mu\text{m}$, PM_{10}) ali v finih ($\text{PM}_{2,5}$) kaže na njihovo vrsto nastanka. Fini delci običajno nastanejo z zgorevanjem, grobi pa z mehanskimi procesi ali resuspenzijo iz tal. Delci PM_{10} vsebujejo vse delce $\text{PM}_{2,5}$. Razmerje med elementi v $\text{PM}_{2,5}$ in PM_{10} , merjenimi z metodo XRF smo preverili za Mn, Cl, Zn in Ca (Slika 6), ki so zanimivi, ker so sledilniki mineralnih snovi in kamnin in so se pojavili kot pomembni prispevki virov v analizi PMF na dnevnih filterih (UNG, 2022). Prikazani so nakloni regresijske premice (ortogonalna regresija) brez presečišča.

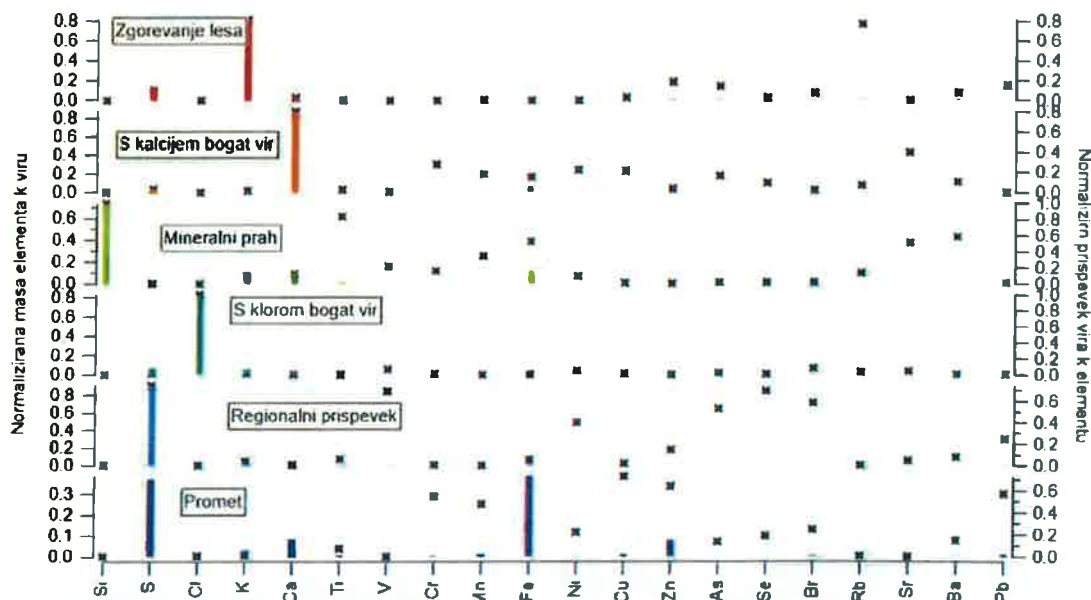




Slika 6: Ortogonalna linearna regresija med izbranimi elementi – Mn, Cl, Zn in Ca – v $PM_{2,5}$ in v PM_{10} .

Opazimo, da je ves Zn v frakciji $PM_{2,5}$. Grafa za Mn in Cl imata zelo podobno obliko (naklon premice približno 0,5), in se razlikujeta od tiste za Zn (naklon 1) in Ca (naklon 0,1). Mn in Cl se tako pojavljata tako v fini ($PM_{2,5}$) kot v grobi frakciji (večji od $2,5 \mu m$ in manjši od $10 \mu m$), Ca pa je večinoma v grobi frakciji. Rezultati so pomembni, saj vsebujejo informacije o procesu nastanka in posledično viru naštetih elementov.

Ena polovica Mn je fina, druga polovica pa groba. Enako velja za Cl. Lahko pa vidimo, da so nekatere meritve elementa nad določeno regresijsko črto, ki se približuje črti z naklonom ena, medtem ko so druge pod črto, blizu regresijskega naklona blizu ničle. To kaže na dva različna vira Cl na lokaciji, zgorevanje (fini delci) in resuspenzijo (grobi delci). Zn je prisoten le v fini frakciji in nastaja samo med procesi zgorevanja. Na drugi strani pa je Ca v 90 % prisoten v grobih delcih kot posledica mehanskih procesov in resuspenzije.



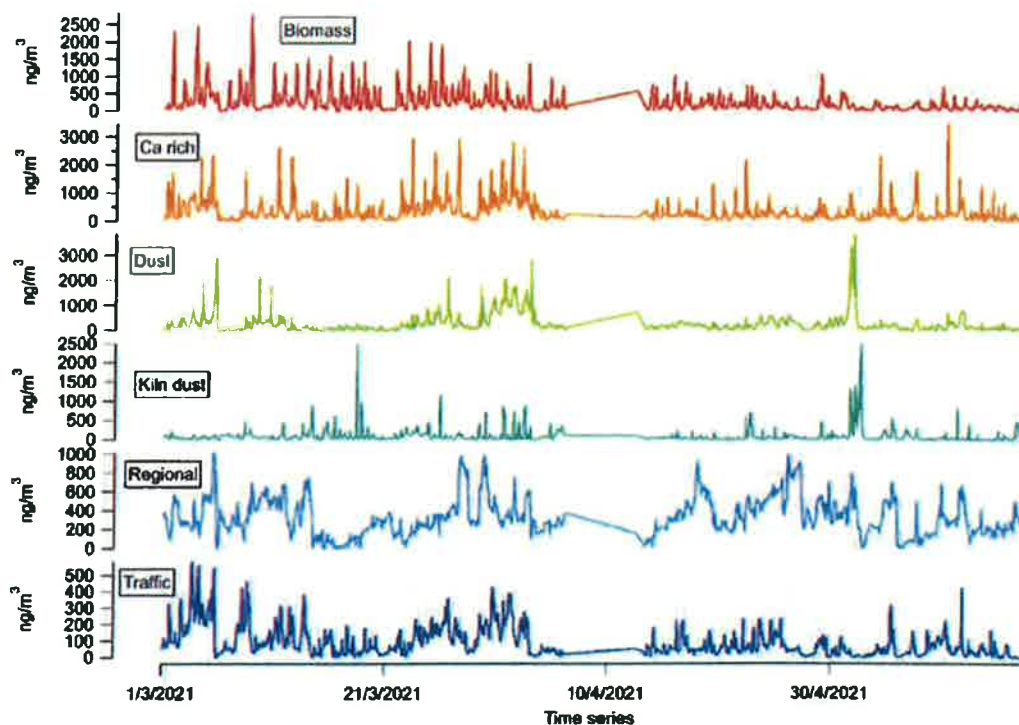
Slika 7: Karakteristični profili iz PMF zaznanih virov elementov v PM₁₀. Stolpci predstavljajo normaliziran prispevek sledilnih elementov k posameznemu viru (leva y-os, vsota je 1), zvezde pa normaliziran prispevek vira k sledilnemu elementu (desna y-os, vsota je 1).

4 Rezultati določanja virov

Vhodni podatki statične metode PMF za določanje virov so bili urni podatki elementov v PM₁₀ zaznanih z XRF merilnikom Xact 625i. Z visokoločljivostnimi meritvami, ki omogočajo analizo spreminjanja koncentracij onesnaževala tekom dne in zaznavo kratkotrajnih obdobij povišanih koncentracij, smo dobili poglobljen vpogled na vire onesnaženja zraka na območju. Uporabljena metoda določanja virov je podrobneje opisana v Manousakas in sod. (2022). Analiza je bila izvedena s programsko opremo SoFi 9.1.0. v programu IGOR Pro (Canonaco in sod., 2013).

Z metodo smo dobili faktorje, ki smo jih na podlagi sledilnih elementov pripisali virom elementarnega dela delcev PM₁₀. Ločili smo **šest faktorjev: s klorom (Cl) bogat vir, s kalcijem (Ca) bogat vir, promet, mineralni prah, regionalni prispevek in zgorevanje lesa.**

Dobljeni faktorji oz. viri niso identični faktorjem dobljenih s PMF metodo na dnevni filterni (UNG, 2022), so pa, kot opisujemo v naslednjih poglavjih, primerljivi in se dopolnjujejo. Razlike v številu zaznanih faktorjev in tudi poimenovanju se pojavljajo zaradi različnih merjenih parametrov, načina merjenja in časovne resolucije meritve. V tem poročilu predstavljamo vire, ki prispevajo h koncentracijam elementov v PM₁₀ in ne kot v poročilu UNG (2022), k celotni masi PM₁₀. Metodi se razlikujeta tudi po merjenih spremenljivkah vključenih v sam model določanja virov, pri analizi dnevni filterni smo namreč poleg kovin upoštevali še organski ogljik, meritve črnega ogljika (BC), ione in lahke organske spojine ter poliole in sladkorje.



Slika 8: Časovni potek koncentracij (ng/m^3) elementov posameznih virov od februarja do aprila 2021.

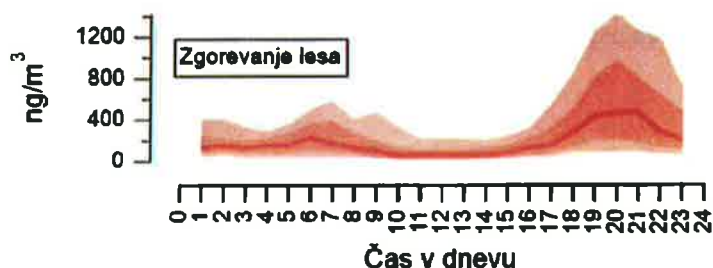
Elementi prispevajo h koncentracijam delcev PM_{10} do kakih 10%, vendar so pomembni sledilci virov (sploh kovine) in lahko z njimi povečamo zanesljivost določanja teh virov. Deleži, ki smo jih določili za elemente, zato ne veljajo za delce PM_{10} , pač pa za prispevke elementov k delcem.

Če ne upoštevamo epizode saharškega peska v februarju (osenčeno območje, Slika 4), k masi merjenih elementov v PM_{10} največ prispevajo regionalni, s kalcijem (Ca) bogat vir, mineralni prah in zgorevanje lesa. Vsak od njih predstavlja približno petino elementarne mase PM_{10} . Prispevek prometa in s klorom bogatega vira pa vsak prispevata po pribl. 7 % elementarnega dela. Povprečni relativni prispevek virov k masi elementov v PM_{10} je prikazan v poglavju Priloge. Pri tem je potrebno ponovno poudariti da gre za prispevek k elementarnemu delu PM, kar ni isto, kot prispevek k vira k celotni masi PM_{10} . Ocenjena negotovost prispevka je zelo nizka, od 1 do 3 % za mineralni prah, zgorevanje biomase, s kalcijem bogat vir in nizka, 7 in 12,5 % za s klorom bogat vir in promet.

4.1 Zgorevanje lesa

Zgorevanje lesa od vseh virov prispeva največ h kaliju (K) (80 %) in k rubidiju (Rb) (80 %). Nekaj prispeva tudi k žveplu (S) in ostalim kovinam – Zn, As in Pb (Slika 7). Kalij je uveljavljen sledilec zgorevanja biomase (Arnato in sod., 2016), vodotopni K, ki je anorganska sestavina prisotna predvsem v pepelu, je za lesnim sladkorjem levoglukozanom drugi najboljši indikator tega vira. Kalij je izpuščen kot KCl v primeru svežih izpustov, ki so kasneje spremenjeni v K_2SO_4 ali KNO_3 (starani izpusti). Razmeroma nizko razmerje med S in K nakazuje na sveže izpuste vira na območju (Viana in sod., 2013). Ostale kovine (Zn, As in Pb) lahko nastajajo kot posledica nečistega kurjenja in / ali pa gre za dodaten prispevek zanešenih izpustov zgorevanja biomase od drugod (reference v Manousakas in sod., 2022). K masnim

koncentracijam vira v več kot 80 % prispeva kalij (K), 10 % žveplo (S) in v nekaj procentih kalcij (Ca) (Slika 7).



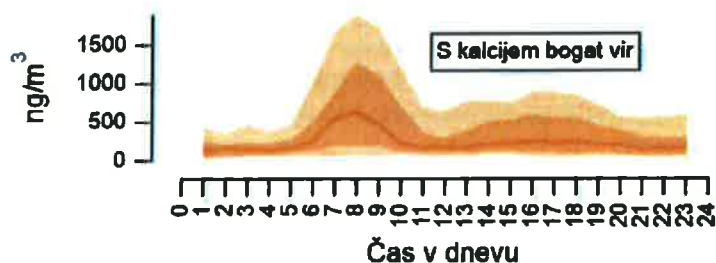
Slika 9: Srednji dnevni potek (mediana) prispevka zgorevanja lesa v ng/m^3 . Osenčeno območje predstavlja interkvartilni razmik.

Iz časovnega poteka (Slika 8) je za zgorevanje lesa razvidna dnevna dinamika aktivnosti vira, z izrazitejšim večernim viškom koncentracij v dnevnem poteku (Slika 9), ko so ljudje doma.

Kot je pokazala analiza filtrskih meritev (UNG, 2022) je vir zelo pomemben v hladni polovici leta (pozimi, jeseni in manj spomladi), ko predstavlja največji vir delcev PM_{10} , zlasti zaradi visokih koncentracij organskih spojin.

4.2 S kalcijem bogat vir

S kalcijem bogat vir, kot pove samo ime, zajema 80 % vsega kalcija (Ca), ki predstavlja tudi glavnino mase samega faktorja (Slika 7). Kalcij je sestavni del tal in se uporablja kot gradbeni material in kot polnilo pri materialih za prekrivanje cest (Limbeck in sod., 2009). Poleg Ca so v profilu faktorja prisotne tudi kovine Cr, Mn, Ni, Cu in Sr. Vir je povezan z aktivnostmi v bližnjem kamnolomu in resuspenzijo delcev s tal, najverjetneje s cest. Na to nam nakazuje tudi dnevni profil faktorja (Slika 10) z viškom koncentracij med 6. in 10. uro zjutraj, ki se deloma ujema s prvim viškom prometa (Slika 14).

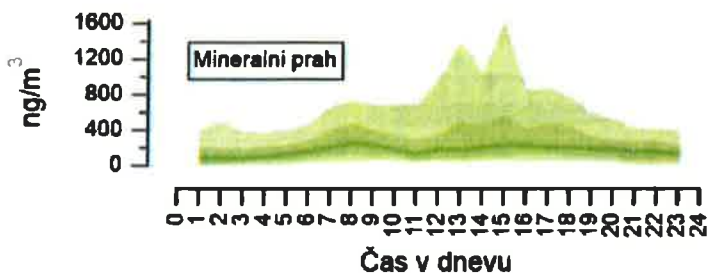


Slika 10: Srednji dnevni potek (mediana) prispevka kamnoloma v ng/m^3 . Osenčeno območje predstavlja interkvartilni razmik.

Analiza PMF dnevni filtrov (UNG, 2022) navedenega vira ni posebej zaznala, saj ga predvsem zaradi pomanjkanja informacij o dnevni dinamiki ni mogla ločiti od drugod zanesenega prahu. Lokalni prah, t.i. s kalcijem bogat vir, je v analizi UNG (2022) zajet v profil faktorja mineralni prah, ki ga v tej študiji posebej obravnavamo (naslednje poglavje).

4.3 Mineralni prah

Z mineralnim prahom so povezani elementi zemeljske skorje kot so silicij (Si), titan (Ti), železo (Fe) in stroncij (Sr), ki so tudi pogosto uporabljeni sledilci mineralnega prahu (Vasilatou in in sod., 2017). Vsebnost barija (Ba) in nekaj vanadija (V) v profilu (Slika 7) kažeta na zanos saharškega peska (Cesari in sod., 2016).



Slika 11: Srednji dnevni potek (mediana) prispevka mineralnega prahu v ng/m³. Osenčeno območje predstavlja interkvartilni razmik.

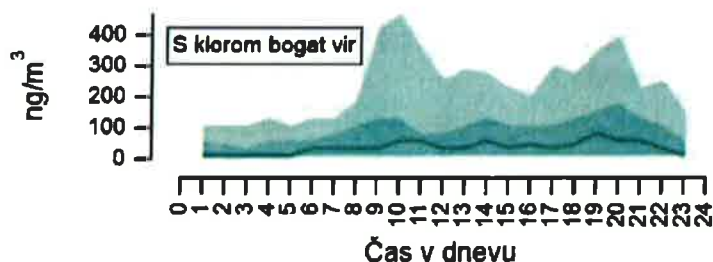
Da gre za prah, ki je bil zanašen na območje, odraža tudi neizrazita dnevna variabilnost vira (Slika 11).

4.4 S klorom bogat vir

Četrti vir vsebuje ves klor (100 %), ki z 80 % prispeva tudi največ k sami masi vira (Slika 7). Ta faktor je nenavaden, ker ga ne prepoznamo kot tipičen faktor, ki bi ga z metodami za določanje virov (kot je PMF) našli drugje v Evropi.

Vir je pomemben zlasti v hladni polovici leta (UNG, 2022), saj so kloridi hlapljivi in običajno ne ostanejo v trdi aerosolski fazi (Rovira in sod., 2018). Vir je bil prepoznan tudi pri določanju virov dnevniških filternih meritev (UNG, 2022). Korelacija med kloridi izmerjenimi z analizo dnevniških filtrov in povprečnimi koncentracijami klora XRF meritev je visoka ($R^2 = 0,6$) in je prikazana v poglavju Priloge. Ta neobičajen vir je rezultat analiz z različnimi metodami na vzorcih, zbranih na različne načine, kar močno poveča pomembnost rezultatov.

Koncentracije klora v krajših obdobjih dosegajo zelo visoke vrednosti, ki jih je mogoče primerjati z vrednostmi v bližini cementarn (Rovira in sod., 2018; Yatkin in Bayram, 2010), kjer pa niso uporabili analize PMF. V Španski študiji so poskusili izmeriti razlike pri prehodu cementarne na sosežig prevmatik.



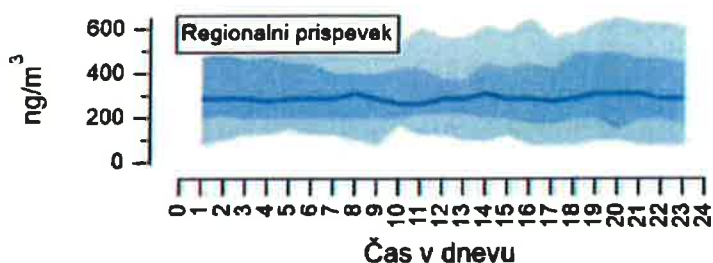
Slika 12: Srednji dnevni potek (mediana) prispevka s klorom bogatega vira v ng/m³. Osenčeno območje predstavlja interkvartilni razmik.

Na zelo velike razlike v koncentracijah kaže tudi interkvartilni razpon od srednjega dnevnega poteka vira, ki je izmed vseh virov največji (Slika 12). Koncentracije vira so povišane tekom

celega dne z nekoliko višjim vrednostmi dopoldne in zvečer, ko je ozračje v času inverzij tudi stabilnejše, hkrati pa smo ljudje takrat že aktivni v službah.

4.5 Regionalni prispevek

Za regionalni faktor je značilna visoka vsebnost žvepla (80 % celotne mase faktorja in 70 % celotnega elementa) ki ustreza sekundarnemu SO_4^{-2} , ki nastane z oksidacijo predhodnega plina SO_2 (Zhuang in sod., 1999). V profile vira (Slika 7) najdemo tudi kovine Ni, As, Se, Br, Pb in nekaj Zn. Arzen (As) in selenij (Se) sta pogosto upoštevana kot sledilca zgorevanja premoga (Vejahati in sod., 2010); Ni, Br, Pb in Zn pa kažejo na izpuste povezane s prometom in industrijo (Schauer in sod., 2006; Jang in sod., 2007). Vsi ti elementi nakazuje na transport onesnaževal iz drugih območij Evrope. Da ne gre za lokalne izpuste pa potrjuje tudi neizrazita dnevna dinamika vira (Slika 13).

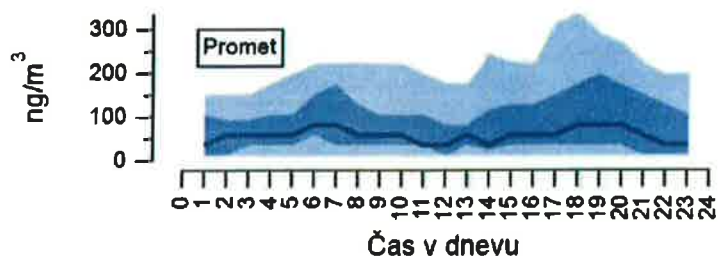


Slika 13: Srednji dnevni potek (mediana) regionalnega prispevka v ng/m^3 . Osenčeno območje predstavlja interkvartilni razmik.

Vir se zelo dobro ujema s faktorjem dnevnih filtrskih meritev imenovan s sulfati bogat vir (UNG, 2022). Filtrske meritve so poleg navedenega faktorja prepoznale tudi druge regionalne vire in sicer, z nitrati bogat vir, sekundarni produkti oksidacije in starano morskno sol. Ker velike večine sledilcev naštetih virov z XRF merilniki ne zaznavamo tudi njihovih virov ne moremo prepoznati.

4.6 Promet

Promet predstavlja največji delež bakra (Cu, 70 %), cinka (Zn, 60 %), svinca (Pb, 60 %), kroma (Cr, 60 %) in mangana (Mn, 50 %) (Slika 7). Slednje kovine so značilni sledilci prometnih izpustov (Schauer in sod., 2006). V profilu faktorja so prisotni tudi železo (Fe), nikelj (Ni), arzen (As), selen (Se) in brom (Br).



Slika 14: Srednji dnevni potek (mediana) prispevka prometa težkih tovornih vozil (zgoraj) ter osebne prometa in lahkih tovornih vozil (spodaj) v ng/m^3 .

Promet na območju predstavljajo osebna in tovorna vozila, njihov prispevek pa je ves čas konstanten (UNG, 2022). Okoli tri četrtine emisij vseh tovornih vozil povzročajo vozila, ki gredo mimo Solkana in Deskel, ne pridejo pa do Dobljarja (Podkoritnik, 2022). Sklepamo lahko, da so to vozila, ki gredo v industrijsko cono v Anhovem, najverjetneje v cementarno. Promet tako ni popolnoma neodvisen vir, saj je večina tovornega prometa vezana na industrijo. V dnevu (Slika 14) sta vidni dve povišanji koncentracij elementov v PM_{10} zaradi prometa – zjutraj med 5. in 11. uro ter zvečer med 17. in 21. uro. Vidno je tudi rahlo povečanje okrog 13. ure, kar se ujema z dinamiko izpustov tovornih vozil (UNG, 2022).

5 Sklepi in priporočila

Namen te študije je bil na podlagi visokih časovnih meritev 37 elementov v PM osvetliti in podrobneje proučiti vire onesnaženja zraka v občini Kanal ob Soči. Zaznanih je bilo **šest virov**, ki pomembno prispevajo k elementarnemu delu delcev PM₁₀ na območju. Zaznani viri, **zgorevanje lesa, s kalcijem bogat vir, mineralni prah, regionalni prispevek, s klorom bogat vir in promet** se zelo dobro ujemajo in dopolnjujejo z viri, za katere smo določili, da **prispevajo k onesnaženosti masnih koncentracij delcev PM₁₀** predstavljenih v predhodnem poročilu UNG (2022).

Z dodatno analizo virov elementarne sestave delcev visokoločljivostnih meritev smo dodatno ugotovili:

- Na podlagi enournih meritev je bilo mogoče dodatno **ločiti lokalni in regionalni** izvor posameznih virov.
- Ugotovljene so bile **pogoste, nenadne, visoke koncentracije** onesnaževal posameznih virov **lokalnega izvora**, ki jih z analizo dnevnih filtrov nismo mogli zaznati.
- Analiza dnevnih profilov je razkrila obdobja v dnevu, ko so **koncentracije** onesnaževal močno **povišane**. Problematična so **jutra**, ko k povišanju onesnaževal prispeva **promet, s kalcijem bogat vir** in tudi **s klorom bogat vir**, ter **večeri**, ko k povišanju prispeva večema konica **prometa** in še posebej **zgorevanje lesa**.
- Poleg z vetrom prenesenega **mineralnega prahu od drugod**, je vir prahu na območju tudi **lokalen** in je povezan z aktivnostmi v **kamnolomu** in resuspenzijo delcev, predvidoma s **cest**.
- Analiza elementarnega dela delcev PM₁₀ je potrdila prisotnost predhodno ugotovljenega vira, imenovanega **s klorom bogat vir**, ki ga v študijah PMF na drugih lokacijah nismo zaznali. Glede na kemično sestava ostanka pri proizvodnji cementa in ta vir je povezan s **cementarno** (in potencialno povezano s sosežigom, ki lahko vpoveča izpuste kloridov).
- K prisotnostjo **kovin** v ozračju pomembno vpliva tudi **promet**, ki ga sestavlja težek **tovorni promet** povezan s cementarno in širše z industrijsko cono in **osebni promet**.

Ukrepi, namenjeni izboljšanju kvalitete zraka morajo ciljati k zmanjšanju izpustov **lokalnih virov**. Tako bi bilo dobro razmisliti o **programu menjave peči na les**, kakršno so izpeljali v Franciji (Chevrier in sod., 2016a). Koristno bi bilo **zmanjšati tovorni promet po cestah** in ga poskusiti **preusmeriti na železnico**, saj večina težkega tovornega prometa na regionalni cesti v dolini vozi v ali iz industrijske cone v Anhovem, najverjetneje cementarne (Podkoritnik, 2022). **Resuspenzijo** lokalnega prahu bi lahko zmanjšali z dodatnim **čiščenjem vozil in tal v kamnolomu** in okolici.

Opravljenе meritve in analize kažejo, da je s kloridi bogat vir povezan z **resuspenzijo** relativno grobih delcev s tal na področju **cementarne**. Te izpuste bi lahko najverjetneje učinkovito zmanjšali z še bolj **doslednim čiščenjem tal v cementarni** in **neposredni okolici**. To bi bil tudi eden najcenejših ukrepov, saj je potrebno učinkovitost ukrepov oceniti tudi v luči njihove investicijske intenzivnosti.

6 Literatura

- Amato, F., Alastuey, A., Karanasiou, A., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolari, G., Severi, M., Becagli, S., Gianelle, V.L., Colombi, C., Alves, C., Cust'odio, D., Nunes, T., Cerqueira, M., Pio, C., Eleftheriadis, K., Diapouli, E., Reche, C., Minguill'ón, C., Manousakas, M., Maggos, T., Vratolis, S., Harrison, R.M., Querol, X., 2016. AIRUSE- LIFE + : a harmonized PM speciation and source apportionment in five southern European cities. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 3289–3309. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3289-2016>.
- Apostolova, B., Glojek, K., Močnik, G., 2022. Highly time-resolved XRF analysis in complex fine and coarse mode aerosol mixtures. Inspiro project report. Univerza v Novi Gorici. 17 str.
- Canonaco, F., Crippa, M., Slowik, J.G., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., 2013. SoFi, an IGOR-based interface for the efficient use of the generalized multiline engine (ME-2) for the source apportionment: ME-2 application to aerosol mass spectrometer data. *Atmos. Meas. Tech.* 6, 3649–3661. <https://doi.org/10.5194/amt-6-3649-2013>.
- Canonaco, Francesco, Tobler, A., Chen, G., Sosedova, Y., Slowik, J. G., Bozzetti, C., Daellenbach, K. R., El Haddad, I., Crippa, M., Huang, R.-J., Furger, M., Baltensperger, U., & Prévôt, A. S. H. (2021). A new method for long-term source apportionment with time-dependent factor profiles and uncertainty assessment using SoFi Pro: application to 1 year of organic aerosol data. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(2), 923–943. <https://doi.org/10.5194/amt-14-923-2021>.
- Cesari, D., Donateo, A., Conte, M., Merico, E., Giangreco, A., Giangreco, F., Contini, D., 2016. An inter-comparison of PM_{2.5} at urban and urban background sites: chemical characterization and source apportionment. *Atmos. Res.* 174–175, 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.02.004>.
- European Environmental Agency [EEA], 2019. Air quality in Europe — 2019 report — EEA Report No 10/2019 (Issue 10). 755 <https://doi.org/10.2800/822355> Air quality in Europe — 2019 report — EEA Report No 10/2019., 2019.
- Furger, M., Minguillón, M. C., Yadav, V., Slowik, J. G., Hüglin, C., Fröhlich, R., Petterson, K., Baltensperger, U., & Prévôt, A. S. H. (2017). Elemental composition of ambient aerosols measured with high temporal resolution using an online XRF spectrometer. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(6), 2061–2076. <https://doi.org/10.5194/amt-10-2061-2017>
- Hasheminassab, S., Sowlat, M. H., Pakbin, P., Katzenstein, A., Low, J., & Polidori, A. (2020). High time-resolution and time-integrated measurements of particulate metals and elements in an environmental justice community within the Los Angeles Basin: Spatio-temporal trends and source apportionment. *Atmospheric Environment: X*, 7(July), 100089. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2020.100089>
- Herich, H., Gianini, M. F. D., Piot, C., Močnik, G., Jaffrezo, J. L., Besombes, J. L., Prévôt, A. S. H., and Hueglin, C.: Overview of the impact of wood burning emissions on carbonaceous aerosols and PM in large parts of the Alpine region, *Atmos. Environ.*, 89, 64–75, [doi:10.1016/j.atmosenv.2014.02.008](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.02.008), 2014.
- Jang, H.N., Seo, Y.C., Lee, J.H., Hwang, K.W., Yoo, J.I., Sok, C.H., Kim, S.H., 2007. Formation of fine particles enriched by V and Ni from heavy oil combustion: anthropogenic sources and drop-tube furnace experiments. *Atmos. Environ.* 41, 1053–1063. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.09.011>.

- Limbeck, A., Handler, M., Puls, C., Zbiral, J., Bauer, H., Puxbaum, H., 2009. Impact of mineral components and selected trace metals on ambient PM₁₀ concentrations. *Atmos. Environ.* 43, 530–538. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.012>.
- Manousakas, M., Diapouli, E., Belis, C. A., Vasilatou, V., Gini, M., Lucarelli, F., Querol, X., & Eleftheriadis, K. Quantitative Assessment of the variability in chemical profiles from source apportionment analysis of PM₁₀ and PM_{2.5} at different sites within a large Metropolitan area. *Environmental Research*, 192, 110257. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110257>, 2021.
- Manousakas, M., Furger, M., Daellenbach, K. R., Canonaco, F., Chen, G., Tobler, A., Rai, P., Qi, L., Tremper, A. H., Green, D., Hueglin, C., Slowik, J. G., El Haddad, I., and Prevot, A. S. H.: Source identification of the elemental fraction of particulate matter using size segregated, highly time-resolved data and an optimized source apportionment approach, *Atmos. Environ. X*, 14, <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100165>, 2022.
- Paatero, P., Eberly, S., Brown, S. G., & Norris, G. a. (2014). Methods for estimating uncertainty in factor analytic solutions. *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(3), 781–797. <https://doi.org/10.5194/amt-7-781-2014>
- Paatero, Pentti, & Tappert, U. (1994). Positive Matrix Factorization : A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*, 5, 111–126.
- Podkoritnik A.: Kanal ob Soči: Model prometnih emisij, seminar, Univerza v Novi Gorici, 2022.
- Polissar, V., Hopke, P. K., Paatero, P., Malm, W. C., & Sisler, J. F. (1998). Atmospheric aerosol over Alaska 2 . Elemental composition and sources. *Journal of Geophysical Research*, 103, 19045–19057.
- Rai, P., Furger, M., Slowik, J., Canonaco, F., Fröhlich, R., Hüglin, C., Minguillón, M. C., Petterson, K., Baltensperger, U., & Prévôt, A. S. H. (2019). Source apportionment of highly time resolved trace elements during a firework episode from a rural freeway site in Switzerland. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 1–25. <https://doi.org/10.5194/acp-2018-1229>.
- Reff, A., Eberly, S. I., & Bhave, P. V. (2007). Receptor Modeling of Ambient Particulate Matter Data Using Positive Matrix Factorization: Review of Existing Methods. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(2), 146–154. <https://doi.org/10.1080/10473289.2007.10465319>.
- Rovira, J., Sierra, J., Nadal, M., Schuhmacher, M., and Domingo, J. L.: Main components of PM₁₀ in an area influenced by a cement plant in Catalonia, Spain: Seasonal and daily variations, *Environ. Res.*, 165, 201–209, doi:10.1016/j.envres.2018.04.010, 2018.
- Schauer, J.J., Lough, G.C., Shafer, M.M., Christensen, W.F., Amdt, M.F., DeMinter, J.T., Park, J.S., 2006. Characterization of metals emitted from motor vehicles. *Res. Rep. Health Eff. Inst.*
- Tobler, A., Bhattu, D., Canonaco, F., Lalchandani, V., Shukla, A., Thamban, N. M., Mishra, S., Srivastava, A. K., Bisht, D. S., Tiwari, S., Singh, S., Močnik, G., Baltensperger, U., Tripathi, S. N., Slowik, J. G., & Prévôt, A. S. H. (2020). Chemical characterization of PM_{2.5} and source apportionment of organic aerosol in New Delhi, India. *Science of the Total Environment*, 745, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140924>
- Tremper, A. H., Font, A., Priestman, M., Hamad, S. H., Chung, T. C., Pribadi, A., Brown, R. J. C., Goddard, S. L., Grassineau, N., Petterson, K., Kelly, F. J., & Green, D. C. (2018). Field

and laboratory evaluation of a high time resolution x-ray fluorescence instrument for determining the elemental composition of ambient aerosols. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(6), 3541–3557. <https://doi.org/10.5194/amt-11-3541-2018>

Ulbrich, I. M., Canagaratna, M. R., Zhang, Q., Worsnop, D. R., & Jimenez, J. L. (2009). Interpretation of organic components from Positive Matrix Factorization of aerosol mass spectrometric data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 2891–2918.

UNG, 2022. Določanje virov onesnaženosti zraka na območju občine Kanal ob Soči , končno poročilo, UNG-P-KoS-2022-01, Univerza v Novi Gorici, 20. marec 2022.

Vejahati, F., Xu, Z., Gupta, R., 2010. Trace elements in coal: associations with coal and minerals and their behavior during coal utilization - a review. *Fuel* 89, 904–911. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.06.013>.

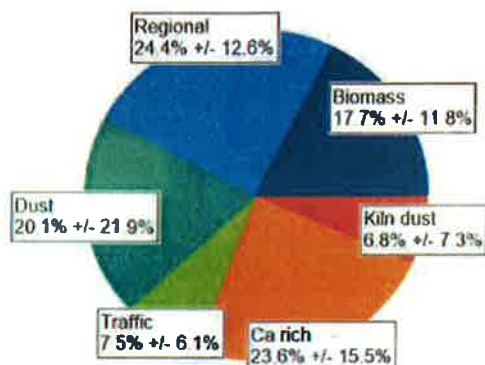
Viana, M., Kuhlbusch, T. a. J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P. K., Winiwarter, W., Vallius, M., Szidat, S., Prévôt, A. S. H., Hueglin, C., Bloemen, H., Wählin, P., Vecchi, R., Miranda, A. I., Kasper-Giebl, A., Maenhaut, W., & Hitzenberger, R. (2008). Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. *Journal of Aerosol Science*, 39(10), 827–849. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.05.007>

Visser, S., Slowik, J.G., Furger, M., Zotter, P., Bukowiecki, N., Canonaco, F., Flechsig, U., Appel, K., Green, D.C., Tremper, A.H., Young, D.E., Williams, P.I., Allan, J.D., Coe, H., Williams, L.R., Mohr, C., Xu, L., Ng, N.L., Nemitz, E., Barlow, J.F., Haliou, C. H., Fleming, Z.L., Baltensperger, U., Prévôt, A.S.H., 2015. Advanced source apportionment of size-resolved trace elements at multiple sites in London during winter. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 11291–11309. <https://doi.org/10.5194/acp-15-11291-2015>.

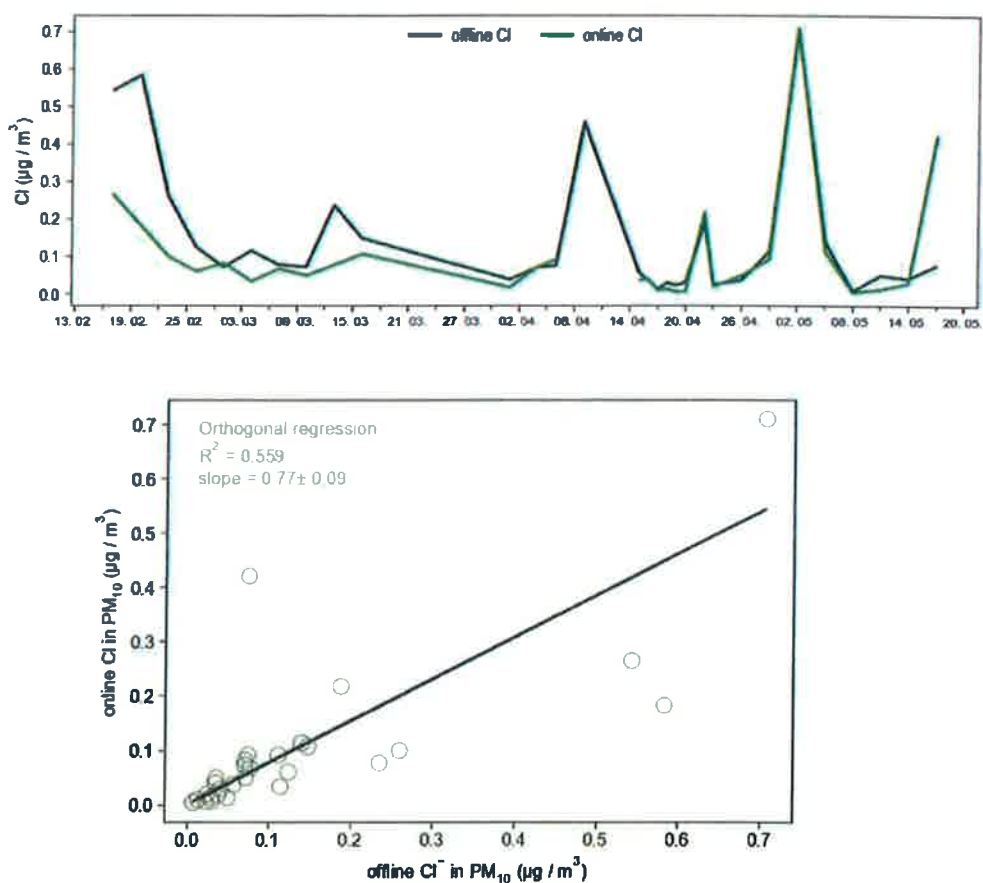
Weber, S., Uzu, G., Calas, A., Chevrier, F., Besombes, J.-L., Charron, A., Salameh, D., Ježek, I., Močnik, G., and Jaffrezo, J.-L.: An apportionment method for the oxidative potential of atmospheric particulate matter sources: application to a one-year study in Chamonix, 1045 France, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 9617–9629, doi:10.5194/acp-18-9617-2018, 2018.

Yatkin, S. and Bayram, A.: TSP, PM depositions, and trace elements in the vicinity of a cement plant and their source apportionments using chemical mass balance model in Izmir, Turkey, *Environ. Monit. Assess.*, 167, 125–141, doi:10.1007/s10661-009-1036-0, 2010.

7 Priloge



Slika 15: Relativni (%) prispevek virov k elementom v PM_{10} delcih za obdobje od marca do maja 2021. Prispevek saharskega peska je bil izključen iz analize. Opozoriti je treba, da ne gre za delež k celotni masi PM delcev, ampak za delež k masi elementov v PM_{10} , ki v povprečju predstavljajo 18 % celotne mase delcev.



Slika 16: Primerjava časovnih potekov (zgoraj) in regresija (spodaj) dnevni filtrskih meritev klorida (temnozeleno črta zgoraj in x-os spodaj) s povprečnimi dnevnimi vrednostmi klorida XRF meritev (svetlo zelena zgoraj in y-os spodaj).

