

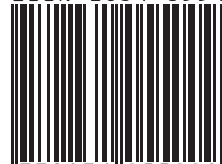


ZBORNİK RADOVA / PROCEEDINGS

2. REGIONALNI SIMPOZIJUM
O PLANIRANJU KVALITETA
ZRAKA U GRADOVIMA
2nd REGIONAL SYMPOSIUM
ON AIR QUALITY IN CITIES

03. i 04. Februar 2022. • Sarajevo, B i H
03 - 04 February 2022 • Sarajevo, B i H

ISSN 2831-0551



9 772831 055009

Organizatori / Organizers:



Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Консултаната Инжињера Босне и Херцеговине
Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina

Put života bb • 71 000 Sarajevo • BiH • tel: +387 33 276 326 • fax: +387 33 276 355 • e-mail: uki@bih.net.ba • URL: www.uki.ba



Topal Osman-paše 32b • 71 000 Sarajevo • BiH • tel: +387 33 563-580 • fax: +387 33 205 725 • e-mail: info@ceteor.ba • URL: www.ceteor.ba

Za izdavača / Publisher

Ešref Gačanin

Urednik / Editor

Nataša Stanišić

Grafički urednik / Layout editor

Aida Redžović

Štampa / Press

CPU Printing Co.
<https://www.cpu.ba/>

ISSN 2831-0551 (Print)
ISSN 2831-0551 (Online)

Tiraž / Edition

150 primjeraka / 150 copies

Naučno–stručni odbor Scientific Board

Predsjednik / President:

Akademik Kemal Hanjalić

Članovi / Members:

Mehmed Cero
Jasmina Čomić
Nijaz Delalić
Katja Džepina
Muhamed Hadžiabdić
Mirza Hujić
Azrudin Husika
Ismar Jamaković
Aleksandar Knežević
Cleo Kosanović
Sanda Midžić – Kurtagić
Samir Lemeš
Adnan Mašić
Branislava Matić
Dejan Mirakovski
Zarema Obradović
Enis Omerčić
Gordana Pehnac
Halim Prcanović
Dejan Radić
Admir Softić
Viktor Simončić
Dušan Todorović
Bogdana Vujić

Organizacioni odbor Organizational Board

Predsjednik / President:

Aleksandar Knežević

Članovi / Members:

Almir Bijedić
Darko Borojević
Edita Đapo
Srebrenka Golić
Almira Kapetanović
Tatjana Kapetanović
Elma Kavazović
Zijada Krvavac
Goran Mišić
Senad Oprašić
Ranka Radić
Svjetlana Radusin
Nataša Stanišić
Eldar Pirić
Plamenko Tais
Mersija Talić
Srđan Todorović
Zejnir Trešnjo





Sadržaj

Content

- ≈ 1 Rome Chavapricha, Esma Kreso:
Projekat: Kvaliteta zraka u BiH
BiH Air Quality Project 9
- ≈ 2 Aleksandar Knežević:
Pedeset godina od donošenja odluke o zaštiti zraka
od zagađivanja u gradu Sarajevu
Fifty years since the decision on air protection
in the city of Sarajevo 19
- ≈ 3 Nataša Dragić, Sanja Bijelović, Emil Živadinović:
Indeks kvaliteta vazduha: mogućnost različitih interpretacija
Air quality index: a review of the different interpretation
possibilities 27
- ≈ 4 Tamás Szigeti, Nóra Koplányi, Viktória Doró-Laukó, Ildikó Babcsány,
Barbara Bezegh, Orsolya Józsa, Dóra Simon:
Akcije za poboljšanje kvalitete zraka u Mađarskoj: HungAIRy LIFE IP
Actions to improve ambient air quality in Hungary:
the HungAIRy LIFE IP 45
- ≈ 5 Dejan Lekić:
Nacionalna ekološka asocijacija (NEA), Srbija, projekat “xEco Vazduh”
National Ecological Association (NEA), Serbia, project “xEco Air” 55
- ≈ 6 Muhamed Hadžiabdić, Mahir Hafizović, Kemal Hanjalić, Bojan Ničeno:
CFD analiza rasprostiranja PM₁₀ iz saobraćaja u centralnoj
gradskoj zoni Sarajeva pri blagom istočnom vjetru
CFD analysis of dispersion of traffic-emitted PM₁₀ in downtown
of the City of Sarajevo at a mild easterly wind 63

- ≈ 7 Dževad Bibić, Boran Pikula, Adnan Mašić:
Mreža senzora za mjerenje koncentracije lebdećih čestica u visokoj prostornih i vremenskoj rezoluciji
Network of sensors for measurement of particulate matter concentration with high spatial and temporal resolution 75
- ≈ 8 Keisuke Tanaka:
JICA–in pristup za realizaciju održive prometne infrastrukture i usluga
JICAs approach for realizing sustainable transport infrastructure and services projekat 81
- ≈ 9 Marko Marić, Ivana Hrga, Adela Krivohlavek, Mirela Jukić, Matijana Jergović, Gordana Bach, Josipa Roginić:
Web GIS aplikacija „Ekološka karta Grada Zagreba“ - operativni alat grada
Web GIS application „Ecological map of the City of Zagreb“ – city operational tool 91
- ≈ 10 Mirza Hujić:
Tranzicija ka niskim emisijama i ekonomiji otpornoj na klimu na Zapadnom Balkanu i Turskoj TRATOLOW projekat
Transition towards low emissions and climate–resilient economy in the Western Balkans and Turkey (TRATOLOW project) 105
- ≈ 11 Hamdija Mujezin, Dženana Kadrić, Senka M. Bećirović:
Aktivnosti UNDP–a u BiH u kreiranju preduslova za uspostavu ESCO tržišta u BiH
Activities of UNDP in BiH aimed at creation of preconditions for ESCO market development in BiH 113
- ≈ 12 Osman Lindov, Adnan Omerhodžić, Hamid Mehinović:
Preporuke za niskokarbonski razvoj transporta i urbane mobilnosti
Recommendations for low carbon transport development and urban mobility 125
- ≈ 13 Dällenbach Kaspar Rudolf, Andre Prevot:
Izvori i hemija štetnih komponenti kod onečišćenja zraka česticama
Sources and chemistry of the harmful components in particulate air pollution 145

- ≈ 14 Ismar Jamaković, Albin Toljević, Zijada Krvavac, Eldar Bičo, Hana Brekalović:
Podaci o strukturi i distribuciji individualnih ložišta u Kantonu Sarajevo
Data on the structure and distribution of individual household furnaces in the Sarajevo Canton 157
- ≈ 15 Sarah Barnekow:
Raspodjela izvora PM_{2.5}, u šest gradova u BiH
PM_{2.5} source apportionment in six cities in BiH 169
- ≈ 16 Enis Omerčić:
Učešće lebdećih čestica manjih od 2,5 mikrometara unutar koncentracije lebdećih čestica manjih od 10 mikrometara u FBiH
Participation of suspended particles smaller than 2.5 micrometers within the concentration of suspended particles smaller than 10 micrometers, in FBiH 185
- ≈ 17 Albin Toljević, Orhan Saletović:
Analiza kvaliteta ispitivanja izduvnih gasova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled u Federaciji BiH
Analysis of the quality of exhaust emission tests in technical inspection services in the Federation of BiH 191
- ≈ 18 Ismar Jamaković, Albin Toljević:
Povećanje pouzdanosti mjerenja emisija u zrak u FBiH
Increasing the reliability of emission measurements in FBiH 201
- ≈ 19 Jasmina Rinkovec, Silva Žužul, Magdalena Vincetić, Gordana Pehnac:
Utjecaj zatvaranja zbog COVID–19 na razine metala u zraku Zagreba
Impact of COVID–19 lockdown on metal levels in Zagreb air 211
- ≈ 20 K. Džepina, V. Moschos, A. Tobler, F. Canonaco, D. Bhattu, R. Casotto, A. Vlachou, S. Giannoukos, T. Cui, M. I. Manousakas, H. Lamkaddam, K. Dällenbach, M. Furger, J. Huremović, S. Žero, E. Omerčić, S. Salihagić, A. Mašić, G. Pehnac, R. Godec, I. Jakovljević, S. Žužul, J. Rinkovec, A. Kasper-Giebl, P. Redl, S. Frka, G. Uzu, J. L. Jaffrezo, K. Pavlović, N. Požar, J. J. Castillo, S. Sanchez, N. Kittner, S. Szidat, G. Salazar, S. Borrmann, U. Pöschl, U. Baltensperger, J. G. Slowik, I. El Haddad, A. S. H. Prevot, and G. Močnik:
Zagađenje zraka na Zapadnom Balkanu: lekcije naučene iz istraživanja atmosferskog aerosola u gradu Sarajevu, Bosna i Hercegovina

- Air pollution in the Western Balkans: lessons learned from atmospheric aerosol research in the city of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina** 219
- ≈ 21 Dragana Đorđević, Jelena Đuričić – Milanković, Aleksandra Mihajliđi – Zelić, Ljubiša Ignjatović, Dubravka Relić, Jasna Huremović, Andrea Gambaro:
Sadržaji toksičnih elemenata i glavnih jonskih vrsta u frakcijama razdvojenim po veličinama aerodinamičkog prečnika čestica ambijentalnog aerosola Beograda, urbane i suburbane zone
Contents of toxic elements and main ionic species in fractions separated by the sizes of the aerodynamic diameter of the particles of the ambient aerosol of Belgrade, urban and suburban zones 245
- ≈ 22 Branislava Matić, Andrej Šošarić, Nataša Dragić:
Prisustvo B(a)P u PM₁₀ u urbanom ambijentalnom vazduhu u Srbiji – zanemareni rizik po javno zdravlje izložene populacije
Presence of B (a) P in PM₁₀ in urban ambient air in Serbia – neglected risk to public health of the exposed population 253
- ≈ 23 Ranka Radić:
Prostorna i vremenska varijabilnost odnosa PM_{2.5}/PM₁₀ u Republici Srpskoj
Spatial and temporal variability of PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in Republika Srpska 261
- ≈ 24 Hana Alihodžić, Abdel Đozić, Nermin Alić:
Analiza ambijentalnih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} na području Tuzle, Lukavca i Živinica za period 2016 – 2019. godine
Ambient concentrations analysis of SO₂ and PM_{2.5} of Tuzla, Lukavac and Živinice area for 2016. – 2019. period 273
- ≈ 25 Gordana Peh nec, Ivana Jakovljević, Zdravka Sever Štrukil, Ivan Bešlić:
Razine lebdećih čestica i policikličkih aromatskih ugljikovodika u urbanim područjima kontinentalne Hrvatske
Levels of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban areas of continental Croatia 289

- ≈ 26 Balint Alföldy, Asta Gregorič, Matic Ivančič, Irena Ježek, Martin Rigler:
Izvor raspodjele crnog ugljika i CO₂ povezanog s izgaranjem, za određivanje faktora emisije specifičnih za izvor
Source apportionment of black carbon and combustion-related CO₂ for the determination of source-specific emission factors 299
- ≈ 27 Olivia Ryder:
Analiza rezultata mjerenja zagađenosti zraka u Sarajevu
Analysis of air pollution measurement results in Sarajevo 309
- ≈ 28 Ogrin Matej, Kristina Glojek:
Problemi kvaliteta zraka u gradskim i ruralnim naseljima Slovenije (uzorci slučaja iz Ljubljane i Loškog Potoka)
Issues of air quality in urban and rural settlements of Slovenia (case samples from Ljubljana and Loški Potok) 325
- ≈ 29 Vaios Moschos, Katja Dzepina, Deepika Bhattu, Houssni Lamkaddam, Roberto Casotto, Kaspar R. Daellenbach, Francesco Canonaco, Pragati Rai, Wenche Aas, Silvia Becagli, Giulia Calzolari, Konstantinos Eleftheriadis, Claire E. Moffett, Jürgen Schnelle-Kreis, Mirko Severi, Sangeeta Sharma, Henrik Skov, Mika Vestenius, Wendy Zhang, Hannele Hakola, Heidi Hellén, Lin Huang, Jean-Luc Jaffrezo, Andreas Massling, Jacob K. Nøjgaard, Tuukka Petäjä, Olga Popovicheva, Rebecca J. Sheesley, Rita Traversi, Karl Espen Yttri, Julia Schmale, André S. H. Prévôt, Urs Baltensperger and Imad El Haddad:
Godišnji ciklusi sastava aerosola i izvora širom Arktika.
Yearly cycles of aerosol composition and sources across the Arctic 343

1.

Rome Chavapricha, Senior Energy Specialist at World Bank Group

Esma Kreso, Senior Environmental Specialist at World Bank Group

Projekat: Kvaliteta zraka u BiH

BiH Air Quality Project

SAŽETAK

Prisustvo i aktivnosti Svjetske Banke u Bosni i Hercegovini sa predstavljanjem projekta u pripremi sa fokusom na poboljšanje stanja upravljanja kvalitetom zraka

Svjetska banka, kao međunarodna institucija i banka za obnovu i razvoj čija je zemlja članica Bosna i Hercegovina, je prisutna više decenija u Bosni i Hercegovini kroz brojne razvojne projekte. Projekti ove vrste su se radili i u doba dok je SR BiH bila dio Jugoslavije, te se od najznačajnijih za ovaj skup ističe projekat *Kontrole zagađenja zraka u Sarajevu zajedno sa vodosnabdjevanjem i upravljanjem otpadnim vodama*, po sporazumu koji je Skupština grada Sarajeva potpisala sa Međunarodnom bankom za obnovu i razvoj davne 1976. godine. Ovaj projekat je bio prvi projekat sa ciljem poboljšanja okoliša koji je Svjetska banka implementirala u cijelom svijetu.

Aktivnosti Svjetske banke se definišu unaprijed u vremenskom terminu od četiri godine, putem zajedničke Strategije o partnerstvu, dokumentu koji priprema Banka zajedno sa zemljom članicom, u ovom slučaju Bosnom i Hercegovinom. Određuju se prioritete sukladno potrebama zemlje članice.

U toku je priprema projekta koji ima za cilj poboljšanje upravljanja kvalitetom zraka. Uzimajući u obzir kako je upravljanje kvalitetom zraka problem koji je istaknut u sektorima zdravstva i okoliša, a proizlazi iz aktivnosti sektora energetike, transporta, industrije, građevinarstva, prostornog planiranja i privrede, veoma je bitno da svi akteri djeluju zajedno kako bi se (omogućilo postizanje ciljeva ovakvih projekta i aktivnosti, a to je smanjenje koncentracija zagađujućih tvari u zraku. Tim Svjetske banke je u januaru 2019. godine objavio izvještaj koji se tiče stanja u ovoj oblasti; te se taj izvještaj, koji je definisao glavne izvore zagađenja zraka (grijanje i transport) koristio kao osnova za pripremu projekta. Projekat će imati za cilj da unaprijedi sistem samog upravljanja kvalitetom zraka ali će ponuditi i sredstva za konkretne aktivnosti koje bi smanjile kontribuciju zagađenja iz oblasti grijanja/loženja i transporta.



WORLD BANK

World Bank BiH Air Quality Project



WORLD BANK

World Bank is present in BiH for more than 20 years.
As part of Yugoslavia, the World Bank has supported
BiH for longer than that.

World Bank support is based on a 4 year Country
Partnership Strategy agreed between WB and BiH,
and based on priorities in country.





PROJECT COORDINATION AGREEMENT
(Sarajevo Air Pollution Control Project)
(Sarajevo Water Supply and Sewerage Project)

between

INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION
AND DEVELOPMENT

and

SKUPSTINA GRADA SARAJEVA
(City Assembly of Sarajevo)

Dated June 8, 1976

The first environmental project of WB globally was the Sarajevo Air Pollution Control Project aimed to bring natural gas to Sarajevo agreed in 1976.



World Bank support continues through:

- leading the reconstruction of the Old Bridge in Mostar
- nine wastewater treatment plants including reconstruction of the Butile plant in Sarajevo





WORLD BANK

- post-war housing reconstruction
- reconstruction of all bridges on M-17
- reconstruction of 82 primary schools further strengthened by energy efficiency measures
- reconstruction of 5 clinics and 15 hospitals with added energy efficiency measures



WORLD BANK

- construction of sanitary landfills
- improved water supply and sanitation
 - access to finance for SMEs
- investments in improving operations of HPPs and TPPs
- emergency support after 2014 floods and for Covid-19





WORLD BANK

- support to agriculture, forestry and river management
- first forest inventory since 1960s
- NEAP in 2003.

Report on the Air Quality Management in BIH 2019.



WORLD BANK



The report focuses on PM 2.5
Conducted based on the data
available in country and global
assessment methodologies.
Report presented at the first UKI
Symposium on Air Quality in
Sarajevo.





Presently the World Bank is in the process of preparation of a new investment project to improve Air Quality in BiH (specifically FBiH)
 Project will be open to all interested cantons with Canton Sarajevo having the primary focus



WORLD BANK

- The Project is focused on two main components:
1. environmental monitoring and management
 2. decreasing air pollution from (i) household heating and (ii) traffic and transport through improved and sustainable urban mobility

These three key sectors have emerged from the 2019 report to improve management and also to decrease pollution from the two main contributors



Air Quality Context

Air quality management (AQM) is a complex challenge that often requires understanding and prioritization of key sectoral contributions across space and time

Key AQM challenges

Variability across space and time

- While most AQ monitoring is in cities, it is representative of an "airshed" that is spatially different than the geographical boundary of a city
- The temporal dimension is equally important since air quality changes with seasons and meteorology

Multiple sources of pollution

- Emissions come from many different sectors that react and combine to form air pollution of one sort or another
- Attribution can be complex

Long time horizon to see results

- Time horizon for delivering the outcomes is seldom within one project's lifetime
- Sustaining AQ gains requires ongoing support of iterative AQ Management Planning over the long term

Coherency with climate politics

- Measures to reduce PM_{2.5} emissions can have important synergies or trade-offs with climate change mitigation measures



WORLD BANK

The World Bank can support governments in adopting air quality improvement measures

Possible interventions to improve air quality

Scale up clean energy and sustainable heating	<ul style="list-style-type: none"> Support adoption of renewable energy sources and sustainable heating solutions, including support for innovative technologies (e.g., hydrogen) and heating electrification
Increase energy efficiency	<ul style="list-style-type: none"> Scale up energy efficiency in the residential and industrial sectors to reduce energy demand
Leverage natural gas as a transition fuel	<ul style="list-style-type: none"> Provide context-specific, transitional support for natural gas as part of a broader decarbonization strategy

Key co-benefits of air quality improvement measures

Improved energy security



Enhanced climate resilience and GHG emission reduction



Healthcare cost savings





WORLD BANK

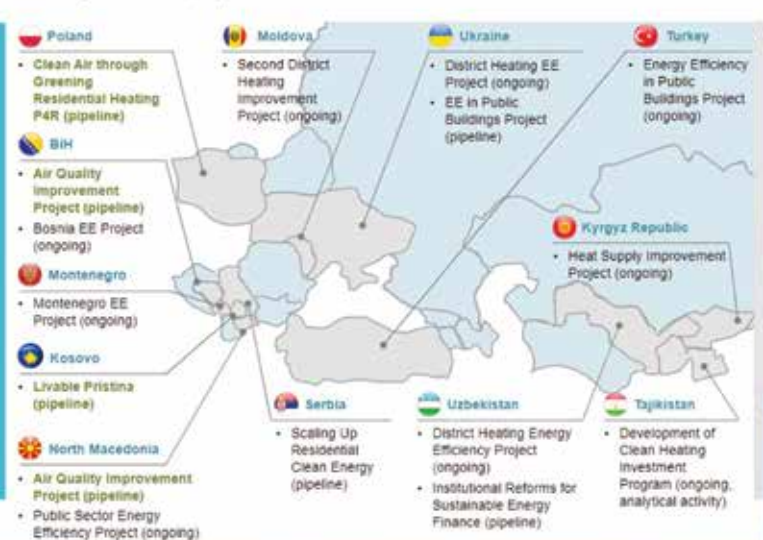
What can the World Bank do?

- Offer financing for air quality improvement policy and programs
- Provide analytical insights (e.g., air pollution analytics, least-cost generation plans)
- Support governments in preparing national clean heating strategies and roadmaps that get reflected in NDC revisions

WB Engagement

Examples of "AQ in Action" in the ECA energy sector

XXX – Project with direct air quality focus



Poland

- Clean Air through Greening Residential Heating P4R (pipeline)

BIH

- Air Quality Improvement Project (pipeline)
- Bosnia EE Project (ongoing)

Montenegro

- Montenegro EE Project (ongoing)

Kosovo

- Livable Pristina (pipeline)

North Macedonia

- Air Quality Improvement Project (pipeline)
- Public Sector Energy Efficiency Project (ongoing)

Moldova

- Second District Heating Improvement Project (ongoing)

Serbia

- Scaling Up Residential Clean Energy (pipeline)

Ukraine

- District Heating EE Project (ongoing)
- EE in Public Buildings Project (pipeline)

Turkey

- Energy Efficiency in Public Buildings Project (ongoing)

Kyrgyz Republic


- Heat Supply Improvement Project (ongoing)

Uzbekistan

- District Heating Energy Efficiency Project (ongoing)
- Institutional Reforms for Sustainable Energy Finance (pipeline)

Tajikistan

- Development of Clean Heating Investment Program (ongoing, analytical activity)



WORLD BANK



WORLD BANK

Potential challenges:

- multiple sectors involved
- multiple levels of responsibilities and actions required

Improved air quality is a long term challenge and process that requires dedication and change of all actors at all levels.



WORLD BANK

We thank you for your attention and welcome questions and comments.

Rome Chavapricha Esma Kreso Manuel Jose Millan Sanchez
Senior Energy Specialist Senior Environmental Specialist Senior Energy Specialist
rchavapricha@worldbank.org ekreso@worldbank.org mmillansanchez@worldbank.org



2.

Aleksandar Knežević, Regional education and information center for sustainable development in South-East Europe

Pedeset godina od donošenja odluke o zaštiti zraka od zagađivanja u gradu Sarajevu

Fifty years since the decision on air protection in the city of Sarajevo

SAŽETAK / ABSTRACT

Počeci borbe za smanjivanje zagađivanja vazduha / zraka (emisija) u Sarajevu

U periodu 1960 – 1980. godina u Sarajevu se vrše istraživanja emisija zagađujućih materija koje nastaju sagorijevanjem domaćih vrsta ugljeva u ložištima koja su se tada koristila u tom gradu. Bio je to jedinstven primjer u Jugoslaviji da se radi na smanjivanju zagađivanja zraka, a ne pretežno na uspostavi sistema monitoringa kvaliteta zraka.

Počeci borbe za smanjivanje zagađivanja zraka u Sarajevu počinju radnjama na osnivanju Zavoda za mehaničku procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Sarajevu od strane prof. Milenka Krstića u proljeće 1964. godine kada se, kao student 4. godine studija sa pola radnog vremena, u ovaj proces uključuje i autor ovog priloga.

Bio je to simboličan dio napora da se radi na smanjenju emisija zagađujućih materija, posebno čađi i nesagorjelih ugljikovodika.

Beginnings of the fight to reduce air pollution in Sarajevo

In the period 1960 - 1980, research was carried out in Sarajevo on emissions of polluting substances resulting from the burning of domestic types of coal in the furnaces. It was a unique example in Yugoslavia of working to reduce air pollution, and not mainly to establish an air quality monitoring system.

The beginnings of the fight to reduce air pollution in Sarajevo begin with the actions to establish the Institute for Mechanical Process Technology of the Faculty of Mechanical Engineering in Sarajevo by prof. Milenko Krstić in the spring of 1964, when, as a 4th-year part-time student, the author of this article was also involved in this process.

It was a symbolic part of efforts to reduce emissions of pollutants, especially soot and unburned hydrocarbons.

Istraživanje emisija zagađujućih materija

Prve inicijative u vezi saniranja zagađenosti zraka u Sarajevu, započinju početkom 60-tih godina prošlog vijeka. U to vrijeme smatralo se da se problem prekomjerne emisije čađi može riješiti postavljanjem filtera na dimnjake. Tako je 1965. godine na dimnjak zgrade „Higijena“ u tadašnjoj ulici Svetozara Markovića (danas Josipa Štadlera) bio montiran filter za čišćenje dimnih gasova (vodeni sprej). Ispitivanje efikasnosti čišćenja dimnih plinova obavila je gravimetrijskim mjerenjem emisije ekipa sastavljena od saradnika Mašinskog fakulteta u Sarajevu, Mašinskog fakulteta u Pragu i Dalmacijacementa iz Solina. Već tada je postalo jasno da se emisija treba smanjivati kroz kvalitet i efikasnost sagorijevanja a ne izdvajati čađ iz dimnih plinova. Poboľjšanim sagorijevanjem bi se smanjila potrebna količina uglja, pošto smanjivanjem emisije čađi (i ostalih produkata nepotpunog sagorijevanja) povećava se ekonomičnost korištenja energije.



*Prof. Milenko Krstić
(Preuzeto iz
„Oslobođenje“,
6. juli 1980).*

U ljeto 1966. godine Zavod je izvršio ispitivanje filtera postavljenog na dimnjaku hotela Skopje u Skoplju. Licenca za ovaj uređaj je poklonjena kao pomoć Italije ili nekoga iz Italije nakon zemljotresa u Skoplju. Mjerenje emisije ispred i iza filtera pokazalo je neku efikasnost, ali i besmislenost čišćenja gasova od produkata nepotpunog sagorijevanja. Kroz uslove u ložištu treba osigurati kvalitetno sagorijevanje, a ne vršiti izdvajanje iz dimnih plinova produkte nepotpunog sagorijevanja koji u sebi nose potencijalnu energiju (čađ, ugljikovodici).



*Ekipa Zavoda za
mehaničku procesnu
tehniku Sarajevo
na krovu hotela Skopje
u Skoplju ispred
filtera Antismog
proizvodnje Metalac
Bitolj, 1966. godine*

Kotlovnice Grbavica I i Grbavica II u Sarajevu su bile kotlovnice na uglj i imale su veliku emisiju čvrstih čestica (leteći pepeo i leteći koks). Kotlovnice Čengić Vila i Otoka su takođe bile na uglj, ali su imale ugrađene odvajače

čvrstih čestica. Predloženo je Sarajevostanu i to je bilo prihvaćeno da se finansira projektovanje, izrada i ugradnja ciklonskog uređaja. Institut je dobio posao projektovanja, odnosno ja sam dobio taj zadatak. Kod projektovanja imao sam na umu granične vrijednosti emisije čvrstih čestica (200 mg/m³), kao i raspoloživi prostor za ugradnju. Nisam imao na umu veličinu ulaznih vrata niti veličinu prolaza do kotlova. Ali, sretno se sve završilo u centimetar. Izvršeno je mjerenje emisije čvrstih čestica – bila je u projektnim granicama.



Fotografija ciklonskog odvajачa u kotlovnici na ugali Grbavica II, Sarajevo

Akcija dnevnog lista „Oslobođenje“

U periodu 1965 – 1970. zagađenost zraka u Sarajevu je imala najviše vrijednosti u istoriji grada, mada su te vrijednosti bile za cca 30 % niže od onih katastrofalnog Londonskog smoga 1952. godine. Uzrok je bilo loženje uglja u ložištima koja nisu bila projektovana za korištene ugljeva; nisu postojali uslovi za pravilno sagorijevanje – izgaranje volatila (isparljivih materija) u uglju. Tu su na prvom mjestu bili kotlovi centralnog grijanja tipa Neovulkan, fabrike iz Zrenjanina, Srbija koji su bili projektovani za spaljivanje koksa (goriva sa minimalnim sadržajem isparljivih materija), tj. nisu bili namijenjeni za spaljivanje uglja.

To je bio povod da dnevni list Oslobođenje pozove stručnjake da daju prijedlog kako riješiti pitanje *aerozagađenja*^{1.1} u Sarajevu. Odziv je bio dobar. Javilo se sa svojim prijedlozima dvadesetak stručnjaka različitih profila, čiji su prilozi bili svakodnevno objavljivani. To je bio početak akcije Sarajeva na sanaciji kvaliteta zraka.

Samoinicijativno sam napisao jedan članak i poslao ga redakciji.



Prilog A. Kneževića u Oslobođenju, 7 mart 1967.

U svom prilogu A. Knežević je bio predložio da se uglj zamjeni tečnim gorivima koja imaju niži sadržaj sumpora. Ono što je posebno važno, napisao je: Potrebno je potpuno ekonomisanje i u proizvodnji i u potrošnji energetske sirovina i energije.²

Ispod mog priloga u novinama pisalo je da će u narednom broju biti prilog prof. Milenka Krstića. Tako smo nas dvojica preko novina saznali da i jedan i drugi razmišljamo o istom problemu, koji će usmjeriti rad Zavoda narednih 15-tak godina.

Protumačimo tu rečenicu. Pojavljuje se termin ekonomisanje u potrošnji energenata. Sedam godina kasnije u EU se to naziva *energy efficiency* 1973., a u FBiH se donosi Zakon o energijskoj efikasnosti 2014. godine, tj. 47 godina kasnije.

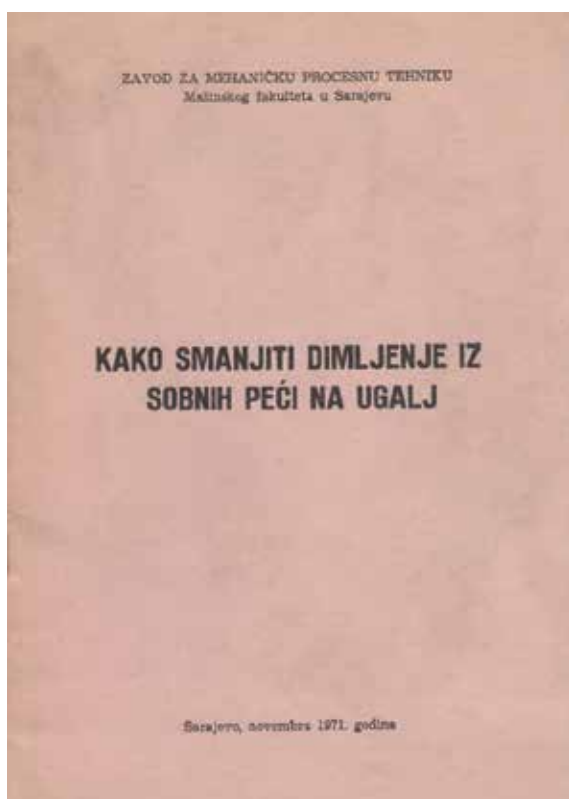
Istraživanje sagorijevanja uglja

U periodu 1965 – 1970. na znatnom broju dimnjaka u Srbiji i Dalmaciji mogli su se vidjeti filteri na dimnjacima hotela i poslovnih zgrada. Na bazi prvih istraživanja (Higijena u Sarajevu, Hotel Skopje u Skoplju) došli smo do zaključka da produkti nepotpunog sagorijevanja koji daju crnu boju dimnih gasova (čad i ugljikovodici) sadrže energiju koja se baca u atmosferu. Umjesto da se čiste gasovi od spojeva koji bi mogli sagorijevanjem osloboditi energiju, potrebno je promijeniti uslove u ložištu kako ne bi došlo do ove emisije, i kako bi iskorištenost goriva bila viša.

Istraživanja su započela na popularnoj sobnoj peći tipa Plamen (zvali su je i kraljica peći).^{1,11} Paralelno je trebalo razvijati metode mjerenja emisije nesagorjelih ugljikovodika.

Uz pomoć njemačkog fizičara Bauma (ime nisam upamtio) razvijena je metoda koju smo nazvali Baum-Bacharach metoda. Sastojala se u uzimanju uzoraka dimnih gasova na filter papiru, te poređenje sa skalom od 100 boja, koja je bila u jednom njemačkom institutu kalibrirana da daje vrijednosti u mg/m³. Osnov skale bile su deset nijansi crne boje čađi (Bacharach skala) i deset nijansi žuto-smeđe boje katrana (Baumova skala).

Istraživana su dva poznata načina loženja ovog tipa peći, tzv. loženje odozgo i loženje odozdo. Razlike u potrošnji uglja i u emisijama nesagorjelih ugljikovodika bile su izrazito velike, odnosno, pravilan način loženja bio je značajan koliko sa aspekta kvaliteta zraka, toliko i sa aspekta ekonomičnosti grijanja.



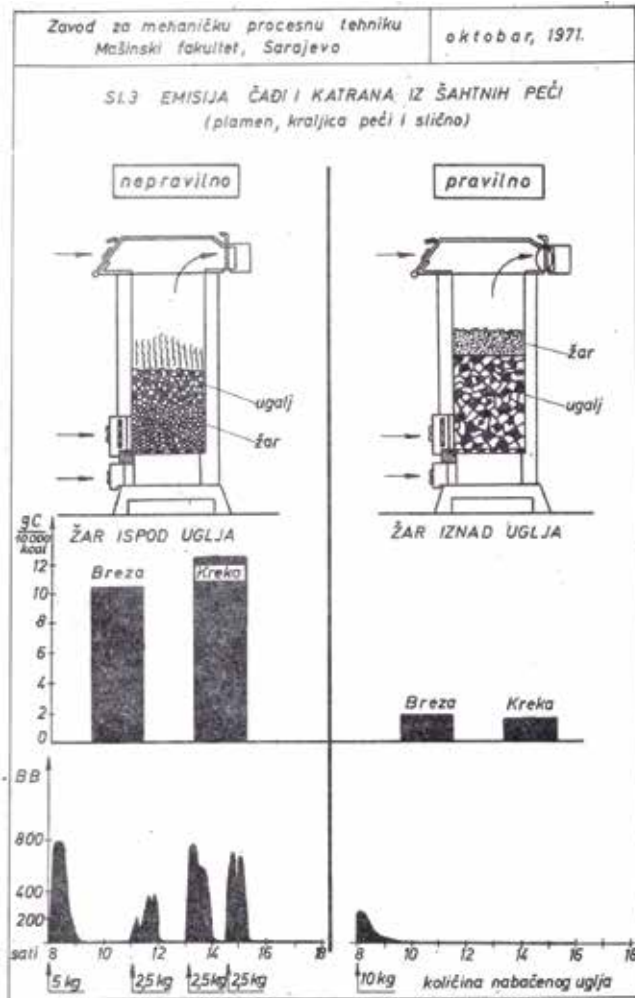
Knjižica „Kako smanjiti dimljenje iz sobnih pećo na ugalj“ štampana 1971. godine u 70.000 primjeraka

Loženje odozdo je protumačeno kao nepravilno, a loženje odozgo kao pravilan način loženja. Loženje odozdo podrazumijeva da se na rešetku stavi potpala (papir i meka drva), kada se vatra raspali da se stavi nekoliko cjepanica drveta, a kada se stvori žar nabaci se nekoliko lopatica uglja. Šta se tada dešava? Ugalj se grije, isplinjuje - napuštaju ga gasoviti ugljikovodici, od kojih samo dio izgori, a dio napušta ložište. Ugljikovodici koji napuštaju ložište čine aerosol zvan crni dim (black smoke) i time se zagađuje zrak. Pored ugljikovodika javlja se i drugi produkt nepotpunog sagorijevanja – ugljen-monoksid. Ukoliko se stvara ugljen-monoksid, a ne ugljendioksid, oslobađa se približno samo polovina energije koja bi nastala potpunom oksidacijom uglja. Ukoliko nema uslova za potpuno sagorijevanje javlja se i treći produkt nepotpunog sagorijevanja čađ.

Loženje odozgo podrazumijeva da se u prostor peći stavi veća količina uglja, a na ugalj potpala i drva. Kada se peć potpali i ugalj počne da se grije, ugljikovodici koji napuštaju ugalj prolaze kroz žar i sagorijevaju^{1.12} Emisija produkata nepotpunog sagorijevanja je minimalna, a povećan je i koeficijent toplotnog učina peći^{1.13}.

Skupština grada Sarajeva je tada finansirala pisanje i štampanje knjižice *Kako smanjiti dimljenje iz sobnih peći na ugalj* u 80.000 primjeraka, koje su dijeljene djeci u školama.

U slučaju loženja odozdo potrošeno je 25 % uglja više (nije mjerena količina isporučene toplote), a emisije u atmosferu izražene kao grama ekvivalentnog ugljika je neuporedivo veća. Emisija je prikazana u gramima po 10.000 kcal (kilokalorija, stara mjera za toplotnu energiju – 10.000 kcal je približno jednako 42 MJ; odgovara sadržanoj energiji u 1 kg ulja za loženje).



Poređenje emisija i potrošnje uglja kod loženja „odozdo“ i kod loženja „odozgo“ šahtne peći tipa Plamen

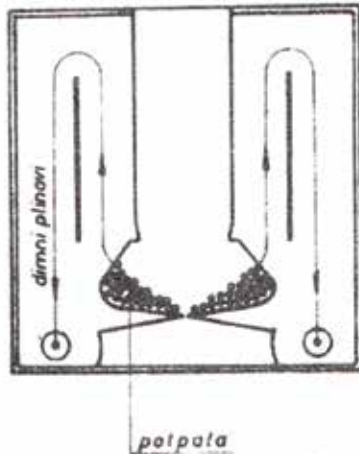
Na bazi rezultata istraživanja sobnih peći adaptiran je način loženja u kotlovima Neovulkan (Zrenjanin, Srbija) koji su bili u upotrebi u Sarajevu, a na prijedloga i angažovanja druga Novaka Anđelića koji je zajedno sa ložačima prije početka radnog vremena istraživao način loženja koji daje emisije sa manom crnoćom dima.

Ovi kotlovi odlikovali su se ručnim načinom loženja, imali odvod dimnih gasova bočno od rešetke, te bunker koji se punio ugljem. Ložači su najčešće ložili tako da su na rešetki potpalili snopić jelovih drva, a zatim nabacivali uglj po nekoliko lopata. Pratično su cijeli dan

nabacivali uglj, što je bilo i naporno. Drug Novak Anđelić je razgovarao sa ložačima kako osigurati da dimni gasovi prolaze kroz žar. Došli su na ideju, da žar nastao potpalom gurnu sa rešetke bočno a zatim na centran dio rešetke nabacuju uglj. Kada se uglj baci u kotao, on počne da se grije, iz njega izlazi metan i drugi ugljikovodici koji prolazeći kroz žar dogorjevaju i oslobađaju energiju. Ovaj način loženja nazvali smo A-1.

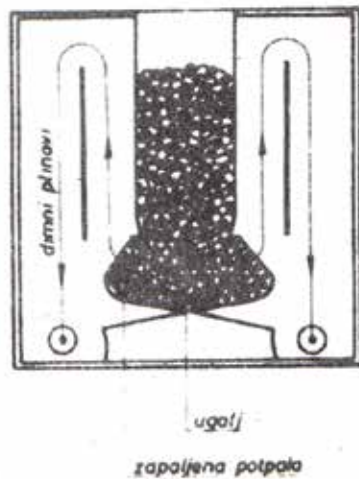
Način loženja A-2 omogućavao je punjenje bunkera kotla ugljem, što je omogućavalo ložačima da lože s mnogo manje napora.

Skica operacije



Opis operacije

Na obje strane rešetke a po čitavoj dužini kotla nabaciti potpala od 1 do 2 snopića drva i papira.



Napuniti kotao ugljem do željene visine (obično se napuni pun bunker) i izvrši se palenje potpale na mala vrata kotla, koja se nalaze na prednjoj strani.

Po zapaljivanju potpale zatvore se mala vrata a otvore se velika vrata sa kojima se vrši regulacija sagorijevanja.

Slika 1.6. Način loženja ugljem kotla Neovulkan po Novaku Anđeliću (način A-2)

Potpala se postavi bočno (gdje je izlaz dimnih gasova), te kotao potpuno napuni ugljem. Dimni gasovi prolaze kroz sloj žari i dogorjevaju.

Sva ona sukustva bila su inesena u Osluku o zaštiti vazduha od zagađivanja u gradu Sarajevu donesenoj u junu 1972. godine.

Rezultati akcija na smanjenju emisija produkata nepotpunog sagorijevanja dali su dobre rezultate. Emisije čađi i nesagrijeloh ugljikovoidika na području Sarajevo-grad pale su sa 3.500 tona godišnje (1970.) na 800 tona godišnje (1978.), tj prije dovođenja zemnog gasa u Sarajevo.

Zaključak

Sarajevo, je nakon pojave zagađenog zraka u mnogim evropskim gradovima sredinom 20. vijeka, dalo značajan doprinos smanjivanju zagađivanja vazduha/zraka primjenom domaćih istraživanja podržanih od strane vlasti u Gradu.

Literatura

1. Knežević, A. *Ekonegijjska paradigma, Tom 1, Sarajevo 2017.*

3.

Nataša Dragić, Univerzitet u Novom sadu, Medicinski fakultet, Institut za javno zdravlje Vojvodine, Novi Sad, Srbija
Sanja Bijelović, Univerzitet u Novom sadu, Medicinski fakultet, Institut za javno zdravlje Vojvodine, Novi Sad, Srbija
Emil Živadinović, Institut za javno zdravlje Vojvodine, Novi Sad, Srbija

Indeks kvaliteta vazduha: mogućnost različitih interpretacija

Air quality index: a review of the different interpretation possibilities

SAŽETAK / ABSTRACT

Dosadašnji rezultati nesumnjivo potvrđuju da zagađenje vazduha životne sredine na globalnom nivou predstavlja značajno zdravstveno opterećenje. Iz tih razloga ulažu se ogromni naponi na multi-sektorskim nivoima usmerenih ka unapređenju vazduha životne sredine, ali i naponi za pravovremeno informisanje stanovništva. Prepoznato je da i određene individualne mere i odgovornosti mogu doprineti da se smanji zdravstveno opterećenje od strane zagađenja vazduha životne sredine. U tu svrhu su u pojedinim zemljama razvijeni indeksi kvaliteta vazduha (IKV), koji na jednostavan način opisuju kvalitet vazduha i moguć uticaj na zdravlje stanovništva. IKV su prvenstveno namenjeni opštoj javnosti sa ciljem podizanja nivoa svesti o jednom od vodećih faktora rizika po zdravlje stanovništva na globalnom nivou. Pored navedenog, značaj IKV se ogleda i u njegovoj mogućnosti da na razumljiv način prevede prilično sadržajan i sveobuhvatan zakonski propisan način izveštavanja o kvalitetu vazduha u jednostavnu informaciju. Međutim, učeno je da javna dostupnost različitih IKV putem internet stranica može predstavljati poteškoću u pravilnom razumevanju informacija koje sadrži. Shodno prethodno iznetom, osnovni cilj rada je analiza metodoloških pristupa na kojima su zasnovani dostupni IKV u svrhu prepoznavanja činioca koji mogu doprineti različitoj interpretaciji istih, sa aspekta kvaliteta vazduha i mogućeg uticaja na zdravlje, a za područje od interesa.

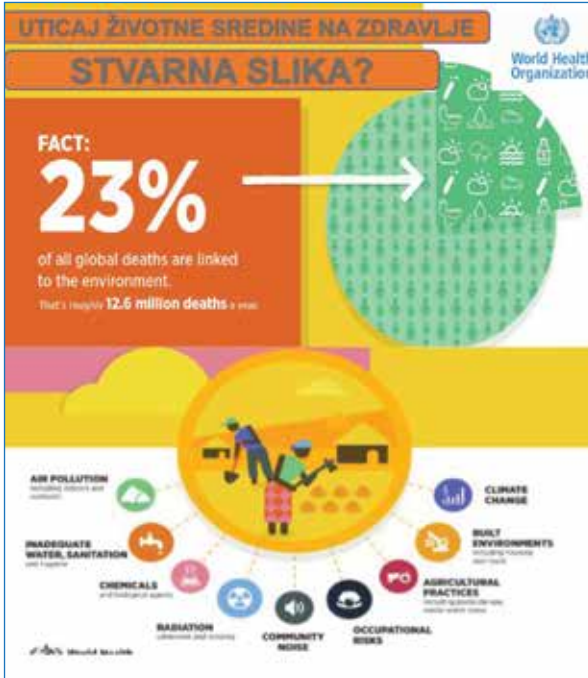
Ključne reči: Zagađenje vazduha, Životna sredina, Javno zdravlje, Indeks

The results, so far, undoubtedly confirm that air pollution on a global level represents a significant health burden. For these reasons, huge efforts are being made at multi-sectoral levels for improving the air quality, but also efforts to inform the population in real time manner. It is recognized that certain individual measures and responsibilities can contribute to reducing the health burden from air pollution. For this purpose, air quality indices (AQI) have been developed, which simply describe air quality and the possible impact on the human health. The AQI are primarily intended for the general public with the aim of raising awareness of one of the leading health risk factors at the global

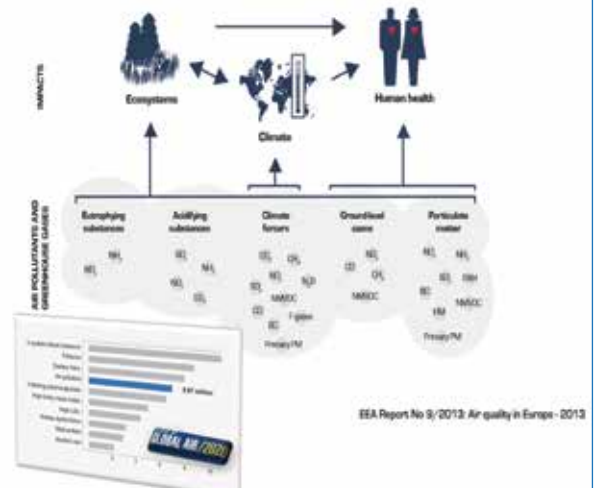
level. In addition to the above, the importance of the AQI reflected in its ability to understandably represent a comprehensive, legally based, way of air quality reporting in one simple information. However, it has been noticed that the public availability of various AQI through a website can also contribute to difficulties in properly understanding contains information. Accordingly, the main goal of this paper is to analyze, in review manner, the methodological approaches for AQI development, as helpful for better understanding the reasons for possibility of different AQI interpretations in terms of air quality and possible impact on human health for the area of interest.

Keywords: Air Pollution, Environment, Public Health, Index

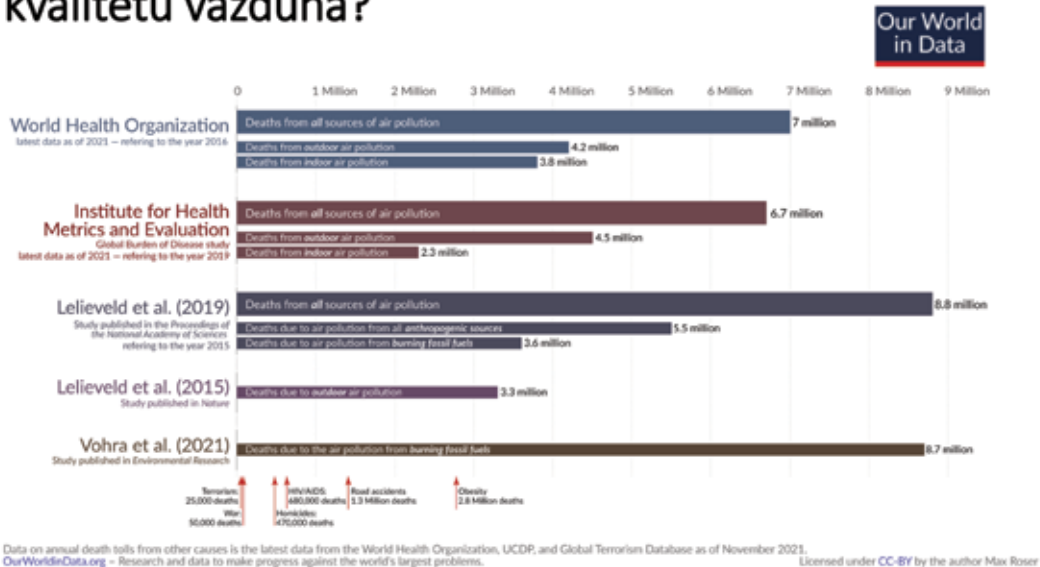




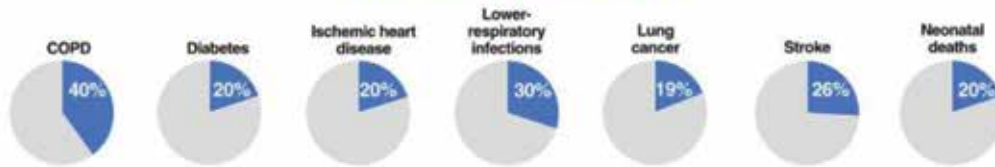
Zašto je neophodno da budemo informisani o kvalitetu vazduha?



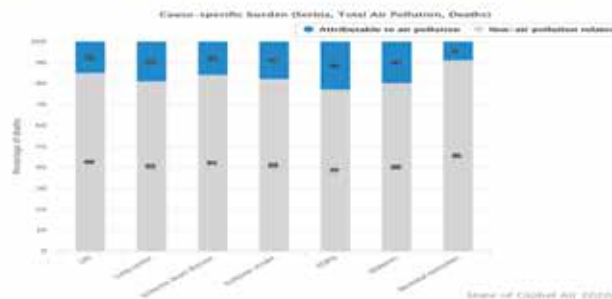
Zašto je neophodno da budemo informisani o kvalitetu vazduha?



Zašto je neophodno da budemo informisani o kvalitetu vazduha?



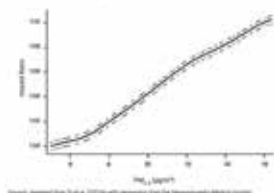
Vodeći uzorci smrti koji se pripisuju zagađenju vazduha životne sredine



Epidemiološki dokazi – jedan od preduslova za informisanje stanovništva

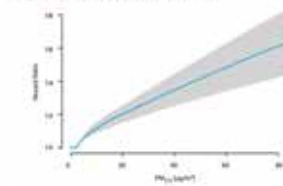


Fig. 3.4. CRF for long-term PM_{2.5} exposure (µg/m³) and all-cause mortality



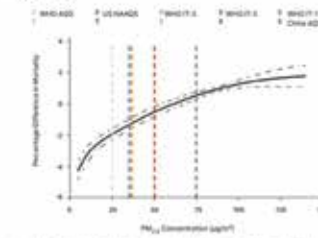
Source: Adapted from Liu et al. (2016) with permission from the Massachusetts Medical Society. Copyright © 2016 Massachusetts Medical Society.

Fig. 3.5. Association between long-term PM_{2.5} exposure (µg/m³) and mortality from ICDs and lower respiratory illness, as observed in an analysis of data from 41 different cohort studies



Source: Burnett and Pope (1989), Fig. 1.

Fig. 3.6. CRF of 24-hour average PM_{2.5} concentrations (µg/m³) and daily all-cause mortality, as observed in a joint analysis of data from 652 cities worldwide*



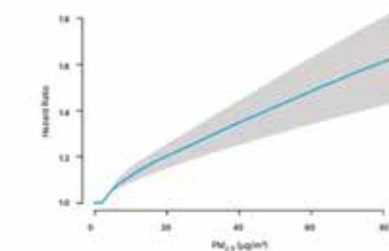
WHO: 10 µg/m³ (24-hour average); US EPA: 150 µg/m³ (24-hour average). *The graph accounts for the average (weighted) from the pooled meta-effect on mortality on an absolute (the entire range of PM concentrations) as well as relative. Data in this y-axis represent the excess from effect, and the portion of the total that is due to the average (weighted) from the pooled meta-effect. Source: Adapted from Liu et al. (2016) with permission from the Massachusetts Medical Society. Copyright © 2016 Massachusetts Medical Society.





Epidemiološki dokazi koji podržavaju preporuke WHO – jedan od preduslova za informisanje stanovništva

Fig. 3.5. Association between long-term $PM_{2.5}$ exposure ($\mu g/m^3$) and mortality from NCDs and lower respiratory illness, as observed in an analysis of data from 41 different cohort studies



Note: The lowest observed $PM_{2.5}$ concentration was 1.4 $\mu g/m^3$

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-air-pollution-and-health-effects>



Source: Air Pollution World (2016)

Regulisanost monitoringa kvaliteta vazduha – jedan od preduslova za informisanje stanovništva



118 zemalja nema uspostavljenu nacionalnu mrežu za monitoring kvaliteta vazduha životne sredine, a 34 zemlje sa postojećom infrastrukturom za monitoring nemaju kontinuitet

Izvor: UNEP

Usklađenost evropskih zakonskih propisa i epidemioloških dokaza koji podržavaju preporuke WHO

Pollutant	Averaging period	EU Air Quality Directives			WHO Air Quality Guidelines					
		Objective	Concentration	Comments	Concentration					
					Interim targets				AQG level	Comments
1.	2.	3.	4.							
PM _{2.5}	24-hour	Target value			75	50	37.5	25	15 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
PM _{2.5}	Annual	Limit value	25 µg/m ³		35	25	15	10	5 µg/m ³	
PM _{2.5}	Annual	Indicative limit value	20 µg/m ³							
PM ₁₀	24-hour	Limit value	50 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 35 days/year	150	100	75	50	45 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
PM ₁₀	Annual	Limit value	40 µg/m ³		70	50	30	20	15 µg/m ³	
O ₃	Max. daily 8-hour mean	Target value	120 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 25 days/year (averaged over 3 years)						
O ₃	Max. daily 8-hour mean	Long-term objective	120 µg/m ³							
O ₃	8-hour	Target value			180	120	-	-	100 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
O ₃	Peak season ^a	Target value			180	70	-	-	60 µg/m ³	
NO ₂	Hourly	Limit value	200 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 18 hours/year					200 µg/m ³	
NO ₂	Annual	Limit value	40 µg/m ³		40	30	20	-	10 µg/m ³	
NO ₂	24-hour	Target value			120	50	-	-	25 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
NO ₂	Hourly	Limit value	350 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 24 hours/year						
NO ₂	24-hour	Limit value	125 µg/m ³	Not to be exceeded on more than 3 days/year	125	50	-	-	40 µg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
CO	Max. daily 8-hour mean	Limit value	10 mg/m ³						10 mg/m ³	
CO	24-hour	Target value			7	-	-	-	4 mg/m ³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
C ₆ H ₆	Annual	Limit value	5 µg/m ³						1.7 µg/m ³	Reference level
BaP	Annual	Target value	1 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀						Reference level
Pb	Annual	Limit value	0.5 µg/m ³	Measured as content in PM ₁₀					0.5 µg/m ³	Reference level
As	Annual	Target value	6 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					6.6 ng/m ³	Reference level
Cd	Annual	Target value	5 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					5 ng/m ³	Reference level
Ni	Annual	Target value	20 ng/m ³	Measured as content in PM ₁₀					25 ng/m ³	Reference level

Izvor: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards>

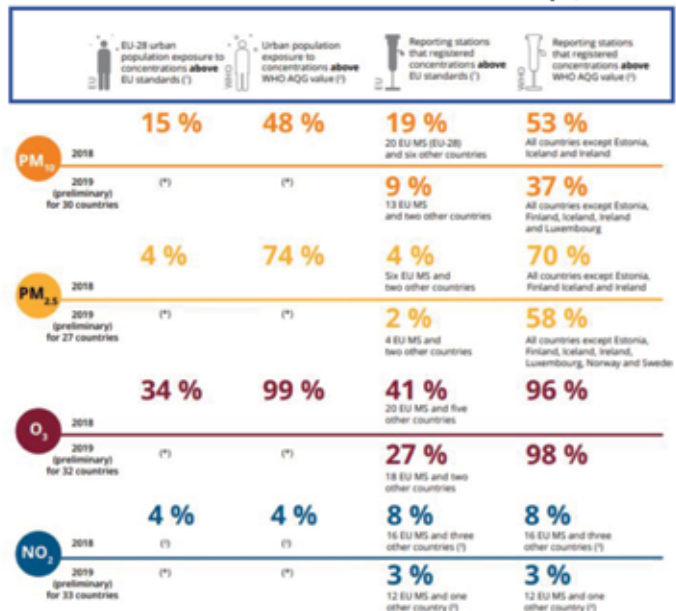
Usklađenost zakonskih propisa sa preporukama WHO

➤ Moguć uticaj na oblikovanje percepcije javnosti o kvalitetu vazduhu životne sredine



<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020/health-impacts-of-air-pollution>

Kvalitet vazduha životne sredine u Evropi, 2020

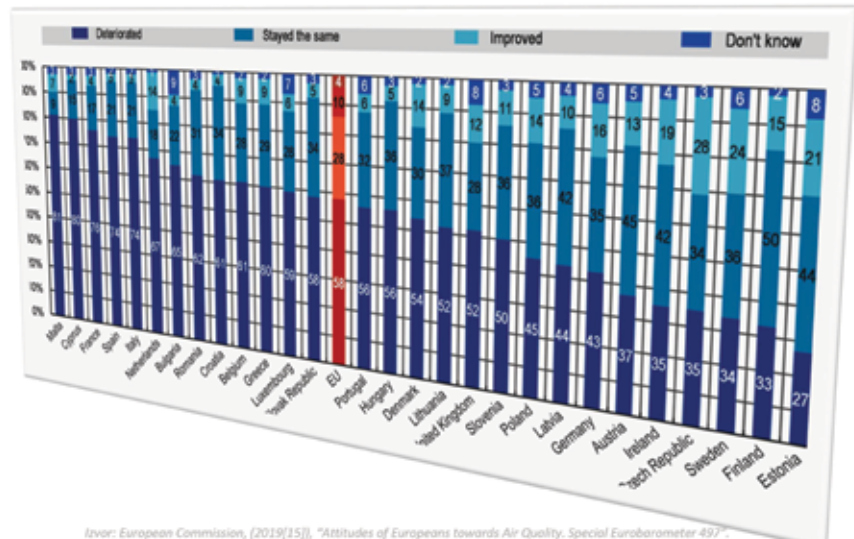


Izvor: Air quality in Europe – 2020 report



Percepcija javnosti o kvalitetu vazduha životne sredine na području Evrope

- Bugarska, Mađarska, Rumunija - *usklađenost* percepcije javnosti i objektivnih indikatora
- Većina evropskih zemalja - *nedoslednost* između subjektivne percepcije kvaliteta vazduha i objektivnih indikatora
- Prepoznat uticaj povećane medijske pažnje, veći nivo svesti javnosti o uticaju zagašenja vazduha na zdravlje i značaj informisanosti stanovništva



Monitoring - praćenje kvaliteta vazduha životne sredine u Republici Srbiji

Zaštita i unapređenje zdravlja ljudi

Zaštita i unapređenje uslova životne sredine

Zakonski i podzakonski akti u Republici Srbiji (usklađeni sa evropskim)

- [Zakon o zaštiti životne sredine, Sl. glasnik RS, br. 111/2004, 36/2005, 36/2009 - dr. zakon, 72/2009 - dr. zakon, 43/2013 - odluka US, 143/2013, 142/2014, 102/2014 - dr. zakon i 92/2018 - dr. zakon](#)
- [Zakon o zaštiti vazduha, Sl. glasnik RS, br. 34/2005, 10/2013 i 24/2012 - dr. zakon](#)
- [Zakon o javnom zdravlju, Sl. glasnik RS br. 15/2010;](#)
- [Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha, Sl. glasnik RS br. 11/10, 75/10 i 63/13.](#)

Stručna osnova

- [WHO global air quality guidelines: particulate matter \(PM2.5 and PM10\), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide 2021.](#)
- [EU DIRECTIVE 2008/50/EC of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.](#)
- [EU DIRECTIVE 2004/107/EC of 13 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel/hydrocarbons in ambient air.](#)
- [EU DIRECTIVE 2002/31/EC of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air.](#)
- [EU DIRECTIVE 2000/69/EC](#)
- [COUNCIL DIRECTIVE 1999/30/EC](#)



Preduslov za
Informisanje stanovništva!

Jedan od odgovora na rezultate monitoringa kvaliteta vazduha životne sredine

Intersektorska saradnja

Donosioci odluka (zdravlja, životne sredine, transporta, energetika, otpad, građevina...)

- Zakonski propisi
- Institucionalna saradnja
- Strategija i Akcioni planovi
- Definisanje specifičnih indikatora!

Populacioni nivo

Rezultati monitoringa u svrhu informisanja javnosti

OBJEDINJENI PRIKAZ AUTOMATSKOG MONITORINGA KVALITETA VAZDUHA U REPUBLICI SRBIJI

Preliminarni, neverifikovani podaci

- MAPA
- Stanice/Satni podaci
- Pregled podataka
- Pregled stanica
- Kriterijumi/Indeks
- Informacije
- Kontakt

OCENA KVALITETA VAZDUHA INDEKSOM CAGI_11 U POSLEDNJEM SATU



Rezultati monitoringa u svrhu informisanja javnosti

МЕРНО МЕСТО: СОС ДЕЧЈЕ СЕЛО "ДР МИЛОРАД ПАВЛОВИЋ", КАМЕНИЧКИ ПАРК 1-14, СРЕМСКА КАМЕНИЦА

Скраћени назив: pm14

Концентрација суспензионих честица SO_2 ($\mu g/m^3$) (дан) у ваздуху

ЛОКАЛНА МРЕЖА МЕРНИХ МЕСТА ЗА МЕРЕЊЕ НИВОА ЗАГАЂУЈУЋИХ МАТЕРИЈА У ВАЗДУХУ НА ТЕРИТОРИЈИ ГРАДА НОВОГ САДА.

Мерно место (ММ)	Скраћени назив
Улица Румачкиног улица и Булеваре раша Тошковић, Нови Сад	pm01
Земна аерација КФ, Краља Петра I Нрој 2, КФ	pm02
ЖП "Водовод и канализација", СДЗВ Сремски ају #1, Нови Сад	pm03
СОС ДЕЧЈЕ СЕЛО "Др Милорад Павловић", Каменички парк 1-14, Сремска Каменица	pm04
НЕОПЛУМКАД НОВИ САД, Индустријска зона Овчар, Границама 90	pm05

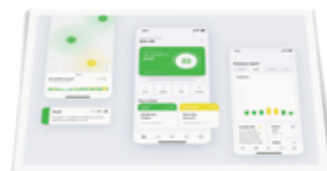
Informisanje javnosti!?

Objavljeno da je Novi Sad šesti najzagađeniji grad na planeti, u Higijenskom demantuju

Novi Sad nije šesti grad na planeti po zagađenosti vazduha, kako se navodi na jednom grafikonu, rečeno je za OZ1.rs u Institutu za javno zdravlje Vojvodine.

Najčešće informacije o kvalitetu vazduha za koje je zainteresovana javnost:

- ✓ Kakav je kvalitet vazduha životne sredine u naselju u kojem živim?
- ✓ Kako zagađenje vazduha može da utiče na moje zdravlje?
- ✓ Ko je najviše pogođen zagađenjem vazduha?
- ✓ Ko je odgovoran za informisanje stanovništva; gde mogu da dobijem informacije?
- ✓ Koliko dugo mogu da budem napolju (šetnja, fizička aktivnost) kada se objavi da je prisutno zagađenje vazduha?
- ✓ Na koji način mogu da se zaštitim?



Indeks kvaliteta vazduha (IKV) pruža informacije o:

- **kvalitetu vazduha koji nas okružuje**
- **mogućem uticaju na zdravlje ljudi sa posebnim osvrtom na osetljivi deo populacije**
- **preporukama za stanovništvo**





Indeks kvaliteta vazduha (IKV)

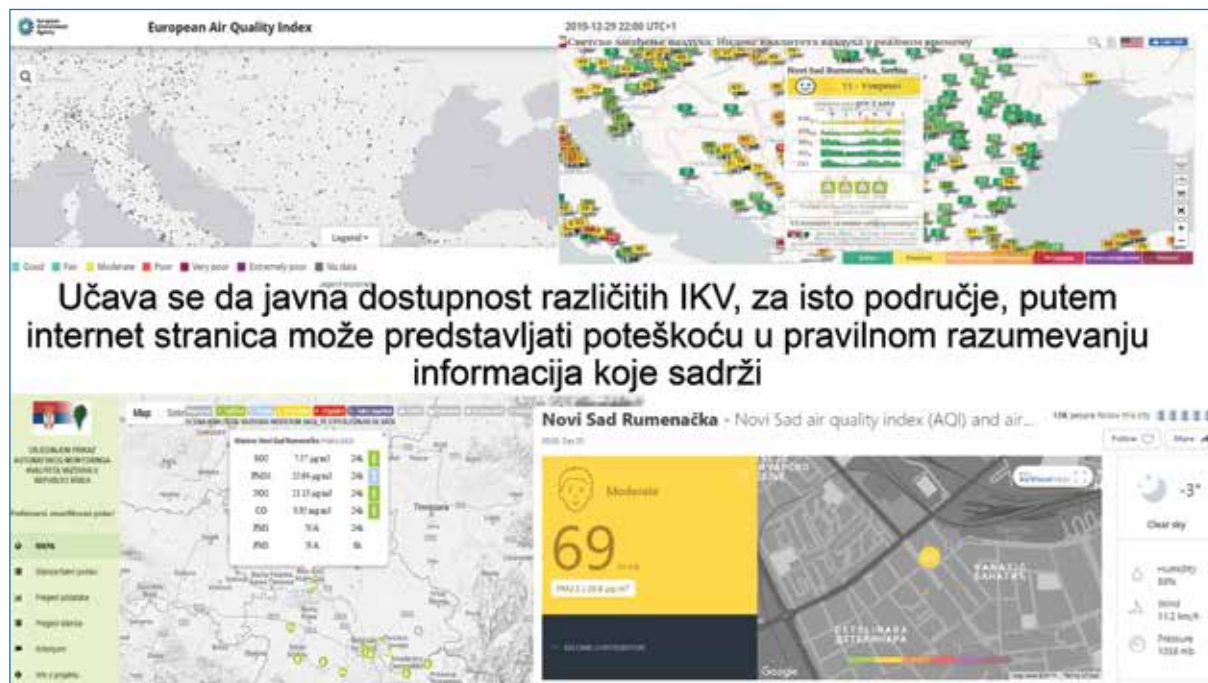
- Zakonski propisan način izveštavanja - najčešće nije dovoljno razumljiv i prihvatljiv za opštu javnost
- Jednostavno informisanje javnosti o lokalnom kvalitetu vazduha doprinosi edukaciji i podizanju nivoa svesti o jednom od vodećih faktora rizika po zdravlje stanovništva na globalnom nivou
- Na međunarodnom nivou prepoznat je značaj upotrebe Indeksa kvaliteta vazduha u svrhu informisanja javnosti



Indeks kvaliteta vazduha (IKV)

- Različiti zakonski propisi u zemljama uslovili su primenu različitih metodoloških pristupa kreiranja IKV – onemogućena međusobna komparacija
- Kreirani su na način da standardizuju koncentracije različitih zagađujućih materija iz vazduha životne sredine – ne predstavlja direktno izmerenu koncentraciju
- Pojedini IKV su zasnovani na pojedinačnim zagađujućim materijama, dok su drugi zasnovani na agregaciji više zagađujućih materija, pri čemu vrednost zagađujuće materije koja najviše odstupa od propisa određuje vrednost Indeksa





Cilj rada

Analiza metodoloških pristupa na kojima su zasnovani dostupni IKV u svrhu prepoznavanja faktora koji mogu doprineti različitoj interpretaciji istih, sa aspekta kvaliteta vazduha i mogućeg uticaja na zdravlje, a za područje od interesa.



Metod rada

Pregled metodoloških pristupa razvoja i prikazivanja indeksa kvaliteta vazduha rasprostranjenih na području Evrope, odnosno Republike Srbije.



AQI US EPA - Indeks kreirani od strane Agencije za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Američkih Država („United States Environment Protection Agency“)

- Numerički raspon indeksa od 0 do 500 i podeljen je na 6 nivoa opisa kvaliteta vazduha sa odgovarajućim opsezima podindeksa
- Svaka klasa se, u odnosu na kvalitet vazduha i vrednost utvrđenog indeksa, prikazuje određenom bojom
- Razvijen je 1976. godine, revidiran 1999. godine
- 5 ključnih zagađujućih materija: SO_2 , NO_2 , O_3 , PM_{10} , $PM_{2,5}$
- Različita vremenska uprosečenost koncentracija zagađujućih materija

These Breakpoints...							EPA 2015 AQI's	...equal this AQI	...and this category
O_3 (ppm) 8-hour	O_3 (ppm) 1-hour ¹	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) 24-hour	PM_{10} ($\mu g/m^3$) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO_2 (ppb) 1-hour	NO_2 (ppb) 1-hour	AQI		
0.000 - 0.054	-	0.0 - 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good	
0.055 - 0.070	-	12.1 - 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate	
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 - 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups	
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ²	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ³	361 - 649	151 - 200	Unhealthy	
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) ²	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) ³	650 - 1249	201 - 300	Very Unhealthy	
(⁴)	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ²	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ³	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous	
(⁴)	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ²	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ³	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous	

Indeks kvaliteta vazduha (IKV)	Kvalitet vazduha	Mogući uticaj na zdravlje	Preporuke za stanovništvo
1	Dobar	Kvalitet vazduha je zadovoljavajući i prisutno zagađenje vazduha predstavlja mali ili nikakav rizik.	Nema preporuke
2	Umeren	Kvalitet vazduha je prihvatljiv, međutim mogući su blaži oblici negativnog efekta na zdravlje kod ljudi koji su neuobičajeno osetljivi na zagađenje vazduha	Osetljivom delu populacije se ne preporučuje duži boravak na otvorenom
3	Nezdrav za osetljivu populaciju	Osobe sa srčanim i plućnim oboljenjima, starije osobe i deca mogu da osećaju zdravstvene efekte. Ostali deo populacije verovatno neće osetiti negativan uticaj na zdravlje.	Osobe sa srčanim i plućnim oboljenjima, starije osobe i deca treba da ograniče boravak na otvorenom
4	Nezdrav	Svako može početi da oseća zdravstvene efekte. Osobe osetljive populacije mogu osetiti ozbiljne negativne uticaje na zdravlje.	Osobe sa srčanim i plućnim oboljenjima (kao što je astma), starije osobe i deca treba da izbegavaju boravak na otvorenom, kao i drugi, naporan fizički aktivnosti na otvorenom. Poželjno je smanjenje produžene i napore fizičke aktivnosti i zdravog dela populacije.
5	Veoma nezdrav	ZDRAVSTVENO UPOZORENJE Svako može osetiti ozbiljne zdravstvene efekte kao što je: otežano disanje, osećaj stezanja u grudima, šištanje u grudima, kašljanje, iritacije očiju i pojačana sekrecija iz nosa	Osobe sa srčanim i plućnim oboljenjima (kao što je astma), starije osobe i deca treba da izbegavaju bilo kakvu aktivnost na otvorenom. Ostali bi trebali da izbegavaju produžene i napore fizičke aktivnosti
6	Štetan	ZDRAVSTVENO UPOZORENJE Svako može osetiti ozbiljan uticaj zagađenog vazduha na zdravlje (otežano disanje, kašljanje, osećaj stezanja, pištanja i šištanja u grudima, suženje očiju, pojačana sekrecija iz nosa i neprijatan osećaj struganja / grebanja u grlu)	Celokupnom stanovništvu se savetuje izbegavanje aktivnosti na otvorenom.

AQI US EPA

Na području Evrope.....

- Radi lakše komparacije gradova definiše dva tipa indeksa:
 1. opšti kvalitet vazduha (pozadinske zone gradova) i
 2. kvalitet vazduha porekla saobraćaja (saobraćajnice).

CAQI - Common air quality index ➤ Zasnovano na tri ključne zagađujuće materije: NO₂, PM₁₀ i O₃

Table 7: Pollutants and calculation grid for the revised CAQI (all changes in italics)

Index class	Grid	Traffic						City Background						
		core pollutants		pollutants		CO	core pollutants		pollutants		CO			
		NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO		NO ₂	PM ₁₀	CO	PM _{2.5}				
		1-h, 24-h		1-h, 24-h			1-h, 24-h		1-h, 24-h					
Very low	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	25	50	25	15	15	10	5000	50	25	15	60	15	10	5000
Low	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500
	75	200	100	50	30	20	7500	200	100	50	120	30	20	7500
Medium	50	100	50	30	30	20	7500	100	50	30	120	30	20	7500
	75	200	100	50	55	30	10000	200	100	50	180	55	30	10000
High	75	200	100	50	55	30	10000	200	100	50	180	55	30	10000
	100	400	180	100	110	60	20000	400	180	100	240	110	60	20000
Very high	> 100	> 400	> 180	> 100	> 110	> 60	> 20000	> 400	> 180	> 100	> 240	> 110	> 60	> 20000

NO_x, O₃, SO₂: hourly value / maximum hourly value in µg/m³
 CO: 8 hours moving average / maximum 8 hours moving average in µg/m³
 PM₁₀: hourly value / daily value in µg/m³
 * An index value above 100 is not calculated but reported as "> 100"



Nema zdravstvenu poruku i preporuku!

Na području Evrope.....

Prati zagađenje vazduha porekla saobraćaja, industrije, kao i urbanog (opšteg, pozadinskog) zagađenja.

Prikazuje satne vrednosti širom Evrope: O₃, NO₂, SO₂ i (24-časovni pokretni proseki) PM₁₀ i PM_{2,5}



European Air Quality Index



Ne iskazuje dnevni nivo kvaliteta vazduha, te se zato dnevni indeks i trenutni (1h) mogu značajno razlikovati i nemoguće ih je porediti.

Zasnovan je na zakonodavstvu EU u pogledu kvaliteta vazduha

Mogućnosti uniformnog prikazivanja kvaliteta vazduha širom Evrope



Na području Evrope.....

Daily Air Quality Index

The overall air pollution index for a site or region is determined by the highest concentration of five pollutants:

- Nitrogen Dioxide
- Sulphur Dioxide
- Ozone
- Particles < 2.5µm (PM_{2.5})
- Particles < 10µm (PM₁₀)

Različita vremenska uprosečenost koncentracija zagađujućih materija

Boundaries Between Index Points for Each Pollutant

Use the tabs below to view the bandings for each pollutant:

Ozone Nitrogen Dioxide Sulphur Dioxide PM2.5 Particles PM10 Particles

PM₁₀ Particles

Based on the daily mean concentration for historical data, latest 24 hour running mean for the current day.

Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Band	Low	Low	Low	Moderate	Moderate	Moderate	High	High	High	Very High
µg/m ³	0-16	17-33	34-50	51-58	59-66	67-75	76-83	84-91	92-100	101 or more

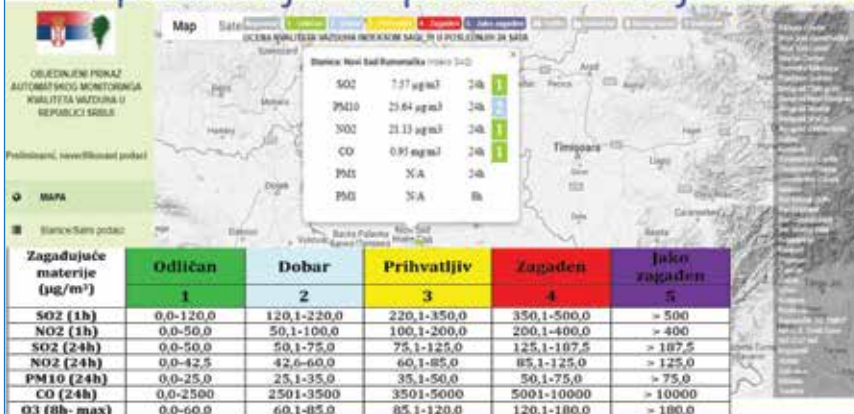


Raspon vrednosti AQI UK od 1 do 10 i ima 4 nivoa kvaliteta vazduha (od najboljeg do najlošijeg), a „opis“ indeksa se za razliku od drugih ne odnosi na kvalitet vazduha, nego na samu vrednost indeksa: „nizak“, „umeren“, „visok“ i „veoma visok“.

Ima zdravstvenu poruku i preporuku!

Band	Index	Health Message
Low	1-2	Atmosphere at its best! General Population
Moderate	3-4	Atmosphere is becoming less than perfect. Sensitive people may experience symptoms. General Population
High	5-6	Atmosphere is becoming more polluted. Sensitive people may experience symptoms. General Population
Very High	7-10	Atmosphere is becoming very polluted. Sensitive people may experience symptoms. General Population

Na području Republike Srbije..... SAQI_11



Indeks nema numeričku vrednost, nego klase od 1 do 5

Prvobitni je bio zasnovan na zakonskim i podzakonskim propisima kojima se uređuje upravljanje kvalitetom vazduha životne sredine na nacionalnom nivou

Nema zdravstvenu poruku i preporuku!

Tip materije	Forma	DOZ/Cm	SOBA	Pravilo 1,2	SOBA	Pravilo 1,2
SO ₂	1h	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³
O ₃	1h	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³	100 µg/m ³ - 100 µg/m ³
CO	1h	1000 µg/m ³ - 1000 µg/m ³	1000 µg/m ³ - 1000 µg/m ³	1000 µg/m ³ - 1000 µg/m ³	1000 µg/m ³ - 1000 µg/m ³	1000 µg/m ³ - 1000 µg/m ³
PM _{2.5}	1h	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³
PM ₁₀	1h	20 µg/m ³ - 20 µg/m ³	20 µg/m ³ - 20 µg/m ³	20 µg/m ³ - 20 µg/m ³	20 µg/m ³ - 20 µg/m ³	20 µg/m ³ - 20 µg/m ³
NO ₂	1h	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³	10 µg/m ³ - 10 µg/m ³

Na području Beograda

KVALITET VAZDUHA U BEOGRADU JE ODLIČAN!

SAZNAJ VIŠE

Ocena kvaliteta vazduha sa cijem informisanja građana o kvalitetu vazduha i izdavanja preporuka za ponašanje opšte populacije i osetljivih grupa vrši se na osnovu podataka dobijenih sa automatskih mernih stanica kojima upravlja Gradski zavod za javno zdravlje, Beograd.

Ocena kvaliteta vazduha se vrši na svakih sat vremena, na osnovu podataka dobijenih merenjem masenih koncentracija zagađujućih materija u prethodnom satu.

Za ocenu kvaliteta vazduha koriste se **kriterijumi propisani CAGI indeksom kvaliteta vazduha** razvijenim u od strane EUROPEAN UNION, European Regional Development Fund, Regional Initiative Project.

KRITERIJUMI

VAZDUHA U BEOGRADU

OCENE KVALITETA VAZDUHA

Ukupna ocena kvaliteta vazduha na području Beograda je odlična.

ODLIČAN DOBAR PRIVATLJIV ZAGADEN JAKO ZAGADEN

Na području Novog Sada

- Zasnovan na: PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃
- Primenjen metodološki pristup AQI US EPA
- Oslanja se na zakonske i podzakonske propise, epidemiološke dokaze za područje Grada Novog Sada i preporuke WHO
- Period uprosečenosti: dnevna (24h) izloženost - PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, maksimalna osmočasovna (8h) izloženost u toku dana - O₃
- Iskazan kroz jednu vrednost koja se odnosi na celokupno područje Grada, a spram podataka sa kontinuiranim obuhvatom
- Linearna funkcija:

$$IKV = ((IKV_{max} / C_{max} - IKV_{min} / C_{min}) \times (C_{utved} - C_{min})) + IKV_{min}$$
- Vrednosti subindeksa se sumiraju, najveća određuje dnevni IKV
- Interaktivna mapa – mogućnost komparacije

Lokalni indeks kvaliteta vazduha za Grad Novi Sad - podaci nisu verifikovani i potvrđeni

IKV NS – interaktivna mapa

Podmetri	Merica	Merica	Zadovoljna (prema EU standardu)	Zadovoljna (prema SRBIJA standardu)
PM2.5	32.16 µg/m³	Prema EU standardu (50 µg/m³)	Odobro sa smanjenim i slučajnim obilovanjem, starije osobe i deca mogu da osete iritaciju	Odobro sa smanjenim i slučajnim obilovanjem, starije osobe i deca treba da ograne
PM10	42.00 µg/m³	Umeren	Kvalitet vazduha je prihvatljiv sa umerenim obilovanjem starije osobe i deca treba da ograne	Odobro sa smanjenim i slučajnim obilovanjem, starije osobe i deca se ne preporučuje

Indeks	Klasa kvaliteta vazduha	Kvalitet vazduha	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	PM ₁₀ (µg/m³)	PM _{2.5} (µg/m³)
1	0-50	Dobar	0 - 40	0 - 50	0 - 60	0 - 40	0 - 25
2	51-100	Umeren	41 - 85	51 - 125	61 - 120	41 - 50	26 - 30
3	101-150	Nezdrav za osetljive populaciju	86 - 150	126 - 350	121 - 180	51 - 75	31 - 45
4	151-200	Nezdrav	151 - 400	351 - 500	181 - 240	76 - 100	46 - 60
5	201-300	Veoma nezdrav	> 401	> 501	> 241	> 100	> 61

IKV - Indeks kvaliteta vazduha za posmatranu zagađujuću materiju
 IKV_{max} - najveća odgovarajuća prelomna vrednost podindeksa
 IKV_{min} - najmanja odgovarajuća prelomna vrednost podindeksa
 C_{max} - maksimalna odgovarajuća prelomna tačka koncentracije
 C_{min} - minimalna odgovarajuća prelomna tačka koncentracije
 C_{utved} - stvarna koncentracija zagađujuće materije



Zaključak

- ✓ **Značaj indeksa kvaliteta vazduha (IKV)** se ogleda i u njegovoj mogućnosti da **na razumljiv način** prevede prilično sadržajan i sveobuhvatan zakonski propisan način izveštavanja **o kvalitetu vazduha u jednostavnu informaciju**.
- ✓ Kreiran je **velik broj IKV koji se razlikuju od zemlje do zemlje** iz razloga što se standardi/regulative/propisi kvaliteta vazduha razlikuju.
- ✓ IKV se prezentuju kroz **različit nivo kategorisanja utvrđenih koncentracija** zagađujućih materija, što predstavlja **prepreku za upoređivanje i smanjuje njegovu upotrebljivost** na globalnom, odnosno regionalnom nivou.
- ✓ **Interaktivna mapa prikaza dnevnog IKV NS** daje mogućnost i interpretacije istog rezultata primenom drugih razvijenih modela IKV, te **na ispravan način obezbeđuje komparaciju rezultata lokalnih merenja** sa drugim područjima.
- ✓ **Prednost IKV NS** je što se dnevna vrednost indeksa **odnosi na celokupno područje Grada**, a ne samo na pojedinačne merne stanice (mesta) - što jeste slučaj sa najvećim brojem dostupnih vrednosti indeksa u realnom vremenu, bez obzira na njihov različit metodološki pristup.
- ✓ Upotreba dnevnog IKV se može smatrati kao **jedna od najjeftinijih akcija** mera adaptacije u cilju zaštite zdravlja, odnosno redukcije vodećih oboljenja (bolesti srca i pluća) koje su posledica doprinosa zagađenja vazduha životne sredine.
- ✓ **Prilikom informisanja o kvalitetu vazduha** putem dostupnih on-line mreža IKV neophodna je **dodatna opreznost**, jer često ne bude jasno da li se on zasniva na nacionalnim ili drugim zakonskim propisima u pogledu kvaliteta vazduha.

HVALA NA PAŽNJI!



Doc. dr Nataša Dragić

Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Srbija
Institut za javno zdravlje Vojvodine, Novi Sad, Srbija
natasa.dragic@mf.uns.ac.rs
natasa.dragic@injzv.org.rs

4.

Tamás Szigeti, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Nóra Koplányi, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Viktória Doró-Laukó, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Ildikó Babcsányi, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Barbara Bezegh, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Orsolya Józsa, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary

Dóra Simon, Herman Ottó Institute Nonprofit Ltd., Budapest, Hungary



Akcije za poboljšanje kvalitete zraka u Mađarskoj: HungAIRy LIFE IP



Actions to improve ambient air quality in Hungary: the HungAIRy LIFE IP

ABSTRACT

The aim of the HungAIRy LIFE integrated project (IP) is to improve ambient air quality in Hungary, especially in the 10 Hungarian municipalities (Békéscsaba, Budapest, Debrecen, Eger, Kaposvár, Karcag, Miskolc, Pécs, Szolnok, Tatabánya) involved in the project. The project has officially started on 1st January 2019 and will be completed on 31st December 2026.

In the framework of the project, an eco-manager network has been established for capacity building purposes at the participating municipalities.

Tasks of the experts of the network include, among others,

- (i) biannual revision of air quality plans together,
- (ii) organization of awareness raising campaigns,
- (iii) monitoring the funding programs and open calls,
- (iv) supporting the implementation of the pilot actions.

Regional and local emission databases have already been improved which serve as a basis for the development of a decision supporting tool. This tool will predict the effect of different measures on air quality. New air quality monitoring stations are under construction in two cities that have not had monitoring stations yet. A particulate matter monitoring network including 60 low-cost sensors has started its operation in one of the partner cities. Several pilot actions on the reduction of residential (e.g. regulation of burning of garden waste, promotion of district heating) and traffic emissions (e.g. development of a smart parking system) are under development.

The reduction of the agricultural emissions is targeted by a voluntary program including targeted training and monitoring of the implementation of good practices. Different communication materials targeting adults and children have already been produced as well as several national awareness raising campaigns have been organized.

The environmental, social and economic impact of the project activities are monitored in the project with the first assessments completed in 2020. The HungAIRy LIFE IP set ambitious goals; however, it is clear that several actions must be taken at national, regional, and local levels to considerably reduce air pollution, thus the project partners are focusing on facilitating and integrating new proposals.



HUNGAIRY

**ACTIONS TO IMPROVE AMBIENT AIR QUALITY IN HUNGARY –
THE HUNGAIRY LIFE IP**

Tamás Szigeti, Nóra Koplányi, Viktória Doró-Laukó, Ildikó Babcsány, Barbara Bezegh, Orsolya Józsa, Dóra Simon
Herman Ottó Institute N Ltd., Budapest, Hungary

*2nd SYMPOSIUM ON PLANNING AIR QUALITY IN CITIES
3-4 FEBRUARY 2022, ONLINE*



AIR QUALITY IN HUNGARY

PM_{2.5} annual mean in 2016

Legend:

- 0-5
- 6-10
- 11-20
- 21-25
- >25

Legend:

- Highlighted area
- Countries/regions not included in the data
- Source: Copernicus

Court of Justice of the European Union
PRESS RELEASE No 13/21
Luxembourg, 3 February 2021

Judgment in Case C-637/18
Commission v Hungary (Exceedance of the limit values for PM_{2.5})

Hungary has infringed the rules of EU law on ambient air quality

It failed to fulfil its obligations to ensure throughout its territory, first, that the daily limit value for particulate matter PM_{2.5} was complied with and, second, that the period of exceedance of that value was kept as short as possible.

Taking the view that Hungary failed to fulfil several of its obligations deriving from the Directive on air quality, the Commission brought an action for failure to fulfil obligations against that Member State before the Court of Justice. Specifically, the Commission criticises Hungary for systematically and persistently exceeding the daily limit value for particulate matter PM_{2.5}. First, from 1 January 2005 in the Budapest region and in the Tisza valley, and second, from 11 June 2011 (with the exception of 2014) in the Pécs region, along as up to and including 2017 in the three zones concerned. In addition, the Commission asks the Court to find that there was a failure to fulfil obligations from 11 June 2016, in so far as Hungary failed to comply with its obligation to ensure that the period of exceedance of the limit value in question was kept as short as possible.

Consequently, the Court states that Hungary manifestly failed to adopt in good time appropriate measures to ensure that the period of exceedance of the limit values for particulate matter PM_{2.5} was kept as short as possible in the zones concerned. Thus, the exceedance of the daily limit value for particulate matter PM_{2.5} in those zones remained systematic and persistent for six and eight years, respectively.

In those circumstances, the Court finds that Hungary failed to fulfil its obligations as regards both the exceedance of the daily limit value for particulate matter PM_{2.5} in the zones concerned and the breach of its obligation to ensure that the exceedance period was kept as short as possible.

2

Sources: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/pm2-5-annual-mean-in-?>
[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:62021J0202\(02\)EN.pdf](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:62021J0202(02)EN.pdf)

ABOUT THE LIFE IP HUNGAIROY

AIM: Improving air quality at eight Hungarian regions through the implementation of air quality plan measures

Project duration: 01/01/2019 – 31/12/2026

Coordinating Beneficiary: Herman Ottó Institute Non-profit Ltd.

Associated Beneficiaries: 19 project partner

Hungarian Meteorological Service, VITO - Flemish Institute for Technological Research NV (BE), Association of Everyday Cultures, University of Miskolc, 10 municipalities and their service companies: Békéscsaba, Budapest, Debrecen, Eger, Kaposvár, Karcag, Miskolc, Pécs, Szolnok, Tatabánya

Project budget: 15 967 741 €

Contribution of the European Union: 60%

3



ECO-MANAGER NETWORK

HUNGAIROY

- an Eco-manager Knowledge Centre (EKC) has been established
- an eco-manager office with 1-4 eco-managers has started its operation at each municipality/partner
- professional, communication and management trainings have been organized to the eco-managers by the EKC
- eco-managers meet monthly to discuss different topics
- eco-managers report their activities quarterly to the leader of the EKC
- new AQPs have been prepared and published in collaboration with the local government offices

Eco-Manager

Review of AQPs

Creation of scenarios from the regional transport model

Creation and implementation of awareness raising plan

Seek of tenders, grants and funding

Monitoring of the financial sources

Energy efficiency guidance

Support of the residential energy efficiency credit program

Support of the awareness raising in surrounding settlement

Communication with the EKC

Looking for opportunity to cooperate with new stakeholders

Cooperation with the local stakeholders



DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORTING TOOL FOR AQPS

HUNGAIRY

review and update of AQPs: biannually → AIM: integrate efficient actions in the AQPs

development of a **web application** that is used to **assess the impact of user-driven scenarios of actions**

development of local, **high resolution emission databases** (traffic, residential) as input for the air quality modelling

development of the **regional emission database** (downscaling procedure)

example: Effect of the closure of a bridge in Budapest on NO₂ concentration

6

PILOT ACTIVITIES – RESIDENTIAL EMISSIONS

HUNGAIRY

development and promotion of district heating (e.g. „chimney free” city center)

increasing energy efficiency (online platform on energy renovation, indoor air quality monitoring)

composting program, regulation of burning of garden waste

optimization of the woody biomass supply chain (at national level)

7

PILOT ACTIVITIES – TRAFFIC EMISSIONS

HUNGAIRY

The diagram shows a map of Hungary with several grey dots representing pilot activity locations. Arrows point from these dots to the following activities:

- development of city logistics (loading area booking system)
- new mini public bicycle systems
- development of intelligent transport system
- development of a smart parking system
- new monitoring and information gates

8

PILOT ACTIVITIES (OTHER SECTORS) AND NEW TOOLS

HUNGAIRY

The diagram shows a map of Hungary with several grey dots representing pilot activity locations. Arrows point from these dots to the following activities:

- development of green spaces (protective forest)
- demonstration house
- new air quality monitoring stations
- preparation of green cadastre
- real-time air quality monitoring
- agricultural voluntary program (at national level)

9



COMMUNICATION, AWARENESS RAISING I.

Topics:

- environmentally friendly solid combustion
- composting, green waste management
- energy efficiency of households
- promoting cycling mobility
- eco-driving
- e-mobility

Materials (only in Hungarian so far):

- poster
- roll-up
- video
- leaflet

10

COMMUNICATION, AWARENESS RAISING II.

Project website, social media:

> 14 000 unique visits > 1 200 followers

National awareness raising campaigns:

Education, training:


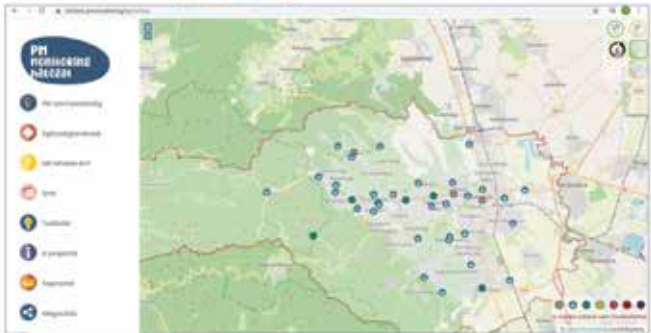
Participation at national events (examples):

11

PM MONITORING NETWORK

HUNGAIRY

- Low-cost sensors were tested and the one with the best performance was selected.
- Comparison of the monitoring data with those measured by reference instruments was carried out for more than 1 year.
- Each monitoring device was assembled and the test operation started in 2020.
- The installation of the network including 60 monitoring devices was completed in 2021 in Miskolc.
- The same network with 20 monitoring devices will be established in Kaposvár in 2022.

12

AGRICULTURAL VOLUNTARY PROGRAM

HUNGAIRY

Collection of good practices

- The focus is on low emission technologies
- Crop production and animal husbandry

➤

Recruitment and training of volunteers

- Involvement of the Hungarian Chamber of Agriculture
- Two workshops were held in 2020
- More workshops are needed

➤

Voluntary program

- Application of good practices by the volunteers
- Monitoring of the program
- Revision of the collection of good practices

2019

➤

2020

➤

2021

➤

2022

➤

...

13

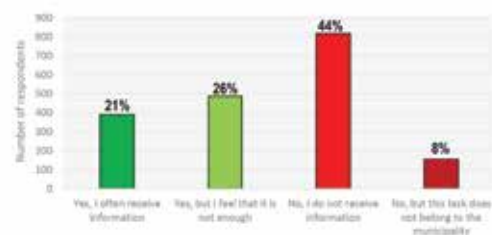
MONITORING OF THE SOCIAL AND ECONOMIC IMPACTS



- Besides the air quality and the development of the eco-managers, the social and economic impact of the project activities are monitored.
- A non-representative questionnaire survey was performed in 2020 to determine the baseline.
- The questions raised the following topics: general issues related to air pollution, green waste management, heating and energy efficiency, environmentally friendly transport, characteristics of the living environment
- The survey will be repeated in 2022, 2024 and 2026 to assess the impacts.



Do you think that the municipality provide you enough information to increase your knowledge on air quality protection?



14

COMPLEMENTARY ACTIONS



- Several actions must be taken at national, regional, and local levels to considerably reduce air pollution.
- One of the key activities of the eco-managers is to monitor the funding programs and open calls as well as to facilitate the development of proposals at local level.
- The eco-managers and the experts of the relevant authorities work closely together during the regular AQP revisions to, among others, ensure the smooth integration of the accepted proposals into the AQPs.
- All partners report the details of the complementary action to the coordinating beneficiary, and they identify together the future interactions between the LIFE IP HungAIRy and the complementary action.

Type of action/measure	Number of action/measure	Amount foreseen in the application & during the project duration (EUR)	Amount spent by Interim Report (EUR)
Increasing energy efficiency	176	472 739 697 EUR	236 229 660 EUR
Developments in the transport sector	41	316 717 958 EUR	201 258 433 EUR
Increasing or improving green surfaces	24	36 166 365 EUR	19 182 808 EUR
Awareness raising	3	109 603 EUR	12 490 EUR
Total	244	825 733 652 EUR	456 643 390 EUR

Comment: The table containing the details of the complementary actions was updated on 17th March 2021.

15

2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima
2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities

Thank you for your attention!



Dr. Tamás Szigeti
lead expert
Directorate for International Projects
Herman Ottó Institute NLtd.



www.hungairy.hu



szigeti.tamas@hoi.hu; hungairy@hoi.hu



+36 30 9084346



<https://www.facebook.com/LIFEIPHUNGAIRY>



<https://www.instagram.com/hungairyifeip>

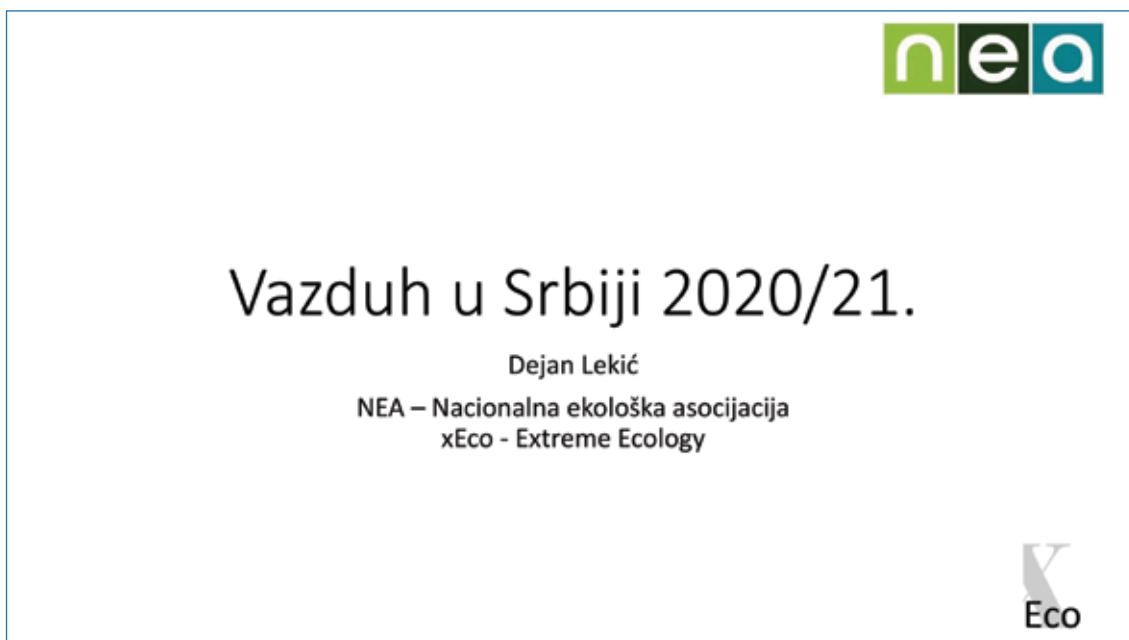


5.

Dejan Lekić, Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd, Srbija

 Nacionalna ekološka asocijacija (NEA), Srbija,
projekat “xEco Vazduh”


 National Ecological Association (NEA), Serbia,
project “xEco Air”



nea

Vazduh u Srbiji 2020/21.


Dejan Lekić
NEA – Nacionalna ekološka asocijacija
xEco - Extreme Ecology



Granične vrednosti

		PM2.5	PM10	SO ₂	NO ₂	O ₃
Čas	GV	-	-	350 [24]	150 [18]	180*
	SZO	-	-	-	-	-
Dan	GV	-	50 [35]	125 [3]	85	120**
	SZO	15	45	40	25	100***
Godina	GV	25	40	50	40	-
	SZO	5	15	-	10	-

* Dato kao koncentracija o kojoj se obaveštava javnost prema Uredbi.
** Dato kao maksimalna dnevna osmočasovna srednja vrednost u 24h u cilju zaštite zdravlja prema Uredbi.
*** Preporuka važi za maksimalnu 8-časovnu srednju vrednost u 24h.



PM2.5 i PM10

- Od 30 gradova preko 50.000 stanovnika, u kojima živi 67% građana Srbije, monitoring u 12 (PM2.5), 18 (PM10)
- Monitoringom pokriveno 47% (PM2.5) odnosno 54% (PM10) svih stanovnika Srbije
- Nema monitoringa PM10: Leskovac, Kruševac (preko 100K), Vranje, Sombor, Loznica, Jagodina, Stara Pazova, Kikinda, Pirot*, Bačka Palanka, Ruma, Paraćin
- Nema ni monitoringa PM2.5 (dodatno): Kragujevac, Zrenjanin (preko 100K), Sremska Mitrovica, Požarevac, Zaječar



PM 2.5

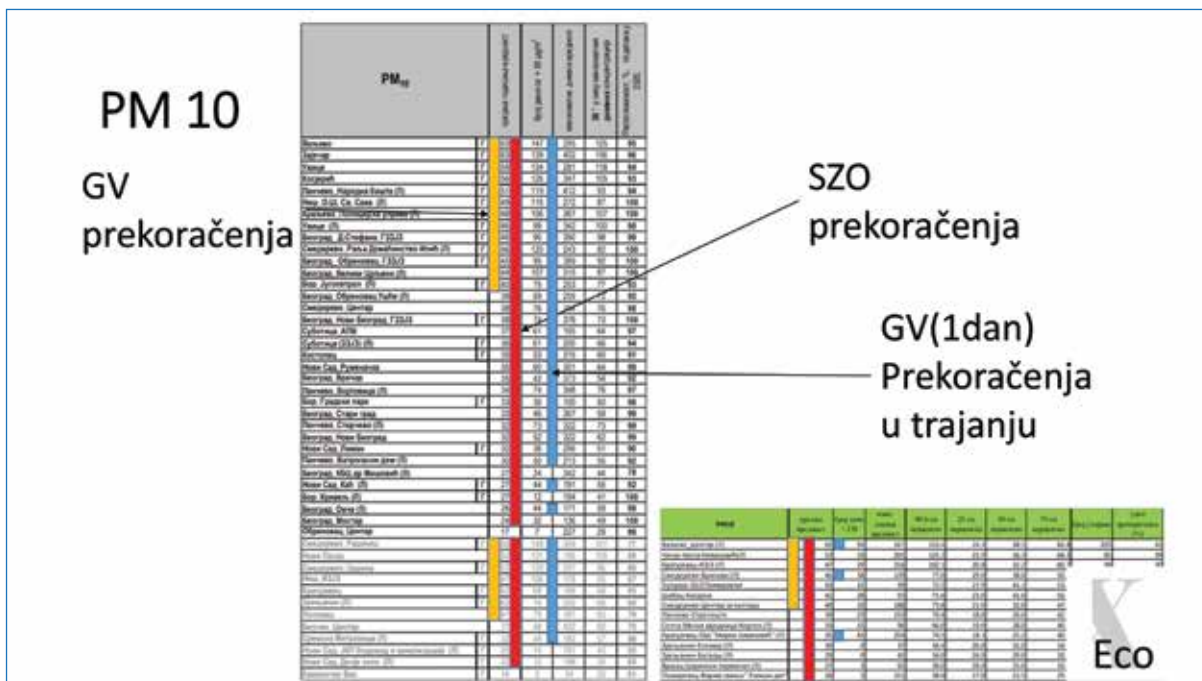
GV
prekoračenja

PM _{2.5}	srednja godišnja vrednost		25-ile	50-ile	75-ile	%
	µg/m ³	µg/m ³				
Belgrad	42	13.3	25.1	46.9	78	
Novi Sad	41	16.0	22.0	32.0	66	
Novi Pazar	40	17.0	21.0	48.0	67	
Kragujevac	37	15.0	21.0	48.0	66	
Plavsko - Mesto (Stara Pazova) (2)	37	12.0	20.0	45.0	64	
Novi	33	12.0	20.0	48.0	66	
Beograd - Bistrica (Loznica) (2)	33	12.0	20.0	42.0	66	
Čukarica - Ušće	32	11.7	19.7	44.0	66	
Novi - O. St. "Vasa Čolović"	31	10.8	18.0	38.0	77	
Beograd - Dušica (2)	30	10.0	20.0	38.0	66	
Beograd - Čukarica (3)	30	10.0	21.0	32.0	66	
Novi Pazar (2)	29	10.0	17.0	34.0	66	
Čukarica - O. St. "Vasa Čolović" (2)	29	7.0	15.0	32.0	67	
Čukarica - O. St. "Vasa Čolović" (2)	29	12.1	18.0	37.0	66	
Beograd - Nova Beograd	29	10.7	21.0	32.0	66	
Plavsko - Mesto (Stara Pazova) (2)	29	8.3	18.0	31.0	66	
Čukarica (4/5)	24	9.7	18.0	28.0	66	
Beograd - Bistrica	23	9.2	18.0	25.0	66	
Beograd - O. St. (2)	22	8.8	10.7	25.0	66	
Novi Sad - Palić	22	9.4	18.0	25.0	66	
Novi Sad - Apatin (2)	22	10.0	18.0	25.0	100	
Beograd - M. St. (Mladost) (2)	20	8.3	18.0	24.0	77	
Beograd - Starog	19	8.8	11.7	22.0	66	
Novi	17	8.3	13.0	21.0	67	
Novi Sad - JBT Bistrica - Kamenovodnjak (2)	17	9.0	13.0	22.0	66	
Novi Sad - Zvezdara	17	7.9	12.7	19.0	66	
Novi Sad - Bistrica (2)	13	8.0	12.0	17.0	66	
Obrenovac - Čerkez	8	3.0	5.7	8.0	66	

SZO
prekoračenja

PM _{2.5}	srednja godišnja vrednost		25-ile	50-ile	75-ile	%
	µg/m ³	µg/m ³				
Novi Pazar - Mesto (Stara Pazova) (2)	32	66	33.0	33.0	26.0	64
Novi Pazar (2)	30	233	20.0	28.0	46.0	14
Čukarica - Ušće	30	103	17.0	25.0	38.0	52
Novi Sad - Palić	22	60	12.0	15.0	22.0	66





PM2.5

3,3 miliona građana, izloženo je prosečnoj godišnjoj koncentraciji:

31,1 µg/m³

GV = 25 µg/m³

SZO limit = 10 µg/m³



PM10

3,8 miliona građana, izloženo je prosečnoj godišnjoj koncentraciji:

44,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

GV = 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

SZO limit = 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



PM10

3,8 miliona građana, izloženo je prekomernoj dnevnoj koncentraciji
(> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), u proseku:

85 dana

GV (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) trajanje prekoračenja
maksimum 35 dana



Izloženost gradskog stanovništva

PM2.5
 EU: 12,6
 (maks. Bugarska 19,6)

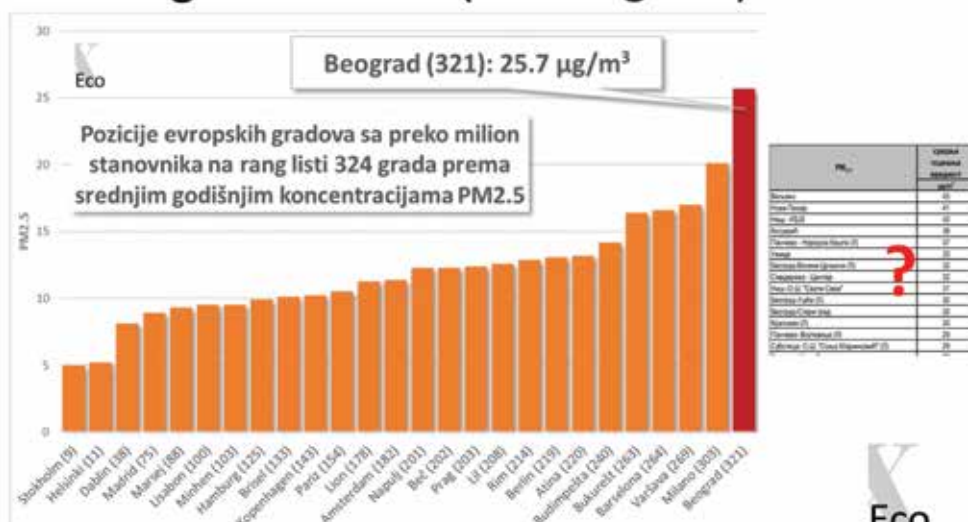
Srbija
26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM10
 EU: 20,5
 (maks. Hrvatska 30,9)

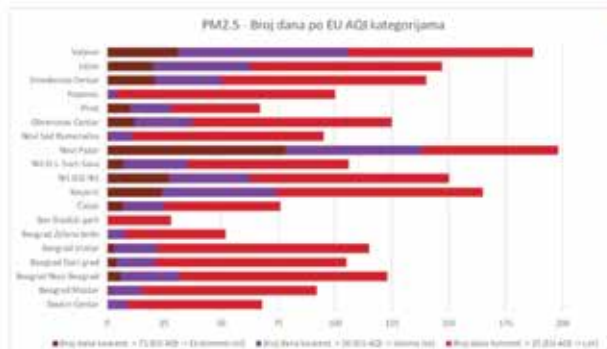
Srbija
36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Višemilionski gradovi u EU (od 323 grada)

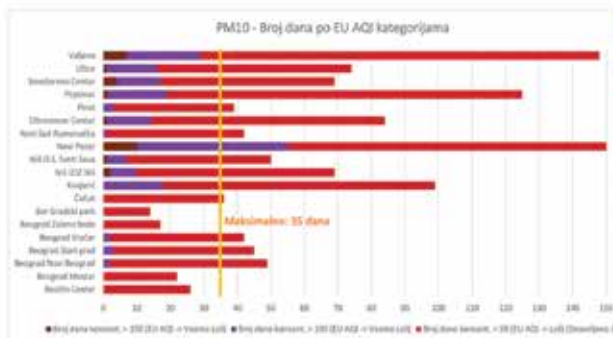


2021. godina



PM2.5 Suspend. čestice	Broj dana sa podacima	Sat		Dan		Godina
		Broj sati >90 µg/m³	Broj sati >40 µg/m³	Broj dana >50 µg/m³	Broj dana >25 µg/m³	Srednja vrednost
		Veoma loš	Loš	Veoma loš	Loš	PV=15 PV=15 GV=20 GV=25
SZO						
EEA – EU AQI						
EU						
Srbija						
Novi Pazar	357	1395	3144	138	198	47.1
Smeder. Radinac ¹³	26	26	245	7	24	43.6
Valjevo	343	760	2517	106	187	38.3
Kosjerić	303	572	2142	74	165	35.3
Piroć ¹⁴	155	184	816	28	67	31.5
Ulice	313	500	1907	63	147	31.5
NIŠ (ZJZ NIŠ)	361	555	1806	63	150	29.7
Smederevo Centar	320	426	1502	50	140	29.0
Obrenovac Centar	281	254	1337	37	125	28.6
Beograd Novi Beograd	348	117	1323	32	121	24.3
NIŠ O.J. Sveti Sava	343	246	1235	35	104	24.0
Čačak	268	151	871	25	76	23.3
Beograd Vračar	362	110	899	22	115	22.9
Beograd Stari grad	313	86	1031	21	85	22.6
Popovac	309	12	488	4	300	22.5
Beograd Mostar	312	19	871	15	81	21.2
Novi Sad Rumenačka	362	36	834	11	91	20.2
Beograd Zeleno brdo	260	10	250	8	51	18.2
Broćin Centar	300	42	640	9	68	18.1
Bor Gradski park	358	4	180	0	28	14.9

2021. godina



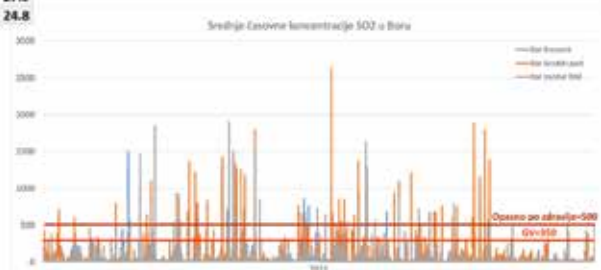
PM10 Suspend. čestice	Broj dana sa podacima	Sat		Dan		Godina
		Broj sati >180 µg/m³	Broj sati 50 µg/m³	Broj dana >100 µg/m³	Broj dana >50 µg/m³	Srednja vrednost
		Veoma loš	Loš	Veoma loš	Loš	PV=85 PV=15 GV=60 GV=80 Max. 35 dana
SZO						
EEA – EU AQI						
EU						
Srbija						
Novi Pazar	357	214	3113	55	153	54.7
Valjevo	343	236	2780	29	152	52.7
Popovac	309	178	1777	19	125	50.5
Smeder. Radinac ¹³	26	5	190	1	10	48.2
Kosjerić	303	71	2243	18	103	45.6
Obrenovac Centar	281	95	1888	14	86	44.2
Ulice	313	65	1698	16	78	37.1
Smederevo Centar	320	117	1446	17	71	36.0
NIŠ (ZJZ NIŠ)	361	73	1532	10	70	32.8
NIŠ O.J. Sveti Sava	343	54	1199	7	50	30.7
Beograd N.Beog.	348	2	1250	2	50	31.1
Beograd Stari grad	313	5	1100	3	46	31.2
N.Sad Rumenačka	362	7	1128	1	43	31.4
Beograd Vračar	362	11	883	2	42	29.4
Piroć ¹⁴	155	40	796	3	39	29.7
Čačak	268	9	959	0	36	33.0
Beograd Mostar	312	4	780	0	22	27.1
Beograd Zeleno brdo	260	0	304	0	17	26.5
Broćin Centar	300	5	711	0	26	24.6
Bor Gradski park	358	11	685	0	14	24.1



Specijalitet 2021

Bor - Sumpordioksid

SO ₂ Sumpor dioksid	Broj dana sa podacima	Sat		Dan		Godina	
		Broj sati >350 µg/m ³	Broj sati >500 µg/m ³	Broj dana >200 µg/m ³	Broj dana >125 µg/m ³		Srednja vrednost
		Loš	Veoma loš	Veoma loš	Loš		
EEA – EU AQI				PI=40			
EU AQI				GV=350	GV=125		
Srbije		Max. 24 sata	Op. po nprav.	Max. 3 dana	GV=50		
Bor Gradski park	360	156	90	8	19	43.8	
Bor Institut RIM	361	58	37	2	5	27.9	
Bor Brezonik	352	43	27	2	5	24.8	



xEco Vazduh (<https://xeco.info>)



xEco Vazduh (<https://xeco.info>)

- Kategorizacija kvaliteta vazduha prema Evropskom indeksu kvaliteta vazduha (EEA) – 6 kategorija
- Prikaz prekoračenja graničnih vrednosti u realnom vremenu, tekućoj godini, itd.
- Poređenje sa preporukama Svetske zdravstvene organizacije
- 50+ automatskih stanica državnog monitoringa (SEPA, Vojvodina, Beograd, Pančevo), 300+ „građanski monitoring“ (luftdaten.info, klimerko.org)
- „Top liste“ po zagađujućoj materiji, agregirano na 1h, 24h, 1 godina.
- Web aplikacija <https://xeco.info/xeco/vazduh/>
- Android aplikacija <https://play.google.com/store/apps/details?id=info.xeco.twa>
- Windows aplikacija: <https://www.microsoft.com/en-us/p/xeco-vazduh/9mx5tvsl62mm>



Ustav Republike Srbije

Zdrava životna sredina

Član 74

Svako ima pravo na zdravu životnu sredinu i na blagovremeno i potpuno obaveštavanje o njenom stanju.

Svako, a posebno Republika Srbija i autonomna pokrajina, odgovoran je za zaštitu životne sredine.

Svako je dužan da čuva i poboljšava životnu sredinu.

Zakon o zaštiti životne sredine

V INFORMISANJE I UČEŠĆE JAVNOSTI

Pristup informacijama

Član 78

Državni organi, organi autonomne pokrajine, organi jedinice lokalne samouprave i ovlašćene i druge organizacije dužni su da redovno, blagovremeno, potpuno i objektivno, obavestavaju javnost o stanju životne sredine, odnosno o pojavama koje se prate u okviru monitoringa nivoa zagađujuće materije i emisije, kao i merama upozorenja ili razvoju zagađenja koja mogu predstavljati opasnost za život i zdravlje ljudi, u skladu sa ovim zakonom i drugim propisima.



6.

Muhamed Hadžiabdić, Internacionalni univerzitet u Sarajevu, Bosna i Hercegovina

Mahir Hafizović, ENOVA Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Bojan Ničeno, Paul Scherrer institute, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland

Kemal Hanjalić, Delft University of Technology, Delft, Netherlands; Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina

CFD analiza rasprostiranja PM₁₀ iz saobraćaja u centralnoj gradskoj zoni Sarajeva pri blagom istočnom vjetru

CFD analysis of dispersion of traffic-emitted PM₁₀ in downtown of the City of Sarajevo at a mild easterly wind

SAŽETAK

Kompjuterske simulacije strujanja zraka i disperzije polutanata bazirane na računarskoj dinamici fluida (CFD) u idealizovanim i stvarnim urbanim konfiguracijama su prepoznate kao nezamjenjiv alat za predviđanje, planiranje i upravljanje kvalitetom zraka u urbanim sredinama. U posljednjoj deceniji provedena su brojna istraživanja strujanja zraka i disperzije polutanata u gradskim sredinama u kojima je korišten CFD. Preovlađujući zaključak je da predikcija obrazaca strujanja i kvalitete zraka u gradskim sredinama predstavlja naučni izazov zbog složene fizike strujanja usljed prisustva turbulencije, koherentnih vrtložnih struktura nastalih usljed kompleksne interakcije struja zraka sa objektima na tlu, lokalnog strujanja generisanog silom termalnog uzgona, te konvektivnog prenosa toplote i mase sa površine na okolni fluid. Kako se radi o vrlo složenim prirodnim fenomenima sa nizom međuovisnih parametara te turbulencijom koja najvećim dijelom određuje način i dinamiku strujanja zraka, miješanje i rasprostiranje aeropolutanata, ovaj zadatak zahtjeva studiozan pristup korištenjem savremenih metoda kompjuterske simulacije fizikalnih procesa. Analitički pristup i mjerenja, tradicionalno korištena u fizici fluida, ne donose puno uspjeha zbog složenosti prirode problema. CFD metoda je prepoznata kao nezamjenjiv alat u oblasti upravljanja kvalitetom zraka jer omogućava predikciju trodimenzionalnih polja brzina vjetra i koncentracije aeropolutanata u vremenu i prostoru.

U radu će biti predstavljeni rezultati kompjuterskih simulacija strujanja zraka i disperzije polutanata iz saobraćaja u gradskom jezgru Sarajeva na području Marijin Dvora. U simulacijama su korišteni napredni matematski modeli kao i posebno dizajnirani algoritmi za brzo i fleksibilno generisanje realističnih modela terena, zgrada i drugih objekata na tlu. Izrada računске mreže za urbana okruženja predstavlja poseban izazov zbog geometrijske složenosti konfiguracije zgrada i tla, ali i željenog kvaliteta numeričke mreže. Moguće je nekoliko pristupa, svaki sa svojim relativnim prednostima i nedostacima. Algoritam za izradu računskih mreža, koji je razvijen u okviru ovog istraživanja, omogućava brzo modeliranje velikog broja zgrada na tlu sa realističnim oblicima i

visinama. Odabrana domena je segment Grada Sarajeva sa 100 najdominantnijih zgrada koje su eksplicitno modelirane te sa složenom topografijom koju karakteriše prisustvo rijeke, brdovitog terena sa različitim tipovima tla (stambena područja, šume, parkovi, livade, područja niske vegetacije i dr.). Razmatrano je onečišćenje zraka koje nastaje emisijom polutanata iz drumskog saobraćaja koji se raspršuju pod blagim istočnim vjetrom tipičnim za sredinu jeseni i proljeća. Zanemaren je utjecaj toplinskog uzgona koji za pretpostavljeni scenarij se smatra malim. Polutant, čiji je izvor definisan na glavnim saobraćajnicama u okviru domene, je tretiran kao pasivni skalar. Predstavljene rezultati će pokazati kompleksnu sliku strujanja sa područjima separacije toka, lokalnog ubrzanja i usporenja struja zraka, te vrlo neujednačenu disperziju polutanta iz saobraćaja u prostoru i vremenu. Zone visoke koncentracije polutanta koje se lokalno formiraju kao rezultat anglomeracije čvrstih čestica su identificirane u pojedinim dijelovima grada. Koncentracije u ovim zonama mogu biti i nekoliko puta veće od okolnih vrijednosti i predstavljaju veliki zdravstveni rizik za ljude koji borave duže vrijeme u tim zonama. Formiranje zona visoke koncentracije je uslovljeno urbanom morfologijom i mikroklimatskim uslovima koji vladaju. U radu će biti predstavljene i trenutne naučno-istraživačke aktivnosti čija tema je disperzija polutanata u gradskim sredinama u uslovima temperaturne inverzije tipične za zimski period.

1. UVOD

Kompjuterske simulacije strujanja zraka i disperzije polutanata bazirane na računarskoj dinamici fluida (CFD) u idealizovanim i stvarnim urbanim konfiguracijama su prepoznate kao nezamjenjiv alat za predviđanje, planiranje i upravljanje kvalitetom zraka u urbanim sredinama. U posljednjoj deceniji provedena su brojna istraživanja strujanja zraka i disperzije polutanata u gradskim sredinama u kojima je korišten CFD. Preovlađujući zaključak je da predikcija obrazaca strujanja i kvalitete zraka u gradskim sredinama predstavlja naučni izazov zbog složene fizike strujanja usljed prisustva turbulencije, koherentnih vrtložnih struktura nastalih usljed kompleksne interakcije struja zraka sa objektima na tlu, lokalnog strujanja generisanog silom termalnog uzgona, te konvektivnog prenosa toplote i

mase sa površine na okolni fluid. Kako se radi o vrlo složenim prirodnim fenomenima sa nizom međuovisnih parametara te turbulencijom koja najvećim dijelom određuje način i dinamiku strujanja zraka, miješanje i rasprostiranje aeropolutanata, ovaj zadatak zahtjeva studiozan pristup korištenjem savremenih metoda kompjuterske simulacije fizikalnih procesa. Analitički pristup i mjerenja, tradicionalno korištena u fizici fluida, ne donose puno uspjeha zbog složenosti prirode problema. CFD metoda je prepoznata kao nezamjenjiv alat u oblasti upravljanja kvalitetom zraka jer omogućava predikciju trodimenzionalnih polja brzina vjetra i koncentracije aeropolutanata u vremenu i prostoru.

U radu su predstavljeni rezultati kompjuterskih simulacija strujanja zraka i disperzije polutanata iz saobraćaja u gradskom jezgru Sarajeva na području Marijin Dvora. U simulacijama su korišteni napredni matematski modeli kao i posebno dizajnirani algoritmi za brzo i fleksibilno generisanje realističnih modela terena, zgrada i drugih objekata na tlu. Izrada računске mreže za urbana okruženja predstavlja poseban izazov zbog geometrijske složenosti konfiguracije zgrada i tla, ali i željenog kvaliteta numeričke mreže. Moguće je nekoliko pristupa, svaki sa svojim relativnim prednostima i nedostacima. Algoritam za izradu računskih mreža, koji je razvijen u okviru ovog istraživanja, omogućava brzo modeliranje velikog broja zgrada na tlu sa realističnim oblicima i visinama. Odabrana domena je segment Grada Sarajeva sa 100 najdominantnijih zgrada koje su eksplicitno modelirane te sa složenom topografijom koju karakteriše prisustvo rijeke, brdovitog terena sa različitim tipovima tla (stambena područja, šume, parkovi, livade, područja niske vegetacije i dr.). Razmatrano je onečišćenje zraka koje nastaje emisijom polutanata iz drumskog saobraćaja koji se raspršuju pod blagim istočnim vjetrom tipičnim za sredinu jeseni i proljeća. Zanemaren je utjecaj toplinskog uzgona koji za pretpostavljeni scenarij se smatra malim. Polutant, čiji je izvor definisan na glavnim saobraćajnicama u okviru domene, je tretiran kao pasivni skalar. Predstavljeni rezultati će pokazati kompleksnu sliku strujanja sa područjima separacije toka, lokalnog ubrzanja i usporenja struja zraka, te vrlo neujednačenu disperziju polutanta iz saobraćaja u prostoru i vremenu. Zone visoke koncentracije polutanta koje se lokalno formiraju kao rezultat anglomeracije čvrstih čestica su identificirane u pojedinim dijelovima grada. Koncentracije u ovim zonama mogu biti i nekoliko puta veće od okolnih vrijednosti i

predstavljaju veliki zdravstveni rizik za ljude koji borave duže vrijeme u tim zonama. Formiranje zona visoke koncentracije je uslovljeno urbanom morfologijom i mikroklimatskim uslovima koji vladaju.

2. NUMERIČKE METODE I MODEL TURBULENCIJE

Simulacije su rađene korištenjem CFD open-source kôda T-Flows (Ničeno, 2001, Ničeno i Hanjalić, 2005), koji je razvijen na TU Delft-u i dostupan je putem GitHub platforme. T-Flows je nestruktuirani CFD kôd baziran na metodi konačnih volumena gdje su diskretizirane Navier-Stokesove i jednačbe konzervacije energije i mase pojedinih komponenti aero-kontaminanata (plinovi, čestice) s modelima prijenosa toplote i transporta aktivnog (temperatura) i pasivnog skalara (polutanta). Napisan je u Fortranu 90 i paraleliziran je korištenjem MPI protokola (eng. Message Passing Interface – MPI). Kôd se već duži niz godina koristi za računanje tokova fluida sa prijenosom toplote u različitim konfiguracijama sa LES (eng. Large Eddy Simulation – LES), RANS (Reynolds Average Navier Stokes), te hibridnih LES/RANS modela.

Proračunima se dobivaju vektorska i skalarna polja iz kojih se mogu dobiti detalji o prostornoj i vremenskoj evoluciji brzina i koncentracije polutanata u formatu koji se može vizualizirati i analizirati pomoću velikog broja CAD softvera komercijalnog i open-source tipa (Paraview, Visit).

U ovom radu korišten je hibridni RANS-LES model turbulencije (Hadžiabdić, 2006, Hadžiabdić i Hanjalić, 2020) baziran na RANS $k-\epsilon-\zeta-f$ modelu (Hanjalić i dr. 2004) i

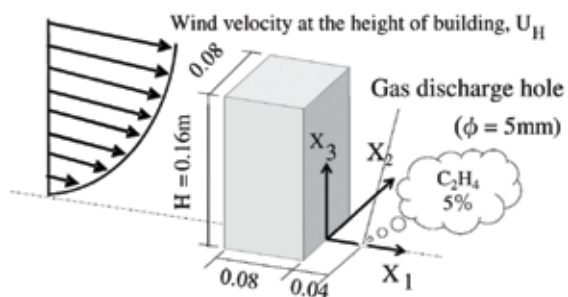
dinamičkom Smagorinski LES modelu.

(a)

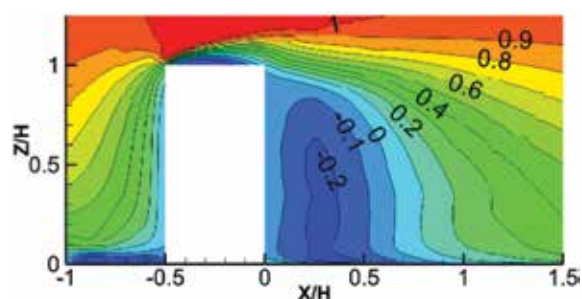
3. VALIDACIJA I VERIFIKACIJA CFD METODE

Verifikacija i validacija numeričkih metoda te modela fizike je neophodan preduslov za korištenje rezultata CFD-a za analizu i donošenje zaključaka. CFD kôd, numeričke metode i model turbulencije korišteni u ovom radu su testirani za dva tkz. benchmark slučaja i to: (a) strujanje zraka oko samostojećeg objekta (zgrade), konfiguracija koja je experimentalno ispitivana od strane Yoshie i dr. (2011) na Politehničkom univerzitetu u Tokiju, slika 1(a), (b) strujanje zraka preko modela idealiziranog urbanog naselja predstavljenog pravilno raspoređenim objektima na tlu i visokim tornjem za koji su eksperimentalna mjerenja urađena od strane Coanda Research and Development Corporation (Hilderman and Chong, 2004), slika 2(a).

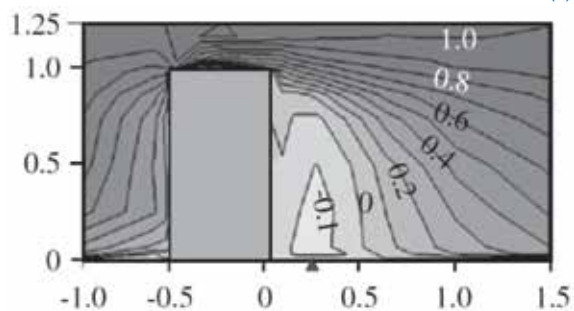
Polja brzine i koncentracije polutanta dobivena CFD simulacijom imaju vrlo dobro slaganje sa poljima dobivenim mjerenjima za ova dva bechmark slučaja, slika 1(b),(c) i slika 2(c). Ovo potvrđuje da su korištene numeričke metode i hibridni RANS-LES model turbulencije adekvatni alati za simulaciju strujanja zraka i disperzije polutanata u urbanim konfiguracijama.



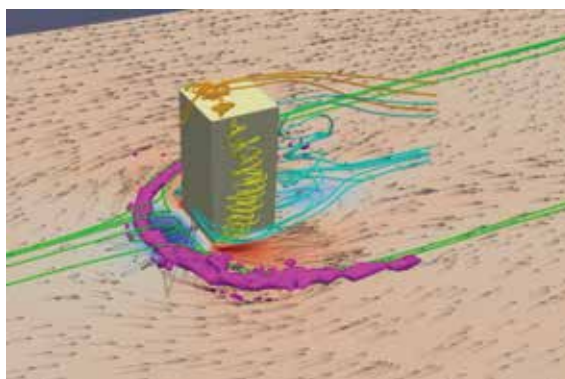
(b)



(c)

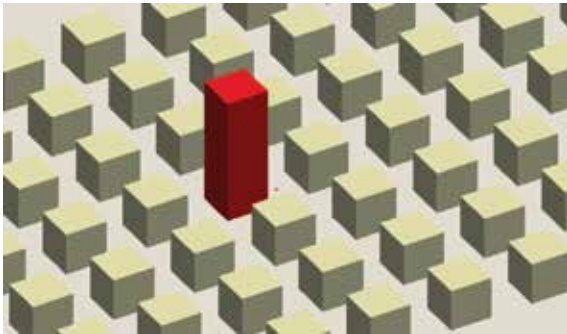


(d)

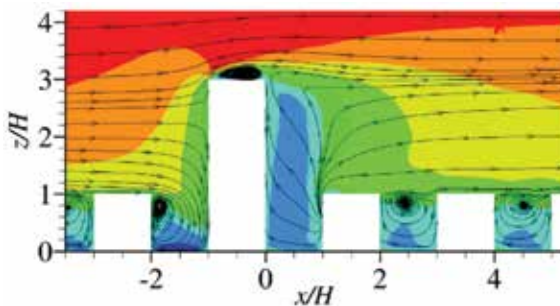


Slika 1: (a) Skica konfiguracije koja je korištena u laboratorijskim mjerenjima, (b),(c) Polje brzine u vertikalnoj ravni koja presjeca domenu po sredini sa pripadajućim konturama dobivenim (b) CFD simulacijom i (c) mjerenjima (Yoshi i dr.,2011), (d) Vektorsko polje sa strujnim linijama i karakterističnim vrtložnom strukturom u obliku potkvice

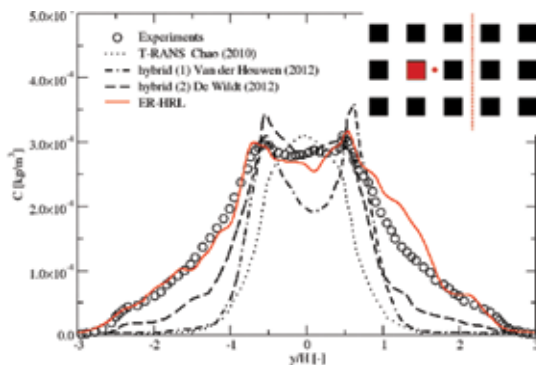
(a)



(b)



(c)



Slika 2: (a) Prikaz konfiguracije idealizirnog grada. Toranj je obojen crvenom bojom, a izvor polutanta u podnožju tornja je predstavljen crvenim pravougaonikom, (b) Konture vremenski usrednjene brzine strujanja sa pripadajućim strujnim linijama. (c) Distribucija usrednjene koncentracije polutanta u uličnim kanjonima iza tornja na visini $0.5H$

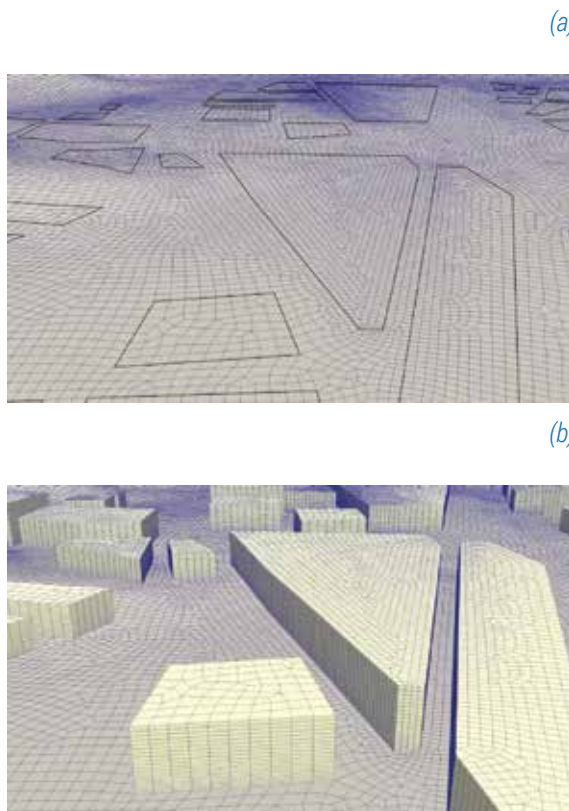
4. SARAJEVO-CENTAR: DEFINISANJE TERENA, OBJEKATA I GRANIČNIH USLOVA

Računska domena pokriva veličinu od $2,9 \text{ km} \times 1,3 \text{ km}$ u centralnom dijelu Sarajeva (područje Skenderije i Marijin dvora) i pruža se u pravcima istok-zapad i sjever-jug. Najniža i najviša tačka u domenu su 527 m , odnosno 663 m nadmorske visine, pri čemu je najniža tačka prisutna u centralnom dijelu domene. Slika 3 prikazuje područje računске domene označene crvenom linijom, dok su eksplicitno modelirane zgrade označene žutom bojom. Ukupan broj objekata koji su eksplicitno modelirani je 100. Prosječna visina objekta na tlu je 27 m , dok je najviša zgrada visine 87 m . Uticaj manjih objekata, male visine, kao što su kuće, drveće, itd., na strujanje zraka je modeliran. Površine zgrada su tretirani kao glatki zidovi. Rezolucija računarske mreže je limitirana raspoloživom kompjuterskom snagom. Radne stanice kojima trenutno raspoložemo podržavaju simulacije na računskim mrežama do približno 6 miliona računskih ćelija.



Slika 3: Prikaz obuhvata računске domene (crvena linija) sa zgradama i rijekom Miljackom.

Izrada kvalitetnih računskih mreža za urbana okruženja predstavlja poseban izazov zbog geometrijske složenosti terena i konfiguracije i broja zgrada. Moguće je nekoliko pristupa, od kojih svaki ima svoje prednosti i nedostatke. Najzahtjevniji način bi bio kreiranje geometrije zgrada korištenjem softvera za generiranje mreže, zgradu po zgradu, osiguravajući da je rezultirajuća mreža napravljena od pravilnih heksaedralnih ćelija. S obzirom na broj zgrada u stvarnom gradu ili njegovom segmentu, ovaj pristup je nepraktičan i često neprimjenjiv zbog vremena potrebnog za izradu mreža kao i zbog nefleksibilnosti metode (svaka promjena u broju ili obliku zgrada zahtjeva izradu mreže iznova). Kako bismo dobili visokokvalitetnu mrežu u kojoj dominiraju pravilne heksaedralne ćelije, i kako bismo izbjegli dugo vrijeme (sedmice) potrebne za njeno generiranje, razvili smo novi pristup za izradu računskih mreža koji je prilagođen urbanim sredinama i baziran na open-source tehnologijama. Pristup se zasniva na korištenju digitaliziranih mapa terena sa pripadajućim objektima na tlu u formatu open-source softvera Quantum Geographic Information System (QGIS) i open-source generatora računskih mreža GMSH, pomoću kojih se onda izrađuje dvodimenzionalni računski domen kao što je prikazano na slici 4(a). Algoritam osigurava da su veličine ćelija mreže u svakoj tački računskog domena dovoljno male da omogućе meširanje uskih gradskih ulica s nekoliko ćelija poprečno postavljenih na smijer ulica. Jednom kada je geometrija definirana unutar GMSH-a, generiše se dvodimenzionalna mreža u kojoj dominiraju heksaedri kao što je prikazano na slici 4(a). Nakon toga dvodimenzionalna mreža se projektuje u treću dimenziju, uzimajući u obzir visine zgrada koje su takođe definisane u QGIS mapi. Kao što se može vidjeti sa slike 4(a) i 4(b), ovakav pristup daje visokokvalitetne heksaedarske mreže sa realističnim prikazom oblika i visine zgrada obuhvaćenih računskom domenom.

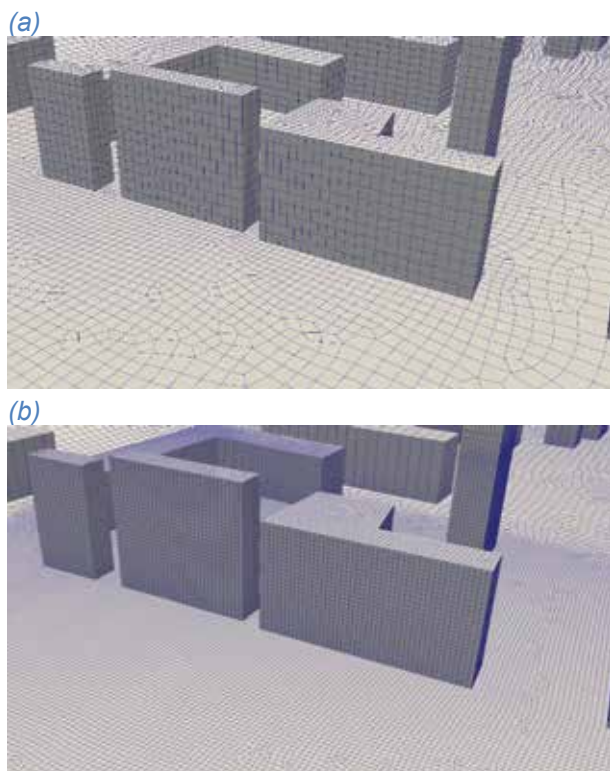


Slika 4: Ilustracija metode generisanja računskih mreža optimizirane za urbane konfiguracije. (a) Dvodimenzionalna mreža tla generisana uz pomoć QGIS digitalne mape, (b) Mreža nakon projekcije tla u treću dimenziju.

Dizajnirali smo dvije računске mreže, označene kao mreža A i B, koje se razlikuju po broju računskih ćelija u pojasu od 2 m uz tlo, te u visini gornje granice. Cilj je bio da se testira utjecaj rezolucije mreže te položaj gornje granice na rezultate simulacija. Mreža A, čiji je segment prikazan na slici 5(a), ima manju rezoluciju u pojasu od 2 metra od tla i ima ukupno oko 4,8 miliona računskih ćelija sa prosečnom veličinom ćelija u urbanom području oko 4 m i centrima ćelija uz tlo oko 1,5 m. Broj računskih ćelija u vertikalnom pravcu je 52, dok je visina domena u centralnom dijelu domena oko 323 m. Gornja granica se nalazi na nadmorskoj visini od 850 m. Rezolucija računске mreže u dijelu domene gdje se nalazi najveći broj zgrada je povećana u odnosu na

periferiju računskog domena. Kao što se može vidjeti na slici 5(a), mreža se sastoji uglavnom od pravilnih heksaedarskih ćelija sa vrlo malo ćelija nepravilnog oblika. Računska mreža B, prikazana na slici 5(b), ima finiju rezoluciju u području uz zid sa centrima ćelija uz tlo oko 0,3 m i 60 ćelija u vertikalnom pravcu. Veličina računске domene u horizontalnim pravcima je ista kao u mreži A, ali je gornja granica pomjerena na 980 m nadmorske visine. Novi položaj gornje granice daje visinu domene u središnjem dijelu od 453 m.

Računska mreža u područje od posebnog interesa (ulica Halida Kajtaza) prikazana na slici 5(b) je značajno ufinjenau u odnosu na mrežu A, dok ostatak domene ima rezoluciju mreže u horizontalnim pravcima x i y uporedivu sa mrežom A.



Slika 5: Pogled na računске mreže u dijelu ulice Halida Kajtaza. (a) Mreža A, (b) Mreža B.

Na istočnoj granici domene pretpostavljen je vjetar intenziteta 1,8 m/s koji puše od Istoka prema Zapadu. Granični uslovi na bočnim stranama i na vrhu domene pretpostavljaju nulti gradijent varijabli koje se računaju, dok je na izlazu nametnut granični uslov konstantnog pritiska.

Utjecaj prirodnih (šume, rijeke, travnate površine) i vještačkih (zgrade, kuće, mostovi, putevi) prepreka na tlu na polje strujanja, a koje nisu eksplicitno modelirane, uzet je u obzir preko modela hrapavosti. Zone hrapavosti su definisane korištenjem Quantum Geographic Information System (QGIS) opensource softvera, a vrijednosti visine hrapavosti z_0 su interpolirane na površini. Definirali smo nekoliko tipova površine sa odgovarajućim vrednostima z_0 usvojenim iz preporuke Wieringa (1992) i to rijeke, površine sa stambenim objektima ispod 10 m visine, polja sa niskim rastinjem, šume i putevi.

Kao reprezent polutanata prisutinih u zraku a koji potiču iz saobraćaja uzete su PM_{10} čestice jer za ovaj tip polutanta postoji najviše podataka u literaturi (Peitzmeier et al., 2017). Način procjene intenziteta emisije PM_{10} iz saobraćaja nije jednoznačno određen i u literaturi su prisutne različite formule. U ovom radu linijski izvor polutanta na cestama je procjenjen korištenjem jednačbe (1) u kojoj je kombinovan broj vozila po satu NV [V/h] (podaci dobijeni od Zavoda za planiranje grada), mase emitovanih čestica po kilometru po vozilu E_Q [g/(km V)], broj traka saobraćajnice N_{lanes} i dužine saobraćajnice L .

$$S''_c = \rho E_Q N_V L (3.6 N_{lanes}) \left[\frac{\mu g}{m^3 \cdot s} \right] \quad (1)$$

U CFD analizi smo pretpostavili scenarij sa velikim protokom vozila (2000 vozila na sat) u glavnoj gradskoj saobraćajnici (Ulica Zmaja

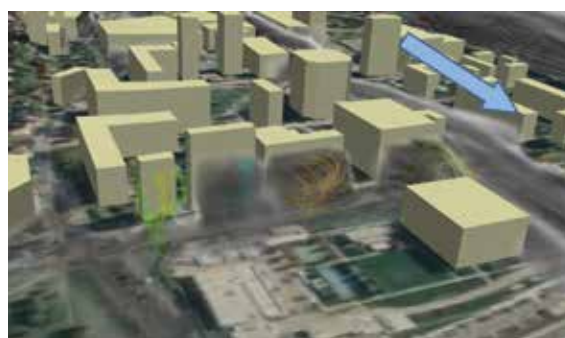
od Bosne) što odgovara poslijepodnevnim gužvama u saobraćaju. Emisija PM₁₀ čestica po vozilu po kilometru uvelike zavisi od tipa vozila (dizel ili benzin, putnički automobil ili kamion, itd.), starosti, kao i načina vožnje (zaustavljanje i kretanje, odnosno neometan protok vozila). Usvojena je vrijednost $E_Q = 0,0216$ [g/(km V)] s obzirom na prosječnu starost vozila u Sarajevu te činjenicu da dominiraju vozila sa dizel motorom i način vožnje karakterističnom za gradske gužve u jutarnjim i poslijepodnevnim satima. Usvojeni intenzitet izvora za sporedne ulice i parking područja manji je za 36% odnosno za 25% od intenziteta izvora za glavnu ulicu. Kako se računski domen pokriva centralni dio grada, pretpostavlja se da zrak koji ulazi u domen nije u potpunosti čist već ima koncentraciju PM₁₀ čestica $30 \mu\text{m} / \text{m}^3$.

5. REZULTATI

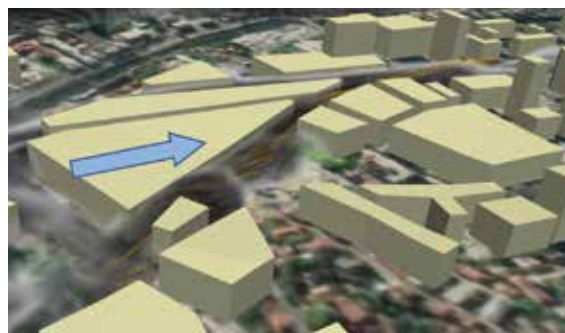
Na slici 6(a) se vidi trodimenzionalni prikaz disperzije polutanta u dijelu grada koji je predmet CFD analize. Kao što se i očekivalo, najveća koncentracija se javlja duž glavnih saobraćajnica koje su i najjači izvor polutanta. Međutim, vrijednosti koncentracije značajno variraju u prostoru i vremenu. Zone visoke koncentracije polutanta se pojavljuju u dva karakteristična regiona. Prvi region je područja u kojoj se izvori polutanta (putevi) preklapaju sa masivnim zonama recirkulacije koje se formiraju iza objekata na tlu. Primjer je Ulica Halida Kajtaza prikazana na slici 6(b) gdje se formira masivni separacioni mjehur iza relativno visokih zgrada orijentiranih okomito na dominantni smjer vjetra.



(a)



(b)



(c)

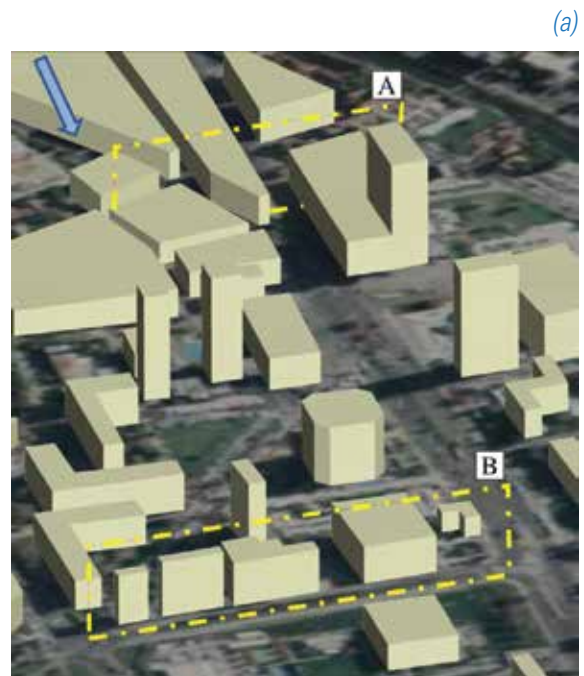
Slika 6: (a) 3D prikaz disperzije polutanata u prostoru sa pripadajućim strujnim linijama: (b), (c) Koncentracija polutanta (netransparentnost označava koncentraciju PM₁₀) na dvije karakteristične lokacije u gradu, Ulica Halida Kajtaza i Titova ulica. Boje strujnih linija služe isključivo u svrhu vizualizacije. Plava strelica označava prevlađujući smjer vjetra



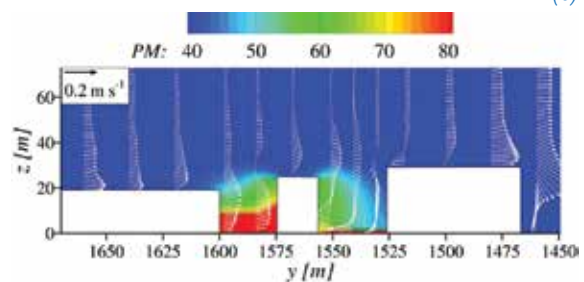
Zona jako zagađenog zraka se proteže skoro do vrha zgrada koje blokiraju protok zraka i uslovljavaju formiranje velike recirkulacione zone. Drugi region su ulični kanjoni gde je otežano vanjsko provjetravanje prostora. Slika 6(c) prikazuje takav ulični kanjon u Titovoj ulici na Marijin dvoru u kojem se akumulira polutant usljed smanjenog strujanja zraka.

Vektori brzine strujanja i konture koncentracije u vertikalnim poprečnim presjecima na ovdje dvije lokacije prikazani su na slici 7(b),(c). Poprečni presjek prikazan na slici 7(b) sadrži dva ulična kanjona slične konfiguracije. Područje visokog nivoa koncentracije proteže se do visine zgrada koje formiraju ulične kanjone. Međutim, oblast sa visokom koncentracijom polutanta je manja u desnom uličnom kanjonu. Blizina otvorenog područja uzvodno od ovog kanjona, slika 7(a), najvjerovatnije poboljšava ventilaciju i smanjuje nivo koncentracije. Vertikalni presjek na slici 7(c) postavljen je u zavjetrinu zgrada u Ulici Halida Kajtaza orijentiranih okomito na dominantni smjer vjeta. Konture koncentracije polutanata jasno pokazuju otiske separacionih mjehura formiranih iza zgrada duž ulice. Područje visoke koncentracije polutanta je veće iza masivne zgrade na desnoj strani (Tehnička škola) u poređenju sa područjem iza ostalih zgrada u nizu. Vektorsko polje brzine ukazuje na jači bočni vjetar u oblastima niže koncentracije, vjerovatno uzrokovan mlazevima koji se formiraju u uskim prolazima između zgrada. Ovo se jasno vidi na slici 8 koja prikazuje vektorsko polje u Ulici Halida Kajtaza sa konturama koncentracije polutanta u vertikalnom presjeku. Intenzivnije miješanje i nestabilniji separacioni mjehuri u ovoj zoni rezultiraju nižom koncentracijom polutanta.

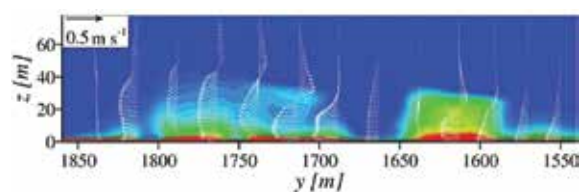
Slika 8: Vektori brzina u Ulici Halida Kajtaza i konture koncentracije u vertikalnom presjeku



(a)

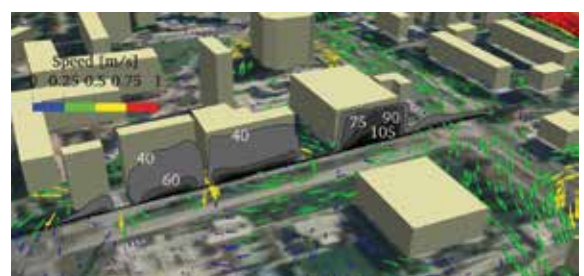


(b)



(c)

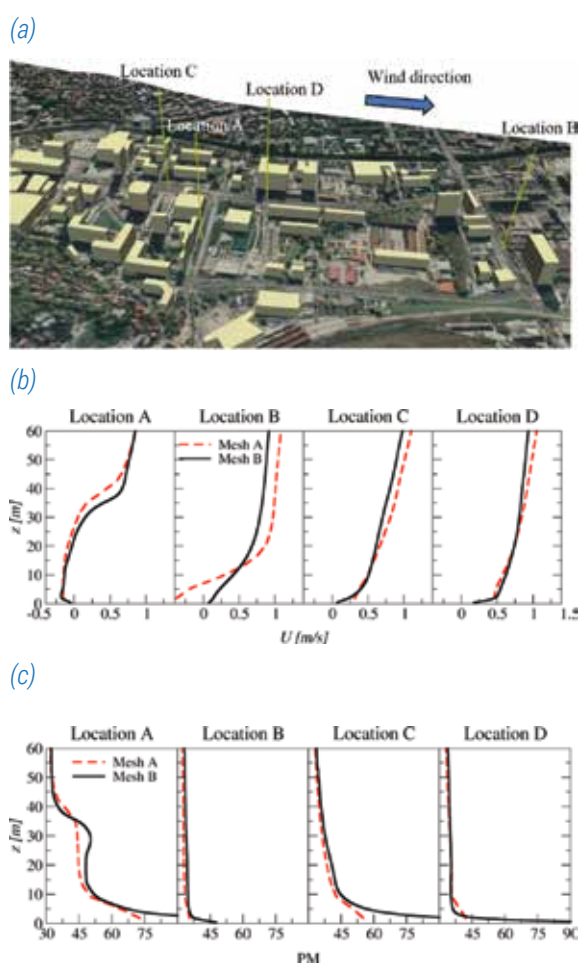
Slika 7: Vektori brzina i konture koncentracije u vertikalnim presjecima na dvije lokacije u gradu. Plava strelica na slici (a) označava prevladajući smjer vjeta



Na slici 9 prikazani su profili brzine vjetra i koncentracije polutanta duž vertikalnih linija na četiri lokacije u domeni dobijeni na računskoj mreži A i B. Iako je rezolucija mreže B značajno veća od rezolucije mreže A, posebno u pojasu uz tlo, rezultati su vrlo slični. Najveća razlika se javlja na lokaciji B koja se nalazi u blizini masivnog objekta postavljenog nizvodno od lokacije. Rezultat na računskoj mreži A predviđa separaciju toka blizu zida (negativna brzina), dok rezultati na mreži veće rezolucije (mreža B) pokazuju pozitivnu brzinu niskog intenziteta. Najvjerojatniji razlog za razlike u profilu brzine je predimenzioniranost vrtloga na mreži A a koji se formira u podnožju zgrade koja se nalazi u blizini nizvodno od lokacije B. Rezultati za nivo koncentracije polutanta na lokaciji B su slični na obje računске mreže iako se profili brzina razlikuju. Ovo upućuje na zaključak da sama vrijednost brzine ne određuje nužno nivo koncentracije polutanta već je polje koncentracije rezultat mnogo kompleksnije strujne slike koja je prisutna na nekoj lokaciji. Ostale tri lokacije pokazuju vrlo slične profile brzine i koncentracije. Ovi rezultati potvrđuju da je korištena metoda (hibridni RANS-LES model) vrlo robusna i da umjerene razlike u rezoluciji mreže ne rezultiraju velikim razlikama u rezultatima.

Profili koncentracije polutanata su prikazani na slici 9(c). Sve četiri lokacije se nalaze na saobraćajnicama što ima za posljedicu da se maksimalna koncentraciju nalazi na tlu. Najveća koncentracija se pojavljuje na lokaciji A (Ulica Halida Kajtaza). Ovu lokaciju karakterizira negativna (povratna) brzina zraka u blizini tla uzrokovana masivnom separacijom toka. Visoke vrijednosti koncentracije polutanta (>50 PM₁₀) protežu se do visine od 35 metara, što se otprilike podudara sa visinom separacijskog mjehura koji se formira u zaleđu zgrade. Ova vrijednost je gotovo konstantna u području

od 15 do 35 metara od tla, nakon čega se brzo smanjuje na vrijednost pozadinske koncentracije od 30 PM₁₀. U blizini tla, na visini pješaka, koncentracija PM₁₀ dostiže vrijednosti do 80. Zanimljivo je uporediti vrijednosti koncentracije na tri druge lokacije B, D i C. Iako su vrijednosti brzina slične na ove tri lokacije, vrijednosti koncentracije se značajno razlikuju, sa vrijednošću PM₁₀ od 37, 47 i 55 na lokacijama B, D i C respektivno. Ovo upućuje na zaključak da vrijednosti brzine nisu jedini indikator vrijednosti koncentracije polutanta već na nivo koncentracije utiče ukupna slika strujanja na datoj lokaciji a ona uključuje polje Reynoldsovih napona, turbulentne kinetičke energije i sl.



Slika 8: (a) Prikaz lokacija u gradu na kojima su nacrtani profili duž vertikalnih linija. (b) Profili usrednjene brzine vjetra, (c) Profili usrednjene koncentracije PM₁₀

6. ZAKLJUČCI

Predstavljeni su rezultati kompjuterskih simulacija strujanja i disperzije polutanata iz saobraćaja u središnjem dijelu Sarajeva pri blagom istočnom vjetru koristeći CFD metodu i hibridni RANS-LES model turbulencije. Rezultati su pokazali da koncentracija PM₁₀ čestica iz saobraćaja ima vrlo neujednačene vrijednosti u prostoru i vremenu a što je uslovljeno lokalnom strujnom slikom, prije svega intenzitetom brzine i turbulentnim miješanjem. Identifikovane su zone visoke koncentracije polutanta koje se formiraju kao rezultat anglomeracije čvrstih čestica. Vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica u ovim zonama su nekoliko puta veće od okolnih vrijednosti i mogu negativno uticati na zdravlje ljudi i životinja koje bi duže vrijeme boravili u ovim zonama. Analizom rezultata je zaključeno da se zone visoke koncentracije polutanta formiraju na mjestima gdje postoje jaki izvori emisije na tlu a istovremeno je otežana vanjska cirkulacije zraka ili se lokacija nalazi u područjima recirkulacijskog mjevura koji se formiraju u zaleđu zgrada. Trenutno su u toku istraživanja čiji fokus su CFD simulacije disperzije polutanata u slučajevima kada nema dominantnog vjetera već je strujanje zraka uslovljeno uzgonskom silom generisanom temperaturnom razlikom. Također su u toku CFD simulacije pojedinih dijelova Sarajeva sa različitim varijantama urbanih formi sa ciljem utvrđivanja uticaja oblika, veličine i orijentacije zgrada u odnosu na dominantni vjetar na efikasnost vanjske ventilacije i kvalitete zraka.

ZAHVALNICA

Zahvaljujemo Ministarstvu nauke, visokog obrazovanja i mladih Kantona Sarajevo na podršci istraživanju objavljenom u ovom radu. U radu su korišteni računarski resursi Internacionalnog univerziteta u Sarajevu i firme Enova d.o.o.

LITERATURA

1. Hadžiabdić, M. (2006). *LES, RANS and Combined Simulation of Impinging Flows and Heat Transfer. PhD thesis, Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherlands.*
2. Hadžiabdić, M., Hanjalić, K. (2020). *Elliptic-Relaxation Hybrid RANS-LES (ER-HRL) for Complex Wall-Bounded Fluid and Heat Flows. ERCOFTAC Bulletin, 121, 17-24.*
3. Hanjalić, K., Popovac, M., Hadžiabdić, M. (2004). *A robust near-wall elliptic-relaxation eddy-viscosity turbulence model for CFD. Int. J. Heat and Fluid Flow. 25. 1047-1051.*
4. Hilderman, T., Chong, R. (2004). *A laboratory study of momentum and passive scalar transport and diffusion within and above a model urban canopy—MUST Array report. Report CRDC00327c, Prepared by Coanda Research and Development Corporation for Defence Research and Development Canada—Suffield.*

5. Ničeno, B. (2001). *An unstructured parallel algorithm for large-eddy and conjugate heat transfer simulations*, PhD thesis, Delft Univ. of Technology, Delft, The Netherlands.
6. Ničeno, B., Hanjalić, K. (2005). *Unstructured large-eddy and conjugate heat transfer simulations of wall-bounded flows*, In: S. Sunden and M. Faghri (Eds) *Modelling and simulation of turbulent heat transfer*, WIT Press, USA, pp. 35-76.
7. Peitzmeier, C., Loschke, C., Wiedenhaus, H., Klemm, O. (2017). *Real-world vehicle emissions as measured by in situ analysis of exhaust plumes*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24(29), 23279-23289.
8. Yoshie, R., Jiang, G., Shirasawa, T., & Chung, J. (2011). *CFD simulations of gas dispersion around high-rise building in non-isothermal boundary layer*. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 99(4), 279-288.
9. Wieringa, J. (1992). *Updating the Davenport roughness classification*. *J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn.*, 41(1-3), 357-368.

Adnan Mašić, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina

Boran Pikula, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina

Dževad Bibić, Mašinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Bosna i Hercegovina

Mreža senzora za mjerenje koncentracije lebdećih čestica u visokoj prostornih i vremenskoj rezoluciji

Network of sensors for measurement of particulate matter concentration with high spatial and temporal resolution

SAŽETAK / ABSTRACT

U ovom radu predstavljamo mrežu senzora koncentracije lebdećih čestica (PM) koja je zasnovana na principu internet oblaka i daje mjerenja visoke prostorne i vremenske rezolucije u realnom vremenu. Mreža je razvijena na Mašinskom fakultetu u Sarajevu i intenzivno je testirana u protekle tri godine. Dobijeni su dobri koeficijenti korelacije prilikom poređenja sa referentnim (gravimetrijskim) i ekvivalentnim (atenuator beta zračenja) instrumentima smještenim u blizini Mašinskog fakulteta.

Ključne riječi: lebdeće čestice, mreža senzora, internet oblak

In this paper we present the network of sensors for particulate matter (PM) concentration measurements which is implemented as a cloud-based service for high resolution (both spatial and temporal) real-time measurements. The network is developed at the Faculty of mechanical engineering in Sarajevo and has been intensively tested over the last three years. The results are good in terms of correlation coefficients when compared to the reference (gravimetric) and equivalent (beta attenuation monitor) instruments located nearby.

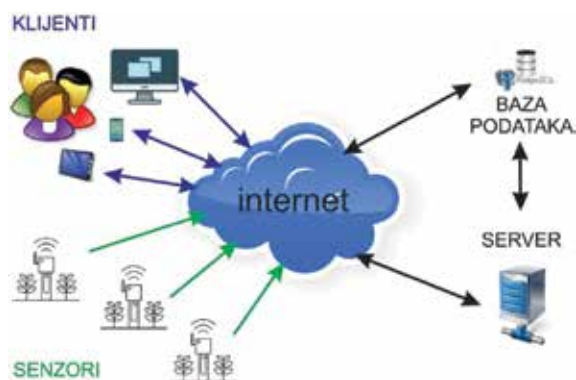
Key words: particulate matter, network of sensors, internet cloud

1. UVOD

Zagađenost zraka lebdećim česticama (PM) je jedan od najvećih problema sa kojim se naše društvo suočava. Da bi se taj problem riješio, neophodno je imati dijagnostičke alate, od kojih je najvažniji aspekt mjerenje kvantitativnih karakteristika zagađenosti. Iako u Bosni i Hercegovini postoje mjeraci koncentracija lebdećih čestica na nekoliko fiksnih lokacija, time nije osigurana prostorna pokrivenost, tj. ne znamo kakvo je stanje u područjima gdje nema mjerenja. Zato se predlaže kreiranje mreže naprednih (SMART) senzora što bi omogućilo mjerenja visoke prostorne i vremenske rezolucije.

2. MAQS SMART SENZORI

Osnovu ove mreže čine senzori za mjerenje koncentracije lebdećih čestica, koji mjere sve tri frakcije PM čestica: PM₁, PM_{2.5} i PM₁₀. Svaki od tih senzora ima karticu za lokalnu pohranu podataka, kao i bežičnu mrežnu karticu za pristup internetu. Putem interneta se podaci šalju na server, a potom se pohranjuju u bazu podataka (slika 1). Korisnici mogu vidjeti mjerenja u realnom vremenu putem web stranice ili aplikacije za mobilne uređaje sa Android operativnim sistemom. Ovaj sistem spada u red najmodernijih rješenja koji rade na principu oblaka (eng. *cloud*). Naziv sistema je MAQS, što je skraćenica od engleskih riječi Mobile Air Quality System.



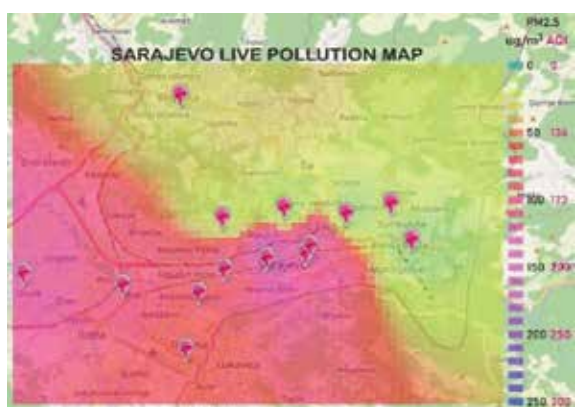
Slika 1: MAQS mreža senzora

Proizvodnja MAQS senzora se vrši lokalno, a uvoze se samo osnovne elektroničke komponente. Kućišta senzora se izrađuju na 3D printeru, a cjelokupan software je nastao u vlastitom razvoju. Na ovaj način se postiže niska cijena senzora, ali i što je još važnije, ovladava se znanjem i vještinama na ovom strateški važnom polju tehnologije. Budući da su MAQS smart senzori malih dimenzija i robusne konstrukcije, njihova montaža je veoma jednostavna. Sve što je potrebno jeste da objekat na koji se montiraju ima bežični pristup internetu i utičnicu za struju. Pri tome je potrošnja električne energije veoma niska, a MAQS senzori se mogu napajati pomoći običnog punjača za mobitel (USB). Pogodni objekti za montažu su:

- ≈ Individualni stambeni objekti,
- ≈ Zgrade,
- ≈ Javne ustanove (npr. škole),
- ≈ Infrastruktura žičare itd.

3. PRIKAZ U REALNOM VREMENU

Prostor koji je odabran za pokrivanje MAQS sistemom (u našem slučaju Sarajevo) se prikazuje putem interaktivne mape dostupne na web lokaciji www.maqs.info a koja je zasnovana na mjerenjima u datom trenutku (slika 2).



Slika 2: live mapa

Na slici 2 možemo vidjeti kako se lokalni nivo zagađenosti može razlikovati u različitim dijelovima grada.

Takođe je razvijena aplikacija za mobilne uređaje koji koriste Android operativni sistem za jednostavan pregled izmjerenih parametara (slika 3).

4. REZULTATI MJERENJA

Budući da MAQS sistem koristi tzv. low-cost senzore za mjerenje koncentracije lebdećih čestica, posebna pažnja je posvećena provjeri performansi tih senzora tokom dugotrajne eksploatacije u različitim ambijentalnim uslovima. U našim radovima [1]-[20] smo napravili niz testiranja pojedinih komponenti sistema, pri čemu smo poredili mjerenja dobijena MAQS sensorima s referentnim

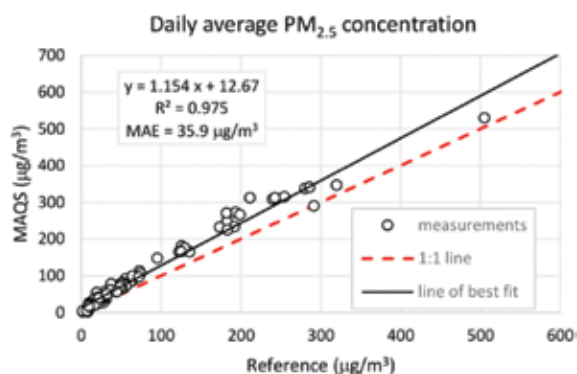
gravimetrijskim mjerenjima na Mašinskom fakultetu u Sarajevu, kao i ekvivalentnim mjeracem zasnovanim na atenuaciji beta zračenja koji je smješten na lokaciji Ambasade SAD u Sarajevu, nedaleko od Mašinskog fakulteta.

Na slici 4 su prikazani rezultati poređenja dnevnih prosječnih vrijednosti PM_{2.5} sa referentnim uređajem tokom perioda jake zagađenosti zraka 2.12.2019.-12.3.2020. Koeficijent korelacije R^2 je iznosio 0,975, što je veoma dobro, dok je srednja apsolutna greška bila 35,9 mg/m³.

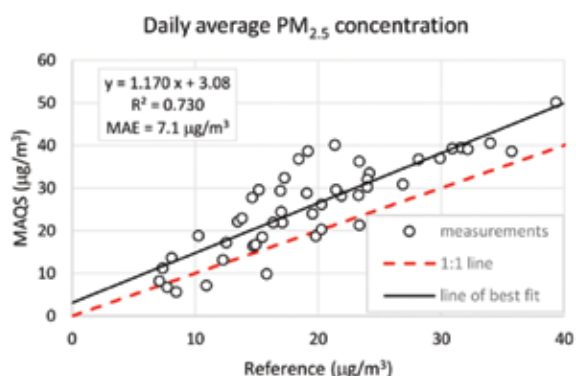


Slika 3: Android aplikacija

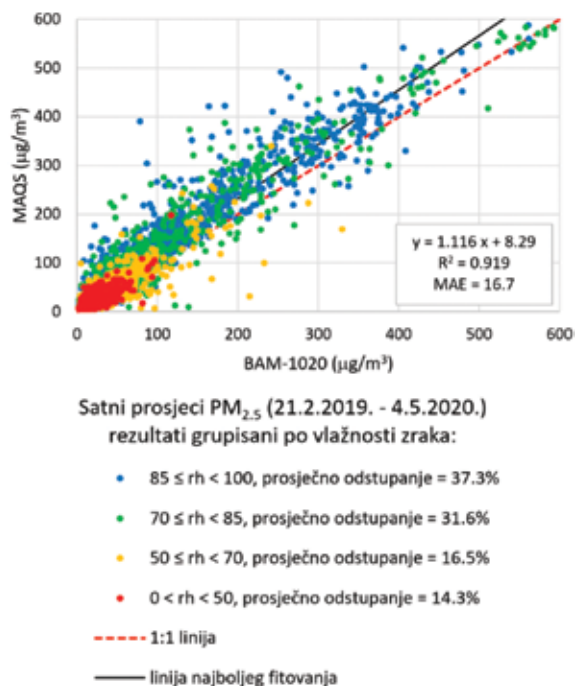
Tokom perioda umjerene zagađenosti 13.3.2020. – 4.5.2020. zabilježena je slabija korelacija $R^2=0,73$ i srednja apsolutna greška $7,1 \text{ mg/m}^3$ (slika 5).



Slika 4: period jake zagađenosti



Slika 5: period umjerene zagađenosti



Slika 6: utjecaj vlažnosti zraka

Slika 6 prikazuje poređenje satnih prosjeka sa instrumentom BAM-1020 Američke agencije za zaštitu okoliša (EPA) na lokaciji Ambasade SAD u Sarajevu. Koeficijent korelacije za dugotrajno poređenje od 21.2.2019. – 4.5.2020. iznosio je 0,919 uz srednju apsolutnu grešku od $16,7 \text{ mg/m}^3$. Rezultati su grupisani po vrijednostim relativne vlažnosti zraka, te se jasno vidi da je odstupanje veće ukoliko je vlažnost zraka visoka. To se objašnjava higroskopskim rastom lebdećih čestica [7].

5. ZAKLJUČAK

Veoma ohrabrujući rezultati su postignuti primjenom mreže MAQS senzora na prostoru Sarajeva. Visoka prostorna i vremenska rezolucija mjerenja su demonstrirane uspješno. Odstupanja od referentnih i ekvivalentnih instrumenata su analizirana. Nešto slabiji rezultati su zabilježeni u periodu slabog zagađenja, kada su senzori bliži svom limitu detekcije. Takođe je odstupanje veće u slučaju visoke vlažnosti zraka. Senzori su pokazali konzistentne performanse tokom dužeg perioda. Na kraju se nameće zaključak da je neophodna kalibracija low-cost senzora da bi se postigla zadovoljavajuća tačnost mjerenja.

REFERENCE

1. Mašić, A.; Pikula, B.; Bibić, Dž. & Razić, F. (2021). *Open Source Low-cost Approach to Terrain Mapping Using Drone with LiDAR*, *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0117-0122, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.017
2. Mašić, A.; Pikula, B.; Bibić, Dž.; Hadžiabdić, V. & Blažević, A. (2021). *Drone Measurements of Temperature Inversion Characteristics and Particulate Matter Vertical Profiles in Urban Environments*, *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0123-0126, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.018
3. Mašić, A.; Hanić, E.; Bibić, E.; Bibić, Dž. & Pikula, B. (2021). *Reference Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} Particulate Matter Concentrations*, *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0127-0130, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.019
4. Mašić, A.; Kepnik, G.; Bibić, Dž.; Mešić, E. & Pikula, B. (2021). *Long-term Measurement of Black Carbon Concentration and Source Apportionment Analysis*, *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0131-0135, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.020
5. Mašić, A.; Bektešević, J.; Bibić, Dž.; Mehuljić, M. & Pikula, B. (2021). *Mass Spectrometry of Nanoparticles*, *Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium*, pp.0136-0139, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-33-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.021
6. I. Šarić, A. Mašić, M. Delić: *Hexacopter Design and Analysis*, *New Technologies, Development and Application IV*, January 2021,
7. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula, A. Blažević, J. Huremović, S. Žero: *Evaluation of optical particulate matter sensors under realistic conditions of strong and mild urban pollution*, *Article, Atmospheric Measurement Techniques*, November 2020,

8. A. Mašić et al: *Mobile Measurements of Black Carbon for Source Apportionment Studies, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium October 2020,*
9. A. Mašić et al: *Evaluation of Face Mask Filtering Efficiency Using High-End Scanning Mobility Particle Sizer, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium, October 2020,*
10. A. Mašić et al: *The Network of Smart Sensors for Indoor Air Quality Monitoring, Proceedings of the 31st DAAAM International Symposium, October 2020,*
11. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula: *ON THE APPLICABILITY OF LOW-COST SENSORS FOR MEASUREMENTS OF AEROSOL CONCENTRATIONS, 30th DAAAM PROCEEDINGS, 452-456 (2019)*
12. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula, S. Klarić: *EVALUATION OF CARBON DIOXIDE SENSORS FOR INDOOR AIR QUALITY MONITORING, 30th DAAAM PROCEEDINGS, 457-459 (2019)*
13. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula, E. Džaferović-Mašić, R. Musemić: *EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE INVERSIONS ABOVE URBAN AREA USING UNMANNED AERIAL VEHICLE, Thermal Science, 250 (2018)*
14. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula, F. Razić: *New Approach of Measuring Toxic Gases Concentrations: Principle of Operation, 29th DAAAM PROCEEDINGS, 882-887 (2018)*
15. Dž. Bibić, B. Pikula, A. Mašić, F. Razić: *New Approach of Measuring Toxic Gases Concentrations: Application Examples, 29th DAAAM PROCEEDINGS, 876-881 (2018)*
16. A. Mašić, B. Pikula, Dž. Bibić, R. Musemić, A. Halač: *Calibration and Assessment of Low-Cost Dust Sensors, 29th DAAAM PROCEEDINGS, 523-528 (2018)*
17. A. Mašić, Dž. Bibić, B. Pikula, E. Džaferović-Mašić, F. Razić: *VISUALIZATION OF DATA FROM NETWORK OF SENSORS: APPROPRIATE SPATIAL INTERPOLATION METHOD, 29th DAAAM PROCEEDINGS, 529-533 (2018)*
18. Mašić, A.; Pikula, B. & Bibić Dž. (2017). *Mobile Measurements of Particulate Matter Concentrations in Urban Area. Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.0452-0456, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.063*
19. Mašić, A.; Musemić, R. & Džaferović-Mašić, E. (2016). *Temperature Inversion Measurements in Sarajevo Valley Using Unmanned Aerial Vehicles, Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium, pp.0423-0427, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-08-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria, DOI: 10.2507/27th.daaam.proceedings.062*
20. A. Mašić: *"Unmanned Aerial Vehicle as Data Acquisition System", Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology Vol. 19, No. 1, 2015, ISSN 2303-4009 (online), p.p. 181-184*

8.

Keisuke Tanaka, Japan International Cooperation Agency (JICA)

≈ JICA-in pristup za realizaciju održive prometne infrastrukture i usluga

≈ JICA's approach for realizing sustainable transport infrastructure and services project

JICA's approach for realizing sustainable transport infrastructure and services



February 2022

Mr. Keisuke Tanaka
Japan International Cooperation Agency (JICA)



1



- JICA, in charge of administering Japan's ODA, is one of the **world's largest international cooperation agencies**. Under its new vision set out in July 2017 "Leading the world with trust" JICA supports the resolution of issues worldwide through a flexible combination of various types of assistances.



- Around **100 offices** are located worldwide to promote projects in response to local needs.



2

Contents

1. Challenges around the world
2. JICA's roles and goals
3. JICA's support in Sarajevo



3

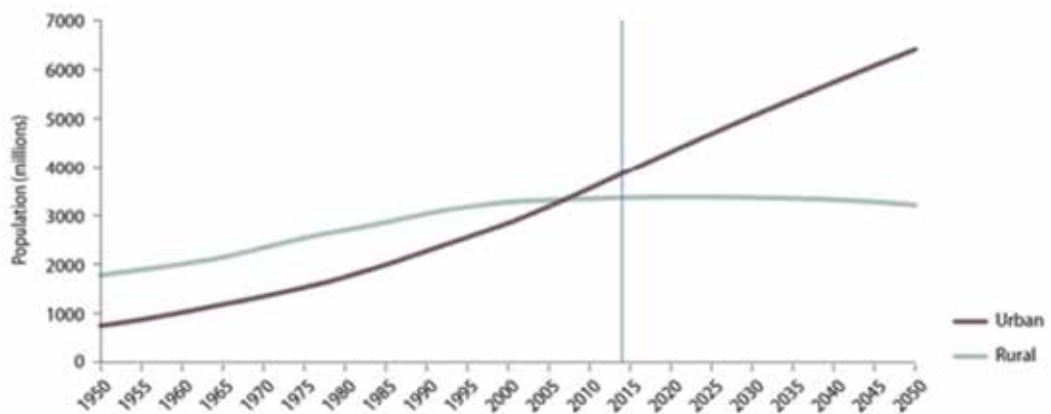


1. Challenges around the world

4

Rapid urbanization in the world

Urban and rural population of the world, 1950–2050



Source: UN Department of Economic and Social Affairs : World Urbanization Prospects The 2014 Revision

5

Serious Traffic Jam and Air Pollution



Traffic jam in Bangladesh



Air pollution in Vietnam

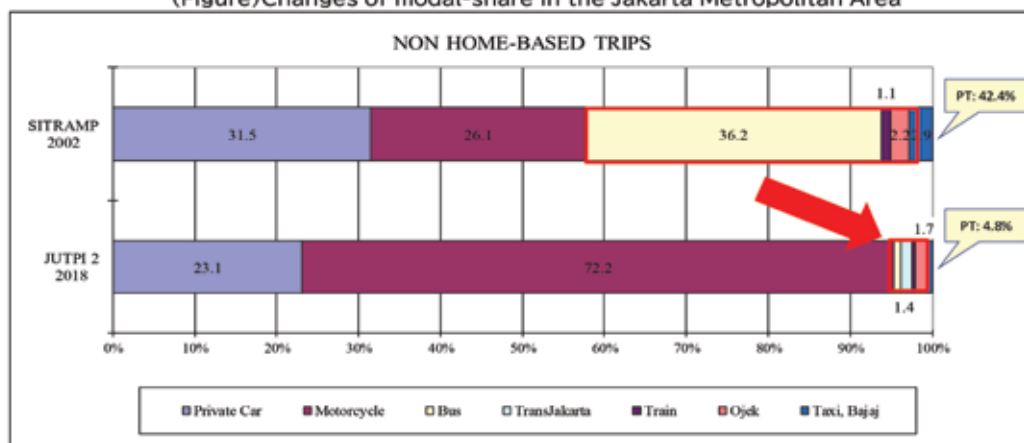
6

Impact of urbanization on the public transport

Changes in urbanization and modal-share

- In general, the share of public transport will decline as urbanization progresses, if no measures are taken.
- In Jakarta, the share of public transport was **42.2% in 2002**, but dropped to **4.8% in 2018**.

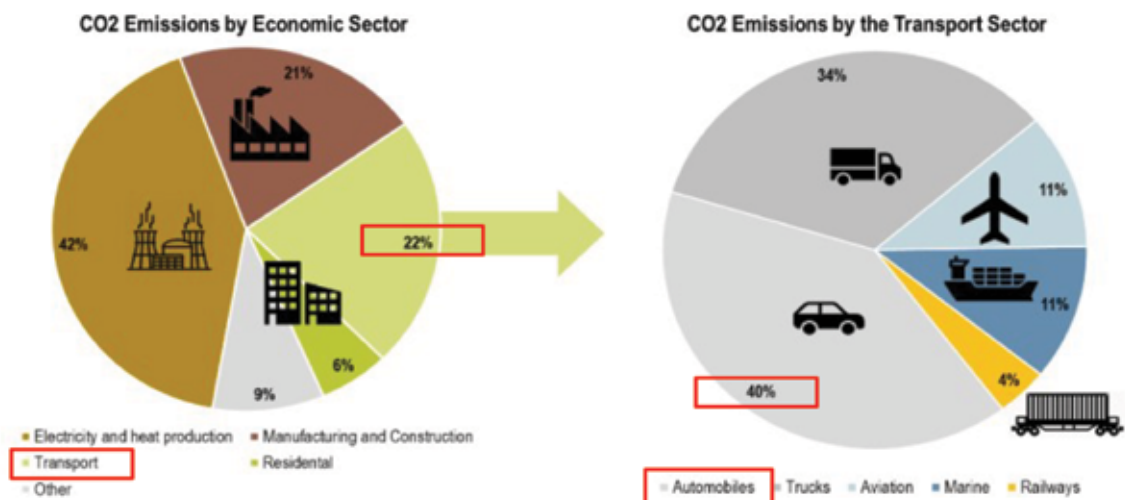
(Figure) Changes of modal-share in the Jakarta Metropolitan Area



7

Transport sector and CO2 emissions

- The **transportation sector accounts for 22%** of CO2 emissions of whole economic sector.
- **40% of the CO2 emissions out of the sector are from automobiles.**

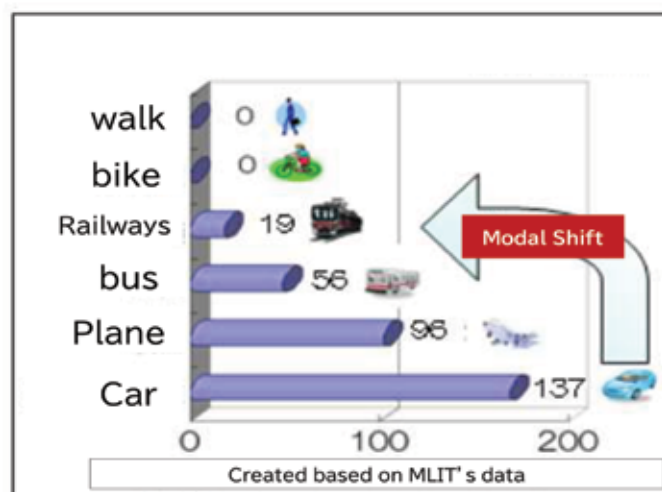


Source: International Energy Association. IEA and IPCC (2014) Summary for Policymakers.

8

What can be done in the transportation sector?

Amount of CO2 emitted to carry one person for one kilometer (2017)



(Source) <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/vehicle/management/tokyo/transportation.html>

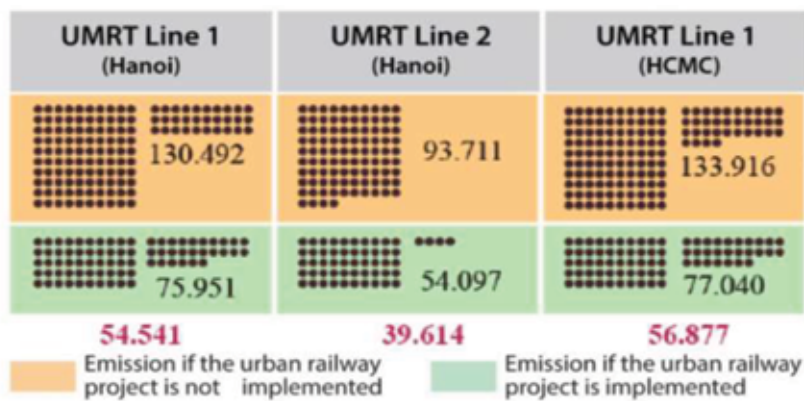
→ In order to restrain the use of automobiles, to develop reliable, safe and environmentally friendly public transportation and to promote modal shift are essential approach.

9

Public Transportation as a measure against climate change

- In addition to fuel conversion and energy efficiency improvement, **modal shift is one of the effective means for climate change countermeasures** in the field of transportation.
- In particular, **urban railway construction is extremely effective** in combating climate change.

Expected CO₂ reduction effect by construction of Hanoi Line 1, Hanoi Line 2 and Ho Chi Minh Line 1 (tons CO₂ / year)



(Source) Data collection survey on development of measurement, report and verification (MRV) system in urban railway sector in Vietnam 10







2. JICA's roles and goals

Public Transport for JICA's cooperation policy


Approach on Transportation Sector is one of JICA's Primal Issue="Global Agenda"
 By realizing smooth and safe mobility of people and goods, to promote economic and social development, then to lead to improve people's living standards

"Improve connectivity" **"Modal shift to public transport"**

Smooth and safe mobility of people and goods helps economic growth in developing countries. Reducing emissions from automobiles, which account for 40% of the sources, is inevitable for effective action for climate change

Issue	Block the economic growth due to lack of infrastructure	Increase in the number of traffic accidents and casualties	Increase CO ₂ emissions from transport sector	
SDGs	 9.1 Infrastructure	 11.2 Accessibility	 3.6 Traffic safety	 13 Climate Change

12



3. JICA's support in Sarajevo

13

JICA's assistance schemes

Technical Cooperation



Human Resource Development in Philippines
 Training is provided to the staff of DOTR Philippines at Tokyo Metro General Training and Training Center.

Official Development Assistance Loans



Urban railway construction project in India
 Provided ODA loan for urban railway construction projects in Delhi and Chennai.

Official Development Assistance Grants



Providing Operating Control Center for Myanmar Railways
 At Yangon Central Station, the system and device for train and track monitoring etc. are installed.

Public-Private Partnerships



Study for Improvement of bus operation in Vietnam
 Japanese bus operator conducts survey to the business including improvement current bus operation in Hanoi.

14

JICA's support in the transportation sector

1. For Planning

(Ex) Formulate Policy, Strategy, Master Plan

2. For Construction

(Ex) ODA Loan



3. For Establishment of Organization

(Ex) Support for making rules, regulations of the organization

4. For Operation & Maintenance

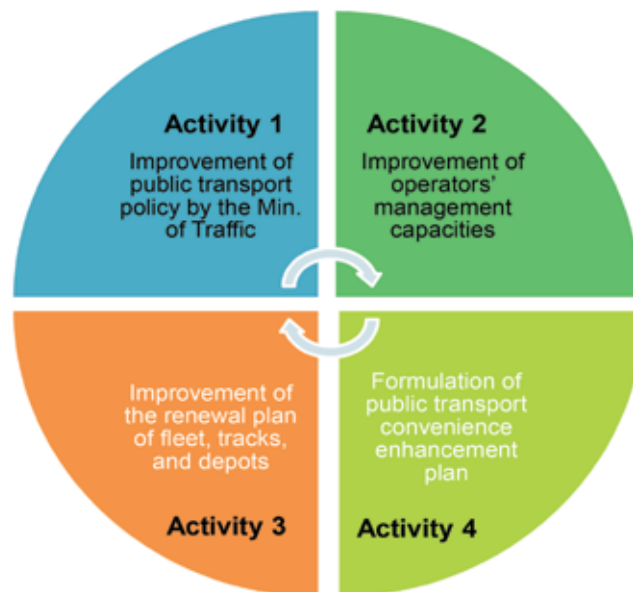
(Ex) Training support for drivers and maintenance staff

JICA's strength is to support a series of processes from planning to operation & maintenance.

15

JICA's support in Sarajevo

JICA launched the "Project for Formulation of Sarajevo Public Transport Management and Operation Capacity Development Plan" in October 2021.



16

JICA's support in Sarajevo

JICA launched the "Project for Formulation of Sarajevo Public Transport Management and Operation Capacity Development Plan" From October 2020 – October 2023.



Seminar on the Current Transportation Condition and Future Opportunities in November 2021



Study trip to Graz, Austria in October 2021

17

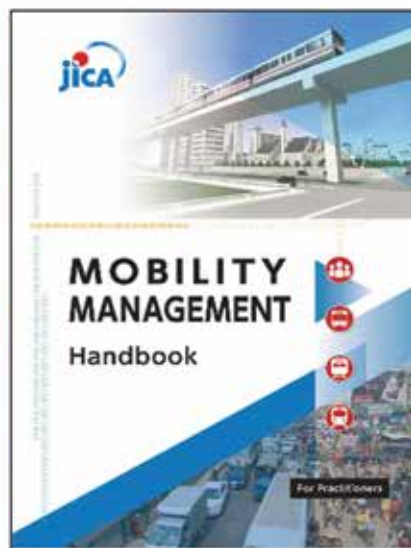
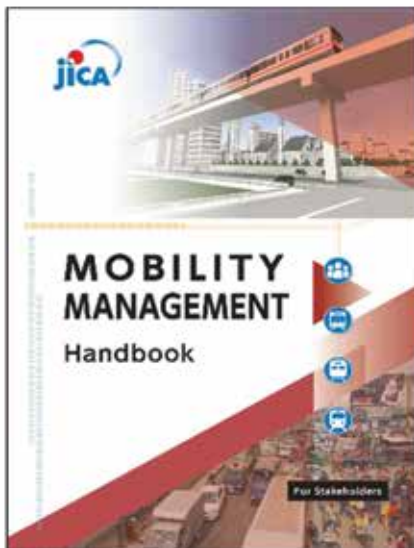
Mobility Management

Mobility Management Handbook(For Participants)

(ENG) <https://libopac.jica.go.jp/images/report/12356861.pdf>

Mobility Management Handbook(For Stakeholders)

(ENG) <https://libopac.jica.go.jp/images/report/P1000044077.html>



18



Thank you very much for your kind cooperation !



Marko Marić, Nastavni zavod za javno zdravstvo "Dr Andrija Štampar", Zagreb, Hrvatska

Ivana Hrga, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Adela Krivohlavek, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Mirela Jukić, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Matijana Jergović, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Gordana Bach, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Josipa Roginić, Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr Andrija Štampar“, Zagreb, Hrvatska

Web GIS aplikacija „Ekološka karta Grada Zagreba“ - operativni alat grada

Web GIS application „Ecological map of the City of Zagreb“ - city operational tool

SAŽETAK / ABSTRACT

Učinak čimbenika okoliša na zdravlje ovisan je o prostoru i vremenu njihova djelovanja, intenzitetu izloženosti, međusobnim interakcijama kao i o ciljanoj populaciji na koju djeluje. Web GIS aplikacija „Ekološka karta Grada Zagreba“ (<https://ekokartazagreb.stampar.hr>) operativni je alat s inovativnim pristupom kojim nadležni gradski uredi mogu funkcionalno upravljati zemljištem, prostorom, zaštitom životnog i radnog okoliša te voditi još kvalitetniju brigu o zdravlju građana. Web GIS aplikacija „Ekološka karta“ objedinjuje i na jednostavan, lako razumljiv način prikazuje rezultate monitoringa okolišnih čimbenika. Građanima je dostupna informacija o stanju okoliša kroz slojeve zrak, voda, pelud, meteo i tlo. Za praćenje kvalitete zraka postavljeno je ukupno 14 senzorskih mjernih stanica („low cost“ senzora) na različite lokacije u gradu. Cilj ovakvog praćenja kvalitete zraka je dobiti bolji uvid u kvalitetu zraka na područjima na kojima nije moguće postaviti referentne automatske postaje za trajno praćenje kvalitete zraka. Senzorske mjerne stanice redovito se validiraju uspoređujući njihove podatke mjerenja s podacima koji se dobivaju praćenjem kvalitete zraka referentnim metodama na automatskoj mjernoj postaji za trajno praćenje kvalitete zraka Mirogojska cesta. Za svaki od 14 automatiziranih mjernih stanica/senzora, na Eko karti, dostupni su podaci o šest onečišćujućih tvari u zraku: dušikov dioksid (NO₂), sumporov dioksid (SO₂), prizemni ozon (O₃), ugljikov monoksid (CO), lebdeće čestice (PM₁₀ i PM_{2,5}) koji se ažuriraju svakih sat vremena. Eko karta koristi europski indeks kvalitete zraka za prikaz trenutnog stanja kvalitete zraka koji omogućava bolje razumijevanje trenutnog stanja kvalitete zraka u Gradu Zagrebu. Indeks kvalitete zraka ažurira se svakih sat vremena i ovisno o njegovoj razini na svakoj od stanica/postaja prikazuju se zdravstvene poruke koje pružaju preporuke za opću populaciju i za osjetljive skupine građana.

Ključne riječi: eko karta, kvaliteta zraka, senzorske mjerne stanice, okoliš, web GIS aplikacija

The effect of environmental factors on health depends on the space and time of their action, the intensity of exposure, mutual interactions as well as the target population on which it affects. The web GIS application “Ecological Map of the City of Zagreb” (<https://ekokartazagreb.stampar.hr>) is an operational tool with which the relevant city offices can functionally manage land, space, protection of living and working environment and take even better care of the health of citizens. The web GIS application “Ecological Map” integrates and displays the results of monitoring environmental factors in a simple, easy-to-understand way. Citizens have access to information on the state of the environment through layers of air, water, pollen, weather and soil. For air quality monitoring, a total of 14 low cost sensors stations have been set up at various locations in the city. The aim of such air quality monitoring is to gain better insight into the air quality in areas where it is not possible to set up reference automated stations for continuous air quality monitoring. Sensor measuring stations are regularly validated by comparing their measurement data with the data obtained by reference methods at the Mirogojska cesta automatic measuring station for continuous monitoring of air quality. For each of the 14 automated measuring stations/sensors, data for six air pollutants are available on the Eco map: nitrogen dioxide (NO₂), sulphur dioxide (SO₂), ground-level ozone (O₃), carbon monoxide (CO), suspended particles (PM₁₀ and PM_{2,5}) and are updated every hour. The Eco map uses the European air quality index to show the current state of air quality, which enables a better understanding of the current state of air quality in the City of Zagreb. The air quality index is updated hourly and, depending on its level, health messages are displayed at each station, providing recommendations for the general population and for vulnerable groups of citizens.

Key words: Eco map, air quality, low cost sensors, sensor validation

Web GIS aplikacija „EKOLOŠKA KARTA GRADA ZAGREBA” - OPERATIVNI ALAT GRADA

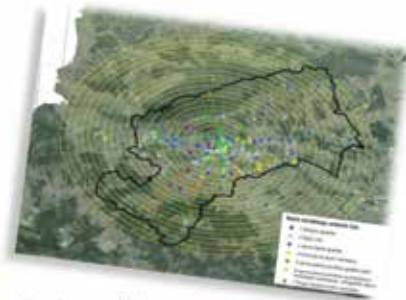
Marko Marić, Ivana Hrga, Adela Krivohlavek, Mirela Jukić, Matijana Jergović, Gordana Bach, Josipa Roginić



Cilj programa



- „Ekološki“ način razmišljanja.
- Dugogodišnja ideja izrade Eko karte.
- Objedinjavanje podataka okolišnog monitoringa.
- Procjena utjecaja na zdravlje ljudi te stanja okoliša.
- Umrežavanje Gradskih ureda i nadležnih institucija.
- Funkcionalni alat u procesu planiranja, izgradnje i korištenja zemljišta.
- Pregledna, jasna informacija o stanju okoliša.



Štovanje zdravlja budućnost

Dionici

GRAD ZAGREB

Nositej: Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr. Andrija Štampar“

- Gradski ured za zdravstvo
- Gradski ured za gospodarstvo, energetiku i zaštitu okoliša
- Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo
- Ured za upravljanje u hitnim situacijama
- Stručna služba gradonačelnika

- Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
 - DHMZ
- Agronomski fakultet
 - Fornax
 - IGEA
- Microsoft tehnologija



Štovanje zdravlja budućnost

Ideja

<https://ekokartazagreb.stampar.hr/>

Inovativan pristup

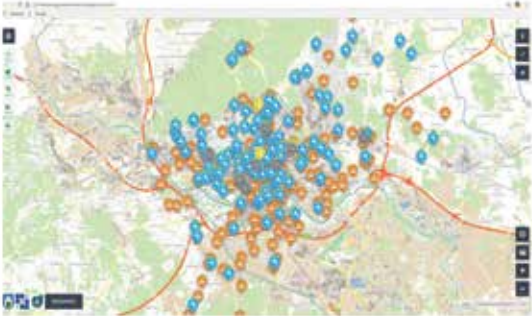
Funkcionalna i dinamična karta

Podaci u stvarnom vremenu

Dostupnost građanima

Pozitivne reakcije građana

Eko karta Zagreba



NACIONALNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVLJE
DR. ANDRIJA ŠTAMPA
Sveprilno zdravlje budućnost

Urbana tla

Tla Gradskih vrtova
Tla urbanih površina Grada Zagreba

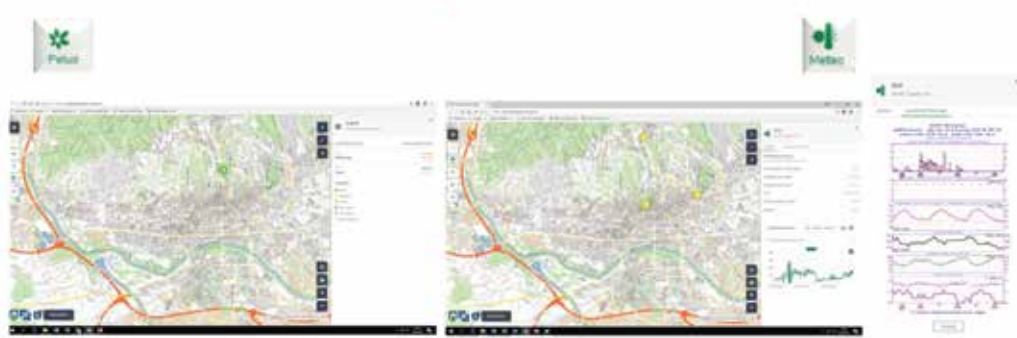
Tla



NACIONALNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVLJE
DR. ANDRIJA ŠTAMPA
Sveprilno zdravlje budućnost



Pelud i meteorološki podaci

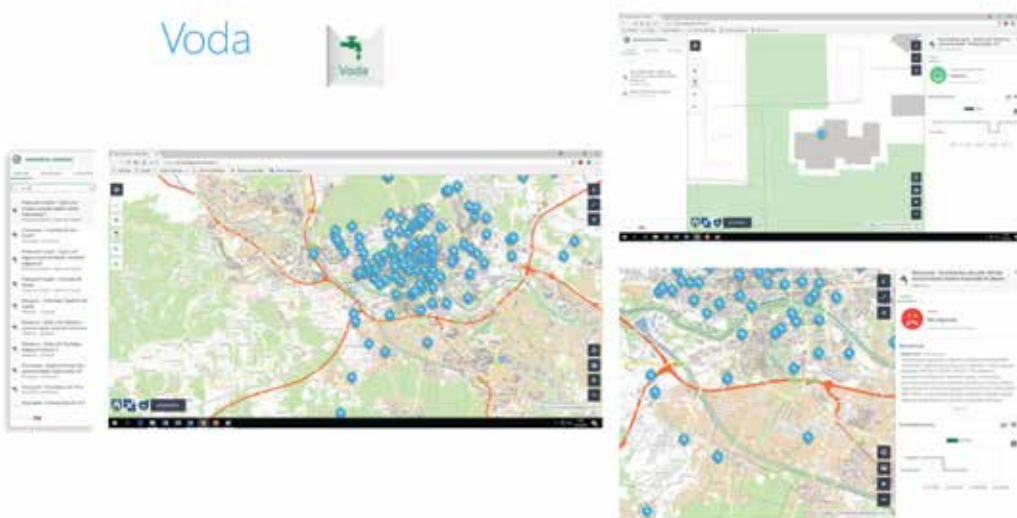


Logo: Pelud

Logo: Metro

Logo: NASTAVNI ŽIGOV ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMINE
Stvaramo zdraviju budućnost

Voda



Logo: Voda

Logo: NASTAVNI ŽIGOV ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMINE
Stvaramo zdraviju budućnost

Upravljačka aplikacija



RAZINE PRISTUPA INFORMACIJAMA

Podrška za automatizirane senzore

Prilagođen pregled podataka

Administrativna razina - dostupne sve
razine podataka i elemenata sučelja
(Gradski uredi)

Vidljivost podataka i elemenata sučelja



NACIONALNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMBE
Sveprato zdravlje budućnost

Dobrobit

- Za građane
 - poboljšanje kvalitete života
 - povećanje povjerenja u racionalno raspolaganje sredstvima
 - povećanje razine znanja
- Za donositelje odluka i struku
 - „nulto stanje“ okoliša
 - kritične točke
 - praćenje prostorno-vremenskog trenda kretanja štetnih čimbenika
 - brz dohvat podataka

NACIONALNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMBE
Sveprato zdravlje budućnost



NACIONALNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMBE
Sveprato zdravlje budućnost



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

- Za praćenje kvalitete zraka trenutno je postavljeno ukupno 14 low - cost senzora na različite lokacije u gradu
- Na ekološkoj karti također se prikazuju i rezultati mjerenja sa sedam već postojećih postaja za praćenje kvalitete zraka koje prate kvalitetu zraka referentnim metodama propisanim Pravilnikom o praćenju kvalitete zraka (NN 72/20)
- Stanje kvalitete zraka se trenutno, na ekološkoj karti, prikazuje se za 21 lokaciju u gradu
- Kategorizacija kvalitete zraka (ocjena sukladnosti) daje se na temelju rezultata mjerenja postaja za praćenje kvalitete zraka dok su podaci s low - cost senzora informativnog karaktera (uglavnom za prikaz indeksa kvalitete zraka za građane)
- Kako bi građani mogli razlikovati podatke dobivene s low - cost senzora od podataka dobivenih s postaja za praćenje kvalitete zraka postaje su na ekološkoj karti dobile oznaku HQ – high quality



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

Prednosti low - cost senzora:

- ✓ mala cijena
- ✓ male dimenzije
- ✓ mogućnost postavljanja na bilo koju lokaciju
- ✓ kratko vrijeme odziva

Nedostaci low - cost senzora:

- x izrazita osjetljivost na promjenu temperature i vlažnosti zraka
- x selektivnost



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak



- Elektrokemijski senzori: za mjerenje NO₂, SO₂, O₃, NO, CO
- Optički brojač čestica: za mjerenje PM



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak



NASTAVNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMPAK

Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

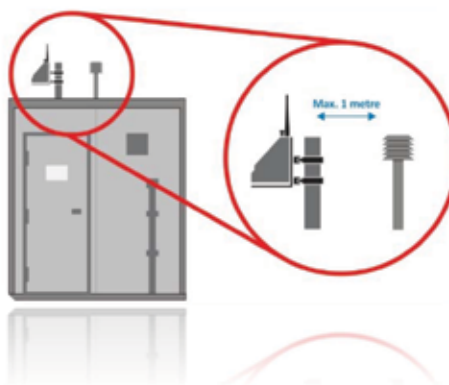
- U trenutnom stupnju razvoja senzori ne mogu zamijeniti postaje koje prate kvalitetu zraka referentnim metodama, ali zato mogu biti dobri indikatori o stanju kvalitete zraka na nekom području
- U određenim dobro definiranim uvjetima, mjerna nesigurnost ovih uređaja može se približiti mjernoj nesigurnosti kod referentnih metoda mjerenja (Gerboles, M., Spinelle, L. and Borowiak, A., Measuring air pollution with low-cost sensors, European Commission, 2017, JRC107461)

NASTAVNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠTAMPAK

Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

Osiguranje kvalitete podataka low – cost senzora

- Senzor se postavlja na održavanu postaju s referentnim metodama mjerenja
- Dobivaju se informacije potrebne za izračunavanje varijabli skaliranja, nagiba i pomaka
- Povećana razina točnosti na temelju lokalnih okolišnih uvjeta
- Nakon velike promjene u vremenskim uvjetima (npr. promjena prosječne temperature za 10°C ili više) potrebno je ponovno izračunati varijable skaliranja, nagib i pomak
- Na taj način dobivaju se najbolji mogući rezultati tijekom istog perioda



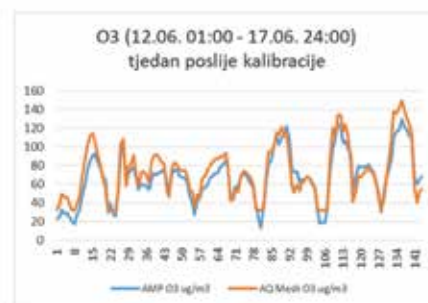
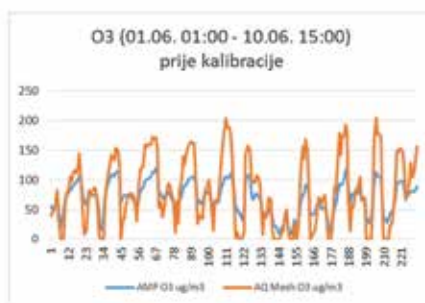
Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak





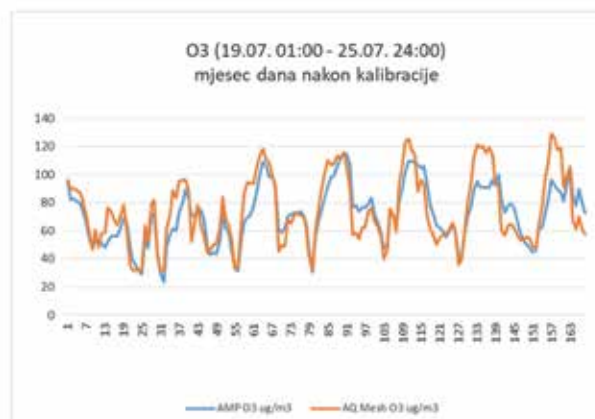
Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

- Primjer osiguranja kvalitete podatka kod praćenja koncentracija prizemnog ozona (O_3) u zraku
- Usporedba podataka mjerenja dobivenih senzorskim mjernim stanicama s podacima dobivenim referentnim metodama na automatskoj mornoj postaji za trajno praćenje kvalitete zraka Mirogojska cesta



NAŠTAVNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠAMPAR

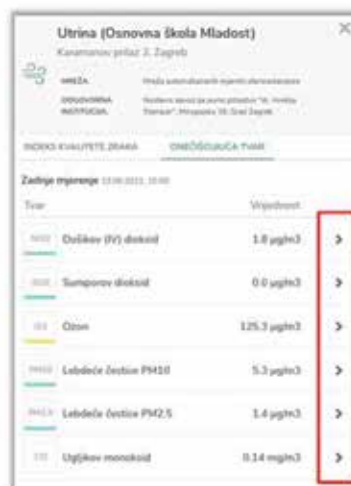
Osiguranje kvalitete podataka senzorskih mjernih stanica



NAŠTAVNI ZAVOD ZA
JAVNO ZDRAVSTVO
DR. ANDRIJA ŠAMPAR

Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

- Za svaki od 14 trenutno postavljenih senzorskih mjernih stanica dostupni su podaci o šest onečišćujućih tvari u zraku:
- dušikov dioksid (NO₂)
- sumporov dioksid (SO₂)
- prizemni ozon (O₃)
- ugljikov monoksid (CO)
- lebdeće čestice PM₁₀
- lebdeće čestice PM_{2,5}



Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

- Za prikaz trenutnog stanja kvalitete zraka koristi se europski indeks kvalitete zraka koji omogućava bolje razumijevanje trenutnog stanja kvalitete zraka u Gradu Zagrebu
- Indeks kvalitete zraka ažurira se svakih sat vremena i ovisno o njegovoj razini na svakoj od stanica/postaja prikazuju se zdravstvene poruke koje pružaju preporuke za opću populaciju i za osjetljive skupine građana





Ekološka karta Grada Zagreba – sloj zrak

Plan za budući razvoj i nadogradnje:

- veći broj senzorskih mjernih stanica za detaljnije praćenje kvalitete zraka u svakom dijelu grada
- razvoj mobilne aplikacije s automatskim upozorenjem korisnika u slučaju prekoračenja praga obavješćivanja i praga upozorenja na njemu najbližoj lokaciji

Link na Ekološku kartu Grada Zagreba: <https://ekokartazagreb.stampar.hr>



Zaključak

- Ekološka karta Grada Zagreba je u svijetu jedinstveni primjer objedinjenog prikaza svih sastavnica okoliša u stvarnom vremenu
- Od svojeg predstavljanja 2018. godine, Ekološka karta Grada Zagreba izaziva veliki interes javnosti, što pokazuje da je jedan ovakav alat bio potreban građanima kako bi pravovremeno i sa što većom točnošću bili informirani o trenutnom stanju okoliša u svojem gradu



HVALA NA PAŽNJI!

10.

Mirza Hujčić, Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

≈ **Tranzicija ka niskim emisijama i ekonomiji otpornoj na klimu na Zapadnom Balkanu i Turskoj TRATOLOW projekat**

≈ **Transition towards low emissions and climate-resilient economy in the Western Balkans and Turkey (TRATOLOW project)**

TRATOLOW
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Prijelaz prema ekonomiji s niskim emisijama i klimatskom otpornošću na zapadnom Balkanu i Turskoj

REFERENCE: EUROPEAID/140519/DH/SER/MULTI

This project is funded by the European Union

Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

The project is implemented by the Commission of Environmental Protection (CEP) and MIB BiH

TRATOLOW
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

“Ljudi su u središtu Europeškog zelenog dogovora, naša vizija je da Europu učinimo klimatski neutralnom do 2050. Transformacija koja je pred nama je bez presedana. I funkcionirat će samo ako je pravedna – i ako djeluje za sve. Podržat ćemo naše ljude i naše regije u tome, treba uložiti veće napore za ovu transformaciju, pobrinuti se da nikoga ne ostavimo iza sebe.”

Ursula von der Leyen,
President of the European Commission

This project is funded by the European Union

Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

The project is implemented by the Commission of Environmental Protection (CEP) and MIB BiH



TRATOLOW
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Dijalog EU – Zapadni Balkan o Zelenoj agendi

- Akcioni plan za implementaciju Zelene agende za zapadni Balkan
- Deklaracija lidera zapadnog Balkana o Zelenoj agendi - 10. novembar 2020. na samitu u Sofiji u okviru Berlinskog procesa
- Ekonomski i investicioni plan – 6. oktobar 2020.
- Izjava o čistoj energiji za zapadni Balkan – 21. februar 2019.

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (lead) and NIRAS



TRATOLOW
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Cilj i svrha

Opći cilj projekta je doprinijeti ublažavanju klimatskih promjena i prilagođavanju te razvoju resursno učinkovite ekonomije s niskim emisijama i klimatski otporne ekonomije.

Svrha projekta je:

- Podržati korisnike da izgrade svoje kapacitete za provedbu Pariškog sporazuma iz 2015. i za razvoj klimatski otporne ekonomije s niskim emisijama i
- Poboljšati regionalnu razmjenu informacija, najbolje prakse, peer-to-peer recenzije, iskustva i podizanja svijesti između korisnika IPA II i država članica u pogledu provedbe obveza korisnika prema Pariškom sporazumu

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (lead) and NIRAS



 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Projektni tim

- Evropska komisija – DG CLIMA
- Vođa tima, ključni eksperti, NKEs u Umweltbundesamt/Environment Agency Austria and NIRAS
- Nacionalni focal pointi, nacionalni koordinatori i nacionalni eksperti iz zapadnog Balkana i Turske

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt** **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (Austria) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Upravljanje projektom i radne grupe

- Aktivnosti će se uglavnom provoditi kroz radne grupe
 - Radna grupa za horizontalnu klimatsku politiku WG
 - GHG WG
 - EU ETS WG
 - Radna grupa za prilagodbu
- Cjelokupnu provedbu projekta vodit će i nadzirati Upravni odbor projekta (PSC)

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt** **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (Austria) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Tim iz B&H

- 1) Visoki nivo fokal tačke za TRATOLOW projekt:
Mirza Hujić, pomoćnik ministra, MVTEO BiH
- 2) Radna grupa za horizontalne klimatske politike:
 - Senad Oprašić, šef Odsjeka, MVTEO BiH;
 - Svjetlana Radusin, pomoćnik ministra, MPUGRS
 - Mehmed Cero, pomoćnik ministra, FMOiT

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt**  **NINA**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (Germany) and NINA

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

3) Radne grupa za stakleničke plinove (GHG):

- Azra Rogovic-Grubić, MVTEO BiH;
- Enis Krećinić, Federalni hidrometeorološki zavod;
- Ranka Radić, Hidrometeorološki zavod RS.

4) EU Ets radna grupa:

- Igor Jevtić, MVTEO BiH;
- Ozren Laganin, MPUIGRS
- Almira Kapetanović, FMERI.

5) Radna grupa za prilagodbu:

- Vanda Medić, MVTEO BiH
- Zineta Mujaković, FMERI;
- Goran Trbić, Prirodno-matematički fakultet Banja Luka

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt**  **NINA**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (Germany) and NINA



 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Komponenta 1

Podrška implementaciji obaveza iz Pariškog sporazuma i dugoročne strategije EU za klimu i energiju 2030. i 2050.

- A.1.1 Podrška klimatskom i energetsom paketu EU 2030 i implementaciji Uredbe o upravljanju, uglavnom priprema nacionalnih klimatskih i energetskih planova (NECP)
- A.1.2 Podrška ažuriranju NDC-a i implementaciji dugoročne strategije EU 2050, uključujući Evropski zeleni dogovor i evropski Zakon o klimi i Evropski klimatski pakt
- A.1.3 Regionalna izgradnja kapaciteta: modeliranje, scenariji i alati za pripremu niskih emisija ili klimatski neutralnih strategija

 This project is funded by the European Union

 **Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine**

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (UaB) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Komponenta 2

Jačanje izgradnje domaćih kapaciteta u smanjenju GHG, uključujući zakonodavni okvir

- A.2.1 Analiza pravnih i institucionalnih nedostataka za domaće sisteme koji mogu implementirati MMR zahtjeve/Uredbu o upravljanju Energetskom unijom i klimatskim mjerama
- A.2.2 Izrada planova implementacije za implementaciju domaćih sistema uključujući zadatke za "jedinствене nacionalne entitete", sektorski rad na inventaru GHG koristeći softverske alate Common Reporting Format (CRF), QA/QC planove
- A.2.3 Sektorska obuka o popunjavanju CRF-a za sektore energetika, industrija, poljoprivreda, korištenje zemljišta, promjena korištenja zemljišta i šumarstvo (LULUCF) šumarstvo i otpad
- A.2.4 Ciljana pomoć korisnicima o odabranim prioritetnim temama za domaće sisteme – ovdje su nove ideje i prijedlozi dobrodošli

 This project is funded by the European Union

 **Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine**

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (UaB) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Komponenta 3

Jačanje monitoringa (praćenja), izvještavanja, akreditacije i verifikacije usmjerenih na operatere, vlasti, verifikatore i sl. u okviru EU ETS

- A.3.1 Podrška daljem razvoju i implementaciji mapa puta EU ETS
- A.3.2 Izgradnja kapaciteta za implementaciju ETS-a

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (lead) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Komponenta 4

Podrška nacionalnom i regionalnom planiranju i akcijama prilagođavanja

- A.4.1 Podrška razvoju i implementaciji politika, zakona i strategija prilagođavanja na klimatske promjene
- A.4.2 Podrška sinergiji između prilagođavanja klimatskim promjenama i smanjenja rizika od katastrofa
- A.4.3 Podrška urbanoj adaptaciji i njegovanje saradnje sa inicijativama kao što je Sporazum gradonačelnika

 This project is funded by the European Union

 Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (lead) and NIRAS



 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Komponenta 5

Provjera usklađenosti zakonodavnih akata i izgradnja kapaciteta



 This project is funded by the European Union

 **Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine**

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (UaB) and NIRAS

 **TRATOLOW**
Transition towards low emissions

EU Support for Climate Action in IPA II Beneficiaries

Kontakti

Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih Odnosa Bosne i Hercegovine
Musala br. 9
71000 Sarajevo
Bosna i Hercegovina

Pomoćnik ministra
Mirza Hujčić
+387 33 408 708
mirza.hujic@mvteo.gov.ba



 This project is funded by the European Union

 **Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa Bosne i Hercegovine**

 **umweltbundesamt**  **NIRAS**
The project is implemented by the Consortium of Umweltbundesamt GmbH (UaB) and NIRAS

11.

Hamdija Mujezin, UNDP Bosnia and Herzegovina

Dženana Kadrić, UNDP Bosnia and Herzegovina

Senka M. Bećirović, UNDP Bosnia and Herzegovina

≈ Aktivnosti UNDP-a u BiH u kreiranju preduslova za uspostavu ESCO tržišta u BiH

≈ Activities of UNDP in BiH aimed at creation of preconditions for ESCO market development in BiH



The cover features the logos of the Global Environment Facility (GEF) and the United Nations Development Programme (UNDP) in the top right corner. The title is prominently displayed in the center, with the authors' names and contact information listed below it.

Aktivnosti UNDP-a u BiH u kreiranju preduslova za uspostavu ESCO tržišta u BiH

Senka M. Bećirović, Dženana Kadrić, Hamdija Mujezin
hamdija.mujezin@undp.org



The page is titled 'Sadržaj' (Table of Contents) and lists the main sections of the report. The UNDP logo is in the top right corner, and the #URBANLED logo and 'UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME' text are in the bottom right corner.

Sadržaj

- URBANLED project – info
- Koncept ESCO
- Ključne prednosti i mane nabavke ESCO usluga (kompanija i korisnik)
- ESCO tržište – svijet i EU
- ESCO GAP analiza (problematika uspostave i pokretači razvoja tržišta)
- Sistematski pristup uspostavi ESCO tržišta
- Zaključak

#URBANLED
UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Osnove informacije o Projektu



Naziv projekta: Pokretanje okolišnog finansiranja u svrhu nisko-karbonskog urbanog razvoja (URBANLED)

Partneri: Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa BiH; Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske; Federalno ministarstvo okoliša i turizma; Fond za zaštitu životne sredine i energetska efikasnost Republike Srpske; Fond za zaštitu okoliša Federacije BiH

Trajanje: 2018 – 2023

Donator: Globalni fond za okoliš (GEF)

Budžet: 2,37 mil USD

GOAL

DA OMOGUĆI INVESTICIJE ZA TRANSFORMACIJSKI POMAK PREMA NISKO-KARBONSKOM URBANOM RAZVOJU BOSNE I HERCEGOVINE, PROMOVIRAJUĆI TAKO SIGURNIJE, ČISTIJE I ZDRAVIJE GRADOVE I REDUCIRAJUĆI EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA (GHG).



UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Komponente URBANLED projekta



NISKO-KARBONSKE JAVNE ZGRADE I KOMUNALNA PREDUZEĆA

INOVATIVNI MEHANIZAM
FINANSIRANJA ZA
IMPLEMENTACIJU NISKO-
KARBONSKIH KONCEPATA
URBANOG RAZVOJA (LCUD)



NACIONALNA I SEKTORSKE
POLITIKE, INSTITUCIONALNA
KOORDINACIJA I PODIZANJE
NIVOA SVIJEŠTI O LCUD-U

NISKO-KARBONSKO UPRAVLJANJE OTPADOM I LOGISTIKA (TRANSPORT)

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME



Pokretanje privatnog kapitala



- Energy Service Companies (ESCO) – provode projekte energetske efikasnosti koji se **finansiraju kroz i fokusirani su na ostvarenje uštede**



Izvor: EIB i EC

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Ključne prednosti i mane ESCO



Korisnik (javni partner)

- Plaćanje investicije kroz tekuće troškove
- Jedan partner za sve
- Bira se i kvalitetan i povoljan ponuđač!
- Ako nema uštede, nema ni plaćanja!
- Obaveza upravljanja i održavanja je na kompaniji!
- **Novo za korisnike, nedostaju kapaciteti za provedbu**



Kompanija (ESCO)

- ESCO može biti bilo koja kompanija
- ESCO sam definiše tehnologiju, mjere i načine kojima će ostvariti uštede
- ESCO projekte dobija najkvalitetniji, a ne najjeftiniji ponuđač
- Stvara prilike za dugoročna i uspješna poslovna partnerstva
- Veća profitna marža
- **Podnosi tehnološki i investicioni rizik**

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME



Očekivan godišnji rast tržišta od **4,5%** u periodu 2020-2029







U Hrvatskoj realizovano preko 70 ESCO projekata, uštede preko 50%!

ESCO tržište




Država	Prvi ESCO	Broj ESCO kompanija 2018	Vrijednost ESCO tržišta, milioni EUR-a/god 2018
Austrija	1995	36	30 do 40 (samo javni sektor)
Bugarska	1995	12	10
Češka Republika	1993	15	9 do 15
Hrvatska	2003	8 do 15	14
Italija	rane 1980te	340	2 milijarde
Njemačka	1900-1995	138	7.7 milijardi
Rumunija	1996	7 do 13	47
Slovenija	2001	10	25 (samo javni sektor)
Španija	n/a	70	1 do 1.5 milijardi
Velika Britanija	1966	62	108.3

Izvor: EIB i EC UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

ESCO GAP analiza – ključne barijere



Nedostatak povjerenja u ESCO model

Kompleksnost modela / Nedostatak informisanosti

Računovodstvo i knjigovodstvo

Javne nabavke

Zahtjevi klijenta

Niske cijene energije

Nedostaci u zakonskom okviru

Nedostatak procedura za mjerenje i verifikaciju

Nedostatak znanja i iskustva privatnog sektora

Nedostatak institucionalne podrške

Prikupljanje finansijskih sredstava



UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

ESCO GAP analiza – ključni pokretači



ESCO tržište se razvija na tri načina:

- Potražnjom krajnjih korisnika
- Ponudom privatnog sektora
- Strateškim usmjerenjem institucija

#URBANLED

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Potražnja krajnjih korisnika – pokretači:



Dijeljenje iskustva

Javni ili Super ESCO

Posrednici i predstavnici (ESCO asocijacije)

MRV procedure

Visoko kvalitetni finansijski proizvodi

Nedostatak know-how u javnom sektoru

Rast cijena energije

Pritisak da se smanje troškovi

Limitirana sredstva u javnom sektoru

Prisustvo uputa za provedbu ESCO

#URBANLED

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME





NIF – Nacionalni investicioni okvir

Simple payback period (years)	Own financing of end users of public buildings		Financing through entity funds, ministries and development banks with debt/credit		Funding through entity funds, ministries and other institutions with a grant		International Financial Institutions (IFIs) Debt/Credit Financing		Financing through international development agencies (UNDP, SIDA, KfW, etc.) with a grant		Specific forms of financing: ESCOs, public-private partnerships, etc.	
	Project preparation	Investment	Project preparation	Investment	Project preparation	Investment	Project preparation	Investment	Project preparation	Investment	Project preparation	Investment
< 6	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X
6 < X < 10	X	X	X	X	X	up to 20%	X	X	X	X	X	X
10 < X < 15	X	X	X	X (up to 12 years)	X	up to 50%	X	X	X	X	X	X
> 15	X	X	X		X	more than 50%, but up to 80%	X	X	X	X	X	X

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME



Jačanje kapaciteta i informisanje JLS

gef
GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
UNDP

Održana 2 treninga za preko 38 JLS i 60 kompanija na tematiku ESCO mehanizma

Energy Performance Contracting in Street Lighting
Content of Training

1. EPC – Introduction of the concept
2. Phases of EPC
3. Selection of investment scenarios
4. Definition of requirements and performance indicators
5. Tender evaluation criteria

Phases of EPC project
Project development

- Economic and financial analysis
 - Calculation of investment costs for developed investment scenarios
 - Calculation of financial value of energy savings for individual investment scenarios
 - Calculation of life-cycle costs of individual investment scenarios
- Identification and analysis of financing options (own resources, subsidies, third party financing – including EPC)
- Progress of impact of the project on budget and independence of the municipality

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

ESCO pilotiranje TD i ugovora

gef
GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
UNDP

ESCO pilot projekti javni objekti u SBK

- Revizija Studije izvodljivosti
- Priprema ugovora o energijskom učinku
- Priprema kriterija za odabir, tehničke specifikacije i uvjeta za ponuđače, obrasca za ponudu i cijenu
- Izrada MRV protokola
- Objava javne nabavke
- Dorada tenderskog dokumenta

ESCO pilot projekat sistema rasvjete u Cazinu i RS

- Update/Priprema Studije izvodljivosti
- Priprema ugovora o energijskom učinku
- Priprema kriterija za odabir, tehničke specifikacije i uvjeta za ponuđače, obrasca za ponudu i cijenu
- Izrada MRV protokola
- Planirana objava javne nabavke u narednom mjesecu za Cazin

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Jačanje kapaciteta i interesa privatnog sektora




ESCO treninzi na temu ESCO mehanizma, trening obuhvata sve faze ESCO procesa i primjere realizacije u EU i zemljama Zapadnog Balkana - 6 lokacija (Vitez, Sarajevo, Mostar, Banja Luka, Bijeljina i Doboj)





Ukupno učesnika:
145

Broj žena:
45

Provedena online edukativna kampanja:
259.486 korisnika

Trenutno u toku 1vs1 sastanci sa privatnim sektorom:
održano 35 i u planu još 15 sastanaka

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME



Jačanje kapaciteta i interesa privatnog sektora




Promocija putem digitalnih medija u cilju podizanja interesa privatnog sektora za apliciranje na javne pozive u SBK, Cazin i RS – obuhvaćeno: **175.878** za SBK, Cazin i RS uskoro

primjer banera za promociju



UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Tekući i naredni koraci - ESCO




K 1. INOVATIVNI MEHANIZAM FINANSIRANJA ZA IMPLEMENTACIJU NISKO-KARBONSKIH KONCEPTA URBANOG RAZVOJA (LCUD)



K 2. NISKO-KARBONSKA JAVNE ZGRADE I KOMUNALNA PREDUZEĆA





UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

Zaključak



Postoji mnoštvo preduslova za uspostavu ESCO tržišta, te projekat u saradnji sa institucijama ulaže značajne napore da iste ispuni

Ambiciozniji ciljevi EU, te NDC-a i SECAP-a u BiH, u kombinaciji sa rastom cijena energenta i CO2 otiskom, indiciraju potrebu za novim načinima finansiranja

ESCO je dokazan model i budućnost energetske efikasnosti u Bosni i Hercegovini

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME



Hvala vam na pažnji

Osman Lindov, Fakultet za saobraćaj i komunikacije Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Adnan Omerhodžić, Fakultet za saobraćaj i komunikacije Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Hamid Mehinović, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Preporuke za niskokarbonski razvoj transporta i urbane mobilnosti

Recommendations for low carbon transport development and urban mobility

SAŽETAK

Ambiciozni cilj dekarbonizacije Europe do 2050. odražava se i na jugoistočnu Europu, uključujući i Bosnu i Hercegovinu. Kao ugovorna strana Energetske zajednice, Bosna i Hercegovina je preuzela niz obveza u energetske i klimatskom sektoru. Ipak, najveći izazov je očuvanje ugodnog životnog okruženja, što će u budućnosti podrazumijevati potrebu za nizom aktivnosti usmjerenih na implementaciju mjera energetske efikasnosti i povećanje udjela obnovljivih izvora energije, kao i dekarbonizaciju transportnog sektora. Akcioni plan održive energije i klime (SECAP) i Plan održive urbane mobilnosti (SUMP) samo su neki od instrumenata koje gradovi i općine razvijaju kako bi postigli svoje ciljeve. Održivo upravljanje mobilnošću je koncept koji se odnosi na kreiranje dugoročno održivog saobraćajnog sistema koji omogućuje visok stepen mobilnosti najvećeg mogućeg broja građana određenog područja. Koristi se u cilju rješavanja problema koje današnji saobraćajni sistemi generišu, poput gubitka vremena, ljudskih života, štetnog uticaja na okoliš, štetnog uticaja na zdravlje ljudi i velikog zauzimanja prostora. Realizacijom održive mobilnosti sa aspekta nisko karbonskog razvoja urbanih sredina doprinosi se:

- ≈ proširenju ponude opcija transporta koje svim stanovnicima i posjetiocima omogućavaju pristup ključnim destinacijama i uslugama;
- ≈ podsticanju razvoja poduzetništva i privrede;
- ≈ stimulanju čistih i održivih načina transporta, (pješačenje-hodanje, biciklizam, javni prijevoz, elektromobilnost i inovativne oblike korištenja i vlasništva vozila);
- ≈ povećanju sigurnosti i zaštite;
- ≈ smanjenju zagađenja zraka i buke, emisije stakleničkih gasova i potrošnje energije;
- ≈ poboljšanju kvaliteta života i javnog zdravlja;
- ≈ poboljšanju efikasnosti i ekonomičnost prijevoza osoba i robe;
- ≈ poboljšanju koncepta gradske logistike;
- ≈ povećanju atraktivnosti i kvaliteta urbanog okruženja i urbanističkog dizajna.

2. REGIONALNI SIMPOZIJUM

CETEOR ACE BH UKI BH

PLANIRANJE KVALITETA ZRAKA U GRADOVIMA

Prof. dr. Osman Lindić, dipl. inž. saob. i kom.
Fakultet za saobraćaj i komunikacije
Univerzitet u Sarajevu
Zrinski od Bana 8, Sarajevo
e-mail: o.lindic@unsa.ba

Dr. Adnan Omanović, dipl. inž. saob. i kom.
Fakultet za saobraćaj i komunikacije
Univerzitet u Sarajevu
Zrinski od Bana 8, Sarajevo
e-mail: adnan.omanovic@unsa.ba

CETEOR Hamid Mešković, MSc
CETEOR d.o.o. Sarajevo
Tijepi Osman Pašić, SDA, Sarajevo
e-mail: hme@ceor.ba

PREPORUKE ZA NISKOKARBONSKI RAZVOJ TRANSPORTA I URBANE MOBILNOSTI

Sarajevo, 03-04. februar 2022. godine

UVOD

Najnovije studije Evropske agencije za okoliš (EEA) potvrđuju značajan porast emisija od saobraćaja u poređenju s nivoima iz 1990. godine.

Emisije cjelokupnog saobraćajnog sektora porasle su za 28 % u razdoblju od 1990. do 2018. godine, što ukazuje na nužnost poticanja ugljiko-neutralnih saobraćajnih rješenja u urbanim sredinama.

Iako je nekoliko velikih evropskih gradskih središta usvojilo stroge mjere, udio obnovljive energije u saobraćaju ostao je na razini od 8,1 % u 2018. godini.





Klimatske promjene



Saobraćajno zagušenje u i oko urbanih središta trenutno košta oko 100 milijardi eura godišnje, ili 1 % BDP-a EU-a.

Preko 400.000 slučajeva prerane smrti izravno je povezano s onečišćenjem zraka.



2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima
2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities

Pokretanje dugoročnih mjera, poput promovisanja biciklizma i pješaćenja, kao i javnog prevoza s niskim i nultim emisijama, imat će vrlo pozitivne izravne učinke.



AMSTERDAM _ Primjer dobre prakse



AMSTERDAM _ PRIMJER DOBRE PRAKSE

Mjere:

- Historijsko središte grada pretvoreno je u pješačku zonu
- Posjetitelji i osobe koje putuju na posao preusmjereni su na parkirališta izvan središta grada
- Prevozna sredstva koja spajaju sjeverne i južne dijelove grada, do 2022. godine, će biti elektrificirana ili zamijenjena hibridnim modelima

Cilj:

- 96 % očekivanog smanjenja emisija NOx do 2030. godine
- 400 % povećanja broja stanica za punjenje električnih vozila obnovljivom energijom



BARCELONA_ PRIMJER DOBRE PRAKSE

Mjere:

- Uvode se strože zone niske emisije - u radnim danima između 7,00 i 20,00 sati zabranjuje se korištenje automobila koji su štetni za okoliš (norma Euro II ili niže)
- Staro vozilo, kojem bi inače bio zabranjen pristup zoni niske emisije, može se zamijeniti za trogodišnju kartu za javni prevoz
- Kupljena su 23 autobusa s nultim emisijama, što povećava ukupan broj vozila pogonjenih na električnu energiju, prirodni plin ili hibridni pogon na 266.

Cilj:

- Gradski prevoz Barcelone do 2030. godine želi izgraditi vozni park sastavljen isključivo od električnih, hibridnih i vozila s ukapljenim prirodnim plinom
- Besplatan javni prevoz tri godine nakon odustajanja od upotrebe automobila



KOPENHAGEN - Primjer dobre prakse





KOPENHAGEN_PRIMJER DOBRE PRAKSE

Mjere:

- vozila Grada Kopenhagena pogonjena električnom energijom, vodikom ili biogorivima
- Razgranata buduća mreža biciklističkih staza, koja čak obuhvata i „biciklističke supermagistrale
- Moguće je bicikle besplatno prevesti prigradskim vozovima

Cilj:

- Ugljiko-neutralan prevoz do 2025. godine
- Do 2025. godine ukupno 75% svih putovanja u Kopenhagenu bit će ostvareno pješice, biciklom ili javnim prevozom



MOBILNOST NULTE EMISIJE

- Pješačenje
- Biciklo, romobil, daska, rošle
- Javni masovni prijevoz nulte emisije: tramvaj_trolejbus_e Bus e-minibus
- Individualni prijevoz nulte emisije: e -vozilo, e –scuter, e- biciklo, e-romobil



Mobilnost kojim se postiže nulta emisija – Pješačenje



Mobilnost kojim se postiže nulta emisija – romobil, daska, rošle





2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima
2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities





Mobilnost kojim se postiže nulta emisija



e-vozi



Mobilnost kojim se postiže nulta emisija



e-bicycle

e-romobil



Mobilnost kojim se postiže nulta emisija – Romobil



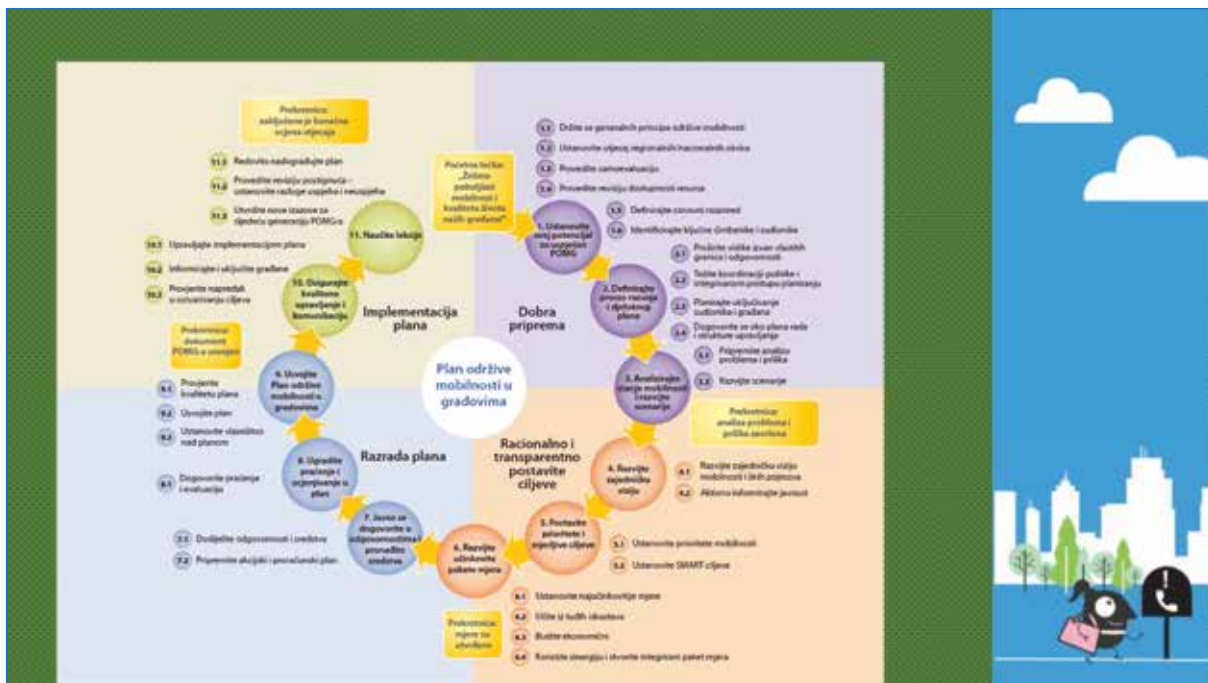
Plan održive urbane mobilnosti SUMP (engl. Sustainable Urban Mobility Plan)



Plan održive mobilnosti (engl. Sustainable Urban Mobility Plan) je strateški plan dizajniran da zadovolji potrebu za mobilnošću ljudi i biznisa u gradovima i njihovom okruženju radi boljeg kvaliteta života.

Cilj Plana održive mobilnosti u gradovima je stvaranje održivog transportnog sistema u gradovima pomoću:

- osiguravanja dostupnosti poslova i usluga svima;
- poboljšanja sigurnosti i zaštite;
- smanjenja zagađenja, emisije stakleničkih plinova i potrošnje energije;
- povećanja učinkovitosti i ekonomičnosti u transportu osoba i roba;
- povećanja atraktivnosti i kvalitete gradskog okoliša





RAZVOJ SAOBRAĆAJA NA ELEKTRIČNI POGON U KANTONU SARAJEVO





The collage includes several news snippets: 'Zbog nekoliko vatara Sarajevo paralizovano' (Sarajevo paralyzed due to several fires), 'Sarajevo najzagađeniji grad u Evropi: Od zagađenja zraka u BiH umire 223 ljudi' (Sarajevo the most polluted city in Europe: 223 people die from air pollution in BiH), 'Sarajevo je skoro bilo najzagađeniji grad u Evropi, tuđa je vrha lista' (Sarajevo was almost the most polluted city in Europe, it's on the top of the list), 'Pravim biciklistima u Sarajevu žetone bezjuškara' (I give tokens to cyclists in Sarajevo), and 'Sarajevo tehnološki modernizirano' (Sarajevo technologically modernized).



RAZVOJ SAOBRAĆAJA NA ELEKTRIČNI POGON U KANTONU SARAJEVO

U MODELU su opisani modeli elektromobilnosti, E busa, E bicikla, E taxi i model E punionica, nastali kao Modeli urađeni za potrebe Vlade KS, Ministarstva saobraćaja KS, kroz Sarajevsku razvojnu agenciju SERDA.

Pored opisa pojedinih modela dat je prikaz analize postojećeg stanja elektromobilnosti u Sarajevu i pojedinim gradovima Evrope.

U MODELU je opisan je način finansiranja i obuhvat svakog od modela elektromobilnosti sa elementima promocije i edukacije svih zainteresovanih segmenata društva.

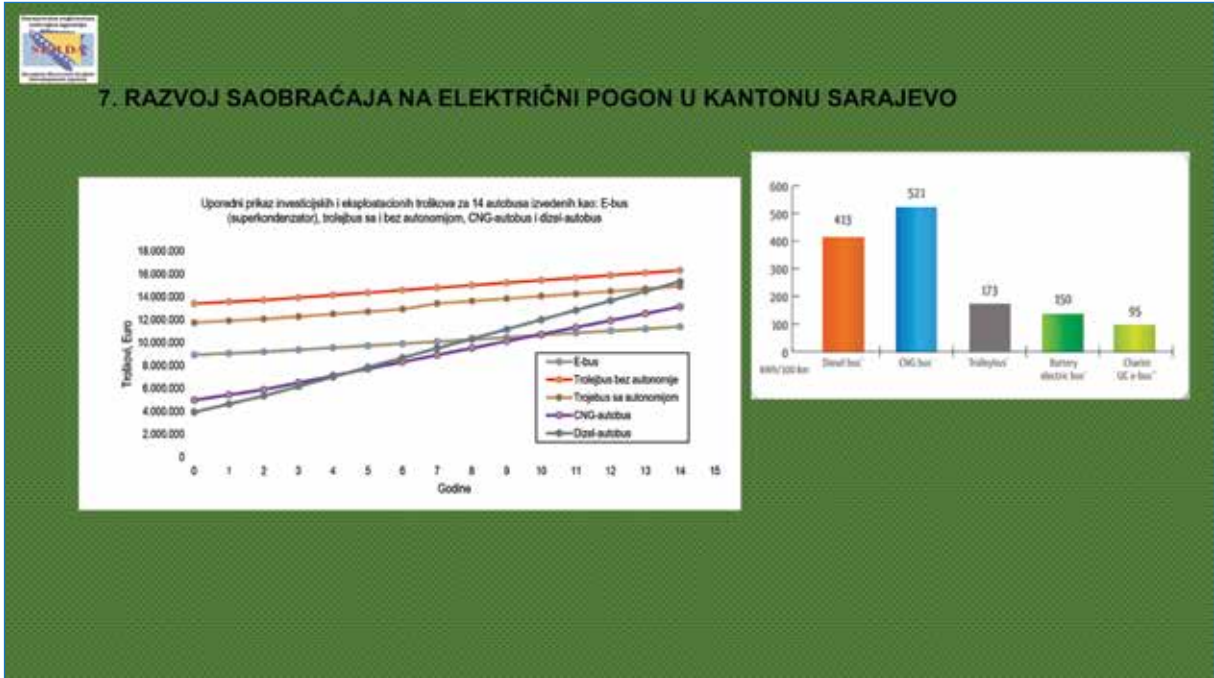
Analizirane su koristi i troškovi novih tehnologija prilikom implementacije u gradskim sredinama, posebno uzet je njihov ekološki aspekt.

Za svaki razrađeni model dati su koraci implementacije, predložene aktivnosti i koraci koje je neophodno sprovesti na određenom području da bi ove relativno nove tehnologije bile prihvaćene od šire društvene zajednice.

Cilj razvoja elektromobilnosti u gradskim sredinama je osigurati korisnicima atraktivan komforan, brz i sa aspekta cijene prihvatljiv javni prijevoz, uz što manja investiciona ulaganja i nize troškove eksploatacije, te neekodjiv i čist javni prijevoz.



The collage features images of various electric transport modes: a white car at a charging station, a red bicycle, a green and white bus, a white scooter, and a yellow taxi.



INOVATIVNA RJEŠENJA ODRŽIVOG RAZVOJA GRADSKOG PRIJEVOZA NA PODRUČJU SARAJEVA

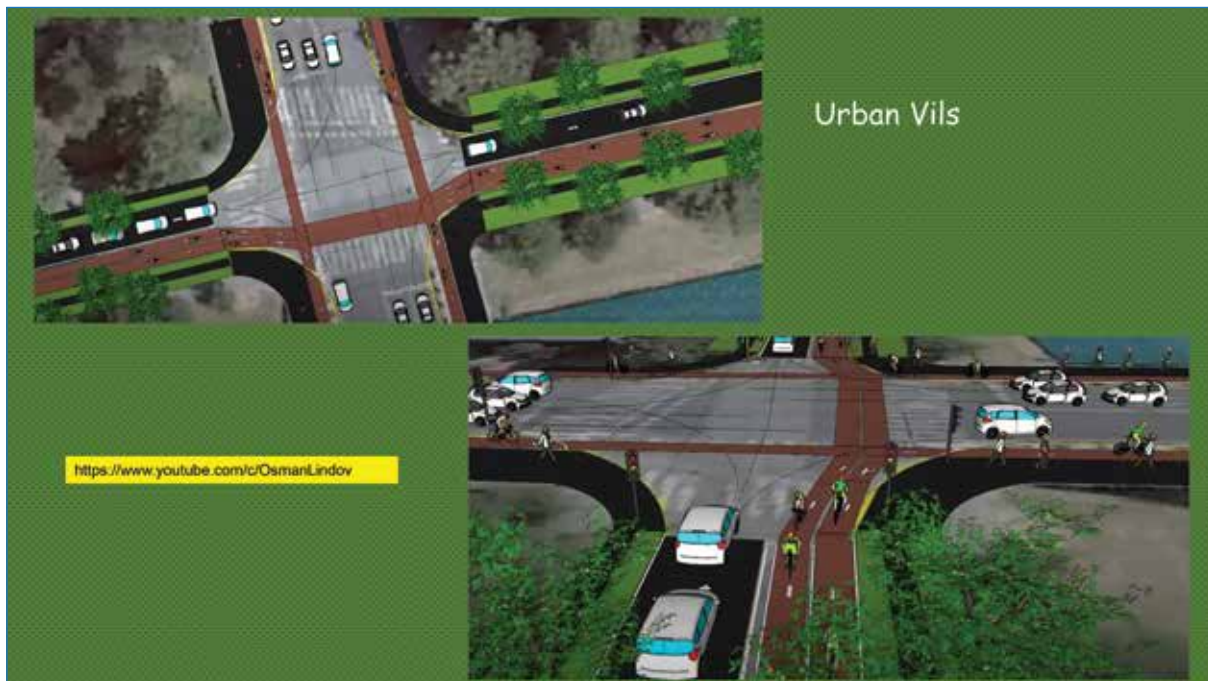
<https://www.youtube.com/c/OsmanLindov>



2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima

2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities





Saobraćajni sistem Bosne i Hercegovine mora biti energetski efikasan, odnosno projekti saobraćajne infrastrukture trebaju sadržavati sve neophodne korake u minimizaciji njihovih uticaja na okoliš.

Podržati i izraditi strategije koje podržavaju ciljevi dekarbonizacije za mobilnost u uključanim funkcionalnim urbanim područjima.

Globalno ostvarivi ciljevi i smjernice za smanjenje emisije i proizvodnje karbona iz transporta treba da se odvija kroz sljedeće:

- ✓ Povećanje broja javno dostupnih sredstava za nemotorizovano kretanje.
- ✓ Povećanje udjela niskokarbonskih vozila u javnom prijevozu.
- ✓ Osigurati dostupan i pristupačan prijevoz sa niskokarbonskom emisijom, niskom bukom i vibracijama.
- ✓ Povećanje broja punionica za električna vozila.
- ✓ Podržati tehnologije sa nultim emisijama u transportu (E vozila, E Bus, E Bike, E Scooter, E romobili sl.).
- ✓ Povećanje prostora oslobođenih od motornih kretanja.
- ✓ Povećanje stepena prihvatljivosti cijene karte javnog prijevoza.
- ✓ Smanjenje prosječne godišnje stope rasta stepena motorizacije vozila sa SUS motorima.
- ✓ Podsticati inovativna prihvatljiva rješenja u planiranju održivom razvoju i urbanoj mobilnosti sa niskom i nultom emisijom.



Pored navedenih ostvarivih osnovnih ciljeva za nisko karbonski razvoj u segmentu saobraćaja, transporta i prijevoza, neophodno je s provoditi i sljedeće aktivnosti:

- ✓ Informiranje potrošača o ekonomičnosti potrošnje goriva i emisiji CO₂ novih putničkih automobila;
- ✓ Obuka vozača motornih vozila za eko vožnju;
- ✓ Obveza korištenja biogoriva u saobraćaju;
- ✓ Posebna naknada za okoliš za vozilima na motornim pogon;
- ✓ Posebni porez na motorna vozila;
- ✓ Finansijski poticaji za kupovinu hibridnih i električnih vozila;
- ✓ Razvoj infrastrukture za alternativna goriva;
- ✓ Promocija integriranih i ITS-a i alternativnih goriva u urbanim područjima;
- ✓ Monitoring, izvještavanje i verifikacija emisija stakleničkih plinova u urbanim sredinama.



PLATFORMA ZA NISKO-KARBONSKI RAZVOJ
KANTONA SARAJEVO

Hamid Mehinović, MSc
CETEOR doo, Sarajevo


Association of Traffic and Communications Engineers of B&H
Zmaja od Bosne 10, 71 000 Sarajevo, B&H
Phone +387 (33) 565 210
Mobile + 387 (61) 161 482

Dr. Adnan Omerhodžić, dipl.inž.saobr. i kom.

HVALA VAM NA
PAŽNJI !

PhD. Osman Lindov, Full Professor-Traff. Eng.

Faculty of Traffic and Communications University of Sarajevo
Zmaja od Bosne 8, 71 000 Sarajevo, B&H
Phone: +387 (33) 565 210 / Mobile: + 387 (61) 161 482
e-mail: osman.lindov@gmail.com / osman.lindov@ftk.unsa.ba / lindov.osman@hotmail.com
web: osman.lindov.net
Skype: [osman.lindov](https://www.skype.com/en/contacts/voice/osman.lindov)
Myself on web and social networks:

Kaspar R. Dällenbach, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland

Andre Prevot, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland

Izvori i hemija štetnih komponenti kod onečišćenja zraka česticama

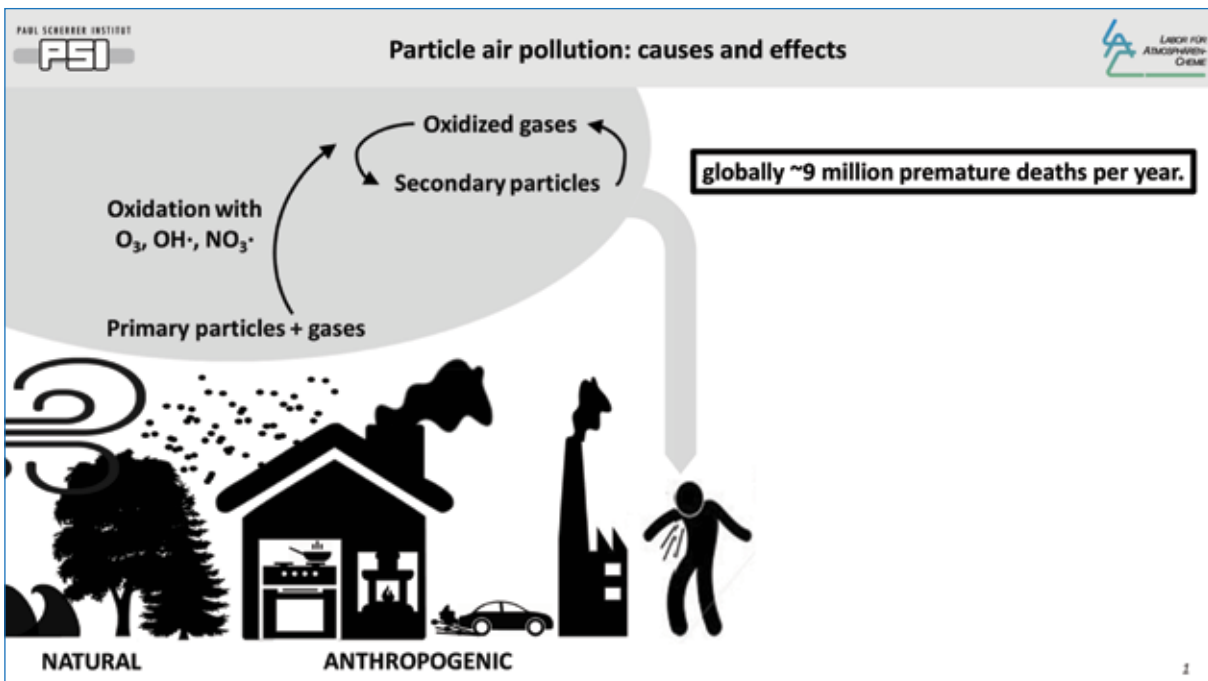
Sources and chemistry of the harmful components in particulate air pollution

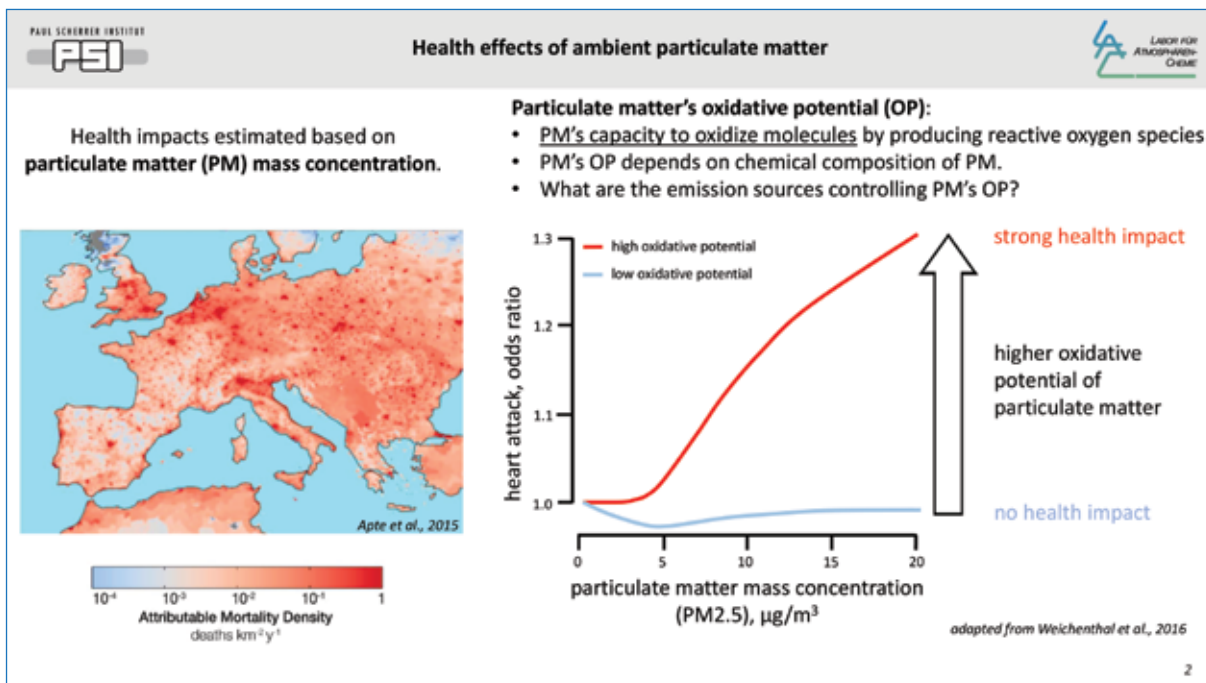
ABSTRACT

We will perform air quality modelling runs for scenarios of the future NEE emissions that will be based on literature (e.g. TNO EMISSION INVENTORIES, PERHAPS Beddows et al., 2021). However, future non-exhaust traffic PM might not only be emitted in different amounts but also have a different chemical composition than today's which might alter their health effects. Therefore, we will assess the impact of future technology on the chemical composition of NEE emissions via laboratory emission experiments. We will quantify among other the relative contribution of different trace metals that are hypothesized to be important drivers of NEE health effects (e.g. copper). This will allow better constraining the future emissions of the most health-relevant NEE constituents. To that purpose, we will perform experiments at a chassis dynamometer and collect separately filter samples of brake and tire wear emissions (size-segregated PM_{2.5} and PM₁₀). We will use this experimental data to quantify via air quality modelling the future evolution of not only total NEE PM but also chemical constituents thought to be key for NEE PM's health impacts (e.g. copper). This will provide valuable information on NEE's impact on the European air quality and health burden.

Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe

Dr. Kaspar R. Daellenbach
2nd regional symposium on planning air quality in cities
03./04.02.2022, Sarajevo, Bosna i Hercegovina





nature

Explore content ▾ Journal information ▾ Publish with us ▾

Article

Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2902-8>

Received: 30 January 2019

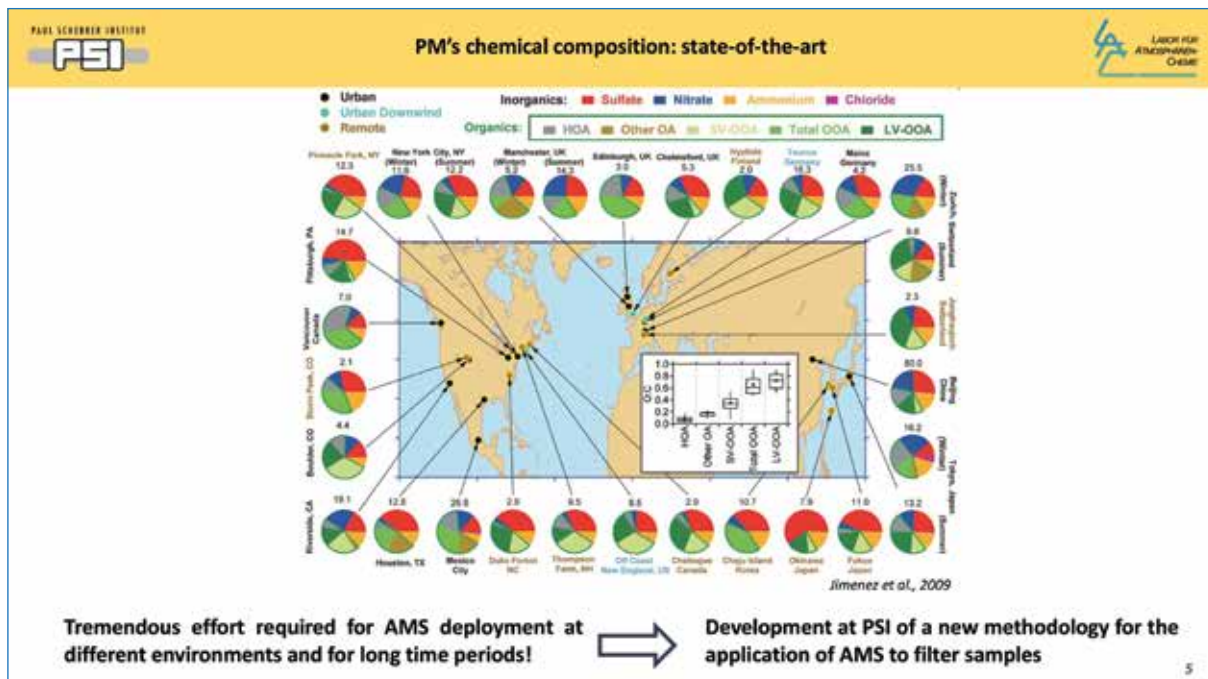
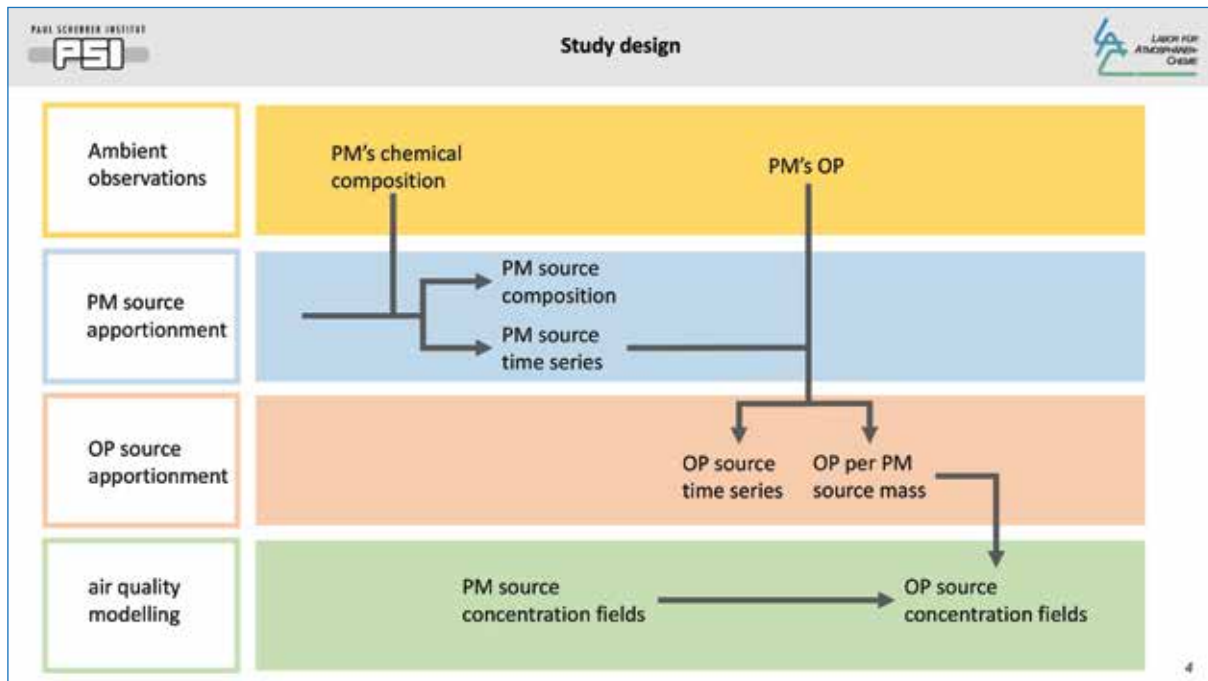
Accepted: 5 October 2020

Published online: 18 November 2020

Kaspar R. Daellenbach^{1,2,3}, Gaëlle Uzu⁴, Jianhui Jiang^{1,2,3}, Laure-Estelle Cassagnes¹, Zaira Leni⁵, Athanasia Vlachou¹, Giulia Stefanelli¹, Francesco Canonaco^{1,6}, Samuel Weber¹, Arjo Segers⁷, Jeroen J. P. Kuenen⁷, Martijn Schaap^{7,8}, Olivier Favez⁹, Alexandre Albinet⁹, Sebnem Aksoyoglu¹, Josef Dommen¹, Urs Baltensperger¹, Marianne Geiser⁵, Imad El Haddad^{1,2,3}, Jean-Luc Jaffrezo⁴ & André S. H. Prévôt^{1,2,3}

¹Laboratory of Atmospheric Chemistry, Paul Scherrer Institute, Villigen, Switzerland. ²Aix Marseille University, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Laboratoire Chimie Environnement (LCE), Marseille, France. ³Institute for Atmospheric and Earth System Research/Physics, Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki, Finland. ⁴Université Grenoble Alpes (UGA), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Institute of Engineering and Management Univ. Grenoble Alpes (Grenoble INP), Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), Grenoble, France. ⁵Institute of Anatomy, University of Bern, Bern, Switzerland. ⁶Datalystica, Villigen, Switzerland. ⁷Department of Climate, Air and Sustainability, The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Utrecht, The Netherlands. ⁸Institut für Meteorologie, Free University Berlin, Berlin, Germany. ⁹Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (Ineris), Verneuil en Halatte, France. ✉e-mail: jianhui.jiang@psi.ch; imad.el-haddad@psi.ch; andre.prevot@psi.ch

3





PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

Method: analytics and PM source apportionment

LABOR FOR ATMOSPHERIC CHEMISTRY

Which PM sources are most important for PM's oxidative potential?

Rich and specific chemical characterization of PM needed.

Particles' Oxidative Potential (OP)
 Depletion rate of surrogate molecule (focus here on the dithiothreitol – DTT assay)

6

PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

Method: analytics and PM source apportionment

LABOR FOR ATMOSPHERIC CHEMISTRY

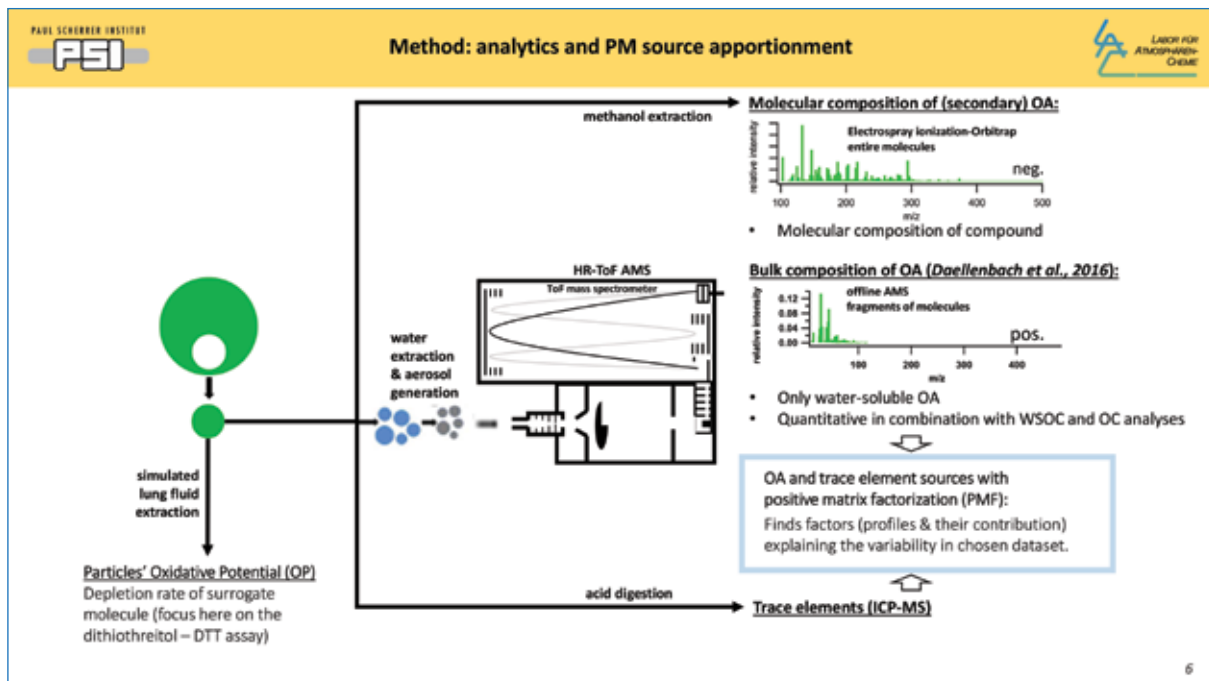
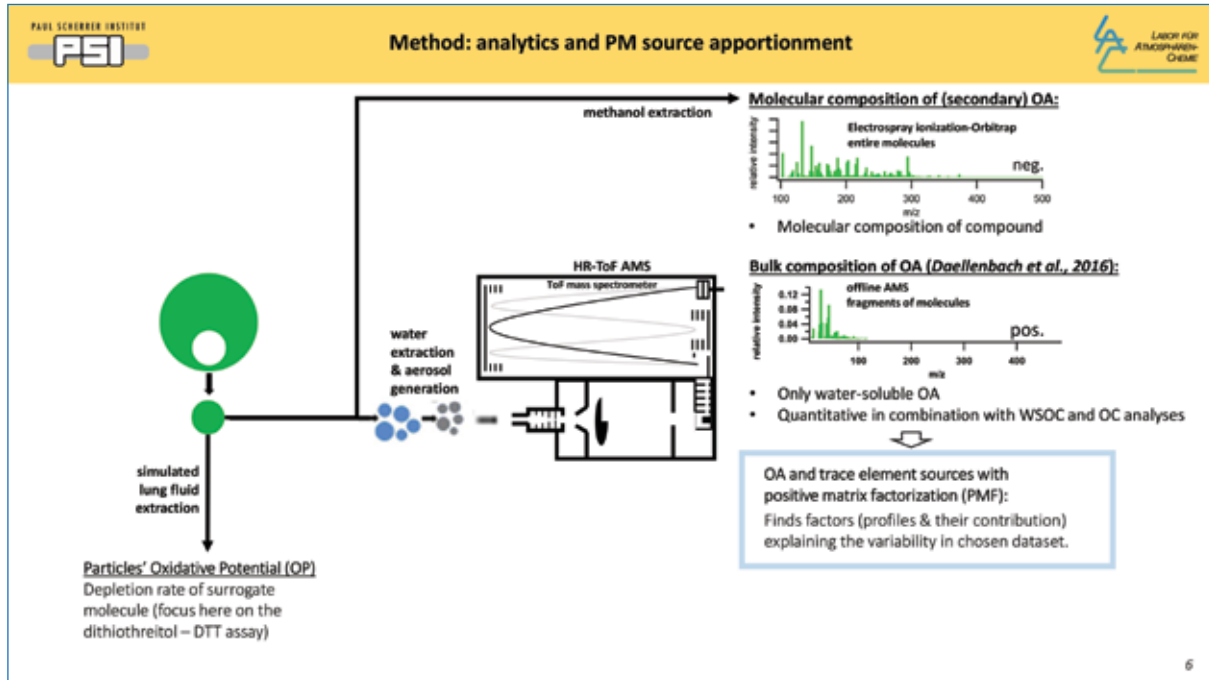
Particles' Oxidative Potential (OP)
 Depletion rate of surrogate molecule (focus here on the dithiothreitol – DTT assay)

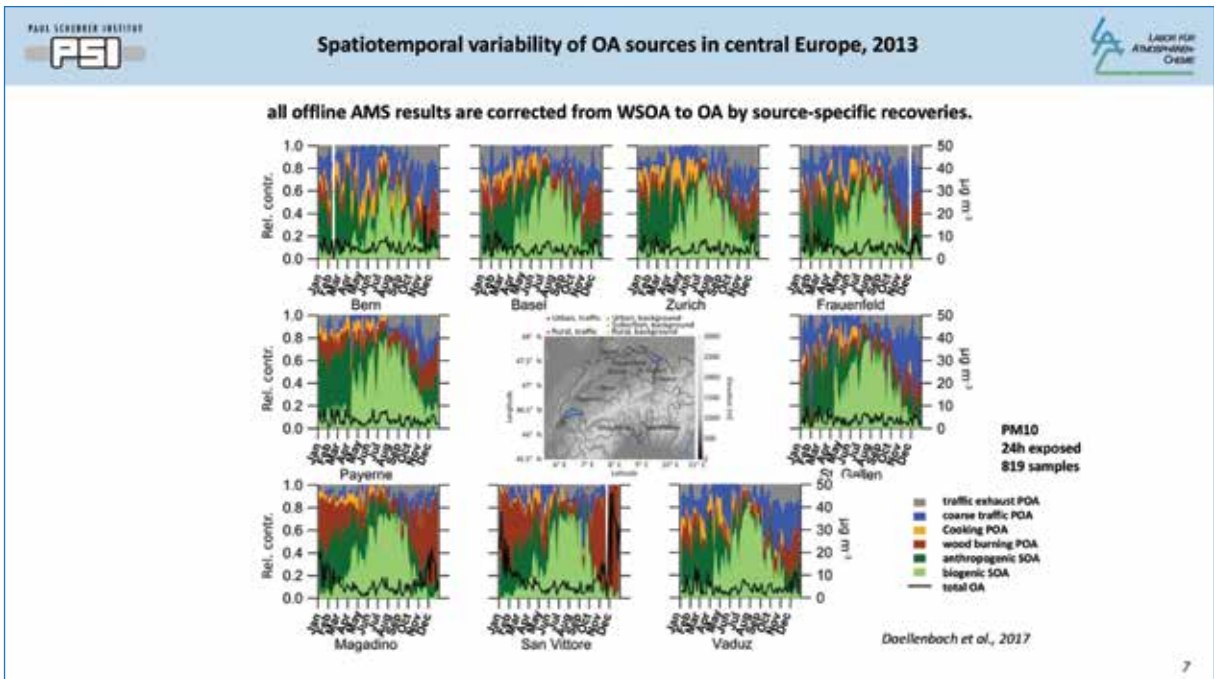
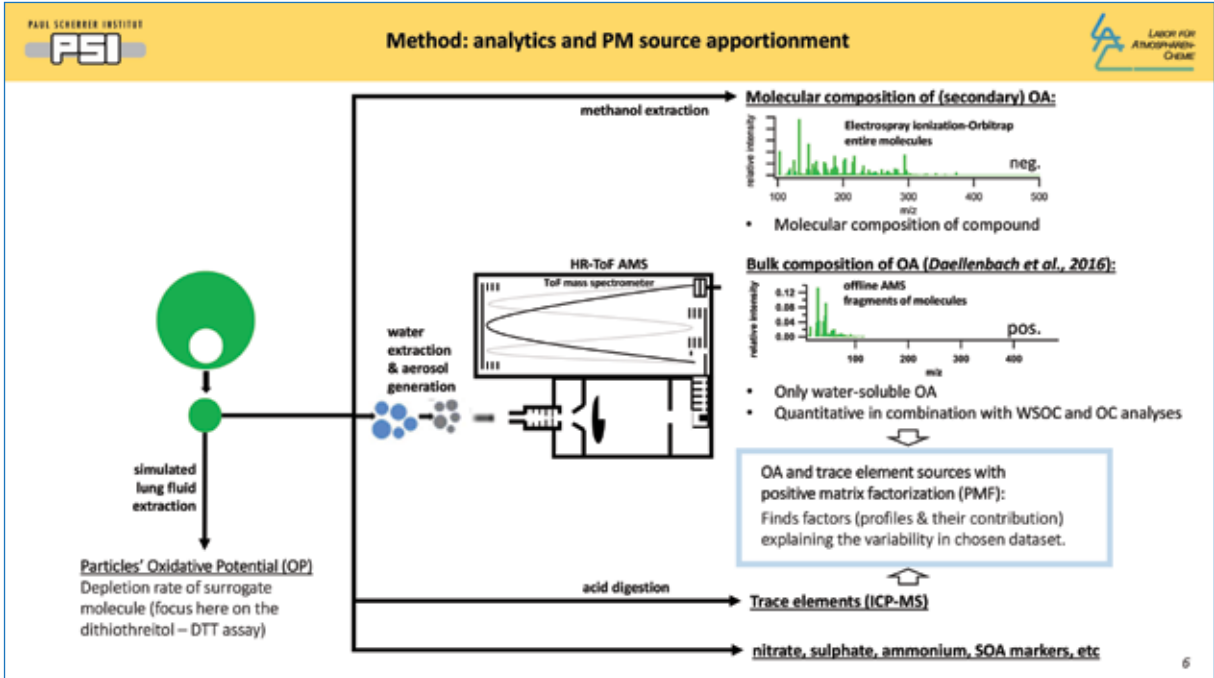
Bulk composition of OA (Daellenbach et al., 2016):

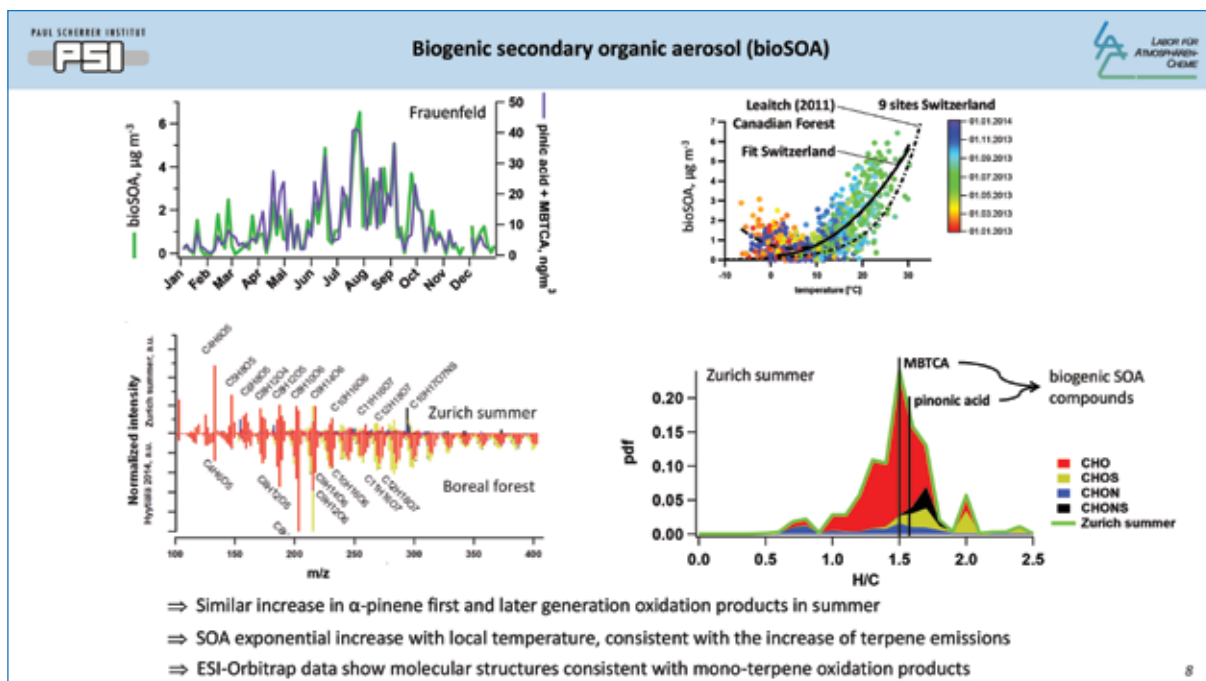
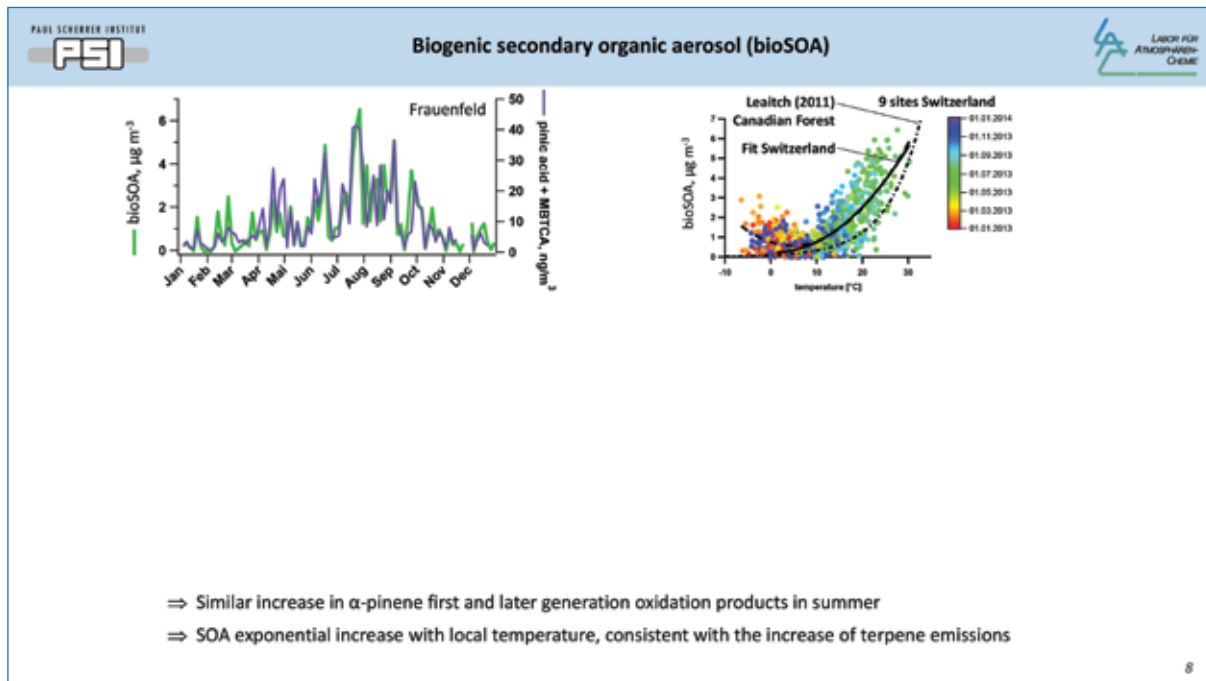
- Only water-soluble OA
- Quantitative in combination with WSOC and OC analyses

OA and trace element sources with positive matrix factorization (PMF):
 Finds factors (profiles & their contribution) explaining the variability in chosen dataset.

6

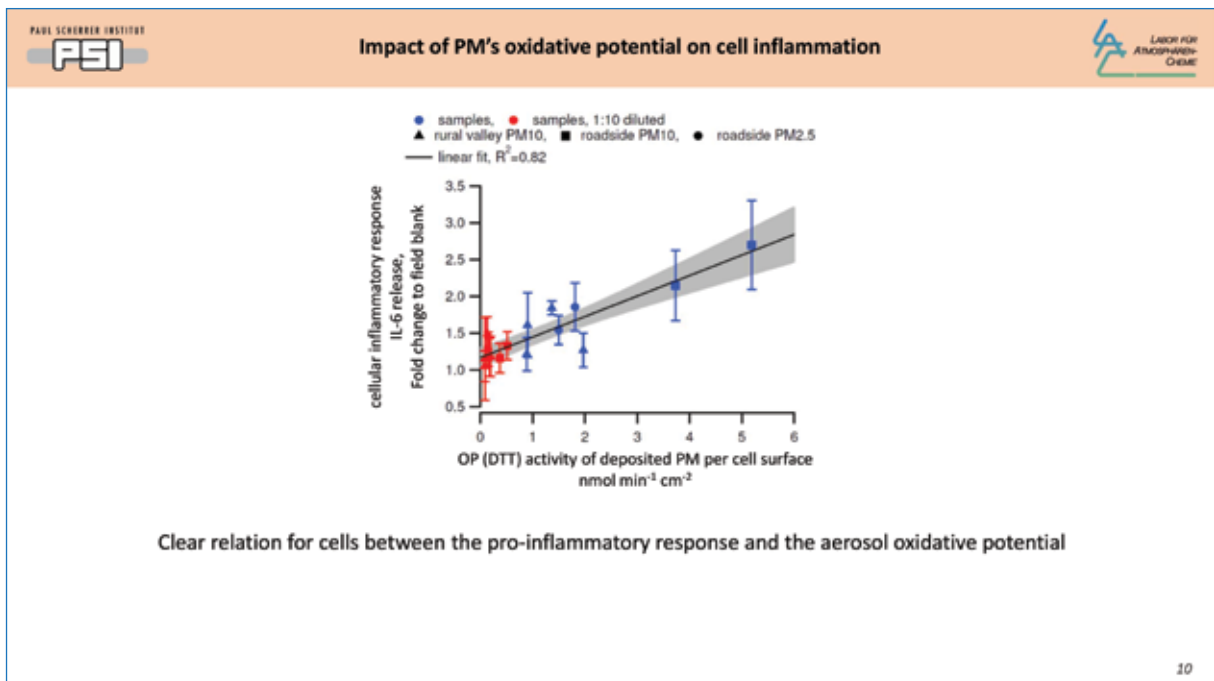
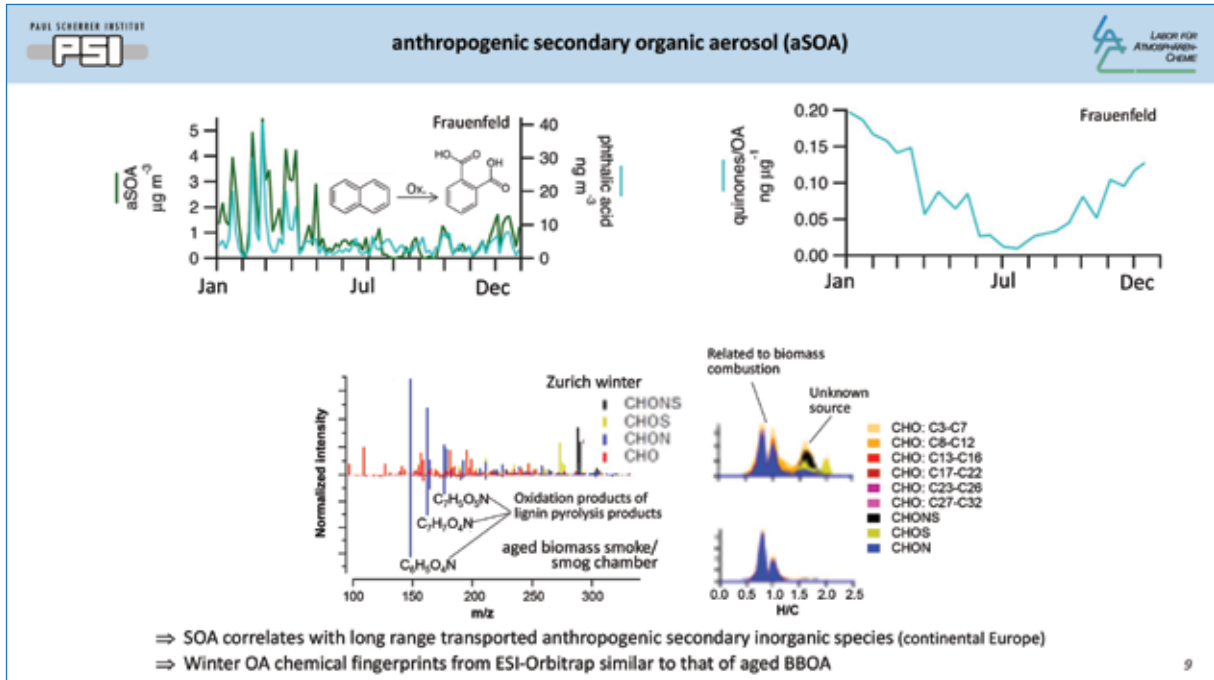


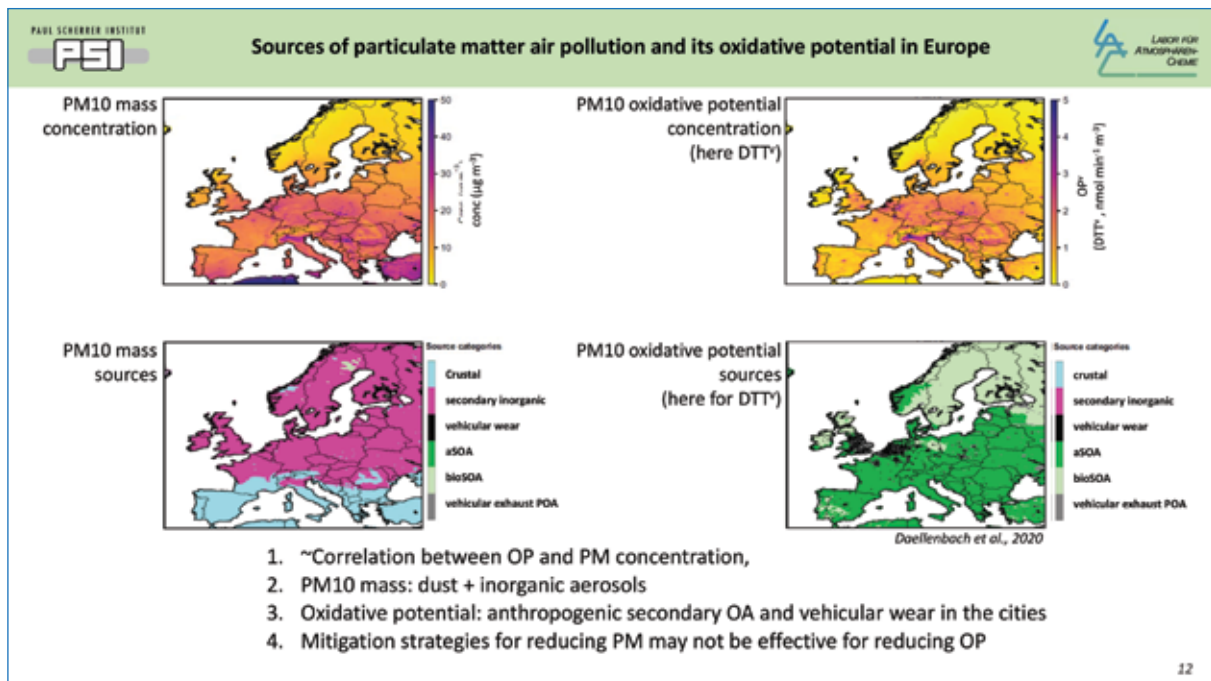
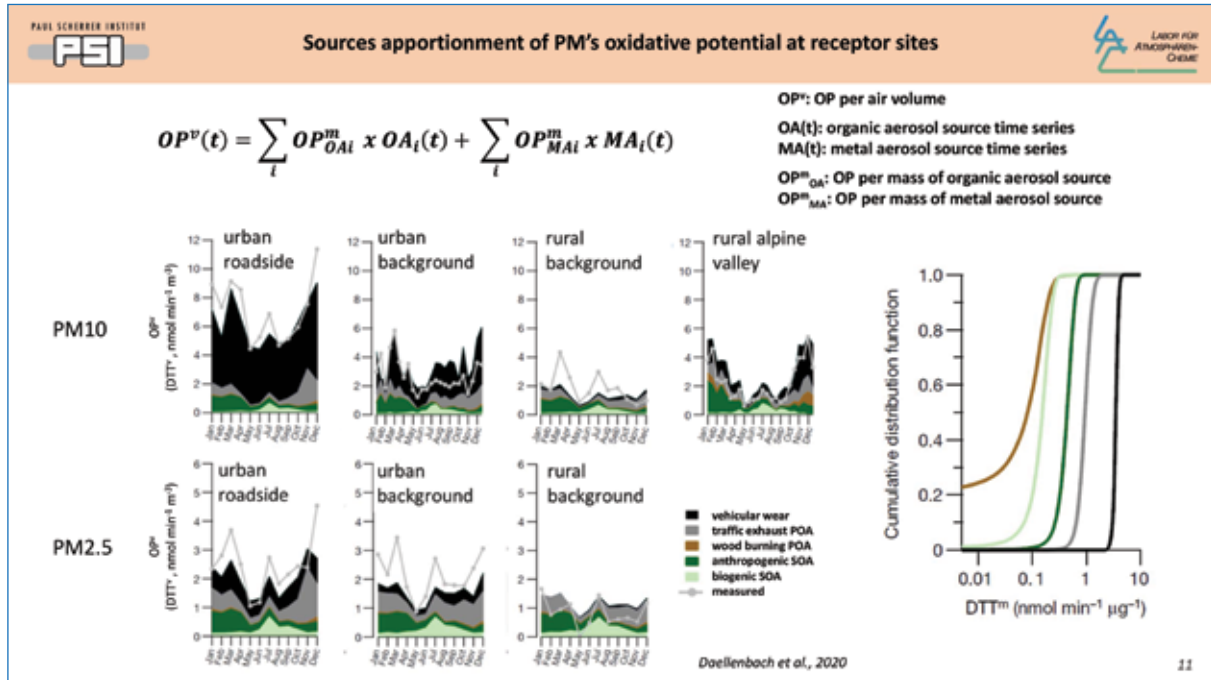


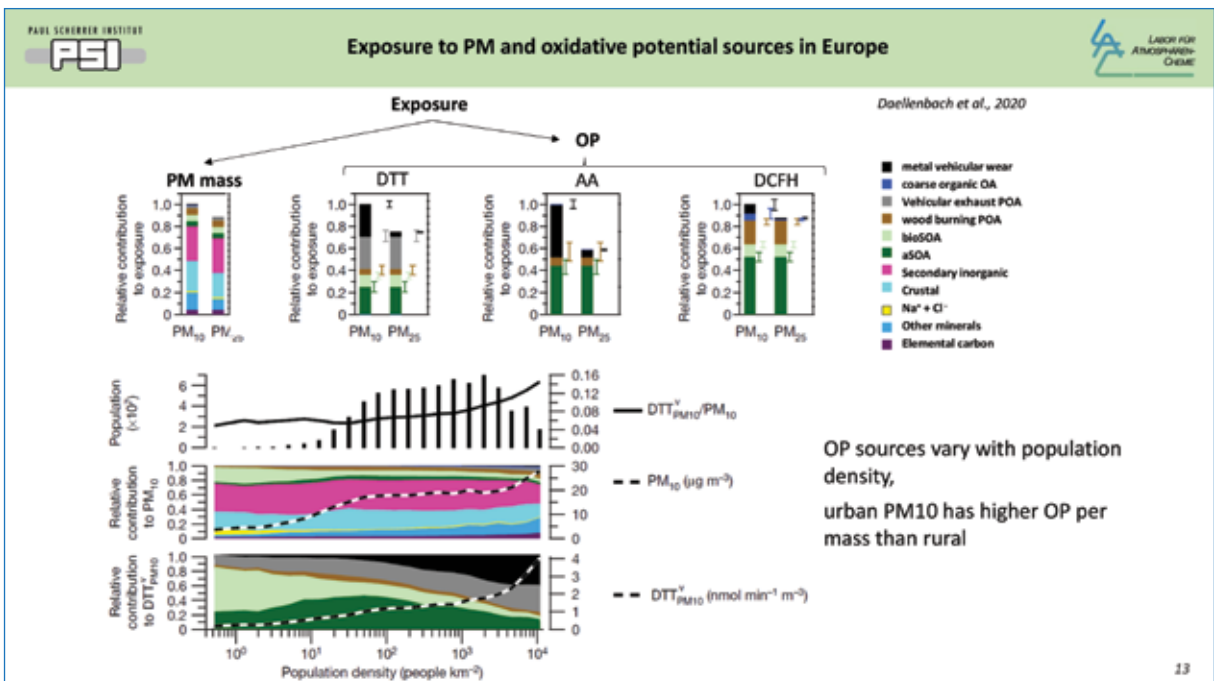
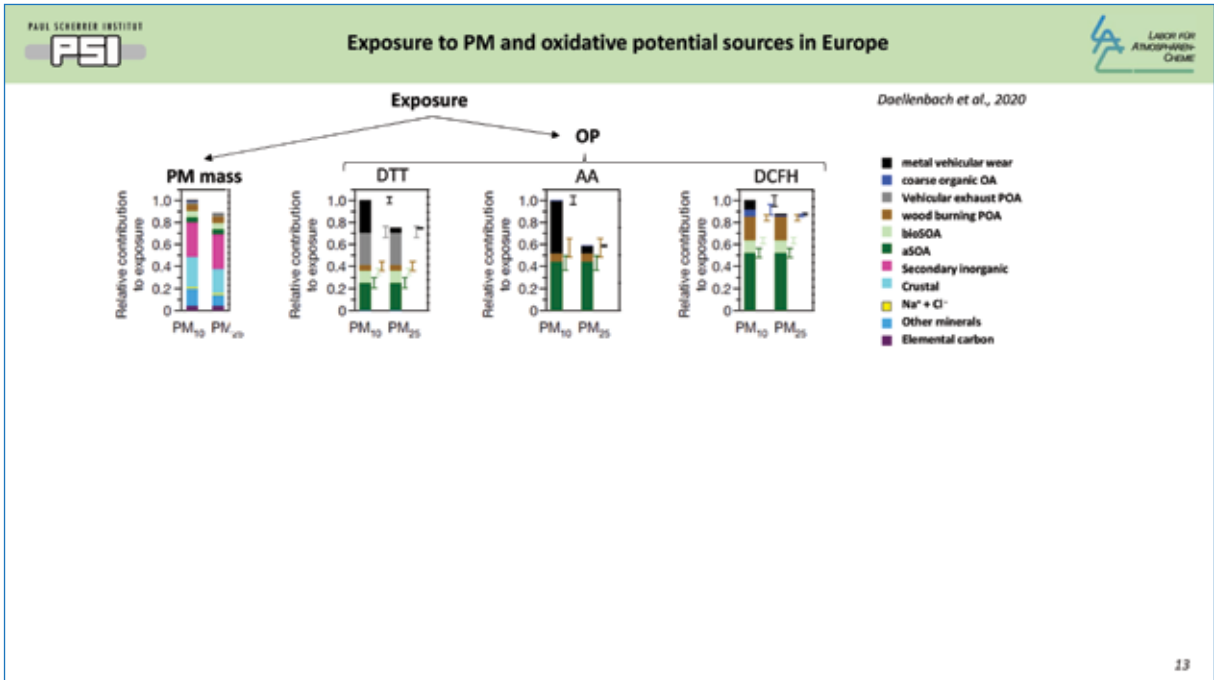


2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima

2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities







PAUL SCHERRER INSTITUT **PSI** **Open questions?** **LA** LABOR FOR ATMOSPHERE-CHEMIE

1) PM and OP sources in future Europe

Year	PM10 vehicular non-exhaust	PM10 vehicular exhaust PM	PM10 residential, mainly heating	NH ₃	SO ₂	NO _x
2000	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2004	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8
2008	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6
2012 (this study)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
2030	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	0.4

PM concentrations expected to further decrease, OP not necessarily.

2) Global variability of PM and OP sources.
 Our concept could be applied anywhere, e.g. in Africa, India, etc.

3) Source-specific impact of PM on mortality and morbidity

For tackling these subjects, we are looking for collaborations, partners and funding.
 (kaspar.daellenbach@psi.ch)

Daellenbach et al., 2020

14

Ismar Jamaković, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Albin Toljević, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Zijada Krvavac, Ministarstvo komunalne privrede, infrastrukture, prostornog uređenja, građenja i zaštite okoliša
Kantona Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Eldar Bičo, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Hana Brekalović, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Podaci o strukturi i distribuciji individualnih ložišta u Kantonu Sarajevo

Data on the structure and distribution of individual household furnaces in the Sarajevo Canton

Podaci o strukturi i distribuciji individualnih ložišta u Kantonu Sarajevo
Data on the structure and distribution of individual household furnaces in the Sarajevo Canton

CETEOR doo
Ismar Jamaković
Albin Toljević
Hana Brekalović
Eldar Bičo

Centar za upravljanje kvalitetom zraka KS
Zijada Krvavac

UNDP
Arnesa Borčak

2. Regionalni „Simpozij o planiranju kvaliteta zraka u gradovima“



Strategija za ograničenje upotrebe uglja i ostalih čvrstih goriva u Kantonu Sarajevo u periodu 2021 – 2031

CETEOR - E3



Ciljevi strategije

- Sveopći cilj projekta je poboljšati stanje kvaliteta zraka i kvaliteta života u Kantonu Sarajevo
- Identificirati zone i naselja u kojima se pretežno koriste čvrsta goriva i njihov uticaj na cjelokupno stanje kvaliteta zraka
- Odrediti prioritetne zone Kantona u kojima će se implementacijom mjera pridonijeti poboljšanju kvaliteta zraka
- Utvrditi stanje postojećeg i budućeg kvaliteta zraka, prije i nakon implementacije mjera





Popis stanovništva

Teritorija	Ukupno	Vrsta energenata					
		Ugalj	Drvo	Nafta i naftni derivati	Prirodni plin	Električna energija	Drugo
FEDERACIJA BOSNE I HERCEGOVINE	702.362	207.293	702.034	21.641	72.950	67.627	20.304
KANTON SARAJEVO	146.140	20.958	146.081	16.416	69.146	16.837	5.210

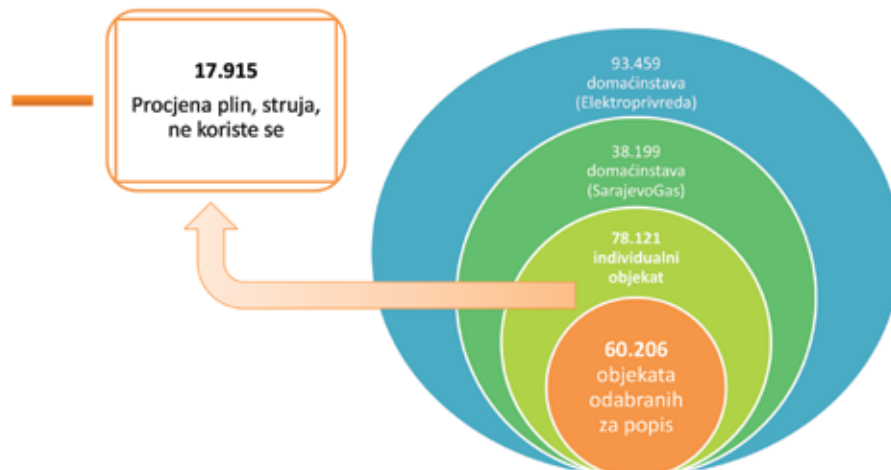


Broj domaćinstava

- 146.140 – popis
- Toplane >51.000 stanova/domaćinstava (izvor <https://www.toplanesarajevo.ba/>)
- Popis – Toplane = 146.140 – 51.000 = 95.140
- Plin SarajevoGas - 38.199 satova
- Elektroprivreda - 93.459 domaćinstava (satova)



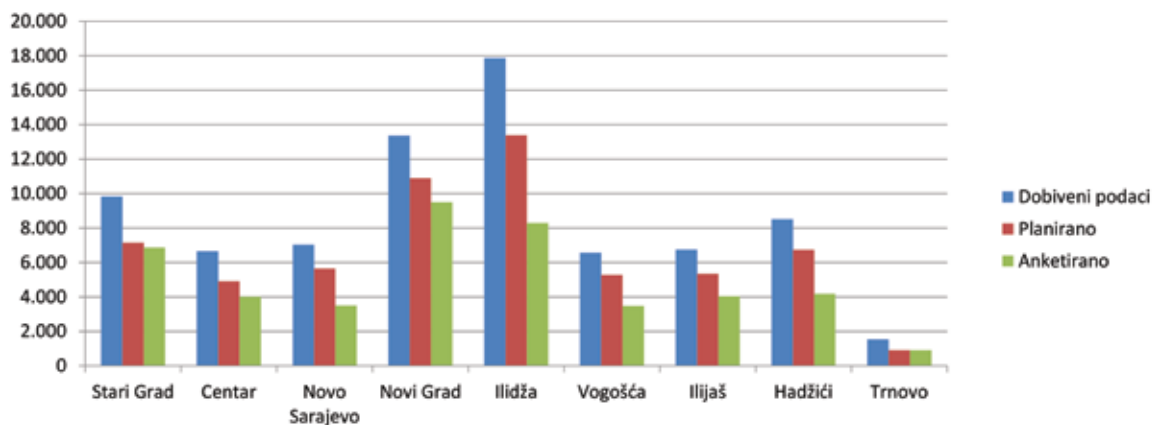
Broj objekata odabranih za popis



CETEOR



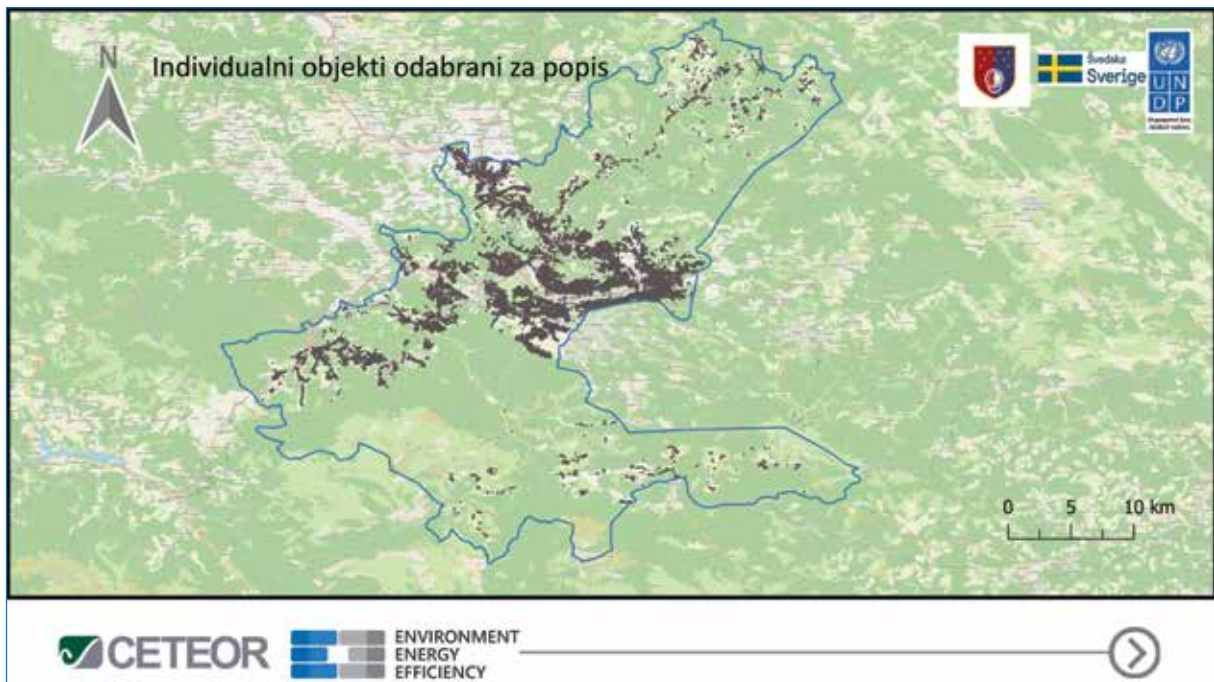
Popis Kanton Sarajevo



	Dobiveni podaci	Planirano	Anketirano
Ukupno Kanton Sarajevo	78.121	60.206	44.750

CETEOR

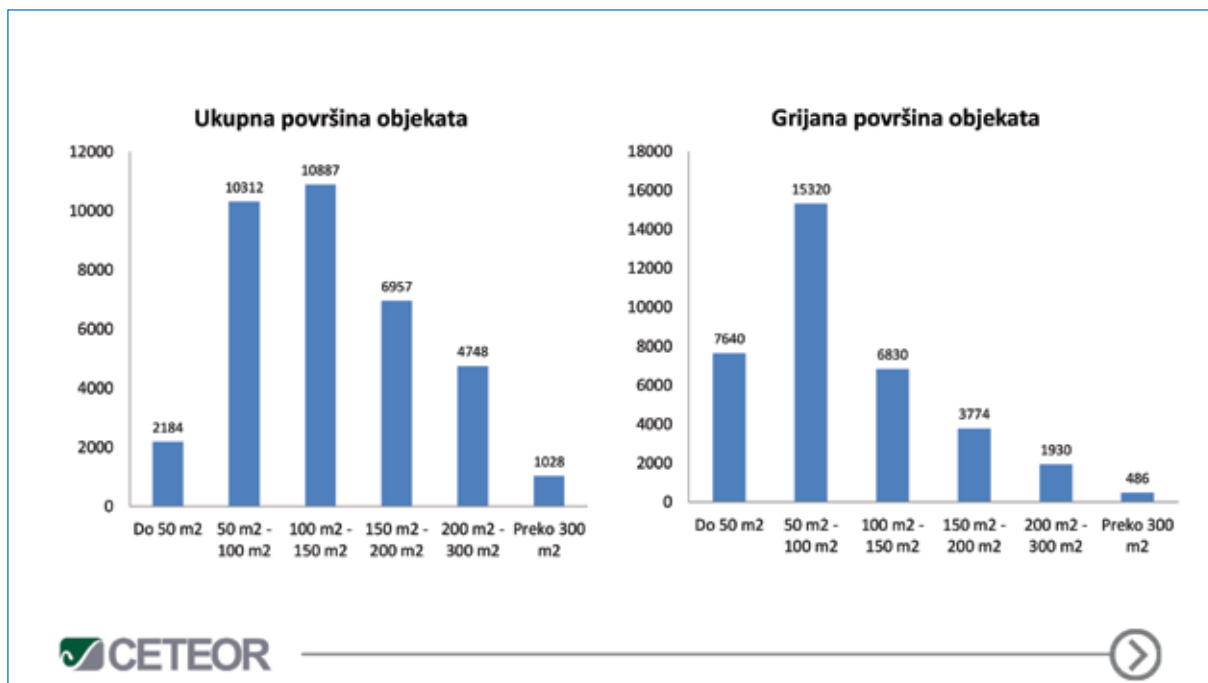
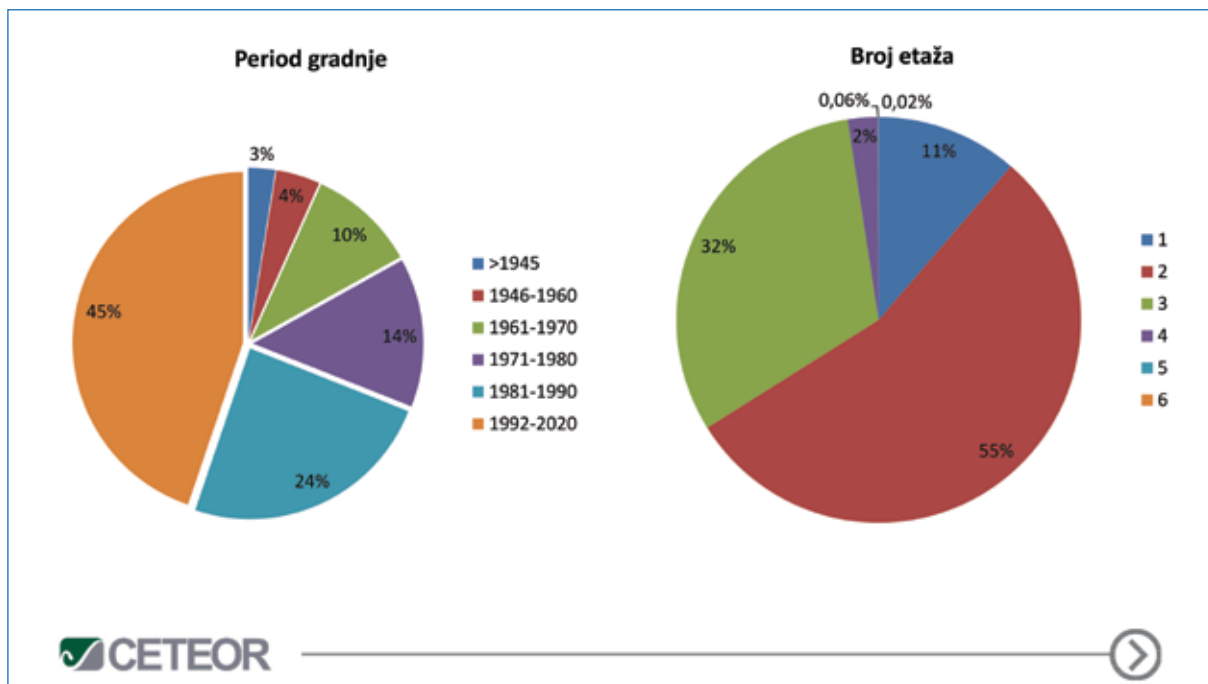


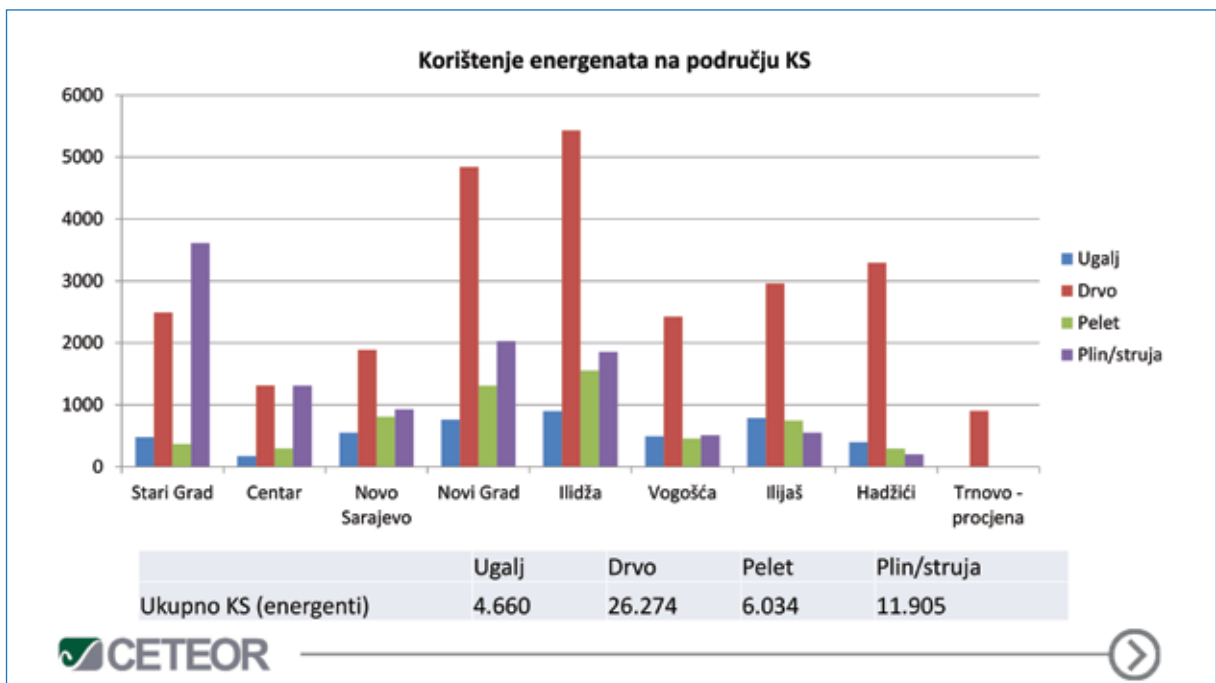
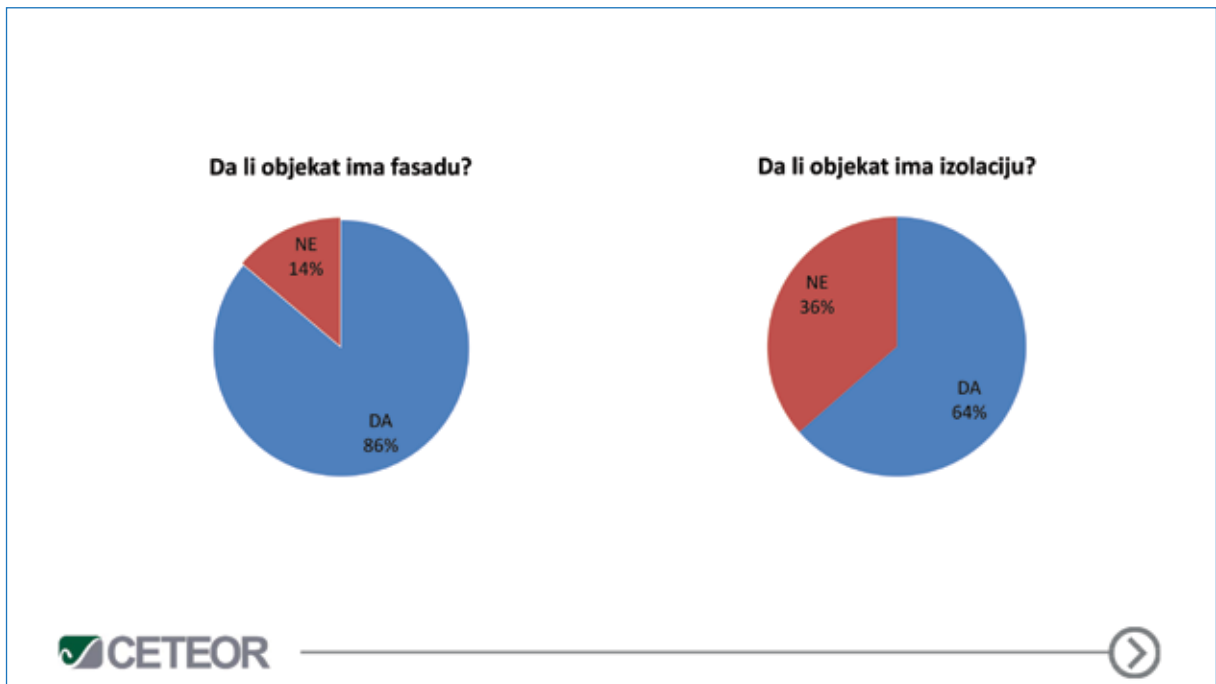


Anketna pitanja

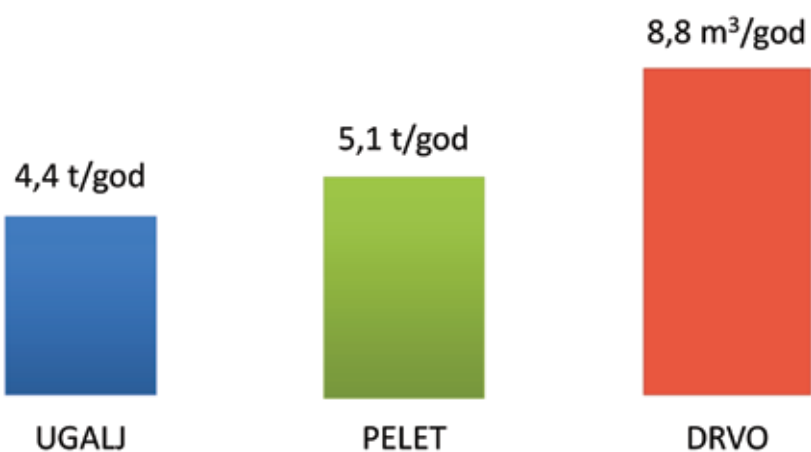
- Tip objekta - tip objekta prema Tipologiji stambenih objekata
- Broj etaža - broj etaža objekta
- Ukupna korisna površina m² - ukupna površina objekata, informacija dobivena anketiranjem
- Grijana površina m² - grijana površina objekta, informacija dobivena anketiranjem
- Fasada - da li objekat ima fasadu, informacija dobivena anketiranjem
- Izolacija - da li objekat ima termoizolaciju, informacija dobivena anketiranjem
- Ugalj t - potrošnja uglja u godini dana (ako je podatak unesen onda objekat troši ugalj)
- Vrsta uglja – ukoliko troši ugalj unijeti i vrstu uglja
- Drvo m³ – potrošnja ogrjevnih drva u godini dana (ako je podatak unesen onda objekat troši drvo)
- Pelet t - potrošnja peleta u godini dana (ako je podatak unesen onda objekat troši pelet)
- Ostalo - ostale vrste grijanja ako nisu navedeni
- Vrsta dimnjaka - unijeti vrstu dimnjaka (keramički, metalni, betonski, zidani)
- Vrsta ložišta - unijeti broj kotla ili peći navedenih u upitniku







Prosječna godišnja potrošnja čvrstih goriva



CETEOR



Distribucija korištenja čvrstih goriva



Legenda

- Granica kantona
- Vrsta energenta
 - Ugalj
 - Pellet
 - Plin/struja
 - Drvo

0 5 10 15 km

CETEOR

ENVIRONMENT
ENERGY
EFFICIENCY





Karakteristični tipovi dimnjaka



Keramički dimnjak (3)



Metalni dimnjak (2)

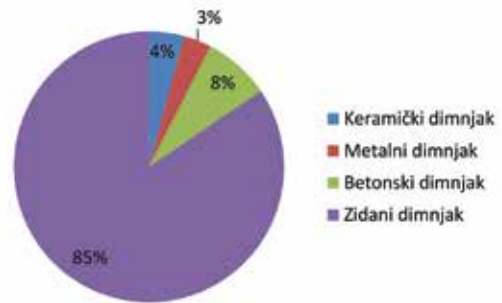


Betonski dimnjak (1)



Zidani dimnjak (4)

Tipovi dimnjaka na anketiranim objektima



Karakteristični tipovi ložišta



Kamin bez mogućnosti kuhanja



Peč na drva



Kamin sa mogućnošću kuhanja

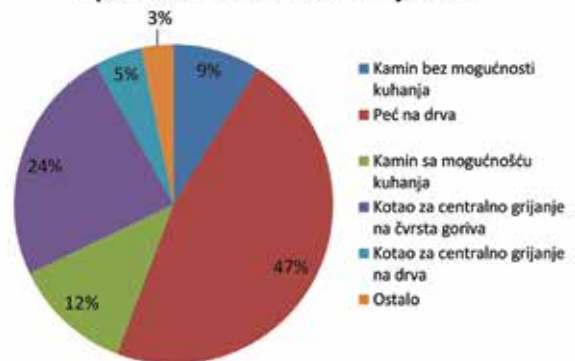


Kotao za centralno grijanje na čvrsto gorivo

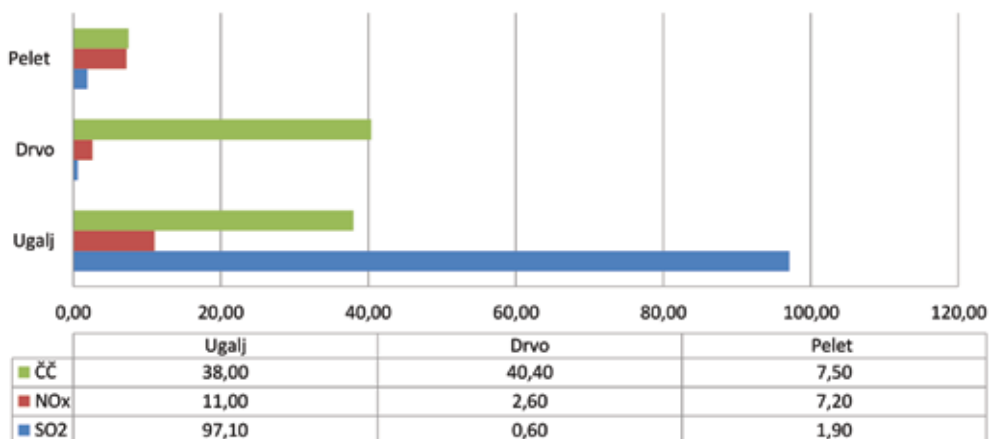


Kotao za centralno grijanje na drva sa mogućnošću kuhanja

Tipovi ložišta u anketiranim objektima



Prosjek emisija po domaćinstvu (kg/god)



Ukupne emisije individualnih ložišta (t/god)

SO ₂	NOx	Čvrste čestice
420,4	139,6	1.078





Zaključak

- Ukupno je anketirano 44.750 objekata, odnosno 74,3% od broja planiranih objekata.
- Najzastupljeniji energent koji se koristi je drvo (53,76%), zatim slijedi plin/struja (24,36%), zatim pelet (12,35%) i ugalj (9,53%).
- Najveći prosjek udjela u vrsti ložišta imaju peći na drva (47 %), nakon toga kotlovi za centralno grijanje objekta na čvrsta goriva (24 %)
- Najveći broj anketiranih objekata su građeni u periodu 1991-2020 (45 %) i u periodu 1981-1990 (24 %)
- Preko 36 % objekata nema nikakav vid izolacije, a 14 % objekata nema ni fasadu



Hvala na pažnji!

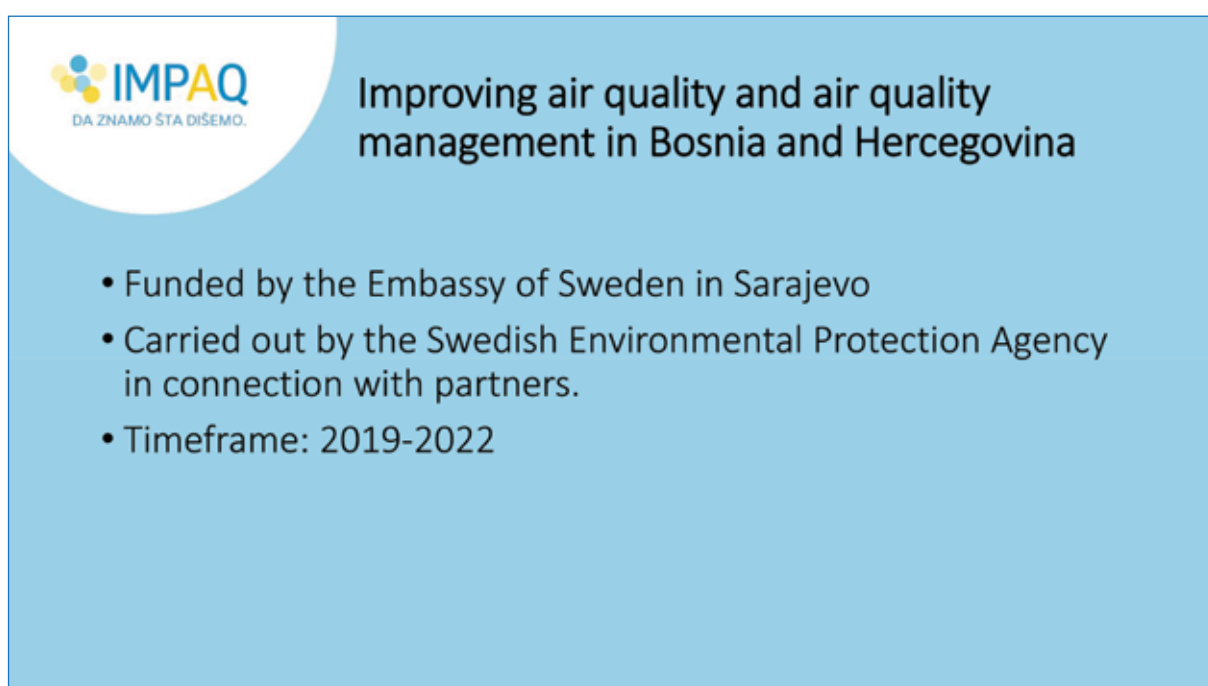



15.

Sara Barnekow, Swedish Environmental Protection Agency (EPA), Air Quality Unit

≈ Raspodjela izvora PM_{2.5}, u šest gradova u BiH


≈ PM_{2.5} source apportionment in six cities in BiH





Project goals

2022-06-28 IMPAQ 3



Answer critical questions

- What pollutants are in the air?
- Where do they come from?
- Where can I find high quality data that is easy to understand?
- What can I do to protect myself and my family?

2022-06-28




IMPAQ

Take action

- Change our behaviors as companies and individuals so that we stop contributing to the problem.
- Change our policies so that there is a system in place to minimize pollution in the first place.

2022-06-28



Example activities

2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima
 2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities





2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima
2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities



The image features an educational poster for IMPAQ. The poster is titled "DA ZNAMO ŠTA DIŠEMO" (Let's know what we breathe) and includes the IMPAQ logo and the slogan "DA ZNAMO ŠTA DIŠEMO." The poster contains several text boxes with educational messages in Bosnian, such as "Kako da čisto zračnjakom...", "U, na to je...", "NAPREDEK... BATERIJE U VAZDUHU...", and "Zbogom...". It also features illustrations of children and a measuring station. The website www.zrakubih.ba is mentioned. Below the main poster, there is a smaller photograph of the poster mounted on a measuring station in front of a kindergarten in Banja Luka.

Educational poster in front of the measuring station, near the kindergarten (Banja Luka)



Other activities

- Quality assurance / quality control manual for BiH
- Capacity building for environmental inspectors.
- Plans for possible initiatives that would help minimize ambient air pollution.
- **Source apportionment study and emissions inventories.**



Source apportionment study



Why source apportionment?

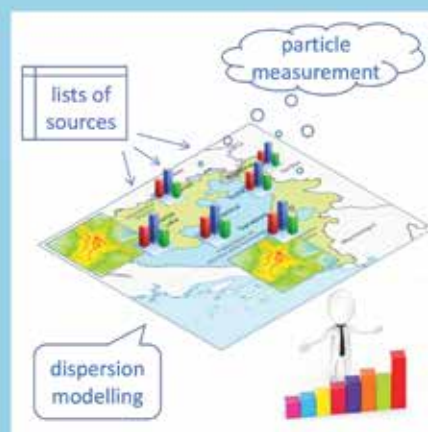
Helps us to understand what pollutants are in the air, where they come from and where they spread.



Source apportionment

- Emission inventorying
- Emissions compilation & validation
- Dispersion modelling
- Measurements
- Receptor modelling

Result:
Fact based evidences for policy makers.





Implementing partners

- **Swedish Meteorological and Hydrological Institute** (overall study management, modelling and report)
- **Institute for Public Health in Belgrade** (measurements and laboratory analysis)



Geographic scope of PM 2.5 measurements

- Sarajevo, Banja Luka, Zenica, Bijeljina, Tuzla and Brod





Measurement campaign 1 - November 2020 – February 2021
(six cities)

Measurement campaign 2 – November 2021 – February 2022
(Sarajevo & Banja Luka)

Methodology – receptor modeling with positive matrix factorization



Instrument

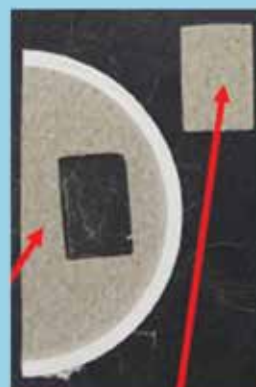
- Sampling performed using Sven Leckel SEQ47/50-RV instruments





Analysis

- Gravimetric analysis of total mass concentration
- Analysis of organic marker levoglucosan, manosan and galactosan
- Organic markers OC and EC.
- Elemental analysis of Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn
- Ion chromatography of: SO_4^{--} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- , Na^+ , Mg^{++} , K^+ , Ca^{++}



First presentation of results

- November 2021
- 6 cities
- Positive matrix factorization receptor modelling
 - Modelling was made by taking the measurements of the actual pollutants in the ambient air in six cities during winter 2020-2021, and then attributing them to the major sources in the area by a careful analysis of the composition of the particles and their signatures.



Second presentation of results


- Spring 2022
- Dispersion modelling for Banja Luka and Sarajevo
 - Identifying sources and then modelling the pollutants' spread through ambient air. The emission inventorying used as input for the model has been conducted throughout 2020 and 2021.



Third presentation of results

- June 2022
- Banja Luka and Sarajevo
- Second round of positive matrix factorization receptor modelling based on measurements taken from November 2021 - February 2022.
 - This will provide a comparison to the results from phase 1 in two of the most complex environments. Can potentially provide some insight to how the pandemic affected air quality.





Summary of first presentation of results

Measurements of the actual pollutants in the ambient air

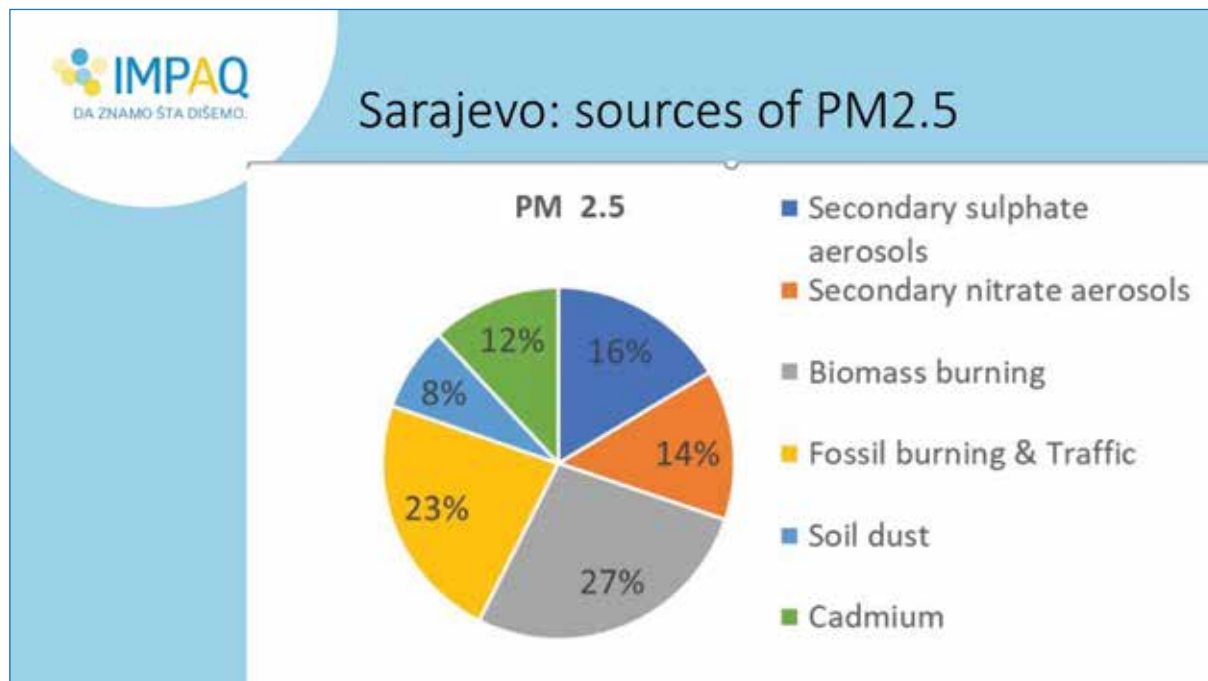
Attribution to the major sources in the area by a careful analysis of the composition of the particles and their signatures.



Sarajevo – compositions of the primary measured species

<p>NH₄⁺</p>	<p>NO₃⁻</p>	<p>SO₄⁻</p>
<p>K+ 10</p>	<p>OC 12</p>	<p>EC</p>
<p>Levoglucosan</p>	<p>Mannosan</p>	<p>As</p>
<p>Cd</p>	<p>Mn</p>	<p>Pb</p>

- Secondary sulphate aerosols
- Secondary nitrate aerosols
- Biomass burning
- Fossil burning & Traffic
- Soil dust
- Cadmium



- IMPAQ
DA ZNAMO STA DIŠEMO.
- ### Interesting findings
- Biomass burning contributes to a large share of the pollution. In the six cities studied, the biomass contribution ranges between 20-35 %.
 - The combined contribution of biomass and coal burning in Brod and Zenica amounts to 45-55 %, however, the study has not been able to differentiate between biomass burning and coal burning in these two cities.
 - A contribution of 20% from engines of vehicles has been clearly isolated in Tuzla. In Sarajevo, the traffic contribution blends with other fossil burning in the model used in the study. However, one can with reasonable certainty estimate the traffic contribution in Sarajevo is around 15%. The other four cities have a wider range when it comes to estimating the traffic contribution.



Interesting findings

- The so-called secondary aerosols contribute to 25-30 % of the pollution in this study. This factor normally represents the contribution from longer-range sources outside the cities, forming the so-called regional background pollution, but can also be explained by winter inversions.
- Almost 10 % of the pollution in four of the cities (Sarajevo, Banja Luka, Tuzla and Zenica) during the past winter seems to come from local, occasional events such as waste burning or similar.



The results of the source apportionment study will form an important basis for decision-making.

The presence of reliable and comprehensive data regarding where emissions come from and how they move will be crucial for politicians and responsible authorities in as they implement necessary measures to combat air pollution in Bosnia and Herzegovina in the future.

Enis Omerčić, Federalni hidrometeorološki zavod Sarajevo, Bosna i Hercegovina

≈ Učešće lebdećih čestica manjih od 2,5 mikrometara unutar koncentracije lebdećih čestica manjih od 10 mikrometara u FBiH

≈ Participation of suspended particles smaller than 2.5 micrometers within the concentration of suspended particles smaller than 10 micrometers, in FBiH

SAŽETAK / ABSTRACT

Lebdeće čestice su jedan od osnovnih indikatora kvaliteta zraka, a u Bosni i Hercegovini one su najprisutnije materije koje utiču na loš kvalitet zraka. Za proračun odnosa lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} ranije nije bilo dovoljno podataka. Unaprijeđenjem mreže stanica i uvođenjem većeg broja analizatora moguće je procijeniti i preciznije definisati njihov odnos u na nivou godine i sezonski. Saznanja o međusobnom odnosu koncentracija ovih čestica mogu pomoći pri procjeni vrijednosti koncentracija lebdećih čestica na mjernim mjestima na kojima se vrši monitoring čestica samo jedne veličine i može pomoći prilikom preciznije procjene stanja kvaliteta zraka.

Ključne riječi: Lebdeće čestice, odnos, indeks kvaliteta zraka

Suspended particles are one of the basic indicators of air quality, and in Bosnia and Herzegovina they are the most present substances that affect poor air quality. Previously, there were not enough data to calculate the ratio of PM₁₀ and PM_{2.5} suspended particles. By improving the network of stations and introducing a larger number of analyzers, it is possible to estimate and more precisely define their relationship at the level of the year and seasonally. Knowledge of the relationship ratio between the concentrations of these particles can help to estimate the value of the concentrations of suspended particles at measuring sites where particles of only one size are monitored and can help in more accurate assessment of air quality.

Key words: Suspended particles, ratio, air quality index

1. UVOD I METODOLOGIJA

Lebdeće čestice su jedan od osnovnih pokazatelja stanja kvaliteta zraka i praćenje njihovih koncentracija redovno je na stanicama za monitoring kvaliteta zraka. Lebdeće čestice ili suspendovane čestice predstavljaju čvrste (češće) ili tečne (rjeđe) čestice mikroskopskih veličina koje se nalaze u ambijentalnom zraku. U Bosni i Hercegovini su koncentracije lebdećih čestica materije koje najčešće utiču na loš kvalitet zraka.

Prema propisima koji se odnose na vršenje monitoringa kvaliteta zraka u našoj, ali i većini drugih zemalja, obavezno je praćenje koncentracija lebdećih čestica promjera manjeg od 10 mikrometara („PM₁₀“) i promjera manjeg od 2,5 mikrometara („PM_{2.5}“). Pored mjerenja masene koncentracije lebdećih čestica, njihov sadržaj je takođe potrebno analizirati u odnosu na prisustvo metala, PAH-ova i drugih materija. Osim toga za naučne svrhe moguće je pratiti i čestice drugih promjera.

Odnos dviju frakcija različitih dijametara unutar ukupnih lebdećih čestica nije stalan i različita istraživanja i analize pokazuju da u ovisnosti od mjernog mjesta, izvora emisije, dijela godine i ambijentalnih uslova on može značajno varirati.

U analizi odnosa ove dvije frakcije u gradovima Indije primjećeno je da se učešće PM_{2.5} unutar PM₁₀ kreće od 31 do 65 %, u zavisnosti od dijela godine [1]. U različitim gradovima Kine to učešće se kretalo u periodu 2009-2015. od 50 do 86%, u zavisnosti od mjesta i dijela godine. Najveći udio frakcije PM_{2.5} unutar PM₁₀ je zabilježen tokom hladnijeg dijela godine u velikim gradovima [2], a Škotskoj na godišnjem nivou njihovo učešće ne prelazi 68% [3].

Ovo je bitno i zbog načina prezentovanja podataka o stanju kvaliteta zraka. Trenutno je u Federaciji BiH prihvaćena metodologija izrade indeksa kvaliteta zraka urađena po uzoru na onu koja je prihvaćena u Sjedinjenim Američkim Državama. Indeksiranje po ovoj metodologiji pokazuje značajne razlike ukoliko se vrši na osnovu poznate koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ odnosno PM_{2.5}, što dovodi do velikih razlika u kategorizaciji kvaliteta zraka između čak i vrlo bliskih mjernih mjesta. Npr. pri koncentraciji od 10 mikrograma PM_{2.5} će imati indeksnu vrijednost 33 a za istu koncentraciju PM₁₀ ona će iznositi 10. U oba slučaja zrak se ocjenjuje kao dobar. Pri koncentraciji od 60 mikrograma PM_{2.5} indeksna vrijednost iznosi 133 („nezdrav zrak“), a pri istoj koncentraciji PM₁₀ ona će biti 60 („umjereno zagađen“). Pri koncentraciji 160 mikrograma indeks kvaliteta zraka prema PM_{2.5} iznosi 210 („vrlo nezdrav“) a prema PM₁₀ 110 („nezdrav za osjetljive grupe“). Ovo predstavlja problem jer na najvećem broju mjernih mjesta se ne vrši monitoring samo jedne od frakcija lebdećih čestica, a vrijednost koju lebdeće čestice PM₁₀ i PM_{2.5} prilikom indeksiranja imaju nije ni približan stvarnom odnosu ovih čestica. Sličan problem se dešava i primjenom metodologije proračuna koji se primjenjuje u Evropskoj okolišnoj agenciji.

Za potrebe ovog analize i uporedbe obrađeni su podaci dobijena sa šest stanica različitih operatera u Federaciji BiH u periodu od 2017.-2021. godine:

- ≈ Goražde Rasadnik, Federalni hidrometeorološki zavod (2017-2021. godina);
- ≈ Zenica Vranduk, Metalurški institut K.Kapetanović Zenica (2018-2021. godina);

- ≈ Sarajevo Ilidža, Zavod za javno zdravstvo Kantona Sarajevo (2019-2021. godina);
- ≈ Bihać Nova Četvrt, Federalni hidrometeorološki zavod (2021. godina);
- ≈ Livno Centar, Federalni hidrometeorološki zavod (2021.godina);
- ≈ Bjelave Sarajevo, Federalni hidrometeorološki zavod (2021. godina).

Mjerna mjesta su raspoređena u različitim ambijentima. Stanice Sarajevo Ilidža i Bjelave su smještene u gusto izgrađenom području grada Sarajeva i izložene visokim koncentracijama zagađujućih materija tokom većeg dijela godine, posebno zimi. Stanice u Goraždu i Bihaću su smještene kao urbano-pozadinske stanice na rubu centralnih dijelova grada, gdje pojačano narušavanje kvaliteta zraka dolazi do izražaja tokom hladnijeg dijela godine. Stanica Vranduk je ruralna stanica blago povišena u odnosu na gradska središta, Sve stanice osim stanice Livno su smještene u prostoru na kojem je prisutna umjereno kontinentalna klima sa pojavljivanjem temperaturnih inverzija tokom hladnijeg dijela godine.



Slika 1. Raspored mjernih mjesta

U analizu je uvršteno ukupno 87300 rezultata satnih mjerenja. Mjerenja su vršena sa tri različita tipa uređaja koji koriste metodu rasipanja svjetlosti („light scattering“) u skladu sa standardom EN 14907.

2. REZULTATI ANALIZE

Izvršena je statistička obrada podataka o godišnjim prosječnim vrijednostima koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} dobijeni mjerenjima na navedenim mjernim mjestima, te odnos lebdećih čestica PM₁₀ prema PM_{2.5} i obrnuto, lebdećih čestica PM_{2.5} prema PM₁₀. od 2017. godine broj podataka, odnosno mjernih mjesta se povećavao te je proračun odnosa dvije frakcije lebdećih čestica postajao statistički pouzdaniji.

Iz podataka je vidljivo da značajnijih odstupanja u učešću lebdećih čestica PM_{2.5} unutar PM₁₀ u različitim godinama nema i da se ono kreće od 80% do 92%.(2017.godine 80%, 2018.godine 92%, 2019. godine 82%, 2020. godine 85% i 2021. godine 82%).

Važno je napomenuti da su 2018. godine, kada je učešće PM_{2.5} u PM₁₀ bilo najviše, dostupni podaci bili uglavnom iz hladnijeg dijela godine. U drugim posmatranim godinama mjerenja su bila uglavnom pravilno raspoređena tokom cijele godine. U vezi sa ovim je i odnos najviših vrijednosti učešća PM_{2.5} unutar koncentracije PM₁₀ koje su uglavnom vezane za ona mjerna mjesta i one periode kada su ukupne koncentracije više, a što se dešava u hladnijem dijelu godine.

Pregled mjesečnih vrijednosti prikazan u tabeli IV i slici broj 2. ukazuje na opadanje učešća čestica PM_{2.5} u PM₁₀ od zime prema ljetu, sa minimalnom vrijednosti u mjesecu avgustu.

3. ZAKLJUČAK

Odnos koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} je promjenjiv u toku godine i ne pokazuje znatna odstupanja između različitih mjernih mjesta. Odnos je karakterističan za mjerna mjesta u našoj zemlji i upoređujući ga sa dostupnim podacima iz drugih krajeva svijeta ne pokazuje slične vrijednosti. Najmanje učešće koncentracije PM_{2.5} unutar frakcije PM₁₀ tokom mjeseca avgusta (oko 64%), a najviše tokom januara (95%) i decembra (91%). To učešće je manje pri nižim koncentracijama lebdećih čestica u zraku, a veće pri višim, na što ukazuju i poređenja satnih i dnevnih potaka o koncentracijama koja nisu prikazana ovdje. Srednja vrijednost učešća PM_{2.5} čestica unutar PM₁₀ kod obrađenog niza podataka iznosi oko 82%. Dobijeni podaci se mogu iskoristiti pri reviziji metodologije proračuna indeksa kvaliteta zraka i za procjenu približne koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ odnosno lebdećih čestica PM_{2.5} na mjernim mjestima na kojima se vrši mjerenje samo jedne od navedenih.

LITERATURA

1. B.Spandanaa S. Srinivasa Raob Adithi R. Upadhyac, Padmavati, Kulkarnid, V. Sreekanthd
2. *PM_{2.5}/PM₁₀ ratio characteristics over urban sites of India, Advances in Space Research, Volume 67, Issue 10, 15 May 2021, Pages 3134-3146*
3. *PM_{2.5}/PM₁₀ Ratios in Eight Economic Regions and Their Relationship with Meteorology in China*
4. D. Zhao, H. Chen, E. Yu, T. Luo
5. *Advances in Meteorology- Hindawi 2019*
6. *PM_{2.5} and PM₁₀ in Scotland*
7. *Investigation of concentrations and ratios of PM_{2.5} and PM₁₀ across Scotland to help inform potential changes to Air Quality Strategy Objectives and Local*
8. *Air Quality Management, Ricardo Energy & Environment 2016. Sykes D.*

Tabela I: Pregled srednjih god.koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} i njihovog međusobnog odnosa:

Godina	Pokazatelj	Mjerno mjesto						UKUPNO
		Goražde	Zenica Vranduk	Ilidža Sarajevo	Bjelave Sarajevo	Bihać	Livno	
2017	PM ₁₀	40.45	U 2017. godini paralelna mjerenja PM ₁₀ i PM _{2.5} obavljena samo na stanici Goražde					40.45
	PM _{2.5}	32.56						32.56
	PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.24						1.24
	PM _{2.5} /PM ₁₀	0.80						0.80
2018	PM ₁₀	47.72	98.86	Većina mjerenja obavljena u hladnijem dijelu godine. U Goraždu u I, II,III, XI i XII mjesecu. Na stanici Vranduk samo u XII mjesecu.				73.29
	PM _{2.5}	44.68	88.67					66.67
	PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.07	1.11					1.09
	PM _{2.5} /PM ₁₀	0.94	0.90					0.92
2019	PM ₁₀	32.54	39.86	47.31	Na stanicama Goražde i Vranduk rezultati iz cijele godine, sa stanice Ilidža oko 50% podataka ravnomjerno raspoređenih u toku godine			39.90
	PM _{2.5}	26.40	31.07	41.65				33.04
	PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.23	1.28	1.14				1.22
	PM _{2.5} /PM ₁₀	0.81	0.78	0.88				0.82
2020	PM ₁₀	32.93	46.24	52.42	Na stanici Goražde oko 70% satnih mjerenja, Ilidža i Vranduk iznad 90%			43.87
	PM _{2.5}	26.94	39.81	45.52				37.42
	PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.22	1.16	1.15				1.18
	PM _{2.5} /PM ₁₀	0.82	0.86	0.87				0.85
2021	PM ₁₀	34.13	33.81	35.54	60.37	23.75	17.13	34.12
	PM _{2.5}	26.23	28.40	29.33	56.83	20.47	11.86	28.85
	PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.30	1.19	1.21	1.06	1.16	1.44	1.23
	PM _{2.5} /PM ₁₀	0.77	0.84	0.83	0.94	0.86	0.69	0.82
	Na stanicama Bihać i Livno mjerenja vršena od VI do XII mjeseca, na stanici Bjelave samo XII mjesec							

Tabela II: Pregled srednjih vrijednostikoncentracija lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} i njihovog međusobnog odnosa u cijelom posmatranom periodu po mjernim mjestima:

2017-2021	Goražde	Zenica Vranduk	Ilidža Sarajevo	Bjelave Sarajevo	Bihać	Livno	Prosjek
PM ₁₀	37.5	54.6	45.1	-	23.7	17.1	39.7
PM _{2.5}	31.3	46.9	38.8	-	20.4	11.8	34.3
PM ₁₀ /PM _{2.5}	1.213	1.187	1.166	-	1.160	1.444	1.234
PM _{2.5} /PM ₁₀	0.828	0.844	0.858	-	0.861	0.692	0.817

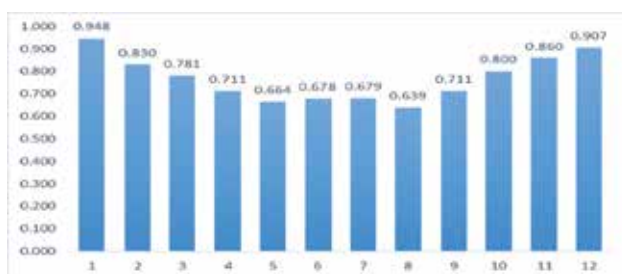
Tabela III: Pregled međusobnog odnosa koncentracija lebdećih čestica PM_{10} i $PM_{2.5}$ u cijelom posmatranom periodu po godinama:

	2017	2018	2019	2020	2021
$PM_{10}/PM_{2.5}$	1.242	1.091	1.217	1.179	1.228
$PM_{2.5}/PM_{10}$	0.805	0.917	0.824	0.849	0.822

Tabela IV: Pregled međusobnog odnosa koncentracija lebdećih čestica PM_{10} i $PM_{2.5}$ u cijelom posmatranom periodu po mjesecima:

Mjesec	$PM_{10}/PM_{2.5}$	$PM_{2.5}/PM_{10}$
1	1.05	0.95
2	1.19	0.83
3	1.39	0.78
4	1.47	0.71
5	1.48	0.66
6	1.49	0.68
7	1.46	0.68
8	1.60	0.64
9	1.48	0.71
10	1.27	0.80
11	1.16	0.86
12	1.10	0.91

Slika 2. Mjesečni raspored učešća lebdećih čestica $PM_{2.5}$ u odnosu na koncentraciju lebdećih čestica PM_{10} na svim mjernim mjestima za cijeli posmatrani period ($PM_{10} = 1$)



Albin Toljević, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Orhan Saletović, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Analiza kvaliteta ispitivanja izduvnih gasova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled u Federaciji BiH

Analysis of the quality of exhaust emission tests in technical inspection services in the Federation of BiH

SAŽETAK / ABSTRACT

Broj vozila na cestama u Federaciji BiH je konstantno u porastu što predstavlja dodatni problem u kontekstu kvaliteta zraka i zdravlja građana. Stanice tehničkih pregleda vozila, kojih u Federaciji BiH ima 202, imaju zadatak da pri provođenju EKO testa u skladu sa „Pravilnikom o ispitivanju izduvnih plinova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled vozila“, čija je zvanična upotreba počela 1. januara 2020. godine suzbiju upotrebu vozila čije emisije izduvnih gasova ne zadovoljavaju propisane norme. Analizirajući rad stanica za tehnički pregled, ustanovljeno je da su sve registrovale povećan broj uočenih neispravnosti od kojih značajan dio otpada na one koje se odnose na greške u sistemu izduvnih gasova – preko 35%. Jedan od značajnih problema, koji dominantno utiče na emisije izduvnih gasova iz vozila a posljedično i na kvalitet zraka u urbanim sredinama, jeste uklanjanje katalizatora iz vozila. Prema podacima dobijenim anketiranjem stanica tehničkih pregleda motornih vozila i registrovanih servisa motornih vozila, ustanovljeno je da oko 10% vozila koja bi fabrički trebalo da posjeduju katalizator isti ustvari ne posjeduju odnosno izvršeno je uklanjanje katalizatora. Analizirajući potencijalni uticaj pooštrene kontrole prisustva katalizatora u vozilu na smanjenje godišnje količine emitovanih komponenti dimnih gasova došlo se do zaključka da je moguće postići najveće smanjenje u slučaju emisije ugljenmonoksida (CO) sa umanjnjem od 10,5% u odnosu na trenutnu emisiju. Također, moguće je postići smanjenje emisije PM₁₀ za 1,3% odnosno emisije PM_{2,5} za 1,7%.

Ključne riječi: emisija, katalizator, tehnički pregled, EKO test, vozila

The number of cars on the roads in the Federation of BiH is constantly increasing, which is an additional problem in the context of air quality and public health. Car technical inspection services, of which there are 202 in the Federation of BiH, have the task that when conducting the ECO test in accordance with the “Rulebook on testing of exhaust gases of vehicles in vehicle technical inspection services”, whose official application began on January 1, 2020, suppress the use of

cars whose exhaust emissions do not meet the prescribed standards. Analyzing the operation of technical inspection stations, it was found that all of them registered an increased number of detected malfunctions, of which a significant part falls on those related to faults in the exhaust system - over 35%. One of the biggest problems, which predominantly affects the exhaust emissions from cars and consequently the poor air quality in urban areas, is the removal of catalytic converter from cars. According to the data obtained by surveying the services of technical inspections of motor vehicles and registered car services, it was found that about 10% of cars that should have a catalytic converter do not actually have one, ie the catalytic converter was removed. Analyzing the potential impact of tighter control of the presence of catalytic converter in the car on the reduction of the annual amount of emitted exhaust gases, it was concluded that the greatest reduction can be achieved in the case of carbon monoxide (CO) emissions with a decrease of 10.5%. It is also possible to reduce PM₁₀ emissions by 1.3% and PM_{2.5} emissions by 1.7%.

Key words: emission, catalytic converter, technical inspection, ECO test, cars

1. UVOD

Ubrzano tempo života u 21. stoljeću nameće potrebu svakodnevnog korištenja motornog prevoznog sredstva. Međutim, prekomjerno korištenje prevoznih sredstava na fosilna goriva u gusto naseljenim urbanim sredinama doprinosi pojavi zagađenog zraka. Zrak u Federaciji Bosne i Hercegovine (FBiH) je već duže vrijeme veoma zagađen, a posebno je to izraženo u zimskim mjesecima. Konstantan porast broja registrovanih automobila i vozača, uzrokuje i povećane emisije produkata sagorijevanja koja utiču na zdravlje stanovništva. Svake godine se proglašavaju stepeni pripravnosti, uzbuna i upozorenja usljed prekomjerno zagađenog zraka. Prosječna starost vozila u BiH je znatno ispod evropskog prosjeka, što dodatno utiče

na kvalitet zraka. Veliki broj vozila ne koristi katalizatore, a stanice tehničkih pregleda prilikom tzv. EKO testa se ne pridržavaju potpuno pravilnika koji nalaže da vozila koja ne zadovoljavaju navedeni test, ne mogu učestvovati u saobraćaju.

Rast štetnih emisija u zrak je konstantan. Rezultat na lokalnom nivou je povećana zagađenost zraka, a na globalnom promjena temperature i klime na Zemlji. Pored industrije i kućnih ložišta, saobraćaj (ponajviše cestovni) je jedan od glavnih zagađivača zraka u urbanim sredinama. Mnoge svjetske studije su pokazale da količina izduvnih gasova ispuštenih u zrak je daleko veća iz motornih vozila cestovnog saobraćaja od drugih prevoznih sredstava iz

vazdušnog i željezničkog saobraćaja. Slična situacija je i u FBiH, a posebno su negativni efekti emisije izduvnih gasova u zrak iz saobraćaja prisutni tokom zime, najviše u gusto naseljenim urbanim sredinama.

Jedan od mogućih načina ograničavanja prekomjernog zagađivanja zraka jesu redovni tehnički pregledi vozila. Sastavni dio tehničkog pregleda predstavlja i EKO test, prilikom kojeg se ispituje da li vozilo u okviru svoje ekološke kategorije emituje izduvne gasove u opsegu dozvoljenih granica. EKO test je dugo vremena u BiH iz raznih razloga bio samo informativnog karaktera. Međutim, stupanjem na snagu Pravilnika o ispitivanju izduvnih gasova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled vozila iz 2017. godine postavljen je temelj da ovaj test postane eliminatoran. Stanicama tehničkih pregleda i vozačima je ostavljeno 3 godine da se prilagode budućem načinu rada i od 1. januara 2020. godine, navedeni pravilnik je stupio na snagu u punom kapacitetu.

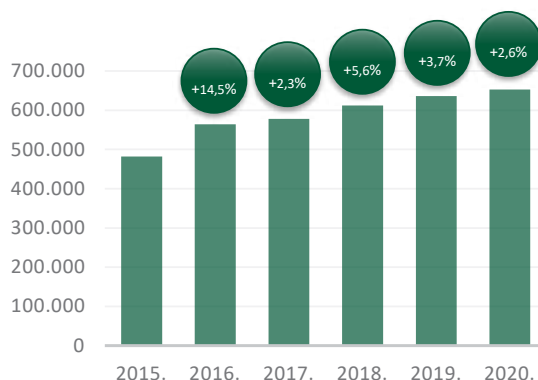
Cilj rada je da analizira postojeće stanje u stanicama za tehnički pregled u FBiH. Jedan od glavnih uzroka zbog kojeg vozilo ne zadovolji na EKO testu, jeste nepostojanje katalizatora. Katalizatori su se dugo vremena zbog svoje vrijednosti uklanjali sa vozila i prodavali na crnom tržištu, a vozila u znatno većem obimu zagađivala zrak.

2. STRUKTURA I BROJ VOZILA U FBiH

Prosječna starost vozila u BiH je za 2020. godinu iznosila 16,5 godina¹ dok je za FBiH iznosila 16 godina. U usporedbi sa zemljama u okruženju, Bosna i Hercegovina se nalazi

u sredini, obzirom da je u istom periodu registrovana prosječna starost od 13 godina u Hrvatskoj i 17 godina u Srbiji, dok je prosjek Evropske unije 10,8 godina.

U FBiH je u 2020. godini registrovano 652.976 vozila. Od ovog broja, 19% registrovanih vozila spada u grupu vozila starosti do 10 godina, 24% registrovanih vozila su starosti od 10 do 15 godina dok najveći procenat od 35% su vozila starosti od 15 do 20 godina. Trend broja registrovanih vozila u FBiH za period 2015 - 2020. godina prikazan je na [Slici 1](#).

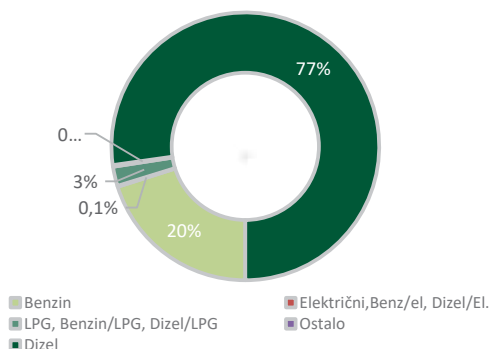


Slika 1: Porast broja registrovanih vozila u FBiH u periodu 2015 - 2020. godina

Prema vrsti goriva dominiraju vozila sa dizel motorom, čak 77%, dok vozila sa benzinskim motorom učestvuju sa 20%, a ostalih vozila koja za pogon koriste tečni naftni gas i kompresovani prirodni gas, ili su hibridi i na električni pogon ima oko 3%. Iako je proces postepenog isključenja iz saobraćaja automobila sa dizel motorom u Evropi značajno podmakao, takva vozila se u BiH još uvijek smatraju poželjnim u smislu radnih performansi. Naravno, najveći razlog za ovakvo stanje jeste ekonomska situacija u državi, tj. kupovna moć stanovništva, ali djelimično i nedostatak podrške za kupovinu hibridnih i električnih vozila. Udio broja vozila

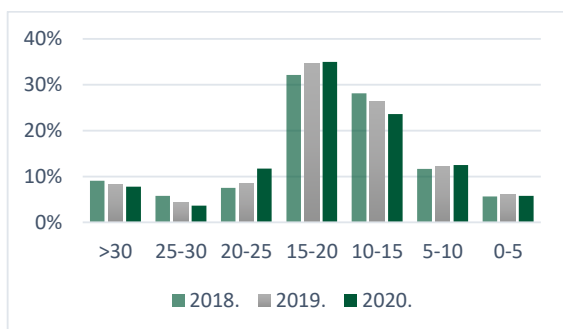
¹ Agencija za identifikacione dokumente, evidenciju i razmjenu podataka Bosne i Hercegovine (IDDEEA)

u FBiH prema vrsti korištenog goriva u 2020. godini prikazan je na [Slici 2](#).



Slika 2: Udio vozila prema vrsti goriva koje koriste u FBiH u 2020. godini

Kada je riječ o starosnoj strukturi vozila na području FBiH, kao što je prethodno navedeno, preko 80% vozila je starije od 10 godina. Ovakva starosna struktura zadržala se u prethodnom trogodišnjem periodu gdje je najveći broj vozila starosti 15-20 godina. Prikaz starosne strukture vozila za prethodni trogodišnji period prikazan je na [Slici 3](#).



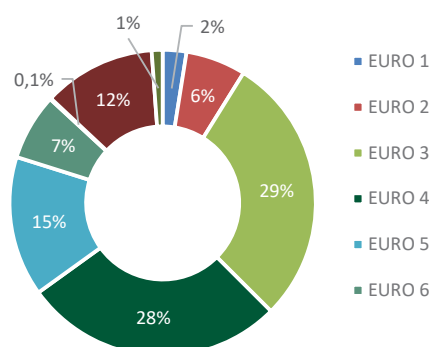
Slika 3: Starosna struktura voznog parka u FBiH u periodu 2018 - 2020. godina

Iz dijagrama je evidentno da je u prethodnom trogodišnjem periodu primjetan rast vozila starosti 15-20 godina dok je u isto vrijeme

broj vozila starosti 10-15 godina u opadanju. Kada je riječ o novijim vozilima, odnosno do 5 godina starosti, ovaj broj je u 2020. godini nešto manji u odnosu na 2019. godinu što se može pripisati pandemiji virusa COVID-19.

Ono što je bitno kada je riječ o motornih vozilima sa aspekta emisije izduvnih gasova je tzv. EURO standard. Taj standard određuje koliko izduvni gasovi mogu da sadrže štetnih čestica u različitim uslovima korištenja, kao i koliko pređenih kilometara motor mora da izdrži, a da pri tome emisije tih čestica može da odstupa samo u određenom procentu.

U FBiH najveću zastupljenost u ukupnom broju vozila imaju vozila EURO 3 norme, proizvedena između 2000. i 2005. godine, dakle starosti 15-20 godina – 29 %. EURO 4 normu posjeduje 28% registrovanih vozila proizvedenih između 2005. i 2009. godine dok EURO 5 normu posjeduje 15% trenutno registrovanih vozila koji su proizvedeni između 2009. i 2014. godine. Prikaz procentualnog udjela registrovanih vozila u 2020. godini prema EURO normi prikazan je na [Slici 4](#).



Slika 4: Struktura ekoloških kategorija vozila u FBiH u 2020. godini

3. ANALIZA RADA STANICA ZA TEHNIČKI PREGLED MOTORNIH VOZILA

Tehnički pregled vozila je djelatnost od opšteg društvenog interesa gledajući iz aspekta sigurnosti saobraćaja na putevima, te isto tako aspekta zaštite okoliša. U 2020. godini u FBiH obavljeno je ukupno 738.602 tehničkih pregleda i 630.590 EKO testova. Najveći broj evidentiranih neispravnosti je u sistemu kočenja sa 37% dok je na drugom mjestu ispitivanje izduvnih gasova motornih vozila sa 35% što ukazuje na činjenicu da je kod značajnog broj vozila evidentan problem sa sistemom izduvnih gasova.

Od 01.01.2020. godine neispravnosti evidentirane prilikom ispitivanja izduvnih gasova motornih vozila utiču na prolazak vozila na tehničkom pregledu na području FBiH.

U ukupnom broju registrovanih grešaka tokom obavljanja tehničkih pregleda, neispravnosti usljed nepravilnog rada izduvnih gasova su se u periodu 2010 – 2019. godina kretale u iznosu do 1,5%. U 2020. godini taj iznos je porastao na 35%, što znači da su se u jednoj značajnoj mjeri počele primjenjivati odredbe novog pravilnika.

Za potrebe analize rada stanica tehničkih pregleda te provođenja EKO testa korištena je baza stanica tehničkih pregleda u FBiH koju je izradio CETEOR za potrebe projekta sufinansiranog od strane Fonda za zaštitu okoliša FBiH. Ukupno su identifikovane 202 stanice tehničkih pregleda u 2020. godini. Pored toga, kako bi se detaljnije analiziralo uklanjanje katalizatora od strane vlasnika vozila, izrađena je i baza registrovanih servisa motornih vozila gdje je identifikovano je ukupno 909 registrovanih servisa motornih vozila. Nakon

izrade baza izvršeno je anketiranje servisa i stanica tehničkih pregleda kako bi se utvrdilo u kojem obimu se vlasnici vozila odlučuju na uklanjanje katalizatora odnosno koji je broj vozila koja posjete stanicu tehničkog pregleda a da im je pri tome uklonjen katalizator.

Kao što je poznato, zadatak izduvnog sistema jeste uklanjanje i neutralizacija prljavštine i neželjenih izduvnih gasova, kako bi pri emisiji imali što manji uticaj na ljudsko zdravlje. Upravo za tu zadaću služi katalizator, uređaj koji se montira u izduvnom sistemu automobila. Produkti sagorijevanja goriva se uz hemijsku reakciju koja se dešava u katalizatoru pročišćavaju u manje štetne izduvne gasove koje čine vodena para (H_2O), ugljen dioksid (CO_2), azotni oksidi (NO_2), sumporov oksid, aerosoli teških metala te čađ i dim. Naravno, hemijskom reakcijom se gasovi ne mogu pročistiti u potpunosti, ali reakcija značajno doprinosi smanjenju emisije štetnih gasova.

Tokom prethodnih godina, vozači su se često odlučivali na uklanjanje katalizatora i njegovu prodaju, obzirom da se u sastavu ovih uređaja nalaze određeni plemeniti metali. Pored toga, katalizatori na vozilima su često bili meta i krađa, obzirom da na tržištu njihova cijena može biti i do 1.000 KM budući da se u katalizatorima se u određenoj količini mogu pronaći paladijum, rodijum i platina. U zavisnosti od količine ovih metala, raste i vrijednost katalizatora. Istraživanja pokazuju da se u katalizatorima prosječno nalazi 1,5 grama platine, 1,3 grama paladijuma i 0,15 grama rodijuma. Za sve motore važi jedan trend – što je veća radna zapremina agregata, to je i kvalitetniji katalizator. Pored prisustva plemenitih metala, zapušeni katalizatori

smanjuju snagu i povećavaju potrošnju goriva, pa je i to jedan od razloga zašto dosta vozila nema ugrađen katalizator. Također, čest je slučaj da uvoznici polovnih vozila uklone katalizatore pa ih naknadno prodaju na crnom tržištu. Ipak, vozila kojima nedostaje katalizator imaju znatno veći uticaj na kvalitet zraka u urbanim sredinama.

Analizom podataka prikupljenih putem anketiranja stanica tehničkih pregleda i registrovanih servisa motornih vozila utvrđeno je da 10% vozila koja posjete stanicu/servis ne posjeduju katalizator odnosno da je katalizator uklonjen što potvrđuje činjenicu da se vlasnici vozila često odlučuju za uklanjanje katalizatora iz svojih vozila zbog tehničkih neispravnosti ili problema u radu katalizatora.

Registrovani servisi motornih vozila anketirani su i u pogledu zahtjeva za skidanje katalizatora od strane vlasnika vozila. Prema prikupljenim podacima, 43% ispitanika se izjasnilo da u toku godine nemaju zahtjeva za skidanje katalizatora dok se 23% ispitanika izjasnilo da u toku godine imaju do 10 zahtjeva za uklanjanje katalizatora. Ovdje je interesantan podatak da se 9 servisa izjasnilo da svakodnevno imaju zahtjeve za uklanjanje katalizatora.

Kada je riječ o analizi godišnjeg broja zahtjeva za uklanjanje katalizatora važno je skrenuti pažnju na činjenicu da su anketom obuhvaćeni samo registrovani servisi motornih vozila. Svi anketirani servisi su se izjasnili da ne nude uslugu uklanjanja katalizatora iako imaju takve zahtjeve.

U slučaju kvara ili problema sa radom katalizatora rezultati anketiranja pokazuju da nema značajnih odstupanja u pogledu opcija za koje se vlasnici vozila odlučuju. 38% ispitanika tvrdi da se vlasnici odlučuju za reparaciju

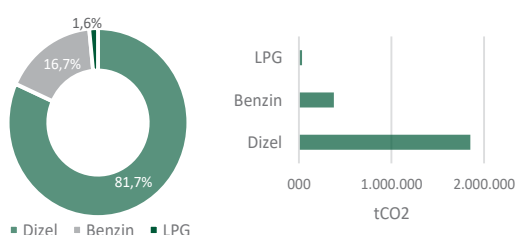
odnosno čišćenje postojećeg katalizatora, 28% ispitanika tvrdi da se vlasnici odlučuju za kupovinu novog/polovnog katalizatora dok 34% ispitanika tvrdi da se vlasnici odlučuju za potpuno uklanjanje katalizatora.

4. EMISIJE U ZRAK IZ MOTORNIH VOZILA U FBIH

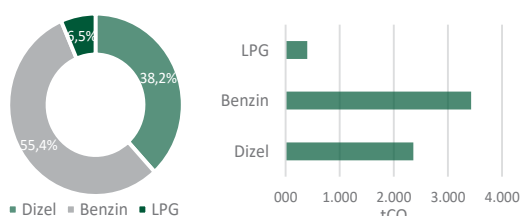
U svrhu proračuna emisija u zrak iz motornih vozila na području FBiH korišten je softver Copert. Tehnički razvoj Copert-a finansira Evropska organizacija za okoliš (EEA). Copert je standardni kalkulator emisija izduvnih gasova iz vozila u EU. Za potrebe proračuna koristi podatke kao što su broj vozila, pređeni put vozila, prosječnu brzinu vozila te klimatološke podatke kao što su prosječne temperature u godini. Na osnovu ovih podataka softver računa emisije izduvnih gasova na godišnjoj osnovi. Kroz ovaj rad proračunate su godišnje količine sljedećih komponenti dimnih gasova: CO, CO₂, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀, CH₄, VOC i SO₂. Proračun je rađen za 2020. godinu.

Za potrebe proračuna emisija iz cestovnog saobraćaja u FBiH korišteni su podaci o broju registrovanih vozila prema EURO normama dobijeni od strane Agencije za identifikacione dokumente, evidenciju i razmjenu podataka (IDDEEA) te podaci o prosječnoj kilometraži vozila i brzinama na cestama u FBiH.

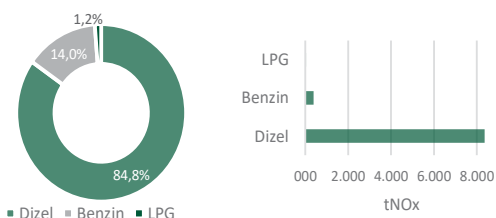
Na dijagramima u nastavku prikazane su emitovane količine CO₂, CO, NO_x i VOC odnosno procentualni udio prema korištenom gorivu. Izračunate emisije odnose se na sektor cestovnog saobraćaja na području FBiH u 2020. godini.



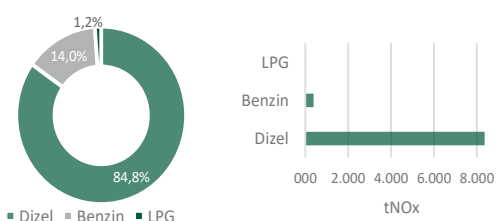
Slika 5: Udio i količina emisije CO₂ u sektoru cestovnog saobraćaja u 2020. godini prema korištenom gorivu



Slika 6: Udio i količina emisije CO u sektoru cestovnog saobraćaja u 2020. godini prema korištenom gorivu



Slika 7: Udio i količina emisije NO_x u sektoru cestovnog saobraćaja u 2020. godini prema korištenom gorivu



Slika 8: Udio i količina emisije VOC u sektoru cestovnog saobraćaja u 2020. godini prema korištenom gorivu

Tabela u Prilogu 1 daje sumarni prikaz godišnje količine emitovanih komponenti dimnih gasova za sva registrovana vozila na prostoru FBiH u 2020. godini.

Iz priložene tabele može se zaključiti da u ukupnim emisijama iz cestovnog saobraćaja najveći dio (99%) otpada na emisije CO₂ dok ostale komponente učestvuju sa svega 1%.

Na osnovu podataka o najznačajnijim emisijama iz sektora cestovnog saobraćaja, dolazi se do zaključka da vozila na dizelski pogon čine većinu pri emisijama ugljen dioksida (CO₂), azotnih oksida (NO_x) te čvrstih čestica (PM₁₀ i PM_{2,5}), dok vozila na benzin čine većinu pri emisijama ugljen monoksida (CO), metana (CH₄) te ispraljivih organskih komponent (volatilni organski spojevi - VOC). Sa druge strane, ukapljeni naftni plin (LPG) i kompresovani prirodni gas (CNG) emituju znatno manje, gotovo zanemarive količine zagađujućih materija u poređenju sa dizelskim i benzinskim motorima što je i očekivano s obzirom na broj ovih vozila.

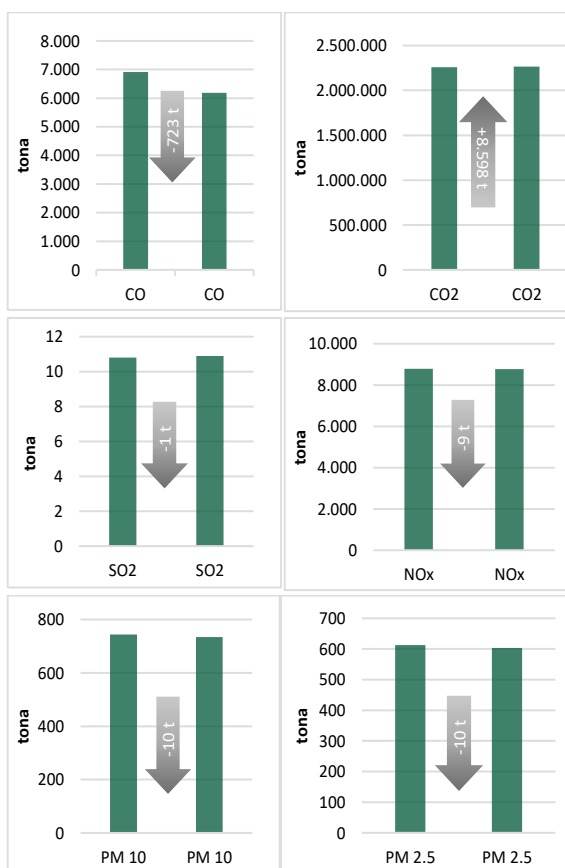
5. MOGUĆNOST SMANJENJA EMISIJE IZDUVNIH GASOVA IZ VOZILA U FBiH POOŠTRENOM KONTROLOM PRISUSTVA KATALIZATORA U VOZILU

Katalizatori u vozilima znatno utiču na smanjenje emisija a posljedično i poboljšanje kvaliteta zraka. Propisi koji regulišu emisije se konstantno pooštavaju, te su proizvođači katalizatora prinuđeni da poboljšavaju efikasnost katalizatora, posebno u uslovima hladnog starta. Sva nova vozila moraju da ispune visoke standarde koji podrazumijevaju

izuzetno niske emisije. Katalizatori kroz procese redukcije i oksidacije vrše znatno smanjenje opasnih spojeva. Katalizatori prilikom rada u takozvanom optimalnom „λ području“ redukuju 75 – 90 % NO_x, oko 30 % CO i oko 80 % ugljikovodika (HC).

Putem ankete došlo se do podatka da oko 10% vozila koja fabrički posjeduju katalizator ustvari isti ne posjeduju tj. da je katalizator uklonjen. Na osnovu ovog pokazatelja izvršen je proračun potencijala smanjenja emisije komponenti dimnih gasova u slučaju pooštrenja kontrole prisustva katalizatora odnosno koliko bi emisije bile manje u odnosu na trenutno stanje da se ne vrši uklanjanje katalizatora. Proračun je izvršen za sljedeće komponente dimnih gasova: CO, CO₂, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀ i SO₂. Rezultati su prikazani na dijagramima u nastavku.

Analizirajući prethodne dijagrame jasno se može uočiti da se najveće smanjenje postiže u emisiji CO za koju je proračunato smanjenje u iznosu od 10,5%. Kao posljedica ovog smanjenja dolazi do povećanja emisije CO₂ za 0,4%. Povećanje emisije CO₂ je i očekivano budući da je funkcija katalizatora takva da CO pretvara u staklenički gas CO₂. Pored smanjenja emisije CO, značajno je i smanjenje emisije PM₁₀ za 1,3% odnosno emisije PM_{2,5} za 1,7%. Kada je riječ o emisiji NO_x i SO₂, pooštrenom kontrolom prisustva katalizatora neće se postići značajna smanjenja ovih komponenti dimnih gasova budući da bi emisija SO₂ bila manja za 0,7% dok bi smanjenje emisije NO_x iznosilo svega 0,7%.



Slika 9: Potencijalni uticaj na promjenu godišnje količine emitovanih komponenti dimnih gasova iz vozila u slučaju pooštrene kontrole prisustva katalizatora

6. ZAKLJUČAK

Broj vozila na cestama u Federaciji BiH je konstantno u porastu, što predstavlja dodatni problem u kontekstu kvaliteta zraka i zdravlja građana. Stanice tehničkih pregleda vozila, kojih u Federaciji BiH ima 202, imaju zadatak da pri provođenju EKO testa u skladu sa „Pravilnikom o ispitivanju izduvnih plinova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled vozila“, čija je zvanična upotreba počela 1. januara 2020. godine suzbiju upotrebu vozila čije emisije izduvnih gasova ne zadovoljavaju propisane norme. Analizirajući rad stanica za tehnički pregled, ustanovljeno je da su sve registrovane povećan broj uočenih neispravnosti od kojih značajan dio otpada na one koje se odnose na greške u sistemu izduvnih gasova – preko 35%. Jedan od značajnih problema, koji dominantno utiče na emisije izduvnih gasova iz vozila a posljedično i na loš kvalitet zraka u urbanim sredinama, jeste uklanjanje katalizatora iz vozila. Ovi uređaji se i danas preprodaju na crnom tržištu, a posebno su traženi zbog prisustva plemenitih metala, te su zbog toga često i mete krađa. Katalizatori osiguravaju prečišćavanje izduvnih gasova i jako su važni u smislu smanjenja emisija koju emituje cestovni saobraćaj. Prema podacima dobijenim anketiranjem stanica tehničkih pregleda motornih vozila i registrovanih servisa motornih vozila, ustanovljeno je da oko 10% vozila koja bi fabrički trebalo da posjeduju katalizator isti ustvari ne posjeduju odnosno izvršeno je uklanjanje katalizatora.

U Federaciji BiH se na godišnjem nivou od strane cestovnog saobraćaja emituje oko 6.914 tona ugljen monoksida (CO), 2.256.857 tona ugljen dioksida (CO₂), 8.782 tona azotnih oksida (NO_x), 613 tona čvrstih čestica prečnika do 2,5 μm (PM_{2,5}), 744 tona čvrstih čestica prečnika do 10 μm (PM₁₀), 494 tone metana (CH₄), 2.550 tona volatilnih organskih spojeva (VOC) i 10,8 tona sumpor dioksida (SO₂).

U određenim slučajevima je moguće da vozila prođu EKO test čak i ako ne posjeduju katalizator. To je posebno izraženo kod automobila na dizel, pa vozači primjenjuju različite metode, poput zamjene filtera zraka neposredno pred tehnički pregled, kako bi se povećao udio vazduha u smjesi sa gorivom. Također, određeni motori su na prelazu za višu ekološku kategoriju, pa i bez katalizatora mogu da zadovolje propisane vrijednosti. Tokom tehničkog pregleda, nema detaljne inspekcije da li je katalizator ugrađen u vozilu. Ipak, iako postoji šansa da vozila bez katalizatora zadovolje EKO test, mnogo je veća vjerovatnoća da to neće biti slučaj, pa će se primjena novog pravilnika znatno odraziti i na broj vozača koji će morati ponovo ugraditi katalizatore. U ovom trenutku veliki značaj ima kvalitet EKO testa u stanicama za tehnički pregled, obzirom da je to prvi korak ka isključivanju iz saobraćaja vozila koja imaju izrazito negativan uticaj na okoliš.

Analizirajući potencijalni uticaj pooštrene kontrole prisustva katalizatora u vozilu na smanjenje godišnje količine emitovanih komponenti dimnih gasova došlo se do zaključka da je moguće postići najveće smanjenje u slučaju emisije ugljenmonoksida (CO) sa umanjem od 10,5% u odnosu na trenutnu emisiju. Također, moguće je postići smanjenje emisije PM₁₀ za 1,3% odnosno emisije PM_{2,5} za 1,7%.

LITERATURA

1. „Analiza kvaliteta ispitivanja izduvnih gasova motornih vozila u stanicama za tehnički pregled u Federaciji BiH“, CETEOR (2021).
2. Statistička analiza podataka o obavljenim tehničkim pregledima vozila u 2020. godini i stručne teme, Stručni bilten broj 53, Institut za privredni inženjering d.o.o. Zenica, januar 2021.

Prilog 1 – Godišnje količine emitovanih komponenti dimnih gasova iz cestovnog saobraćaja u FBiH u 2020. godini

Kanton	CO ₂	CO	SO ₂	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀	VOC	CH ₄
Unsko-sanski	218.703	765,3	1,0	872,6	68,5	80,9	166,85	9,23
Posavski	28.349	119,2	0,1	102,6	7,5	9,1	23,96	1,28
Tuzlanski	431.298	1.194,7	2,1	1.680,4	122,2	146,9	247,10	17,04
Zeničko-dobojski	370.693	1.064,1	1,9	1.511,3	108,7	130,5	205,03	11,46
Bosansko-podrinjski kanton Goražde	24.881	85,6	0,1	101,7	9,2	10,6	18,45	1,00
Srednjobosanski	221.946	692,1	1,1	940,6	59,9	73,7	684,73	7,65
Hercegovačko - neretvanski	254.390	791,5	1,2	1.037,2	71,4	86,4	162,87	10,45
Zapadnohercegovački	123.645	318,5	0,7	541,6	36,6	44,4	66,94	4,13
Kanton Sarajevo	546.493	1.704,7	2,4	1.847,6	118,1	148,8	301,97	19,99
Kanton 10	36.460	178,7	0,2	146,5	11,0	13,1	35,53	1,91
Ukupno (t)	2.256.857	6.914	10,8	8.782	613	744	2.550	494

18.

Ismar Jamaković, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Albin Toljević, CETEOR Sarajevo, Bosna i Hercegovina

≈ Povećanje pouzdanosti mjerenja emisija u zrak u FBiH

≈ Increasing the reliability of emission measurements in FBiH

Fond za zaštitu okoliša
Federacije BiH

CENTAR ZA EKONOMSKI, TEHNOLOŠKI I OKOLINSKI RAZVOJ

CETEOR

Projekat "Povećanje pouzdanosti mjerenja emisija u zrak na nivou FBiH,"
- Uvodna razmatranja -

Ismar Jamaković, dipl.ing.maš.
Albin Toljević, dipl.ing.maš.

Ciljevi projekta

- Povećanje pouzdanosti mjerenja emisija u zrak od strane ovlaštenih/akreditovanih kompanija,
- Povećanje istinitosti prikazivanja rezultata mjerenja emisija u zrak
- Osposobljavanje/jaćanje kapaciteta inspektora i zaposlenika nadležnih ministarstava
- Smanjenje mogućnosti zloupotrebe odnosa laboratorija – kupac/operator postrojenja,
- Smanjenje potrošnje energije i emisija u zrak
- Davanje preporuka, sudionicima u sistemu upravljanja kvalitetom zraka u FBiH

"Povećanje pouzdanosti mjerenja emisija u zrak na nivou FBiH"

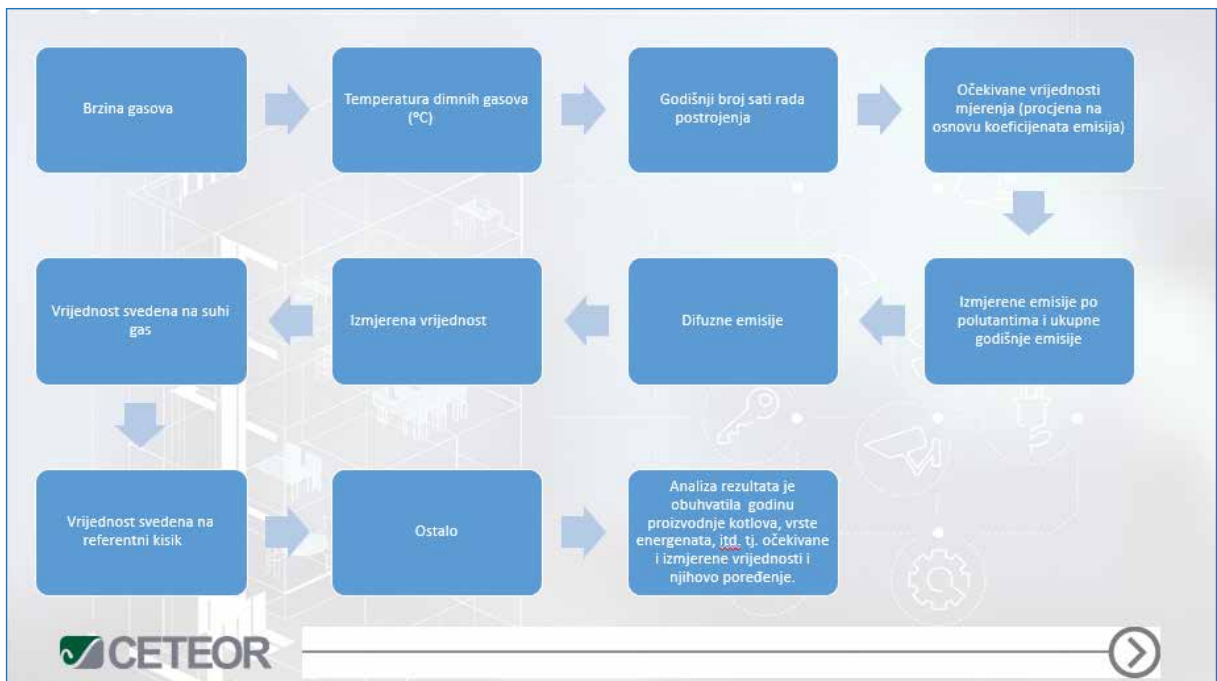
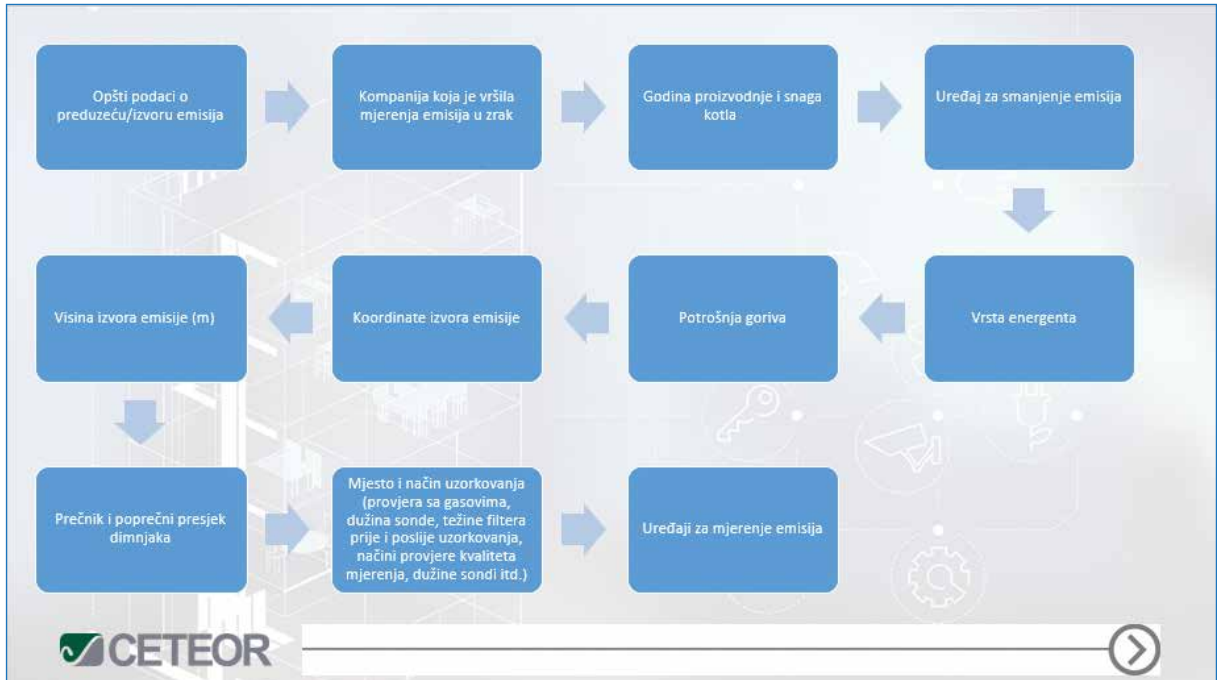
1. Prikupljanje i analiza izvještaja o mjerenjima emisija u zrak u posljednje dvije godine
2. Uočene nepravilnosti kod mjerenja emisija u zrak
3. Izrada uputstva za procjenu izvještaja o mjerenjima emisija u zrak
4. Obuka uposlenika inspeksijskih tijela (kantoni i FBiH) i zaposlenika nadležnih ministarstava (kantoni i FBiH)



Prikupljanje i analiza izvještaja o mjerenjima emisija u zrak

- prikupljanje izvještaja o mjerenjima emisija u zrak iz baza:
 - Federalnog ministarstva zaštite okoliša i turizma,
 - kantonalnih ministarstava,
 - Fonda za zaštitu okoliša FBiH.





Provedene aktivnosti

- Prikupljanje izvještaja o mjerenjima emisija u zrak
- Analiza izvještaja o mjerenjima emisija u zrak
- Identifikacija nepravilnosti
- Analiza pouzdanosti prikazanih rezultata



Pregled broja dostavljenih validnih izvještaja

Institucija	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	Ukupno
Federalno ministarstvo okoliša i turizma	-	-	1	9	50	45	-	105
Ministarstvo za građenje, prostorno uređenje i zaštitu okoliša USK	-	-	-	3	12	13	-	28
Ministarstvo trgovine, turizma i zaštite okoliša HNK	-	-	-	-	7	4	-	11
Fond za zaštitu okoliša FBiH	1	1	-	3	7	6	1	19
Ukupno	1	1	1	15	76	68	1	163





Laboratorije koje su vršile mjerenja

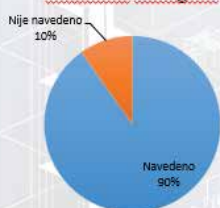
Rb. Laboratorije	Broj izvještaja
1	7
2	12
3	9
4	26
5	28
6	80
7	1
	163



Analiza nepravilnosti - energenti

Podatak	Navedeno	Nije navedeno
Korišteni energent (vrsta)	147	16
Potrošnja goriva	26	137

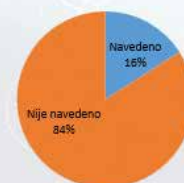
Korišteni energent



Struktura korištenih energenata



Količina potrošenog energenta



Analiza nepravilnosti

Podatak	Navedeno	Nije navedeno	Zadovoljenost
Koordinate ispusta	95	68	58%
Visina izvora emisije	78	85	48%
Prečnik i poprečni presjek ispusta	145	18	89%
Plan mjerena emisija	61	102	37%
Godišnji broj sati rada	50	113	31%
Slike sa mjerena	26	137	16%
Referentni sadržaj kisika	114	49	70%
Izmjereni sadržaj kisika	121	42	74%
Provjera gasovima	4	159	2%
Vaganje filtera prije i poslije	0	163	0%
Dužina sonde	41	122	25%
Znak BATA	63	100	39%



Ugljevi u BiH

	Donja toplotna moć Hd (MJ/kg)	Udio prašine (%)	Sumpor ukupni (%)
Kreka (lignit)	11,31	26,79	0,61
Banovići (mrki ugalj)	13,18	15,54	1,74
Đurđevik (mrki ugalj)	17,95	19,59	2,30
Kakanj (mrki ugalj)	12,5-16,07	26,25-43,46	1,40-3,85
Breza (mrki ugalj)	14,43	14,72	2,54
Zenica (mrki ugalj)	17,62	9,05-17,27	3,65
Bila (mrki ugalj)	14,5		4,69
Gračanica (lignit)	10,75		2,95
Tušnica (lignit)	11,00		2,23
Tušnica (mrki ugalj)	15,00		4,00
Kamengrad (mrki ugalj)	13,00		4,08
Ugljevik (mrki ugalj)	12,29	9,2-25,0	4,08
Stanari (lignit)	9,65		0,17
Gacko (lignit)	10,14	11,31-19,47	1,55
Miljevina (mrki ugalj)	11,70-14,80		2,20



Očekivane emisije u zrak

- <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>



Additional Files

- EMEP/EEA Guidebook Revision Log referred to changes into published chapter [65.0 KB]
- Emission Factor Database
- Part A: general guidance chapters
 - 2 Key category analysis and methodological choice 2019 [833.6 KB]
 - 3 Data collection 2019 [505.6 KB]
 - 4 Time series consistency 2019 [358.7 KB]
 - 5 Uncertainties 2019 [699.2 KB]
 - 6 Inventory management, improvement and QA QC 2019 [818.6 KB]
 - 7 Spatial mapping of emissions 2019 [996.0 KB]
 - 8 Projections 2019 [1.4 MB]
- Part B: sectoral guidance chapters
 - 1. Energy
 - 1.A Combustion
 - 1.B Fugitive emissions from fuels
 - 2. Industrial processes and product use
 - 2.A Mineral products
 - 2.B Chemical industry
 - 2.C Metal production
 - 2.D-2.L Other solvent and product use
 - 2.H Other industry production
 - 2.I Wood processing
 - 2.J Production of POPs
 - 2.K Consumption of POPs and heavy metals 2019
 - 2.L Other production, consumption, storage, transportation or handling of bulk products
 - 3. Agriculture
 - 3.B Manure management 2019 [1.4 MB]
 - 3.D Crop production and agricultural soils 2019 [977.0 KB]

Očekivane emisije

Pojrojenje	Gorivo	NO _x (mg/m ³)	SO _x (mg/m ³)	CC (mg/m ³)
Kotlovi snage >50 kW ≤ 1 MW	Ugalj Banovići	446	3.636	557
Kotlovi snage >1 MW ≤ 50 MW	Ugalj Banovići	502	3.636	223
Savremeni kotlovi <1MW - manualni	Ugalj Banovići	557	3.636	418
Savremeni kotlovi <1MW - automatski	Ugalj Banovići	460	3.636	228
Kotlovi snage >50 kW ≤ 1 MW	Ugalj Kakanj	445	5.429	557
Kotlovi snage >1 MW ≤ 50 MW	Ugalj Kakanj	501	5.429	223
Savremeni kotlovi <1MW - manualni	Ugalj Kakanj	557	5.429	418
Savremeni kotlovi <1MW - automatski	Ugalj Kakanj	459	5.429	228
Kotlovi snage >50 kW ≤ 1 MW	Ugalj Breza	446	5.307	557
Kotlovi snage >1 MW ≤ 50 MW	Ugalj Breza	501	5.307	223
Savremeni kotlovi <1MW - manualni	Ugalj Breza	557	5.307	418
Savremeni kotlovi <1MW - automatski	Ugalj Breza	460	5.307	228
Kotlovi snage >50 kW ≤ 1 MW	Ugalj Zenica	445	7.620	557
Kotlovi snage >1 MW ≤ 50 MW	Ugalj Zenica	501	7.620	223
Savremeni kotlovi <1MW - manualni	Ugalj Zenica	557	7.620	418
Savremeni kotlovi <1MW - automatski	Ugalj Zenica	459	7.620	228
Kotlovi snage >50 kW ≤ 1 MW	Ugalj Đurđevik	445	4.801	557
Kotlovi snage >1 MW ≤ 50 MW	Ugalj Đurđevik	501	4.801	223
Savremeni kotlovi <1MW - manualni	Ugalj Đurđevik	557	4.801	417
Savremeni kotlovi <1MW - automatski	Ugalj Đurđevik	459	4.801	228
Kotlovi na lož ulje snage ≤ 1MW	Lož ulje	351	491	11
Kotlovi na lož ulje snage > 1MW	Mazut	351	491	140
Kotlovi na zemni gas >50 kW ≤ 1 MW	Zemni gas	261	5	2
Kotlovi na zemni gas >1 MW ≤ 50 MW	Zemni gas	143	1	2
Kotlovi na drvo >1MW	Drvo	585	31	111
Kotlovi na drvo <1MW - manualni	Drvo	253	31	474
Kotlovi na drvo <1MW - automatski	Drvo	253	31	111

Medium size (50 kWh - 50 MWh) combustion installations, mostly used in non-residential applications (1.A.4.a.1, 1.A.4.c.1, 1.A.5.a)

Table 3.20 Tier 2 emission factors for small non-residential sources (> 50 kWh to ≤ 1 MWh) boilers burning coal fuels

NFR Source Category	Code	Tier 2 emission factors		Reference	
		Value	Unit		
1.A.4.a.1 1.A.4.c.1 1.A.5.a	Commercial				
	Forestry				
	Other, stationary (including military)				
Fuel	Coal Fuels				
Stack (if applicable)	Medium size (>50 kWh to ≤ 1 MWh) boilers				
Technologies/Practices	NA				
Region or regional conditions	NA				
Abatement technologies	NA				
Not applicable	NA				
Not estimated	NA				
		Value	Unit	95% confidence interval	
				Lower Upper	
NO _x	140	g/GJ	150	200	EMEP/EEA (2006) chapter B216
CO	2000	g/GJ	200	3000	EMEP/EEA (2006) chapter B216
PM10/OC	200	g/GJ	20	300	EMEP/EEA (2006) chapter B216
SO _x	800	g/GJ	480	1000	EMEP/EEA (2006) chapter B216
PM _{2.5}	200	g/GJ	80	300	EMEP/EEA (2006) chapter B216
PM ₁₀	180	g/GJ	76	280	EMEP/EEA (2006) chapter B216
PM _{2.5}	170	g/GJ	72	250	EMEP/EEA (2006) chapter B216
BC ₁₀	14	% of PM ₁₀	2	35	Zhang et al., 2012
Pa	200	mg/GJ	80	300	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Cl	3	mg/GJ	1	5	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Hg	7	mg/GJ	3	9	EMEP/EEA (2006) chapter B216
As	5	mg/GJ	0.5	8	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Cr	15	mg/GJ	1	20	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Cu	30	mg/GJ	8	80	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Ni	20	mg/GJ	2	3	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Se	2	mg/GJ	0.5	3	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Zn	200	mg/GJ	100	500	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Pb	170	μg/GJ	85	350	Kawamura et al., 2002
PCDD/F	400	pg-TEQ/GJ	40	500	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Benzofuran	100	mg/GJ	10	180	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Benzofuran/thene	130	mg/GJ	17	180	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Benzofuran/thene	35	mg/GJ	8	100	EMEP/EEA (2006) chapter B216
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	40	mg/GJ	4	80	EMEP/EEA (2006) chapter B216
HCB	0.62	μg/GJ	0.31	1.2	EMEP/EEA (2006) chapter B216

Note: 800 g/GJ of sulphur dioxide corresponds to 1.2 % S of coal fuel of lower heating value on a dry basis, 24 GJ/GJ and average sulphur retention in ash as value of 0.1. The TSP, PM₁₀, and PM_{2.5} emission factors have been revised and it is unclear whether they represent fugitive PM or total PM (direct and condensable emissions).

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019



Analiza nepravilnosti

Parametar	Broj mjerenja prema procentualnom odstupanju izmjerenih emisija u odnosu na proračunate emisije			
	Do $\pm 20\%$	Od $\pm 20-50\%$	Od $\pm 50-100\%$	$>\pm 100\%$
SO ₂	21	37	61	97
NO _x	12	28	50	97
ČČ	1	1	10	90
CO	8	20	37	107



Zaključci i moguća rješenja

Izdavanje ovlaštenja za mjerenje

Formiranje komisije (nezavisni eksperti, profesori na fakultetima, državnim institutima)

Kriteriji za ovlaštenje: akreditacija, min. 3 zaposlenih za mjerenja, npr. 2 inženjera i jedan tehničar, oprema, dužine sonde i popis opreme sa šiframa, rješenje koja postrojenja može mjeriti – u odnosu na opremu i ljudstvo itd.

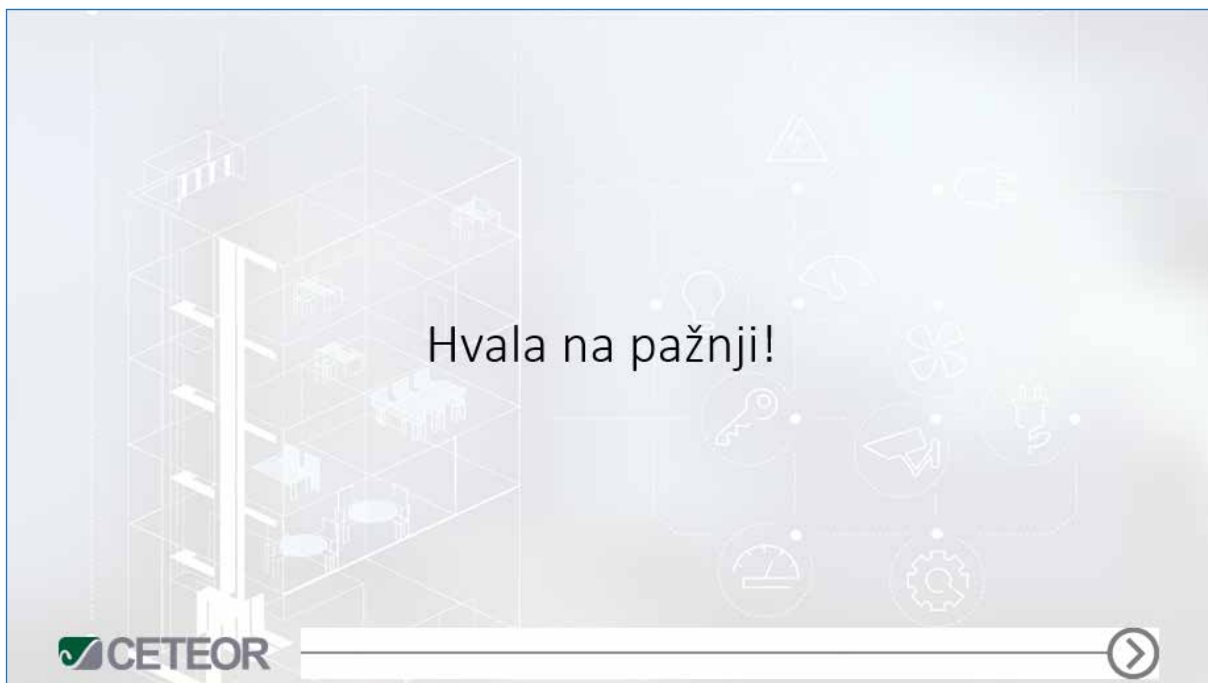
Elektronski sistem popunjavanja izvještaja (izvještaj se ne može zaključiti ako se sve stavke ne popune)

Ukoliko rezultat odstupa od očekivanih vrijednosti, da se obavijesti komisija

Provjera izvještaja od strane komisije

Ukoliko se pokažu manipulacije sa rezultatima ukidanje ovlaštenja za mjerenja na duži vremenski period i novčana kazna laboratoriji





Jasmina Rinkovec, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Silva Žužul, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Magdalena Vincetić, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Gordana Pehnc, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Utjecaj zatvaranja zbog COVID-19 na razine metala u zraku Zagreba

Impact of COVID-19 lockdown on metal levels in Zagreb air

SAŽETAK / ABSTRACT

COVID-19 pandemija utjecala je na živote i aktivnosti ljudi lijekom 2020. godine na način koji nije zabilježen posljednjih godina. Mnoge vlade proglasile su djelomično ili potpuno zatvaranje (eng. lockdown) na različita razdoblja te je u skadu s tim Stožer civilne zaštite Republike Hrvatske u drugoj polovici ožujka 2020. godine donio odluke, mjere i propise kao pokušaj zaustavljanja prijenosa i širenja bolesti. Stroge mjere obustave rada škola, fakulteta i vrtića kao i javnog prijevoza te svih djelatnosti, osim najnužnijih, u gradu Zagrebu trajale su od sredine ožujka do sredine svibnja 2020. godine. Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi postoji li utjecaj zatvaranja zbog epidemije COVID-19 na razine metala u različitim dijelovima grada Zagreba. Proučavani su podaci dnevnih masenih koncentracija mangana (Mn), željeza (Fe), nikla (Ni), bakra (Cu), cinka (Zn), arsena (As), kadmija (Cd) i olova (Pb) u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica (lebdeće čestice aerodinamičkog promjera manjeg od 10 μm) s mjernih postaja lokalne mreže grada Zagreba (Ksaverska cesta, Đorđićeva ulica, Siget, Susedgrad) u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. godine te su uspoređeni s podacima za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. godine. Srednje vrijednosti masenih koncentracija metala varirale su ovisno o karakteru same lokacije i aktivnostima u blizini mjernih postaja. Na mjernoj postaji Ksaverska cesta više vrijednosti dobivene su za sve metale osim bakra dok su statistički značajno više bile za arsen (31 %), željezo (38 %) i cink (31 %) tijekom perioda strogog zatvaranja u usporedbi s trogodišnjim prosjekom (2017. – 2019.) za isto razdoblje. Statistički značajno niže srednje vrijednosti masenih koncentracija bakra (51 %), cinka (20 %) i željeza (12 %) dobivene su na mjernoj postaji Đorđićeva ulica te na mjernoj postaji Siget za mangan (26 %), bakar (60 %), cink (35 %) i željezo (38 %). Na mjernoj postaji Susedgrad masene koncentracije metala bile su u rasponima koncentracija iz ranijih godina, a budući da je ta mjerna postaja karakterizirana kao urbana industrijska postaja može se zaključiti da su se osnovne djelatnosti u tom dijelu grada odvijale više-manje neometano. Više vrijednosti masenih koncentracija metala na Ksaverskoj cesti, iako se ona karakterizira kao urbana pozadinska postaja, mogu se objasniti građevinskim radovima koji su se odvijali tijekom 2020. godine u sklopu projekta „Istraživačko-edukacijski centar za zdravstvenu i medicinsku ekologiju i zaštitu od zračenja – Rekonstrukcija i dogradnja Instituta za

medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu". Niže vrijednosti masenih koncentracija metala povezanih s trošenjem kočnica i automobilskih guma na mjernim postajama Đorđićeva ulica i Siget mogu se povezati s manjim prometom tijekom strogog zatvaranja, budući da se te postaje karakteriziraju kao urbane mjerne postaje s povećanim prometom. Iako ovi rezultati pokazuju da je zatvaranje imalo utjecaj na masene koncentracije nekih metala, bitno je napomenuti da su same razine metala u gradu Zagrebu vrlo niske pa su stoga i pronađene razlike masenih koncentracija među navedenim godinama, iako statistički značajne, zapravo male u odnosu na granične i ciljne vrijednosti propisane u svrhu zaštite ljudskog zdravlja.

Ključne riječi: bakar, cink, PM₁₀, urbane mjerne postaje, željezo

The aim of this study was to determine whether there was an impact of COVID-19 lockdown at the metal levels in different parts of the city of Zagreb. Daily mass concentrations of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd and Pb in the PM₁₀ fraction of particulate matter from monitoring stations of the local network of the city of Zagreb (Ksaverska cesta, Đorđićeva ulica, Siget, Susedgrad) were studied in the period from March 30th 2020 to 11th May 2020 and were compared with data for the same period during 2017, 2018 and 2019. The results show that the lockdown had a short term effect on the reduction of mass concentrations of

metals (Fe, Zn, Cu) at traffic monitoring stations (Đorđićeva ulica, Siget), while at the industrial monitoring station (Susedgrad) mass concentrations of metals did not decrease so we can conclude that the basic activities in that part of the city took place more or less undisturbed.

Keywords: copper, iron, PM₁₀, urban monitoring stations, zinc

1. UVOD

Pandemija COVID-19 utjecala je na živote i aktivnosti ljudi tijekom 2020. godine na način koji nije zabilježen posljednjih godina. Nakon što su Kineske vlasti 7. siječnja 2020. godine službeno priopćile otkriće novog koronavirusa samo je bilo pitanje vremena kada će se isti pojaviti i u drugim državama svijeta. Mnoge vlade proglasile su djelomično ili potpuno zatvaranje (eng. lockdown) na različita razdoblja te je u skadu s tim Stožer civilne zaštite Republike Hrvatske u drugoj polovici ožujka 2020. godine donio odluke, mjere i propise kao pokušaj zaustavljanja prijenosa i širenja bolesti. Tijekom tog zatvaranja svjedočili

smo kratkotrajnom poboljšanju kvalitete zraka u mnogim gradovima svijeta [1-6]. Prvi slučaj zaraze koronavirusom u Republici Hrvatskoj zabilježen je 25. veljače 2020. godine. "Odluku o proglašenju epidemije bolesti COVID-19 uzrokovana virusom SARS-CoV-2" ministar zdravstva donosi 11. ožujka, a istog dana svjetska zdravstvena organizacija proglašava globalnu pandemiju. Nakon toga donesena je odluka o obustavljanju nastave u školama i na fakultetima, zatvorena većina ugostiteljskih objekata i trgovina, zabranjen rad kulturnih institucija i uslužnih djelatnosti, zaustavljena su sva sportska natjecanja, a 21. ožujka donesena

je mjera strogog ograničavanja zadržavanja na ulicama i drugim javnim mjestima na kojima se može istovremeno kretati i zadržavati veći broj osoba. Dan nakon te mjere razoran potres jačine 5,5 stupnjeva po Richteru pogodio je Zagreb te je obustavljen sav javni promet, osim nekoliko izvanrednih gradskih autobusnih linija. 23. ožujka donesena je mjera zabrane napuštanja mjesta prebivališta i stalnog boravka, osim za vitalne i poslovne aktivnosti i za osobe s posebnim propusnicama. Stroge navedene mjere bile su na stazi do 11. svibnja kada se nastava u školama i na fakultetima počinje provoditi mješovitim modelom, dijelom kao oblik nastave koju učenici pohađaju u školi, a dijelom kao nastava na daljinu, u cijeloj Hrvatskoj, dopušten je rad knjižnica, muzeja, galerija, knjižara te se ukida „Odluka o zabrani napuštanja mjesta prebivališta i stalnog boravka u Republici Hrvatskoj“ [7].

Cilj ovog istraživanja bio je utvrditi postoji li utjecaj zatvaranja zbog epidemije COVID-19 na razine metala u različitim dijelovima grada Zagreba. Proučavani su podaci dnevnih masenih koncentracija mangana (Mn), željeza (Fe), nikla (Ni), bakra (Cu), cinka (Zn), arsena (As), kadmija (Cd) i olova (Pb) u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. godine (zbog potresa koji se dogodio u gradu Zagrebu te epizode donosa pustinjskog pijeska nismo mogli koristiti podatke tijekom cijelog perioda zatvaranja).

2. MATERIJALI I METODE

3.1. Mjerne postaje

Mjerenja na gradskoj mreži za praćenje kvalitete zraka provode se radi ocjenjivanja razine onečišćenosti zraka u Gradu Zagrebu, izvještavanja o kvaliteti zraka i informiranja javnosti, a prema Programu mjerenja razine onečišćenosti zraka na području Grada Zagreba [8]. Broj mjernih postaja za trajno praćenje kvalitete zraka u nekom naselju ovisi o veličini tog naselja kao i o konfiguraciji terena.



Slika 1: Položaj mjernih postaja i onečišćujućih tvari prema Programu mjerenja razine onečišćenosti zraka na području Grada Zagreba iz 2015. godine (Službeni glasnik Grada Zagreba 22/15)

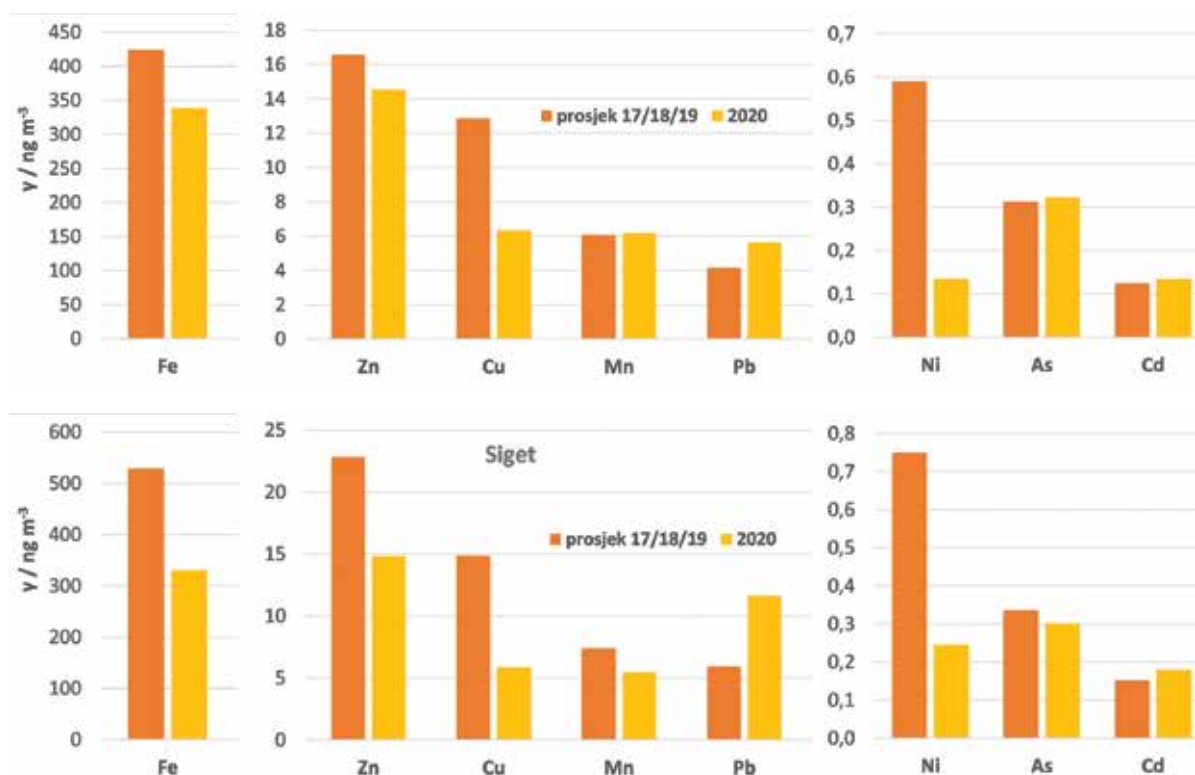
Postaje su karakterizirane s obzirom na izvor emisija kao jedna pozadinska (Ksaverska cesta), tri prometne (Đorđićeva ulica, Siget, prilaz baruna Filipovića) te dvije industrijske na istoku i zapadu grada (Peščenica i Susedgrad). (dodati ref gradskog izvještaja iz 2020).

Na slici 1. prikazana su onečišćenja koja se sakupljaju i analiziraju na mjernim postajama gradske mjerne mreže, a u ovom radu prikazani su podaci s postaja na kojima se određuju metali (Đorđićeva ulica, Ksaverska cesta, Siget i Susedgrad).

3.2. Sakupljanje, priprava i analiza uzoraka

Za sakupljanje PM₁₀ frakcije lebdećih čestica korišteni su filtri od kvarcnih vlakana promjera 47 mm koji su pripremljeni tako da se kondicioniraju 48 h prije vaganja pri temperaturi 20 °C (±1) i 50 % (± 5) relativne vlažnosti zraka, zatim se izvažu te se kondicioniraju 24 h pri istim uvjetima te ponovo važu. Tako pripremljeni filtri stavljaju se u sakupljač (Low Volume Sampler, Sven Leckel) kojem je protok zraka 55 m³ po danu. S obzirom da analiza metala spektrometrijom masa uz induktivno spregnutu plazmu zahtijeva prevođenje čvrstih uzoraka u otopinu,

dobiveni uzorak PM₁₀ frakcije lebdećih čestica nakon vaganja, razgrađen je mikrovalovima pri povišenom tlaku i temperaturi (ULTRAClave, Milestone). Prije početka analize provedeno je ugađanje instrumenta kako bi se postigla zadovoljavajuća osjetljivost i smanjio utjecaj očekivanih interferencija pri mjerenjima. Za analizu su odabrani izotopi mase 55 za mangan, 56 za željezo, 60 za nikel, 65 za bakar (Cu), 66 za cink, 75 za arsen, 111 za kadmij i 206 za olovo. Uzorci su analizirani uz dodatak unutarnjih standarda za što su upotrijebljeni skandij, germanij i rodij [9,10].



Slika 2: Srednje vrijednosti masenih koncentracije metala u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. te prosjek za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. na mjernim postajama Đorđićeva ulica i Siget

3. REZULTATI

Srednje vrijednosti masenih koncentracija metala varirale su ovisno o karakteru same lokacije i aktivnostima u blizini mjernih postaja. Na slici 2 prikazane su srednje vrijednosti masenih koncentracije metala u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. te prosjek za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. godine na mjernim postajama Siget i Đorđićeva ulica. Dobivene su statistički značajno niže srednje vrijednosti masenih koncentracija bakra (51 %), cinka (20 %), željeza (21 %) i Ni (77%) na mjernoj postaji Siget, te mangana (26 %), bakra (60

%), cinka (35 %), željeza (38 %) i Ni (67%) na mjernoj postaji Siget. Niže vrijednosti masenih koncentracija metala povezanih s trošenjem kočnica i automobilskih guma (Cu, Zn, Fe) mogu se povezati sa smanjenim prometom tijekom strogog zatvaranja, budući da su postaje karakterizirane kao urbane mjerne postaje s povećanim prometom [2]. Za nikel je u 2020. godini utvrđen velik broj uzoraka ispod granice detekcije zbog čega su dobivene statistički značajne razlike masenih koncentracija između 2020. godine te prosjeka za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. godine.



Slika 3: Srednje vrijednosti masenih koncentracije metala u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. te prosjek za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. na mjernoj postaji Susedgrad

Na mjernoj postaji Susedgrad masene koncentracije metala bile su u rasponima koncentracija iz ranijih godina osim za Pb (slika 3), a budući da je ta mjerna postaja karakterizirana kao urbana industrijska postaja može se zaključiti da su se osnovne djelatnosti u tom dijelu grada odvijale više-

manje neometano. Statistički značajne razlike pronađene za Pb treba dodatno istražiti kako bi se otkrilo zbog čega je, u proučavanom periodu, nastala značajna razlika u masenim koncentracijama tijekom 2020. u odnosu na trogodišnji prosjek (2017., 2018., i 2019. godine).



Slika 4: Srednje vrijednosti masenih koncentracije metala u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. te prosjek za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. na mjernoj postaji Susedgrad

Na pozadinskoj mjernoj postaji Ksaverska cesta dobivene su statistički značajne niže vrijednosti masenih koncentracija bakra (23%) te statistički značajno više srednje vrijednosti masenih koncentracija željeza (38 %), cinka (31 %), mangana (72 %), arsena (31%) i nikla (72%). Kao i kod prometnih mjernih postaja, i na pozadinskoj mjernoj postaji je utvrđen velik broj uzoraka nikla koji su ispod granice detekcije tijekom trogodišnjeg prosjeka zbog čega su dobivene velike razlike masenih koncentracija između godina. Za ostale metale, više vrijednosti masenih koncentracija na Ksaverskoj cesti, iako se ona karakterizira kao urbana pozadinska postaja, mogu se objasniti građevinskim radovima koji su se odvijali tijekom

2020. godine u sklopu projekta „Istraživačko-edukacijski centar za zdravstvenu i medicinsku ekologiju i zaštitu od zračenja – Rekonstrukcija i dogradnja Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu”.

Tablica 1 prikazuje razine masenih koncentracija metala za cijelu 2020. godinu odnosno trogodišnji prosjek za 2017., 2018., i 2019. godinu. Granične i ciljne vrijednosti masenih koncentracija Pb, Ni, As i Cd u zraku propisane su „Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku” te za vrijeme usrednjavanja od kalendarske godine iznose redom: 0,5 µgm⁻³, 20 ngm⁻³, 6 ng m⁻³ te 5 ng m⁻³ [11]. Može se uočiti da su razine metala navedenih u Uredbi puno niže od njihovih graničnih i ciljnih vrijednosti. Zrak je s obzirom na metale ocijenjen kao I kategorija - čist ili neznatno onečišćeni zrak što znači da nisu prekoračene granične i ciljne vrijednosti.

Tablica 1. Srednje vrijednosti masenih koncentracija metala na lokalnoj mjernoj mreži grada Zagreba za 2020. godinu te prosjek za 2017., 2018. i 2019. godinu

		Fe	Zn	Cu	Mn	Pb	Ni	As	Cd
		y / ng m ³							
Đorđićeva ulica	prosjek 17/18/19	440,7	20,5	15,4	5,9	5,2	0,55	0,41	0,16
	2020	374,8	16,7	10,8	5,4	5,4	0,21	0,31	0,16
Siget	prosjek 17/18/19	555,9	30,7	18,5	7,3	8,0	0,91	0,44	0,20
	2020	482,4	23,5	13,6	6,5	7,5	0,54	0,32	0,21
Susedgrad	prosjek 17/18/19	363,7	23,0	11,9	7,0	9,4	0,75	0,44	0,19
	2020	399,1	20,5	9,6	8,7	12,0	0,56	0,38	0,19
Ksaverska cesta	prosjek 17/18/19	240,4	14,3	9,2	3,8	4,8	0,28	0,35	0,13
	2020	294,7	15,1	8,1	5,2	4,7	0,21	0,30	0,14

4. ZAKLJUČAK

Proučavani su podaci dnevnih masenih koncentracija Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd i Pb u PM₁₀ frakciji lebdećih čestica s mjernih postaja lokalne mreže grada Zagreba (Ksaverska cesta, Đorđićeva ulica, Siget, Susedgrad) u razdoblju od 30. ožujka 2020. godine do 11. svibnja 2020. godine te su uspoređeni s podacima za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. godine. Niže vrijednosti masenih koncentracija nekih metala na postajama okarakteriziranim kao prometne (Đorđićeva ulica, Siget) povezane su s manjim trošenjem kočnica i automobilskih guma zbog manjeg prometa tijekom strogog zatvaranja

U dijelu grada kod industrijske postaje (Susedgrad) osnovne djelatnosti odvijale su se više-manje neometano tijekom zatvaranja. Više vrijednosti masenih koncentracija na urbanoj pozadinskoj postaji (Ksaverska cesta) dobivene su zbog građevinskih radova koji su se odvijali tijekom 2020. godine. Zrak je ocijenjen I. kategorijom na svim navedenim mjernim postajama s obzirom na metale za koje postoje propisane granične i ciljne vrijednosti (Pb, Ni, As i Cd). Iako rezultati pokazuju da je zatvaranje imalo utjecaj na masene koncentracije nekih metala, bitno je napomenuti da su same razine metala u gradu Zagrebu vrlo niske pa su stoga i pronađene razlike masenih koncentracija među navedenim godinama, iako statistički značajne, zapravo male u odnosu na granične i ciljne vrijednosti propisane u svrhu zaštite ljudskog zdravlja.

LITERATURA

1. R. Sumana, M. Javaidb, S.K. Choudharyc, A. Haleemb, R.P. Singhd, D. Nandana, S. Ali, S. Rabb, *Impact of COVID-19 Pandemic on particulate matter (PM) concentration and harmful gaseous components on Indian metro, Sustainable Operations and Computers 2, (1–11), 2021.*
2. T.P.M. Nguyen, T.H. Bui, M.K. Nguyen, T.H. Nguyen, V.T. Vu, H.L. Pham, *Impact of Covid-19 partial lockdown on PM_{2.5}, SO₂, NO₂, O₃, and trace elements in PM_{2.5} in Hanoi, Vietnam, Environmental Science and Pollution Research, April 8 (1–11), 2021.*
3. J.P. Putaud, L. Pozzoli, E. Pisoni, S.M. Dos Santos, F. Lagler, G. Lanzani, U. Dal Santo, A. Colette, *Impacts of the COVID-19 lockdown on air pollution at regional and urban background sites in northern Italy, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, October 2020.*
4. M. Ródenas, R. Soler, E. Borrás, T. Vera, J.J. Diéguez, A. Muñoz, *Assessment of COVID-19 lockdown impact on the air quality in eastern Spain: PM and BTX in urban, suburban and rural sites exposed to different emissions, Atmosphere 13 (1) 97, 2022.*
5. G. Donzelli, L. Cioni, M. Cancellieri, A. Llopis-Morales, M. Morales-Suárez-Varela, *Air quality during Covid-19 lockdown, Atmosphere 11(10) 1118, 2020.*

6. L. Yao, S. Kong, H. Zheng, N. Chen, B. Zhu, K. Xu, W. Cao, Y. Zhang, M. Zheng, Y. Cheng, Y. Hu, Z. Zhang, Y. Yan, D. Liu, T. Zhao, Y. Bai, S. Qi, *Co-benefits of reducing PM_{2.5} and improving visibility by COVID-19 lockdown in Wuhan*, *Climate and Atmospheric Science*, 4:40, 2021.
7. www.iusinfo.hr/aktualno/u-sredistu/41376
8. *Službeni glasnik grada Zagreba* 22/15
9. V. Vadić, S. Žužul, J. Rinkovec, G. Pehnec, *Metali u sitnim česticama u zraku Zagreba*, *Sigurnost*, 55-1, (9-17), 2013.
10. I. Bešlić, J. Burger, F. Cadoni, D. Centioli, I. Kranjc, B. Van den Bril, J. Rinkovec, K. Šega, T. Zang, S. Žužul, D. Glatke, *Determination of As, Cd, Ni and Pb in PM₁₀ – comparison of different sample work-up and analysis methods*, *Gefahrstoffe*, 81 (227-233), 2020.
11. *Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku*, *Narodne novine* 77/2020

- K. Džepina**, University of Nova Gorica, Center for Atmospheric Research, Ajdovscina, Slovenia;
Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany
- V. Moschos**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland
- A. Tobler**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland;
Datalystica Ltd., Villigen, Switzerland
- F. Canonaco**, Datalystica Ltd., Villigen, Switzerland; Paul Scherrer Institute, Laboratory of
Atmospheric Chemistry (LAC), Villigen, Switzerland
- D. Bhattu**, Indian Institute of Technology Jodhpur, India; Paul Scherrer Institute, Laboratory of
Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- R. Casotto**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland
- A. Vlachou**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- S. Giannoukos**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland;
Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zurich, Switzerland
- T. Cui**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- M.I. Manousakas**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- H. Lamkaddam**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- K. Dällenbach**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- M. Furger**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- J. Huremović**, University of Sarajevo, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences
and Mathematics, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- S. Žero**, University of Sarajevo, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and
Mathematics, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- E. Omerčić**, Federal Hydrometeorological Institute of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- S. Salihagić**, Institute for Public Health of the Sarajevo Canton, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- A. Mašić**, University of Sarajevo, Mechanical Engineering Faculty, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
- G. Pehcec**, Institute for Medical Research and Occupational Health, Environmental Hygiene Unit, Zagreb, Croatia
- R. Godec**, Institute for Medical Research and Occupational Health, Environmental Hygiene Unit, Zagreb, Croatia
- I. Jakovljević**, Institute for Medical Research and Occupational Health, Environmental Hygiene Unit, Zagreb, Croatia
- S. Žužul**, Institute for Medical Research and Occupational Health, Environmental Hygiene Unit, Zagreb, Croatia
- J. Rinkovec**, Institute for Medical Research and Occupational Health, Environmental Hygiene Unit, Zagreb, Croatia
- A. Kasper-Giebl**, Institut für Chemische Technologien und Analytik, Technische Universität Wien, Austria
- P. Redl**, Vienna University of Technology, Division Environmental and Process Analytics
Environmental Analytics, Vienna, Austria
- S. Frka**, Ruđer Bošković Institute, Division for Marine and Environmental Research, Zagreb, Croatia
- G. Uzu**, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France,
- J.L. Jaffredo**, Institute for Environmental Geosciences (IGE), Grenoble, France,
- K. Pavlović**, University of Rijeka, Department of Biotechnology, Rijeka, Croatia,
- N. Požar**, University of Rijeka, Department of Biotechnology, Rijeka, Croatia,
- J.J. Castillo**, Clean Air Institute, Washington, DC, United States; Pan-American Health Organization,
Washington, DC, United States

2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima

 2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities

S. Sanchez, Clean Air Institute, Washington, United States; Environmental Defense Fund DC, Washington, DC, United States

N. Kittner, University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Environmental Sciences and Engineering, Chapel Hill, NC, United States

S. Szidat, University of Bern, Department of Chemistry and Biochemistry & Oeschger Centre for Climate Change Research, Bern, Switzerland

G. Salazar, University of Bern, Department of Chemistry, Biochemistry and Pharmaceutical Sciences & Oeschger Centre for Climate Change Research, Bern, Switzerland

S. Borrmann, Johannes Gutenberg University, Max Planck Institute for Chemistry, Particle Chemistry, Mainz, Germany

U. Pöschl, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany

U. Baltensperger, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland

J.G. Slowik, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland,

I. El Haddad, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland,

A.S.H. Prevot, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland,

G. Močnik, University of Nova Gorica, Center for Atmospheric Research, Ajdovscina, Slovenia; Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

Zagađenje zraka na Zapadnom Balkanu: lekcije naučene iz istraživanja atmosferskog aerosola u gradu Sarajevu, BiH

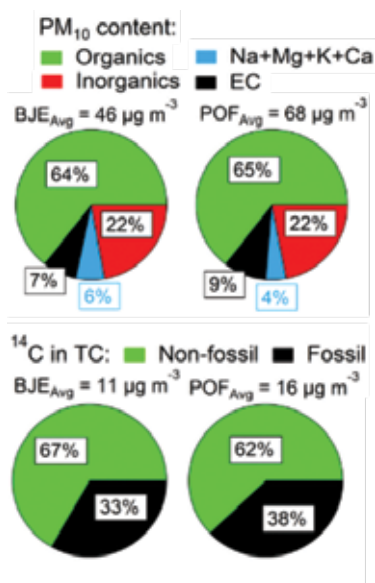
Air pollution in the Western Balkans: lessons learned from atmospheric aerosol research in the city of Sarajevo, BiH

ABSTRACT

Atmospheric aerosols have well documented detrimental effects on human health, ecosystems and air quality and are the key uncertainty in assessing the anthropogenic influence on climate change. Particularly during the cold weather season, urban centers in countries of the Western Balkans region such as Bosnia and Herzegovina (BiH) are experiencing some of the globally poorest air quality due to the extensive use of solid fuels and old vehicle fleet. The city of Sarajevo is the capital of BiH and is situated in Southeastern Europe within a plain surrounded by mountains. In the winter months (domestic heating season), topography and meteorology cause the pollutants to be trapped within the city plain. Recent analysis with an US EPA BenMAP model applied to BiH found that an annual decrease of 50% in fine aerosol would save 4760+ lives and costs of \$2.3B annually. Similarly, a recent World Bank report estimated that in BiH, air pollution causes 3300 deaths and

2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima

2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities 



costs 8.2% of GDP annually. Countries of the Western Balkans lack state-of-the-art atmospheric sciences research despite high levels of ambient pollution and position within the EU borders, which makes it imperative to understand the emission sources, processing and the adverse health effects of their atmospheric aerosol pollution.

This presentation will highlight the Sarajevo Canton Winter Field Campaign 2018 (SAFICA), the first Sarajevo, BiH project since 1992 aiming to yield crucial, not previously available information about aerosol emission sources and atmospheric transformations through combination of data collected online in the field (black carbon and particle number and size distribution) and offline laboratory measurements (physicochemical characterization of daily filter samples). Main SAFICA results show that ~3/4 of aerosol mass is carbonaceous (organic aerosol + black carbon)

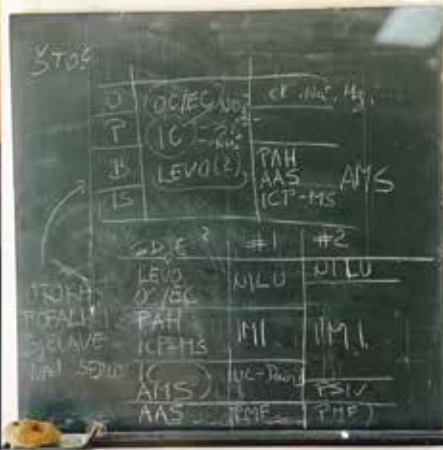
and ~2/3 of total carbon mass is from non-fossil sources. Further, SAFICA aerosol has high loadings of black carbon and toxic species, indicating strong and diverse combustion sources and likely a major public health danger. Finally, this presentation will show how SAFICA knowledge gaps will be overcome in a future Sarajevo, BiH project Sarajevo Aerosol Experiment: Composition, Sources and Health Effects of Atmospheric Aerosol (SAAERO) (EU H2020 MSCA IF grant #101028909).

Air pollution in the Western Balkans: lessons learned from atmospheric aerosol research in the city of Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

K. Džepina^{1,2,3}, V. Moschos⁴, A. Tobler^{5,6}, F. Canonaco^{5,6}, D. Bhattu^{7,8}, R. Casotto⁹, A. Vlachou⁹, S. Giannoukos^{10,11}, T. Cu¹², M.J. Manousakas¹³, H. Lamkaddam¹⁴, K. Dillenbach¹⁵, M. Furger¹⁶, J. Huremović¹⁷, S. Žero¹⁸, E. Omerić¹⁹, S. Salihagić²⁰, A. Mašić²¹, G. Pehneć²², R. Godec²³, I. Jakovljević²⁴, S. Žužul²⁵, I. Rinkovec²⁶, A. Kasper-Giebl²⁷, P. Redl²⁸, S. Frka²⁹, G. Urušić³⁰, J.L. Jaffrezo³¹, K. Pavlović³², N. Požar³³, J.J. Castillo³⁴, S. Sanchez³⁵, N. Kittner³⁶, S. Szidat³⁷, G. Salazar³⁸, S. Borrmann³⁹, U. Pöschl⁴⁰, J.G. Slowik⁴¹, U. Baltensperger⁴², I. El Haddad⁴³, A.S.H. Prevot⁴⁴, and G. Močnik⁴⁵

2nd Regional Symposium on Planning Air Quality in Cities, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, February 4, 2022


¹University of Nova Gorica, Slovenia; ²Max Planck Institute for Chemistry, Germany; ³Paul Scherrer Institute; ⁴Datalystica Ltd.; ⁵ETH; and ⁶University of Bern, Switzerland; ⁷Indian Institute of Technology Jodhpur, India; ⁸Chemistry Dept., Faculty of Science; and ⁹Mechanical Engineering Faculty, University of Sarajevo; ¹⁰Federal Hydrometeorological Institute of Bosnia and Herzegovina; and ¹¹Institute for Public Health of the Sarajevo Canton; Bosnia and Herzegovina; ¹²Institute for Medical Research and Occupational Health; ¹³Ruđer Bošković Institute; and ¹⁴University of Rijeka, Croatia; ¹⁵Vienna University of Technology, Austria; ¹⁶Institute for Environmental Geosciences, France; ¹⁷Clean Air Institute, Washington DC; and ¹⁸University of North Carolina at Chapel Hill, USA



Sarajevo on Dec 28, 2016
Photo: Fehim Demir (EPA)

First SAFICA All hands mtg, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Sarajevo, Jan 26, 2018
Photo: Katja Džepina (UNG)

World Health Organization, 2014



- **Annually 7M premature deaths due to air pollution** <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>
 - the world's single biggest environmental threat to human health
- Strong link between air pollution and cardiovascular diseases, cancer, etc.
- Unequal access to clean air
 - The largest air pollution-related burden: *low- and middle-income states* (SE Asia, Western Pacific)
- Low income *women, children and elderly* particularly vulnerable
- In USA: 3x as many adult African-Americans die from asthma; 5x as many children
 - 1/3 of African-American children in inner cities have asthma


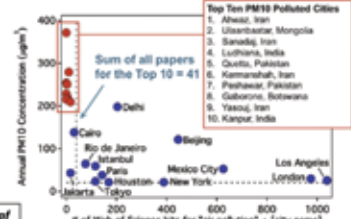


Figure by Christo Hasenkopf



Top Ten PM10 Polluted Cities

1. Ahwaz, Iran
2. Ulaanbaatar, Mongolia
3. Sanatq, Iran
4. Lucknow, India
5. Quetta, Pakistan
6. Kermanshah, Iran
7. Peshawar, Pakistan
8. Gaborone, Botswana
9. Yazouj, Iran
10. Kanpur, India

Sum of all papers for the Top 10 = 41

Hasenkopf et al., Atmos. Environ., 2016

World Health Organization, 2021

- **2021 global update on WHO Air Quality Guidelines made an assessment for:**
 - **Health effects of air pollution and thresholds for health-harmful levels of pollutants**
- **Gas-phase pollutants** [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
 - **Ozone (O₃):** breathing problems, asthma, reduced lung function and diseases
 - **Nitrogen dioxide (NO₂):** bronchitis in asthmatic children, reduced lung function
 - **Sulfur dioxide (SO₂):** inflammation of respiratory system, reduced lung functions, irritation
- **Particle-phase pollutants**
 - **PM_{2.5} (PM₁₀):** particulate matter (aerosol) with an aerodynamic diameter <2.5 (10) µm
 - Well documented detrimental effects on human health (also ecosystems and air quality)
 - PM_{2.5} is highly correlated with mortality: delivery of toxins to deep lungs and blood stream
- Thus here focus on PM physicochemical characterization

Bosnia and Herzegovina (BiH)

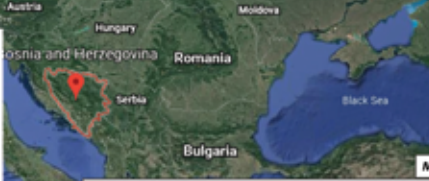
- Mountainous country in the Western Balkans, encompassing the central Dinaric Alps
- Regular episodes of some of the lowest winter EU air qualities (Banja Luka, Sarajevo, Tuzla,...)
- Recent studies applied to BiH found that annually:
 - US EPA BenMAP model: 50% decrease in PM_{2.5} would save 4760+ lives and \$2.3B
 - World Bank Report: air pollution causes 3300 deaths and costs 8.2% of GDP
- Countries of the Western Balkans lack state-of-the-art atmospheric sciences research
 - High levels of ambient pollution
 - Position within the EU borders

Aerosol Direct Radiative Experiment (ADRIEX) 2004
 Regional Northern Adriatic pollution fine aerosols:

- East (East Europe): ammonium sulphate and OA
- West (Po Valley): ammonium nitrate and OA

Great need for in situ measurements: "The addition of an instrument to measure directly black carbon in situ, ... , aerosol microphysics instrument suite."

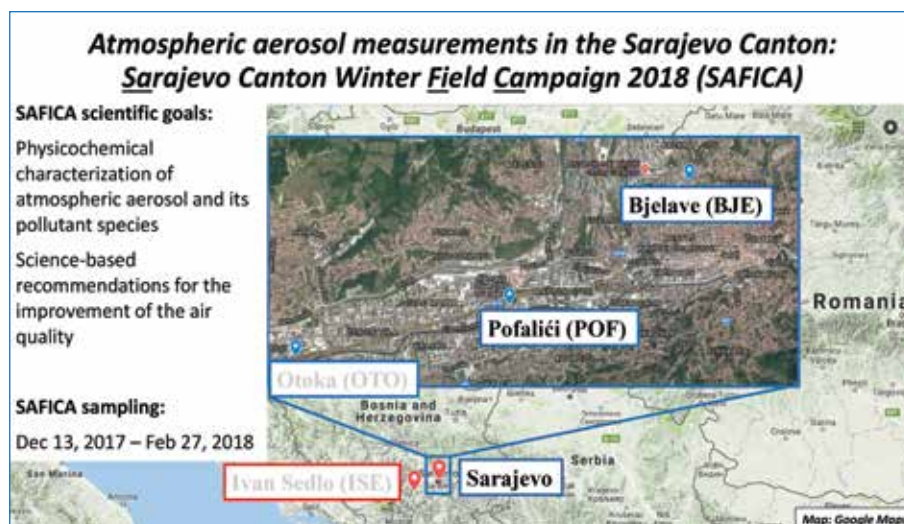
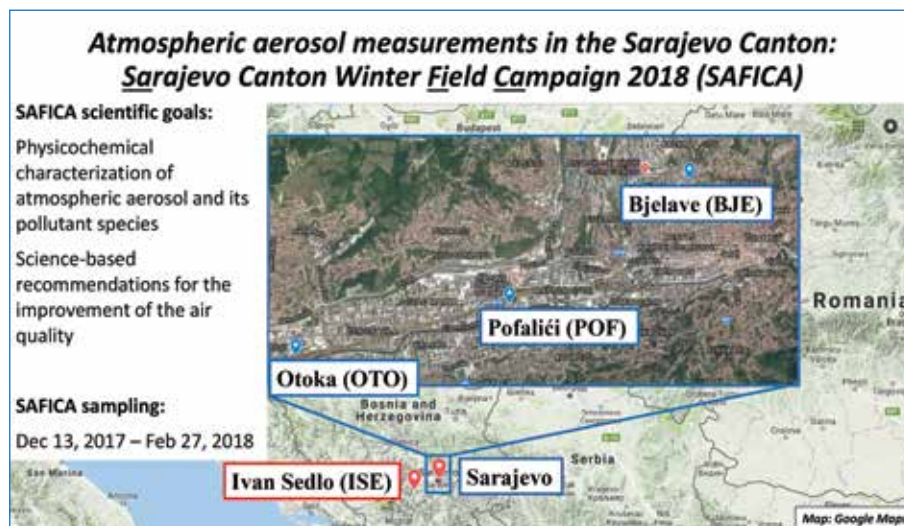
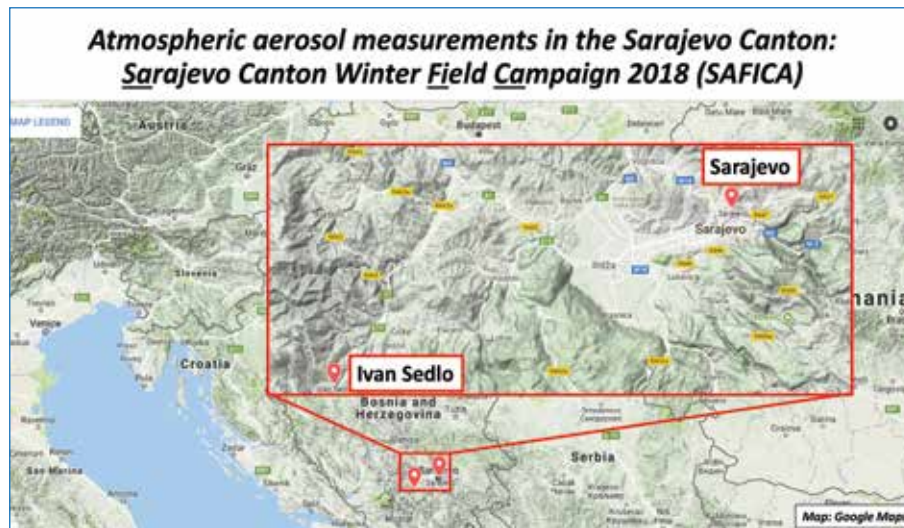
Crosier et al., Q. J. R. Meteorol. Soc., 2007.
 Highwood et al., Q. J. R. Meteorol. Soc., 2007

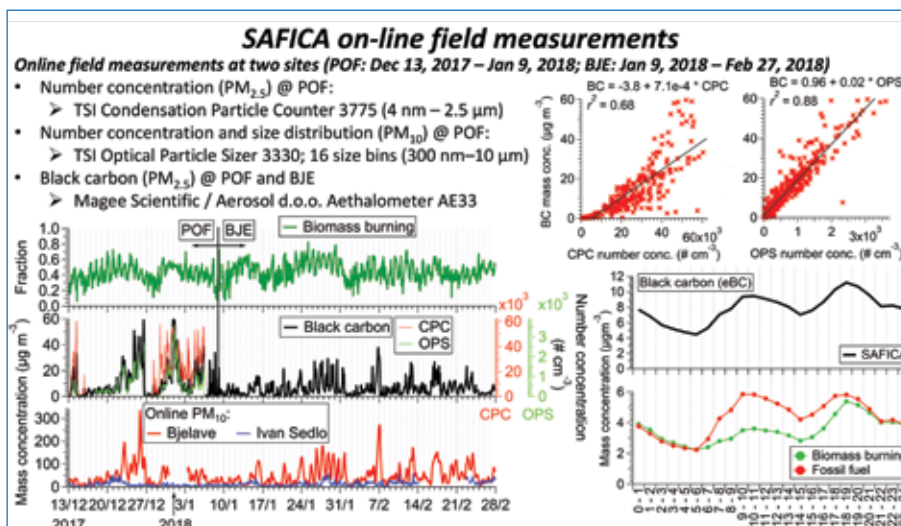
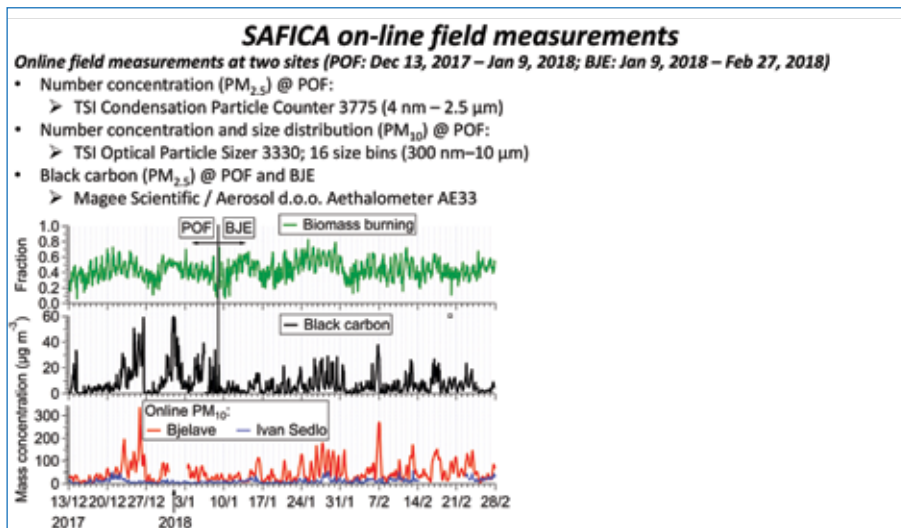


Map: Google Earth

Pavlović et al., Analysis of the Impact of Air Pollution on Human Health in BiH, 2. Students' Congress of Environmental Health, Rijeka, Croatia, 2018.

World Bank Report: Air pollution management in BiH, © World Bank, 2019.





SAFICA offline laboratory analyses

Aerosol composition measured in EU and US Air Quality Networks

Continuous, daily (24 hrs) PM_{10} filter samples

- ISE: approx. weekly PM_{10} filter samples

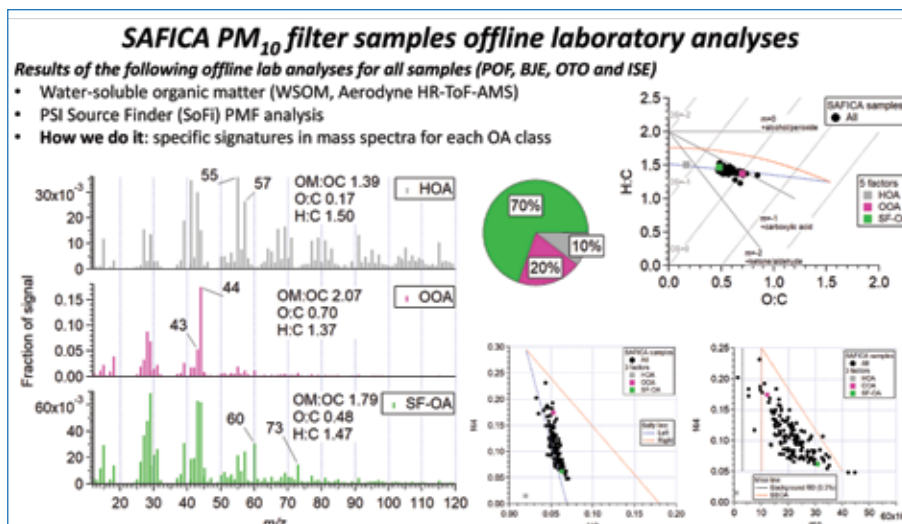
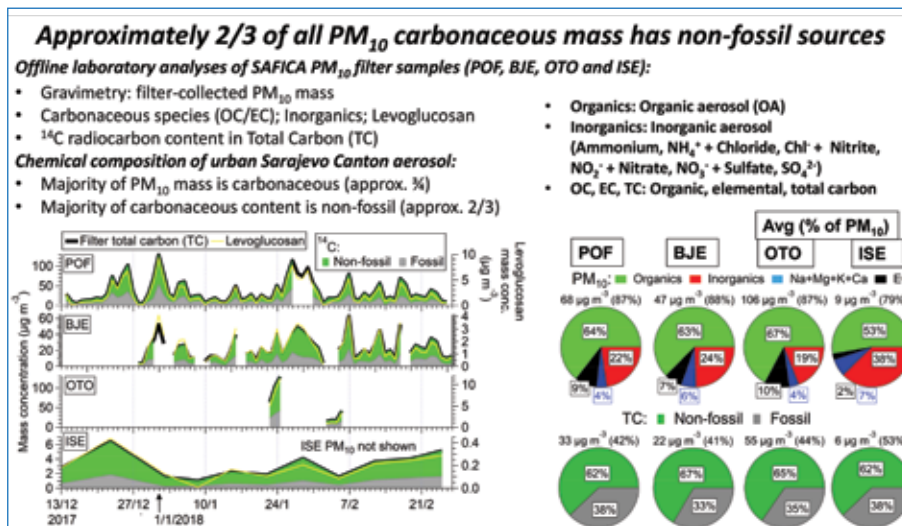
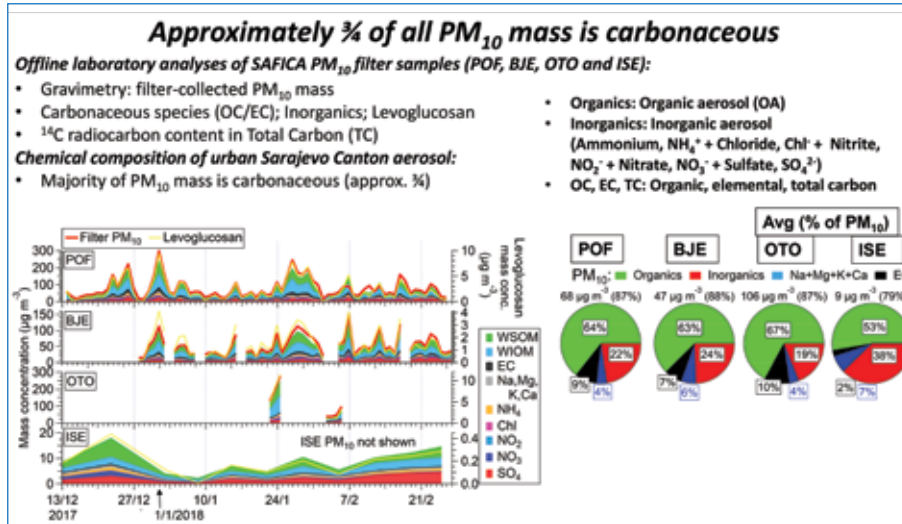
Bjelave (BJE) Urban bg	Ivan Sedlo (ISE) Remote
Pofalíci (POF) Urban bg	Otoka (OTO) Urban

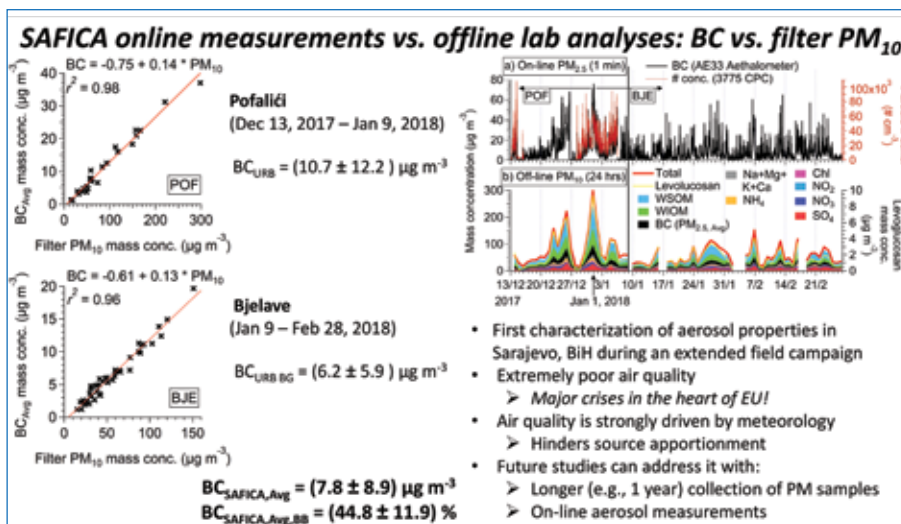
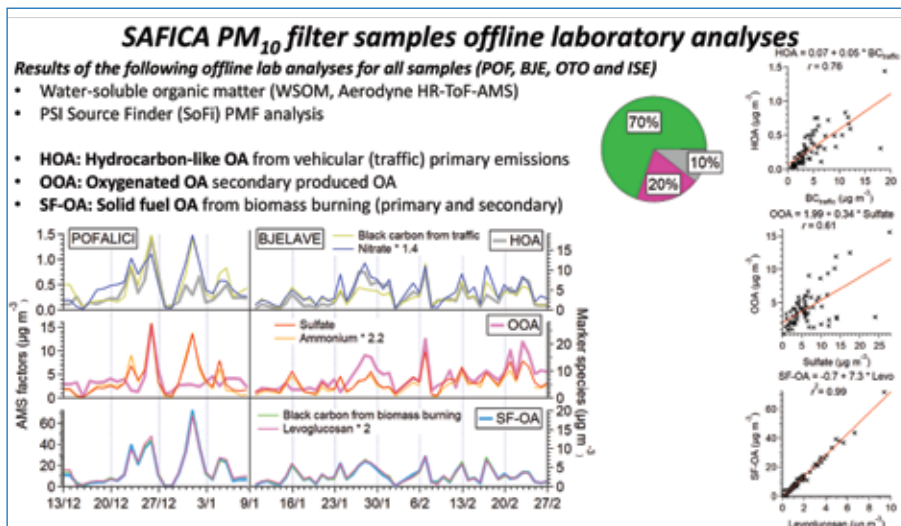
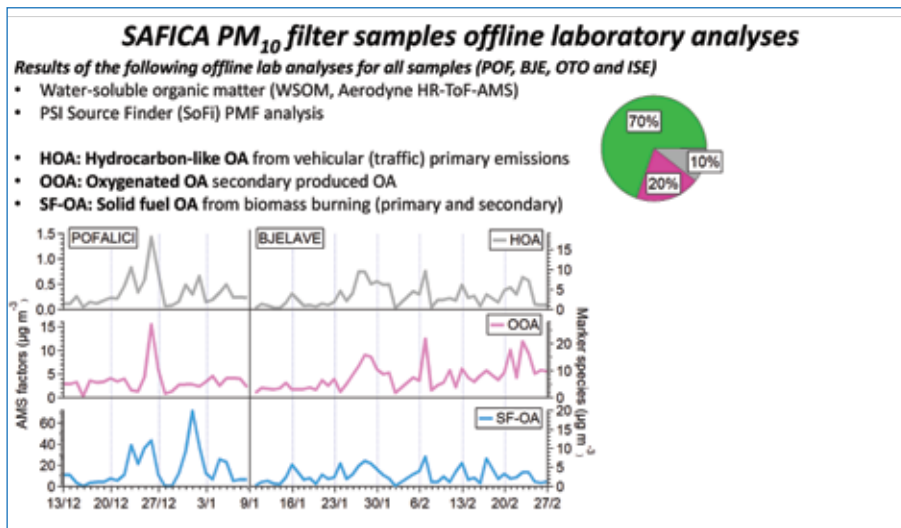
All (POF, BJE, OTO and ISE):

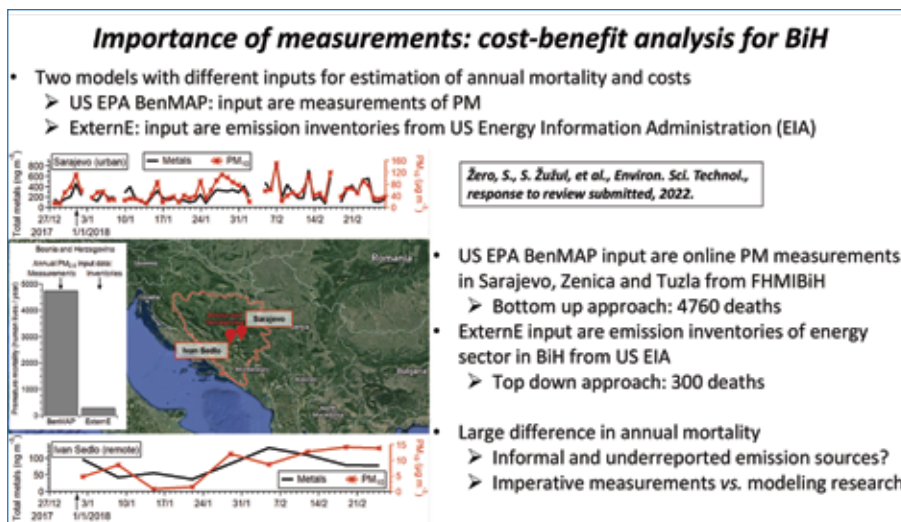
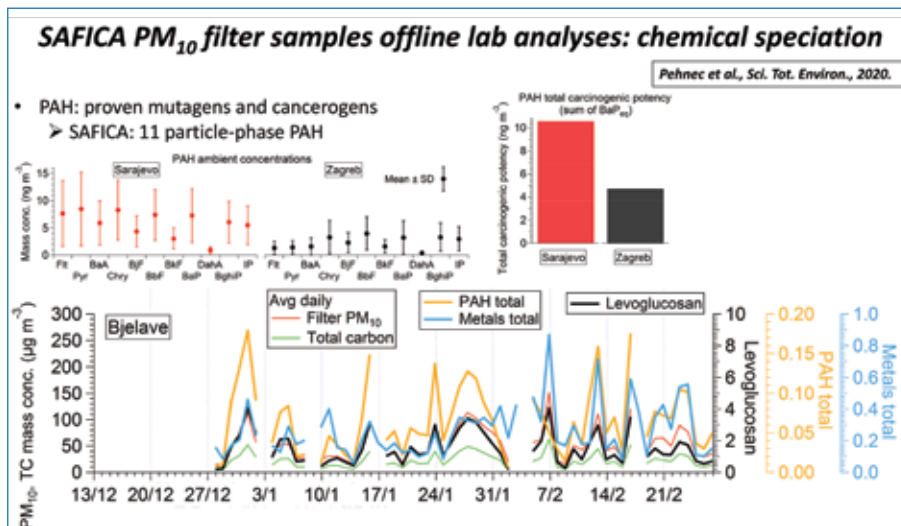
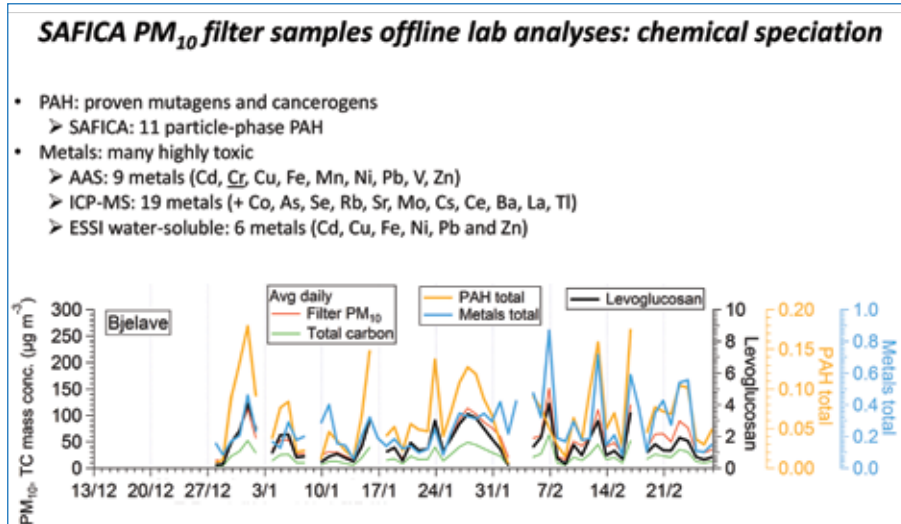
- PM_{10} mass
- Organic and elemental carbon (OC / EC)
 - OC + EC = Total Carbon (TC)
- Inorganics + metals: NH_4 , SO_4 , NO_3 , NO_2 , Cl + Na, Mg, Ca, K
- Water Soluble Organic Carbon (WSOC)
- Levoglucosan
- Aerosol mass spectrometry (Aerodyne HR-ToF-AMS)
- Radiocarbon (^{14}C): Non-fossil and fossil TC
 - $TC_{nf} + TC_f = TC$

BJE and ISE additional analyses:

- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH (11)
- Metals with three analytical techniques:
 - ICP-MS (19)
 - AAS (5)
 - Water-soluble metals: ESSI (6)
- Oxidative potential: AA and DTT assays
- Organic acids (16)







Selected SAFICA manuscripts

Pehnek, G., et al., *Sci. Tot. Environ.*, 2020.

- Pehnek, G., I. Jakovljević, R. Godec, Z. Sever Štrukil, S. Žero, J. Huremović and K. Džepina, Carcinogenic organic content of particulate matter at urban locations with different pollution sources, *Sci. Tot. Environ.*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139414>, 2020.

Huremović, J., et al., *Air Qual. Atmos. Health*, 2020.

- Huremović, J., S. Žero, E. Bubalo, M. Dacić, A. Čeliković, I. Musić, M. Bašić, N. Huseinbašić, K. Džepina, M. Cepić, N. Muratović, A. Pašalić, S. Salihagić, Z. Krvavac, J. Zelić-Hadžimerović and S. Gojak-Salimović, Analysis of PM₁₀, Pb, Cd, and Ni atmospheric concentrations during domestic heating season in Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, from 2010 to 2019, *Air Qual. Atmos. Health*, <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00852-4>, 2020.

Žero, S., S. Žužul, et al., *Environ. Sci. Technol.*, response to review submitted, 2022: metals + health impact (2 models)

Džepina, K., et al., manuscript in preparation, 2022: aerosol physicochemical characterization, sources and health

Science of the Total Environment (2020) 598:139414
 Contents lists available at ScienceDirect
Science of the Total Environment
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Carcinogenic organic content of particulate matter at urban locations with different pollution sources
 Gordana Pehnek^a, Ivana Jakovljević^a, Ranka Godec^{a,b}, Zdravka Sever Štrukil^a, Sabina Žero^a, Janka Huremović^a, Katja Džepina^{a,c}

^a Institute for Research in Environment and Geographical Health, University of Sarajevo, J. Bogdan 1, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
^b Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zagreb, Croatia
^c Institute for Research in Environment and Geographical Health, University of Sarajevo, J. Bogdan 1, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina
^d Institute for Research in Environment and Geographical Health, University of Sarajevo, J. Bogdan 1, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Air Quality, Atmosphere & Health
<https://doi.org/10.1007/s11869-020-00852-4>

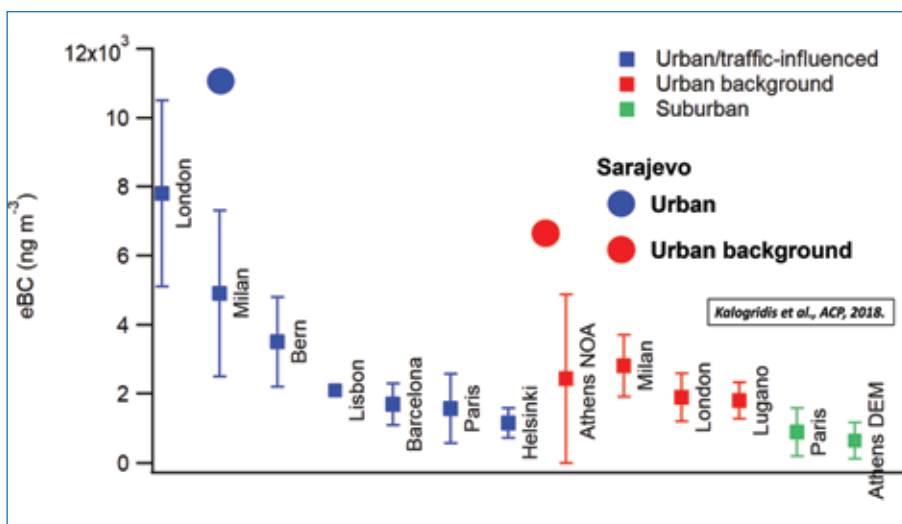
Analysis of PM₁₀, Pb, Cd, and Ni atmospheric concentrations during domestic heating season in Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, from 2010 to 2019

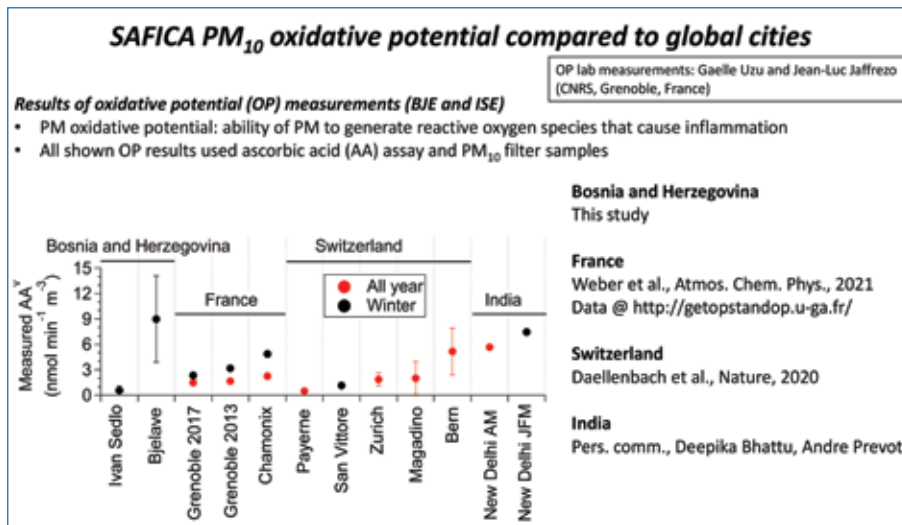
Janka Huremović^a, Sabina Žero^a, Ema Bubalo^a, Mirala Dacić^a, Amila Čeliković^a, Ivana Musić^a, Mitheta Bašić^a, Madžlina Huseinbašić^a, Katja Džepina^{a,b}, Marijana Cepić^a, Nadira Muratović^a, Anja Petak^a, Senela Salihagić^a, Zdravka Krvavac^a, Jasmina Zelić-Hadžimerović^a, Sabina Gojak-Salimović^a

Received: 28 January 2020 / Accepted: 17 June 2020
 © Springer Nature B.V. 2020

EMEP/ACTRIS/COLOSSAL intensive measurement period

- Carbonaceous aerosol source apportionment
- Winter 2018
 - December 2017 – March 2018
- 24 countries
- 58 measurement sites
 - 27 urban
 - Sarajevo urban background site





Past, present and future: Sarajevo, BiH and the Western Balkans

Sarajevo used to be one of the most polluted cities in former SFR Yugoslavia

- Resolved by early 1980s by removing solid fuels (wood and coal) and introducing natural gas to the city

World Bank, Sarajevo Air Pollution Control Project 1976-1982

Sarajevo 1984 XIV Winter Olympics

- 1st Olympics at the Balkans since the 1st Olympic Games in the Athens
 - High air quality by the time Olympics
 - No snow ... until the opening night: major snow storm
 - And 1st Winter Olympic medal for SFRY: Jure Franko of Nova Gorica, Slovenia

Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/1984_Winter_Olympics

Wim Wenders and Bono Vox, Sarajevo Film Festival 2021, "Million Dollar Hotel"

Bono Vox: "... It's like there is two Sarajevos. The real and the magic. The one that you live and work on versus the other one that you take with you wherever you go in the world – this mythic Sarajevo. This place is full of fun, magic, and also this is still to me the capital of coexistence. ..."

N1 Sarajevo, FENA, <https://ba.n1info.com/english/news/bono-vox-arrives-in-sarajevo-and-meets-wim-wenders-and-sff-director-purivatra/>



Future: SAAERO summer, fall and winter 2022-2023

Sarajevo AEROSol Experiment: Composition, Sources and Health Effects of Atmospheric Aerosol (SAAERO)



European Commission









REPUBLIKA SLOVENIJA
 MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
 ZNANOST IN ŠPORT

SAAERO project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 101028909.

Sarajevo Canton Winter Field Campaign 2018 (SAFICA)

Sarajevo Canton SAFICA Team, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina:

- > Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences and Mathematics: Jasna Huremović, Sabina Žero
- > Federal Hydrometeorological Institute of B&H: Almir Bijedić, Enis Omerčić, Enis Krečinić
- > Motors and Vehicles Dept., Mechanical Engineering Faculty: Adnan Mašić, Boran Pikula, Dževad Bibić
- > Institute for Public Health of Sarajevo Canton: Sanela Salihagić

Additional laboratory measurements SAFICA Team:

- > Institute for Medicinal Research and Occupational Health, Zagreb, Croatia: Gordana Pehneć, Ranka Godec, Silva Žužul, et al.
- > Paul Scherrer Institute: Andre Prevot, Valos Moschos, Anna Tobler, Deepika Bhattu, Roberto Casotto, Tianqu Cui, et al.
- > Technical University Wien, Austria: Anne Kasper-Giebl, Peter Redl
- > Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia: Sanja Frka Milosavljević
- > Institute for Environmental Geosciences, Grenoble, France: Gaëlle Uzu, Jean-Luc Jaffrezo
- > University of Bern, Switzerland: Sonke Szidat, Gary Salazar

SAFICA sponsoring institutions:

- > TSI (Luca Büttner) Germany office: CPC and OPS
- > Aerosol 0.0.0 (Jovan Jankić), Slovenia: AEC3 Aethalometer

SAFICA funding institutions:

- > DOST Action (G1P109 COLIBRI)
- > SEE Change (Net) (Gemet Tankezić Kelly), Sarajevo, BiH
- > Swiss NSF (Slovenian Exchanges) (DSE20_189436)

Katja Džepina	University of Nova Gorica, Slovenia; Paul Scherrer Institute, Switzerland; and Max Planck Institute for Chemistry, Germany
Andre Prevot	Paul Scherrer Institute, Switzerland
Griša Močnik	University of Nova Gorica, Slovenia

Sarajevo on Dec 28th, 2016
 Photo by: Fehim Demir (EPA)

Back up slides

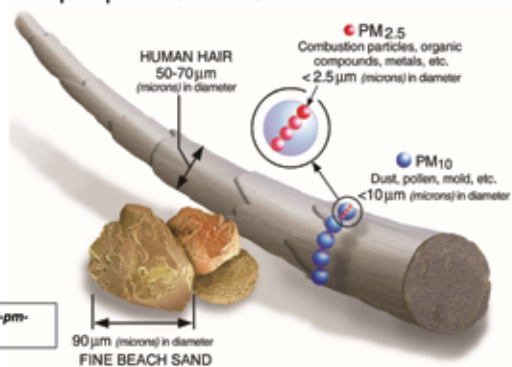


Aerosol physicochemical properties

Atmospheric particulate matter (PM) or aerosol

- Atmosphere of the planet Earth is full of tiny particles
 - Aerosol: suspension of solid or liquid particles in the air

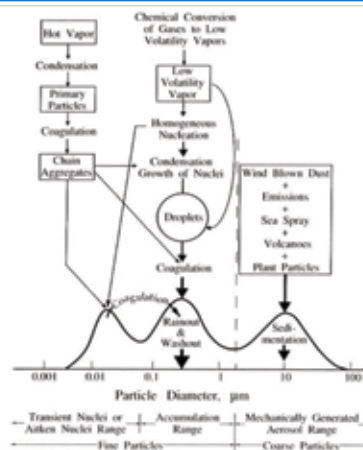
- Different sizes:
 - Smallest are invisible ($d \leq 2 \text{ nm!}$)
 - Largest are visible (e.g., dust)



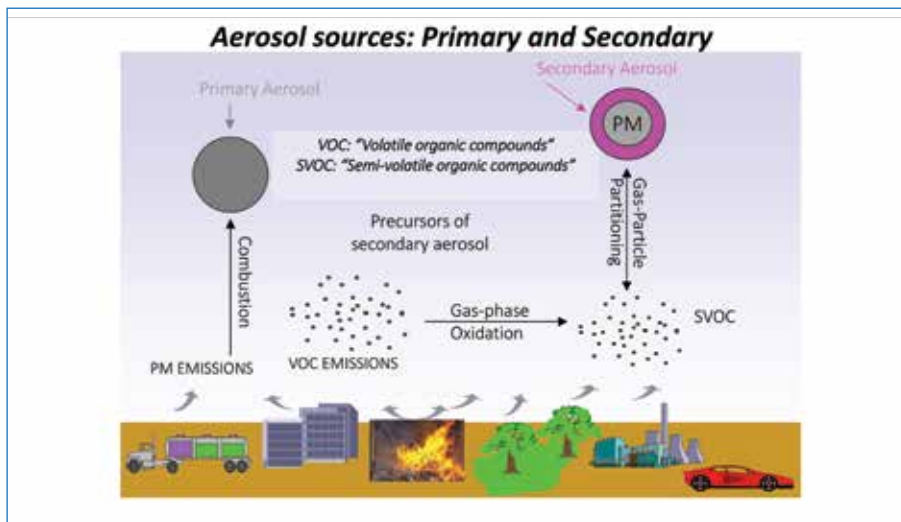
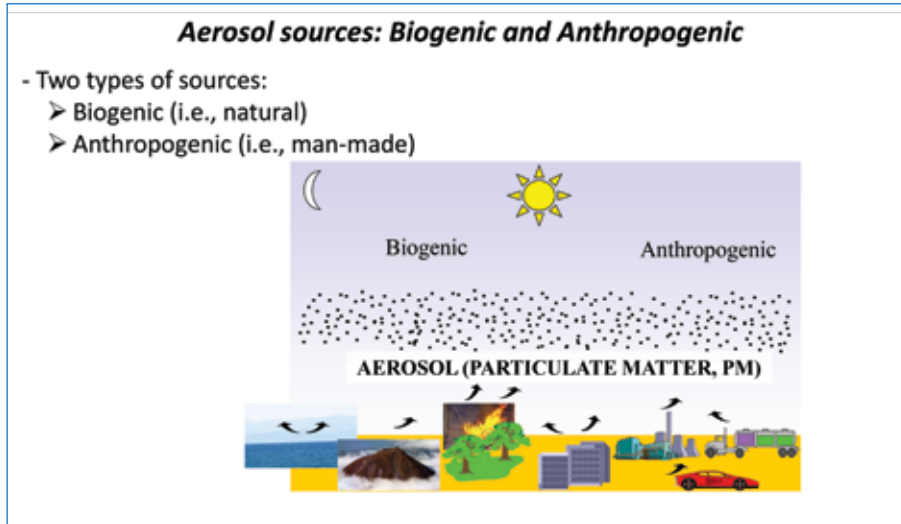
<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

Aerosol sizes: PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀

- Three main size modes:
 - Ultrafine: PM_{0.1}
 - Fine: PM_{2.5}
 - Coarse: > PM_{2.5}
- Formation of smallest particles:
 - combustion processes and gas-to-particle conversions
 - up to 90% of PM₁ organics are secondary made






Seinfeld, J.H., and Pandis, S.N.: *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, J. Wiley, New York, 1998. (adopted from Whitby and Cantrell, 1976.)

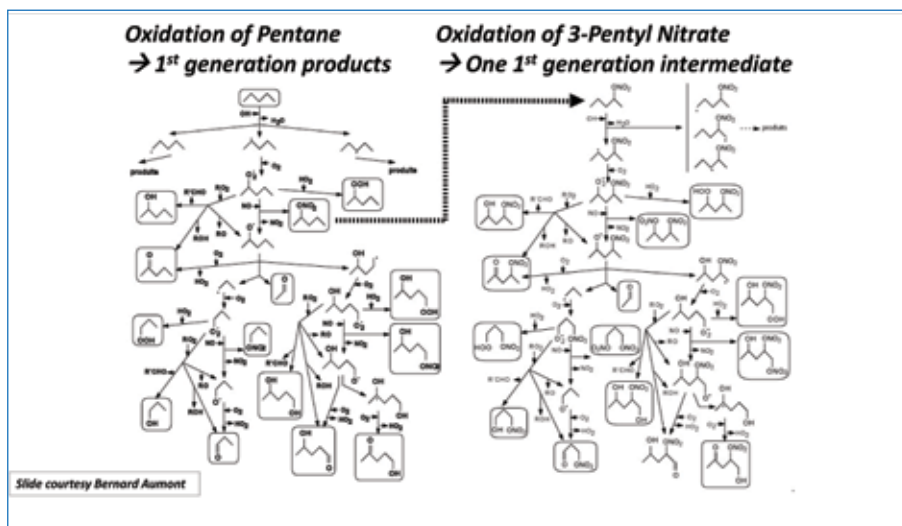
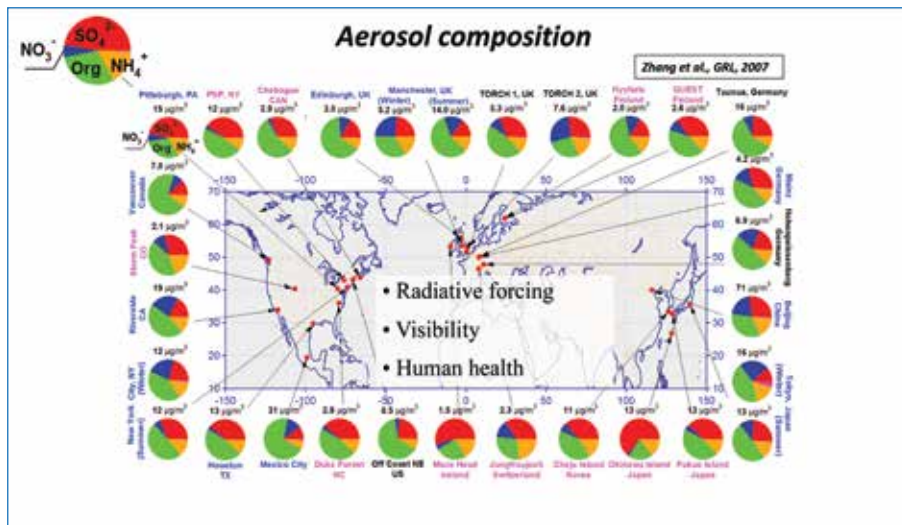


Aerosol number

- Aerosol number depends on air quality

- Very clean air: 20 / cm³
- Very polluted air: 20 000 / cm³



How do aerosol enter human organism?

- Largest particles stay in upper respiratory tract
- Smallest particles successfully enter lungs' alveoli

Illustration: <http://www.denoiregypt.org/air-pollution-and-aerosols/>

- Dockery, D.W., et al., An association between air pollution and mortality in six U.S. Cities, *New England Journal of Medicine*, 1993.
- 1st study to find direct correlation between PM_{2.5} and mortality

**Respirable mutagens and carcinogens:
 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)**

- Products of incomplete combustion of organic matter
- Released into from a wide range of sources
 - vehicles engines, biomass burning, coal combustion, wood smoke
- Carcinogenic and mutagenic
 - EPA defined 16 "Priority PAH Pollutants"
- PAHs in ambient air will be in:
 - gas-phase
 - particle-phase
- Particulate PAHs can be more dangerous
 - more efficient delivery to deep lungs



Finlayson-Pitts, B.J. and Pitts, J.N., Jr.: Chemistry of the Lower and Upper Atmosphere, 2000.

**Respirable mutagens and carcinogens:
 Atmospheric transformations of PAHs**

- 1942: extracts of ambient air particles
 - cancer in rats
- 1972: NAS "...yet unidentified carcinogenic species must be present."
- 1977: compounds showing strong direct mutagenic activity
 - particles collected in polluted air sheds world-wide

Directly mutagenic nitro-PAH

- Mutagenicity determined (mutagram)
- Nitro-PAHs loadings in air differ
 - ↓ fresh emissions vs. ↑ ambient air
 - OH initiated mechanism

Finlayson-Pitts, B.J. and Pitts, J.N., Jr., Science, 1997.

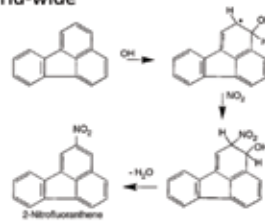
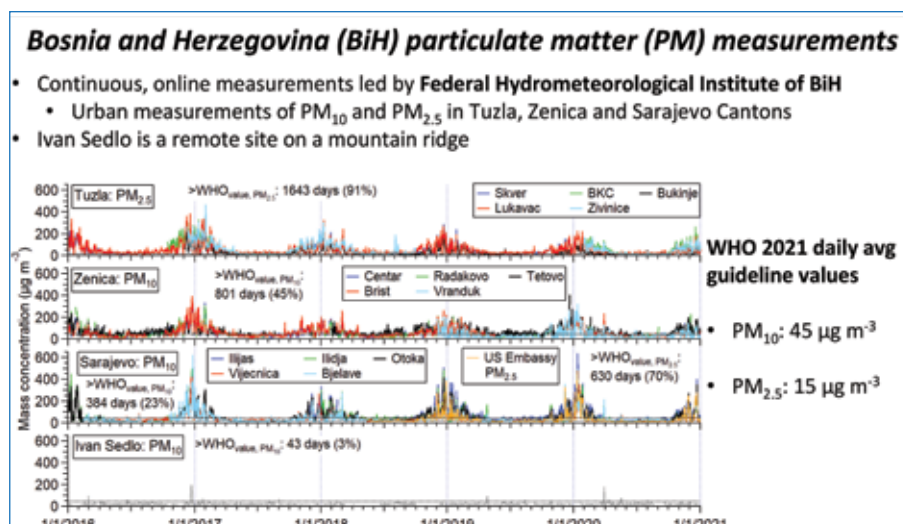
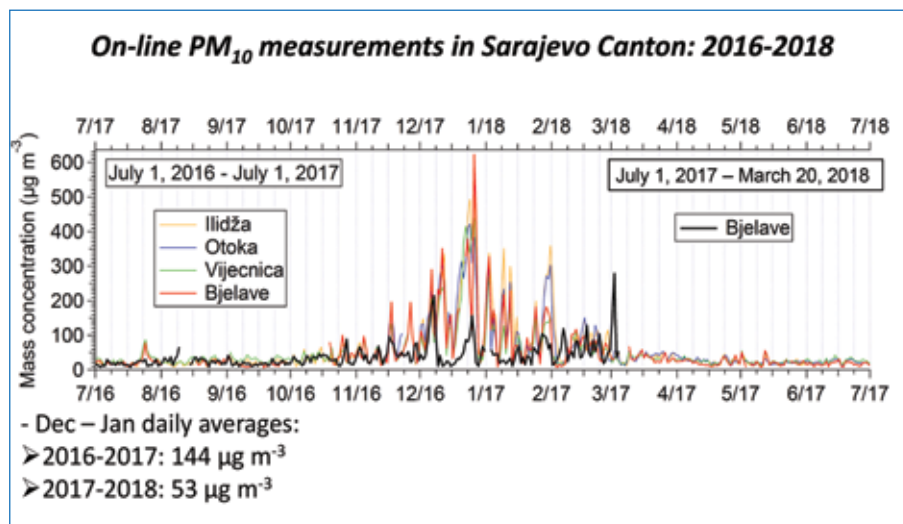
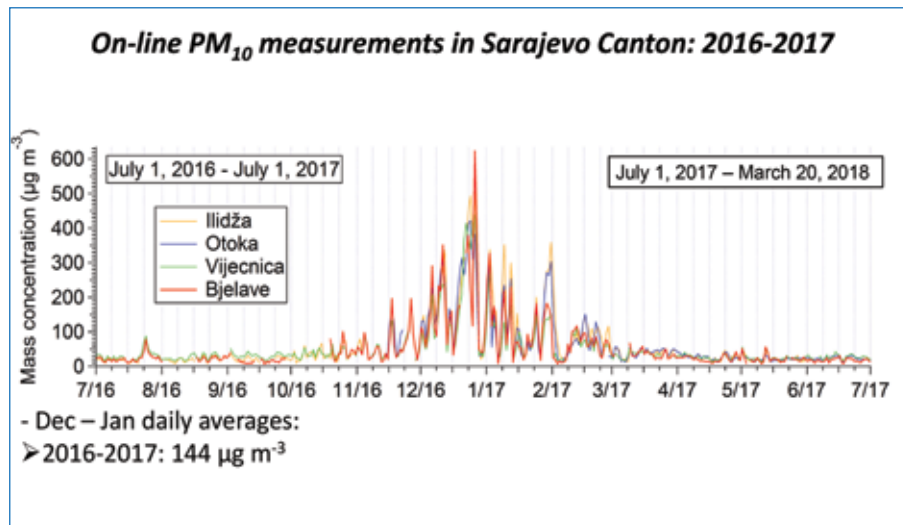
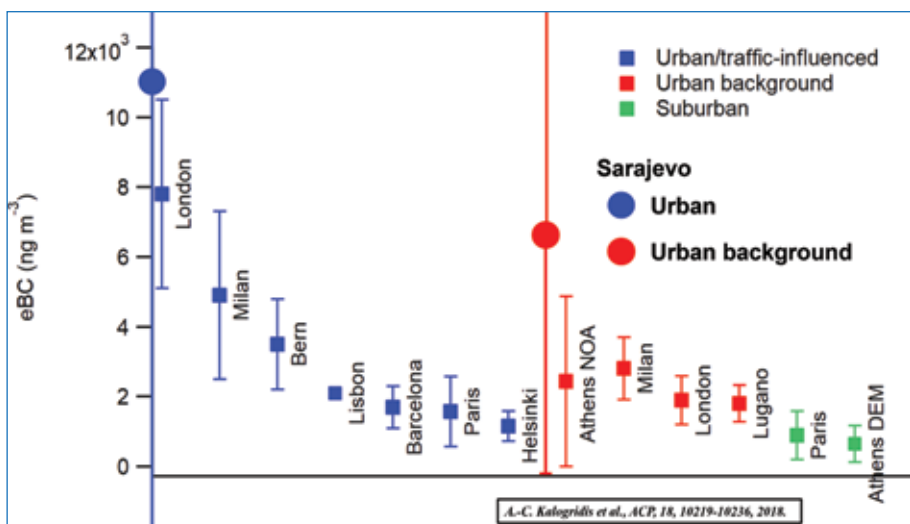
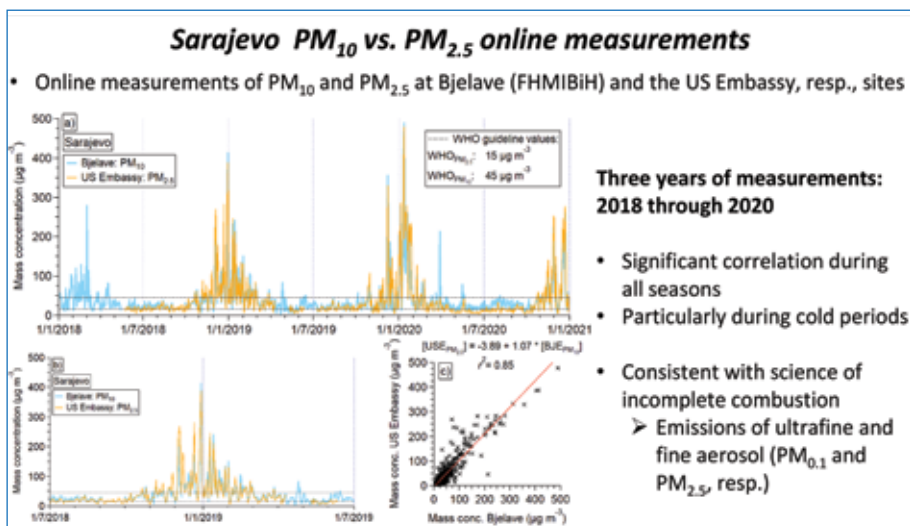
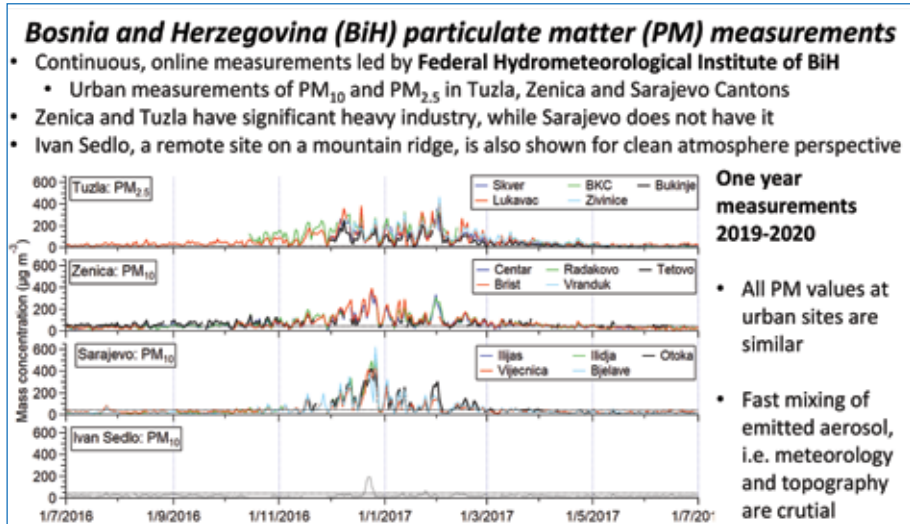


Fig. 6. Mechanism of formation of 2-nitrofluoranthene in air.

Sarajevo and BiH measurements: FHMIBiH







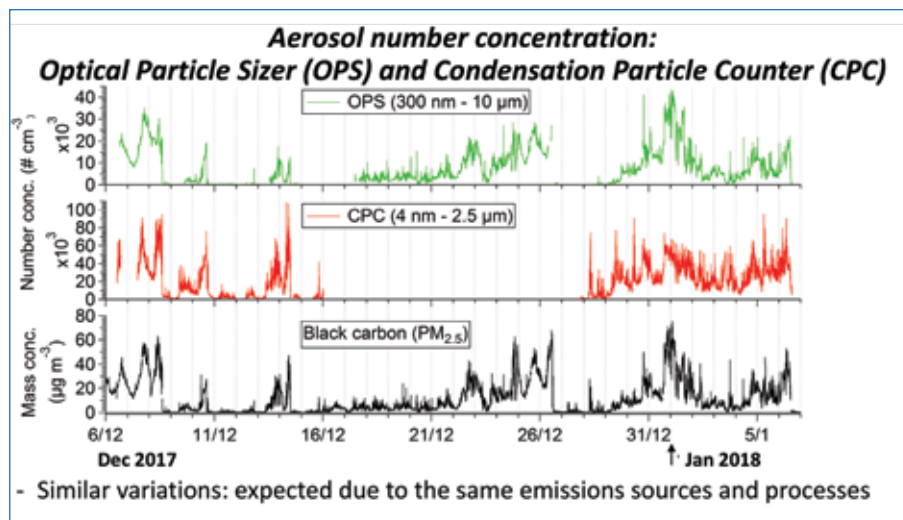
SAFICA detailed description

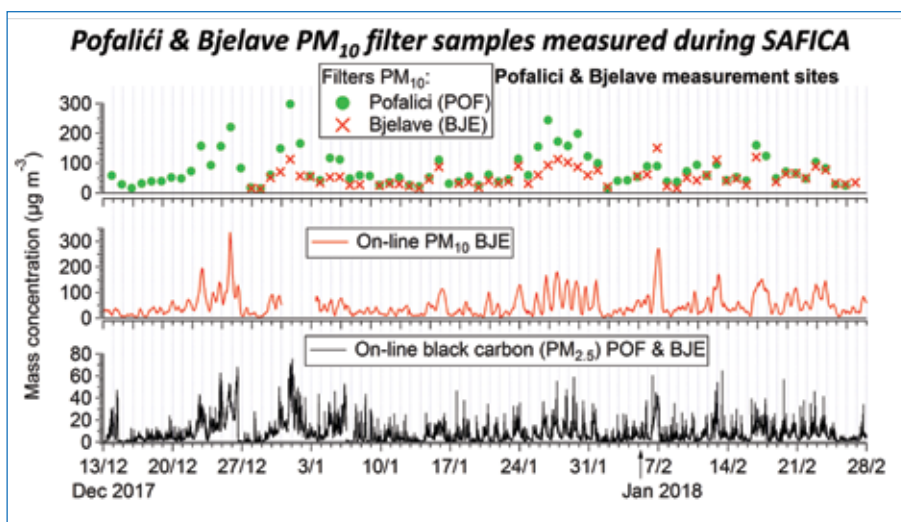
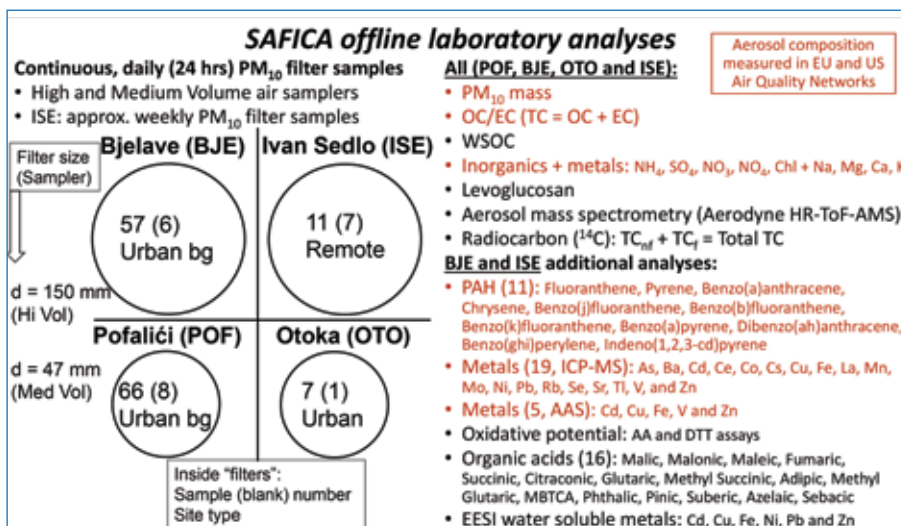
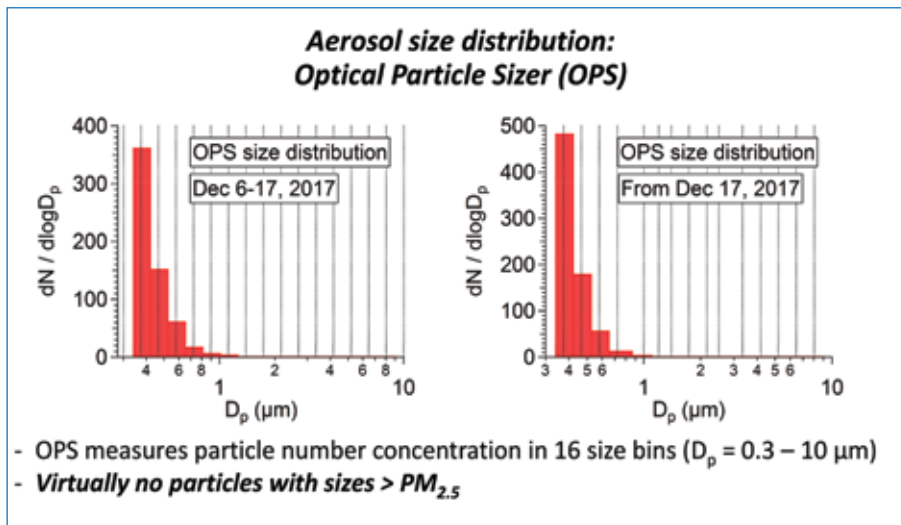
SAFICA sites and PM₁₀ filter samples

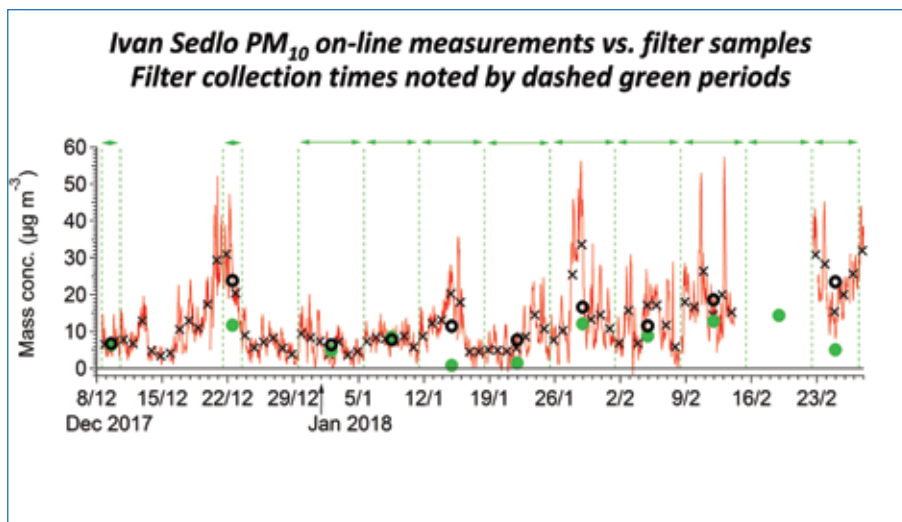
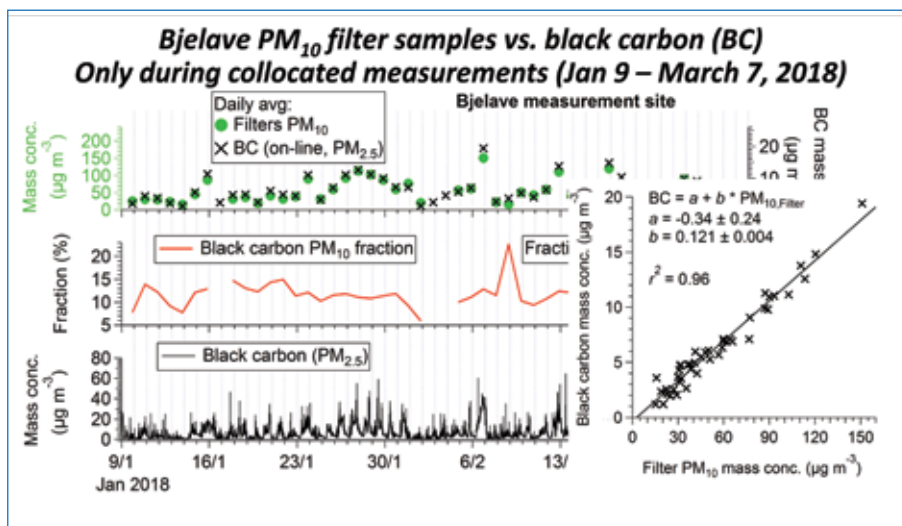
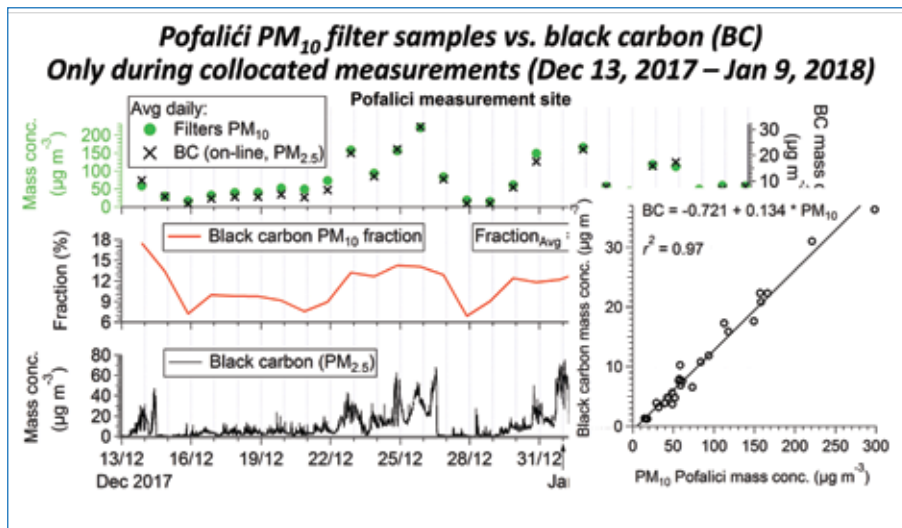
Table 1: Summary of SAFICA sites. Continuous, daily quartz filter PM₁₀ samples were collected at all sites except at Ivan Sedlo, where the same continuous samples were collected approx. weekly.

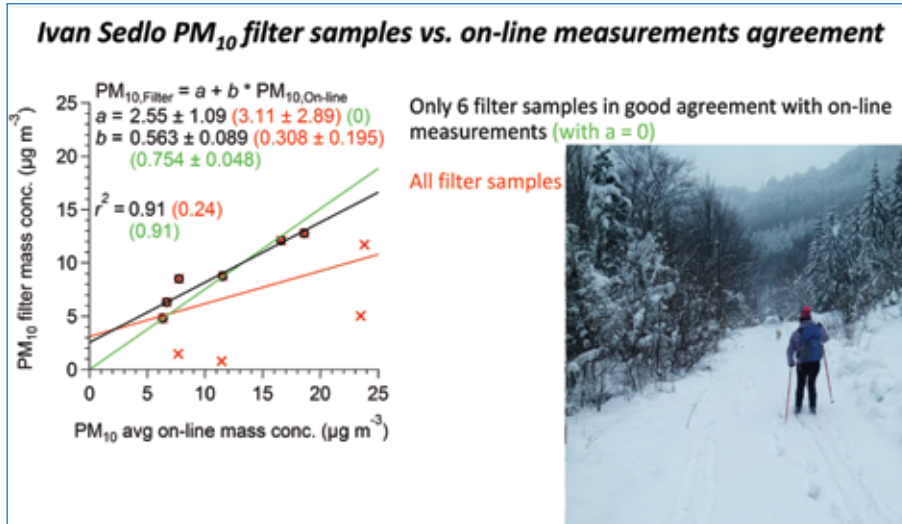
Measurement sites description				Air sampling instruments		Sampling period		Sample #
Name	Type	Location	Altitude (m amsl)	Manufacturer (model, volume)	Filter d (mm)	Start (2017)	End (2018)	(blanks)
Bjelave	Urban background	18°25'23"E 43°52'03"N	635	Digitel-AG (DH77, high)	150	Dec 27	Feb 27	59 (9)
Pofalići	Urban background	18°23'41"E 43°51'15"N	545	Sven Leckel (MVS6, medium)	47	Dec 13	Feb 26	75 (10)
Otoka*	Urban	18°21'49"E 43°50'52"N	512	Sven Leckel (MVS6, medium)	150	Dec 21	Feb 21	7 (1)
Ivan Sedlo	Remote	18°02'10"E 43°45'04"N	969	Digitel-AG (DH80, high)	47	Dec 22	Feb 27	11 (8)

*Eight samples collected at Otoka were available for laboratory analyses as the rest were not kept in freezer at all times except when sampling.









General remarks on SAFICA sites and online measurements

General remarks on SAFICA sites and online measurements

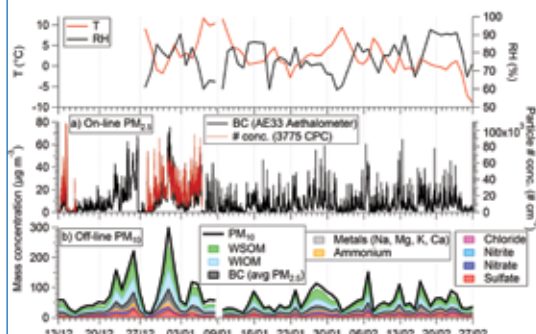
Entire SAFICA field campaign: Aethalometer (AE33), one instrument, measured at two sites

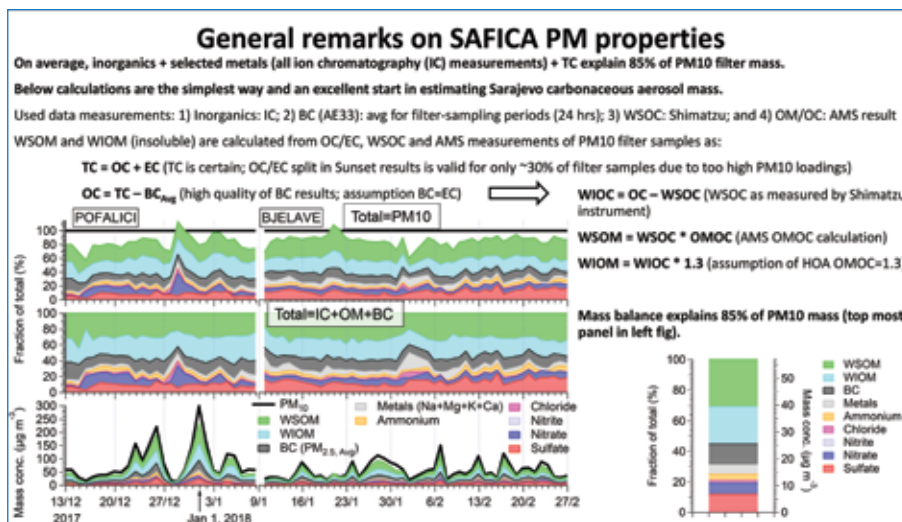
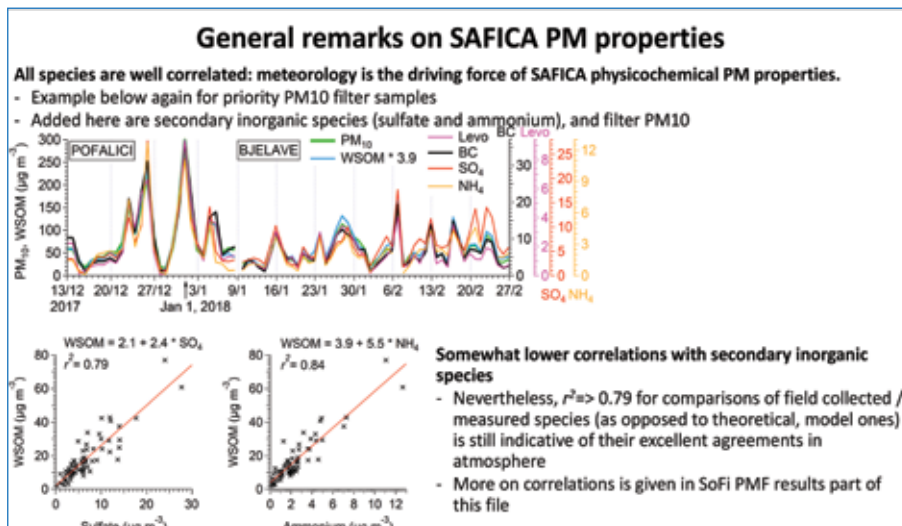
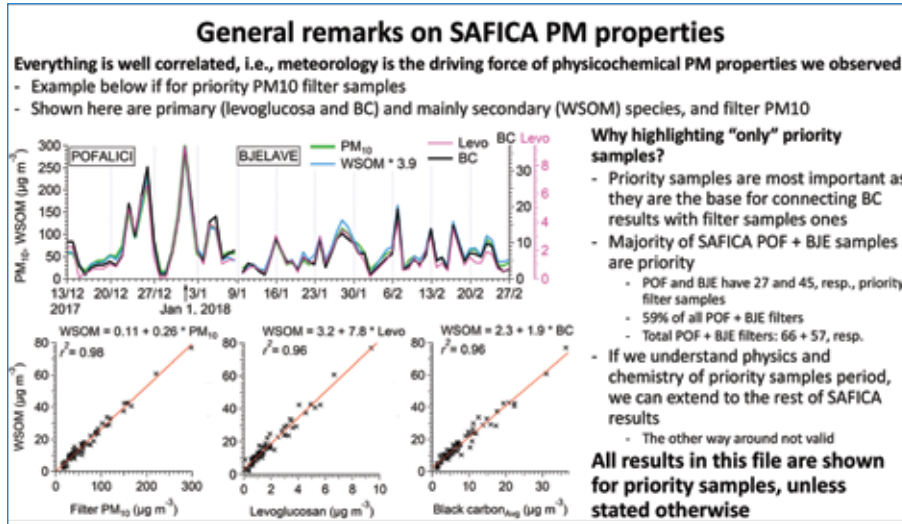
- POF: Start - Jan 9, 2018
- BJE: Jan 9, 2018 – End

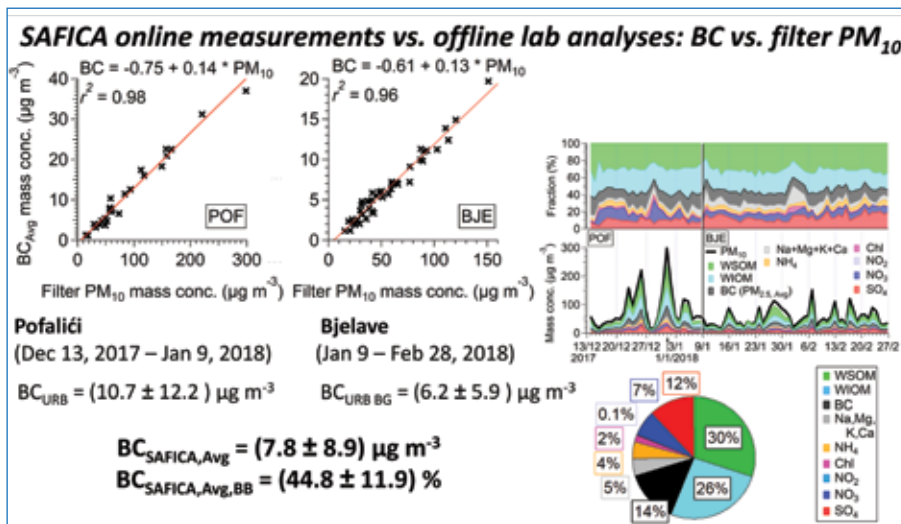
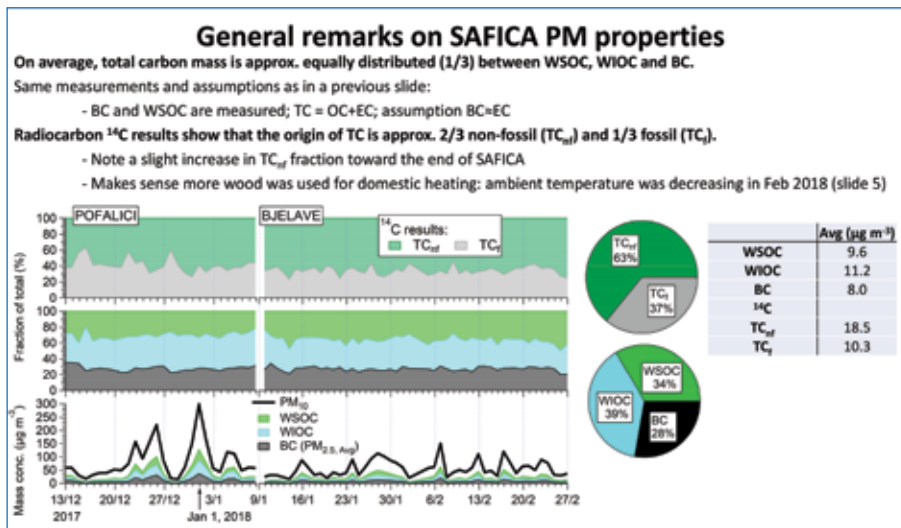
PRIORITY PM₁₀ filter samples:
 Sampled in parallel with AE33

POF site, approx. first 5 weeks of SAFICA (until Jan 6, 2018)

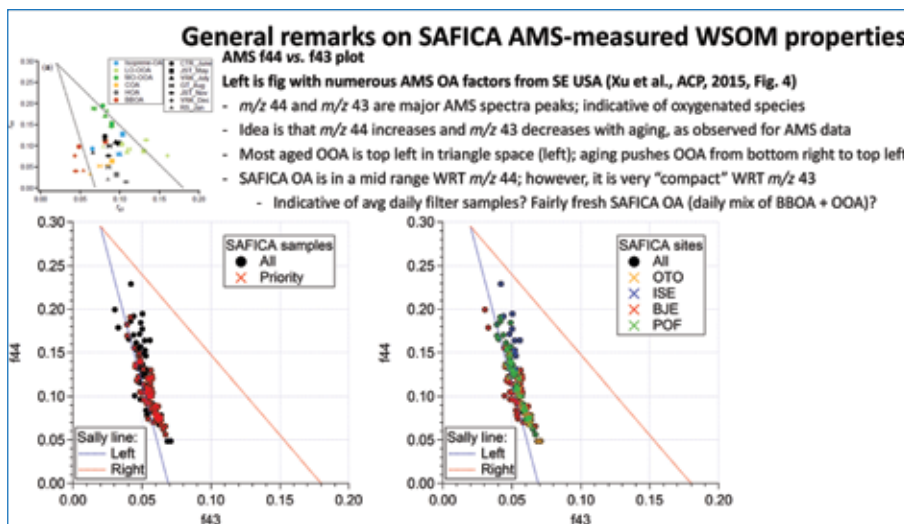
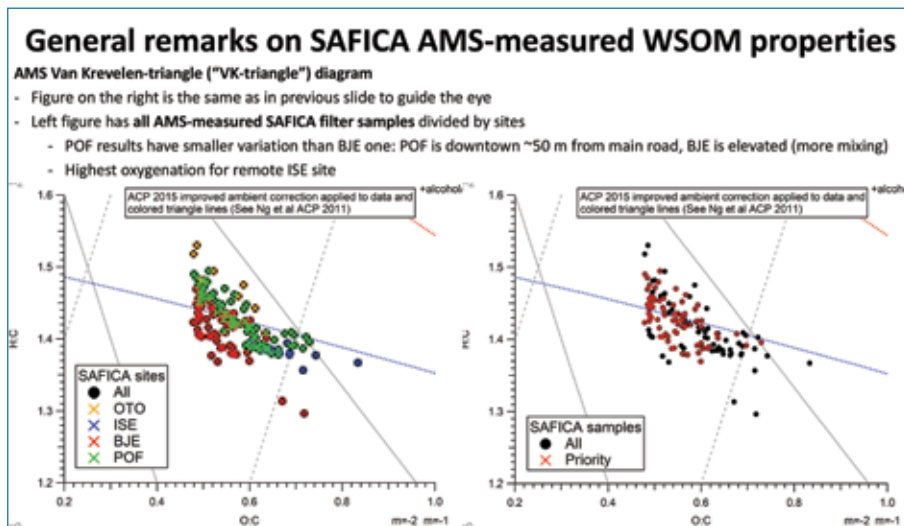
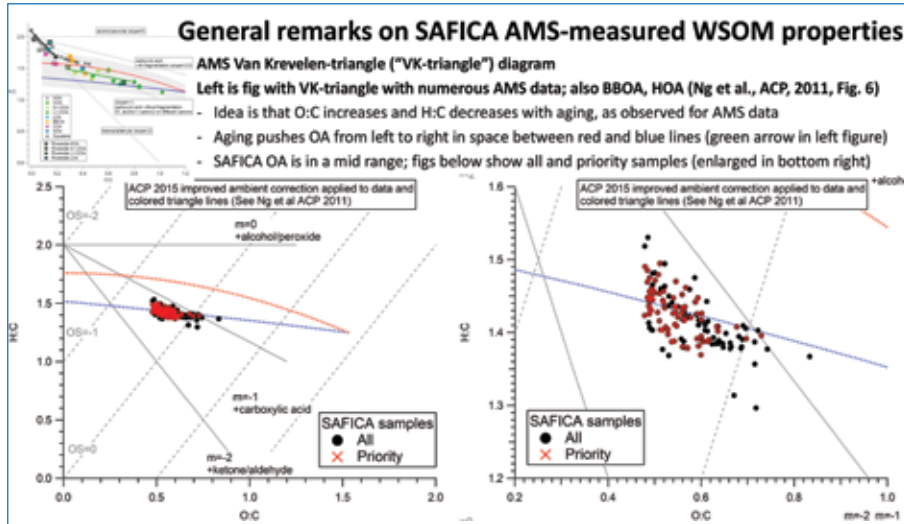
- TSI CPC
- TSI OPS

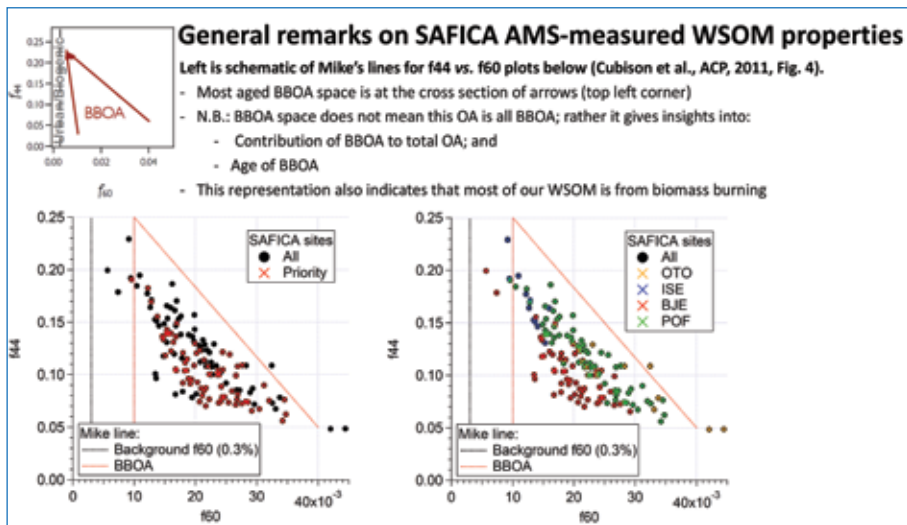






Aerosol mass spectrometry: SoFi PMF





Dragana Đorđević, Institut za tehnologiju I metalurgiju, Institut od nacionalnog značaja, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Jelena Đuričić, Milanković, Akademija strukovnih studija Šabac, Srbija

Aleksandra Mihajlidi – Zelić, Institut za tehnologiju I metalurgiju, Institut od nacionalnog značaja, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Ljubiša Ignjatović, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Dubravka Relić, Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Andrea Gambaro, Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics, University Ca' Foscari of Venice, Italy; Institute for the Dynamics of Environmental Processes – National Research Council (CNR-IDPA), Venice, Italy

Sadržaji toksičnih elemenata i glavnih jonskih vrsta u frakcijama razdvojenim po veličinama aerodinamičkog prečnika čestica ambijentalnog aerosola Beograda, urbane i suburbane zone

Contents of toxic elements and main ionic species in fractions separated by the sizes of the aerodynamic diameter of the particles of the ambient aerosol of Belgrade, urban and suburban zones

SAŽETAK

Dominantni izvor zagađenja vazduha u Srbiji je energetski sektor zasnovan na lignitu - uglju veoma lošeg kvaliteta, niske kalorijske vrednosti, visokog sadržaja mineralnih materija i štetnih elemenata kao što su arsen, živa, sumpor, radioaktivni elementi uključujući uranijum, radon i td. Još uvek 70% energetike u Srbiji zasnovano je na lignitu. Poslednjih godina, sa dolaskom stranih investitora u Srbiju, među kojima mnogi ne poštuju standarde kvaliteta životne sredine ili otvaranjem takvih industrijskih postrojenja za koje ne postoje ekološka rešenja, kvalitet vazduha postaje među najgorima u svetu. Takođe poslednjih godina u mnogim industrijskim granama došlo je do supstitucije prirodnog gasa otpadnim materijalima (stare gume, otpadna plastika) iz uvoza koji se koriste u energetske svrhe uključujući i individualna ložišta u domaćinstvima, bez ikakvih mera zaštite od zagađenja vazduha. Zbog toga se poslednjih godina beleži višestruki porast obolelih od raznih vrsta kancera u gradovima gde ove industrije postoje. Procenjuje se da je broj preranih smrti izazvanih zagađenjem vazduha u Srbiji najveći u Evropi. Veoma važni parametri pokazatelja zagađenja vazduha su čestice atmosferskog aerosola kao nosioci štetnih supstanci koje su u zavisnosti od njihovih izvora emisija raspoređene u sitnim ili krupnim česticama. Štetne supstance oslobođene u visokotemperaturnim procesima su raspoređene u najsitnijim česticama

dok su one nastale u mehaničkim procesima, bilo prirodnog ili antropogenog porekla, uglavnom raspoređene u krupnijim česticama. U dve merne kampanje sakupljeni su uzorci atmosferskog aerosola, razdvojenog prema veličini aerodinamičkog prečnika čestica, urbane i sub urbane zone Beograda. U oba slučaja dominiraju čestice nasitnije frakcije; < 500 nm u urbanoj zoni i između 500 i 1000 nm u suburbanoj zoni. Urađene su su analize sakupljenih uzoraka na sadržaj elementata i glavnih jona. U krupnim česticama nazastupljeniji elementi su bili Ca, Fe, Al, K i Mg ukazujući na njihovo zemljišno poreklo, dok u najsitnijim česticama najveći procentualni udeo bio je za As, Cd, K, Pb, Sb, SO₄²⁻, NH₄⁺ i NO₃⁻, i u urbanoj i u suburbanoj zoni Beograda, ukazujući na antropogeni uticaj, prvenstveno iz visokotemperaturnih i industrijskih procesa kao što su termoenergetska postrojenja, saobraćaj, kućna ložišta, idustrija. Uočen je i transport zagađenja vazduhom sa veće udaljenosti, kao što su borski rudnici ili Saharska prašina. Isto tako i termoenergetska postrojenja iz okolnih zemalja (BiH, Crna Gora, Makedonija) utiču na kvalitet vazduha u Srbiji kao i obrnuto, termenergetska postrojenja utiču na kvalitet vazduha okolnih zemalja.

Uvod

Preko 70% električne energije u Srbiji još uvek se dobija iz 6 teroelektrana na lignit od čega je 3 u bližoj okolini Beograda (Obrenovac i Veliki Crljeni), uglju niske kalorijske vrednosti (6200-8600 kJ/kg), visokog udela letećeg pepela (10 – 26%), vlažnosti 45 – 52% i sumpora 0,3 – 0,8%. Kolubarski lignit sadrži toksične elemente: As, Be, Co, Cr, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Se, Sb i V čija koncentracija u pepelu raste i preko 5 puta. Lignit sadrži i radioaktivne elemente U, Th, Ra i Rn. Ukupna količina Hg i Rn odlazi u atmosferu kao gas a naučna istraživanja su pokazala da se i As, Se, Cd i Pb delimično emituju u vidu gasa. Emitovani elementi u vidu gasa su višestruko opasniji po zdravlje u odnosu na one u obliku čestica.

Srbija je okružena zemljama u regionu čija se energetika takođe zasniva na uglju. U najbližoj okolini su 2 termoelektrane u BiH, TE Tuzla i Ugljevik, zatim TE Pljevlja u Crnoj Gori, TE

Bitolj koja radi na ugalj i TE Negotino koja radi na mazut u Severnoj Makedoniji, zatim TE na lignit Kosovo A i Kosovo B, a sve one takođe doprinose konstantnom zagađenju vazduha u Srbiji. Naravno i svih 6 TE na lignit u Srbiji utiču na kvalitet vazduha okolnih zemalja. Sumarno, termoelektrane na Balkanu zagađuju vazduh više od svih 260 termoelektrana u EU. Razlog ovome je zastarelost opreme, odsustvo redovnog održavanja zbog kriza izazvanih raspadom SFRJ i uglavnom zbog korišćenje lignita – uglja izuzetno lošeg kvaliteta, kakav je na našim prostorima.

U bližoj okolini Beograda locirane su 3 termoelektrane na lignit, Nikola Tesla A i B i Veliki Crljeni. Primera radi u Tabeli 1. može se videti da samo 2 bloka termoelektrane Nikola Tesal A u Obrenovcu godišnje emituje oko 30.000 tona čestica u atmosferu (Kisić i dr., 2013).

Tabela 1. Karakteristike termoelektrana Nikola Tesla A i Nikola Tesla B u Obrenovcu i emisije čestica u atmosferu dobijene merenjem

Blok	Instalisana snaga (MW)	Potrošnja uglja (t/h)	Efektivan rad (h/god)	Efiksantost elektrofiltera (%)	Brzina protoka vlažnog gasa (m ³ /h)	Koncentracija čestica (mg/m ³)	Godišnja emisija čestica (t/year)
TENT A1	210	260	7.290	97,12	1.303.000	796	10.905
TENT A2	210	265	3.342	95,10	1.269.000	1.429	8.675
TENT A3	305	369	7.411	99,75	1.727.000	78	1.360
TENT A4	308,5	353	6.669	99,78	1.533.000	138	1.028
TENT A5	308,5	370	4.698	99,79	1.608.000	105	725
TENT A6	308,5	336	1.747	99,00	1.867.000	300	1.172
TENT B1	620	754	7.756	99,62	3.184.000	111	4.460
TENT B2	620	762	8.159	99,73	3.293.000	71	3.366

Pored navedenih izvora emisija koji se tiču energetike u Srbiji, preko 50% domaćinstva se greje na kućna ložišta što u zimskim mesecima značajno doprinosi zagađenju vazduha a takođe i poljoprivredni sektor od jeseni predstavlja značajan izvor zagađenja vazduha zbog toga što se na kraju poljoprivredne sezone ostaci na poljima spaljuju. Kako je Srbija poljoprivredna zemlja i 70% njene teritorije je pod poljoprivredom ovaj vid uklanjanja poljoprivrednih ostataka sa polja nakon završene sezone čini značajan doprinos zagađenju vazduha česticama i produktima sagorevanja u periodu od oktobra do ranog proleća. Svi navedeni izvori zajedno čine da je vazduh u zimskom periodu u Srbiji uzuzetno lošeg kvaliteta.

Metode ispitivanja

Merenja fizičko-hemijskih karakteristika urbanog aerosola su rađena u urbanoj zoni (Studentski trg - centar grada) a suburbanog aerosola u suburbanjoj zoni na pozadinskoj mernoj stanici Zeleno brdo. Uzorci suspendovanih čestica u urbanoj zoni su sakupljeni kaskadnim impaktorom High Volume Cascade Impactor, Model TE-236 sa 6 opsega veličina čestica PM_{0.49}, PM_{0.49-0.95},

PM_{0.95-1.5}, PM_{1.5-3.0}, PM_{3.0-7.2}, PM_{7.2-10} (Đorđević i dr., 2012). Uzorci suspendovanih čestica u suburbanjoj zoni sakupljeni su kaskadnim impaktorom niskog pritiska Prof. Dr. Berner – LPI 25/0.0085/2 svaki šesti dan u cilju uključivanja svakog dana u nedelji (Đorđević et al., 2012, Đorđević et al., 2014). Sledeći opsezi veličina D_p (u μm) su mereni: PM_{0.0085-0.018}, PM_{0.018-0.035}, PM_{0.035-0.07}, PM_{0.07-0.138}, PM_{0.138-0.27}, PM_{0.27-0.53}, PM_{0.53-1.06}, PM_{1.06-2.09}, PM_{2.09-4.11}, PM_{4.11-8.11} i PM_{8.11-16}. (Đuričić-Milanković, 2019, Đuričić-Milanković i dr., 2018a; Đuričić-Milanković i dr., 2018b). Za ispitivanje fizičkih karakteristika sakupljenih čestica uzorkivač je postavljen na visinu od 2,5 m iznad tla i zemljište prekriveno travom je izabrano kako bi efekat resuspenzije bio sveden na najmanju moguću meru. Uzorkivač je udaljen od drugih objekata u radijusu od 50m.

Mase praznih i filtera sa depozitima su merene na vagi KERN ABT 120-5DM (klase tačnosti I i preciznosti 0,01mg). Vaga i filteri su se nalazili u plastičnom boks u atmosferi azota, temperaturi od 20±5°C i vlažnosti od 45±5%, pre i tokom procedure merenja (Stortini et al., 2009; Đorđević, 2012; Đorđević et al., 2014). Tokom trajanja merenja masa praznih i filtera sa depozitom kontrolni filteri su mereni takođe tri puta zbog provere uticaja fluktuacija temperature i vlažnosti. Filteri sa depozitima

i slepe probe su posle merenja masa čuvani na temperaturi od -20 °C do sprovođenja hemijskih analiza.

Digestija sakupljenih uzoraka je sprovedena korišćenjem Advanced Microwave Digestion System (ETHOS 1, Milestone, Italy) sa HPR-1000/10S segmentiranim rotorom i na pritisak rezistentim PTFE kivetama. PTFE kivete u kojima je vršeno razaranje uzoraka su predhodno očišćene korišćenjem smeše sastavljene od 8 cm³ HNO₃ (62%, UltraPure, Merck) i 0,5 cm³ HF (UltraPure, Merck).

Za potpuno razaranje depozita korišćena je polovina filtera. Filter je pažljivo usitnjen čistim makazama, a delovi isečenog filtera su korišćenjem čiste teflonske pincete prebačeni u PTFE kivete. Smeša reagenasa sastavljena od 6 cm³ HNO₃ (62%, UltraPure, Merck), 2 cm³ H₂O₂ (30%, Sigma Aldrich) i 0,1 cm³ HF (UltraPure, Merck) je korišćena za razaranje depozita. Boce od polietilena niske gustine (LPDE boce) isprane sa rastvorom 10%-tne HNO₃ korišćene su za čuvanje tako pripremljenih rastvora.

Sav korišćeni pribor i sudovi (levkovi, normalni sudovi) pripremljeni su predhodnim potapanjem u rastvor 10%-tne HNO₃ i odležavanjem 7 dana, a potom su ispirani Milli-Q vodom 10 puta.

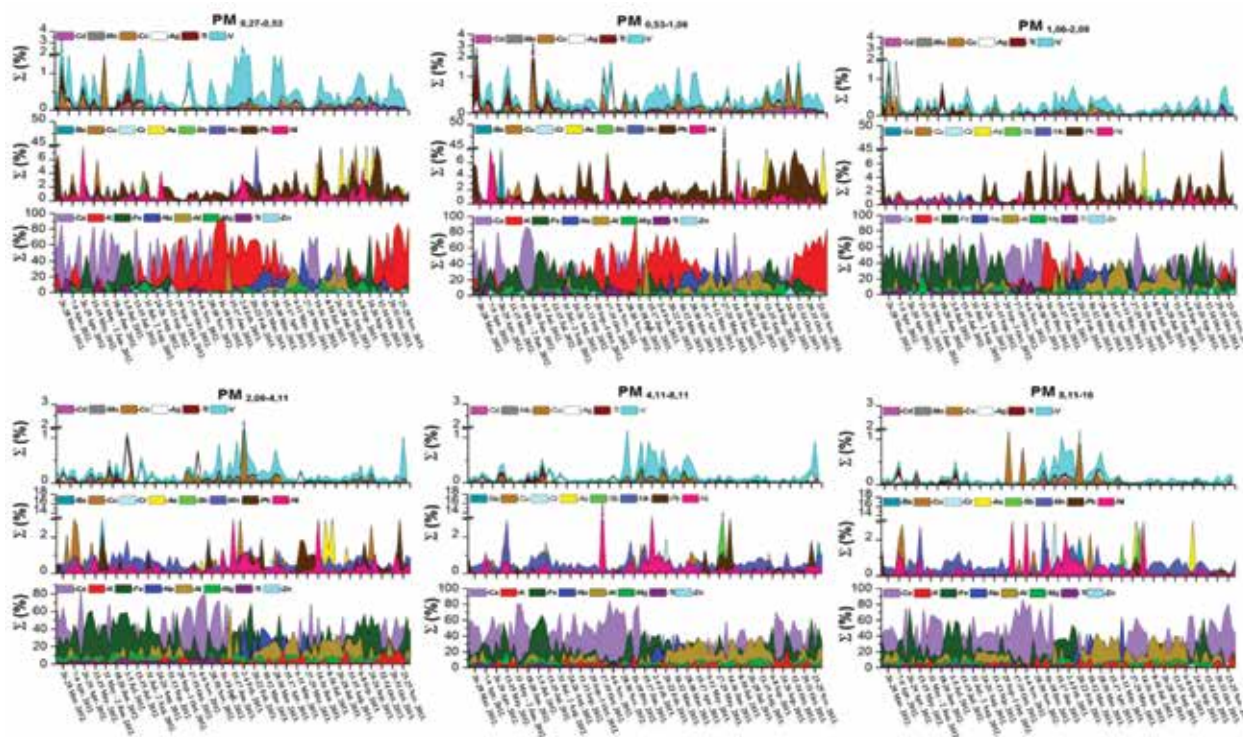
Masena spektrometrija sa induktivno spregnutom plazmom (eng. *inductively coupled plasma mass spectrometry*-ICP-MS) je korišćena za određivanje sadržaja elemenata u rastvorima uzoraka. Za pripremu serije standardnih rastvora korišćen je EPA Method Standard, Low Level Elements Calibration Stock (10 mg/l): Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Mg, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn u 2% HNO₃.

Glavni joni urađeni su medodom jonske hromatografije Jedna petina svakog filtera

je ekstrahovana 30 min u 5 mL ultra čiste vode koristeći ultrazvučno kupatilo a zatim analizirani sledeći joni Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg₂⁺, Ca₂⁺, Cl⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ i SO₄²⁻. Za analizu sadržaja jona korišćen je jonhromatografski sistem Metrohm, Switzerland, type 761 Compact IC, sa konduktometrijskim detektorom.

Rezultati ispitivanja

Masene koncentracija čestica (PM) segeregisanih veličina aerodinamičkog prečnika su pokazale da su najveće vrednosti koncentracija u frakciji finog moda (PM_{0.49}) u urbanoj zoni grada dok je u suburbanoj zoni maksimalna koncentracija nađena u frakciji opsega PM_{0.53-1.06}. U urbanoj zoni dominantne koncentracije As, K, Ni, V i U nađene su u najsitnijoj frakciji PM_{0.49} dok su u suburbanoj zoni najveće koncentracije As, Cd, K, Pb i V nađene u frakciji PM_{0.53-1.06}. As, K i V dominiraju u najfinijoj frakciji i urbane i suburbane zone ukazujući na konstantan izvor njihove emisije. Primena statističkih funkcija verovatnoće (normalne, log-normalne i Weibull-ove) (Đorđević, 2004) za obradu izmerenih podataka (analizom pomoću kvantila), pokazano je da je As regionalnog porekla što ukazuje na termoelektrane u bližoj okolini Beograda (Obrenovac je na oko 30 km od Beograda), koje koriste lignit opterećen ovim elementom. Istočno od Beograda na oko 50 km locirane su još 2 termoelektrane na lignit (Drmno i Kostolac). Takođe zagađenju vazduha Beograda doprinose i dve termoelektrane na uglj u BiH (Ugljevik i Tuzla u blizini granice sa Srbijom) koje su od Beograda udaljene oko 80 – 100 km. Ovi rezultati ukazuju na značajan doprinos energetike zasnovane na uglju emisijama najfinijih čestica u vazduh životne sredine i visokim sadržajima toksičnih elemenata u njima.



Slika 1 Vremenske varijacije procentualnih udela elemenata

Na lici 1. prikazane se vremenske varijacije procentualnih udela elemenata u svakoj frakciji ispitivanog aerosol u suburbanjoj zoni Beograda. Uočljiv visok sadržaj kalijuma (cvena zona) je u frakcijama $PM_{0.27-0.53}$ i $PM_{0.53-1.06}$ u jesenjem i zimskom periodu kao indikator sagorevanja biomase (spaljivanje ostataka sa poljoprivrednih površina i početak grejne sezone kada počinje spaljivanje drveta u kućnim ložištima) što korespondira sa visokim sadržajem K u najfinijoj frakciji aerosola ukazujući na sagorevanje biomase kao značajan izvor emisija najfinijih čestica u ambijentalni vazduh u zimskom periodu.

Merenja su takođe pokazala da u najfinijoj frakciji čestica ($PM_{0.49}$) dominiraju SO_4^{2-} , NH_4^+ , K^+ i PO_4^{3-} ukazujući na složene mehanizme

neutralizacije prekursora iz primarnih izvora koji su osnova za formiranje finog aerosola. Apsolutno najviše koncentracije ($1555.8 \pm 973.6 \text{ ng m}^{-3}$) su nađene za SO_4^{2-} i totalni udeo sulfata u frakciji ($PM_{0.49}$) je iznosio 8,19% u urbanoj zoni Beograda. Formiranje $(NH_4)_2SO_4$ je dominantan proces koji ukazuje na sagorevanje fosilnih goriva obogaćenih sumporom (Đorđević i dr. 2012). Kako se u saobraćaju koriste goriva koja su podvrgnuta odsumporavanju jasno je da se sumpordioksid emituje iz energetske ložišta koja koriste ugljeve i mazut. S druge strane Na^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+} dominiraju u krupnim česticama ukazujući na mehaničke procese odgovorne za njihovu emisiju kao sastavni deo čestica.

Zaključak

Rezultati merenja fizičko-hemijskih osobina segregisanog atmosferskog aerosola urbane i suburbane zone Beograda pokazali su da je dominantna frakcija čestica u vazduhu životne sredine ispod 1 mm (PM₁), što je maksimum koncentracija u urbanoj zoni u frakciji PM_{0.49} dok je u suburbanoj zoni maksimalna koncentracija čestica u frakciji PM_{0.53-1.06}. U ovim frakcijama su detektovane i najveće koncentracije toksičnih elementa kao što je As, Cd, Ni, Pb i V poreklom iz procesa sagorevanja, termoelektrana, saobraćaja i kućnih ložišta.

Poslednjih godina sa pokretanjem prljavih tehnologija, uglavnom kineskih kompanija, koje uključuju čeličane, livnice, topionice, gumarske industrije i sl. na već postojeće zagađenje vazduha, izuzetno toksičnim supstancama kao što su toksični elementi, teški metali i toksične isparljive organske pare, značajno doprinose. Poseban problem predstavlja obim proizvodnje navedenih industrija sa kapacitetima za globalno tržište, pa shodno tome su i emisije višestruko veće u odnosu na industriju iz ranijih perioda sa ovih prostora. Skupština Srbije je 2018. godine donela odluku da se za potrebe energetike uvozi otpad – stare gume, plastika i drugi komunalni otpad koji je zamenio tradicionalne energente. Mnoge industrije, među kojima i one iz EU, su sa prirodnog gasa i drugih tradicionalnih energenata, prešle na ovu vrstu goriva čime je kvalitet vazduha u gradovima Srbije ubrzo postao najgori na svetu. U odsustvu bilo kakve kontrole od strane države, ovi materijali su takođe ušli i u mnoga kućna ložišta. Sagorevanjem otpada, koji proizvodi nebrojeno mnogo toksičnih supstanci, u ložištima bez ikakvih mera zaštite od zagađenja vazduha dovelo je do katastrofalnog kvaliteta vazduha u Srbiji.

Literatura

1. Đorđević S. *Dragana doktorska disertacija „Diferencijacija uticaja više izvora na zagađenost vazduha jedne lokacije: Teški metali i metaloidi u suspendovanim česticama kao traseri“ 2004. Univerzitet u Beogradu, Hemijski fakultet*
2. Đorđević D., Mihajlidi-Zelić A., Relić D., Ignjatović Lj., Huremović J., Stortini A.M., Gambaro A., 2012 *Size-segregated mass concentration and water soluble inorganic ions in an urban aerosol of the Central Balkans (Belgrade). Atmospheric Environment 46 309 – 317*
3. Đorđević D., Stortini A.M., Relić D., Mihajlidi-Zelić A., Huremović J., Barbante C., Gambaro A. (2014) *Trace elements in size-segregated urban aerosol in relation to the anthropogenic emission sources and the resuspension. Environ Sci Pollut Res 21 10949–10959*
4. Đuričić-Milanković R. Jelena, *doktorska disertacija „Fizičko-hemijske karakteristike suburbanog atmosferskog aerosola i procena doprinosa izvora emisija primenom receptor modela“ 2019. Univerzitet u Beogradu Tehnološko-metalurški fakultet*

5. Đuričić-Milanković J., Anđelković I., Pantelić A., Petrović S., Gambaro A., Đorđević D., 2018 Size-segregated trace elements in continental suburban aerosols: seasonal variation and estimation of local, regional, and remote emission sources. *Environmental monitoring and assessment* 190 (10), 1-19 a
6. Đuričić-Milanković J., Anđelković I., Pantelić A., Petrović S., Gambaro A., Antonović D., Đorđević D., 2018 Partitioning of particulate matter and elements of suburban continental aerosols between fine and coarse modes *Environmental Science and Pollution Research* 25 (21), 20841-20853 b
7. Kisić D.M., Miletić S., Radonjić V., Radovanović S., Filipović J., Gržetić I., Natural radioactivity of coal and fly ash at the Nikola Tesla B TPP Hemijska industrija 67 (5) 729–738 (2013)
8. Stortini, A.M., Freda, A., Cesari, D., Cairns, W.R.L., Contini, D., Barbante, C., Prodi, F., Cescon, P., Gambaro, A., 2009. An evaluation of the PM_{2.5} trace elemental composition in the Venice lagoon area and an analysis of the possible sources. *Atmospheric Environment* 43, 6296 – 6304

Branislava Matić, Institut za javno zdravlje Srbije "Dr Milan Jovanović Batut", Beograd, Srbija

Andrej Šoštarčić, Gradski zavod za javno zdravlje Beograd, Srbija

Nataša Dragić, Medicinski fakultet Novosadskog Univerziteta, Novi Sad, Srbija

Prisustvo B(a)P u PM₁₀ u urbanom ambijentalnom vazduhu u Srbiji – zanemareni rizik po javno zdravlje izložene populacije

Presence of B (a) P in PM₁₀ in urban ambient air in Serbia - neglected risk to public health of the exposed population

SAŽETAK / ABSTRACT

Policiklični aromatični ugljovodonici (PAHs, Polycyclic aromatic hydrocarbons) svrstani su među najpotentnije toksične zagađujuće materije u urbanom okruženju. Najvećim delom, PAHs su produkti nepotpunog sagorevanja ili pirolize organskih materija, poput naftnih derivata (benzin, dizel), uglja, drva. Prema nacionalnoj regulativi, u Srbiji se benzo(a)piren (BaP) prati na mernim mestima u okviru Državne mreže mernih mesta, kao i lokalnim mrežama za monitoring kvaliteta vazduha.

Rad ima za cilj da ukaže na obim praćenja i koncentracije BaP u PM₁₀ česticama u 2020. godini. Za ovu studiju preseka korišćeni su podaci Agencije za zaštitu životne sredine Srbije odgovorne za merenja u okviru Državne mreže automatskih mernih stanica (AMS), kao i Gradskog zavoda za javno zdravlje Beograd (GZJZ), koji je, pored stanica u sklopu Državne AMS mreže, formirao i razgranatu lokalnu mrežu mernih mesta/stanica na teritoriji sopstvene nadležnosti (Aglomeracija Beograd). Podaci iz drugih lokalnih mreža za monitoring kvaliteta vazduha su iz baze podataka Instituta za javno zdravlje Srbije (IJZS), za potrebe programskog izveštavanja prema Ministarstvu zdravlja.

U 2020. godini, BaP je praćen u 28 urbanih celina/naselja. Od toga je 14 mernih mesta na teritoriji grada Beograda (nadležnost GZJZ), pri čemu su 2 u sklopu Državne mreže AMS, a 12 u okviru lokalne mreže GZJZ. Najniža srednja godišnja vrednost (1.0 ng/m³) bila je na Novom Beogradu (Omladinskih brigada), a najviša (3.5 ng/m³) u naseljima Ovča i Rakovica. Srednja godišnja koncentracija BaP je na 24/28 lokacija bila iznad preporučenih 1.0 ng/m³ (87%), što ukazuje na potrebu da se izloženosti ovoj grupi jedinjenja pristupi sa spekta zaštite javnog zdravlja izloženih osetljivih grupa.

Ključne reči: B(a)P, PM₁₀, monitoring, javno zdravlje, Srbija

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are ranked among the most potent toxic pollutants in the urban environment. Mostly, PAHs are products of incomplete combustion or pyrolysis of organic matter, such as petroleum products (gasoline, diesel), coal, wood. According to national regulations, benzo(a)pyrene (BaP) is monitored in Serbia at measuring points within the National Network of Measuring Points, as well as local networks for air quality monitoring.

The paper aims to indicate the extent of monitoring and concentration of BaP in PM₁₀ particles in 2020. For this cross-sectional study, data from the Serbian Environmental Protection Agency (responsible for measurements within the State Network of Automatic Measuring Stations (AMS)), as well as the City Institute of Public Health Belgrade (IPHB) were used. Beyond stations within the State AMS Network, IPHB has formed an extensive local network of measuring points/stations in the territory of its jurisdiction (Belgrade Agglomeration). Data from other local air quality monitoring networks derive from the database of the Institute of Public Health of Serbia (IPHS), for the purposes of program reporting to the Ministry of Health.

In 2020, BaP was monitored in 28 urban units/settlements, out of which 14 are on the territory of the city of Belgrade (jurisdiction of the IPHB), where 2 are within the State AMS Network, and 12 within the local network of the IPHB. The lowest average annual value (1.0 ng/m³) was in New Belgrade (Omladinskih brigada), and the highest (3.5 ng/m³) in the settlements of Ovča and Rakovica. The average annual concentration of BaP at 24/28 locations was above the recommended 1.0 ng/m³ (87%), which indicates the need to approach the exposure of this group of compounds from the aspect of public health protection of exposed vulnerable groups.

Key words: B(a)P, PM₁₀, monitoring, public health, Serbia

UVOD

Policiklični aromatični ugljovodonici (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) čine veliku grupu organskih jedinjenja koja sadrže dva ili više spojenih aromatičnih (benzenovih) prstenova. PAHs imaju značajno štetno dejstvo na zdravlje ljudi. Sve u svemu, sadašnji naučni dokazi sugerišu

da su PAHs u ambijentalnom vazduhu povezani sa povećanom incidencom raka kod izloženih populacija. Uspostavljena je značajna povezanost između izloženosti PAHs u ambijentalnom vazduhu i karcinoma dojke, karcinoma pluća i pojave kancera u

dečijem uzrastu. Epidemiološke studije su pokazale da su PAHs povezani sa smanjenom funkcijom pluća, pogoršanjem astme i povećanom stopom opstruktivnih bolesti pluća i kardiovaskularnih bolesti. Ograničeni epidemiološki dokazi takođe ukazuju na štetne efekte na kognitivne funkcije ili funkcije ponašanja kod dece (1).

Benzo(a)pyrene se smatra glavnim predstavnikom ove grupe jedinjenja, sa dokazanim citotoksičnim, genotoksičnim, kancerogenim, teratogenim i imunotoksičnim dejstvom (2-4).

S obzirom na široku rasprostranjenost PAHs u životnoj sredini, humana ekspozicija je sveopšta. Ova jedinjenja u organizam ulaze inhalacijom, preko respiratornog trakta. Većina ih je adherirana na čestičnoj frakciji promera ispod 2.5 µm (PM_{2.5}), koje lako prodiru do distalnih plućnih partija (5-7). Prema Svetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO, World Health Organization), najtoksičniji iz ove grupe jedinjenja su: benzo(a)pyrene, benzo(k)fluoranthene, benzo(b) fluoranthene, fluoranthene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene i benzo (g,h,i)perylene (8).

U EU, B(a)P se nalazi na listi 11 jedinjenja identifikovanih kao "supstance primarnog hazarda", u skladu sa Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC)(9). B(a)P je široko rasprostranjen kroz nus-proizvode nepotpunog sagorevanja i pirolize karbonskih fosilnih goriva (organske materije). Nakon emisije u životnu sredinu, B(a)P se može detektovati u ambijentalnom vazduhu, vodi za piće, otpadnim vodama i hrani tretiranoj sagorevanjem roštiljskog uglja (ćumur). Stepem emisije i molekularna struktura jasno se povezuju za vrstu izvora sagorevanja, pri čemu se B(a)P primarno emituje u vazduh, vezujući se, uglavnom, za PM_{2.5} čestice (10, 11). EU Direktiva 2004/107/EC predlaže B(a)P kao marker za kancerogeni rizik poreklom od izloženosti PAH-ovima u ambijentalnom vazduhu, postavljajući ciljnu vrednost od 1.0 ng/m³, kao srednju godišnju vrednost (12).

Antropogeni izvori se mogu podeliti u dve kategorije: sagorevanje materijala za snabdevanje energijom (npr. ugalj, nafta, gas, drvo, itd.) i sagorevanje radi minimalizacije otpada (npr. spaljivanje otpada). Prva kategorija uključuje stacionarne izvore kao što su industrija (uglavnom proizvodnja

koksa i ugljenika, prerada nafte, sinterovanje aluminijuma, itd.), grejanje stambenih objekata (peći, gorionici na gas i naftu), proizvodnja električne energije i toplote (ugalj, nafta, drvo i lignitne elektrane) i mobilnih izvora kao što su automobili, kamioni, vozovi, avioni (benzinski i dizel motori). Druga kategorija obuhvata spaljivanje komunalnog i industrijskog otpada. U ostale izvore spadaju razne neregulisane paljevine, poput onih u poljoprivrdi. Dim od pušenje cigareta takođe sadrži ova jedinjenja [13].

Prema nacionalnoj regulativi, u Srbiji se benzo(a)piren (BaP) prati na mernim mestima u okviru Državne mreže mernih mesta, kao i lokalnim mrežama za monitoring kvaliteta vazduha (14,15). Rad ima za cilj da ukaže na obim praćenja i koncentracije BaP u PM₁₀ česticama u 2020. godini.

METODOLOGIJA

Za ovu studiju preseka korišćeni su podaci Agencije za zaštitu životne sredine Srbije odgovorne za merenja u okviru Državne mreže automatskih mernih stanica (AMS), kao i Gradskog zavoda za javno zdravlje Beograd (GZJZ), koji je, pored stanica u sklopu Državne AMS mreže, formirao i razgranatu lokalnu mrežu mernih mesta/stanica na teritoriji sopstvene nadležnosti (Aglomeracija Beograd). Podaci iz drugih lokalnih mreža za monitoring kvaliteta vazduha su iz baze podataka Instituta za javno zdravlje Srbije (IJZS), za potrebe programskog izveštavanja prema Ministarstvu zdravlja, dobijeni od strane lokalnih institucija iz Mreže zavoda/instituta za javno zdravlje. Svi podaci odnose se na merenja preduzeta u 2020. godini (16).

REZULTATI I DISKUSIJA

Sadržaj benzo(a)pirena, B(a)P, u suspendovanim česticama PM₁₀, kao najznačajnijeg predstavnika policikličnih aromatičnih ugljovodonika, u 2020. godini određivao se u okviru državne mreže, kao i u okviru lokalnih mreža za monitoring kvaliteta vazduha, u Republici Srbiji. Propisan minimum vremenske pokrivenosti fiksnih merenja benzo(a)pirena je 33%. Najredovnijia merenja sprovedena su na mernim mestima u jurisdikciji IJZ Vojvodina, uglavnom svakodnevno. Zagađenost vazduha ovim polutantom praćenja je ukupno na 37 mernih mesta obe mreže monitoringa. Rezultati monitoringau odnosu na pripadnost mrežama monitoringa i učestalost/pokrivenost merenja prikazani su u Tabeli1 i Tabeli 2. Monitoring sa prihvatljivom učestalošću merenja B(a)P realizovan je na 3 merna mesta državne mreže, u Valjevu, Užicu i u beogradskoj opštini Vračar, kao i na 7 lokaliteta u lokalnim mrežama: Novi Sad (Kać), N.Sad (Rumanačka ulica), N.Sad (vodovod i kanalizacija), N.Sad (SOS Dečije selo), Smederevo (Ralja), Smederevo (Kulturni centar) i Bor (Jugopetrol).

Ostala merenja su bila indikativna i njihova srednja vrednost se tokom 2020. godine kretala od 0,1 ng/m³ na stanici Vršac-Carinski terminal do 4 ng/m³ tako da je godišnja ciljna vrednost od 1 ng/m³ bila prekoračena na stanicama Sombor (APV), Zrenjanin (APV), Beograd-Bulevar D.Stefana, Subotica-O.Š. „Sonja Marinković”(L), a maksimum je zabeležen u Kosjeriću.

Tabela 1. Merenja B(a)P u PM₁₀ u 2020. sa zadovoljavajućom pokrivenošću/učestalošću

B(a)P merenja	C _{sred./} god.	C _{maks.} dnevna	N/godina
Valjevo	4	29.60	104
Užice	3	23.76	104
Kać (L)	2	19.52	365
N.Sad - Rumenačka (L)	1	10.53	359
N.Sad - Vod/kanal. (L)	1	9.37	363
S.Kamenica-Dečije selo (L)	1	6.13	359
Smederevo (Ralja), (L)	1	7.76	137
Smederevo (Vranovo), (L)	1	13.03	152
Smed.-Centar za kult.(L)	0.5	5.34	153
Beograd, Vračar	1	7.75	104
Bor (Jugopetrol), (L)	0.3	0.3	148
ciljna vrednost	1 ng/m³		

Izvor SEPA, 2020 (15)

Rezultati indikativnih merenja prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Indikativna merenja B(a)P u PM₁₀ u 2020.

B(a)P merenja	C _{sred./} god.	C _{maks.} dnevna	N/godina
Kosjerić	4	18.78	44
Subotica, O.Š. "Sonja Marinković" (L)	3	23.65	56
Beograd, Bulevar Despota Stefana	2	12.99	64
Zrenjanin (APV)	2	12.2	101
Sombor (APV)	2	19.10	84
Beograd, Omladinskih brigada	1	12.31	64
Kragujevac	1	6.29	44
Pančevo, Strelishte (L)	0.59	4.50	40
Novi Sad, Liman	0.3	3.55	48
Bor, Gradski park	0.2	1.38	49
Vršac, Carinski terminal	0.1	1.40	53
ciljna vrednost	1 ng/m³		

Izvor SEPA, 2020 (15)

Srednje godišnje vrednosti B(a)P za merenja sprovedena u 2020. godini, kako ona indikativna, tako i ona sa dovoljnom pokrivenošću učestalosti merenja, iznosile su: od subliminalnih 0.1 ng/m³ u Vršcu (Carinski terminal), 0.2 ng/m³ u Boru (Gradski park) i 0.3 ng/m³ u Novom Sadu (Liman) i Boru (Jugopetrol), pa do vrednosti iznad ciljnih 1.0 ng/m³, od 2.0 ng/m³ (Sombor, Zrenjanin, Kać), 3.0 ng/m³ (Užice, Subotica) i 4.0 ng/m³ (Valjevo, Kosjerić).

S obzirom na činjenicu da je Beograd, glavni grad Republike Srbije, ujedno i najveća od 8 utvrđenih aglomeracija (17), kao i na činjenicu da su na njegovoj teritoriji prisutni značajni izvori PAHs, poput visokofrekventnog saobraćaja i široko dispergovanih stacionarnih izvora aerogađenja, poput kućnih ložišta, ne iznenađuju visoke vrednosti koncentracija B(a)P izmerenih u 2020. godini (Tabela 3, Tabela 4).

Tabela 3. Kontinuirana i indikativna merenja B(a)P u aglomeraciji Beograd (ng/m³) u lokalnoj mreži

B(a)P merenja	C _{sred.} /god.	C _{maks.} dnevna	N/godina
Kontinuirana merenja na AMS			
AMS Lazarevac	5.30	43.62	365
AMS Zemun, J. Kopitara 1	3.98	46.94	365
Indikativna merenja			
Kolubara B	2.46	13.50	52
Rakovica, industrija	2.95	14.56	51
Rakovica, O.Š. "N.Tesla"	3.45	20.74	51
Veterinarski fakultet	3.39	24.57	50
BAS, autobuska stanica	2.62	18.09	50
Bojanska ulica	2.17	18.59	51
AMS Veliki Crljeni	2.80	15.03	51
Naselje Ovča	3.50	18.50	53
Zemun, Avijatičarski trg	2.40	15.30	51
Čukarička padina	2.71	22.38	53
Nas. "Stepa Stepanović"	2.59	12.59	44
AMS KBC "Dr D.Mišović"	2.41	11.47	47
AMS JKP BVK Vinča	2.21	26.60	48
ciljna vrednost	1 ng/m³		

Izvor IJZS, 2020 (16)

Ovaj polutant meren je u 2020. godini na 15 mernih mesta lokalne mreže u aglomeraciji Beograd, kao i na 2 koja pripadaju državnoj (Bulevar Despota Stefana, Omladinskih brigada). Merenja sprovodi Gradski zavod za javno zdravlje Beograd. Merna mesta lokalne mreže monitoringa su pažljivo odabrana, dajući uvid u različitu prirodu izvora emisije B(a)P: Vinča - blizina komunalne deponije Vinča; Despota Stefana - centralna gradska ulica kanjonskog tipa sa visokofrekventnim saobraćajem; Veterinarski fakultet - saobraćajno zagađenje poreklom od autoputa E-75 i ulice Bulevar oslobođenja; naselje Ovča - periferija grada, blizina pretakaonice za tečni naftni gas. Lokalna mreža mernih stanica i mernih mesta za praćenje kvaliteta vazduha u Beogradu je uspostavljena Programom kontrole kvaliteta vazduha na teritoriji Beograda u 2020. i 2021. godini (17). Kontinuirana fiksna merenja (AMS) nivoa B(a)P vršena su dinamikom 24 časa svaki dan, tokom cele godine i to na mernim mestima (automatska merna stanica, AMS) Zemun, Jerneja Kopitara i Lazarevac. Indikativna merenja u 2020. godini vršena su na 15 mernih mesta u okviru lokalne mreže (13) i državne mreže (2), od strane GZJZ Beograd, vodeći računa o pokrivenosti svih tipova emisije ovog polutanta: termoelektrana na lignit, saobraćaj, suburbane zone sa preovlađujućim kućnim ložištima, centralne i periferne urbane zone sa frekventnim saobraćajem.

Analizom rezultata iz Tabele 2 i Tabele 3, nevezano da li se radi o kontinuiranim merenjima na AMS ili onim indikativnog tipa, srednje godišnje vrednosti 16 od 17 mernih mesta aglomeracije Beograd, iznosile su iznad granične vrednosti od 1.0 ng/m³, a koliko je iznosila SGV na mernom mestu u Omladinskih brigada (Novi Beograd).

U odnosu na ukupnih 37 mernih mesta na kojima je vršeno merenje koncentracije B(a)P, za 12 se može reći da su emisije dominantno industrijskog porekla (32.43%), i to: termoenergetski kompleks sa iskopavanjem i sagorevanjem lignita (AMS Veliki Crljeni, Kolubara B, Lazarevac), industrija čelika (Smederevo - Ralja, Vranovo, Kulturni centar), petrohemija (Pančevo, Ovča), cementara (Kosjerić). Prisustvo B(a)P koje registruje AMS JKP Vinča, poreklom je od komunalne deponije u Vinči i njenog konstantnog samozapaljivanja, kao i od kućnih ložišta ovog ruralnog kraja. Preostalih 25 mernih mesta (67%), većinom urbanog tipa, kao izvore emisije PAHs imaju frekventni saobraćaj i/ili skoncentrisana kućna ložišta na čvrsta fosilna goriva, čime bi se mogle objasniti relativno visoke koncentracije srednje godišnje vrednosti B(a)P u Užicu (3 ng/m³) i Valjevu (4 ng/m³).

Prema pregledu uobičajenih srednjih godišnjih koncentracija za različite PAHs u Evropi za period 1990 -2001, u odnosu na tip lokacije na kojoj se vrše merenja, vrednosti za B(a)P dobijene u 2020. u Srbiji, prezentovane u radu ne odstupaju značajno. U slučaju udaljenih nenaseljenih lokacija u EU, prosečna B(a)P koncentracija iznosi 0.02 ng/m³; ruralna zona 0.02 - 1.6 ng/m³; urbana zona 0.4 - 2 ng/m³; zona opterećena frekventnim saobraćajem 0.7 - 3.1 ng/m³, dok industrijske emisije mogu uticati na povećanje ovih vrednosti

i u rasponu od 0.5 - 39 ng/m³ (18). Pored relativnog zanemarivanja ovog polutanta u ambijentalnom vazduhu kao bitnog činioca javnog zdravlja izložene populacije, jako je bitno ove izmerene vrednosti dovesti u vezu sa potencijalnim rizikom po zdravlje koje predstavljaju njegove koncentracije u vazduhu zatvorenog prostora. S obzirom na činjenicu da su većina mernih mesta na kojima se prati prisustvo B(a)P locirana u blizini prometnih saobraćajnica urbanih i suburbanih zona, značajna je činjenica da se emisije poreklom od saobraćaja smatraju ključnim izvorom PAH u vazduhu unutrašnjeg prostora mnogih industrijskih gradova (19). Emisije poreklom od motornih vozila čine oko 46–90% mase pojedinačnih PAHs u sastavu PM čestica ambijentalnog vazduha urbanih zona (20), dok kućna ložišta mogu činiti 16% PAHs u ambijentalnom vazduhu u Sjedinjenim Državama, 29% u Švedskoj i 33% u Poljskoj, prema istraživanjima iz 1980-ih godina (21). Pretpostavka je da se ovi odnosi nisu značajno promenili, s obzirom na intenzivnu urbanizaciju u proteklom decenijama, kao i na uticaj globalne ekonomske krize na ponovno vraćanje ka tradicionalnim vidovima potrošnje energije za zagrevanje domaćinstava (čvrsta fosilna goriva), čime je povećan štetni efekat na javno zdravlje izloženih osetljivih populacionih grupa, naročito dece (22).

ZAKLJUČAK

Broj mernih mesta na kojima se vrši merenje koncentracija PM₁₀ i sadržaja B(a)P u njima na teritoriji Republike nije mali, što predstavlja dobru osnovu za dalja istraživanja i usvajanje metodologije za izradu procene uticaja ove frakcije PAHs na zdravlje izložene populacije u okviru Mreže institucija javnog zdravlja, koju čine 25 lokalnih ZJZ/IJZ sa Institutom za javno zdravlje Srbije na čelu. Ovo je u skladu sa činjenicom da je IJZS u 2021 rukovodio projektom "Izrada mape puta za podršku uključivanja sektora zdravstva u proces odgovornog upravljanja hemikalijama u Srbiji do 2030", podržano od strane Svetske zdravstvene organizacije, u sklopu kojeg je data Mapa puta sa akcionim planom u koje, između ostalog spada i osposobljavanje IJZS za sprovođenje humanog biomonitoringa, kao jedne od ključnih metoda u kontinuiranom procenivanju rizika po zdravlje populacije izložene dokazano opasnim hemikalijama prisutnim u životnoj sredini (23).

REFERENCE

1. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2021). Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants: report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/350636>
2. Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. Vol. 34. Polynuclear Aromatic Compounds. Part 3. Industrial Exposure in Aluminium Production, Coal Gasification Coke Production and Iron and Steel Founding. IARC, Lyon, 1989.
3. Zasadowski A., Wysocki A. Some toxicological aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) effects? *Roczn PZH*, 53, (1), 33, 2002.
4. Tang D., Kapota L., Zhou Z., Kapota Y., Chen Y. et al. Effects of prenatal exposure to coal-burning pollutants on children's development in China. *Environ Health Perspect.*, 116, (5), 674, 2008.
5. Han X., Naeher LP. A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world. *Environment International*. 32, (1), 106, 2006.
6. Gryniewicz-Bylina B., Rakwic B., Pastuszka J.S. Assessment of exposure to traffic-related aerosol and to particle-associated PAHs, in Gliwice, Upper Silesia, Poland. *Pol J Environ Stud*. 14, 117, 2005.
7. Šišović A., Bešlić I., Šega K., Vadjjić V. PAH mass concentrations measured in PM₁₀ particle fraction". *Environmental International*. 34, 580, 2008.
8. UNEP,ILO,WHO; International Programme on Chemical Safety, EHC 202, Selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Geneva, 1989. <https://incem.org/documents/ehc/ehc/ehc202.htm>

9. "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy"
10. Nataša S.Jovčić, Jelena R.Radonić, Maja M.Turk Sekulić, Mirjana B.Vojinović Miloradov, Srđan B.Popov; Identifikacija izvora emisije čestične frakcije policikličnih ugljovodonika u neposrednoj blizini industrijske zone Novog Sada; *Hem.Ind.* 67(2) 337-348 (2013) doi: 10.2298/HEMIND120113062J
11. Vorne Gianelle, Cristina Colombi, Stefano Caserini, Senem Ozgen, Silvia Galante, Alessandro Marongiu, Guido Lanzani, Benzo(a)pyrene air concentrations and emission inventory in Lombardy region, Italy, *Atmospheric Pollution Research*, Volume 4, Issue 3, 2013, 257-266, <https://doi.org/10.5094/APR.2013.028>.
12. EC (European Council), 2004. 2004/107/EC Directive on relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air
13. B.Maliszewska-Kordybach, Sources, Concentrations, Fate and Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Environment. Part A: PAHs in Air; *Polish Journal of Environmental Studies* Vol. 8, No. 3 (1999), 131-136
14. Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha ("Sl.glasnik RS", br.11/2010, 75/2010 i 63/2013)
15. Agencija za zaštitu životne sredine Srbije; Godišnji izveštaj o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji 2020. godine http://www.sepa.gov.rs/download/izv/Vazduh_2020.pdf
16. Institut za javno zdravlje Srbije; "Zagađenost urbanog vazduha na teritoriji Republike Srbije merena u mreži institucija javnog zdravlja u 2020.godini", <https://www.batut.org.rs/download/izvestaji/higijena/Godisnji%20izvestaj%20vazduh%202020.pdf>
17. Uredba o utvrđivanju liste kategorija kvaliteta vazduha po zonama i aglomeracijama na teritoriji Republike Srbije za 2018.godinu; "Sl. glasnik RS", br. 88/2020.
18. Ambient Air Pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), Position Paper Annexes (2001) https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/annex_pah.pdf
19. Dubowsky SD et al. The contribution of traffic to indoor concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 1999, 9:312–321.
20. Tonne CC et al. Predictors of personal polycyclic aromatic hydrocarbon exposures among pregnant minority women in New York City. *Environmental Health Perspectives*, 2004, 112:754–759.
21. Maliszewska-Kordybach B. Sources, concentrations, fate and effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the environment. Part A: PAHs in air. *Polish Journal of Environmental Studies*, 1999, 8:131–136
22. Perera F. Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;15(1):16. Published 2017 Dec 23. doi:10.3390/ijerph15010016
23. Case study: development of the national road map for enhancing health sector engagement/contribution to sound management of chemicals in Serbia till 2030 <https://www.who.int/publications/i/item/9789240035881>

Ranka Radić, Republic Hydrometeorological Service of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Aleksandra Bursać, Republic Hydrometeorological Service of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Jelena Zorić, Republic Hydrometeorological Service of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Jovana Rudić, Republic Hydrometeorological Service of Republic of Srpska, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Prostorna i vremenska varijabilnost odnosa PM_{2.5}/PM₁₀ u Republici Srpskoj

Spatial and temporal variability of PM_{2.5}/PM₁₀ ratio in Republika Srpska

SAŽETAK / ABSTRACT

Vrijednosti suspendovanih čestica (PM) se obično koriste za označavanje stepena zagađenosti vazduha. Pored upotrebe PM_{2.5} i PM₁₀, upotreba odnosa PM_{2.5}/PM₁₀ kao indikatora i procjenjivača zagađenja vazduha je postao sve rasprostranjeniji. Međutim, upotreba odnosa mora da varira, zbog toga što se koncentracije PM čestica mjenjaju u vremenu i prostoru. Satna i dnevna praćenja PM_{2.5} i PM₁₀ na jednoj stanici u gradskom području, jednom gradskom pozadinskom području i gradskom industrijskom području u Republici Srpskoj u periodu od 2017-2019. godine se vrše kako bi se istražile i dugoročne i kratkoročne vremenske varijacije i prostorna raspodjela odnosa. Rezultati pokazuju da je prosječni godišnji odnos PM_{2.5}/PM₁₀ u gradskom području 0,45, u gradskom industrijskom području 0,57, a u gradskom pozadinskom području 0,70 sa prividnim sezonskim, mjesečnim i dnevnim varijacijama. Stabilni atmosferski uslovi su preduslov za maksimalan odnos u zimskoj sezoni. Postoje očigledne noćno-dnevne razlike u promjenama odnosa i očigledni prostorni gradijent odnosa iz gradskih, gradskih pozadinskih i gradskih industrijskih područja.

Ključne riječi: Kvalitet vazduha, čestice PM, izvori zagađenja.

The particulate matter (PM) value is usually used to indicate the degree of air pollution. In addition to that of PM_{2.5} and PM₁₀, the use of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio as an indicator and assessor of air pollution has also become more widespread. However, application of the ratio needs its varying pattern because PM concentrations change significantly at time and space. Hourly and daily PM_{2.5} and PM₁₀ observations at one monitoring site in urban area, one urban-background site and one urban-industrial site in Republic of Srpska in 2017-2019 were collected to investigate both long-term,

short-term temporal variation and spatial distribution of the ratio. The results show that annual average PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is 0.45 at urban-site and 0.70 at urban-background site and 0.57 at urban-industrial site with apparent seasonal, monthly and daily variations. Stable atmospheric conditions are prerequisite for maximum ratio in winter season. There are apparent night-day differences of daily variation of the ratio and obvious spatial gradients of the ratio from urban, urban-background and urban-industrial sites.

Keywords: Air quality, particulate matter, PM, pollution sources.

Introduction

Suspended particles have a dominant impact on air quality in urban agglomerations and other parts of the Republic of Srpska. Suspended particles are a complex mixture of different organic and inorganic substances. They contain sulfates, nitrates, some crystalline species, sea salt, heavy metals, ions, and water. Suspended particles can be in a solid and liquid state, and can be found in various forms such as ash, smoke, soot, etc. The classification was made based on particle size, so suspended particles with an aerodynamic diameter of less than 2.5 µm are called and marked as PM_{2.5} or fine particles, while suspended particles with an aerodynamic diameter of less than 10 µm are called and marked as PM₁₀, and in addition to fine particles, also contain coarse particles in the range of 2.5 µm-10 µm. Sources of suspended particles are: central and local heating, traffic, dust from landfills and waste disposal sites, fires, industrial facilities (thermal power plants, cement plants, ore roasting plants), wind dust, dust from agricultural regions, dust from construction sites.

The PM_{2.5} fraction is formed mainly from the product of incomplete combustion, carrying with it sulfates and nitrates, elemental

carbon, polyaromatic hydrocarbons, toxic and carcinogenic metals (*Chow et al., 1994*). Coarse particles are mainly formed from natural processes such as re-suspension of local soil, dust storms, as well as from anthropogenic sources like road dust and various industrial processes (*Querol et al., 2004*).

From the health risk point of view, fine particles are much more dangerous than coarse particles. PM₁₀ has been linked to health problems such as asthma attacks, some respiratory and cardiovascular diseases (*Anderson et al., 2012; Brook et al., 2010*). PM_{2.5} particle fractions can travel into the lungs, enter the circulatory system, and can cause much more serious problems than coarse particle fractions (PM_{2.5-10}) (*Owen et al., 1992*). A health study conducted in the US (*Dockery and Pope, 1994*) showed that an increase in PM₁₀ concentration by 10 µg/m³, causes an increase in the daily mortality rate by approximately 1%. Another study also conducted in the US (*Schwartz et al., 1996*) shows a similar result for PM_{2.5}. Namely, an increase in PM_{2.5} concentration by 10 µg/m³ leads to an increase in the daily mortality rate by approximately 1.5%.

The value of PM particles is usually used to indicate the degree of air pollution. In addition to the values of PM_{2.5} and PM₁₀, the use of the ratio PM_{2.5}/PM₁₀ as indicators and estimators of air pollution has become more widespread. This ratio reflects the conditions of air pollution and sources of pollution. Since fine and coarse particles come from diverse sources and have different physico-chemical properties, the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio can provide crucial information relating to the particle origin, its formation process, and its effects on human health (Blanco-Becerra *et al.*, 2015; Speranza *et al.*, 2014). Higher ratios of PM_{2.5}/PM₁₀ attribute particle pollution to anthropogenic sources and smaller ratios indicate considerable involvement of coarse particles, which might be related to natural sources, e.g. dust storm (Sugimoto *et al.*, 2016). Actually, the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is often used to characterize the underlying atmospheric processes within the local environment (Chu *et al.*, 2015; Yu and Wang, 2010).

PM concentration is influenced by various factors such as land use, population density, meteorology conditions (Xu *et al.*, 2016b), and there is obvious spatio-temporal heterogeneity of PM concentrations at urban or regional scales. Therefore, it is evident that the fraction of fine particles (PM_{2.5}) in PM₁₀ also varies in time and space (Parkhurst *et al.*, 1999; Zhou *et al.*, 2016).

This study gives us an insight into the spatial-temporal variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio, it tells us about the contribution of PM_{2.5} particles in PM₁₀. By using this ratio, as well as observing its change through different geographical areas at different time intervals, we can get useful information about the source of pollution, whether particles PM_{2.5} are dominated by PM₁₀ particles, which certainly indicates that the

source of pollution is anthropogenic or the contribution is smaller which again indicates natural sources of pollution.

Materials and methods

Study Area

In this study, we have processed the data from three measuring areas in the Republic of Srpska: the urban-site city of Banja Luka, the urban-background site city of Prijedor, and the urban-industrial site municipality of Brod, for a period 2017-2019. The city of Banja Luka is the largest local government unit in the Republic of Srpska and the second in Bosnia and Herzegovina, with the First category of air quality, clean or slightly polluted air where the limit values of pollutants have not been exceeded, except in 2017, where we have the Third category of air quality-excessively polluted air. In the city of Prijedor and the municipality of Brod, we have the Third category of air pollution, excessively polluted air where the tolerance values for one and more pollutants are exceeded. The cities of Banja Luka and Prijedor, as well as the municipality of Brod, are faced with a problem in terms of increased concentration of PM_{2.5} and PM₁₀, which are dominant during the winter.

PM Monitoring and Measurements

Continuous measurements and monitoring of air quality in the Republic of Srpska are performed in several cities and municipalities in the Republic of Srpska: Banja Luka, Prijedor, Bijeljina, Brod, Ugljevik, and Gacko. More detailed information on the measuring areas used in this paper can be found in Table 1.

The reference method for sampling and measuring the concentrations of suspended

particles PM₁₀ is described in the standard BAS EN 12341, air quality-determination of the fraction PM₁₀ of the suspended particles-reference method, and field test procedure to demonstrate the equivalence of measurement methods.

The reference method for sampling and measuring the concentration of suspended particles PM_{2.5} is described in the standard BAS EN 14907, ambient air quality-standard gravimetric

method for determining the mass fraction PM_{2.5} of suspended particles.

Table 1: Measuring sites used in the paper

No	Measuring point	Location	Measuring device
1.	Banja Luka „CITY CENTER“	N 44.77; E 17.18	Bam 1020
2.	Prijedor „METEOROLOGICAL STATION“	N 44.97; E 16.71	Grimm EDM 180+
3.	Brod „BROD OIL REFINERY A.D.“	N 45.13; E 17.98	Horiba APDA 371

Data Summarizing and Analysis

In this paper, hourly data were used for the city of Prijedor and the municipality of Brod, and daily data for the city of Banja Luka, in the period 2017-2019. Based on the data on concentrations obtained from the measuring stations for PM_{2.5} and PM₁₀, the calculation of the ratio PM_{2.5}/PM₁₀ for hourly values was performed. The annual ratio average was obtained from the hourly ratios for the whole year.

The time period is divided into summer and winter, where the summer period includes months

(April, May, June, July, August, and September), and the winter period includes the months

(January, February, March, October, November, December), to get the change in the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio depending on the seasonality, and thus reach a conclusion about the source of the pollution. We have also classified night and day regimes from summer and winter periods because increased or decreased concentrations of particles in the twenty-four-hour regime may indicate the influence of meteorological factors on pollutants.

On air quality stations, it is desirable to perform all meteorological observations necessary to determine the relationship between meteorological conditions and the state of air pollution and the spread of pollutants in the air. The basic meteorological parameters are monitored: wind direction, wind speed, relative humidity, air temperature, atmospheric pressure, precipitation, and insolation.

Results

Long-Term Variation of the Ratio

The long-term variation of the ratio in this paper is analyzed on an annual basis, but also seasonally, by dividing the year into two seasons, summer and winter. The processed measuring locations are: the urban-site city of Banja Luka, urban-background site city of Prijedor, and urban-industrial site municipality of Brod. The results show that the annual average of PM_{2.5}/PM₁₀ ratio is 0.45 at urban-site and 0.70 at the urban-background site and 0.57 at the urban-industrial site with apparent seasonal, monthly, and daily variations.

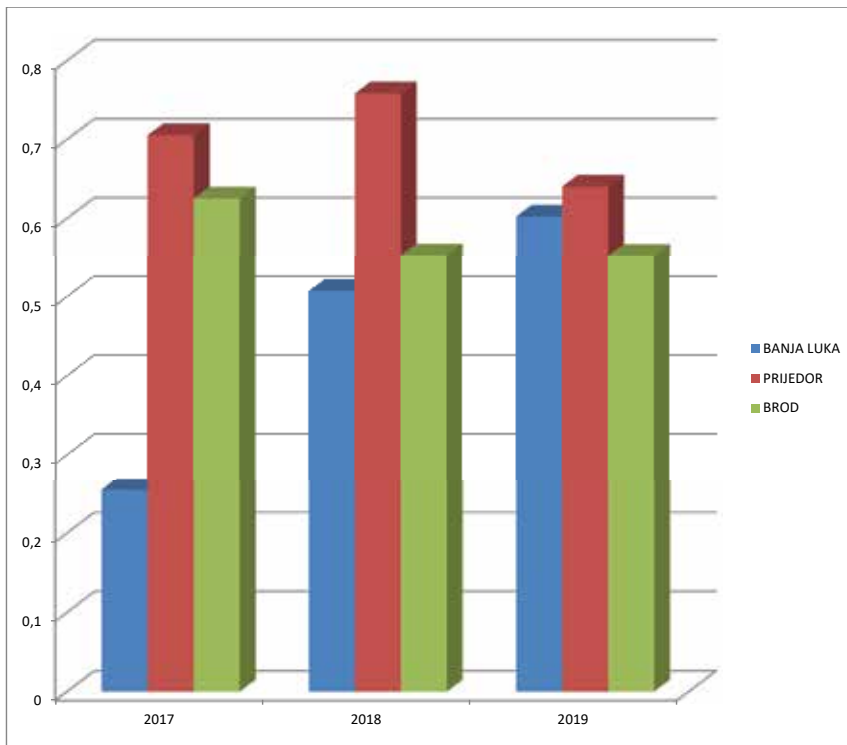


Figure 1: Change of ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$, Banja Luka, Prijedor and Brod, 2017-2019.

If we observe the Figure 1. and the change in the $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio for Banja Luka, Prijedor, and Brod in the period 2017-2019, it is clear that ratios have been constantly increased in the urban-background site of Prijedor. The values of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios in the city of Prijedor range from 0.64-0.75. Compared to the city of Prijedor, the values of ratios in the urban-industrial site municipality of Brod are lower and range from 0.55-0.62, and in the urban-site city of Banja Luka, the ratios show the lowest values in the range of 0.25-0.60.

Fine particles, as well as coarse particles, are emitted and produced due to human activities in the urban area, but fine particles can travel further than coarse particles before they are removed from the atmosphere, resulting in higher $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios in suburban (Parkhurst *et al.*, 1999; Zhou *et al.*, 2016). Parkhurst *et al.* (1999) demonstrated that the fractional

contribution of $PM_{2.5}$ to PM_{10} appears greater at remote stations and lower at those stations which are more likely to be influenced by anthropogenic local sources. It should also not be overlooked that the concentration of suspended particles is affected by meteorological parameters. Meteorological parameters such as wind speed and direction, temperature and relative humidity, solar radiation, and atmospheric stability affect the dispersion of pollutants. At high relative

humidity, the suspended particles absorb water, which leads to an increase in their volume and fogginess. There are significant natural mechanisms for removing suspended particles from the atmosphere, and these are strong current and precipitation. The amount of pollution is also affected by the proximity of mountains and rivers, the peripheral wind direction, and the amount of precipitation in an area. Wind speed and direction provide real-time information on regional transport of pollutants and are used to assess the ratio between sources and levels of air pollution. Taking into account all the above facts, the obtained increased ratios in the city of Prijedor in relation to the city of Banja Luka and the municipality of Brod can be justified. Considering that in the city of Prijedor the prevailing wind direction is calm, the state without wind, the average wind speed is 0.9 m/s, the wind direction is 163.8-170°, the influence of meteorological parameters is obvious. The highest pollution occurs during the period of calm due to weak air diffusion,

reduced wind speed. Weather conditions characterized by high air stability and low wind speed increase pollution levels due to reduced mixing between air layers. As a consequence of such weather conditions, the prescribed limit values of PM particle concentrations are exceeded more often. The average annual $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio of 0.70 in the city of Prijedor indicates the 70% contribution of $PM_{2.5}$ in PM_{10} , which is a

clear indicator of anthropogenic pollution. The annual average of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio in the urban industrial area of the municipality of Brod is 0.57, with a 57% contribution of $PM_{2.5}$ in PM_{10} , which is also an indicator of anthropogenic pollution. If we take into the consideration the fact that automatic monitoring station for air quality is located in the entrance of the Oil refinery Brod, in close proximity to river Sava, with predominant west-southwest wind direction, average wind speed of 1-1.2 m/s, and wind direction 179-191°, where aeration is more pronounced in relation to the city of Prijedor, lower values of the contribution of $PM_{2.5}$ particles are expected. The results from the urban measuring area of the city of Banja Luka indicate that the average annual ratio is 0.45, with a 45% contribution of $PM_{2.5}$ in PM_{10} . The data used for the city of Banja Luka are from the automatic monitoring station for air quality in the measuring area "city center", from which we can conclude that a large percentage of the pollution originates from the traffic, considering that the station is located in the city center where traffic is dominant.

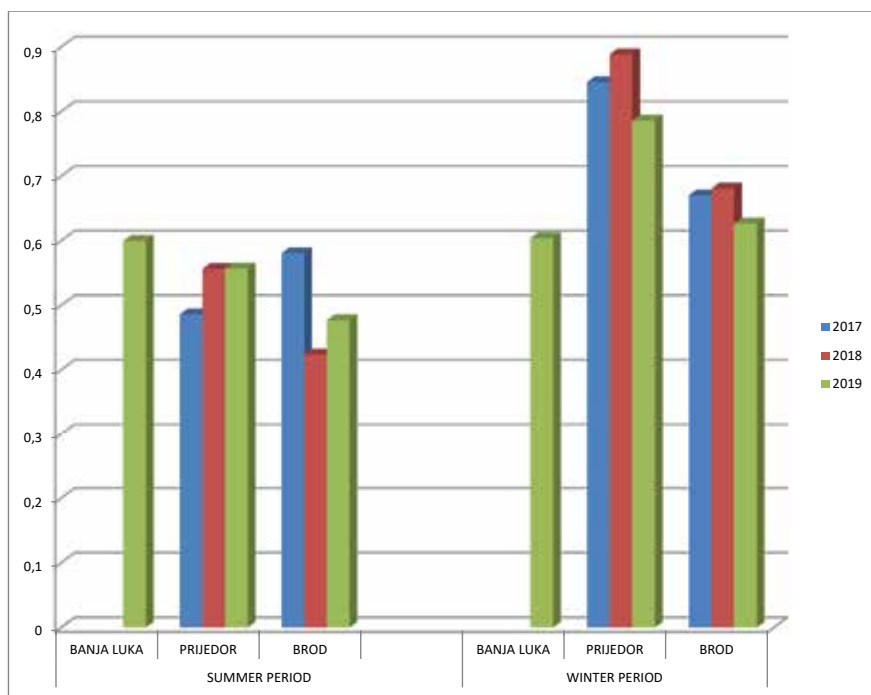


Figure 2: Changing ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ in winter and summer period.

On the Figure 2 we can monitor the variations of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio during the winter and summer period. The maximum ratio in the winter period was recorded in the city of Prijedor with 0.88, while during the summer period the maximum ratio was reached in the city of Banja Luka, with 0.59, which is a clear indicator of seasonal variations. During the winter periods we are faced with an increased number of days with longterm fog, including the increased use of solid fuels in domestic heating, and at the same time with the lack of winds for dispersion of harmful particles, which certainly causes higher concentrations of particles within that period and higher values of seasonal variations. The secondary aerosol, one of the major sources of fine particles, is also accelerated due to the lower mixing height in winter (Huang et al., 2014). On the other hand, the stable atmospheric conditions in winter are favourable for the dry deposition of coarse particles, but also favour

the accumulation of fine particles in the air, resulting in the domination of fine particles in PM_{10} in winter (Huang et al., 2015).

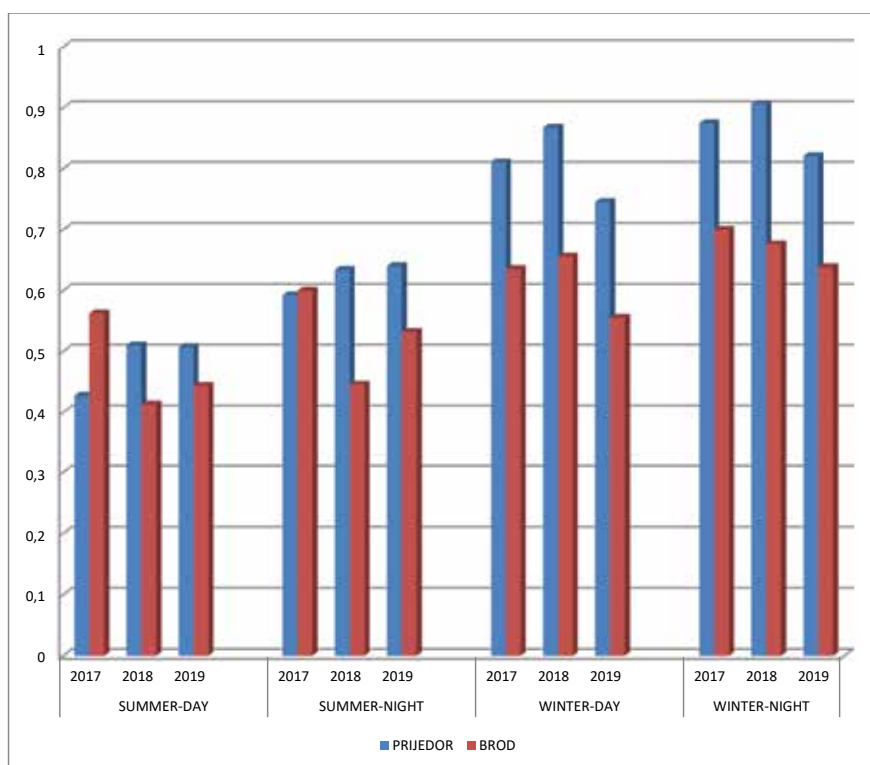
Short-term variations

Short-term variations of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios are presented through day and night variations in winter and summer period, for the urban background site-city of Prijedor and urban industrial site-municipality of Brod. The period of the day is from 7 AM to 5 PM in the winter period and from 6 AM to 8 PM in the summer period, while the period of the night is from 6 PM to 6 AM in the winter period and from 9 PM to 5 AM in the summer period.

to technical difficulties, these data are not available for the city of Banja Luka.

On the following chart, we can see daily-night variations, where $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios are constantly higher during the night, independent of the seasonality. If we analyze the summer period for both locations, the values of ratios vary from 0.41 to 0.56 during the period of the day, while during the period of the night those values reach 0.64. That kind of variability trend is present also during the winter period, where during the day values vary from 0.55 to 0.86, and during the night reach up to 0.90.

The process of rapid cooling of the earth's surface to a temperature lower than the



air temperature above the surface during the clear night, as a result of energy radiation, is called temperature inversion. Vertical air mixing is disabled due to temperature inversion, which causes an increase in the concentration of ozone and particle precursors. If the concentrations of precursors are higher, the chemical reactions in the production of secondary pollutants in the atmosphere are faster and more efficient. There are several different types

Figure 3: Day-night variations of the ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ between winter and summer, the city of Prijedor and municipality of Brod.

On the Figure 3, we can see daily-night variations of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios for the city of Prijedor and the municipality of Brod. Due

of temperature inversion, but the most common one is the night inversion, and it occurs during the night when the ground surface cools faster than the air above it. The strongest inversions arise from long winter nights and clear night evenings. This kind of inversion enables the retention of emitted air pollution in the ground

layer during the night. During the day the sun heats the ground surface that gradually starts the process of vertical air mixing, the night inversion is destroyed by noon and vertical dispersion of retained air pollution is enabled. If the cloud cover is present during the day or if the inversion is strong, the inversion can last longer and prevent vertical mixing of air pollution which causes higher concentrations of pollution.

The daily-night variations during the winter and summer period in the urban background site-city of Prijedor and urban industrial site-municipality of Brod, clearly show the increase of ratios during the night as a result of temperature inversion.

Spatial ratio distribution

In the observed period 2017-2019 in three measuring sites in Republic of Srpska, spatial disproportion of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio is present. The values of three year average of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios are the following:

- ≈ urban measuring site-city of Banja Luka=0.45
- ≈ urban background site-city of Prijedor=0.70
- ≈ urban industrial site-municipality of Brod=0.57,

where we can see that the highest contribution of $PM_{2.5}$ particles in PM_{10} is present in the city of Prijedor, with 70%, followed by the municipality of Brod, with 57%, and the lowest contribution is present in the city of Banja Luka with 45%. Considering that it is has been proven that fine particles can travel further than coarse particles before being removed from the atmosphere, resulting in higher $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios in suburban areas, while also recognizing the impact of all meteorological parameters on the pollution, the highest three-year ratio in the urban background area of the

city of Prijedor, with 70% can be explained. Somewhat lower contribution of $PM_{2.5}$ particles in PM_{10} has been calculated for the urban industrial area of the municipality of Brod, with 57%. The automatic measuring station for air quality in the municipality of Brod is located in the entrance of the Oil refinery Brod, in the proximity of river Sava, with predominant west-southwest wind direction, which surely contributes to the lower contribution of $PM_{2.5}$ particles in PM_{10} , in relation to the city of Prijedor. The lowest percentage is calculated for the city of Banja Luka, with 45% of the contribution, where the station is located in the city center, which indicates that traffic is the major source of pollution. High values of $PM_{2.5}$ particles in PM_{10} on all three locations in the Republic of Srpska imply the pollution of anthropogenic origin and the most common sources are: central and local heating, traffic, road dust, fires, industrial facilities, dust from agricultural regions, construction dust, etc.

Discussion

In this study, spatio-temporal $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratios have been analyzed for urban site, urban background, and urban industrial measuring site, by monitoring hourly and daily data for a period of three years.

The average annual ratio for three measuring areas in the Republic of Srpska is 0.57. It has been published that the ratio of 0.6 is considered to be a typical North American $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio (Dockery and Pope, 1994). In Asia the ratio is usually lower than 0.5 which indicates higher masses of coarse particles; but in urban locations in China, we have an average value of $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio higher than 0.5 (Hopke et al., 2008). Studies conducted in China, Wuhan, show that three year average of the highest ratio (0.66) has been discovered in the traditional

industrial zone, which indicates a significant contribution of energy combustion and other industrial processes to fine particles. In the urban-industrial site of the municipality of Brod, a three-year ratio average is 0.57, which shows the lower contribution of industrial processes in the pollution. The three-year ratio average on one remote background location in the city of Wuhan is 0.68. If we compare these values with the urban background area of the city of Prijedor and three year average of 0.70, we can conclude that in both cases the high contribution of $PM_{2.5}$ shows a large contribution of anthropogenic pollution. The ratio values in urban locations in the city of Wuhan vary from 0.58-0.66. The data from the urban measuring site of the city of Banja Luka show a value of 0.45, which is certainly lower compared to urban locations in Wuhan.

The spatial disproportion of ratios on three measuring areas varies in relation to the seasons but also to the periods of day and night. All three measuring sites in three years show the highest ratios during the winter period, while in the summer period the ratios are visibly decreasing, where the highest disproportion between three sites is present also in the winter period. If we consider all the facts, in practice, the $PM_{2.5}/PM_{10}$ ratio can provide useful information regarding the sources of the pollution, whether it is of anthropogenic or natural origin, however, in this paper we have been deprived of a diverse chemical composition of fine and coarse particles which is of great importance for the assessment of polluters.

Conclusions

In this study, the spatio-temporal variability of PM_{2.5}/PM₁₀ ratio has been analyzed. The contribution of fine PM_{2.5} particles in PM₁₀ varies in time and space, which has been shown in the example of two cities and one municipality in three years in the Republic of Srpska.

During one day, ratios increase from day to night in all seasons, as a result of the temperature inversion, and if we pay attention to seasonality it is clear that during the winter period the content of fine particles in PM₁₀ is higher compared to the summer period. We can see an apparent spatial gradient where PM_{2.5}/PM₁₀ ratio increases from urban measuring site-city of Banja Luka, urban industrial measuring site-municipality of Brod, to urban background measuring site-city of Prijedor, where the highest values have been confirmed.

This study is of great importance because understanding the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio can provide crucial information regarding the particle origin, generation process, and its impact on human health, but also for better understanding of atmospheric processes.

References

1. Anderson J.O., Thundiyil J.G., Stolbach A. (2012) Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health, *Journal of Medical Toxicology: Official Journal of the American College of Medical Toxicology*, 8(2), 166–175. <https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1>
2. Blanco-Becerra, L.C., Gáfarro-Rojas, A.I., & Rojas-Roa, N.Y. (2015). Influence of precipitation scavenging on the PM_{2.5}/PM₁₀ ratio at the Kennedy locality of Bogotá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 76, 58–65. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.n76a07>
3. Brook, R.D. et al. (2010) Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An Update to the Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e3181d8e1>
4. Chu, H.J., Huang, B., & Lin, C.Y. (2015). Modeling the spatio-temporal heterogeneity in the PM₁₀-PM_{2.5} relationship. *Atmospheric Environment*, 102, 176–182. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.atmosenv.2014.11.062>
5. Dockery, D.W., & Pope, C.A. (1994). Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*, 15, 107–132. <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.15.050194.000543>
6. Gang Xu, Limin Jiao, Boen Zhang, Suli Zhao, Man Yuan, Yanyan Gu, Jiafeng Liu, & Xin Tang, (2017). Spatial and Temporal Variability of the PM_{2.5}/PM₁₀ Ratio in Wuhan, Central China. *Aerosol and Air Quality Research*, 17, 741–751. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2016.09.0406>

7. Hopke, P.K., Cohen, D.D., Begum, B.A., Biswas, S.K., Ni, B., Pandit, G.G., Santoso, M., Chung, Y.-S., Davy, P., Markwitz, A., Waheed, S., Siddique, N., Santos, F.L., Pabroa, P.C.B., Seneviratne, M.C.S., Wimolwattanapun, W., Bunprapob, S., Vuong, T.B., Duy Hien, P. And Markowicz, A. (2008). Urban air quality in the asian region. *Science of The Total Environment*, 409, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.028>
8. <https://www.svetnauke.org/>
9. Huang, R.J., Zhang, Y., Bozzetti, C., Ho, K.F., Cao, J.J., Han, Y., Daellenbach, K.R., Slowik, J.G., Platt, S.M., Canonaco, F., Zotter, P., Wolf, R., Pieber, S.M., Bruns, E.A., Crippa, M., Ciarelli, G., Piazzalunga, A., Schwikowski, M., Abbaszade, G., Schnelle-Kreis, J., Zimmermann, R., An, Z., Szidat, S., Baltensperger, U., El Haddad, I. and Prevot, A.S. (2014). High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in china. *Nature* 514, 218–222. <https://doi.org/10.1038/nature13774>
10. Huang, W., Long, E., Wang, J., Huang, R. and Ma, L. (2015). Characterizing spatial distribution and temporal variation of PM₁₀ and PM_{2.5} mass concentrations in an urban area of southwest China. *Atmospheric Pollution Research*, 6, 842–848. <https://doi.org/10.5094/APR.2015.093>
11. Author: Institute for Public Health FBiH. <https://www.zzjzfbih.ba/ekologija/>
12. Marko Čavrak, (2006). Modeling and simulation of air pollution over the wider area of the city of Rijeka (Master's thesis). https://bib.irb.hr/datoteka/286776.MasterThesis_MarkoCavrak_2006.pdf
13. Owen M.K., Ensor D.S., Sparks L.E. (1992) Airborne particles sizes and sources found in indoor air, *Atmospheric Environment* 26A, 2149-2162. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(92\)90403-8](https://doi.org/10.1016/0960-1686(92)90403-8)
14. Parkhurst, W.J., Tanner, R.L., Weatherford, F.P., Valente, R.J. and Meagher, J.F. (1999). Historic PM_{2.5}/PM₁₀ concentrations in the southeastern united states - potential implications of the revised particulate matter standard. *Journal of the Air & Waste Management Association* 49, 1060–1067. <https://doi.org/10.1080/10473289.1999.10463894>
15. Querol, X., Alastuey, A., Ruiz, C.R., Artiñano, B., Hansson, H.C., Harrison, R.M., Buringh, E., Ten Brink, H.M., Lutz, M., Bruckmann, P., Straehl, P. and Schneider, J. (2004). Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities. *Atmospheric Environment*. 38, 6547–6555. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.037>
16. Renata M. Kovačević, (2016). The content and composition of respirable particles in the urban area of Bor (Doctoral dissertation). <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/8053>
17. Author: Republic Hydrometeorological Institute, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. <https://rhmzrs.com/zivotna-sredina/kvalitet-vazduha/izvjestaj/godisnji-pregledi/>
18. Schwartz J., Dockery D.W., Neas L.M. (1996) Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46, 927–939. <https://doi.org/10.1080/10473289.1996.10467528>

19. Speranza, A., Caggiano, R., Margiotta, S. and Trippetta, S. (2014). A novel approach to comparing simultaneous size-segregated particulate matter (PM) concentration ratios by means of a dedicated triangular diagram using the agri valley pm measurements as an example. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14, 2727–2733. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.5194%2Fnhess-14-2727-2014>
20. Author: State Hydrometeorological Institute of Croatia. https://meteo.hr/index_kz.php?tab=kz
21. Sugimoto, N., Shimizu, A., Matsui, I. and Nishikawa, M. (2016). A method for estimating the fraction of mineral dust in particulate matter using PM_{2.5}-to- PM₁₀ ratios. *Particuology* 28, 114–120. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.partic.2015.09.005>
22. Xu, G., Jiao, L., Zhao, S., Yuan, M., Li, X., Han, Y., Zhang, B. and Dong, T. (2016b). Examining the impacts of land use on air quality from a spatio-temporal perspective in Wuhan, China. *Atmosphere* 7, 62. <https://doi.org/10.3390/atmos7050062>
23. Yu, H.L. & Wang, C.H. (2010). Retrospective prediction of intraurban spatiotemporal distribution of PM_{2.5} in Taipei. *Atmospheric Environment* 44, 3053–3065. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.030>
24. Zhou, X., Cao, Z., Ma, Y., Wang, L., Wu, R. and Wang, W. (2016). Concentrations, correlations and chemical species of PM_{2.5}/PM₁₀ based on published data in china: Potential implications for the revised particulate standard. *Chemosphere* 144, 518–526. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.003>

Hana Alihodžić, TQM Lukavac, Bosna i Hercegovina

Abdel Đozić, Univerzitet u Tuzli, Tehnološki fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina

Nermin Alić, TQM Lukavac, Bosna i Hercegovina

Analiza ambijentalnih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} na području Tuzle, Lukavca i Živinica za period 2016–2019. godine

Ambient concentrations analysis of SO₂ and PM_{2.5} of Tuzla, Lukavac and Živinice area for 2016–2019 period

SAŽETAK / ABSTRACT

Zagađenje zraka predstavlja dugogodišnji problem zbog negativnog uticaja kako na zdravlje opće populacije stanovništva tako i na okoliš u cjelini zbog čega je osiguranje dobre kvalitete zraka od iznimne važnosti. Primarni pokazatelji zagađenja zraka određenog područja su slijedeći polutanti: SO₂, NO₂, CO, PM_{2.5} i O₃. Da bismo uspješno upravljali kvalitetom zraka i donosili mjere koje će popraviti njegov kvalitet potreban je kontinuirani monitoring koncentracija navedenih polutanata kao i stručna analiza prikupljenih podataka. Metodologija ovog rada obuhvatila je prikupljanje relevantnih podataka koji se odnose na izmjerene koncentracije prisutnih polutanata u zraku i to SO₂ i PM_{2.5} za period od 2016.-2019. godine, pregled postojećih istraživanja i analizu prikupljenih podataka što u konačnici daje informacije koje mogu pomoći pri donošenju odluka od strane nadležnih institucija koje idu u pravcu poboljšanja kvalitete zraka i veću efektivnost u provođenju postojećih mjera.

Ključne riječi: kvalitet zraka, monitoring, polutanti

Air pollution is a long-standing problem due to the negative impact on the health of the general population and the environment in general, which is why ensuring good air quality is extremely important. The primary indicators of air pollution in given area are the following pollutants: SO₂, NO₂, CO, PM_{2.5} and O₃. In order to successfully manage air quality and adopt measures that will improve its quality, continuous monitoring of the concentration of these pollutants is needed, as well as expert analysis of the collected data. The methodology of this work included the collection of relevant data related to the measured concentrations of pollutants present in the air: SO₂ and PM_{2.5} for the period from 2016. - 2019., review of existing research and analysis of collected data, which ultimately provides information that can help make decisions by relevant institutions that go in the direction of improving air quality and greater effectiveness in implementing existing measures.

Key words: air quality, monitoring, pollutants

1. MONITORING AMBIJENTALNIH KONCENTRACIJA SO₂ I PM_{2,5} NA PODRUČJU TUZLE, LUKAVCA I ŽIVINICA

Onečišćenje zraka uzrokuje štete u okolini, zdravlju ljudi, ali i kvalitetu života te ga je nemoguće ignorirati. Razvoj industrije koju nije pratilo odgovarajuće prečišćavanje otpadnih tokova rezultiralo je porastom emisija u zrak, a rezultat toga je narušen kvalitet zraka i povećan broj oboljenja kod ljudi. S obzirom da je kvalitet zraka vrlo važan faktor okoliša koji može imati negativan uticaj na sve sastavnice okoline ovom okolinskom aspektu je potrebno posvetiti posebnu pažnju. Prema BAT-u (najbolje raspoložive tehnike), najvažnije emisije kojima treba posvetiti pažnju su: SO₂, NO₂, lebdeće čestice, te ostale emisije kao što su: organski spojevi, CO, teški metali, amonijak, hlor itd. Shodno tome, monitoring kvalitete zraka u urbanim i industrijskim područjima je prvi korak ka rješavanju onečišćenja zraka. Za ocjenu stanja kvalitete zraka na području Tuzle, Lukavca i Živinica u periodu od 2016-2019. godine korišteni su podaci dobiveni od Kantonalnog ministarstva prostornog uređenja i zaštite okolice. Ciljni polutanti koji su bili predmet analize su: SO₂ i PM_{2,5}. Mjerna stanica „Skver“ se nalazi na raskrsnici u strogom centru grada Tuzle, ulica Kulina bana. Mjerna stanica „Tuzla 1“ se nalazi u neposrednoj blizini Bosanskog kulturnog centra u novom dijelu grada, a mjerna stanica „Bukinje“ u ulici Vojka Milovanovića rezidencijalno naselje Bukinje. Mjerna stanica „Lukavac“ se nalazi u centru grada Lukavac u blizini dječijeg vrtića. Mjerna stanica „Živinice“ je smještena je u središtu grada Živinice u blizini sportske dvorane.

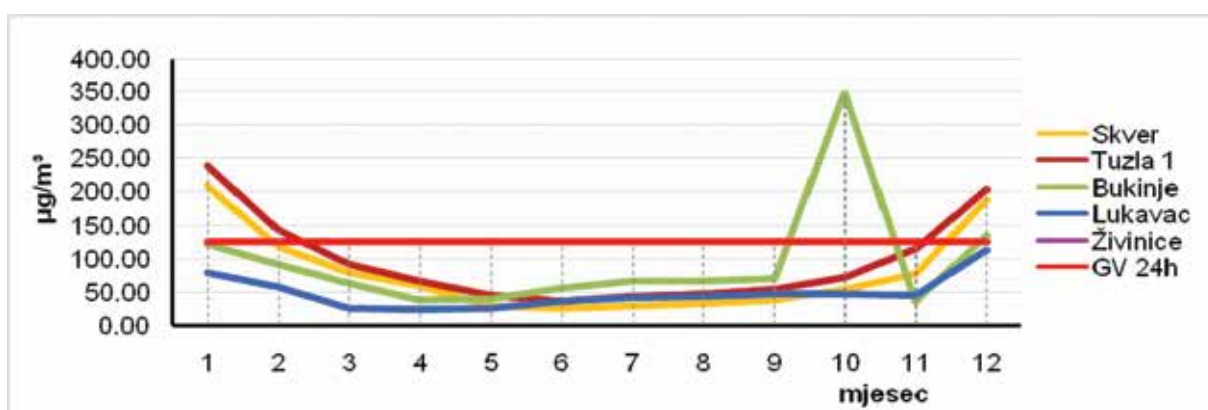
1.1. Analiza rezultata mjerenja koncentracija SO₂ od 2016. - 2019. Godine

Tip analizatora pomoću koga je izvršeno mjerenje koncentracija SO₂ na svim mjernim mjestima jeste API Teledyne - 100. Na slici 1 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2016. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli (Skver, Tuzla 1, Bukinje), Lukavcu i Živinicama. S obzirom da je mjerna stanica „Živinice“ počela sa radom u decembru 2016. godine u ovom radu je utvrđen kvalitet zraka na osnovu zabilježenih podataka i to u periodu od 13. – 31.12.2016. godine. Dnevna granična vrijednost za SO₂ iznosi 125 µg/m³ i ona smije biti prekoračena više od 3 puta u toku jedne kalendarske godine. Iako je na ovom mjernom mjestu zabilježeno manje od 75 % validnih mjerenja, zabrinjavajuća činjenica jeste da se od početka rada na navedenom mjernom mjestu dogodilo 16 dnevnih prekoračenja izmjenom najvećom dnevnom koncentracijom (14.12.2016. godine) od 331,81 µg/m³ što je 2,6 puta više od propisane granične vrijednosti. Na osnovu dobivenih prosječnih mjesečnih vrijednosti za SO₂, očito je da su tokom zimskog perioda povećane koncentracije ovog kriterijalnog polutanta, slika 1. Prateći kvalitet zraka u Tuzli i Lukavcu prethodnih godina evidentan je porast koncentracija sumpor dioksida kao i broja dnevnih prekoračenja granične vrijednosti. Kao što je prethodno navedeno, tokom jedne kalendarske godine ova vrijednost bi smjela biti prekoračena maksimalno 3 puta međutim u 2016. godini dogodilo se ukupno 212 dnevnih prekoračenja na mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu. Od toga je na MS „Skver“, MS „Tuzla 1“ odnosno MS „Bukinje“ zabilježeno 69, 93 odnosno 37 dnevnih prekoračenja, i na MS

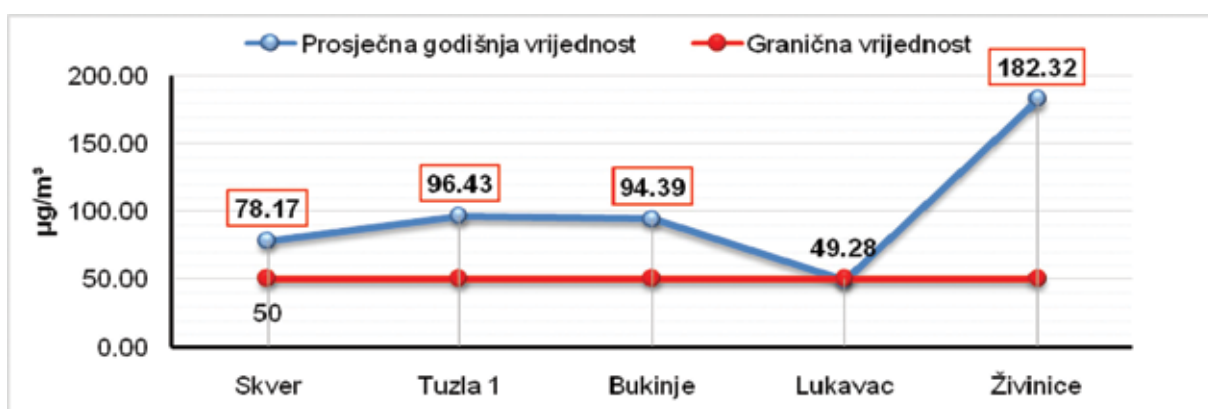
„Lukavac“ 13 dnevnih prekoračenja. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 418,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dana 23.12. 2016., MS „Tuzla 1“ 436,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dana 09. 12. 2016., MS „Bukinje“ 386,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dana 19.12.2016., i MS „Lukavac“ 252,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dana 17.12.2016. godine.

Na osnovu analize dobivenih podataka na predmetnim mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu evidentirani su periodu kada nije bilo mjerenja. Tako na MS „Skver“ nema zabilježenih mjerenja za slijedeći period: 02.05

i 06.05.2016. godine, te 15.07.-24.07.2016. godine (ukupno 12 dana). Kada je riječ o MS „Bukinje“ mjerenja nije bilo 62 dana i to u periodu od: 14.09.- 30.09., 01.10. - 02.10. i od 5.10. – 31.10. i 01.11. – 16.11.2016. godine. Također na MS „Lukavac“ nije bilo mjerenja 45 dana i to u periodu od 05.02. – 29.02.2016. godine i od 01.03. – 15.03. 2016. godine. Prosječne godišnje koncentracije tokom 2016. godine za SO_2 su iznad propisane granične vrijednosti koja iznosi 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na mjernim mjestima u Tuzli i Živinicama (Slika 2).



Slika 1: Prosječne mjesečne koncentracije SO_2 na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

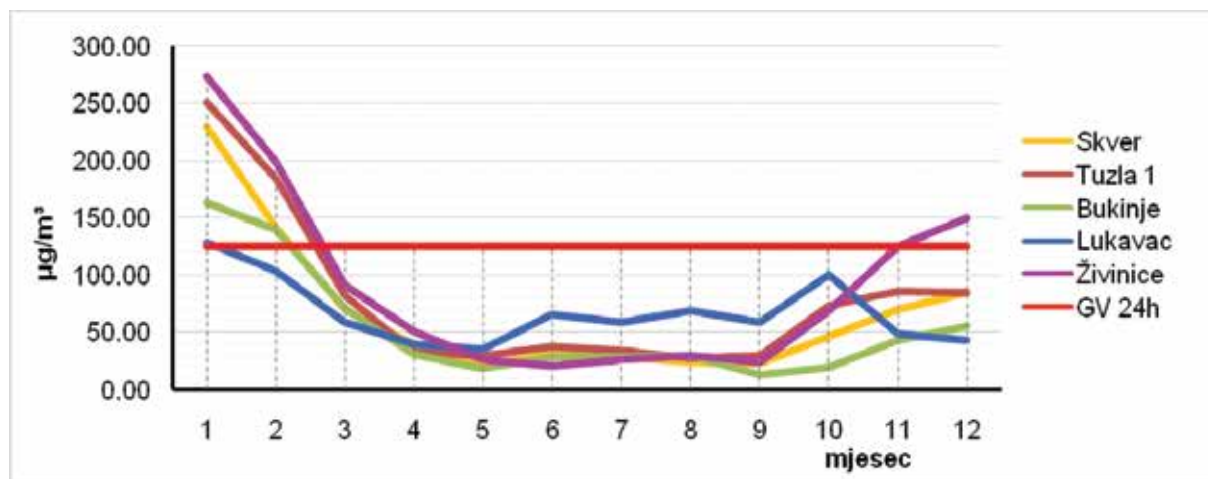


Slika 2: Prosječne godišnje koncentracije SO_2 na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini

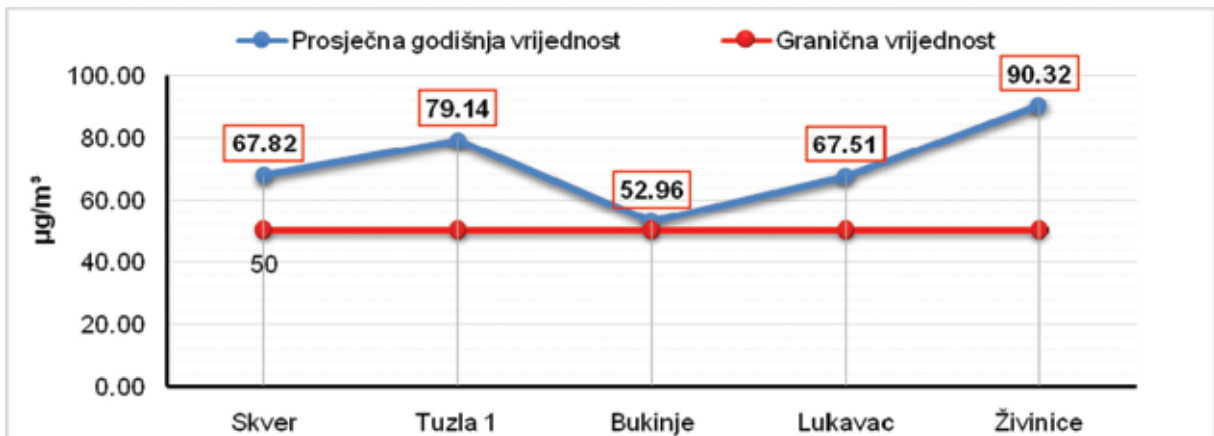
Na sljedećem dijagramu (Slika 3) su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2017. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama. Na svim mjernim stanicama je prekoračen: dozvoljeni broj satnog prekoračenja (24 puta u toku godine), satne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (350 µg/m³), kao i dozvoljeni broj prekoračenja (24 puta u toku godine), satne tolerantne vrijednosti koncentracije SO₂ (410 µg/m³), te dozvoljeni broj prekoračenja (3 puta u toku godine) dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂.

Ukupan broj dnevnih prekoračenja zabilježenih na mjernim mjestima u Tuzli, Lukavcu i Živinicama je 263. Od toga se dogodilo na: MS „Skver“, MS „Tuzla 1“ odnosno MS „Bukinje“ zabilježeno 43,66 odnosno 35 dnevnih prekoračenja, MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 38 odnosno 81 dnevnih prekoračenja. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na:

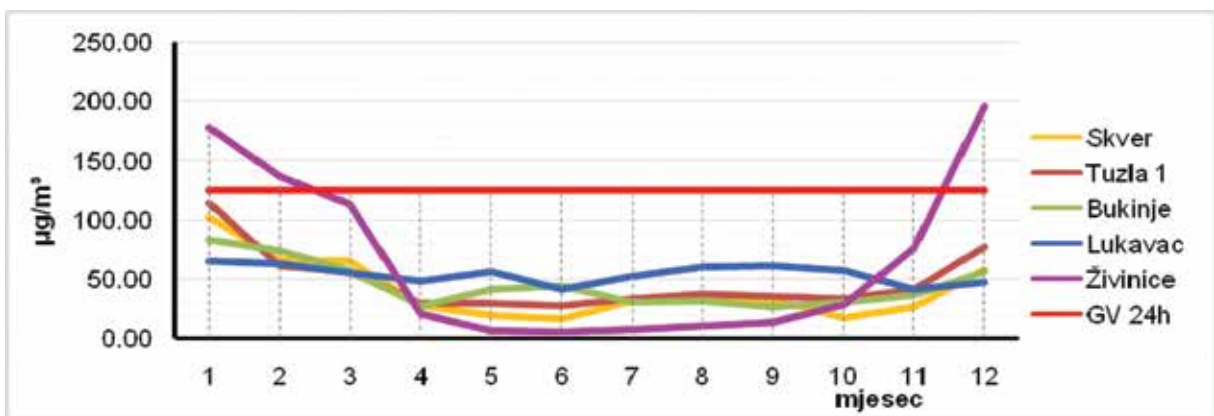
MS „Skver“ 528,47 µg/m³ dana 31.01.2017., MS „Tuzla 1“ 688,97 µg/m³ dana 29.2.2017., MS „Bukinje“ 490,35 µg/m³ dana 30.01.2017., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 508,1 µg/m³ dana 30.01.2017. i 728,28 µg/m³ dana 29.01.2017. godine. U odnosu na prethodnu godinu kada je bilo znatno više prekida mjerenja koncentracije SO₂ u 2017. godini evidentirano je 9 dana bez mjerenja i to na MS „Skver“ za slijedeći period: 13.02.-15.02., 02.05.-04.05., te 16. i 17.12.2017. godine (ukupno 5 dana) i na MS „Živinice“ za period 14. 15. i 16.01.; 02.03. 2017. godine (ukupno 4 dana). Kada je riječ o MS „Bukinje“, MS „Tuzla 1“, MS „Lukavac“, iste su radile bez prekida tokom čitave godine. Prosječne godišnje koncentracije tokom 2017. godine za SO₂ su iznad propisane granične na svim mjernim mjestima u (Slika 4). Najveća prosječna godišnja vrijednost od 90,32 µg/m³ je zabilježena u Živinicama što je 1,8 puta više od propisane granične vrijednosti.



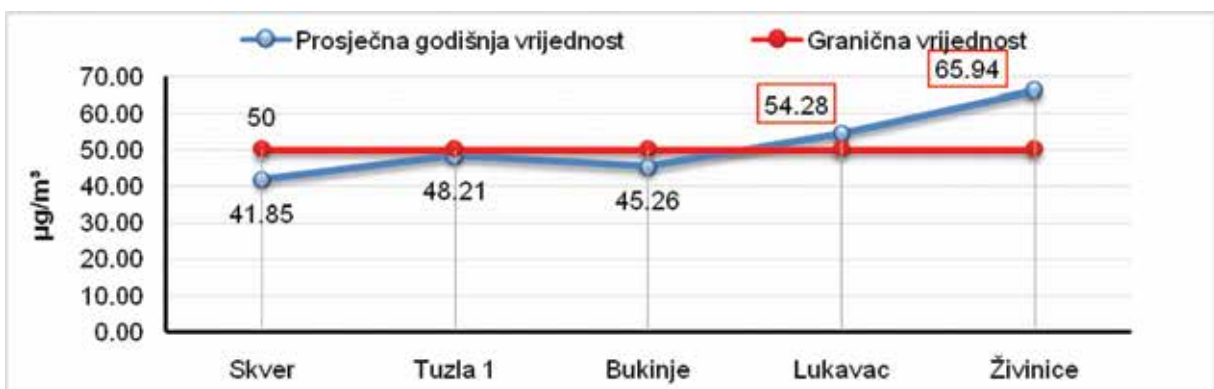
Slika 3: Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama



Slika 4: Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini



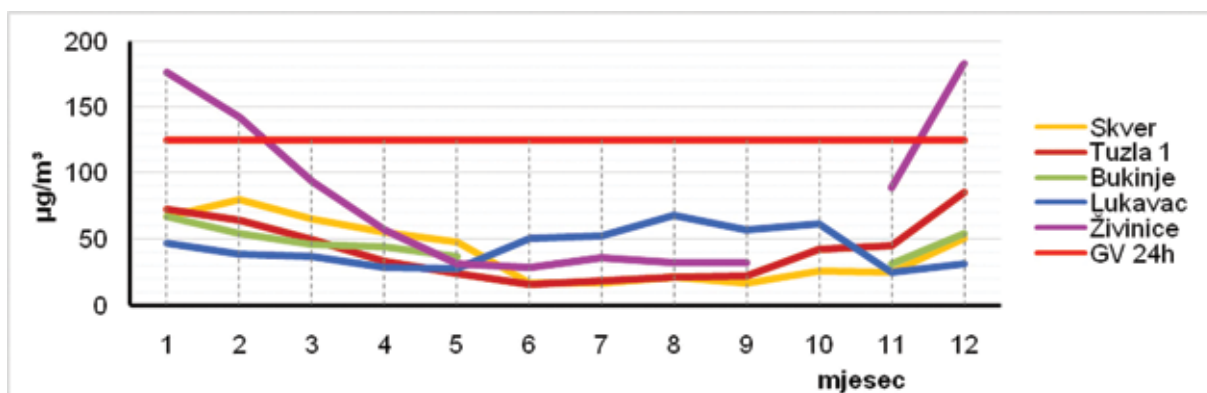
Slika 5: Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini



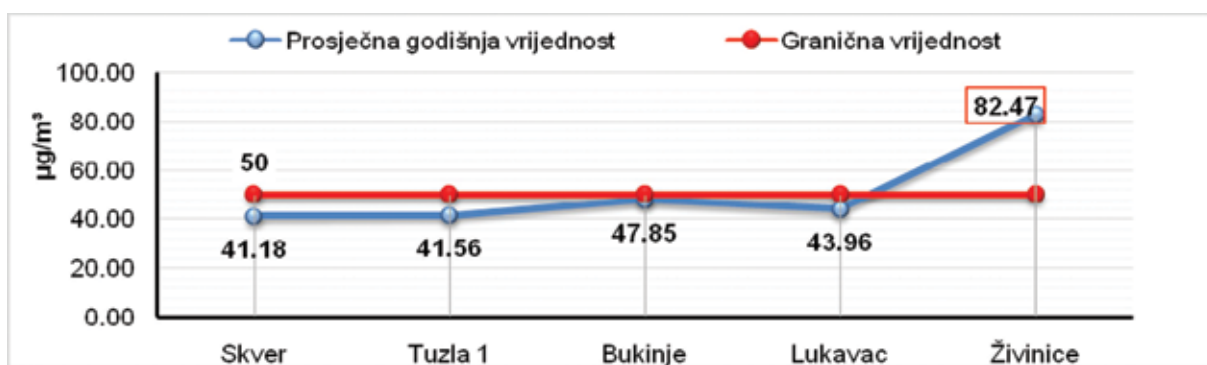
Slika 6: Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

Na slici 5 su prikazane prosječne mjesečne vrijednosti u 2018. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama. Na svim mjernim stanicama je prekoračen dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti koncentracije SO₂ (350 µg/m³), te dozvoljeni broj prekoračenja (3 puta u toku godine) dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂. Ukupan broj dnevnih prekoračenja zabilježenih na mjernim mjestima u Tuzli, Lukavcu i Živinicama je 133. Od toga se dogodilo na: MS „Skver“, MS „Tuzla 1“ i MS „Bukinje“ 10, 25 i 9 dnevnih prekoračenja, te na MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 6 i 83 dnevna prekoračenja. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 258,5 µg/m³ dana 29.01.2018., MS „Tuzla 1“ 260,63 µg/m³ dana 31. 01. 2018., MS „Bukinje“ 256,54 µg/m³ dana 05.02.2018., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 195,1 µg/m³ dana 06.02.2018. i 367,15 µg/m³ dana 22.12.2018. godine. Procenat redukcije dnevnih prekoračenja na svim mjernim stanicama u odnosu na prošlu godinu iznosi 49,42%. U odnosu na 2017. godinu kada je bilo znatno manje prekida mjerenja koncentracije SO₂ u 2018. godini evidentirano je 49 dana bez mjerenja i to na sljedećim lokacijama: MS „Skver“ za sljedeći period: 11.04.; 26. i 27. 09. 2018. godine (ukupno 3 dana), MS „Živinice“ za period 17.08.-23.08. 2018. godine (ukupno 7 dana), MS „Bukinje“ 08.06. – 11.06. i 13.06. -30. 06. 2018 (ukupno 22 dana), te MS „Lukavac“ 06.03. – 11. 03., 13. 12., 15. i 16. 12. 2018 (ukupno 4 dana). Kada je riječ o MS „Tuzla 1“ nije bilo prekida u radu tokom čitave godine. Prosječna godišnja koncentracija tokom 2018. godine za SO₂ je prekoračena u Lukavcu i Živinicama i iznosila je 54,28 µg/m³ odnosno 65,94 µg/m³ (Slika 6). Na slici 7 su prikazane

prosječne mjesečne vrijednosti u 2019. godini za SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama. Na svim mjernim stanicama je prekoračen dozvoljeni broj prekoračenja satne granične vrijednosti koncentracije SO₂, te dozvoljeni broj prekoračenja dnevne granične vrijednosti koncentracije SO₂. Ukupan broj dnevnih prekoračenja zabilježenih na mjernim mjestima u Tuzli, Lukavcu i Živinicama je 96. Od toga je zabilježeno na MS „Skver“ 5, MS „Tuzla 1“ 10 i MS „Bukinje“ 5 dnevnih prekoračenja, te na MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 4 odnosno 72 dnevna prekoračenja. Najveće izmjerene dnevne koncentracije su iznosile na: MS „Skver“ 147,05 µg/m³ dana 05.12. 2019., MS „Tuzla 1“ 244,42 µg/m³ dana 05.12. 2019., MS „Bukinje“ 271,74 µg/m³ dana 05.12. 2019., te MS „Lukavac“ i MS „Živinice“ 161,98 µg/m³ dana 30.03.2019. i 317,41 µg/m³ dana 17.01.2019. godine. Procenat redukcije dnevnih prekoračenja na svim mjernim stanicama u odnosu na prošlu godinu iznosi 38,54%. Na osnovu analize dobivenih podataka na predmetnim mjernim mjestima u Tuzli i Lukavcu evidentirani su periodu kada nije bilo mjerenja. Tako na MS „Skver“ nema zabilježenih mjerenja za sljedeći period: 21.08 - 31.08., 01.09., 01.11.2019. godine (ukupno 12 dana). Kada je riječ o MS „Bukinje“ mjerenja nije bilo dana i to u periodu od: 20.03.- 30.03., 26.05. - 31.05. i od 01.06. - 31.10., 01.11.- 05.11.2019. godine. Također na MS „Lukavac“ nije bilo mjerenja dana i to u periodu od 28.04. i 29.04.2019. godine i od 20.09. – 30.09. i 01.10. – 31.10. 01.11.- 05. 11. 2019. godine. Prosječne godišnje koncentracije tokom 2019. godine za SO₂ su iznad propisane granične vrijednosti na mjernom mjestu u Živinicama 82,47 µg/m³ (Slika 8).



Slika 7: Prosječne mjesečne koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini



Slika 8: Prosječne godišnje koncentracije SO₂ na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

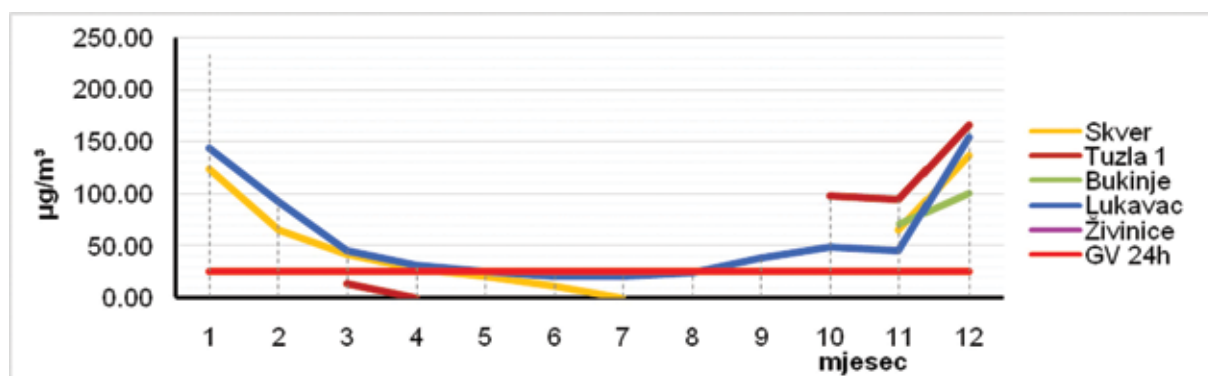
1.2. Analiza rezultata mjerenja koncentracija PM_{2,5} od 2016. - 2019. godine

Zbog posljedica koje imaju na ljudsko zdravlje, okoliš ali i klimatske promjene tokom ove analize nudi se pregled uticaja kako bi se prikazala važnost smanjenja razine PM_{2,5}. Mjerenje koncentracije čestica sa aerodinamičkim promjerom manjim od 2,5 µm predstavlja vrlo zahtjevan zadatak s obzirom da mjerni podatak ne odgovara određenoj fizičkoj ili hemijskoj komponenti zraka međutim definirana je samom metodom

mjerenja. Rezultati mjerenja PM_{2,5} za 2016. godinu prikazani su na slici 9. Tokom 2016. godine mjerenje je vršeno neredovno, naročito na lokacijama Tuzla 1, Bukinje i Živinice. Na osnovu predstavljenog dijagrama možemo uočiti prekid rada mjerne stanice smještene na lokaciji Živinice i Bukinje u trajanju od jedanaest mjeseci (Januar – Decembar) odnosno deset mjeseci (Januar – Novembar), dok je na mjernim stanicama

Tuzla 1 izvršeno mjerenje u trajanju od četiri mjeseca. Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} u zimskom periodu su izrazito visoke u odnosu na ljetni. Glavni uzrok epizoda zagađenja pri kojima se javljaju ekstremno visoke koncentracije PM_{2,5} su akcidenti u industrijskim pogonima. Pored emisija iz industrijskih postrojenja koji predstavljaju primarni izvor PM_{2,5} kao sekundarni doprinos ukupnom onečišćenju može se izdvojiti linijski izvor (saobraćaj) i difuzni (individualna kućna ložišta). Takođe, na osnovu raspoloživih podataka visoke koncentracije se bilježe u

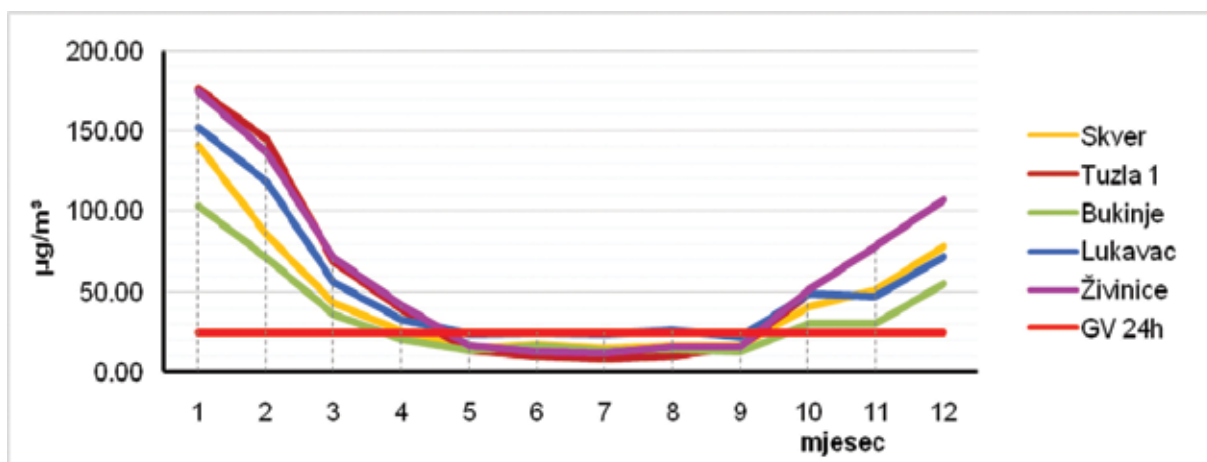
jutarnjim i popodnevnim satima sa vrhuncem od 15 do 16 h. Najveće dnevne koncentracije zabilježene su na lokalitetu Skver (10.01.2016. godine, 226,34 µg/m³), Tuzla 1 (07.01.2016. godine, 233,13 µg/m³), te u Lukavcu (10.01.2016. godine, 334,26 µg/m³). Prema važećem pravilniku satna granična vrijednost nije definisana, međutim prosječna godišnja ne smije preći 25 µg/m³. Na osnovu izvršenih mjerenja na svih pet mjernih stanica je došlo do prekoračenja graničnih vrijednosti na godišnjem nivou (Slika 10).



Slika 9: Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini



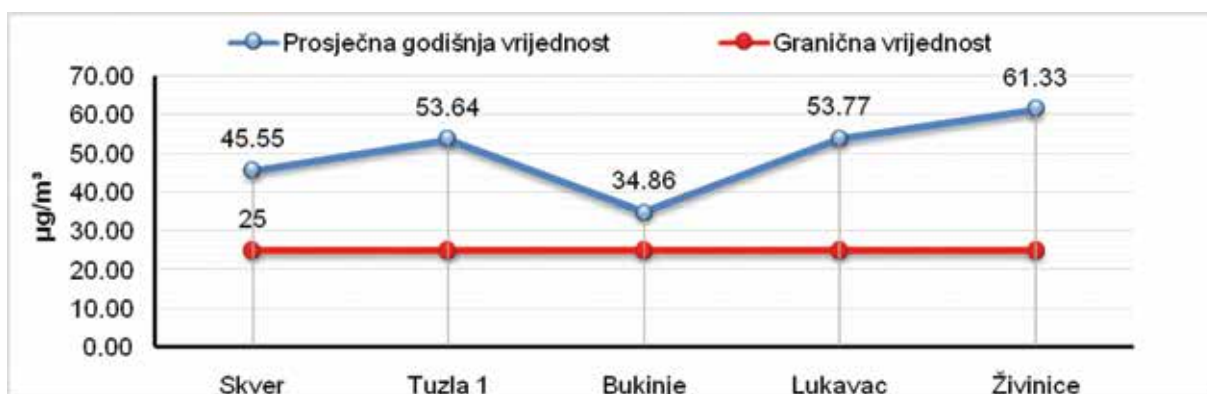
Slika 10: Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2016. godini



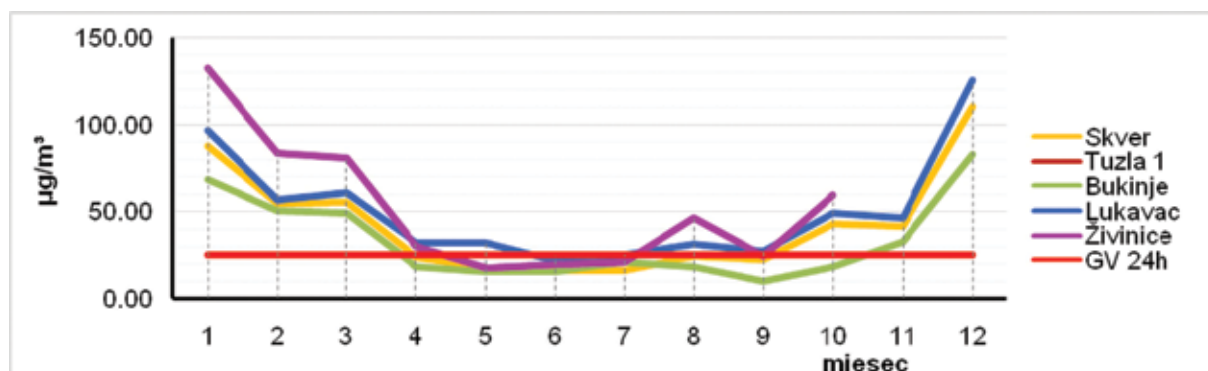
Slika 11: Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini

Važećim pravilnikom propisano je postupno smanjenje ambijentalnih koncentracija PM_{2,5} do 2021. godine potrebno je dostići 25 µg/m³ za Stadijum 1 a do 2024. godine 20 µg/m³ za Stadijum 2. Na osnovu predstavljenog dijagrama (Slika 11) možemo uočiti kao i prethodne godine, da su prosječne mjesečne koncentracije PM_{2,5} u zimskom periodu izrazito visoke u odnosu na ljetni. Najveće dnevne koncentracije u 2017. godini su iznosile: na lokalitetu Živinice

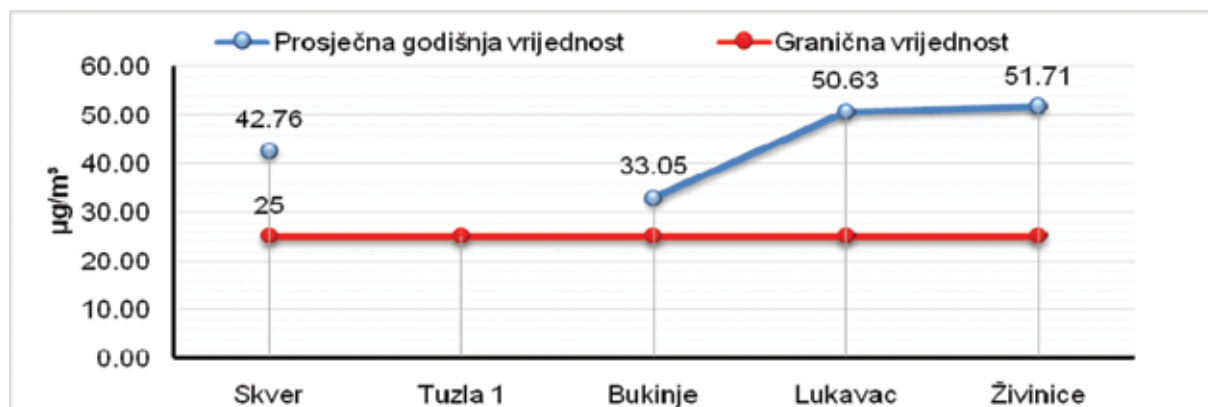
(01.02.2017. godine, 464,54 µg/m³), Lukavac (01.02.2017. godine, 431,43 µg/m³), Tuzla 1 (01.02.2017. godine, 321,15 µg/m³), Bukinje (01.02.2017. godine, 280,95 µg/m³), te Skver (01.02.2017. godine, 152,21 µg/m³). Na osnovu rezultata mjerenja u 2017. godini je prekoračena propisana granična vrijednost na svim mjernim mjestima (Slika 12), a broj validnih mjerenja je bio veći od 75%.



Slika 12: Prosječne godišnje koncentracije PM_{2,5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2017. godini



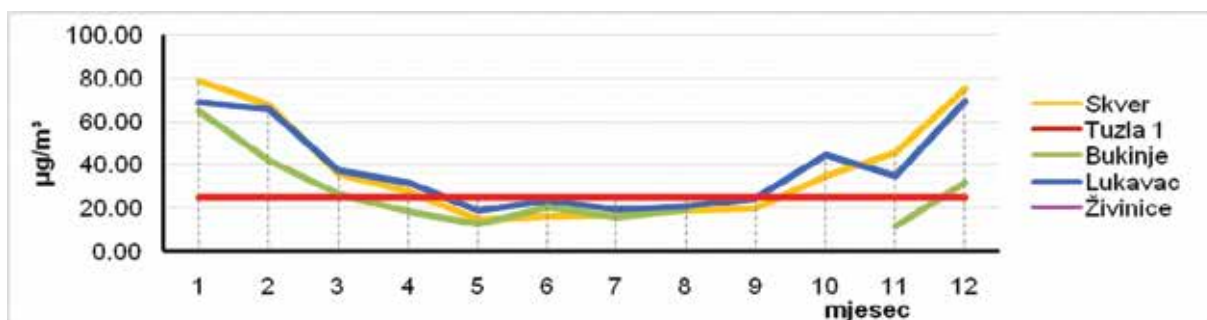
Slika 13: Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2.5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini



Slika 14: Prosječne godišnje koncentracije PM_{2.5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2018. godini

Sličan trend je nastavljen i 2018. godine (Slika 13), gdje su najveće dnevne koncentracije zabilježene u zimskom periodu, i to na lokalitetu: Lukavac (09.01.2018. godine, 312,28 µg/m³), Živinice (08.01.2018. godine, 280,02 µg/m³), Skver (21.12.2018. godine, 278,64 µg/m³), te Bukinje (20.12.2018. godine, 199,39 µg/m³). Na osnovu predstavljenog dijagrama može se uočiti da na mjernoj stanici Tuzla 1 nije bilo mjerenja tokom čitave godine. Prosječna godišnja vrijednost je bila iznad granične vrijednosti na lokalitetu Skver, Bukinje, Lukavac i Živinice (Slika 14).

Kao i proteklih godina, prosječne mjesečne vrijednosti tokom zimskog perioda su izrazito visoke, s tim da u 2019. godini na lokalitetu Živinice i Tuzla 1 nije bilo mjerenja (Slika 15). Najveće dnevne koncentracije s iznosile na Skveru (27.01.2019. godine, 239,69 µg/m³), Bukinje (27.01.2019. godine, 158,21 µg/m³), te Lukavcu (27.01.2019. godine, 191,84 µg/m³). Prosječna godišnja koncentracija na ovim mjernim stanicama je bila iznad propisane granične vrijednosti (Slika 16).



Slika 15: Prosječne mjesečne koncentracije PM_{2.5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini



Slika 16: Prosječne godišnje koncentracije PM_{2.5} na mjernim stanicama u Tuzli, Lukavcu i Živinicama u 2019. godini

Na osnovu dosadašnjih pokazatelja, može se zaključiti da postoji trend smanjenja, jer mjerenja pokazuju da koncentracije PM_{2.5} iz godine u godinu sve niže. Ipak, analizirajući dobivene podatke tokom proteklih godina za čvrste čestice PM_{2.5} evidentno je kontinuirano prekoračenje prosječnih godišnjih vrijednosti od 25 µg/m³ na području Tuzle, Lukavca i Živinica. U svjetskom izvještaju o kvaliteti zraka iz 2019. godine su predstavljeni podaci koji su javno dostupni kako bi se istaklo stanje onečišćenja čestica širom svijeta i podigla svijest o javnom pristupu podacima o kvaliteti zraka. Većina ovih podataka objavljeni su u stvarnom ili skoro stvarnom vremenu od strane vladinih izvora. Regionalno, Južna Azija, Jugoistočna Azija i Zapadna Azija nose najveći teret onečišćenja čvrstim česticama

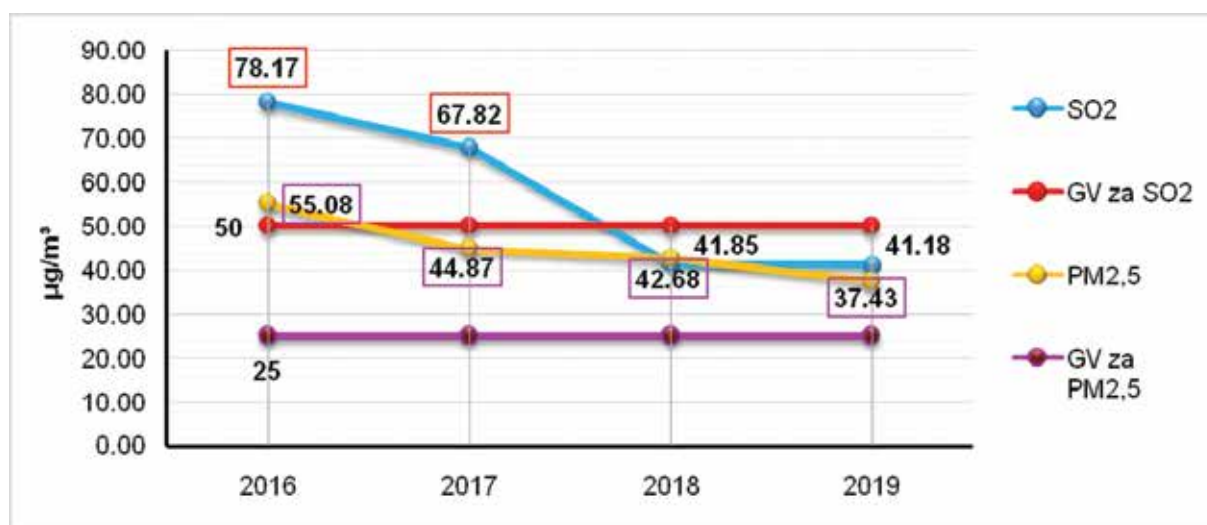
(PM_{2.5}) u cjelini, a samo je 6 od 355 gradova koji zajednički ispunjavaju godišnje ciljeve Svjetske zdravstvene organizacije na ovim područjima. Među 30 najviše zagađenih gradova tokom 2019. godine, 21 se nalazi u Indiji, 27 u Južnoj Aziji, a svih 30 najviše zagađenih gradova unutar veće Azije. Koristeći ponderirani prosjek stanovništva, a na osnovu dostupnih podataka o izloženosti PM_{2.5}, najzagađenijom zemljom se smatra Bangladeš, a iza nje slijede Pakistan, Mongolija, Afganistan i Indija, odstupajući jedan za drugim za manje od 10%. U Evropi po zagađenju sa PM_{2.5}, Bosna i Hercegovina je 14. najzagađenija zemlja na svijetu, sa samo 4µg/m³ manje od nacionalnog prosjeka Kine. Zagađenje zraka predstavlja najveći zdravstveni rizik okoliša sa kojim se suočava naše globalno stanovništvo.

1.3. Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} od 2016. - 2019. godine

Na slici 17 prikazane su prosječne godišnje koncentracije u periodu 2016. – 2019. godina za SO₂ i PM_{2.5} za mjernu stanicu Skver gdje možemo uočiti trend smanjenja koncentracije PM_{2.5} ali i značajno smanjenje imisijske koncentracije SO₂ od 78,17 µg/m³ u 2016. godini na 37,43 µg/m³. Sličan trend smanjenja uočen je i na mjernoj stanici Tuzla 1 a što je prikazano na slici 18. Na mjernoj stanici Bukinje, došlo je do značajnog smanjenja koncentracije PM_{2.5} sa 85,75 µg/m³ u 2016. godini na 26,04 µg/m³ u 2019. godini što je 3,2 puta manje, odnosno vrlo blizu ciljane godišnje vrijednosti od 25 µg/m³ (Slika 19). Na slici 20 prikazane su prosječne godišnje vrijednosti SO₂ i PM_{2.5} za mjernu stanicu u Lukavcu gdje je najveća koncentracija u posmatranom periodu istraživanja bila u 2017. godini i iznosila 67,5 µg/m³ u 2019. godini prosječna vrijednost je bila ispod granične. U pogledu koncentracija PM_{2.5} vidljivo je smanjenje od 57,37 µg/m³ u 2016. godini na 38,09 µg/m³ u

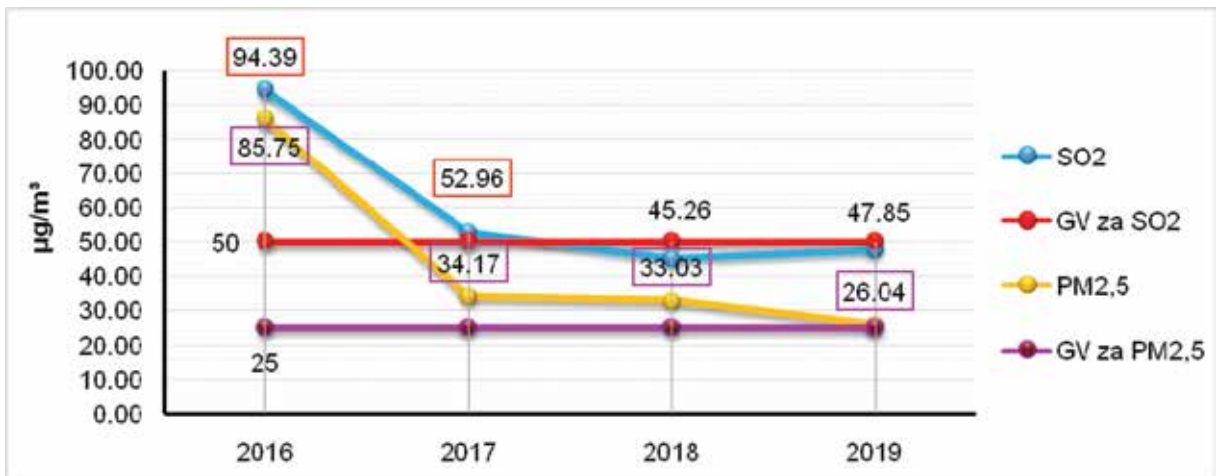
2019. Godini Ovdje treba napomenuti da je prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) onečišćenje zraka najveći ekološki rizik za zdravlje u Europskoj uniji (EU). Onečišćenje zraka svake godine u EU-u prouzrokuje otprilike 400 000 slučajeva preuranjene smrti i vanjske troškove povezane sa zdravljem u visini od više stotina milijardi eura.

Stanovnici gradskih područja posebno su izložena skupina. Lebdeće čestice, azot dioksid i prizemni ozon onečišćujuće su tvari u zraku odgovorne za većinu tih slučajeva preuranjene smrti¹. Na osnovu ranije iznesenih podataka o kvalitetu zraka Živinice su najviše ugrožene lošom kvalitetom zraka. Vidljivo je takođe, da postoji određen trend smanjenja koncentracija SO₂ i PM_{2.5} koje su dostizale alarmantno visoke vrijednosti u 2016. godine, u 2017. godini zabilježen je nagli pad koncentracija ova dva navedena parametra (Slika 21).

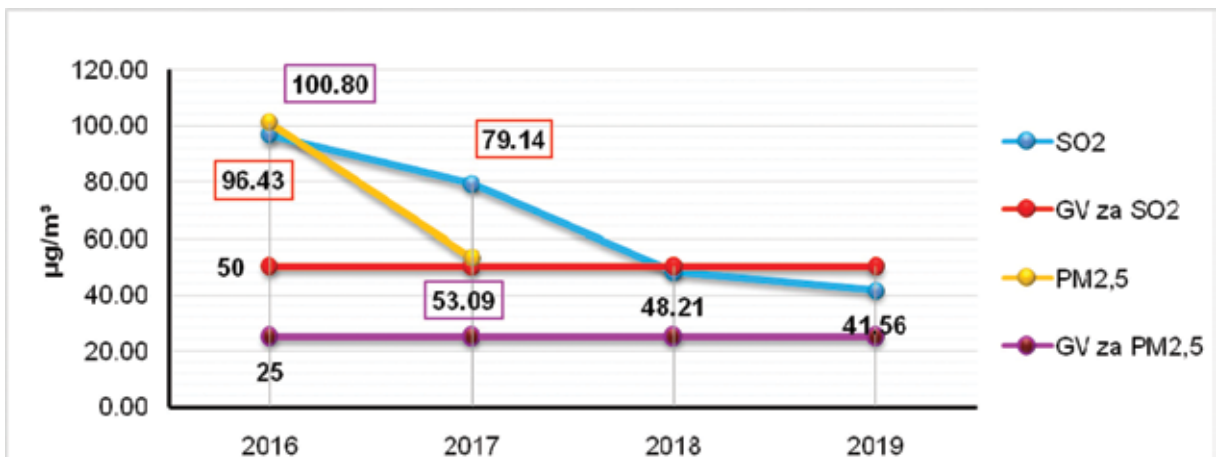


Slika 17: Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} na MS „Skver“

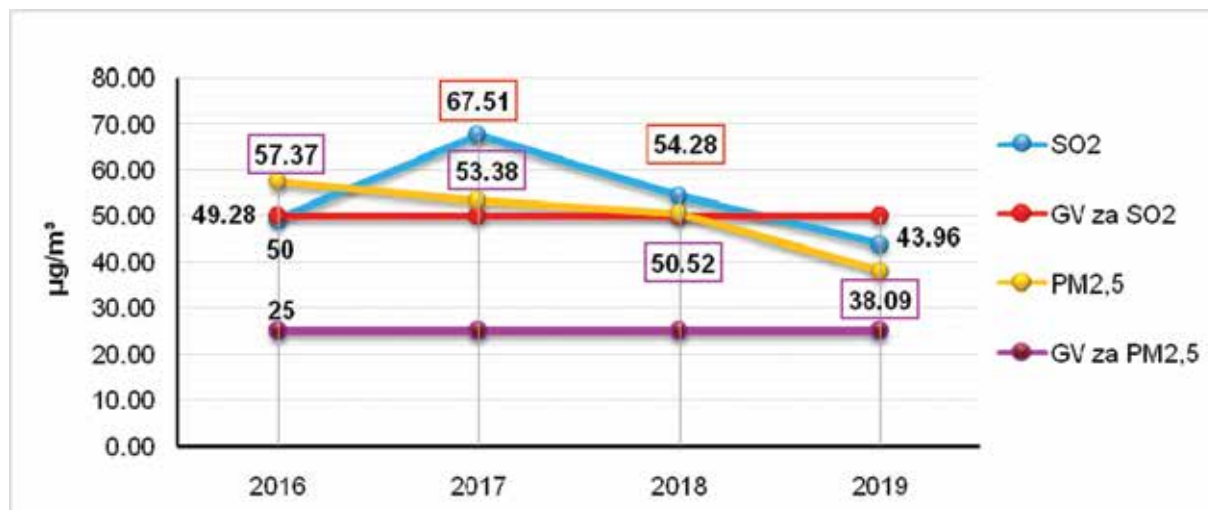
¹ <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/hr/>



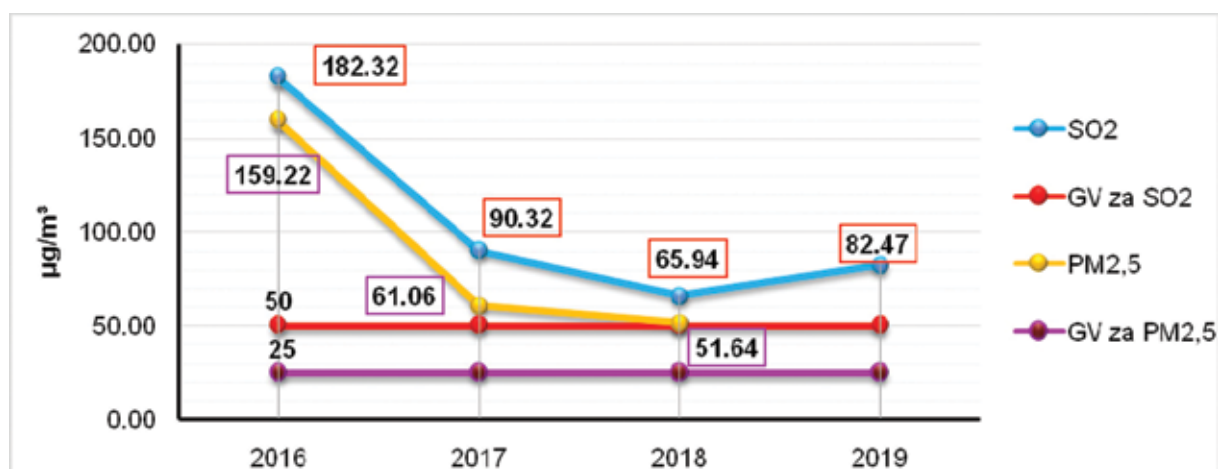
Slika 18: Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} na MS „Tuzla 1“



Slika 19: Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2.5} na MS „Bukinje“



Slika 20: Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2,5} na MS „Lukavac“



Slika 21: Poređenje prosječnih godišnjih koncentracija SO₂ i PM_{2,5} na MS „Živinice“

2. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Usljed rada industrije, individualnih ložišta i velikog protoka saobraćaja na području općine Tuzla, Živinice i Lukavac je prisutan problem zagađenja zraka. Na osnovu analize rezultata izmjerenih koncentracija PM_{2,5} za period od 2016. – 2019. godine na svim mjernim stanicama je evidentirano prekoračenje propisane granične vrijednosti što u konačnici može ozbiljno narušiti zdravlje ljudi. Visoke koncentracije ovih materija su prisutne tokom ljetnog i zimskog perioda.

Slično je stanje i sa koncentracijama sumpordioksida – veliki broj satnih i dnevnih vrijednosti u kojima su mjerene koncentracije bile iznad propisanih. Na mjernom mjestu u periodu od 2016. – 2019. godini izmjerene koncentracije SO₂ su prelazile propisanu graničnu vrijednost. Kada je riječ o mjernom mjestu u Lukavcu u 2017. i 2018. godini je pređena propisana granična vrijednost, dok je u 2016. i 2019. godini izmjerena vrijednost ovog polutanta bila neznatno ispod granične vrijednosti. Također na mjernim mjestima u Tuzli je 2016. i 2017. godine pređena granična vrijednost dok je 2018. i 2019. godine izmjerena vrijednost bila neznatno ispod propisanih vrijednosti.

Kvalitet zraka u posmatranom periodu istraživanja se poboljšava u pogledu smanjenja koncentracija SO₂ i PM_{2,5} u Tuzli i Lukavcu, međutim njihova koncentracija u zraku ne smanjuje se dovoljno brzo niti je rezultat mjera za smanjenje, odnosno rezultat su smanjenog obima industrijske proizvodnje i manje potrošnje čvrstih goriva u individualnim ložištima i meteorološke faktore. Na temelju analiziranih podataka može se zaključiti da Živinice imaju najlošiju kvalitetu zraka, odnosno ne postoje niti se preduzimaju djelotvorne mjere za znatno poboljšanje kvalitete zraka. Takođe potrebno je na federalnom nivou uspostaviti Agenciju za kontrolu kvalitete zraka kao neovisno tijelo sa akreditiranom laboratorijom koja će vršiti monitoring kvalitete zraka i provjeru emisijskih parametara zagađivača.

Na osnovu analize rezultata utvrđeno je da dolazi do znatnog povećanja prisustva zagađujućih materija u zraku u sezoni grijanja te se stoga preporučuje zabrana korištenja ugljeva u individualnim ložištima i kotlovnica. Neophodno je uspostaviti niske zone emisije i povećati broj zelenih površina.

Potrebno je izraditi realan i provodiv Plan kvalitete zraka čiji rezultati su mjerljivi sa ciljem da se zagađujuće materije svedu na propisane granične vrijednosti što je jedan od osnovnih zahtjeva iz EU Direktive o kvaliteti zraka. Plan mora sadržavati vremenski okvir sa tačno definisanim aktivnostima i mjerama u cilju smanjenja zagađenja zraka.

U pogledu iznalaženja optimalnog rješenja za zagađen zrak ključnu ulogu mora imati sistem za podizanje nivoa svijesti i obavještanja javnosti o svim relevantnim pitanjima i informacijama povezanim sa kvalitetom zraka. Postojeći sistem obavještanja građana o kvalitetu zraka, kao i sistem upozoravanja o prekomjernom zagađenju nije dovoljan, te je potrebno izvršiti izmjene i dopune Plana interventnih mjera i javnosti učiniti dostupnim podatke iz arhiva.

Potrebno je proširiti sistem daljinskog grijanja na općinu Živinice i proširiti postojeću mrežu u Tuzli i Lukavcu. Takođe, potrebno je povećati udio biomase kao zamjenskog energenta u kućnim ložištima uz obezbjeđenje sufinansiranja od strane nadležnih općinskih i kantonalnih tijela. Prednost u

projektima zaštite okoliša koje finansiraju nadležne federalne institucije trebaju biti projekti iz domena zaštite zraka.

Potrebno je izvršiti provjeru opravdanosti postojećih lokacija mjernih stanica, zbog mogućnosti da se monitoring ne vrši u skladu sa standardom koji propisuje pozicije mjernih mjesta, te osigurati ispravnost, kalibraciju i validaciju mjernih stanica kao i mjerenje specifičnih parametara poput benzena, benzo(a)pirena i BTX spojeva u Lukavcu.

Svijest građana o problematici aerogađenja na području Tuzle, Živinica i Lukavca nije zadovoljavajućem nivou. Neophodno je organizirati različite edukacije i stručno osposobljavanje putem radionica po mjesnim zajednicama navedenih gradova na temu smanjenja zagađenja iz individualnih ložišta i prelaska na okolinski prihvatljive energente. Izmijeniti postojeće obrazovne programe u osnovnom i srednjem obrazovanju u smislu povećanja ekološke svijesti, zaštite okoliša i razvoja ekoloških znanja.

Literatura

1. Hidrometeorološki zavod FBiH. Godišnji izvještaji o kvalitetu zraka u FBiH, <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/ZRAK/izvjestaji.php>
2. EEA (European Environment Agency). Air Quality in Europe - 2019 Report <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
3. UNEP (United Nations Environment Programme). 2019, Air Pollution and Human Health: The Case of the Western Balkans, https://www.developmentaid.org/api/frontend/cms/uploadedImages/2019/06/Air-Quality-and-Human-Health-Report_Case-of-Western-Balkans_preliminary_results.pdf
4. WHO (World Health Organization). https://breathelife2030.org/city_data/tuzla/
5. World Bank. Air Pollution Management in Bosnia and Herzegovina, 2019, <http://documents1.worldbank.org/curated/en/117281576515111584/pdf/Air-Quality-Management-in-Bosnia-and-Herzegovina.pdf>
6. Pravilnik o načinu vršenja monitoringa kvaliteta zraka i definiranju vrsta zagađujućih vrsta zagađujućih materija, graničnih vrijednosti i drugih standarda kvaliteta zraka (Službene novine FBiH 01/12)
7. Registar o postrojenjima i zagađivanjima u Federaciji BiH, <https://www.fmoit.gov.ba/bs/okolisne-dozvole/registri-i-izvjesivanje>
8. Metodologija izrade indeksa kvaliteta zraka u FBiH, <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/ZRAK/AQI-metodologija.php>
9. Alihodžić H., Đozić A., Studija o kvalitetu zraka Tuzle, Lukavca i Živinica, Septembar 2020
10. Plan interventnih mjera u slučajevima prekomjernog zagađivanja zraka Tuzlanskog kantona, http://monitoringzrakatk.info/pdfs/plan_Interventnih_mjera_TK.pdf

Gordana Pehnc, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Ivana Jakovljević, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Zdravka Sever – Štrukil, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Ivan Bešlić, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska

Razine lebdećih čestica i policikličkih aromatskih ugljikovodika u urbanim područjima kontinentalne Hrvatske

Levels of particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban areas of continental Croatia

SAŽETAK / ABSTRACT

Prikazani su rezultati gravimetrijskih mjerenja masenih koncentracija frakcije lebdećih čestica PM₁₀ i sadržaj policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAU) u PM₁₀ za razdoblje 2017. - 2020. na tri lokacije u Zagrebu te u Sisku, Kutini (samo PM₁₀) i Slavanskom Brodu. Svrha istraživanja bila je ispitati prostornu i vremensku raspodjelu ovih onečišćujućih tvari u urbanim i urbano-industrijskim područjima kontinentalne Hrvatske. Koncentracije PM₁₀ i PAU na svim lokacijama pokazuju izražene sezonske varijacije s povišenim vrijednostima u hladnom dijelu godine. Najniže srednje vrijednosti izmjerene su u Zagrebu na pozadinskoj mjernoj postaji u sjevernom dijelu grada, a najviše na mjernoj postaji u Slavanskom Brodu. Zatvaranje („lockdown“) zbog pandemije COVID-19 u proljeće 2020. godine na većini mjernih postaja nije dovelo do statistički značajno različitih koncentracija u usporedbi s prosjekom za isto razdoblje 2017. - 2019. Razine PM₁₀ i PAU u urbanim sredinama kontinentalne Hrvatske pokazuju onečišćenje zraka ovim štetnim tvarima što ističe nužnost njihovog daljnjeg kontinuiranog praćenja.

Ključne riječi: benzo(a)piren, PAU, PM₁₀, sezonske varijacije

The results of gravimetric PM₁₀ particle fraction measurements, as well as the content of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in PM₁₀ for the period 2017 - 2020 are presented for three locations in Zagreb and in Sisak, Kutina (PM₁₀ only) and Slavonski Brod. The purpose of the study was to examine the spatial and temporal distribution of these pollutants in urban and urban-industrial areas of continental Croatia. Concentrations of PM₁₀ and PAHs at all locations show pronounced seasonal variations with elevated values in the cold part of the year. The lowest mean values were measured at urban background monitoring station in the northern part of Zagreb, and the highest in Slavonski Brod. The lockdown due to the COVID-19 pandemic in the spring 2020 at most monitoring stations did not lead to statistically significant different concentrations compared to the average for the same period 2017 - 2019. PM₁₀ and PAH levels in the urban areas of continental Croatia show that the ambient air is polluted with these harmful substances, which emphasizes the need for their further continuous monitoring.

Keywords: benzo(a)pyrene, PAH, PM₁₀, seasonal variations

1. UVOD

Atmosferske lebdeće čestice prepoznate su kao jedan od bitnih čimbenika koji mogu štetno djelovati na ljudsko zdravlje, klimu i okoliš [1, 2]. Štetan utjecaj lebdećih čestica ovisi o njihovoj veličini te kemijskom sastavu, naročito sadržaju toksičnih metala i štetnih spojeva poput policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAU). PAU su spojevi koji se sastoje od dva ili više povezana (kondenzirana) aromatska prstena. Mnogi od njih dokazano su kancerogeni, mutageni i teratogeni. Nastaju nepotpunim gorenjem ili pirolizom organske tvar, te stoga mogu potjecati iz brojnih antropogenih izvora (promet, industrija, kućna ložišta, poljoprivredni radovi...). Benzo(a)piren (BaP) je najviše istraživani spoj iz skupine PAU te se najčešće promatra kao njihov predstavnik [3, 4].

U Republici Hrvatskoj mjerenja kvalitete zraka provode se u okviru državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, lokalnih mjernih mreža te mjernih postaja posebne namjene. Lebdeće čestice ekvivalentnog aerodinamičkog promjera manjeg od 10 μm (PM_{10}) određuju se na odabranim mjernim postajama lokalnih mjernih mreža i državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka, a na nekoliko lokacija određuje se i sadržaj metala i PAU u PM_{10} . Kroz Projekt AIRQ – „Proširenje i modernizacija državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka“, koji provodi Državni hidrometeorološki zavod u partnerstvu s Institutom za medicinska istraživanja i medicinu rada, izvršava se rekonstrukcija postojećih i izgradnja novih mjernih postaja na državnoj mreži [5]. Novim Programom mjerenja razine onečišćenosti zraka u državnoj mreži za trajno praćenje kvalitete zraka, koji je u postupku donošenja [6], planiraju se mjerenja PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$ frakcije

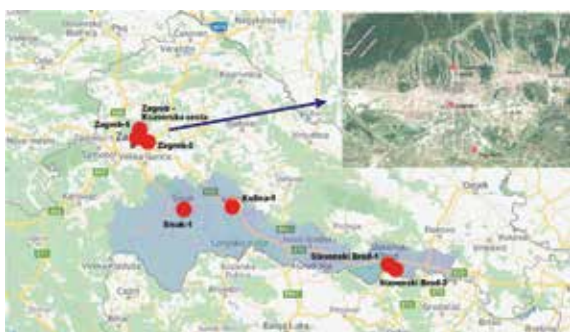
lebdećih čestica automatskim analizatorima na 25 mjernih postaja državne mreže, gravimetrijska mjerenja PM_{10} na 6 mjernih postaja, a gravimetrijska mjerenja $\text{PM}_{2,5}$ na 9 mjernih postaja. Teški metali (Pb, As, Cd, Ni) u PM_{10} određuju se na mjernim postajama Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1, a planira se i uspostava mjerenja metala na mjernoj postaji Polača. Policiklički aromatski ugljikovodici do sada su se mjerili na mjernim postajama Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1, a u budućnosti mjerenja će se provoditi i na mjernim postajama Plitvička jezera, Rijeka-2, Split-3 i Osijek-2.

U ovom radu analizirani su rezultati gravimetrijskog određivanja PM_{10} frakcije lebdećih čestica na mjernim postajama u Zagrebu, Sisku, Kutini i Slavanskom Brodu te PAU u PM_{10} (Zagreb, Sisak, Slavonski Brod) za razdoblje 2017. - 2020. Svrha istraživanja bila je ispitati prostornu i vremensku razdiobu ovih štetnih tvari u urbanim i urbano-industrijskim područjima kontinentalne Hrvatske.

2. METODE

U ovom istraživanju korišteni su rezultati gravimetrijskih mjerenja masenih koncentracija PM_{10} frakcije lebdećih čestica na mjernim postajama državne mreže Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1, Slavonski Brod-1, Slavonski Brod-2, Kutina-1 te na mjernoj postaji Zagreb-Ksaverska cesta lokalne mjerne mreže Grada Zagreba. Za mjerne postaje Zagreb-1 i Zagreb-3, na kojima se uzorkovanje lebdećih čestica provodi ne-referentnim uređajima HVS Digitel DHA-80, prikazane su korigirane vrijednosti PM_{10} frakcije lebdećih čestica

s obzirom na referentnu metodu, a na temelju izrađenih studija ekvivalencije [7, 8]. Sadržaj PAU u PM₁₀ određivan je na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska cesta, Zagreb-1, Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-1. Mjereni su sljedeći PAU: benzo(a)piren, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, dibenzo(a,h)antracen i indeno(1,2,3-cd)piren. Lokacije mjernih postaja prikazane su na slici 1.



Slika 1. Lokacije mjernih postaja

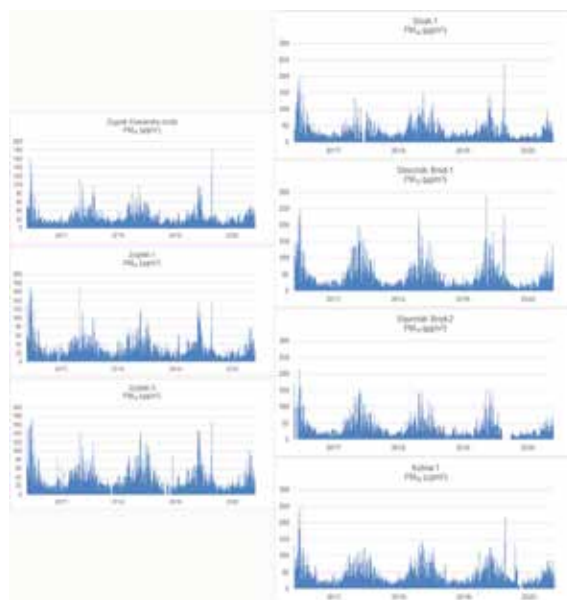
Promatrano je razdoblje od 1.1. 2017. do 31.12.2020. godine, tijekom kojeg su na svim mjernim postajama kontinuirano sakupljani 24-satni uzorci lebdećih čestica. Obuhvat podataka u svim godinama bio je veći od 85 %.

Mjerenja PM₁₀ i PAU u PM₁₀ proveo je Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada. Jedinica za higijenu okoline Instituta je nacionalni referentni laboratorij za određivanje fizikalno-kemijskog sastava lebdećih čestica PM₁₀ i PM_{2.5} te provođenje studija ekvivalencije za ne-referentne metode mjerenja PM₁₀ i PM_{2.5}. Laboratorij je akreditiran prema normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017 za ispitne metode mjerenja HRN EN 12341:2014 (EN 12341:2014) – Određivanje masene koncentracije PM₁₀ i PM_{2.5} frakcije lebdećih čestica, HRN EN

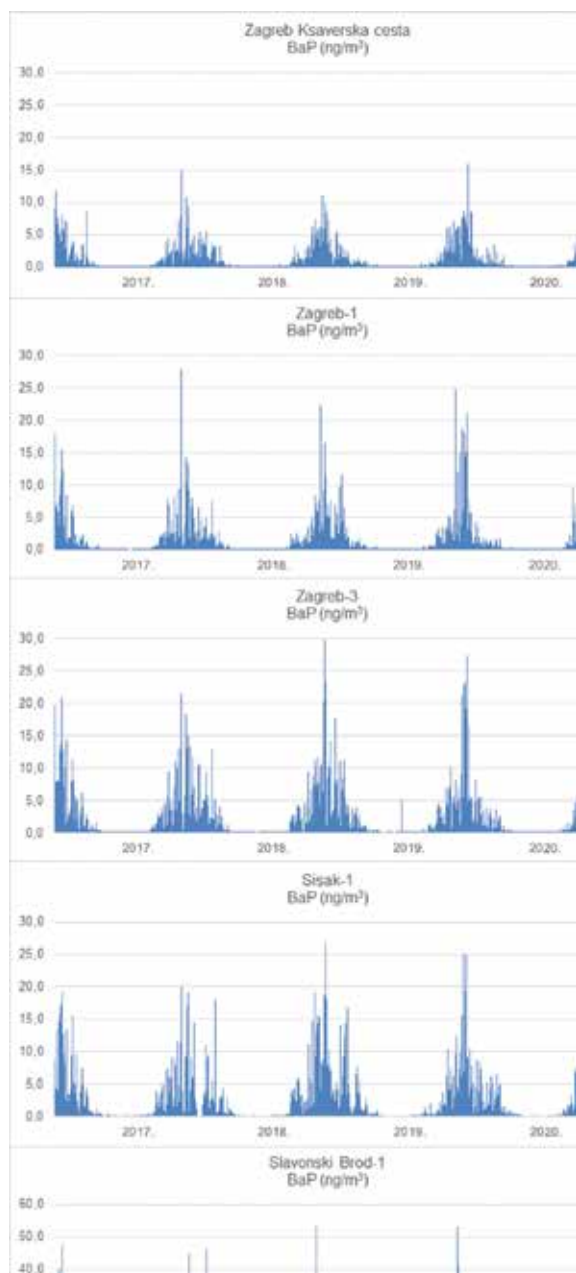
15549:2008 (EN 15549:2008) - Određivanje koncentracije benzo(a)pirena u vanjskom zraku te HRS CEN/TS 16645:2016 (CEN/TS 16645:2014) – Određivanje koncentracija benzo(a)antracena, benzo(b)fluorantena, benzo(j)fluorantena, benzo(k)fluorantena, dibenzo(a,h)antracena, indeno(1,2,3-cd)pirena i benzo(ghi)perilena u vanjskom zraku.

3. REZULTATI I RASPRAVA

Mjerenja na svim mjernim postajama obuhvaćenim ovim istraživanjem ukazuju na karakteristične sezonske varijacije masenih koncentracija PM₁₀, s povišenim vrijednostima u hladnom dijelu godine (slika 2). Ove su varijacije još izraženije kod policikličkih aromatskih ugljikovodika (slika 3).



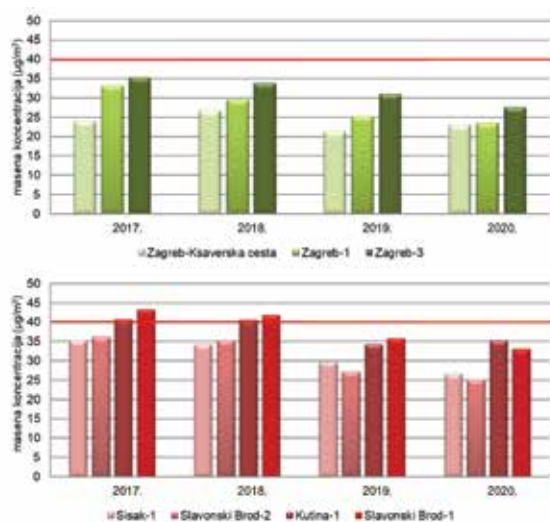
Slika 2. Hod 24-satnih masenih koncentracija PM₁₀ (µg/m³) za razdoblje 1.1.2017. - 31.12.2020.



Slika 3. Hod 24-satnih masenih koncentracija BaP u PM₁₀ (ng/m³) za razdoblje 1.1.2017. - 31.12.2020.

Na slici 4 prikazane su srednje godišnje koncentracije PM₁₀ u Zagrebu, Sisku, Kutini i Slavonskom Brodu. Srednje godišnje koncentracije PM₁₀ bile su najniže u Zagrebu na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska

cesta (21 µg/m³, 2019. g) i Zagreb-1 (24 µg/m³, 2020.g), a najviše u Kutini (41 µg/m³ 2017. i 2018. g) i na mjernoj postaji Slavonski Brod-1 (43 µg/m³ 2017. i 2018. g.). Masene koncentracije PM₁₀ u Zagrebu tijekom svih godina slijedile su niz Ksaverska cesta < Zagreb-1 < Zagreb-3, odnosno rasle su u smjeru od sjevera prema jugu. Nije pronađena statistički značajna razlika između razina PM₁₀ na mjernim postajama Kutina-1 i Slavonski Brod-1, te između razina PM₁₀ na mjernim postajama Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-2.



Slika 4. Srednje godišnje masene koncentracije PM₁₀ za razdoblje 2017. - 2020.

Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku [9] za frakciju lebdećih čestica PM₁₀ propisuje graničnu vrijednost (GV) od 40 µg/m³ za godišnji prosjek te graničnu vrijednost 50 µg/m³ za vrijeme usrednjavanja 24 sata, koja ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine. GV za godišnji prosjek bila je prekoračena jedino 2017. i 2018. godine na mjernim postajama Kutina-1 i Slavonski brod-1. Međutim, kada se promatra

broj dana godišnje s koncentracijom višom od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tablica 1), može se vidjeti da je ova GV bila prekoračena više od 35 puta godišnje na svim mjernim postajama osim na Zagreb-Ksaverska cesta (urbana pozadinska postaja u umjereno naseljenom dijelu grada s umjerenom gustoćom prometa) te na Zagreb-1 (prometna mjerna postaja) u 2019. i 2020. godini. Na mjernoj postaji Slavonski Brod-2 u 2020. godini također je bilo manje od 35 dana s prekoračenjima, ali treba napomenuti da zbog kvara uređaja za sakupljanje lebdećih čestica nedostaje dio podataka za zimsko razdoblje. Na mjernoj postaji Kutina-1, ovisno o godini, bilo je između 74 i 103 dana s prekoračenjima, a na mjernoj postaji Slavonski-Brod-1 između 66 i 107 dana. S obzirom na navedena prekoračenja, na svim mjernim postajama osim na Zagreb-Ksaverska cesta 2017., 2018., 2019. i 2020. g., Zagreb-1 2019. i 2020. g. i Slavonski Brod-2 2020. g., zrak se sukladno Zakonu o zaštiti zraka [10] ocjenjuje kao II. kategorija, odnosno onečišćen zrak.

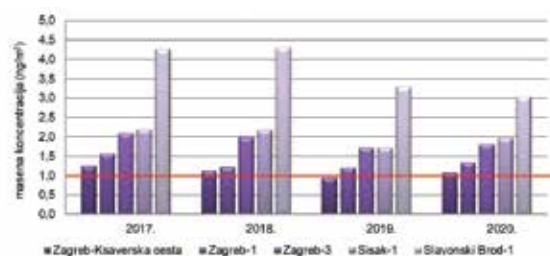
Tablica 1. Broj dana s 24-satnim masenim koncentracijama PM_{10} višim od $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; dozvoljeno je 35 prekoračenja tijekom kalendarske godine

Mjerna postaja	Godina			
	2017.	2018.	2019.	2020.
Zagreb-Ksaverska cesta	26	31	9	19
Zagreb-1*	57	48	23	34
Zagreb-3*	79	65	53	44
Sisak-1	68	67	46	44
Slavonski Brod-1	92	107	77	66
Slavonski Brod-2	72	76	44	27
Kutina-1	94	103	74	74

*korigirane vrijednosti

Na slici 5 prikazane su srednje godišnje koncentracije BaP u PM_{10} za razdoblje 2017. - 2020. na mjernim postajama u Zagrebu, Sisku i Slavonskom Brodu. Srednje godišnje

koncentracije BaP bile su najniže na postaji Zagreb-Ksaverska cesta ($0,935\text{-}1,235 \text{ ng}/\text{m}^3$), zatim slijede Zagreb-1 ($1,200\text{-}1,549 \text{ ng}/\text{m}^3$), Zagreb-3 ($1,711\text{-}2,092 \text{ ng}/\text{m}^3$), Sisak-1 ($1,721\text{-}2,191 \text{ ng}/\text{m}^3$) te Slavonski Brod-1 ($3,028\text{-}4,299 \text{ ng}/\text{m}^3$). Nije pronađena statistički značajna razlika između koncentracija PAU na mjernim postajama Zagreb-3 i Sisak-1, te između koncentracija benzo(j)fluorantena i dibenzo(a,h)antracena na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska cesta i Zagreb-1.



Slika 5. Srednje godišnje koncentracije BaP u PM_{10} za razdoblje 2017. - 2020.

Za policikličke aromatske ugljikovodike Uredbom o razinama onečišćujućih tvari u zraku [9] propisano je mjerenje benzo(a)pirena i drugih policikličkih aromatskih ugljikovodika u PM_{10} , među kojima se nalaze barem sljedeći spojevi: benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)piren i dibenzo(a,h)antracen. Međutim, ciljna vrijednost (CV) propisana je samo za BaP ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$ za godišnji prosjek) dok se mjerenja ostalih PAU provode u svrhu utvrđivanja doprinosa benzo(a)pirena u ukupnim PAU.

Prema Pravilniku o praćenju kvalitete zraka [11], a u skladu s Provedbenom odlukom Europske Komisije od 12. prosinca 2011. o utvrđivanju pravila za Direktive 2004/107/EZ i 2008/50/EZ Europskog parlamenta i vijeća, neposredno prije uspoređivanja izmjerenih vrijednosti s graničnim vrijednostima, koncentracije se zaokružuju na onoliki broj decimalnih mjesta na

koliko je izražena granična ili ciljna vrijednost, slijedeći komercijalna pravila zaokruživanja. S obzirom da je CV za BaP propisana kao cijeli broj, sve srednje godišnje vrijednosti manje od 1,5 ng/m³ zaokružuju se na 1 ng/m³ te se ne smatraju prekoračenjem. Sljedeći ovo pravilo, zrak je na Ksaverskoj cesti ocijenjen prvom kategorijom (čist zrak) tijekom sve četiri godine praćenja, a na mjernoj postaji Zagreb-1 tijekom 2018., 2019. i 2020. godine. Na svim ostalim mjernim postajama tijekom svih promatranih godina zrak je ocijenjen kao II kategorija, odnosno onečišćen zrak.

Određivan je udio BaP u sumi ostalih mjerenih PAU (ΣPAU) te u ukupnoj masi frakcije lebdećih čestica PM₁₀ (tablice 2 i 3). Prosječni udio BaP

u ΣPAU tijekom promatranog četverogodišnjeg razdoblja bio je približno isti na svim mjernim postajama (17-19 %) te nije značajno varirao između godina. Najveće oscilacije primijećene su na prometnoj mjernoj postaji Zagreb-1, gdje je udio BaP u ΣPAU varirao između 14 % 2020. godine i 22 % 2017. godine. Maseni udio BaP u PM₁₀ kretao se između 41 ppm (Zagreb-1, 2018.g.) i 103 ppm (Slavonski Brod-1, 2018.g.) te je varirao ovisno o mjernoj postaji. Približno slični prosječni udjeli BaP u PM₁₀ dobiveni su na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska cesta i Zagreb 1 (46 i 48 ppm) te na mjernim postajama Zagreb-3 i Sisak-1 (60 i 64 ppm) dok je najveći prosječni udio BaP pronađen na mjernoj postaji Slavonski Brod-1 (97 ppm).

Tablica 2. Maseni udio BaP u ΣPAU (%)

Razdoblje	Mjerna postaja				
	Zagreb-Ksaverska cesta*	Zagreb-1	Zagreb-3	Sisak-1	Slavonski Brod-1
2017.	18	22	16	17	17
2018.	19	20	17	17	18
2019.	20	17	18	19	18
2020.	19	14	18	18	18
2017. - 2020.	19	18	17	18	18

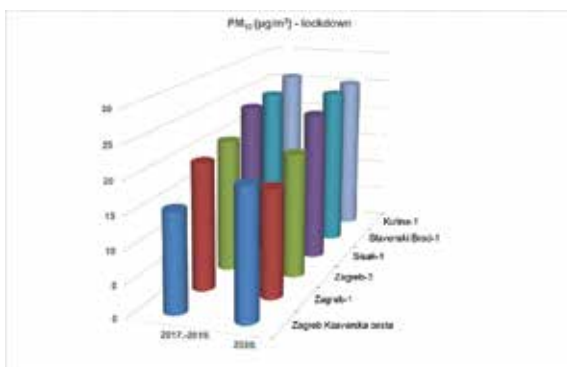
*u ΣPAU nije uključen benzo(a)antracen

Tablica 3. Maseni udio BaP u PM₁₀(ppm)

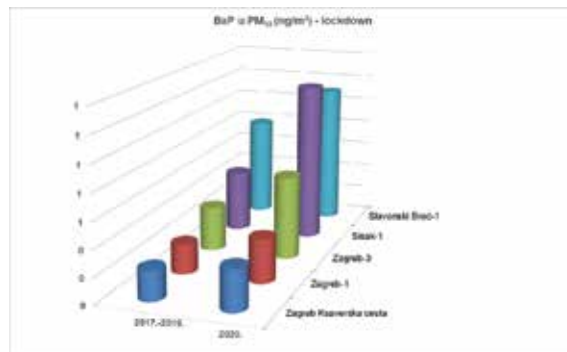
Razdoblje	Mjerna postaja				
	Zagreb-Ksaverska cesta*	Zagreb-1	Zagreb-3	Sisak-1	Slavonski Brod-1
2017.	52	47	60	62	99
2018.	42	41	59	63	103
2019.	44	48	55	58	92
2020.	46	57	65	74	91
2017. - 2020.	46	48	60	64	97

Ispitivan je utjecaj zatvaranja („lockdown“) zbog pandemije COVID-19 na razine spomenutih onečišćujućih tvari u zraku. U Hrvatskoj, prvi slučaj zaraze novim koronavirusom evidentiran je 25.2.2020., a stroge mjere obustave rada škola, fakulteta i vrtića, a zatim i javnog prijevoza i svih djelatnosti osim najnužnijih, trajale su od sredine ožujka do sredine svibnja 2020. godine.

U ovom istraživanju proučavani su podaci za razdoblje od 30.3. do 11.5.2020. te su uspoređeni s podacima za isto razdoblje tijekom 2017., 2018. i 2019. godine. Na slici 6 prikazana je usporedba srednjih masenih koncentracija PM_{10} tijekom zatvaranja s prosjekom za isto razdoblje 2017.-2019., dok je na slici 7 isto prikazano za BaP u PM_{10} .



Slika 6. Usporedba srednjih masenih koncentracija PM_{10} tijekom razdoblja zatvaranja zbog pandemije COVID-19 s prosjekom za isto razdoblje 2017. - 2019.



Slika 7. Usporedba srednjih masenih koncentracija BaP u PM_{10} tijekom razdoblja zatvaranja zbog pandemije COVID-19 s prosjekom za isto razdoblje 2017. - 2019.

Koncentracije PM_{10} tijekom zatvaranja bile su niže na svim promatranim postajama osim u Zagrebu na Ksaverskoj cesti, ali je razlika bila statistički značajna jedino na prometnoj postaji Zagreb-1.

Koncentracije BaP, a također i svih ostalih određivanih PAU, bile su više na svim mjernim postajama tijekom zatvaranja, ali je ta razlika bila statistički značajna jedino u Sisku.

4. ZAKLJUČAK

Masene koncentracije frakcije lebdećih čestica PM₁₀ i policikličkih aromatskih ugljikovodika u PM₁₀ na svim lokacijama obuhvaćenim ovim istraživanjem pokazale su izražene sezonske varijacije s povišenim vrijednostima u hladnom dijelu godine.

Najniže vrijednosti PM₁₀ izmjerene su u Zagrebu na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska cesta i Zagreb-1, a najviše na mjernim postajama Kutina-1 i Slavonski Brod-1. Nije pronađena statistički značajna razlika između koncentracija PM₁₀ na mjernim postajama Kutina-1 i Slavonski Brod-1, te između koncentracija PM₁₀ na mjernim postajama Zagreb-3, Sisak-1 i Slavonski Brod-2.

Srednje godišnje koncentracije BaP u PM₁₀ slijedile su niz Zagreb-Ksaverska cesta < Zagreb-1 < Zagreb-3 < Sisak-1 < Slavonski Brod-1. Prosječne godišnje koncentracije BaP na mjernoj postaji Slavonski Brod-1 bile su 3 do 4 puta više od propisane ciljne vrijednosti. Nije pronađena statistički značajna razlika između koncentracija PAU na mjernim postajama Zagreb-3 i Sisak-1, te između koncentracija benzo(j)fluorantena i dibenzo(a,h)antracena na mjernim postajama Zagreb-Ksaverska cesta i Zagreb-1.

Zatvaranje („lockdown“) zbog pandemije COVID-19 u proljeće 2020. godine nije prouzročilo statistički značajno niže koncentracije PM₁₀ u usporedbi s prosjekom za isto razdoblje 2017.-2019., osim na prometnoj postaji Zagreb-1. Koncentracije PAU bile su u pravilu nešto više tijekom zatvaranja, ali je ta razlika bila statistički značajna jedino u Sisku.

Razine PM₁₀ i PAU u urbanim sredinama kontinentalne Hrvatske pokazuju značajno onečišćenje zraka ovim štetnim tvarima što ističe nužnost njihovog daljnjeg kontinuiranog praćenja.

LITERATURA

1. J. O. Anderson, J.G. Thundiyil, A. Stolbach, *Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health*, *Journal of Medical Toxicology*, 8, (166–175), 2012.
2. J. Lelieveld, J.S. Evans, M. Fnais, D. Giannadaki, A. Pozzer, *The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale*. *Nature*, 525, (367–371), 2015.
3. K. Ravindra, R. Sokhi, R. Van Grieken, *Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation*, *Atmospheric Environment*. 42, (2895–2921), 2008.
4. I. Jakovljević, S. Žužul, *Policiklički aromatski ugljikovodici u zraku*, *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, 62 (357-369), 2011.
5. <https://www.airq.hr/>

6. <https://esavjetovanja.gov.hr/ECon/Main Screen?entityId=19303>
7. *IMI, Studija ekvivalencije za ne-referentne metode mjerenja frakcije lebdećih čestica PM₁₀ na mjernoj postaji Zagreb-1, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 2013.*
8. *IMI, Studija ekvivalencije za ne-referentne metode mjerenja frakcije lebdećih čestica PM₁₀ na mjernoj postaji Zagreb-3, IMI-P-394/2017, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, 2017.*
9. *Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku, Narodne novine 77/2020 .*
10. *Zakon o zaštiti zraka, Narodne novine 127/2019.*
11. *Pravilnik o praćenju kvalitete zraka, Narodne novine 72/2020.*

Balint Alfoldy, Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia

Asta Gregorič, Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia; Center for Atmospheric Research, University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenia

Matic Ivančič, Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia

Irena Ježek, Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia

Martin Rigler, Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia

≈ **Izvor raspodjele crnog ugljika i CO₂ povezanog s izgaranjem, za određivanje faktora emisije specifičnih za izvor**

≈ **Source apportionment of black carbon and combustion-related CO₂ for the determination of source-specific emission factors**

2nd Symposium on Air Quality in Cities 3.-4. 2. 2022

Source apportionment of black carbon and combustion-related CO₂ for the determination of source-specific emission factors

B. Alfoldy¹, A. Gregorič^{1,3}, M. Ivančič¹, I. Ježek¹ and M. Rigler¹

¹Aerosol d.o.o, Ljubljana, Slovenia

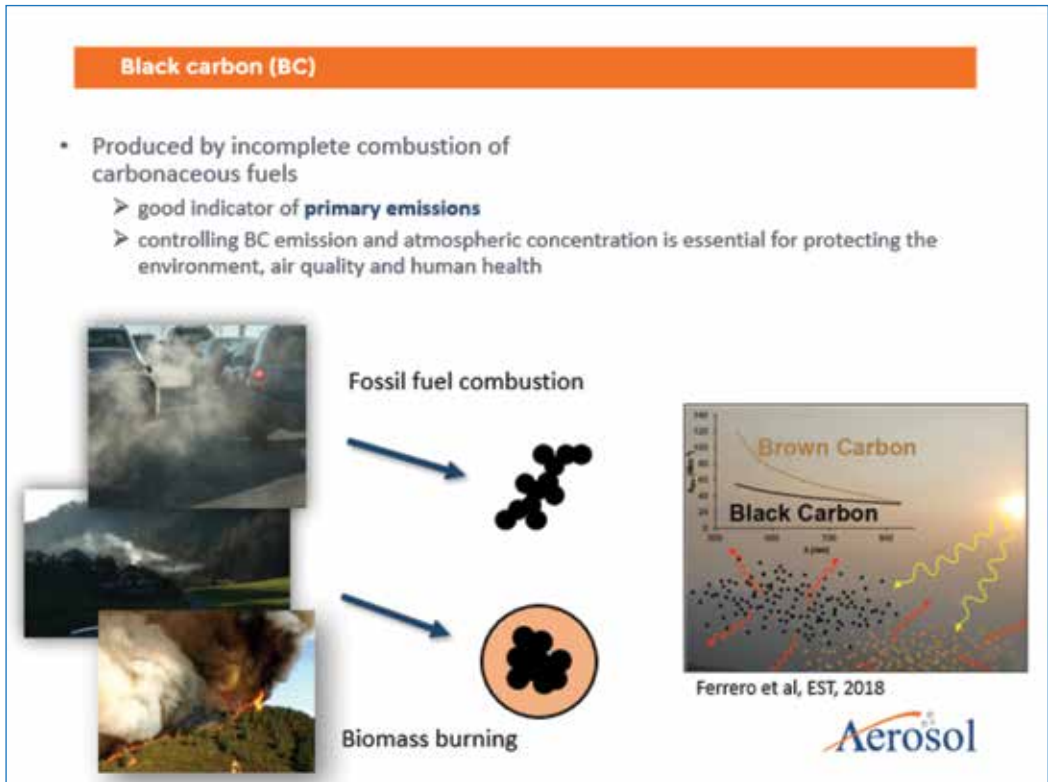
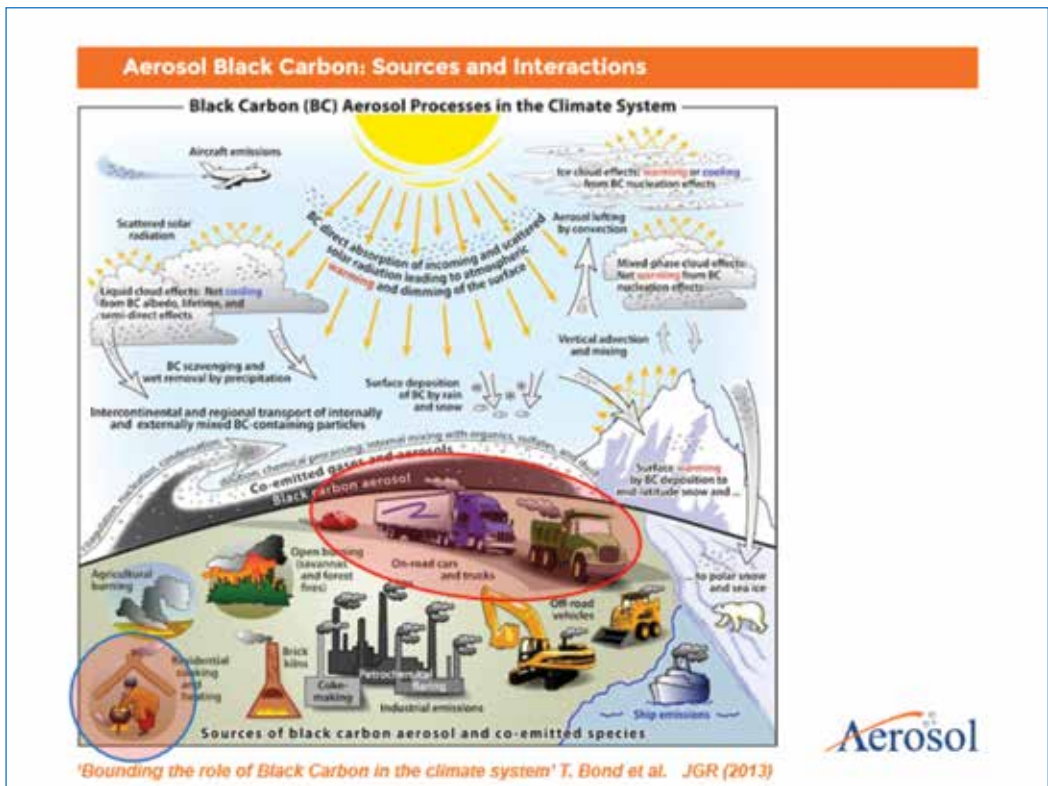
³University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenia

REPUBLIKA SLOVENIJA
SLUŽBA VLADE REPUBLIKE SLOVENIJE ZA RAZVOJ
IN EVROPSKO KONEKCIJSKO POLITIKO

EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI STRUKTURNI
IN INVESTICIJSKI SKLADI
KROJENI S VAŠO PRIHODNOSTI

MAGEE
SCIENTIFIC

Aerosol





Smart City Project Concept

Motivation

In cities traffic (fossil fuel combustion) & domestic heating (wood burning) are the main BC sources

Sources can be characterized by their specific emission factors (EF)

Research goals:

- Determine the BC concentrations in different districts of the city (with different source profiles and intensity)
- Source apportionment of BC (fossil fuel vs. biomass burning origin)
- Source apportionment of CO₂ (fossil fuel vs. biomass burning origin)
- Determine the source-specific emission factors



Stationary measurement stations, Ljubljana


Aethalometer (AE33, 7 wavelength, 1 s time resolution)

Vaisala CO₂ sensor (installed in the exhaust of AE33)

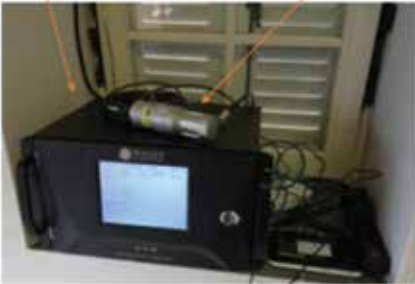
Meteor sensor (T, RH, atm. press.)




Stationary measurement stations, Ljubljana



PM_{2.5} sampling inlet
Sampling line



AE33 Aethalometer
GMP343 CO₂ sensor



Smart City Project Concept

Methodological Approach



Location of the study: Ljubljana, capital of Slovenia, 280,000 inhabitants

Simultaneous measurement of BC and CO₂ with similar response time

BC: AE33 Aethalometer (Aerosol d.o.o),
CO₂: Vaisala GMP343 IR sensor connected to the outlet of AE33 as external device

Flow: 5 l/min, 60 sec time resolution, 5 minutes averaging time

Inlet: PM_{2.5} cutoff





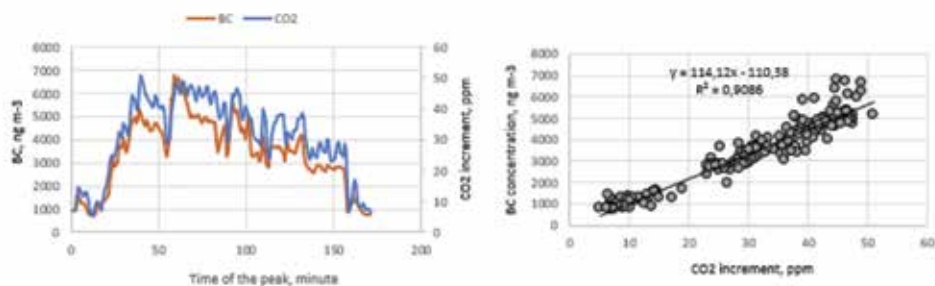
Smart City Project Concept

Methodological Approach

"Peak study" – correlation analysis of individual concentration peaks
 (Peak > 3x background fluctuation)

Slope of the BC-CO₂ regression refers the emission ratio (ER) of BC (ng m⁻³/ppm)

Using carbon content of the fuel emission factor (EF) derived → g kg(fuel)⁻¹



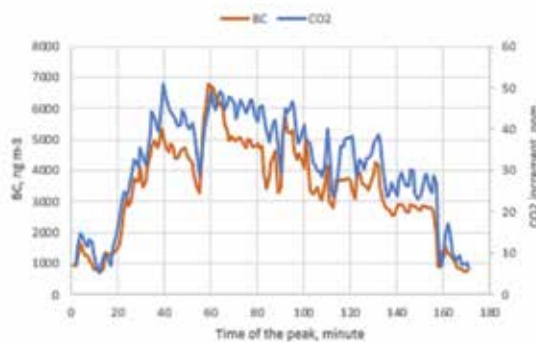
Correlated BC and CO₂ peaks and the corresponding ER



Smart City Project Concept

In general case: mixed plumes → BC and CO₂ are complex

Two major sources: fossil fuel (FF) & biomass burning (BB)
 with different BC - CO₂ emission ratios (ER) → different BC and CO₂ time variations



Mixed plume case: the BC - CO₂ correlation can be improved



Source apportionment: Biomass smoke vs. diesel

- measure attenuation with the Aethalometer
- absorption coefficient - b_{abs}
- for pure black carbon: $b_{abs} \sim 1/\lambda$
- generalize Angstrom exponent:

$$b_{abs} \sim 1/\lambda^\alpha$$

diesel: $\alpha \approx 1$

biomass-smoke: $\alpha \approx 2$ and higher

Spectra	$\alpha_{370-470nm}$	$\alpha_{470-550nm}$	$\alpha_{550-950nm}$
Wood smoke	2.6	3.6	2.1
Winter	2.2	3.7	1.1
Summer	1.2	1.2	1.0

• Sendrajević et al., A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer, Atmospheric Environment, 101–112, 2008.
 • Zotter et al.: Evaluation of the absorption Angstrom exponents for traffic and wood burning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol, Atmos. Chem. Phys., 17, 4229–4249, 2017.

Source apportionment - "Aethalometer" model

$$\frac{b_{abs}(470\text{ nm})_{ff}}{b_{abs}(950\text{ nm})_{ff}} = \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{ff}}$$

$$\frac{b_{abs}(470\text{ nm})_{bb}}{b_{abs}(950\text{ nm})_{bb}} = \left(\frac{470}{950}\right)^{-\alpha_{bb}}$$

$$b_{abs}(470\text{ nm}) = b_{abs}(470\text{ nm})_{ff} + b_{abs}(470\text{ nm})_{bb}$$

$$b_{abs}(950\text{ nm}) = b_{abs}(950\text{ nm})_{ff} + b_{abs}(950\text{ nm})_{bb}$$

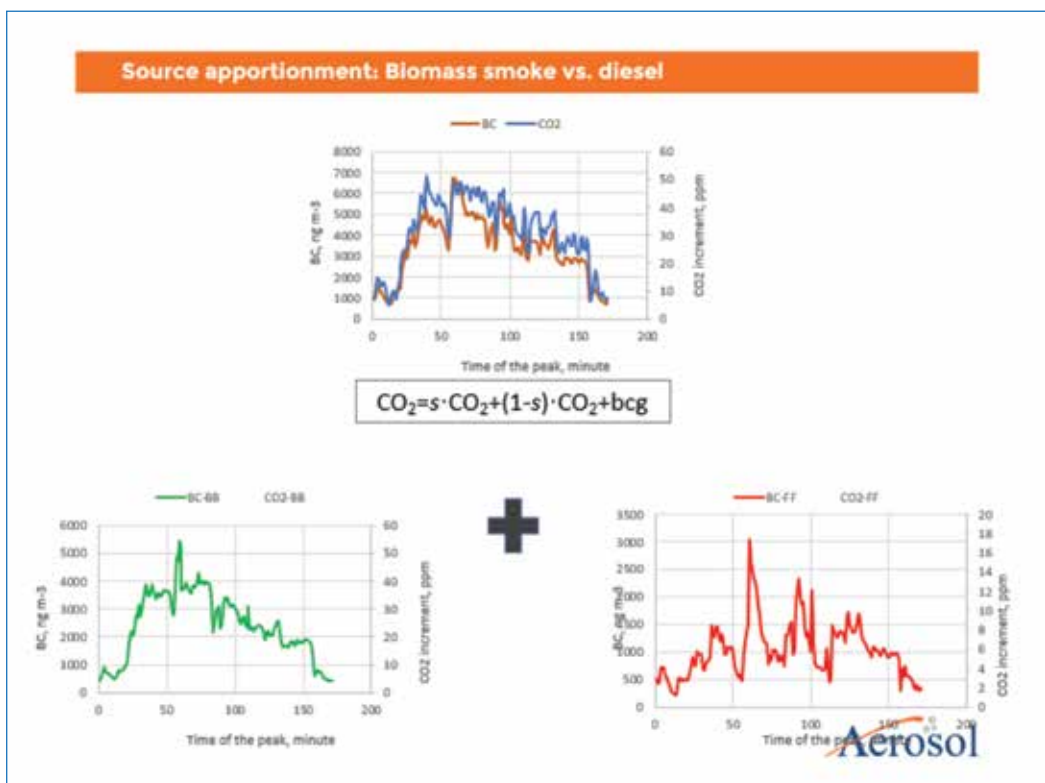
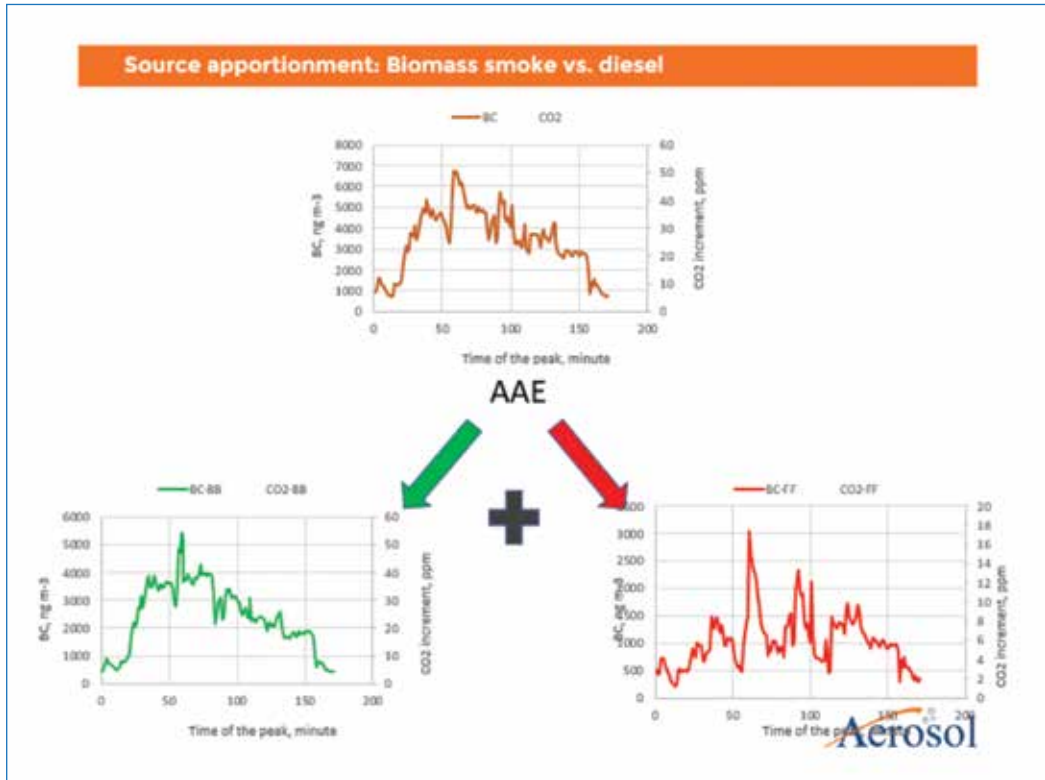
$$BC_{bb} = BB * BC$$

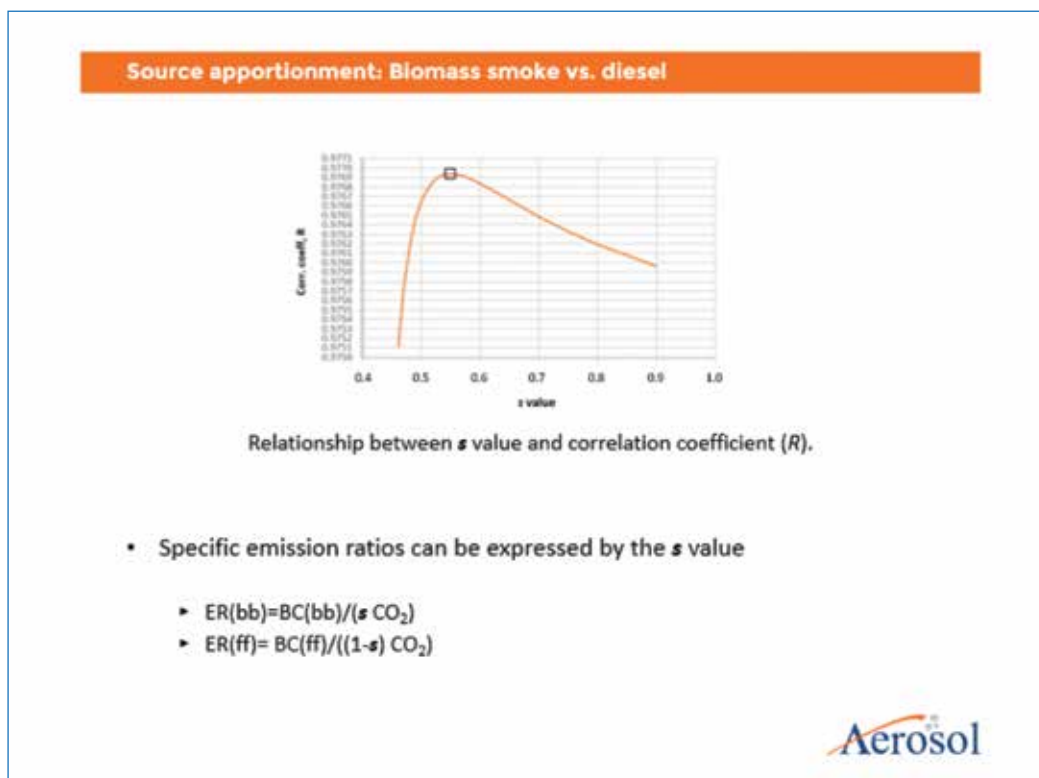
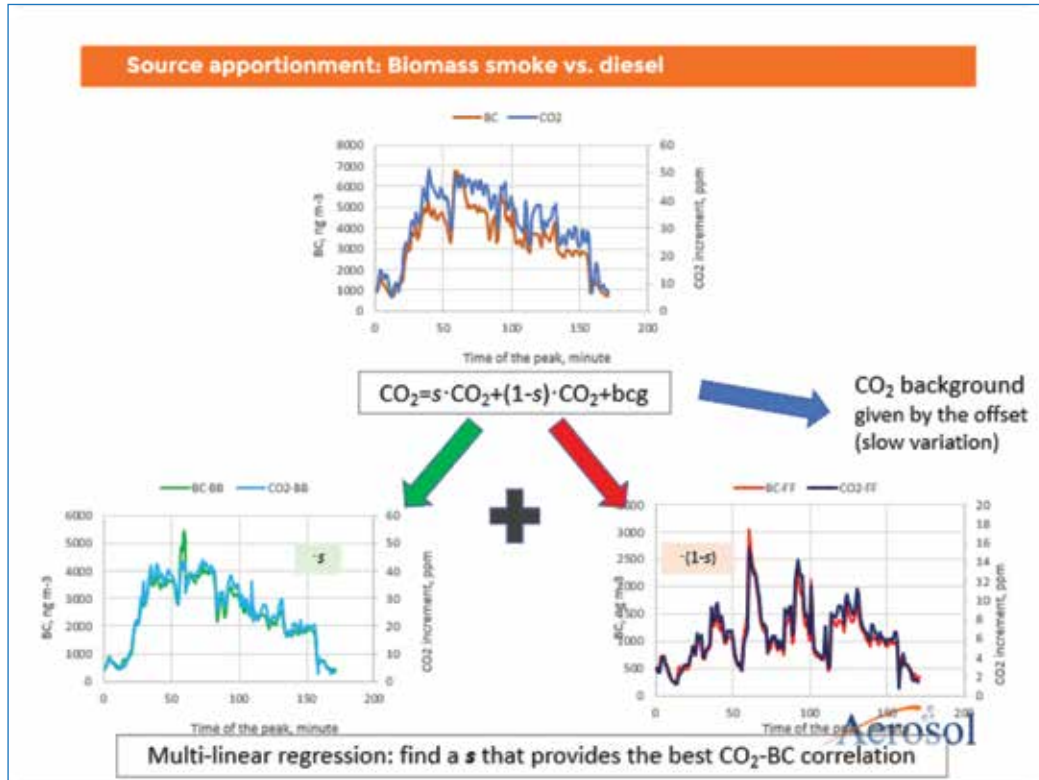
$$BC_{ff} = (1 - BB) * BC$$

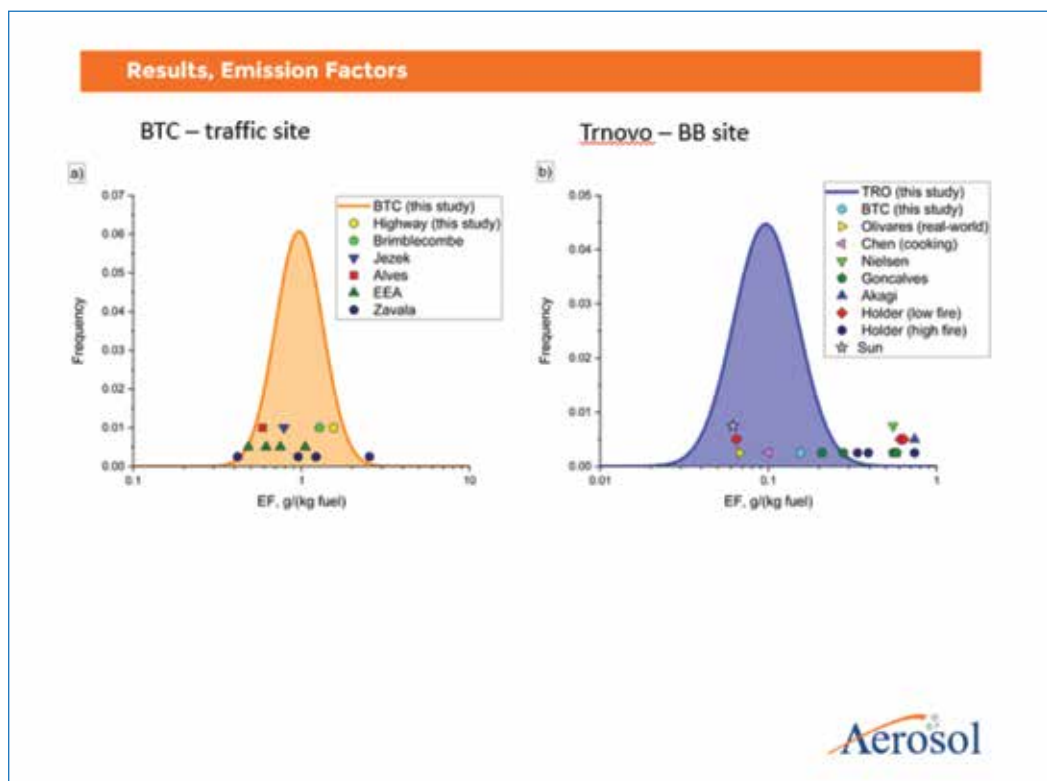
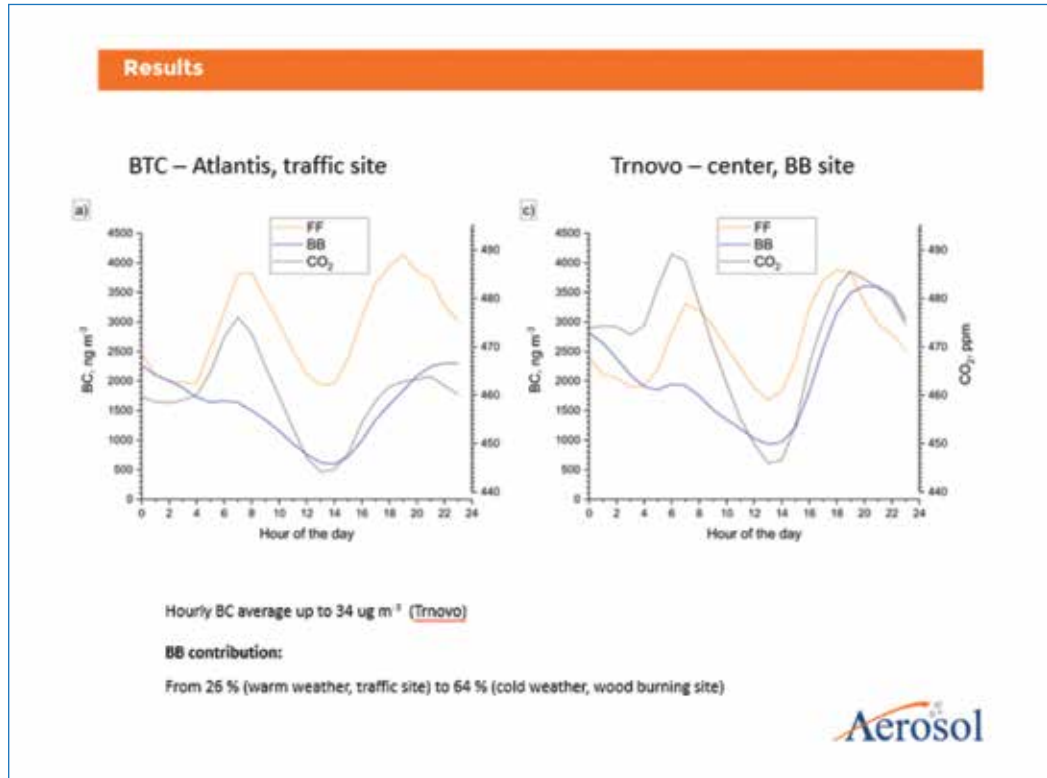
Reported in data file

BTC-Atlantis Traffic site

Trnovo-center BB site







Conclusions

The BC concentration in the city is high during wintertime (hourly averages up to $34 \mu\text{g m}^{-3}$).

High biomass burning contribution especially in specific locations (up to 64%).

Biomass burning and fossil fuel related BC and CO_2 components were successfully separated combining the BC source apportionment model with multi-linear regression analysis.

Source-specific emission factors were determined for biomass burning and fossil fuel combustion separately.

The average EF(BB) was $0.12 \text{ g}/(\text{kg fuel})$ while the average EF(FF) was $0.39 \text{ g}/(\text{kg fuel})$.

The results are in good agreement with literature data.

Aerosol



Thank you for your kind attention!

www.mageesci.com

www.aerosol.si

MAGEE
SCIENTIFIC

Aerosol

27.

Olivia Ryder, Sonoma Technology, U.S. Department of State Global, Air Quality Fellow, Petaluma, CA, USA

Analiza rezultata mjerenja zagađenosti zraka u Sarajevu

Analysis of air pollution measurement results in Sarajevo



Particulate Matter (PM) in BiH

- PM_{2.5} monitors in two locations:

Sarajevo -- May 2018 -- BAM 1020 Banja Luka -- September 2021 -- Teledyne T640

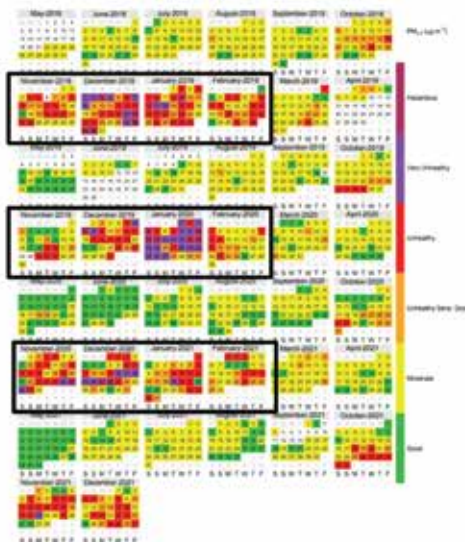
- Both measure hourly PM_{2.5} concentrations
- Data reported hourly to U.S. EPA AirNow website (www.airnow.gov/international)



Science Questions

- What PM_{2.5} concentrations have been measured at the embassy?
- Have PM_{2.5} concentrations remained consistent between 2018 - 2021?
- Are there trends in the data that can be used to infer the source of elevated PM_{2.5} concentrations?
- How do concentrations compare to health benchmarks?

Daily Average PM_{2.5} Concentrations



- Calendar plot of daily average PM_{2.5} concentration colored by the U.S. AQI scale
- Colder months exhibit poorest air quality
- January 2020 stands out with the most consecutive unhealthy and hazardous days
- Unhealthy or worse in January:
 - 2019 = 61%
 - 2020 = 81%
 - 2021 = 42%

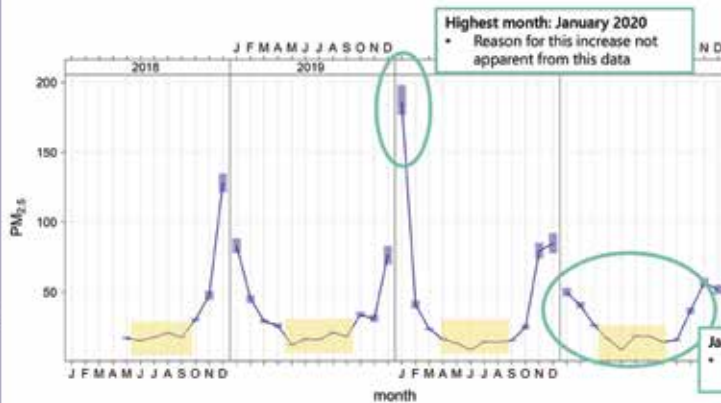
PM _{2.5} (µg/m ³)	AQI designation	Color
0-12	Good	Green
12.1-35.4	Moderate	Yellow
35.5-55.4	Unhealthy for Sensitive Groups	Orange
55.5-150.4	Unhealthy	Red
150.5-250.4	Very Unhealthy	Purple
150.5-350.4	Hazardous	Dark Red
350.5-500.4		

What PM_{2.5} concentrations have been measured at the embassy?



Have PM_{2.5} concentrations remained consistent?

Monthly PM_{2.5} Concentrations 2018-2021



- May – September are lowest months across all years
- Relatively consistent concentrations across years
- October-April (coldest months) are highest but vary in magnitude across years

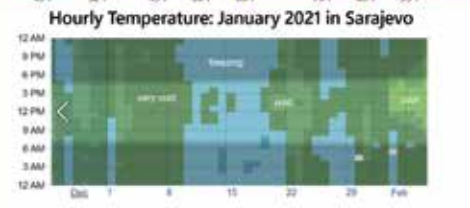
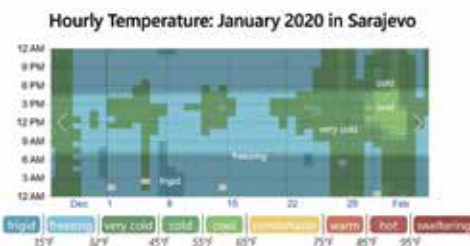
Highest month: January 2020
 • Reason for this increase not apparent from this data

January 2021
 • Winter months lower than previous years

What caused January 2020 PM_{2.5} levels to be so high?

Have PM_{2.5} concentrations remained consistent?

Sarajevo Weather in January 2020 vs. 2021

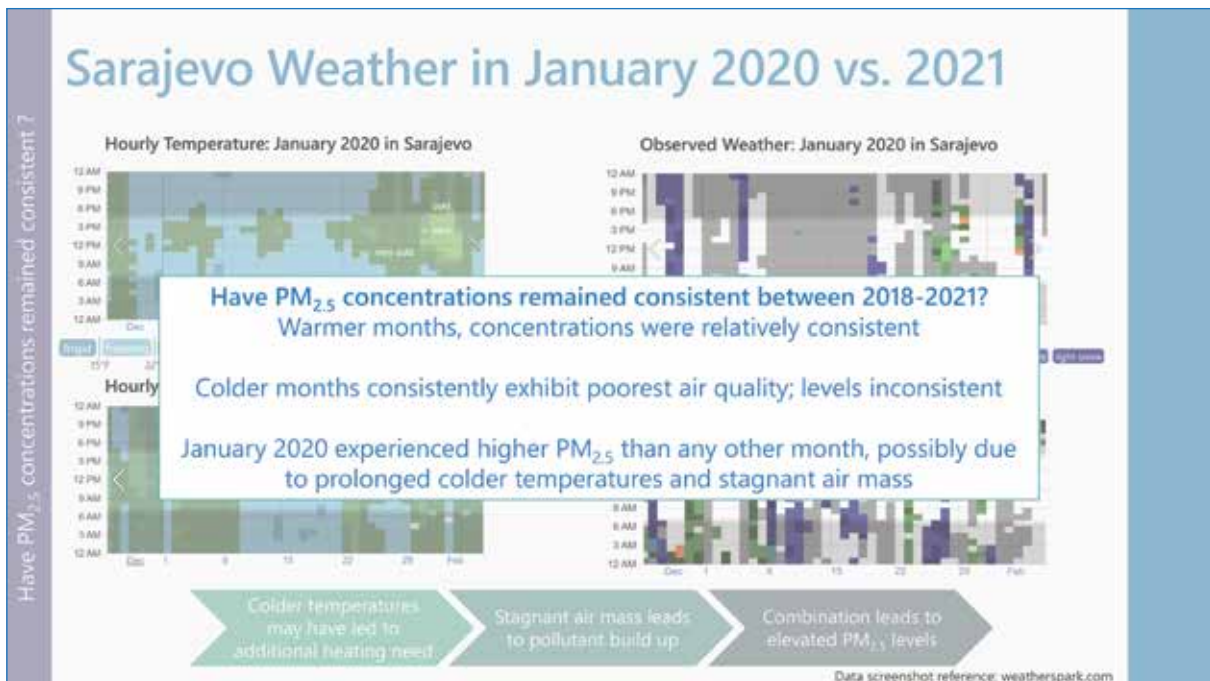
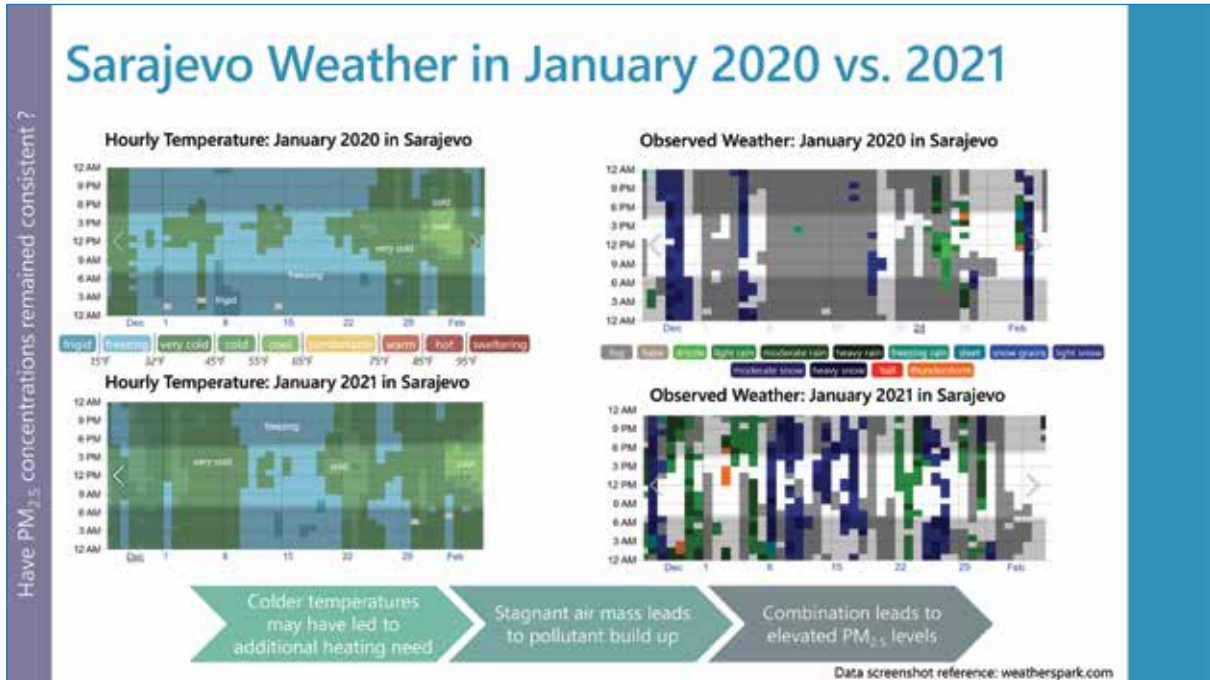


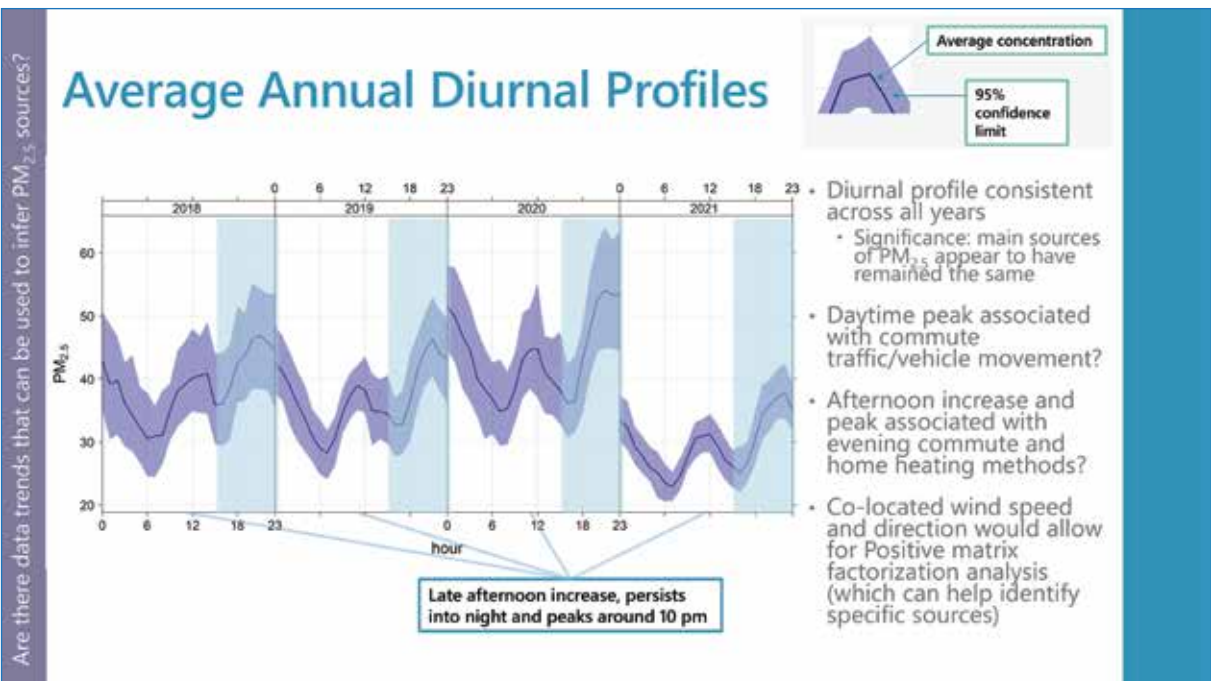
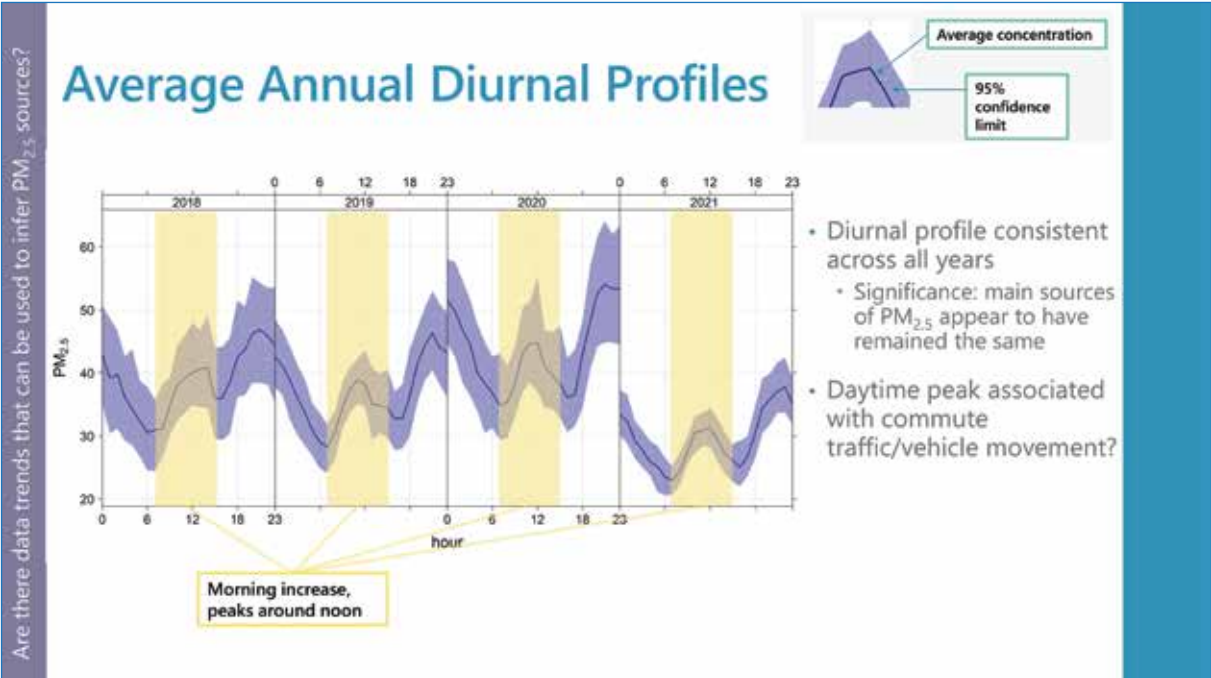
- In January 2020:**
- Overall colder temperatures
 - Colder temperatures persisted for longer

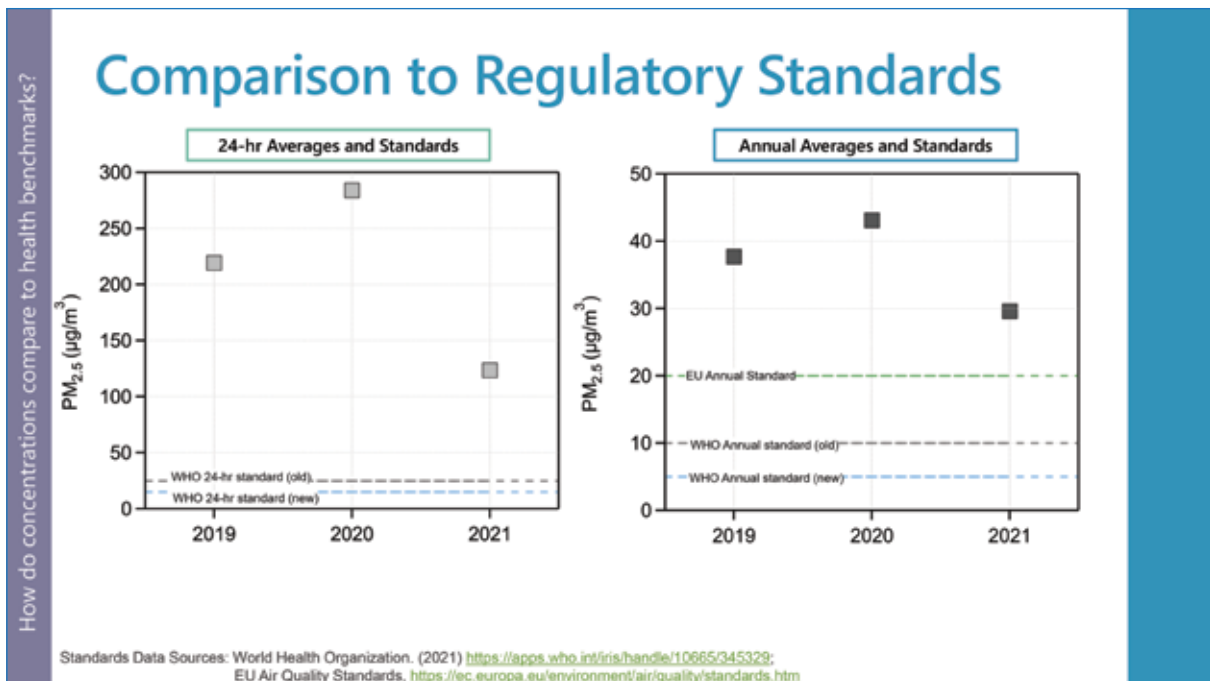
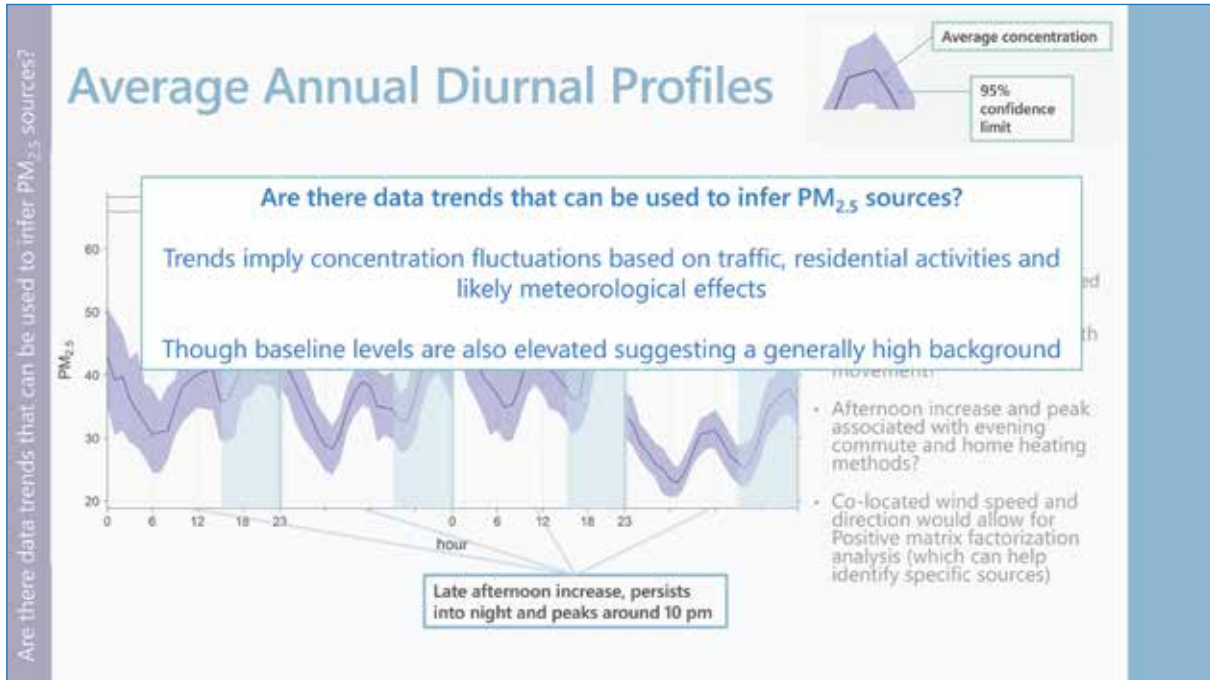


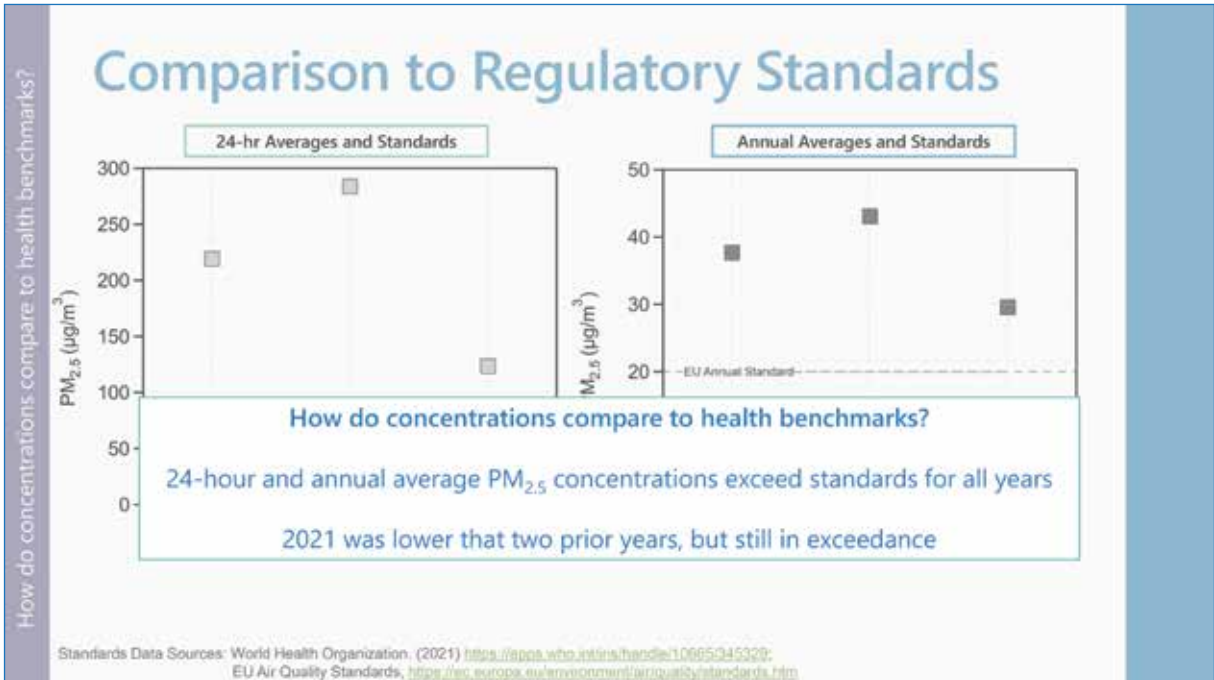
- In January 2020:**
- Prolonged periods of fog
 - Fog implies a more stagnant air mass

Data screenshot reference: weatherspark.com









How do concentrations compare to health benchmarks?

Health Benchmark Comparison

- Assuming 3.89% of PM_{2.5} is diesel particulate matter (estimate from Jericervic et al. 2019)
- We can calculate the excess cancer risk associated with the average concentrations
- Caveat: excess cancer risk level is intended for a lifetime of exposure; data here is annual

Year	Annual Mean
2019	37.5
2020	43.1
2021	29.6

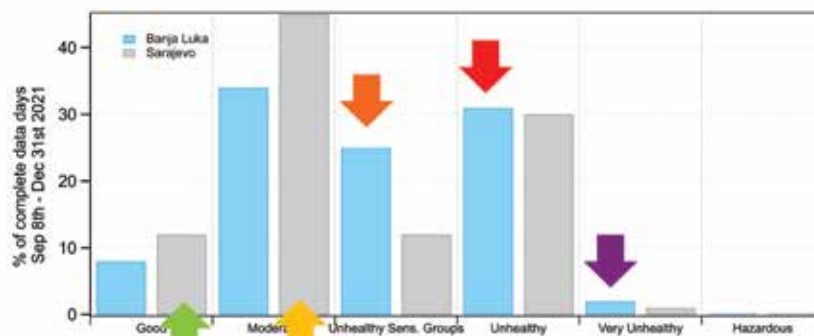
Standard Data Sources: *OEHA standard: <https://cehba.ca.gov/media/downloads/cmr/appendix.pdf>

Banja Luka and Sarajevo Air Quality Comparison

Sep 2021-December 2021

Comparison: Days in Each AQI Category

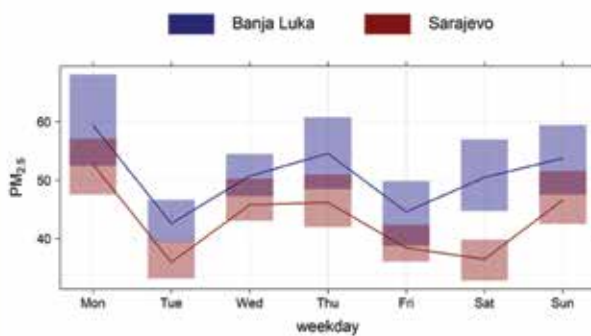
Percentage of days each site reported PM_{2.5} concentrations in each AQI category



- Banja Luka experienced a higher percentage of days in the "unhealthy for sensitive groups" category.
- Banja Luka showed a slightly higher percentage of days in the "unhealthy" and "very unhealthy" categories as compared to Sarajevo.



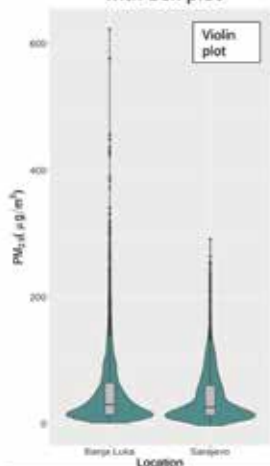
Comparison: Daily & Hourly



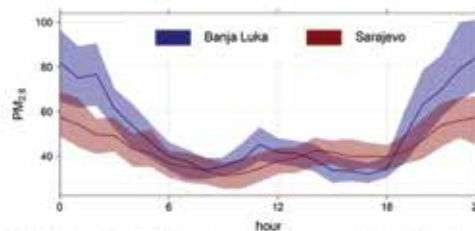
- Average daily PM_{2.5} concentrations were higher at Banja Luka for every day of the week
- The two sites correlate in terms of data trends for every day except Saturday

Comparison: Hourly

Hourly PM_{2.5} plotted as a violin plot and overlaid with box plot



- Mean hourly PM_{2.5} at Sarajevo = 43.09 µg/m³ ; Banja Luka = 51.32 µg/m³
- No statistically significant difference between the two populations of hourly data
- Banja Luka experienced a larger range of PM_{2.5} concentrations



- Overnight, PM_{2.5} at Banja Luka site was on average higher than those in Sarajevo
- Both reach minimum concentration ~9 am
- Midday peak occurs slightly earlier in Banja Luka
- Both increase from 6 pm into night
- More data in 2022 will help to reveal robustness of these trends over time

Summary

<p>Colder months consistently exhibit poorest air quality</p>	Sarajevo
<p>January 2020 experienced higher PM_{2.5} than any other month, possibly due to prolonged colder temperatures and stagnant air mass</p>	
<p>Diurnal PM_{2.5} trends imply fluctuations may result from traffic, residential activities, and likely meteorological effects</p> <p>- Though baseline levels are also elevated suggesting a generally high background</p>	
<p>Health: 24-hour and annual average PM_{2.5} concentrations exceed standards for all years</p> <p>• 2021 was lower than two prior years, but still in exceedance</p>	
<p>Daily: Average daily PM_{2.5} was higher at Banja Luka for every day of the week</p> <p>• Banja Luka experienced a higher percentage of days in the "unhealthy for sens. groups", "unhealthy", and "v. unhealthy" categories</p>	Comparison
<p>Hourly: No statistically significant difference between the two populations of hourly data</p> <p>• However, looking more closely at trends, overnight PM_{2.5} at Banja Luka site was on average higher than those in Sarajevo</p>	

Future Work & Acknowledgements

- Continued analysis of Sarajevo data into 2022
- Comparison of data to Banja Luka site monitor
 - Additional data may help reveal reason for differences in levels
- Incorporate nearby wind data to perform directional pollution analysis

U.S. Embassy to Bosnia and Herzegovina

Emil Ahmagic – Economic Assistant

Andy Allen – Economic Officer

Tim Oliver – Former Economic Assistant

Global Air Quality Fellowship

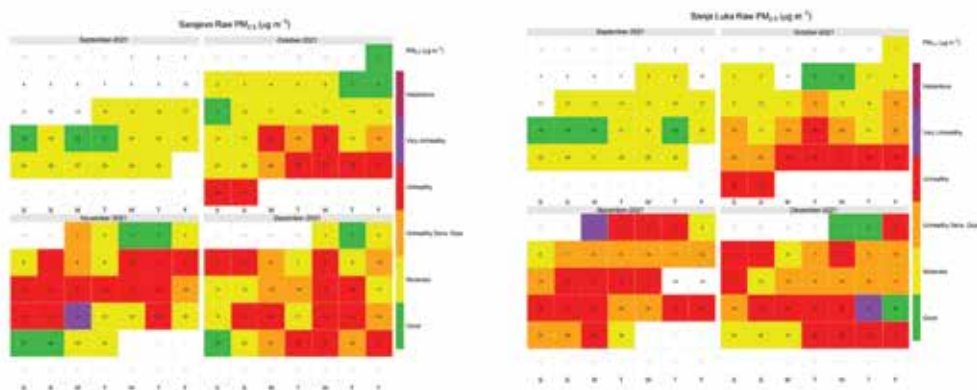


Olivia S. Ryder: oryder@sonomatech.com

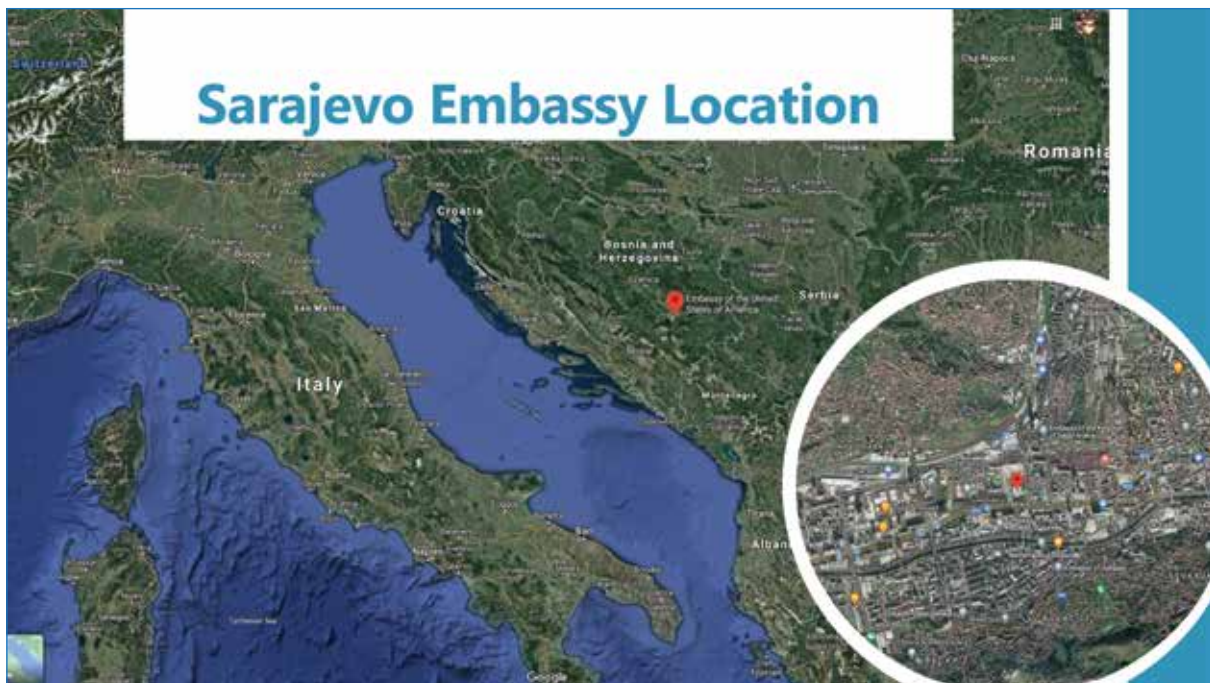
Other slides

Comparison: Calendar Plot

- Calendar plot of daily average $PM_{2.5}$ concentration colored by the U.S. AQI scale

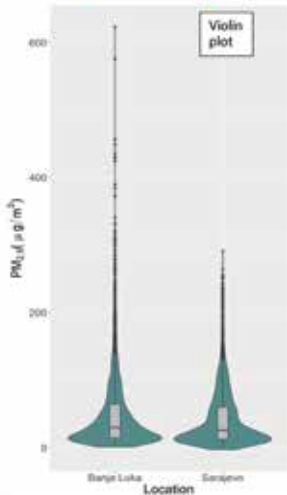


Sarajevo Air Quality



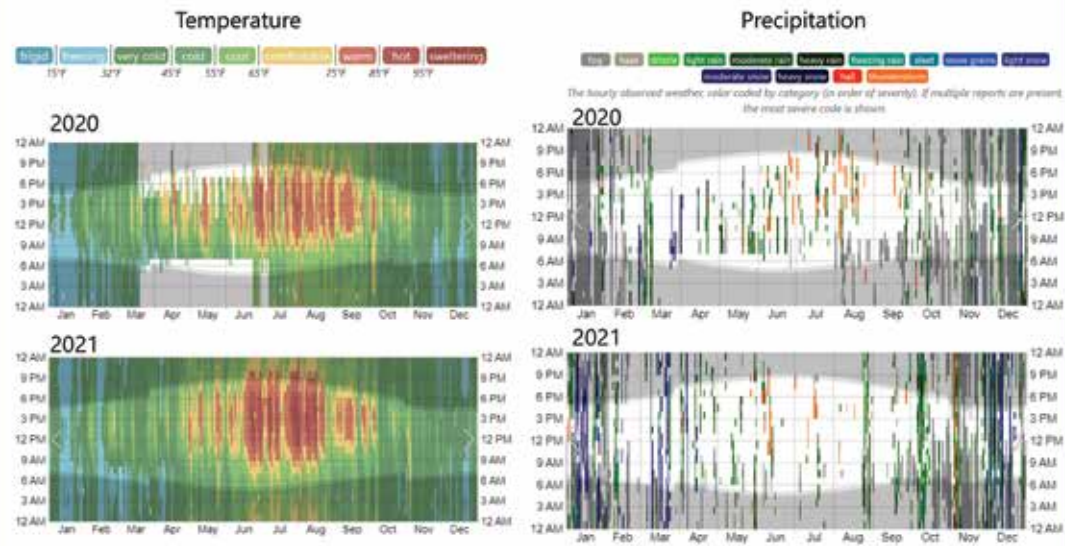


Overall Comparison of Hourly Air Quality at Each Site

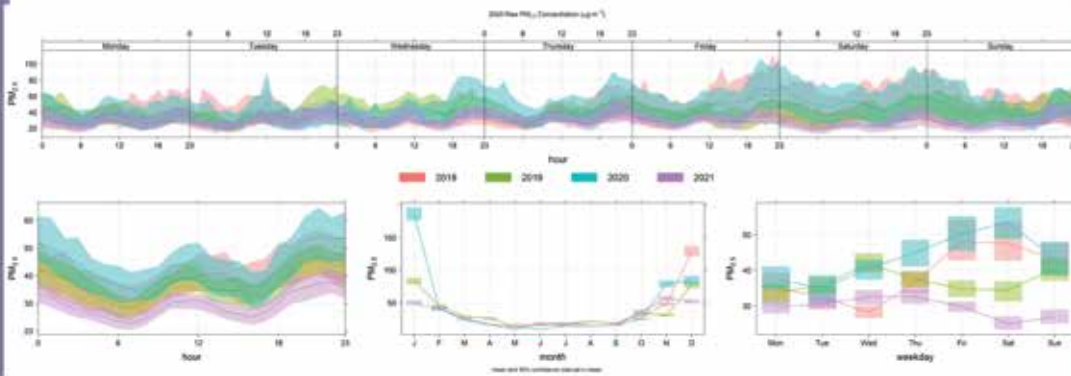


- Hourly PM_{2.5} plotted as a violin plot and overlaid with box plot
- Mean hourly PM_{2.5} at Sarajevo = 43.09 µg/m³
- Mean hourly PM_{2.5} at Banja Luka = 51.32 µg/m³
- No statistically significant difference between the two populations of hourly data
- Banja Luka experienced a larger range of PM_{2.5} concentrations

Weather Conditions in 2020 vs 2021

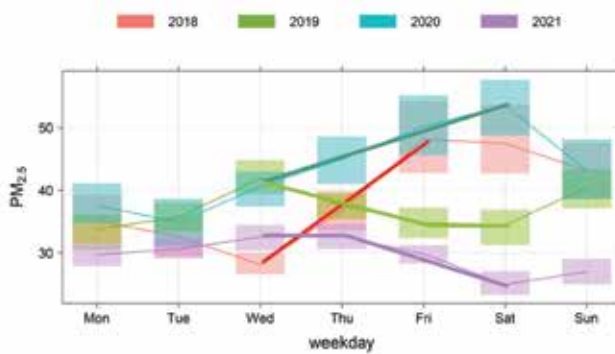


Sarajevo Time Variation Plot



Are there trends in the data that can be used to infer the source of elevated PM_{2.5} concentrations?

Average Day of Week PM_{2.5} Concentration

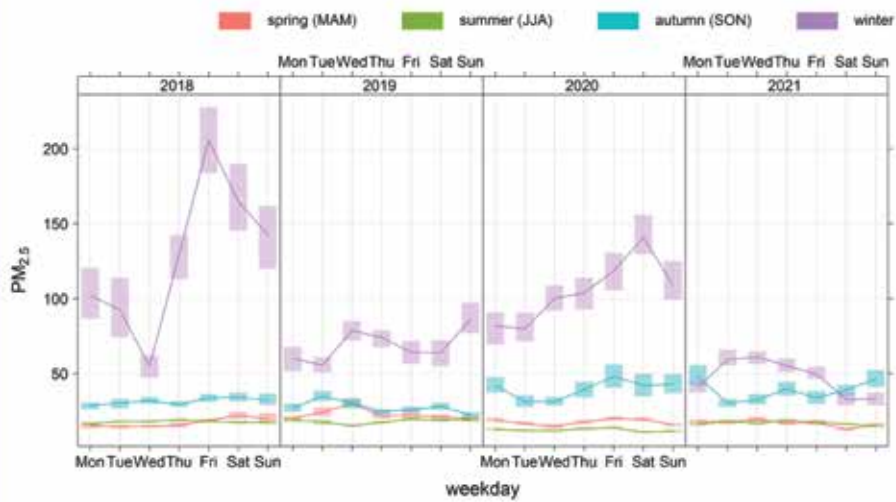


Potential explanation:

- 2020 higher Thursday-Monday
- Trends diverge on Thur-Sat
 - 2018 and 2020 show higher and increasing concentrations
 - 2019 and 2021 show lower and decreasing concentrations
- Trends driven primarily by Autumn and Winter
- Caveats: 2018 data only for May-Dec



Day of Week Averages broken down by Season

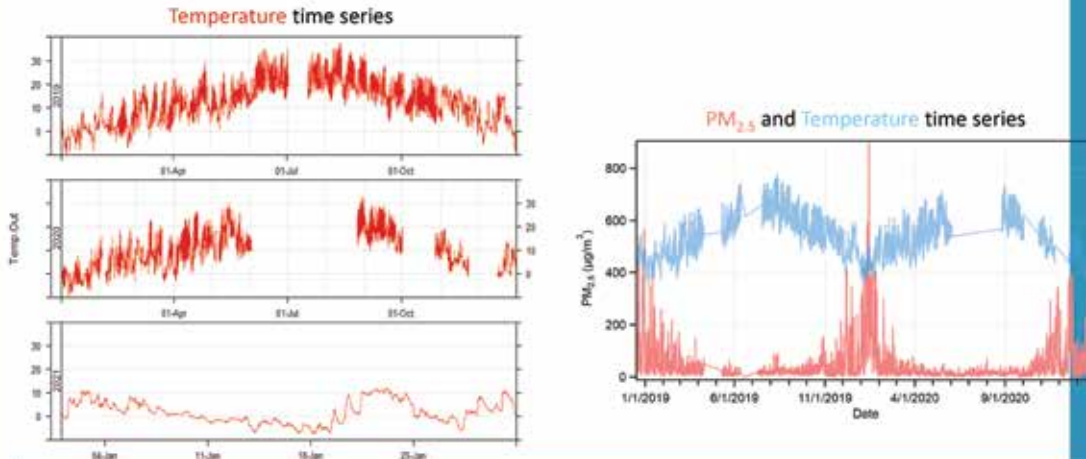


Health Benchmarks

All units ug/m ³	2019	2020	2021	EU air quality standards	FIBH	WHO (old)	WHO (new)
Annual mean	37.5	43.1	29.6	25	20	10	5
24-hour mean	219.2	283.8	123.5	-	-	25	15

Temperature Time Series

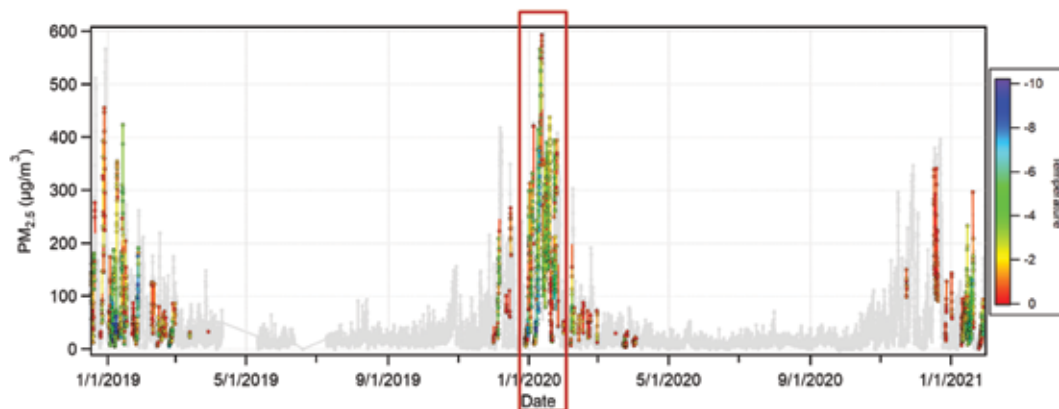
Ambient temperature data is collected by a research team at a nearby university



Data does not immediately indicate any obvious temperature drivers that would explain $PM_{2.5}$ difference between January 2019, 2020 and 2021.

Cold Temperature Frequency

$PM_{2.5}$ time series colored by temperature <0



- More instances of cold temperatures in winter 2019/2020 (780 hours) than in 2018/2019 (679 hours) or 2020/2021 (thus far, 405 hours)
- Possible this led to more domestic combustion and thus higher levels of $PM_{2.5}$

Ogrin Matej, Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana, Slovenia

Kristina Glojek, University of Nova Gorica, Center for Atmospheric Research, Nova Gorica, Slovenia

Problemi kvaliteta zraka u gradskim i ruralnim naseljima Slovenije (uzorci slučaja iz Ljubljane i Loškega Potoka)

Issues of air quality in urban and rural settlements of Slovenia (case samples from Ljubljana and Loški Potok)

ABSTRACT

Efforts to improve air quality in Slovenia have a long history. At different times, efforts focused on different activities. Initially they were focused on industrial plants and thermal power plants, later the focus shifted to transport and individual biomass heating. From the 1960s to the late 1980s, we can say that the air quality improvement programs were successful and most of the problems related to air quality were solved. Slovenia was less successful in addressing the problems that arose in the 1990s and later. These were related to pollution from transport and biomass heating emissions from individual households. The disintegration of public transport, dispersed urbanization and rising living standards led to rapid motorisation and an increase in traffic pollution, which was somewhat mitigated by the introduction of EURO emission standards for motor vehicles.

Due to the simultaneous relocation of most heavy industries from Slovenia and the ecological restructuring of other industrial plants, transport has become the biggest air polluter alongside the energy sector. This is especially true for urban areas. The increase in energy prices after 2005 and the economic crisis after 2008 have somewhat reduced transport-related air pollution in Slovenia, but at the same time there has been a change in the heating sources of individual houses, where wood has played an important role, especially in suburban and rural areas. Thus, in rural and some suburban areas, biomass heating plays a predominant role in the deterioration of air quality, and in many places the air is highly polluted in the cold half of the year.

In 2005 and 2006, as well as in 2013 and 2014, the Department of Geography of the Faculty of Arts, University of Ljubljana carried out extensive measurements of nitrogen dioxide along roads in the Ljubljana area, and the Aerosol company carried out measurements of black carbon. Nitrogen dioxide measurements were also carried out in 2019, by the non-governmental organisation Focus. All measurement campaigns show mostly moderate pollution with nitrogen dioxide and black carbon in the urban area, but also large differences in pollution depending on land use and the period of the year.

In recent years, in addition to measurements in urban areas, research on air quality in rural areas has been intensified, as the increasing use of wood has shown that air quality has greatly deteriorated. Several months of stationary and mobile measurements of particulate matter and black carbon in Loški Potok from autumn 2017 to spring 2018 show that especially in the cold half of the year populated areas with frequent temperature inversions can be highly polluted and that air quality is even worse than in densely populated urban areas. The paper presents the methods and results of air quality measurements in Ljubljana and Loški Potok and presents solutions to improve the situation where excessive air pollution occurs.

1. Introduction

Due to its sheltered location, Slovenia belongs to the unventilated areas and therefore most Slovenian cities have a poor self-purifying capacity of air. The only exceptions in this respect are the coastal cities. Ljubljana also belongs to the unventilated cities, where there are no constant strong winds, which results in poorer self-cleaning capacity of the air. Since the city is located in a basin, temperature inversions are frequent and pronounced during clear and calm weather (Ogrin, 2010). Due to the concentration of activities and settlements, air quality in Ljubljana and many other cities in Slovenia deteriorated in the decades following World War II. Due to policy interventions, air quality has gradually improved since the 1980s. A look at the period 1950–2020 shows us that in the field of air pollution and its remediation in Slovenia we can identify four periods with their own peculiarities. The article discusses the causes of air pollution in Slovenia and the efforts to remedy it in the individual periods. The second part presents a case study of air pollution in rural hilly areas, based on field measurements in the settlement Hrib - Loški Potok, which is a typical representative of hilly rural settlements in Slovenia, where biomass is the predominant

heating source. There are no systematic air measurements in such areas in Slovenia, thus the study provided useful and new information on air quality in hilly rural areas.

2. Efforts to improve air quality in Slovenia

An overview of the air quality problem and the efforts to improve it shows the different periods in which the activities and results of these efforts can be seen. The first period was called the period of fog (1950–1980), followed by the period of remediation of industrial pollution and pollution from thermal power plants (1980–2000), the period of increasing traffic pollution (2000–2010), followed by the period of air pollution from biomass burning (2010–).

2.1 Period of fog (1950-1980)

This period is characterized by an increase in industrial pollution and pollution from thermal power plants. The contribution of individual

fireplaces and stoves (coal, firewood) was also very important. Although the total emissions of pollutants were not comparable with the more densely populated and industrialized countries in Europe, the particular geographical position of most of Slovenia was reflected in a weak windiness and frequent temperature inversions, which are the most pronounced in the cold half of the year. (Petkovšek, 2014) This period is also characterized by a high frequency of fog in the basins and lowlands of Slovenia, especially in the Ljubljana basin, which had on average 144 days of fog per year in this period (ARSO, 2022). In addition to its location in the basin, the reason for the high frequency of fog was also due to heavy pollution with soot and larger particles that acted as condensation nuclei. Thus, Ljubljana was one of the foggiest cities in Europe during the period. The first measurements of ambient air quality in Slovenia were made in the 1960s. Among the gases, sulphur dioxide (SO₂) dominated (Planinšek, 2014). In 1967, enough data were collected to compare with those measured in other parts of the world. The highest daily SO₂ concentration in Ljubljana, 2.37 mg/m³, was measured on January 13 in 1967, and the highest daily SO₂ concentrations in Ljubljana in the second half of the 1960s were often about 1.5 mg/m³. The highest short time SO₂ concentration in the first year of these measurements, 1968, was over 5 mg/m³. (Hrček, 2014)

The first years of air pollution measurements in Ljubljana in the second half of the 1960s coincide with the time when Ljubljana began to introduce district heating from the heating plant in Moste (1966), and at the end of the 1950s Velenje began to use district heating. Few years later district heating was built also in Šoštanj (Energetika Ljubljana, 2022, Komunalno podjetje Velenje, 2016). With the

expansion of the hot water network and the elimination of a number of smaller boilers with low chimneys, a gradual reduction of air pollution with SO₂ and smoke began at the local level. Thus, the analyzes of pollution measurements supported the city's policy of expanding the hot water network (Hrček, 2014).

In the first half of the 1960s, a series of monthly measurements were made, and in 1968 the Hydrometeorological Institute (HMZ) began regular measurements. In the period from 1970 to 1980, HMZ conducted extensive studies that served as the basis for planning air protection measures at major pollution sources and in large cities, taking into account local weather conditions, pollution and existing air pollution were taken into account (Trbovlje thermal power plant, Šoštanj thermal power plant, Krško nuclear power plant, Žirovski Vrh uranium mine, Ljubljana, Celje, Mežiška dolina, Maribor, Sarajevo, Trepca, Pljevlja). A common feature of all these places is that they are located in basins or valleys where temperature inversion often occurs in the cold half of the year (Planinšek, Hrček, 2014).

Air quality measurements revealed extremely high concentrations of SO₂ and smoke in cities and near thermal power plants. The impact on vegetation was most pronounced near the Trbovlje and Šoštanj thermal power plants and in the Mežica valley, where lead was mined and smelted. Some health studies have shown that polluted air has a significant impact on the health of the inhabitants of the most polluted places. Meteorologists even then suspected that the main reason for high air pollution was temperature inversion over the basins and lowlands of central Slovenia, where coal was used for heating, as well as significant air pollution from industry and service trades. Emissions from transport had

a smaller share at that time, as there was much less road traffic than today. The greater air pollution in the city center was also the result of the transport of polluted air from the suburbs at night due to the urban heat island effect, which was already noted in Ljubljana and Celje at that time (Planinšek, Hrček, 2014).

The number of measuring sites then increased, so that by 1975 the measurements had grown into a network covering most of the larger settlements in Slovenia. There were about 200 measuring sites, including those where measurements were taken for only a few months. The chemical laboratory also carried out analyzes of rainwater and sediments, as well as monthly air pollution indices. The 24-hour measurement interval was too long to determine the causes of excessive pollution, especially near thermal power plants and industrial facilities. Even before 1970, measurements were carried out in the vicinity of the Trbovlje thermal power plant and the lead smelter in Žerjav using measuring instruments that continuously measured the concentration of SO₂. In 1971, HMZ purchased four Woesthof ultra gas meters (Hrček, 1977), which also worked on the principle of electrical conductivity. The measurements took place in cities and in areas around thermal power plants.

In accordance with the limit values, the measurements occasionally showed a SO₂ content that was much too high. At some locations near the Trbovlje thermal power plant, the measuring range of the instrument, which was set at 10 mg/m³, was too small. Of course, the population was also at risk, especially in the higher localities of the Sava Valley. The worst situation was at the Dolinšek farm in Prapretno (Račkovina). Measurements on this farm with specially adapted Ultragas instruments showed average half-hour values

over the measuring range of the instrument, which reached up to 20,000 µg/m³. The estimated maximum value was over 30,000 µg/m³ (Paradiž, 2004). For comparison, the hourly limit value for SO₂ to protect human health today is 350 µg/m³ (Planinšek, Hrček, 2014).

During this period, the problem of deteriorating air quality proved to be a huge problem, with the very poor ventilation of the populated lowlands contributing to the poor air quality. Slovenian society, especially experts and also politicians, faced the problem and started to solve it step by step. It should be noted that releases from local sources were not a major regional threat, but the low self-purifying capacity of the lower atmosphere contributed to the poor air quality at the local level, which occasionally reached critical levels, especially in winter.

2.2 Period of remediation of industrial pollution and pollution from thermal power facilities (1980-2000)

A step forward in measurements was taken in 1983 with the purchase of a series of automatic air pollution instruments from Monitor Labs. The system was named the Analytical Surveillance Alarm System or ANAS. It was designed as a transmission system with ten automatic stations. The first measurements with all ten stations were made in Celje within the project "Model of atmospheric remediation in an urbanized basin" in 1980–1983. (Planinšek, 2014). A network of stations was established in Ljubljana, Maribor, Celje and in three towns of Zasavje where the air was most polluted. Most of the stations had SO₂ sensors, and sensors for ozone (O₃), nitrogen oxides (NO_x), carbon monoxide (CO) and particulate

matter (PM) were gradually added at some stations. In 1989 Thermal power plant Šoštanj built its system of six measuring stations, and in 1992 Thermal power plant Trbovlje did the same. Over the years, the measurement network was slowly expanded, both, in terms of the scope of measurements and in terms of measurement sites (Planinšek, 2014).

To monitor air pollution over long distances, HMZ established two monitoring stations to monitor air pollution in unpolluted areas, namely Iskrba near Kočevska Reka and Krvavec, and later a station to monitor ozone transport from Italy near Otlica in Trnovski gozd. In 1994, a mobile station in the form of a container trailer was purchased. It had complete equipment for measuring air quality, including hydrocarbons and meteorological sensors. In 1992, Ljubljana began testing the replacement of domestic coal with higher-quality imported coal, and in 2002 the heating plant switched to higher-quality Indonesian coal, which contains much less sulfur (Energetika Ljubljana, 2021). This led to a noticeable improvement in air quality. Ljubljana became less and less foggy, as the number of foggy days was already noticeably lower during this period, amounting to 105 days (ARSO, 2022). Air quality improved, especially SO₂ pollution was significantly reduced due to the conversion of energy sources.

2.3 A period of increasing traffic air pollution (2000-2010)

After Slovenia's independence and the beginning of its accession to the European Union, it was necessary to adapt legislation and measurement networks to the requirements of EU legislation. Slovenia received about 1.4 million euros from PHARE funds for the

modernization of air quality measurements. This money was used to purchase seven permanent air quality measuring stations, nine samplers for precipitation quality measurements, laboratory equipment and computer equipment for data processing, as well as upgrades to the software for monitoring the operation of the measuring network and data processing. The measurement system was upgraded in 2001. The measuring stations were modernized, and the Nova Gorica and Murska Sobota in Rakičan measuring stations were added. Later, a measuring station was established in Koper in cooperation with the Koper Municipality. After 1990, SO₂ emissions decreased sharply due to the closure of part of the industry, the construction of exhaust air-cleaning devices and the prescribed lower sulphur content in fuels, so that in the new millennium this pollutant was no longer a problem in Slovenia. Since that time, the biggest problem has been exceeding the limit values of PM₁₀ particles and exceeding the target and warning values for ozone.

In addition to continuous measurements at fixed permanent measurement locations, we have also made occasional indicative measurements in areas where there are no permanent measurements. This category includes measurements with a mobile station, where the instruments are the same as in the permanent stations, which means that the accuracy of the measurements is the same as in the measurement network, only the measuring period is shorter. Most of the measurements with reference methods were carried out in 2010 and 2011 in the vicinity of industrial plants, which were obliged to make an assessment of existing and additional pollution of the air according to the Ordinance on Emissions of Substances into the Air from Stationary Sources (Official

Gazette of the Republic of Slovenia, No. 31/07). Measurements have shown that PM concentrations are particularly high in some places where there are no measurements at permanent measuring stations. The main cause of excessively high PM concentrations is not emissions from energy and industry, but primarily emissions from small combustion plants and, in some cases, from traffic. As pollution from SO₂ became less of a problem, measurements, where concentrations had been below the lower assessment threshold for the past five years, were discontinued. In 2010, measurements of SO₂ were stopped in Nova Gorica, Rakičan and Maribor (Šegula et al., 2011). However, measurements have also shown that even in the vicinity of large pollution sources, such as highways and industrial plants, exceedances of the limit values are measured only very rarely. The second category of indicative measurements includes diffusion samplers. The advantages of diffusion samplers are that they do not require pumping systems or electricity, do not need to be monitored, and are inexpensive. They capture 100 % of the measurement time and we can measure a wide range of concentrations. The disadvantages of diffusion samplers are lower measurement accuracy and low temporal resolution. We only get the average value at the time of exposure, which is usually one to two weeks. Three large surveys with diffuse samplers were conducted in Ljubljana. The first one in collaboration between ARSO and the European Union Joint Research Center air laboratory in Ispra (2003), while the second and the third were conducted by the Department of Geography, Faculty of Arts, University of Ljubljana in collaboration with ARSO (2005–2006 and 2013–2014). We detected the hotspots of nitrogen dioxide (NO₂) pollution in the dense spatial network. Road corridors representing the main roads in

Ljubljana proved to be problematic. However, it has also been shown that pollution is increased along main roads (e.g. sidewalks and bicycle paths), but the area of increased pollution usually does not extend to residential areas along the roadside. Thus, we can conclude that this period was characterized by a change in the priority of pollutants, as pollutants from the industrial and energy sectors, especially SO₂, took a back seat to transportation pollution, as motorization increased faster than advanced technology to reduce emissions from car engines. As a result of the energy crisis and later the economic crisis, pollution from biomass use came to the fore toward the end of this period. Rising fossil fuel prices around 2005 also indicated new trends in energy use at the individual level in Slovenia, as interest in the use of heating oil and natural gas gradually decreased and interest in the use of biomass increased again. The frequency of fog in Ljubljana decreased to about 75 days per year during this period (ARSO, 2022).

2.4 A period of increasing emissions from biomass combustion (2010-)

During this period, ARSO, in collaboration with the National Institute of Public Health (NIJZ), introduced a new method for predicting and presenting air quality data in the form of pollution indices. They defined air quality classes with recommendations from NIJZ on how to treat the population in case of air pollution (Gjerek in ost., 2017). In addition to continuous monitoring of air quality, ARSO also conducted measurements during extraordinary events when there was a risk of air quality deterioration. Thus, in 2017, no less than three such events were registered. In 2016–2021, ARSO carried out

the modernization and upgrade of the national air monitoring network as part of the SINICA project. The project also included the creation of spatially and temporally detailed emission records and the establishment of a tool for urban air quality modelling.

After 2010, emission standards for motor vehicles have improved significantly, resulting in a substantial reduction in traffic pollution, which is especially noticeable in cities. At the same time, the efforts of the EU policy to reduce the use of diesel vehicles are also noticeable in this period, as traffic emissions of primary particles from diesel engines are much higher than from gasoline engines. And today we can say that traffic-related emissions of some pollutants (PM, NO_x) in many EU countries, and also in Slovenia, are no longer increasing or are even decreasing despite the increase in traffic. This is due to the fact that in many larger urban areas traffic actually has a higher share in these emissions, thus in many places the significant decrease in traffic-related PM emissions was followed by a significant decrease in total PM emissions. However, this is not the case in Slovenia, where wood has traditionally been an important source of heating, which again, became increasingly important after this year, while the use of natural gas and fuel oil decreased. In addition to the traditional form of biomass (firewood), there was also a growing demand for pellets and wood crisps. The use of biomass has led to less dependence on the supply of fossil fuels on the world market, while on the other hand, air pollution from individual sources increased, initially mainly in rural areas and later partly in cities. This trend intensified with the global economic crisis in Slovenia after 2009, so that after 2010 we can speak of a period of increased air pollution in Slovenia due to the emission of black carbon

(BC) and PM. This trend intensifies after 2020 due to increasing energy prices on the world market as a result of the global pandemic and the Ukrainian-Russian conflict.

Several local measurements of air quality during this period indicate that the main source of PM and BC in Slovenia, with the exception of urban centres, are local source of biomass. The studies conducted and presented below have shown that concentrations of these pollutants can be very high even far from large urban centers, far from metropolitan areas and large industrial resources. However, the air in Slovenia is generally much less polluted during this period than in previous decades, which can also be seen in the number of foggy days, which has stabilized at about 75 days per year (ARSO, 2022). The reasons for the decrease in fog frequency are not only due to the improvement in air quality, but certainly air quality is an important factor affecting fog as well.

3. Particulate matter pollution in hilly rural areas: the case of Loški Potok

One of the biggest emission sources of Particulate Matter (PM) and carbonaceous aerosols (Van Der Werf et al., 2010) is wood burning. Energy consumption in households' accounts for 53 % of the total PM_{2.5} emissions in the European Union (EU), with the highest share in southern and eastern Europe (EEA, 2021a). As a result of high emissions and unfavourable meteorological conditions for dilution of pollutants, populated relief depressions are particularly vulnerable to air pollution. Besides, there is a lack of data on air pollution in rural shallow hollows, where around 30 % of the people in mountainous

areas across Europe live and among which southeastern Europe takes on the highest share. Despite the significant contribution, measures to reduce emissions under air quality plans, mainly focus on the transport, while the domestic heating remains underrepresented. However, due to technological advancements and legislation, pollutant emissions from traffic are declining, whereas emissions from biomass burning are still largely unregulated in most European countries (Briggs and Long, 2016; Klimont et al., 2017; EEA, 2021b).

Our aim was to study aerosol pollution in hilly rural areas based on a sample study conducted in Loški Potok (Slovenia). Here we

present briefly the study site, methods and some results of the measurement campaign.

3.1 Study site

The studied karst hollow Retje is a representative example for mountainous and hilly rural areas in central and southeastern Europe with residential wood combustion. The area selected for the study is a small, covering approx. 1.5 km², and shallow, less than 150 m deep, karst depression with a topography favourable for the formation of ground temperature inversions or cold air pools (CAPs), especially in winter.

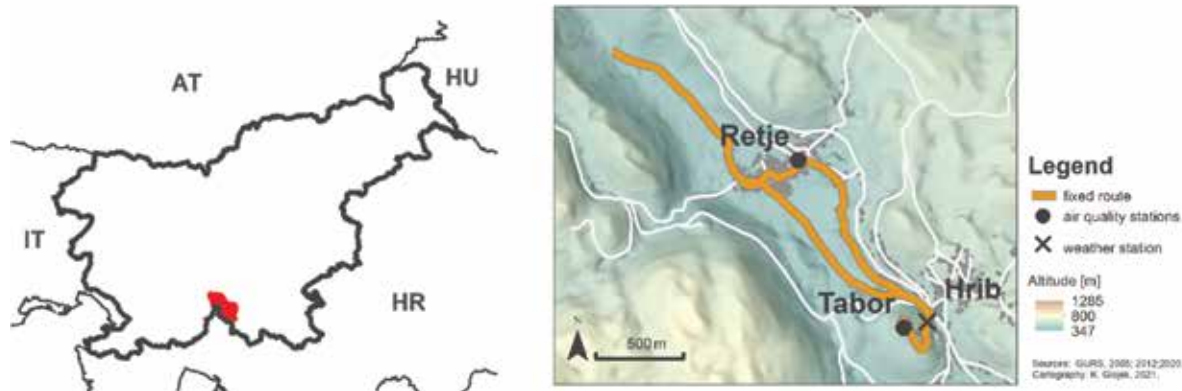


Figure 1: (a) Location of the study site municipality (Loški Potok) in Europe, (b) Topographic map of the studied area with the marked fixed route and stations.

Surrounded by forests in all directions and therefore influenced almost solely by 243 households with 690 residents (SURS, 2018), the site is ideal to study impacts of residential wood burning on local air quality. Location

of the study site with marked fixed route of mobile measurements is shown in Fig. 1. The locations of fixed air quality stations are illustrated in Fig. 3 as well.



Figure 2: View on the hill Tabor and karst hollow Retje from air with marked locations of air quality stations (Foto: U. Stepišnik).

3.2 Aerosol measurements

In 2017 and 2018, we performed stationary and mobile measurements along the selected hollow. In winter the backpack mobile monitoring platform was used for the determination of equivalent black carbon (eBC) and particulate matter (PM_{2.5}) mass concentrations. Mobile measurements were performed 3-times per day (morning, afternoon and evening) along a 6 km fixed route in the Retje karst depression. To obtain representative information, daily measurements along

the depression were conducted 107 times, totalling to 642 km. Besides, high quality of mobile measurement data was assured by intercomparisons with reference instruments at two air quality stations during every run. The rural village station was located at the bottom of the karst depression whereas the rural background station was positioned at the top of the hill Tabor. The instrumentation and main settings at the fixed stations and of the mobile platform are summarised in Table 1.

Table 1: Description of reference and mobile instruments for eBC and PM determination during the campaign.

Parameter	Instrument	Specifications	Time resolution	Measurement
eBC	MicroAethalometer AE51	λ : 880 nm σ : 12.1 m ² g ⁻¹	1 s	Mobile
	Aethalometer AE33	λ : 880 nm σ : 7.7 m ² g ⁻¹ Inlet size cutoff: PM _{2.5} C_{M8060} : 1.39	1 min	Stationary (reference; Retje & Tabor)
PM	OPSS, 3330, TSI	Size range: 0.3–10 μ m	10 s	Mobile
	MPSS, TROPOS Ref. No. 1 & TSI 3785	Size range: 0.01–0.8 μ m & 0.01–0.6 μ m Inlet size cutoff: PM _{2.5}	5 min	Stationary (reference, Retje & Tabor)
	High volume sampler Digitel DHA-80	PM ₁₀	12 h	Stationary (reference, Retje)

OPSS: Optical particle size spectrometer λ : wavelength σ : mass absorption cross-section *MPSS: Mobility particle size spectrometer* C_{M8060} : the correction parameter for the multiple scattering enhancement of the filter tape M8060

Determination of emission sources

The absorption and corresponding eBC mass concentrations were determined with an Aethalometer AE33, which measures light transmission at 7 different wavelengths (370–950 nm). Assumption that the spectral dependency of the absorption depends on chemical composition of the particles allowed us to estimate the contribution of wood combustion to eBC (see Sandradewi et al., 2008a).

The parameter describing the exponential wavelength dependence is the absorption Ångström exponent (α). It is assumed that wood burning particles strongly absorb in blue and ultraviolet part of the light spectra, while particles originating from fossil fuel evenly absorb through the whole visible light spectra (from ultraviolet to infrared). For the fresh diesel emissions α value is close to 1 (Schnaiter et al., 2003). An increase in overall α it is, therefore, attributed to wood combustion. Ångström exponent of wood burning is expected to be higher than 1.7 (Favez et al.,

2009; Sandradewi et al., 2008a; Sandradewi et al., 2008b; Saleh et al., 2013; Zotter et al., 2017). Based on sensitivity analysis (Glojek et al., 2022) and recommendations from the literature (reference above) in Loški Potok α of 1 for traffic and 2 for wood burning was used. Additionally, contribution of wood combustion to PM₁₀ was estimated according to concentrations of wood combustion tracer levoglucosan and corresponding emission factors obtained from the literature (Schmid et al., 2008).

3.3 Results with discussion

Equivalent black carbon and PM₁₀ mass concentrations

Twenty-four-hour PM₁₀ and eBC mass concentrations during winter (1 December 2017–1 March 2018) are shown in Fig. 3. Daily EEA limit value for PM₁₀ (i. e. 50 μ g/m³) is marked with the red horizontal line and

should not be exceeded more than 35-times per year (ES, 2008). Shaded areas represent selected temperature inversion periods, when the potential temperature at the station Retje at 715 m a.s.l. was lower than the potential temperature on top of the hill Tabor at 815 m

a.s.l. There is no formal limit value for eBC, however, it is shown, that every increase in eBC levels increases the risk for acute and chronic diseases (Jannsen et al., 2012). With purple line, mass concentrations of wood burning tracer levoglucosan are presented.

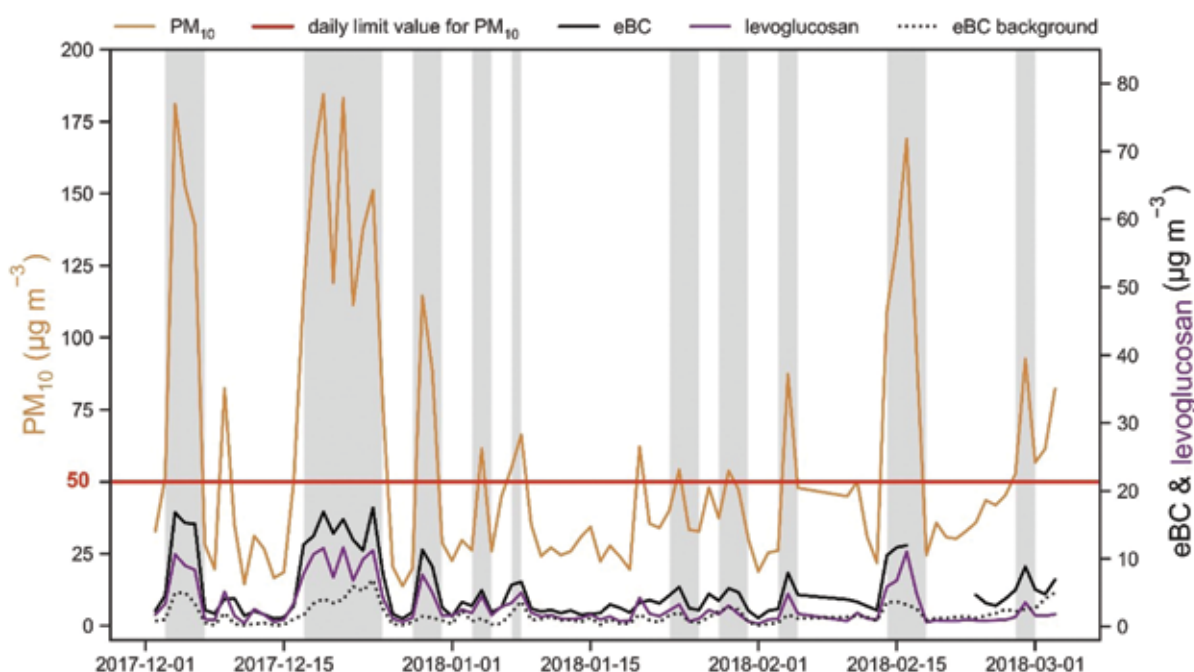


Figure 3: 24-hour mass concentrations (from 6.00 to 6.00 am of the following day) of PM_{10} (orange line), eBC (black solid line) and biomass tracer levoglucosan (purple line) at Retje village station in the hollow. Background eBC mass concentrations at Tabor are shown with dotted black line. The shaded areas represent temperature inversion periods.

From 88 days in winter 2017–2018, 34 were well above the limit value of $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{10} and thus, almost reached 35 days of exceedances allowed per year. Average value for winter was $57.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ with standard deviation of $44.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which is more than in the same period measured in the capital city of Ljubljana (Gjerek et al., 2018; Kozlovič et al., 2019). Furthermore, average eBC mass concentrations of $5.2 \pm 7.3 \mu\text{g m}^{-3}$ (mean \pm standard deviation) measured in the Retje village are comparable to major Western- and

Central-European cities (e. g. Fuller et al., 2014; Manigrasso et al., 2017; Küpper et al., 2018) and were higher than levels measured in Ljubljana (Aerosol d.o.o., 2018). Concentration levels at the rural background station Tabor positioned on top of the hill are, due to the fewer emission sources in the close proximity and higher ventilation, 3-times lower compared to the levels at the bottom of the hollow in the village Retje. Average winter daily values at Tabor were $1.6 \pm 2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Table 2: Summary of temperatures (T), eBC, PM₁₀ and levoglucosan in winter 2017–2018 at the rural village station Retje and potential temperature gradient of the hollow (θ grad). Variables mean with standard deviation (AM ± STD), temperature minimum (MIN) and pollutants maximum (MAX) for the whole winter, during mixed atmosphere and during winter temperature inversion periods are presented.

24 hour values	Statistic	Winter	Mixed	Inversion			
				All	4.–8. 12.	17.–25.12.	14.–18.2.*
T (°C)	AM	-0.6	0.2	-2.8	-5	-6.3	-9.1
	MIN	-24.7	-14.1	-24.7	-17.4	-16.9	-18.4
θ grad (K/100 m ¹)	AM	1.6	-0.1	3.7	4.9	4.4	4.9
eBC (µg/m ³)	AM ± SD	5.2 ± 7.3	2.4 ± 1.1	10.1 ± 4.7	12.4 ± 6.7	13.5 ± 3.0	11.3 ± 0.8*
	MAX	17.5 (24. 12.)	5.4 (27. 2.)	17.5 (24. 12.)	16.8 (4. 12.)	17.5 (24. 12.)	12.0* (16. 2.)
PM ₁₀ (µg/m ³)	AM ± SD	57.6 ± 4.7	28.5 ± 9.4	104.9 ± 49.8	125.3 ± 67.0	138 ± 35.8	106.1 ± 53.5
	MAX	184.5 (19. 12.)	52.8 (27. 2.)	184.5 (19. 12.)	181.2 (4. 12.)	184.5 (19. 12.)	169 (16. 2.)
Levoglucosan (µg/m ³)	AM ± SD	3.0 ± 3.1	1.1 ± 0.5	6.3±3.5	7.3 ± 4.2	9.0 ± 2.6	5.8 ± 3.7

* missing eBC data from 15 February on.

The highest mass concentrations of PM₁₀ and eBC were measured in two longer periods with stable atmospheric conditions in December and during the longest period in February. The first period lasted from December 4 to December 8, the second period from December 17 to December 25 and a third period with distinct increase in pollution levels was from February 14 to February 18. During these periods the lowest temperatures were measured (Table 2). Namely, the temperature in Retje dropped below -18.4 °C. PM₁₀ mass concentrations reached up to 200 µg m⁻³ during these periods, which can be compared to yearly average of the most polluted cities around the world, such as Indian metropolitan area Delhi (Apte in sod., 2011; Goel in sod., 2015; WHO, 2016). According to the European Air Quality Index (EEA, 2020) calculated as 12-hour mean of the pollutants, values above 100 µg/m³ of PM₁₀ mass concentrations indicate very poor air quality. Moreover, during the

temperature inversions mass concentration levels increase at the Tabor station as well.

On the other hand, during unstable atmospheric conditions (mixed), when the temperature decreases with height, the pollutants levels at the study side drop significantly, to levels comparable to regional background stations (Gjerek et al., 2018; Kozlovič et al., 2019).

Emission sources

Similar to many other locations in the Alps (Herich et al., 2014) and many other rural hilly and mountainous areas in Europe (e.g. Reis et al., 2009; Wählin et al., 2010; Becerril-Valle et al., 2017), residential wood burning is a major source of airborne particles in the study area. This is already indicated by the mass concentrations of the PM₁₀ constituents, their

interrelation, time and spatial variation. The highest concentration levels of eBC as well as of PM are in the village Retje at the bottom and at lower slopes of the hollow, where most of the houses are positioned. The pollution levels are the highest during ground temperature inversions, which indicate exclusively local origin of the pollution at the study site. Moreover, the high correlation between eBC and PM_{2.5} mass concentrations along the whole hollow indicates homogeneous atmospheric conditions with the prevalence of one emission source (Glojek et al., 2020; Glojek et al., 2022).

Levoglucosan concentrations (Figure 2, Table 2) in the Retje during the winter were very high and exceeded the reported average winter concentrations in the wider area of the Alps (Puxbaum in sod., 2007; Caseiro in sod., 2009; Herich in sod., 2014). The latter studies report average winter concentrations of levoglucosan from 0,17 (Bern) to maximum of 2,8 µg/m³ (Passy), whereas in Retje the average winter levels were 3 µg/m³. Very high concentration levels were measured for other anhydro-sugars (mannosan, galactosan) produced during biomass burning as well. High levels of the biomass burning tracer sugars show high contribution of wood combustion. Besides, high mass concentration levels are also result of accumulation in the shallow surface boundary layer due to the occurrence of temperature inversions.

Average wood combustion contributes a little bit less than 90% of PM₁₀ and from

60% to 90% of eBC (80% on average) in winter. Despite the use of average emission factors for PM₁₀ obtained from the literature (Schmidl et al., 2008), we estimate the derived contribution as highly probable. However, for more accurate assessment, detailed chemical characterisation of PM particles and determination of site specific emission is needed. Nonetheless, local inhabitants are not aware of the air pollution caused by wood combustion. They believe that air quality in their area is good (70 %) and that wood smoke does not have a negative effect on people's health (89 %) (Glojek et al., 2022).

Spatial distribution

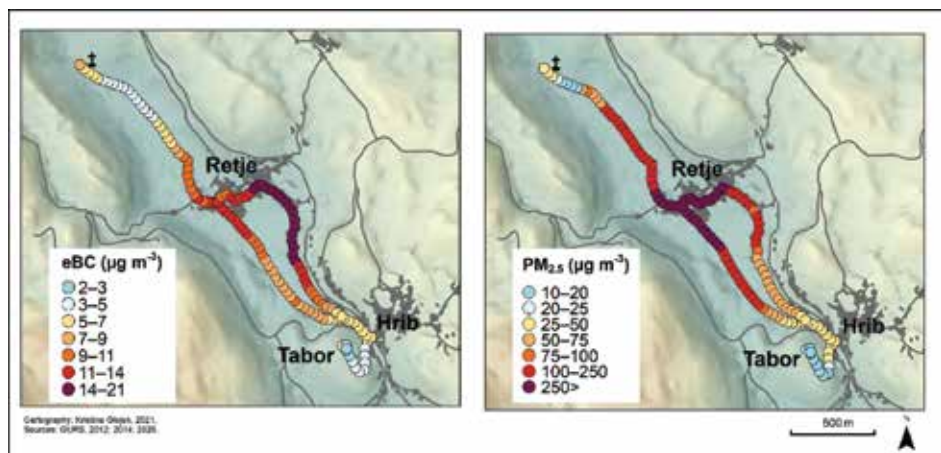


Figure 4: Spatial distribution of eBC (left plot) and PM_{2.5} (right plot) mass concentrations during evening temperature inversions along the Retje karst hollow. The spatial average of pollutants levels for all selected runs is presented.

The highest pollution levels in the hollow were measured in the evenings during temperature inversion, when eBC and PM_{2.5} mass concentrations reached up to 22 µg/m³ and 560.7 µg/m³, respectively (Figure 4). This is result of increased residential wood combustion, when people return home after

work, and a very shallow mixing layer height of around 55 m, limited to the bottom of the hollow only. On the other hand, during unstable atmospheric conditions, pollution levels drop below $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of eBC and $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{2,5}, which is on average four-times less

than during temperature inversions. However, in the vicinity of emission sources, namely, in the Retje village and at the settlement Hrib on the northeast side of the hollow, mass concentrations stay above $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of eBC and $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM_{2,5} (Glojek et al., 2022).

4. Conclusions

The study showed that air pollution in the relief depression is associated with a high level of local emissions resulting almost entirely from residential wood combustion (90 % of PM₁₀ on average) and shallow temperature inversions (60 m on average). During winter temperature inversions, the measured mean eBC and PM_{2,5} mass concentrations in the whole hollow were as high as $4.5 \pm 2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $48.0 \pm 27.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively, which is comparable to larger European urban centres. When temperature inversions lasted several days, the pollutants accumulated and levels of PM₁₀ in Retje reached up to $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which is the level of the most polluted cities in the world. However, local inhabitants are not aware of the air pollution caused by wood combustion. Pollutant concentrations measured during temperature inversions in the small relief depression with only 243 households are a cause for concern since similar conditions can be expected in numerous hilly and mountainous regions across Europe. The highest surface and population share of rural relief depressions is in Southeastern Europe with the share of 34% and 36%, respectively.

Efforts to improve air quality in Slovenia are more than 70 years old, and during this time air protection has become part of systematic environmental monitoring, which is also part of environmental policy. Although individual periods brought new challenges, we can say that we have successfully completed the most important challenges in the field of air quality protection in Slovenia. We can learn from the past periods that only the cooperation of science, profession and politics can bring success in the management of air pollution and will continue to do so in the future.

References

1. ARSO, 2022. Arhiv podatkov.
2. Aerosol d.o.o., 2018. Podatki meritev črnega ogljika na Agenciji Republike Slovenije v okviru projekta SBC-SL (Smart black carbon street light).
3. Apte, J. S., Kirchstetter, T. W., Reich, A. H., Deshpande, S. J., Kaushik, G., Chel, A., Marshall, J. D., Nazaroff, W. W., 2011. Concentrations of fine, ultrafine, and black carbon particles in auto-rickshaws in New Delhi, India. *Atmospheric Environment*, 45, 26, pp. 4470–4480. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.028.

4. Becerril-Valle, M., Coz, E., Prévôt, A. S. H., Močnik, G., Pandis, S. N., Sánchez de la Campa, A. M., Alastuey, A., Díaz, E., Pérez, R. M., Artíñano, B., 2017. Characterization of atmospheric black carbon and co-pollutants in urban and rural areas of Spain. *Atmospheric Environment*, 169, pp. 36–53. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.09.014.
5. Briggs, N. L., Long, C. M., 2016. Critical review of black carbon and elemental carbon source apportionment in Europe and the United States. *Atmospheric Environment*, 144, pp. 409–427. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.09.002.
6. Chevrier, F., 2016. *Chauffage au bois et qualité de l'air en Vallée de l'Arve : définition d'un système de surveillance et impact d'une politique de rénovation du parc des appareils anciens*. To cite this version : HAL Id : tel-01527559 *Chauffage au bois et qualité de*. Grenoble: Université Grenoble Alpes.
7. EEA [European Environment Agency], 2021a. Emissions from road traffic and domestic heating behind breaches of EU air quality standards across Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/highlights/emissions-from-road-traffic-and> (Accessed 5. 2. 2021).
8. EEA [European Environment Agency], 2021b. Managing air quality in Europe. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/managing-air-quality-in-europe/managing-air-quality-in-europe> (Accessed 5. 2. 2021).
9. EEA [European Environmental agency], 2020. European Air Quality Index (EAQI), <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index/index>.
10. Energetika Ljubljana, 2022. 50 let soproizvodnje električne in toplotne energije v Ljubljani.
11. Favez, O., El Haddad, I. Direktiva 2008/50/ES, 2008,; Piot, C., Boréave, A., Abidi, E., Marchand, N., Jaffrezo, J.L., Besombes, J.L., Personnaz, M.B., Sciare, J., Wortham, H., George, C., D'Anna, B., 2010. Inter-comparison of source apportionment models for the estimation of wood burning aerosols during wintertime in an Alpine city (Grenoble, France). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 12, pp. 5295–5314. DOI: 10.5194/acp-10-5295-2010.
12. 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, pp. 87–94. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.12.037.
13. Gjerek, M., Koleša, T., Logar, M., Matavž, L., Murovec, M., Paradiž, B., Rus, M., Žabkar, R., 2017. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2016. URL: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo_2016.pdf (Accessed 1. 3. 2022).
14. Gjerek, M., Koleša, T., Logar, M., Matavž, L., Murovec, M., Rus, M., Žabkar, R., 2018. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2017. Letno poročilo. Ljubljana: Agencija RS za okolje. URL: https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Letno_porocilo_2017_kakovost_zraka_fin.pdf (Accessed 1. 3. 2022).
15. Glojek, K., Gregorič, A., Močnik, G., Cuesta-Mosquera, A., Wiedensohler, A., Drinovec, L., Ogrin, M., 2020. Hidden black carbon air pollution in hilly rural areas – a case study of Dinaric depression. *European Journal of Geography*, 11, 2, pp. 105–122. DOI: org/10.48088/ejg.k.glo.11.2.105.122.

16. Glojek, K., Gregorič, A., Ogrin, M., 2018. Onesnaženost zraka s črnim ogljikom – študija primera iz Loškega Potoka. *Dela*, 50, pp. 5–25. DOI:10.4312/dela.50.5-43.
17. Glojek, K., Močnik, G., Alas, H.D.C., Cuesta-Mosquera, A., Drinovec, L., Gregorič, A., Ogrin, M., Weinhold, K., Ježek, I., Müller, T., Rigler, M., Pinxteren, D. Van, Herrmann, H., Ristorini, M., Merkel, M., 2022. The impact of Temperature inversions on Black Carbon and Particle Mass Concentrations from Wood-burning in a Mountainous Area. *Atmospheric Chemistry and Physics*, pp. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-2021-869>. Under review process.
18. Goel, R., Gani, S., Guttikunda, S.K., Wilson, D., Tiwari, G., 2015. On-road PM_{2.5} pollution exposure in multiple transport microenvironments in Delhi. *Atmospheric Environment*, 123, pp. 129–138. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.10.037.
19. 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, pp. 64–75. DOI:10.1016/j.atmosenv.2014.02.008.
20. Hrček D., 1977: Merilna tehnika v meteorološki službi, 30 let meteorološke in hidrološke službe, HMZ, pp. 37–40.
21. Hrček, D., 2014. Začetki spremljanja kakovosti zraka. *Vetrnica* 7, pp.4–6.
22. Janssen, N. A.H., Gerlofs-Nijland, M. E., Lanki, T., Salonen, R.O., Cassee, F., Hoek, G., Fischer, P., Brunekreef, B., Krzyzanowski, M., 2012. Health effects of Black Carbon. World Health Organization.
23. Klimont, Z., Kupiainen, K., Heyes, C., Purohit, P., Cofala, J., Rafaj, P., Borken-Kleefeld, J., Schöpp, W., 2017. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, pp. 8681–8723.
24. Komunalno podjetje Velenje, 2016. Daljinsko ogrevanje v Šaleški dolini nekoč in danes. 23. str.
25. Küpper, M., Quass, U., John, A.C., Kaminski, H., Leinert, S., Breuer, L., Gladtko, D., Weber, S., Kuhlbusch, T.A.J., 2018. Contributions of carbonaceous particles from fossil emissions and biomass burning to PM₁₀ in the Ruhr area, Germany. *Atmospheric Environment*, 189, September 2017, pp. 174–186. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.06.039.
26. Manigrasso, M., Gualtieri, M., Barnaba, F., Gilardoni, S., Ciampichetti, S., Weinhold, K., Lucarelli, F., Vecchi, R., Padoan, E., Conidi, A., Volpi, F., Argentini, S., Biondi, R., Nava, S., Cordelli, E., Zanini, G., Perrino, C., Ubertini, S., Malaguti, A., Valentini, S., Wiedensohler, A., Di Ianni, A., Costabile, F., Calzolari, G., Berico, M., Alas, H., Querol, X., Petralia, E., Grollino, M., Simonetti, G., Frasca, D., Petenko, I., Di Liberto, L., Amato, F., Casasanta, G., Bernardoni, V., Canepari, S., Montagnoli, M., Gobbi, G., Valli, G., Facchini, M., Avino, P., Aufderheide, M., Facci, A., Tranfo, G., 2017. First Results of the “Carbonaceous Aerosol in Rome and Environs (CARE)” Experiment. *Beyond Current Standards for PM₁₀*. *Atmosphere*, 8, 12, pp. 1–41. DOI:10.3390/atmos8120249.
27. Ogrin, M., 2003. Vpliv reliefa na oblikovanje nekaterih mezoklimatskih tipov v Sloveniji. *Geografski Vestnik*, 75, 2, pp. 9–24.

28. Paradiž B., 2004: *Razvoj meteorološke merilne opreme in avtomatizacija meritev, Pol stoletja Slovenskega meteorološkega društva, SMD, pp. 63–74*
29. Petkovšek, Z., 2014. *Vpliv vremena na onesnaženost zraka v Sloveniji. Vetrnica 7, pp. 7–9.*
30. Planinšek, A., 2014. *Meritve kakovosti zunanjega zraka. Vetrnica 7, pp. 16–20.*
31. Planinšek, A., Hrček, D., 2014. *Obdobje velikih merilnih kampanj in začetkov celovitih rešitev. Vetrnica 7, pp. 9–16.*
32. Reis, J.S., Araujo, R.O., Lima, V.M.R., Queiroz, L.S., da Costa, C.E.F., Pardaul, J.J.R., Chaar, J.S., Rocha Filho, G.N., de Souza, L.K.C., 2019. *Combustion properties of potential Amazon biomass waste for use as fuel. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 138, 5, pp. 3535–3539. DOI: 10.1007/s10973-019-08457-5.*
33. 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, pp. 7683–7693. DOI: 10.5194/acp-13-7683-2013.*
34. 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, pp. 3316-3323. URL: <https://pubs.acs.org/DOI/pdf/10.1021/es702253m> (Accessed 10. 3. 2018).*
35. Sandradewi, J., Prévôt, A.S.H., Weingartner, E., Schmidhauser, R., Gysel, M., Baltensperger, U., 2008b. *A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer. Atmospheric Environment, 42, 1, pp. 101–112. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.034.*
36. Schmidl, C., Marr, I.L., Caseiro, A., Kotianová, P., Berner, A., Bauer, H., Kasper-Giebl, A., Puxbaum, H., 2008. *Chemical characterisation of fine particle emissions from wood stove combustion of common woods growing in mid-European Alpine regions. Atmospheric Environment, 42, 1, pp. 126–141. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.028.*
37. 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, 10, pp. 1421–1444. DOI: 10.1016/S0021-8502(03)00361-6.*
38. Šegula, A., Bolte, T., Koleša, T., Rode, B., Komar, Z., Murovec, M., Muri, G., Groselj, D., Cegnar, T., Hrabar, A., Štrajhar, M., Gjerek, M., 2011. *Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2010.*
39. URL: <https://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/LETNO2010.pdf> (Accessed 1. 3. 2022).
40. Van Der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., Defries, R.S., Jin, Y., Van Leeuwen, T.T., 2010. *Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 23, pp. 11707–11735. DOI: 10.5194/acp-10-11707-2010.*

41. 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. URL: <http://www.dmu.dk/pub/fr777.pdf> (Accessed 14. 9. 2018).*
42. WHO [World Health Organization], 2016. *Ambient Air Pollution: a global assesment of exposure and burden of disease. Geneva: WHO Document Production Services.*
43. Zotter, P., Herich, H., Gysel, M., El-Haddad, I., Zhang, Y., Močnik, G., Hüglin, C., Baltensperger, U., Szidat, S., Prévôt, A.S.H., 2017. *Evaluation of the absorption Ångström exponents for traffic and wood burning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol. Atmospheric Chemistry and Physics, 17, 6, pp. 4229–4249. DOI: 10.5194/acp-17-4229-2017.*

- Vaios Moschos**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland
- Katja Dzepina**, University of Nova Gorica, Center for Atmospheric Research, Ajdovscina, Slovenia;
Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany
- Deepika Bhattu**, Indian Institute of Technology Jodhpur, India; Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Houssni Lamkaddam**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland
- Roberto Casotto**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen PSI, Switzerland
- Kaspar R. Daellenbach**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Francesco Canonaco**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Pragati Rai**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Wenche Aas**, Norwegian Institute for Air Research, ATMOS, Norway
- Silvia Becagli**, University of Florence, UNIFI, Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff", Florence, Italy
- Giulia Calzolai**, University of Florence, INFN, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Florence, Italy
- Konstantinos Eleftheriadis**, National Centre of Scientific Research "Demokritos", Athens, Greece
- Claire E. Moffett**, Baylor University, Department of Environmental Science, Waco, TX, USA
- Jürgen Schnelle-Kreis**, Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg, Germany
- Mirko Severi**, University of Florence, UNIFI, Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff", Florence, Italy
- Sangeeta Sharma**, Max Born Institute, Berlin, Germany
- Henrik Skov**, UAS Center, University of Southern Denmark, Odense, Denmark
- Mika Vestenius**, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland
- Wendy Zhang**, Fortune Precision Machinery, Jinan City, Shandong Province, PRC
- Hannele Hakola**, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland
- Heidi Hellén**, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland
- Lin Huang**, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan
- Jean-Luc Jaffrezo**, Institute for Environmental Geosciences (IGE), Grenoble, France,
- Andreas Massling**, National Environmental Research Institute, Aarhus University, Roskilde, Denmark
- Jacob K. Nøjgaard**, National Research Center for the Working Environment, Copenhagen, Denmark
- Tuukka Petäjä**, Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), University of Helsinki, Finland
- Olga Popovicheva**, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
- Rebecca J. Sheesley**, Environmental Science, Baylor University, Waco, Texas, USA
- Rita Traversi**, University of Florence, UNIFI, Dipartimento di Chimica "Ugo Schiff", Florence, Italy
- Karl Espen Yttri**, Norwegian Institute for Air Research – NILU, Kjeller, Norway
- Julia Schmale**, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Lausanne, Switzerland
- André S. H. Prévôt**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Urs Baltensperger**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland
- Imad El Haddad**, Paul Scherrer Institute, Laboratory of Atmospheric Chemistry, Villigen, Switzerland

Godišnji ciklusi sastava aerosola i izvora širom Arktika

Yearly cycles of aerosol composition and sources across the Arctic

ABSTRACT

The Arctic is warming three times faster than the global average. Aerosols play a significant yet uncertain role in modulating the radiation balance of the Arctic atmosphere. Here we use data from eight observatories that cover the entire Arctic to reveal the annual cycles in anthropogenic and natural aerosol sources. Our holistic observational approach includes the Russian Arctic, a considerable emission source area with less dedicated aerosol monitoring, and extends beyond the more traditionally studied summer period and black carbon/sulfate or fine-mode pollutants. The main airborne Arctic PM components in terms of dry mass are sea salt, secondary sulfate and organic aerosol, with minor contributions from elemental carbon and ammonium. Substantial spatio-temporal variability is observed in the component contributions and back-trajectory analysis was used to reveal the marine or terrestrial origins of the different aerosol components.



PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI


Imad El Haddad :: Laboratory Head (a.i.) :: Paul Scherrer Institute

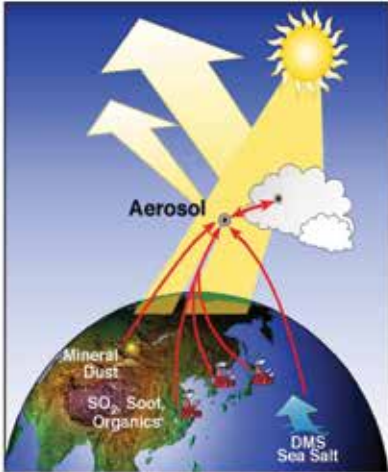
Yearly cycles of aerosol composition and sources across the Arctic

Symposium on air quality in cities – 04.02.2022


WIR SCHAFFEN WISSEN – HEUTE FÜR MORGEN



PAUL SCHERRER INSTITUT **FSI** Aerosol impacts our climate and our health 




Aerosols interact with sunlight and form clouds




Air pollution death toll: 10M deaths/year
Coronavirus death toll: 5'5M deaths total

2

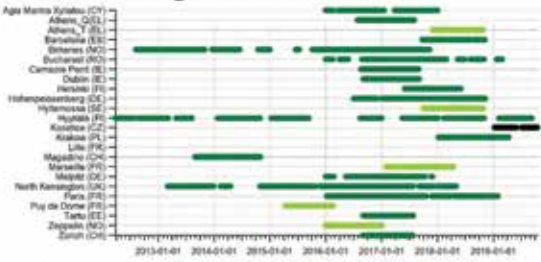
PAUL SCHERRER INSTITUT **FSI** Overview of organic aerosol sources across Europe 


23 sites across Europe



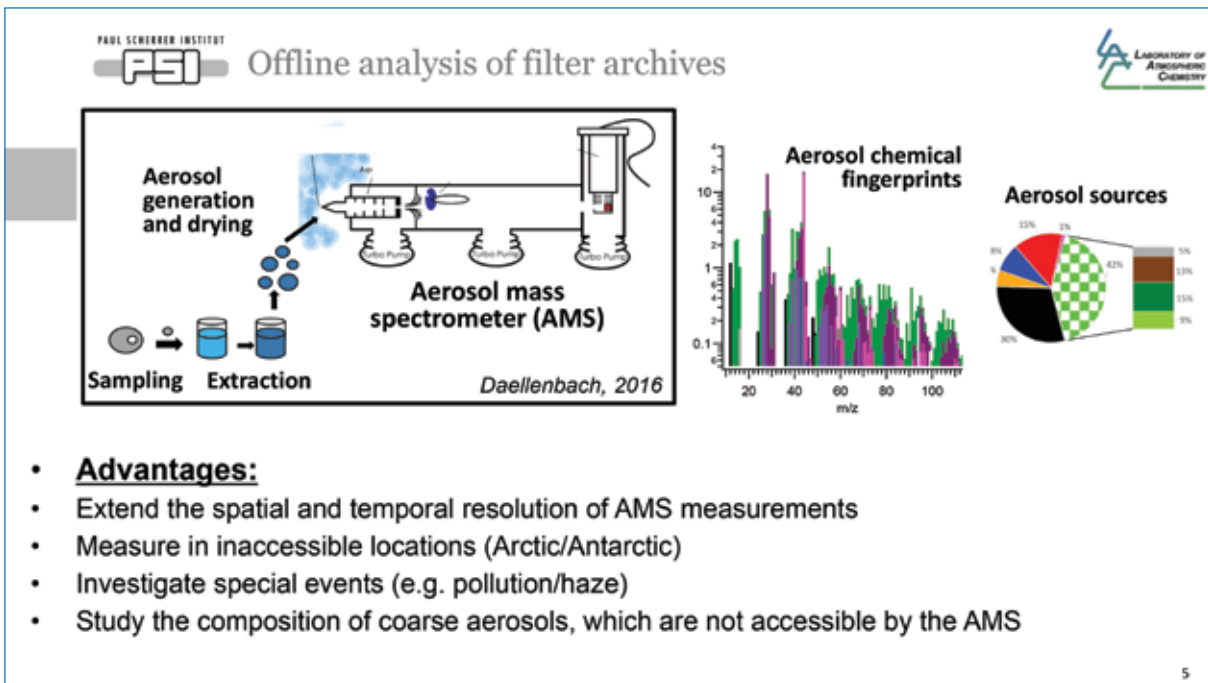
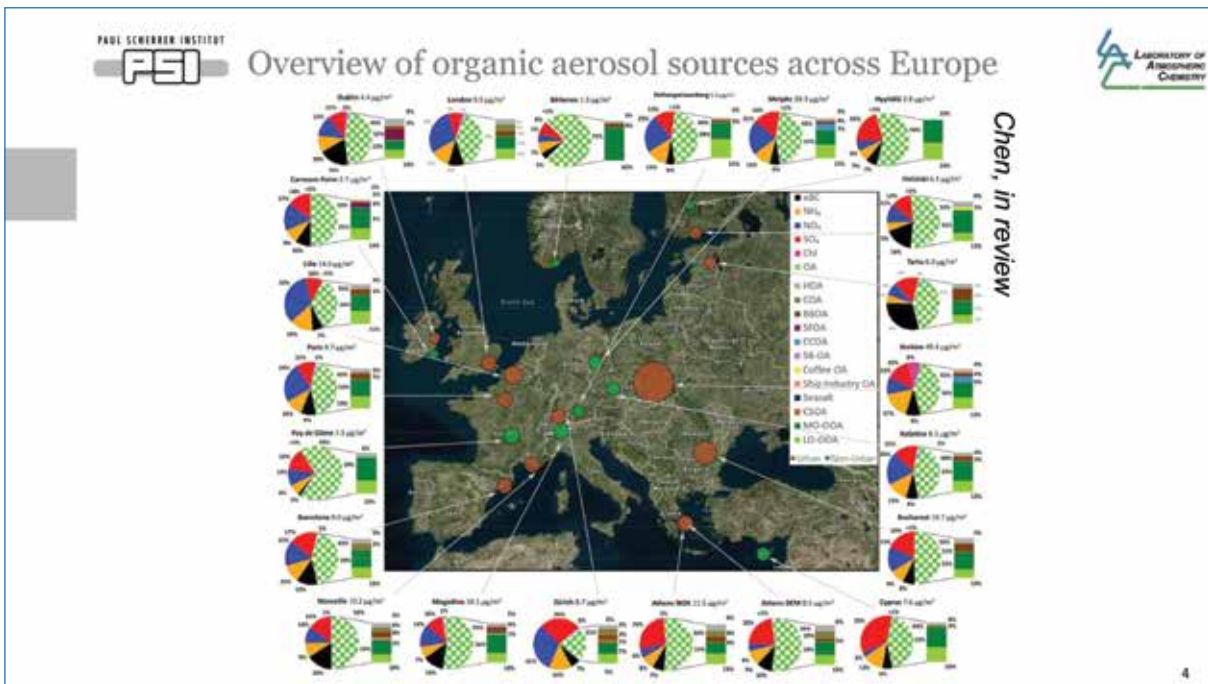
Large monitoring networks online mass spectrometers

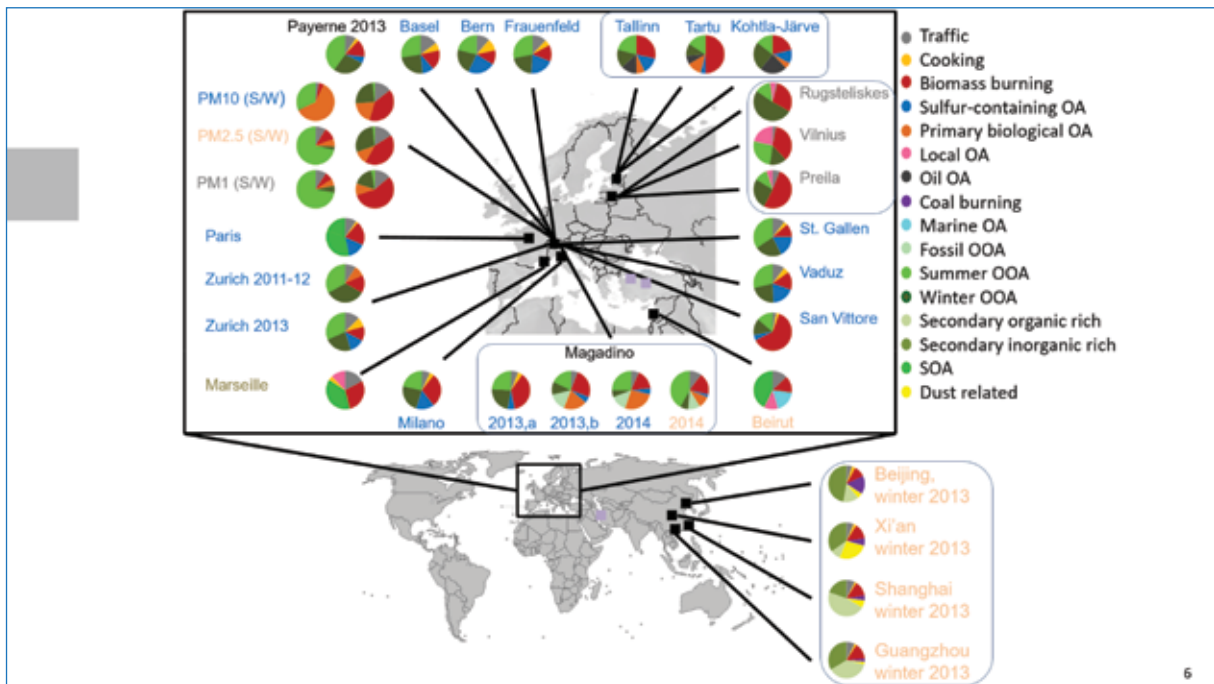
Data coverage: 2013-2019





3





6

PAUL SCHERRER INSTITUT



3 highlights

LETTER

doi:10.1038/nature13774



High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China

Rui Jin Huang^{1,2*}, Yanlin Zhang^{1,4}, Carlo Bozzetti⁵, Kin Fai Ho⁶, Jun Ji Cao⁷, Yongming Han⁸, Kaspar R. Daellenbach¹, Jay G. Slowik¹, Stephen M. Platt¹, Francesco Canonaco⁹, Peter Zotter¹, Robert Wolf¹, Simone M. Fieber¹, Emily A. Brunsvold¹, Monika Crippa¹, Giancarlo Ciarelli¹, Andrea Piazzalunga¹, Margit Schwikowski^{1,4}, Gilcin Albacade¹, Jürgen Schneide-Kreis¹, Ralf Ziemann¹⁰, Zhibeng An¹¹, Stanke Sidler¹, Urs Baltensperger¹, Imad El Haddad¹² & André S. H. Prévôt¹³

Article

Sources of particulate-matter air pollution and its oxidative potential in Europe

Kaspar R. Daellenbach^{1,2,3}, Gaëlle Uzu⁴, Jianhui Jiang^{1,10}, Laure-Estelle Cassagnes¹, Zaira Leni⁶, Athanasia Vlachou¹, Giulia Stefanelli¹, Francesco Canonaco¹⁰, Samuel Weber¹, Arjo Segers¹, Jeroen J. P. Kuenen¹, Martijn Schaap^{1,9}, Olivier Favez¹, Alexandre Albinet¹, Sebnem Aksoyoglu¹, Josef Dommen¹, Urs Baltensperger¹, Marianne Geiser¹, Imad El Haddad¹¹, Jean-Luc Jaffrezzo¹ & André S. H. Prévôt¹³

- **Huang et al. (Nature, 2014):** Discovering the sources of haze in China
- **Daellenbach et al. (Nature, 2020):** Discovering the most important sources for toxic aerosols
- **Moschos et al. (Nature Geosciences, in press):** Discovering aerosol sources across the Arctic

7

PAUL SCHERRER INSTITUT **PSI** Why the Arctic

Laboratory of Atmospheric Chemistry

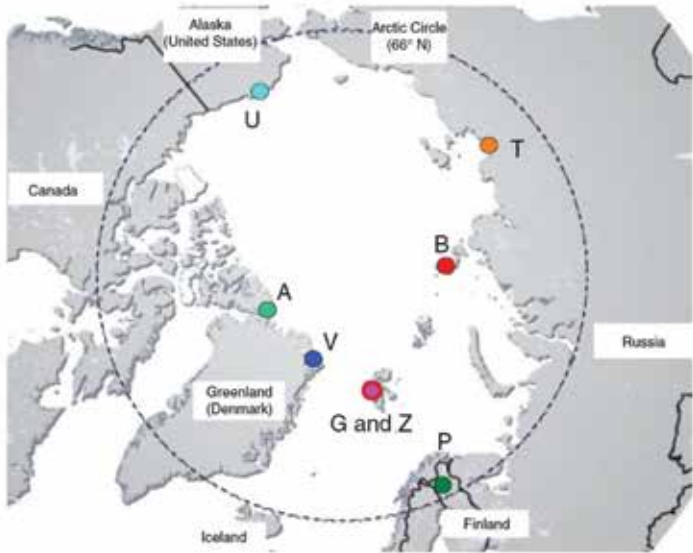
- The Arctic is warming 3 times faster than the rest of the globe
- Aerosols play a major role in this warming by forming low level clouds



8

PAUL SCHERRER INSTITUT **PSI** Sampling locations

Laboratory of Atmospheric Chemistry

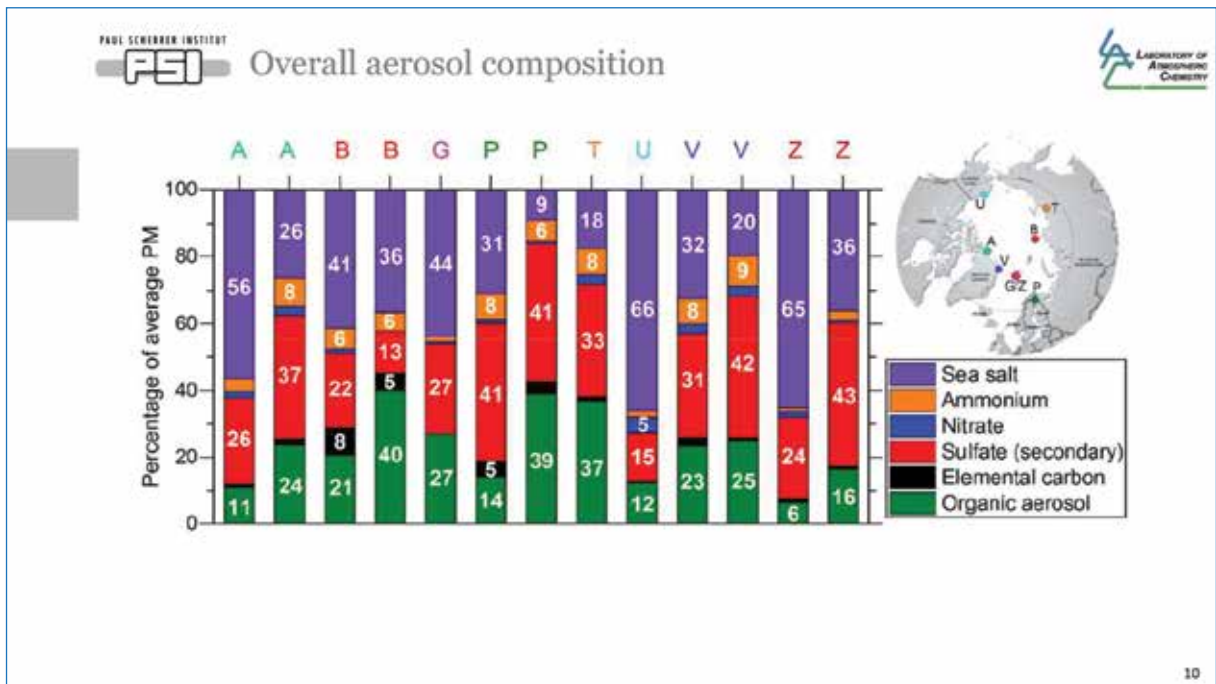


350 samples from 8 sites covering 6 countries and 10 cumulative years

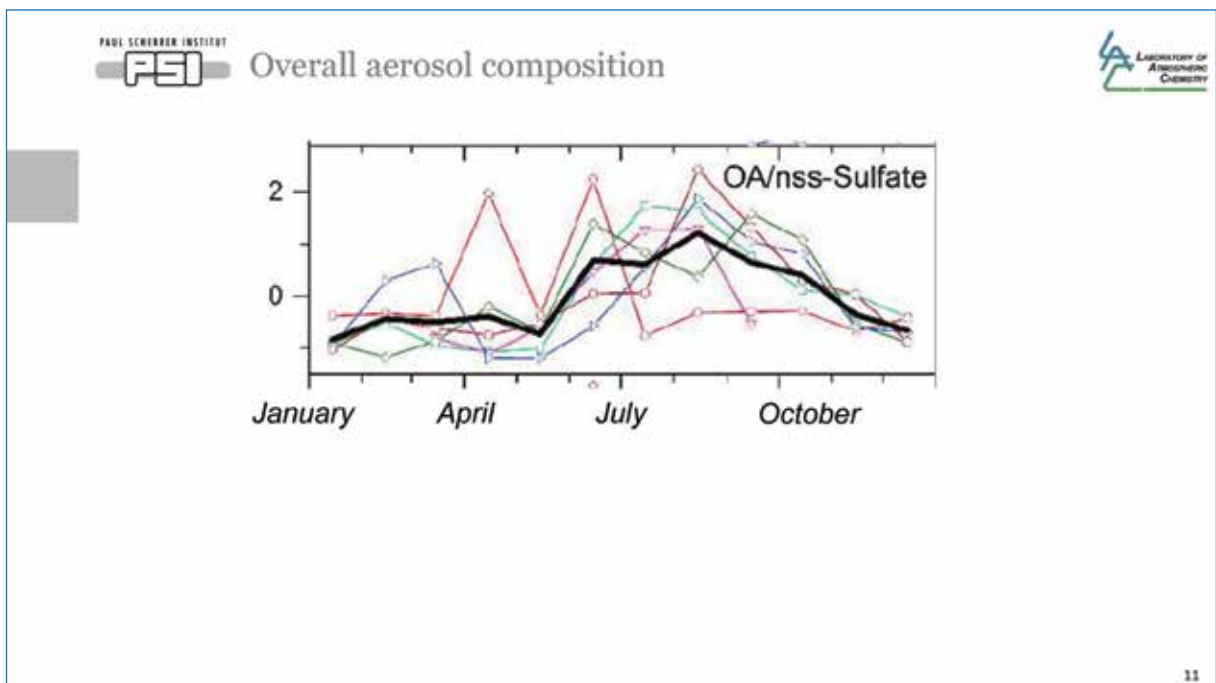
9

2. Regionalni simpozijum o planiranju kvaliteta zraka u gradovima

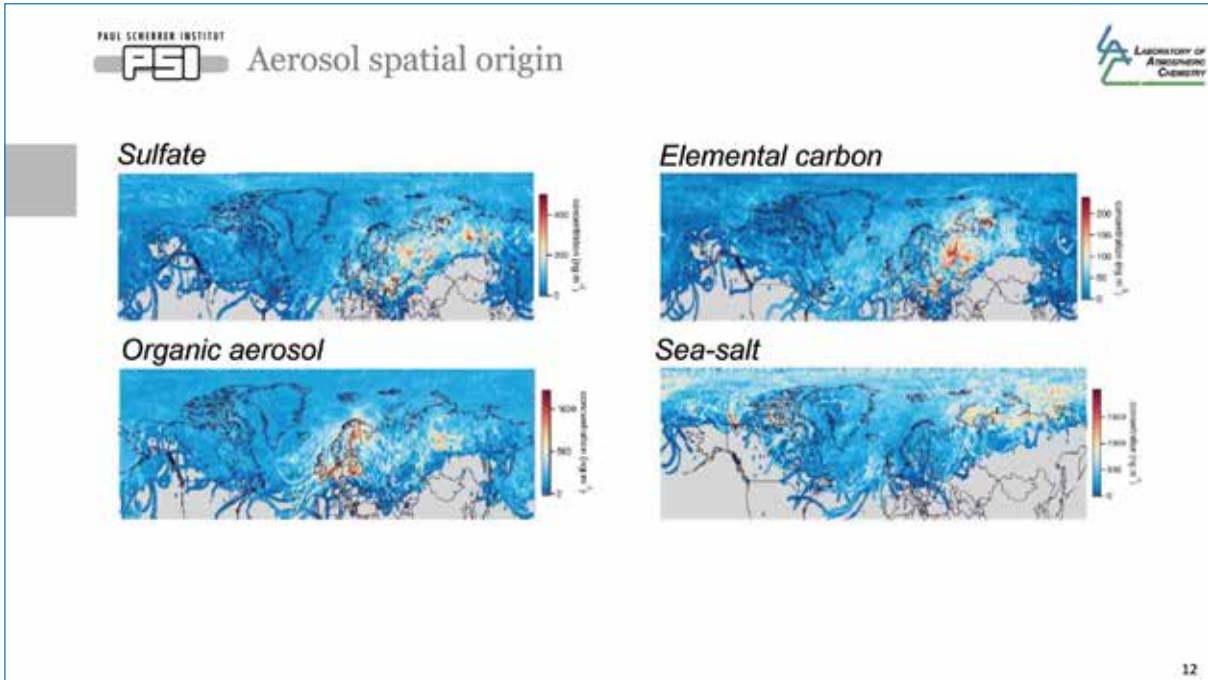
2nd Regional Symposium on Air Quality in Cities 





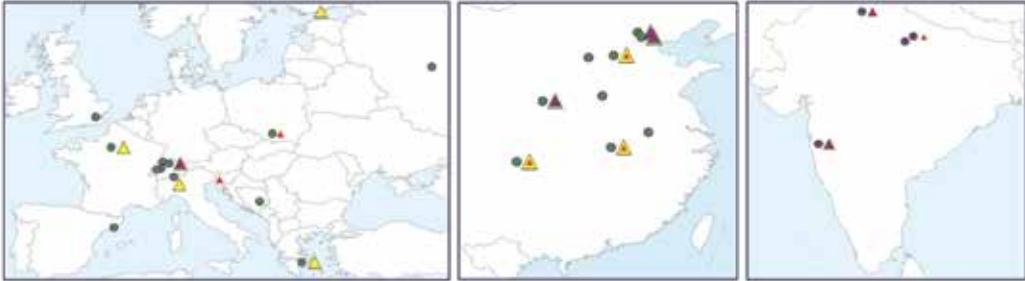
10



11





 PAUL SCHERRER INSTITUT **Aerosol archive measurements – next steps** 



Extending the geographical coverage: India, China and Eastern Europe

14

 PAUL SCHERRER INSTITUT **Thank you for your attention!** 

15

Organizatori / Organizers:



Udruženje Konsultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Udruga Konzultanata Inženjera Bosne i Hercegovine
Удружење Консултаната Инжињера Босне и Херцеговине
Association of Consulting Engineers Bosnia and Herzegovina



Održavanje Simpozija podržava / Symposium supports

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
SARAJEVO

Zlatni sponzor / Gold sponsor

IPSA
INSTITUT

Sponzori / Sponsors:



