



UNIVERZITET U NOVOM SADU
MEDICINSKI FAKULTET
JAVNO ZDRAVLJE

**UTICAJ SUSPENDOVANIH ČESTICA “PM_{2,5}”
IZ VAZDUHA ŽIVOTNE SREDINE
NA MORTALITET, KARDIOVASKULARNI I
RESPIRATORNI MORBIDITET ODRASLOG
STANOVNIŠTVA GRADA NOVOG SADA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentor: Prof. dr Sanja Bijelović

Kandidat: dr Nataša Dragić

Novi Sad, 2019. godina

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
MEDICINSKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Nataša Dragić
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Prof. dr Sanja Bijelović
Naslov rada: NR	UTICAJ SUSPENDOVANIH ČESTICA “PM _{2,5} ” IZ VAZDUHA ŽIVOTNE SREDINE NA MORTALITET, KARDIOVASKULARNI I RESPIRATORNI MORBIDITET ODRASLOG STANOVNIŠTVA GRADA NOVOG SADA
Jezik publikacije: JP	Srpski jezik (Latinica)
Jezik izvoda: JI	Srpski / Engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2019
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21000 Novi Sad, Hajduk Veljkova 3

Fizički opis rada: FO	(9 poglavlja / 216 stranica / 16 slika / 1 shema / 28 tabela / 35 grafikona / 417 referenci / 1 prilog)
Naučna oblast: NO	Medicina
Naučna disciplina: ND	Higijena, Javno zdravlje
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	gradovi; zagađenje vazduha; izloženost životne sredine; faktori rizika; meteorologija; zagađenje od saobraćaja; čestice; mortalitet; morbiditet; javno zdravlje
UDK	614.71:616.1/.2-036.6/.8(497.113 Novi Sad)
Čuva se: ČU	U biblioteci Medicinskog fakulteta u Novom Sadu, 21000 Hajduk Veljkova 3
Važna napomena: VN	
Izvod: IZ	<p>Uvod: Kvalitet vazduha u urbanim sredinama predstavlja jedan od glavnih uzroka zdravstvenih problema. Prema podacima SZO u svetu se godišnje usled zagađenja vazduha u urbanim sredinama dogodi preko 2,7 miliona smrtnih slučajeva. Procenjuje se da najbolji indikator za procenu veličine zdravstvenog rizika od zagađenja vazduha jeste koncentracija suspendovanih čestica PM_{2,5} u vazduhu životne sredine.</p> <p>Cilj: Proceniti uticaj suspendovanih čestica PM_{2,5} iz vazduha životne sredine na ukupan mortalitet, kardiovaskularni i respiratorni bolnički morbiditet odraslog stanovništva Grada Novog Sada. Takođe, cilj istraživanja je bio da se i utvrdi koncentracija i hemijski sastav suspendovanih čestica PM_{2,5} u vazduhu životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada, na dnevnom i godišnjem nivou, uzimajući u obzir i uticaj meteoroloških parametara.</p> <p>Metod: Istraživanje je sprovedeno kao prospektivna studija vremenske serije podataka o kvalitetu vazduha, meteorološkim parametrima i zdravstvenim ishodima, u intervalima od najmanje 30 dana tokom sva četiri godišnja doba 2017. godine. Uzorkovanje i određivanje koncentracije i hemijskog sastava čestica PM_{2,5} u skladu sa propisanim standardnim metodama, je obavljeno na mernim mestima u životnoj sredini Grada Novog Sada, koja reprezentuju uticaj saobraćaja i urbanog pozadinskog područja na zagađenje vazduha životne sredine. Primenjen je Lenschow pristup za kvantifikaciju veličine doprinosa saobraćaja porastu koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} u vazduhu životne sredine. Podaci o meteorološkim parametrima (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha i brzina vetra), su preuzeti od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Podaci o zdravstvenim ishodima (dnevni broj umrlih i hospitalizovanih zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti), za stanovništvo starije od 18 godina, čije mesto stanovanja pripada teritoriji Grada Novog Sada, obezbeđeni su od strane Centra za informatiku i biostatistiku u zdravstvu Instituta za javno zdravlje Vojvodine. Za procenu uticaja nezavisnih promenljivih na zavisne (ukupan</p>

	<p>mortalitet / bolnički morbiditet) primenjen je generalizovani linearni model regresione analize za vremenske serije podataka (Poason).</p> <p>Rezultati: Prosečna godišnja koncentracija suspendovanih čestica PM_{2,5} iz vazduha životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada je iznosila 30,27 µg/m³, a srednje dnevne koncentracije 8-79 µg/m³. Približno 30% varijabilnosti srednjih dnevnih koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} se može objasniti lokalnim meteorološkim uslovima. Hemijski sastav čestica na području Grada Novog Sada u najvećem procentu čini ekvivalent karbonatne frakcije čestica, zatim sekundarni neorganski aerosol i rastvorljiva organska frakcija, dok su joni rastvorljivi u vodi (kalcijum, hloridi, natrijum, kalijum i magnezijum) zastupljeni u najmanjem procentu. Prisutni izvori zagađenja vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada su procesi sagorevanja fosilnih goriva i biomase, saobraćaj, mineralna (zemljišna) prašina i sekundarno zagađenje regionalnog porekla. Doprinos saobraćaja porastu prosečne godišnje koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} je iznosio 40%. Masena koncentracija čestica PM_{2,5}, kao i hemijski sastav čestica (ekvivalent karbonatne frakcije, rastvorljiva organska frakcija, joni kalijuma i kalcijuma) doprinose umiranju i oboljevanju odraslog stanovništva Grada Novog Sada. Na uticaj masene koncentracije i hemijskog sastava čestica PM_{2,5} najosetljivije su žene i stanovništvo starosti ≥ 65 godina, kao i muškarci u pogledu uticaja ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5}.</p> <p>Zaključak: Dobijeni rezultati po prvi put opisuju zdravstveni uticaj masene koncentracije i hemijskog sastava čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada, odnosno kvantifikuju rizik za ukupan mortaliteta i kardiovaskularni i respiratorni morbiditet. Razumevanje uticaja suspendovanih čestica PM_{2,5} na oboljevanje i umiranje stanovništva, stratifikovanih prema starosnoj i polnoj strukturi, uz identifikaciju mogućih izvora zagađenja vazduha na području Grada Novog Sada, predstavlja osnovu za razvoj javnozdravstvene politike u cilju unapređenja zdravlja stanovništva Grada Novog Sada.</p>
Datum prihvatanja teme od strane Senata: DP	09.02.2017. godina
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije: (ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status) KO	predsednik: član: član:

University of Novi Sad
Faculty of Medicine

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD Thesis
Author: AU	Nataša Dragić
Mentor: MN	Sanja Bijelović, MD, PhD, Associate Professor
Title: TI	IMPACT OF AMBIENT SUSPENDED PARTICLES "PM _{2,5} " ON MORTALITY, CARDIOVASCULAR AND RESPIRATORY MORBIDITY OF ADULTS IN THE CITY OF NOVI SAD
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	eng. / srb.
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2019
Publisher: PU	Author reprint
Publication place: PP	21000 Novi Sad, Serbia, Hajduk Veljova 3
Physical description: PD	9 chapters / 216 pages / 16 pictures / 1 scheme / 28 tables / 35 graphs / 417 references
Scientific field SF	Medicine

Scientific discipline SD	Hygiene, Public Health
Subject, Key words SKW	Cities; Air Pollution; Environmental Exposure; Risk Factors; Meteorology; Traffic-Related Pollution; Particulate Matter; Mortality; Morbidity; Public Health
UC	614.71:616.1/.2-036.6/.8(497.113 Novi Sad)
Holding data: HD	Library of the Medical faculty in Novi Sad, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad
Note: N	
Abstract: AB	<p>Introduction: Urban ambient air pollution is one of the leading causes of health problems. According to WHO data, over 2.7 million deaths occur in urban areas annually due to urban air pollution. Particulate matter PM_{2.5} is estimated to be the best indicator for assessing the magnitude of the health risk induces by ambient air pollution.</p> <p>Aim: To assess the impact of PM_{2.5} on total mortality, cardiovascular and respiratory hospital morbidity of the adult population of the City of Novi Sad. Also, the aim of the study was to determine the concentration and chemical composition of ambient PM_{2.5} particles in the territory of the City of Novi Sad, on daily and annual bases, taking into account the impact of meteorological parameters.</p> <p>Method: The study was conducted as a prospective, a time series study of of data on air quality, meteorological parameters and health outcomes, at intervals of at least 30 days during all four seasons of 2017. Sampling and determination of the mass concentration and chemical composition of PM_{2.5} particles in accordance with the prescribed standard methods, it was performed at sampling stations in the City of Novi Sad, representing the impact of traffic and urban background impact on environmental air pollution. A Lenschow approach was used to quantify the magnitude of traffic contribution to the increase of ambient PM_{2.5} mass concentration. Meteorological data (air temperature, relative humidity and wind velocity) were taken from the Republic Hydrometeorological Institute of Serbia. Data on health outcomes (daily number of deaths and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases) for the population older than 18, residing within the territory of the City of Novi Sad, have been provided by the Centre for Informatics and Biostatistics, Institute of Public Health of Vojvodina. To evaluate the impact of independent variables on dependent (total mortality/hospital morbidity), a generalized linear regression model for time series data (Poisson) was applied.</p> <p>Results: The average annual mass concentration of</p>

	<p>PM_{2.5} in the territory of the City of Novi Sad was 30.27µg/m³, while mean daily concentrations were 8-79µg/m³. Approximately 30% of the variability in mean daily concentrations of PM_{2.5} particles can be explained with local meteorological conditions. The chemical composition of PM_{2.5} in the area of Novi Sad is to the a great extent the equivalent of the carbonate fraction of the particles, then the secondary inorganic aerosol and the soluble organic fraction, while the water-soluble ions (calcium, chlorides, sodium, potassium and magnesium) are present in the lowest percentage. The sources of ambient air pollution in the area of the City of Novi Sad were the combustion of fossil fuels and biomass, traffic, mineral (soil dust) and secondary pollution of regional origin. Contribution of traffic to the increase of the average annual mass concentrations of PM_{2.5} particles was 40%. PM_{2.5} particle mass concentration, as well as the chemical composition of the particles (carbonate fraction equivalent, soluble organic fraction, potassium and calcium ions) contribute to the deaths and diseases of the adult population of the City of Novi Sad. Women and the population aged ≥65, were more susceptible to mass concentration and chemical composition of PM_{2.5} related deaths and diseases, as well as men according to the impact of the equivalents of carbonate fractions of PM_{2.5}.</p> <p>Conclusion: The results obtained show for the first time the health effects of mass concentration and chemical composition of PM_{2.5} particles in the City of Novi Sad, i.e. they quantify the risk for total mortality and cardiovascular and respiratory morbidity. Understanding the impact of suspended particles PM_{2.5} on population mortality and morbidity, stratified by age and sex structure, along with identifying of possible air pollution sources is the basis for the development of public health policies aimed at improving the population health in the City of Novi Sad.</p>
Accepted on Senate on: AS	February 9 th , 2017
Defended: DE	
Thesis Defend Board: DB	president: member: member:

ZAHVALNICA

Prilika za učenje i rad sa prof. dr Sanjom Bijelović, mojim mentorom, koja traje već jednu deceniju, jeste kamen temeljac ove doktorske disertacije. Nesebično je uložila bezbroj sati u moj stručni i naučni razvoj. Izuzetno poštujem njen kritički um, zajedničke diskusije i predloge za prevazilaženje izazovnih zadataka od struke do nauke, te zaslužuje moju najiskreniju zahvalnost.

Moja posebna zahvalnost upućena je prof. dr Mariji Jevtić čiji je osećaj stvarnosti i odobravajući, svestrani, stručni i naučni stav, na najkonstruktivniji način, doprineo mom usmerenju ka nauci.

Ljubazna zahvalnost prof. dr Jeleni Bjelanović i prof. dr Katarini Paunović na moralnoj, stručnoj i naučnoj podršci, koja mi je dala slobodu da intenzivno istražujem temu doktorske disertacije.

Zahvalna sam i prim. dr Emilu Živadinoviću na inspirativnom i stabilnom poslovnom okruženju u Odseku humane ekologije, koja je bila sastavni deo moralne podrške za izradu disertacije.

Teško je zamisliti uspešan rad bez podrške kolega, te se zahvaljujem Kolektivu Centra za Higijenu i Centra za informatiku i biostatistiku u zdravstvu, Instituta za javno zdravlje Vojvodine, mr Stanki Bobić i mojim najbližim saradnicima iz Odseka za humanu ekologiju, s obzirom da su rezultati ove disertacije zasnovani na njihovim rutinskim, ali i inovativnim poslovima.

Veliku zahvalnost dugujem tetka Nevenki i čika Petru Dragiću, na njihovoj skromnosti, razumevanju i strpljivosti za svaki moj poslovni poduhvat.

Zbog toga što su mi omogućili i postavili visoke standarde za napredovanje i uživanje, pre svega u životu, želim da izrazim najveću zahvalnost svojim roditeljima, Jeli i Branku, a sestri Tatjani na bezrezervnom verovanju, ohrabrenju i nesebičnoj pomoći.

Poslednja i najvažnija zahvalnost, na nemerljivoj podršci, pažnji i razumevanju, pripada mom suprugu Miodragu i našoj deci, Milošu i Lazaru.

Hvala vam,

Nataša

Mojim momcima,

Lazi, Milošu i Miši

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1.	Zagađenje vazduha životne sredine	1
1.2.	Suspendovane čestice	5
1.2.1.	Klasifikacija suspendovanih čestica u vazduhu	5
1.2.2.	Izvori suspendovanih čestica PM _{2,5}	13
1.2.3.	Suspendovane čestice PM _{2,5} u vazduhu životne sredine na globalnom, regionalnom i nacionalnom nivou.....	15
1.2.4.	Hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5}	18
1.2.5.	Hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5} na globalnom, regionalnom i nacionalnom nivou.....	21
1.3.	Identifikacija i utvrđivanje doprinosa izvora suspendovanih čestica PM _{2,5}	26
1.4.	Uticaj meteoroloških faktora na koncentracije i hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5}	29
1.5.	Uticaj suspendovanih čestica PM _{2,5} na ljudsko zdravlje	32
1.5.1.	Depozicija suspendovanih čestica PM _{2,5} u respiratornom traktu.....	33
1.5.2.	Mehanizmi uzročno-posledične veze suspendovanih čestica i zdravlja na nivou respiratornog sistema	38
1.5.3.	Mehanizmi uzročno-posledične veze suspendovanih čestica i zdravlja na nivou kardiovaskularnog sistema	41
1.5.4.	Istraživanja o uticaju suspendovanih čestica na ljudsko zdravlje	44
1.5.5.	Značaj epidemioloških studija vremenskih serija	47
1.5.5.	Studije vremenskih serija - mortalitet i suspendovane čestice PM _{2,5}	49
1.5.6.	Studije vremenskih serija -kardiovaskularni i respiratorni morbiditet i suspendovane čestice PM _{2,5}	51
1.5.7.	Studije vremenskih serija - mortalitet, morbiditet i hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5}	54
1.6.	Zakonska regulativa - suspendovane čestice PM _{2,5} u vazduhu životne sredine.....	56
2.	CILJ ISTRAŽIVANJA.....	58
3.	HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	59
4.	METOD ISTRAŽIVANJA	60
4.1.	Područje istraživanja – Grad Novi Sad	60
4.2.	Podaci o kvalitetu vazduha životne sredine	62
4.3.	Podaci o meteorološkim parametrima	67
4.4.	Podaci o zdravstvenom ishodu	67
4.5.	Statistička obrada podataka	68
5.	REZULTATI	75
5.1.	Koncentracije suspendovanih čestica PM _{2,5} na području Grada Novog Sada ..	75

5.2. Uticaj meteoroloških uslova na koncentracije suspendovanih čestica PM _{2,5} na području Grada Novog Sada	80
5.3. Hemijski sastav čestica PM _{2,5} i identifikacija izvora zagađenja vazduha	87
5.4. Distribucija zdravstvenih ishoda i karakteristike umrlih i hospitalizovanih stanovnika Grada Novog Sada	106
5.5. Uticaj koncentracije suspendovanih čestica PM _{2,5} na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada	118
5.6. Uticaj koncentracije hemijskih sastojaka čestica PM _{2,5} na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada	124
6. DISKUSIJA	134
6.1. Kvalitet vazduha životne sredine – suspendovane čestice PM _{2,5}	134
6.2. Hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5} u Gradu Novom Sadu	139
6.3. Identifikacija mogućih izvora suspendovanih čestica PM _{2,5} na području Grada Novog Sada	144
6.4. Kvantifikacija doprinosa izvora zagađenja vazduha životne sredine (saobraćaja) u Gradu Novom Sadu	150
6.5. Uticaj suspendovanih čestica PM _{2,5} na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada	152
6.6. Hemijski sastav suspendovanih čestica PM _{2,5} – uticaj na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada	160
6.7. Ograničenja prikazanog istraživanja	170
7. ZAKLJUČAK	172
7.1. Značaj istraživanja.....	177
8. LITERATURA	179
9. PRILOG	217

1. UVOD

U srednje i visoko razvijenim zemljama tradicionalni zdravstveni rizici (pothranjenost, loša sanitacija, zdravstvena bezbednost vode za piće) su u značajnom padu usled socijalno-ekonomskog razvoja. U isto vreme, novi moderni zdravstveni rizici kao što su zagađujuće materije iz životne sredine, psihoaktivne supstance, gojaznost i nedostatak fizičke aktivnosti imaju dramatični porast (1, 2).

Globalno posmatrano, spoljašnje (ambijentalno) zagađenje vazduha je prepoznato kao glavni faktor rizika iz životne sredine (3), kojem su ljudi svakodnevno izloženi. Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije (SZO), u 2016. godini, 4,2 miliona smrtnih slučajeva pripisano je zagađenju vazduha, skoro četiri puta više nego 2008. godine (~ 1,3 miliona smrtnih slučajeva) (4). Većina smrtnih slučajeva je zabeležana u nisko razvijenim i srednje razvijenim zemljama (~ 88%). Među visoko razvijenim zemljama, 60% smrtnih slučajeva, povezanih sa zagađenjem vazduha, je zabeleženo na području Evrope (2).

1.1. Zagađenje vazduha životne sredine

Čist vazduh je osnov ljudskog komfora, zdravlja i blagostanja (5, 6). Prema Kempu i saradnicima (7), čovek je evolutivno adaptiran na prirodne promene u vazduhu. Promene stabilne mešavine gasova (kiseonika (O_2), azota (N), ozona (O_3), vodnika (H)) i čestica u donjem sloju atmosfere (vazduh životne sredine) su bez negativnih posledica po čoveka i njegovo okruženje.

Svaka promena stalnog sastava atmosfere u količinama koja prevazilazi njene kapacitete apsorpcije i disperzije rezultuje zagađenjem vazduha (7, 8). Prisustvo zagađujućih materija u vazduhu u koncentracijama koje su štetne u prvom redu za čoveka, a zatim i za njegovu okolinu (9), predstavlja zagađenje vazduha. Zagađujućom materijom se smatra svaka materija prisutna u vazduhu koja može ispoljiti štetan uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu u celini (6, 10, 11). U vazduhu životne sredine, u odnosu na učestalost javljanja, mogu biti prisutne osnovne zagađujuće materije, koje

se najčešće ispuštaju u atmosferu iz različitih prirodnih i veštačkih izvora (čađ, suspendovane čestice (*“Particulate Matter”*- PM), taložne materije, sumpordioksid (SO₂), azotdioksid (NO₂), ugljenmonoksid (CO)), i specifične, koje su najčešće industrijskog porekla (olovo (Pb), arsen (As), kadmijum (Cd), nikl (Ni), benzene (C₆H₆), benzo(a)piren (BaP) i drugi) (6, 11).

Industrijski razvoj, urbanizacija i saobraćaj značajno su doprineli zagađenju vazduha životne sredine (12). Uticaj industrijalizacije, zasnovanoj na fosilnom gorivu, prepoznat je davne 1948. i 1952. godine, kad su se desile najveće katastrofe po ljudske zdravlje kao direktne posledice zagađenja vazduha životne sredine (13, 14). Prema objavljenim podacima, 1930. godine u dolini Meuse (Belgija), je tokom tri dana nekoliko hiljada ljudi obolelo od akutnih respiratornih simptoma, a 60 ljudi je i umrlo zbog respiratornih oboljenja usled izloženosti visokim emisijama SO₂ iz lokalnih fabrika (13). U decembru 1952. godine, pojava Londonskog smoga koji je sadržao SO₂ i čestice dima, je rezultirala sa više od 3000 smrtnih slučajeva tokom 3 nedelje i čak 12000 do februara 1953. godine (14, 15). Na osnovu navedenih događaja, uticaj zagađenja vazduha životne sredine na ljudsko zdravlje odmah je prepoznat, ali bez značajnog interesovanja stručne i naučne javnosti. Od 1960. godine epizode zagađenja vazduha beleže se i u drugim gradovima, prvenstveno u industrijski razvijenim regionima Sjedinjenih Američkih Država (SAD) i Evrope (16). Dostupni podaci pokazuju da su epizode zagađenja vazduha bile rezultat veoma visokih emisija SO₂, dima i drugih čestica tokom stagnirajućih, maglovitih vremenskih uslova (16, 17).

Paralelno sa industrijalizacijom i ekonomskim razvojem, urbanizacija predstavlja jedan od najvećih uzroka zagađenja vazduha. Industrijska revolucija je nametnula pozitivan trend rasta stanovništva u urbanim sredinama. Podaci istraživanja pokazuju da od 2005. godine više od polovine ljudske populacije živi u gradovima (18). Porast broja stanovnika, ali i ekonomskih aktivnosti u novijim megagradovima, je praćen razvojem saobraćaja i porastom broja motornih vozila (19), rapidnim porastom energetske potražnje i potrošnje, emisijom izduvnih gasova i posledičnim zagađenjem vazduha, posebno u zemljama u razvoju (20).

Kineski autori ističu da je uloga nepodesne prostorne konfiguracije gradova u rešavanju pritiska na životnu sredinu, sve više priznata od strane akademskih zajednica (21, 22). Mnoge prethodne studije odnosile su se na mehanizme kojima urbana

prostorna konfiguracija može uticati na zagađenje vazduha životne sredine (21, 23, 24, 25, 26). Smatra se da zagađenje vazduha održava visoku korelaciju sa potrošnjom energije za potrebe industrijskih procesa i saobraćaja, s obzirom da je sagorevanje fosilnih goriva primarni izvor mnogih zagađujućih materija (SO₂ i CO) (21). Borrego i saradnici (23) smatraju da nepodesan razvoj urbane prostorne konfiguracije ima manji uticaj na zagađenje vazduha porekla industrijskih procesa, jer spadaju u tačkaste izvore koji održavaju relativno stabilne lokacije (23). Sa druge strane, isti autori (23) ističu izraženiji uticaj emisije iz drumskog saobraćaja na zagađenje vazduha, s obzirom da urbana prostorna konfiguracija značajnije utiče na razvijanje i kapacitete putnih mreža, utičući na dinamiku gradskog saobraćaja i ponašanje stanovnika (upotreba javnog i sopstvenog prevoza, bicikl, pešačenje). Na osnovu rezultata nekoliko studija, kompaktna (mešovita i gusto naseljena) konfiguracija urbanih sredina je negativno povezana sa upotrebom automobila, pozitivno korelira sa upotrebom javnog prevoza i pešačenjem, a time i ublažavanjem zagađenja vazduha životne sredine (24, 27). Posledice četverostrukog porasta broja urbanog stanovništva u poslednjih 50 godina, kao što su povećana gustina naseljenosti, gubitak zelenila, porast broja motornih vozila, potrošnje energije i generisanje otpada, značajno su doprineli da urbana sredina postane glavni emiter zagađujućih materija u vazduh životne sredine (18).

U prilog sinergističkog uticaja industrijalizacije i urbanizacije, na zagađenje vazduha životne sredine, govore poslednja istraživanja i izveštavanja o epizodama zagađenja vazduha koja se beleže na području Kine. U mnogim kineskim gradovima, uključujući Peking, Šangaj i Guangdžou, registrovane su ekstremne epizode zagađenja vazduha životne sredine i utvrđeno je da i dalje predstavljaju glavni svetski zdravstveni problem (28, 29, 30). Prema poslednjim izveštajima i dokumentovanim događajima, naučna javnost se oglasila da je sadašnja degradacija vidljivosti u Pekingu slična onoj u Los Anđelesu (LA) (SAD) od pre 65 godina (30). I pored promenjenih, novijih metoda uzorkovanja vazduha, analitičkih metoda i izveštavanja, merenja suspendovanih čestica u vazduhu životne sredine ukazuju na to da maksimalne koncentracije u Pekingu sada mogu biti veće od onih koje su bile zabeležene u LA, ali na godišnjem nivou još uvek ne prelaze one koje su registrovane na području LA (30). Na području Severne Amerike i Evrope, sa prvobitnim standardima kvaliteta vazduha za kontrolu emisija iz saobraćaja,

energetskih i industrijskih objekata, izbegnute su ozbiljnije epizode zagađenja vazduha (30, 31). Međutim, današnja stagnacija unapređenja kvaliteta vazduha, u mnogim urbanim područjima sveta, jeste posledica uporedne urbanizacije i industrijalizacije koje čine da zagađenje vazduha životne sredine ima svetske razmere (30).

Kvalitet vazduha životne sredine je uslovljen različitim koncentracijama, ali i vrstom zagađujućih materija (16, 32). Nekadašnja industrijalizacija je imala za posledicu smog (London (Velika Britanija (UK)) i Donora (Pennsilvanija)) tj. vidljivo zagađenje vazduha životne sredine (32). Međutim, u današnjim urbanim sredinama, Kelly sa saradnicima (33) ističe da je veća zabrinutost moderna vrsta zagađenja, koja za razliku od smoga, nije vidljiva u nižim slojevima atmosfere, ali se manifestuje akutnim i hroničnim zdravstvenim efektima. Smešu zagađujućih materija koju čine azotni oksidi (NO_x), O_3 i izuzetno male čestične materije suspendovane u vazduhu (približno 30 puta manje od prečnika vlasi ljudske kose) naziva "nevidljivim ubicom" (33), jer su prisutne u nižim koncentracijama (nisu vidljive poput smoga), ali sa većim toksičnim potencijalom.

Prema rezultatima najopsežnijih studija (34, 35, 36, 37, 38) usmerenih na kvalitet vazduha životne sredine i uticaj na zdravlje, čestice prašine (aerosol) su se izdvojile kao zagađujuće materije od interesa, jer su bile povezane sa većinom analiziranih negativnih zdravstvenih efekata. Nedavno je Međunarodna agencija za istraživanje raka („*International Agency for Research on Cancer*“ - IARC), zagađenje vazduha životne sredine i suspendovane čestice (zbog pojedinih hemijskih sastojaka: kadmijum, nikl, hrom, arsen, benzo(a)piren....), klasifikovala kao dokazane kancerogene za ljude - IARC grupa 1 (10, 39).

1.2. Suspendovane čestice

Suspendovane čestice (čestice PM) predstavljaju globalni teret, jer pored uticaja na fizičku atmosferu, imaju i drastične efekte na ljudsku civilizaciju od početka antropogenog uticaja na prirodne ekosisteme (19, 31, 32). Posmatrano u odnosu na broj izgubljenih godina zdravog života („*Disability-Adjusted Life Year*“ - DALY), u 2017. godini, izloženost česticama PM iz vazduha životne sredine je rangirana na 10. mestu globalnih faktora rizika (3).

Uopšteno, veoma velika grupa zagađujućih materija u vazduhu smatra se česticama (aerosolima) i mogu poticati iz izvora kao što su automobili, čeličane, termoelektrane, sistemi za grejanje, cementare, vulkani, pustinje i okeani (40). Generalno posmatrano, prema NIST-u („*National Institute of Standards and Technology*“) (41) čestice se definišu kao "svaki trodimenzionalni diskontinuitet kondenzovane faze u dispergovanom sistemu". Međutim, u pogledu zagađenja vazduha, čestice se mogu definisati kao čvrste, tečne ili čvrste i tečne materije koje su suspendovane u vazduhu tokom dužeg vremenskog perioda, različitih mikroskopskih veličina, porekla i sastava (40, 42, 43, 44,). U literaturi se pojam suspendovanih čestica često izjednačava sa pojmom aerosola, s obzirom da se smeša čvrstih ili tečnih čestica suspendovanih u gasu (45) definiše kao aerosol, tj. dvofazni sistem koji se sastoji od čestica i gasa u kome su one suspendovane (raspršene).

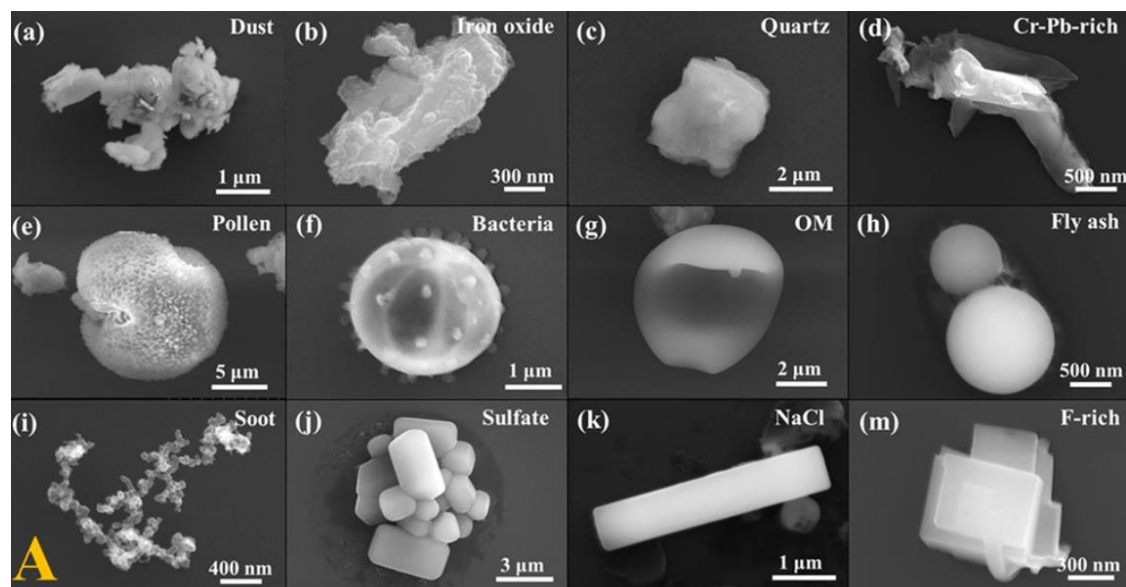
1.2.1. Klasifikacija suspendovanih čestica u vazduhu

Suspendovane čestice u vazduhu se mogu klasifikovati prema dva vodeća kriterijuma: mehanizam formiranja i fizičke dimenzije (46). U odnosu na mehanizam formiranja klasifikuju se kao primarne čestice PM, jer se emituju iz izvora direktno u atmosferu, i sekundarne čestice PM, koje su formiraju iz prekursorskih gasova, već prustnih u atmosferi, mehanizmom konverzije gas – čestica (10, 37, 44, 46). Oba tipa čestica PM podležu mehanizmima rasta i transformacije, jer se na površini (jezgru) postojeće čestice može odvijati proces formiranja sekundarnih materija (46).

U slučaju klasifikacije prema fizičkim dimenzijama (veličini), koja je i najčešće korišćena klasifikacija, sve čestice PM su u rasponu od nekoliko nanometara (nm) do desetina mikrometara (μm) u prečniku (46). Utvrđeno je da dimenzija predstavlja

veoma važnu karakteristiku čestica PM, jer ima implikaciju na formiranje čestica, fizička i hemijska svojstva, transformaciju, transport i uklanjanje čestica iz atmosfere (46). Navedene osobine su pogodno sažete i opisane aerodinamičkim prečnikom, koji se definiše kao prečnik sferične čestice PM gustine od 1000kg/m^3 , koja ima istu brzinu taloženja kao i čestica nepravilnog oblika (44, 45).

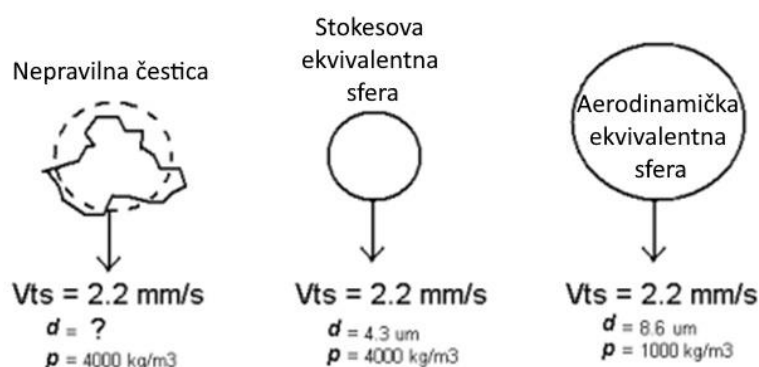
Čestice PM se uzorkuju i opisuju na osnovu njihovog aerodinamičkog prečnika, koji se izjednačava sa pojmom veličina čestica (40, 47, 48). Potreba za opisivanje veličine čestica pomoću aerodinamičkog prečnika postoji zbog različitih oblika čestica prisutnih u vazduhu. Neke od njih zaista jesu sfernog oblika, ali većina je nepravilnog oblika (prizma, štapići, dodekaedar), čije dimenzije nisu merljive jednostavnim prečnikom (Slika 1) (49).



Slika 1. Kolaž slika suspendovanih čestica iz vazduha pomoću skenirajuće elektronske mikroskopije: a) prašina; b) oksid gvožđa; c) kvarc; d) čestice bogate olovom i hromom; e) polen; f) bakterija; g) OM-organska materija; h) pepeo; i) čađ; j) sulfat (SO_4^{2-}); k) NaCl – natrijum hlorid; m) čestice bogate gvožđem. U desnom uglu svake slike prikazan je promer čestice.

Izvor: Li CY, Ding M, Yang Y, Shan Z. Portrait and Classification of Individual Haze Particulates. *Journal of Environmental Protection*. 2016;07(10):1355-1379.

Opisivanje veličina čestica PM nepravilnih oblika, zahteva standardizaciju njihovih veličina modelima ekvivalentnih sfera, koje imaju različite prečnike zavisno od fizičkih svojstava čestica (Slika 2) (50). Dakle, iznos modelovanog prečnika zavisi od toga hoće li čestica PM i zamišljena sfera imati jednake mase, površine, volumene ili pak brzine sedimentacije u istim uslovima temperature vazduha, pritiska i relativne vlažnosti vazduha (45).



Slika 2. Nepravilna čestica i njena ekvivalentna sfera. Usvojeno od Hinds, 1999.

Izvor: Slowik JG, Stainken K, Davidovits P, Williams L R, Jayne JT, Kolb C E, et al. Particle Morphology and Density Characterization by Combined Mobility and Aerodynamic Diameter Measurements. Part 2: Application to Combustion-Generated Soot Aerosols as a Function of Fuel Equivalence Ratio. *Aerosol Science and Technol.* 2004; 38: 1206–1222.

Dakle, aerodinamički dijamer olakšava poređenje veličine čestica PM nepravilnog oblika i odnosi se na fizičko ponašanje čestica, a ne na stvarnu veličinu. Tradicionalno, među istraživačima, čestice PM u vazduhu prema veličini aerodinamičkih prečnika se klasifikuju kao (46, 51, 52):

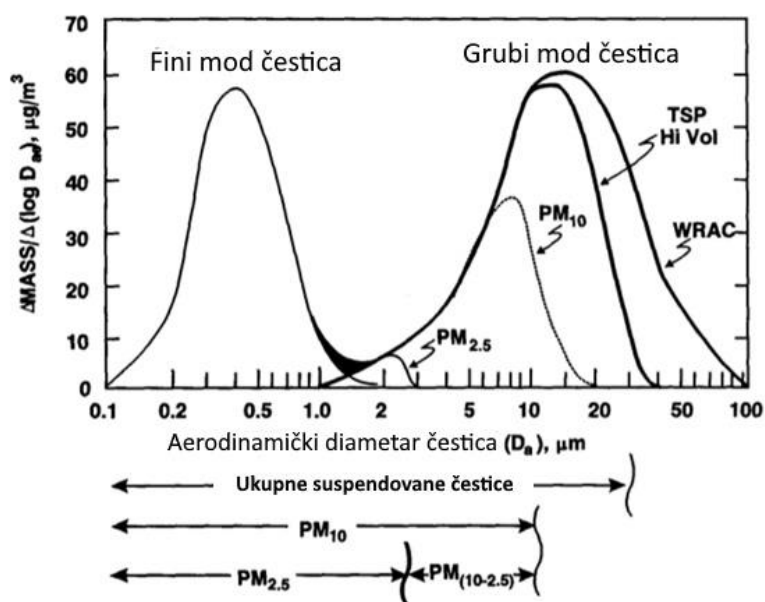
- čestice dimenzija manjih od 0,1 μm ($\text{PM}_{0,1}$) – ultrafine čestice;
- čestice dimenzija manjih od 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) – fine čestice;
- čestice dimenzija manjih od 10 μm (PM_{10}) – grube čestice

Oznaka “ PM_x ” se odnosi na masu čestica koje sadrže čestice promera < X mikrometara (μm) u prečniku (najčešće $X=10 \mu\text{m}$; $2,5 \mu\text{m}$; $0,1 \mu\text{m}$) (46).

Veličina čestica PM u vazduhu kreće se u širokom opsegu, od 0,005 μm do 100 μm u aerodinamičkom prečniku, međutim suspendovani deo je uglavnom manji od 40 μm (35). Stoga, pojam ukupne suspendovane čestice ("total suspended particles"- TSP) se odnosi na masenu koncentraciju čestica manjih od 40 - 50 μm u prečniku (53).

U vazduhu životne sredine distribucija čestica PM navedenih veličina je obično modalna, što znači da se ukupna masa čestica koncentriše oko jedne ili više karakterističnih veličina čestica (54). Utvrđeno je da modalni karakter distribucije mase čestica PM, u odnosu na veličinu, jeste rezultat neprekidnih procesa stvaranja čestica, s jedne strane i uklanjanja čestica iz atmosfere, s druge strane. Naime, broj prisutnih modova (frakcija) u raspodeli veličine čestica PM varira u zavisnosti od starosti aerosola i blizine aktivnih izvora koji emituju čestice različitih veličina (46).

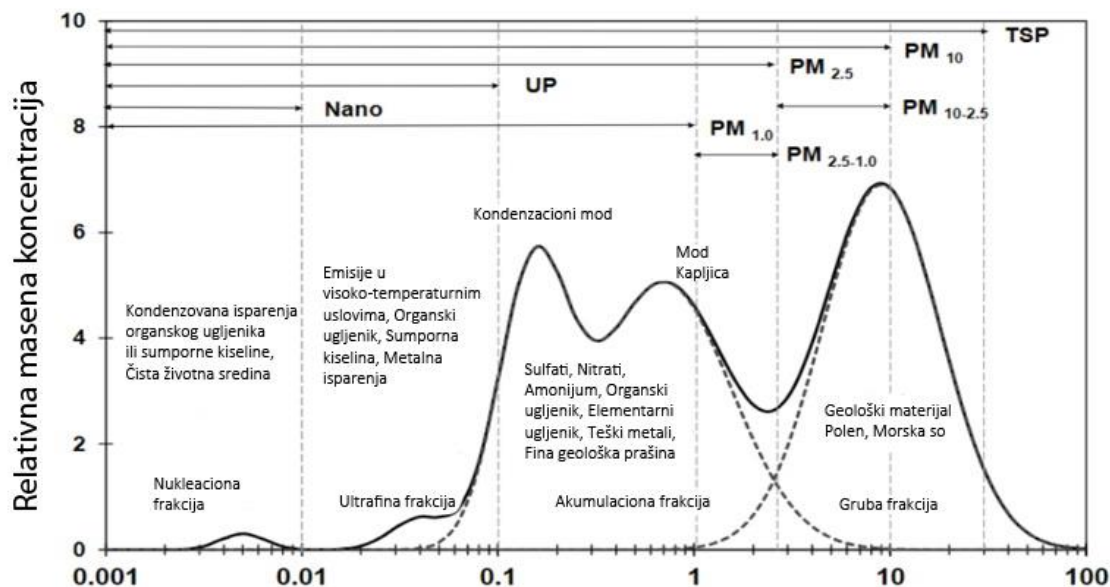
Osnovni oblik distribucije veličine čestica PM u atmosferi je objašnjen od strane Whitby i saradnika (55) u LA (Kalifornija), koristeći tada dostupnu tehnologiju (51). Navedeni istraživači su prvobitno zaključili da je tipična distribucija veličine čestica PM bimodalna i da se mogu objasniti sa dve eksponencijalne krive koje se preklapaju u rasponu veličina čestica od 1 do 3 μm (Slika 3) (44, 54, 56).



Slika 3. Shematski prikaz raspodele veličine suspendovanih čestica u vazduhu životne sredine

Izvor: World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition. Regional Office for Europe. Copenhagen.; WHO; 2000. (CD ROM version)

Elaborirajući bimodalnu distribuciju čestica PM (mod grubih ($>2,5\mu\text{m}$) i finih ($<2,5\mu\text{m}$) čestica) (44, 56), Chow (57) i Watson (58) su raspone veličina čestica sumirali u višemodalnu krivu raspodele veličine čestica u odnosu na relativnu masenu koncentraciju. Naime, utvrđeno je da u okviru finog moda postoje još dve distribucije mase čestica (ultra fine i akumulacione) (Slika 4).



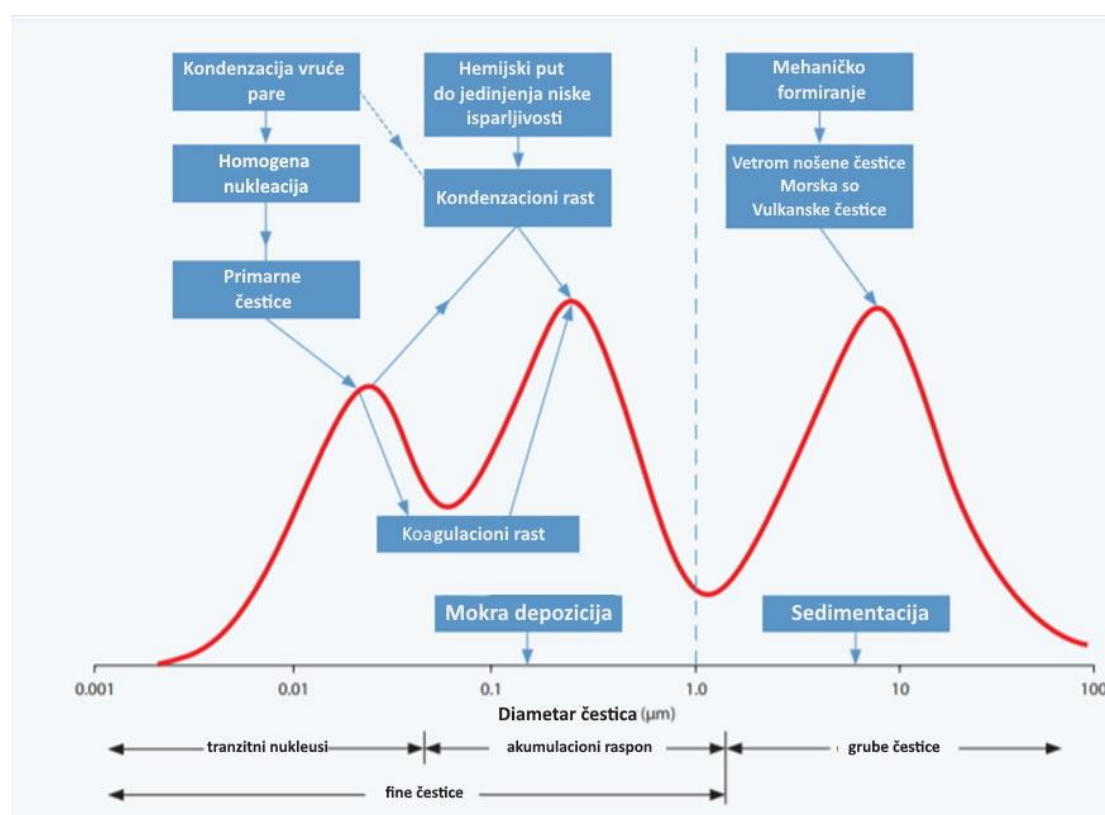
Slika 4. Idealizovani primer raspodele veličine suspendovanih čestica u životnoj sredini po uzoru na autore Chow (1995) (57) i Watson (2002) (58)

Izvor: Cao J, Chow JC, Lee FSC, Watson JG. *Evolution of PM_{2.5} Measurements and Standards in the U.S. and Future Perspectives for China. Aerosol and Air Quality Research. 2013;13: 1197–1211.*

Veličina čestica PM određena je procesom njihovog nastajanja. Čestice finog i grubog moda se razlikuju u pogledu izvora, mehanizma formiranja, hemijskog sastava, rastvorljivosti, dužine opstanka u vazduhu, kao i način depozicije u respiratornom traktu (53,59).

Grube čestice ($>2,5\mu\text{m}$) proizvode se mehaničkim putem pod uticajem vetra ili erozije, odnosno razbijanjem većih, čvrstih, čestica prašine, koja potiče iz poljoprivrednih procesa, opustošenih polja - bez vegetacije (pustinje), neasfaltiranih puteva ili procesa iskopavanja ruda (40, 44). Grube čestice jesu i prašina sa puteva drumskog saobraćaja, nastala usled mehaničke turbulencije vazduha koju stvara saobraćaj. Na priobalnim mestima, usled evaporacije morske soli takođe se stvaraju čestica iz domena grubih čestica. Opseg grubih čestica obuhvata i biogeni materijal,

odnosno delove biljaka i insekata, prah polena, spore plesni, bakterije i viruse (40, 44). Grube čestice nastaju i procesima sagorevanje fosilnih goriva poput uglja, nafte i benzina, oslobađanjem nesagorivih materija (pepeo). Utvrđeno je da se količina energije koja je potrebna za razbijanje grubih čestica, u čestice manjih veličina, povećava sa smanjenjem veličine, što je dovelo do aproksimativne donje granice, za formiranje grubih čestica, od 1 μm (40, 44) (Slika 4 i 5) (37). Karakteriše ih velika brzina sedimentacije, te se u roku od nekoliko sati do jednog dana uklanjaju iz atmosfere. Transportuju se do najviše nekoliko desetina kilometara (59).



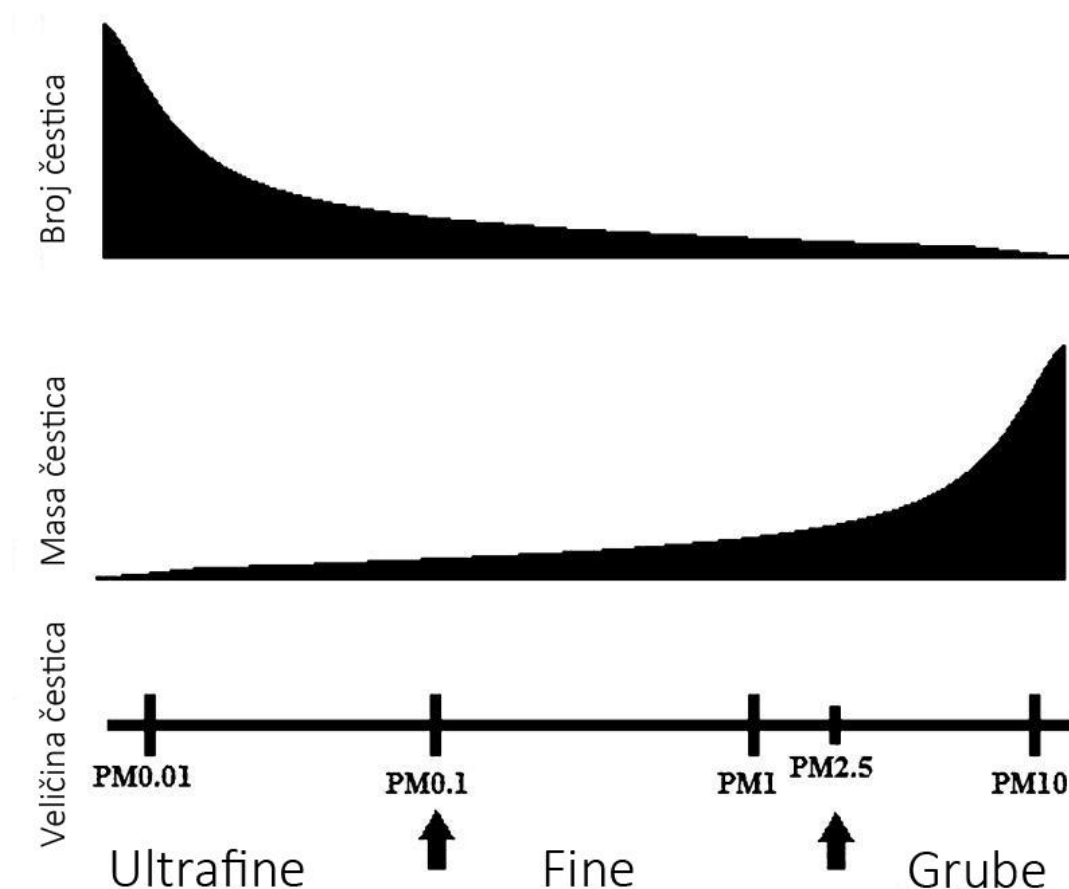
Slika 5. Shematski prikaz distribucije suspendovanih čestica u odnosu na mehanizam formiranja

Izvor: World Health Organization. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. European Centre for Environment and Health Bonn Office. Denmark: WHO, Regional Office for Europe; 2006.

Fine čestice se formiraju uglavnom iz gasova, kroz dva različita procesa, nukleacije i kondenzacije, u zavisnosti od njihove veličine (Slika 4 i 5). Najmanje čestice $PM_{0,1}$ nastaju procesom nukleacije (nukleacione čestice) (40, 44). Formiraju se kondenzacijom pare, nastale evaporacijom usled visokih temperatura, ili putem hemijskih reakcija u atmosferi, uglavnom iz procesa sagorevanja (organska materija, elementarni ugljenik, sumporna kiselina) (40, 44). Čestice iz domena nukleacione frakcije se obično u atmosferi zadržavaju nekoliko sati (60).

Čestice nukleacione frakcije mogu da rastu koagulacijom (dve ili više čestica formiraju veću česticu) ili kondenzacijom (kondenzovanje gasa ili pare molekula na površini postojećih čestica) formirajući Aitken čestice koje pripadaju akumulacionom modu između 0,1 i 1 μm (40, 44). Proces koagulacije je efikasniji za veći broj čestica, a kondenzacija za veće površine. Stoga, efikasnost mehanizama koagulacije i kondenzacije se smanjuje sa povećanjem veličine čestica, što je i definisalo gornju granicu veličine čestica koji nastaju navedenim procesima od $\sim 1 \mu m$ (Slika 4 i 5) (40, 44). Akumulacione čestice se formiraju kondenzacijom metala ili organskih jedinjenja, koji isparavaju u procesima sagorevanja pri visokim temperaturama. Takođe mogu nastati i kondenzacijom oslobođenih gasova iz procesa sagorevanja fosilnih goriva, prilikom njihove konverzije u atmosferskim hemijskim reakcijama. Na primer, pri oksidaciji SO_2 u sumpornu kiselinu (H_2SO_4), koja se dalje u reakciji sa amonijakom (NH_3) neutrališe do amonijum-sulfata ($(NH_4)_2SO_4$) (40, 44). Slično, oksidacijom NO_2 do azotne kiseline (HNO_3) koja u reakciji sa NH_3 formira amonijum nitrat (NH_4NO_3). Čestice formirane od navedenih gasova prisutnih u atmosferi (prekursori) nazivaju se sekundarne čestice. Sulfati (SO_4^{2-}) i nitrati (NO_3^-) su često dominantne komponente čestica $PM_{2,5}$ (44). Tipični životni vek čestica akumulacionog moda raspona $PM_{2,5}$, u slobodnoj troposferi, je od nekoliko dana do tri nedelje, te je stoga moguć međukontinentalni (udaljeni) transport čestica (53, 61).

U uzorku vazduha životne sredine, ukupan broj i ukupna površina čestica PM eksponencijalno raste kako se prečnik čestice smanjuje (Slika 6) (17). Međutim, ukupna masa čestica PM se generalno eksponencijalno smanjuje sa smanjenjem prečnika čestica. Na primer, u jednom uzorku čestica frakcije PM_{10} , numerička većina čestica bila bi u domenu ultrafine frakcije (masa čestica veličine 0,1 μm), ali bi ta frakcija činila zanemarljiv deo ukupne mase čestica uzorka PM_{10} frakcije (17).



Slika 6. Međusobna zavisnost prečnika, broja i mase suspendovanih čestica iz vazduha životne sredine

Izvor: Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J Med Toxicol.* 2012;8(2):166–175.

Nezavisno od broja i ukupne površine, čestice PM se uzorkuju i opisuju na osnovu njihovog aerodinamičkog prečnika (veličina čestica) (40, 47, 48, 50). S obzirom na velik raspon veličina čestica koje su distribuirane u vazduhu (ultrafine, fine, grube) iz operativnih razloga na predlog američke Agencije za zaštitu životne sredine („United States Environmental Protection Agency“ - US EPA) (44, 62) čestice PM se uzorkuju kao:

- PM₁₀ – masa čestica PM u kojima 50% prikupljenih čestica ima aerodinamičke prečnike manje ili jednake 10 μm .
- PM_{2,5} - masa čestica PM u kojima 50% prikupljenih čestica ima aerodinamičke prečnike manje ili jednake 2,5 μm .

Naglašeno je da PM_{10} uključuje frakciju $PM_{2,5}$, a “gruba” frakcija $PM_{2,5-10}$ se definiše kao razlika između mase čestica PM_{10} i $PM_{2,5}$ (62). Imajući u vidu modalnu distribuciju veličina suspendovanih čestica u vazduhu životne sredine, odnosno preklapanja finih i grubih čestica u intermodalnom području između 1-3 μm , konvencionalno je, za potrebe uzorkovanja, definisana granica na aerodinamičkom prečniku od 2,5 μm . Dakle, frakcija čestica $PM_{2,5}$ je samo aproksimacija finih čestica, kao što je i frakcija $PM_{2,5-10}$ aproksimacija grubih čestica (40, 44, 46).

Posmatrano sa aspekta masenog udela čestica i mogućnosti deponovanja (taloženja) u respiratornom sistemu, u literature se sreću i sledeći pojmovi klasifikacije, koji su razvijeni prvenstveno za izloženost u radnoj sredini (63), a usvojeni su od Evropskog komiteta za standardizaciju (64):

- Inhalatorne čestice- zadržavaju se u gornjim disajnim putevima (u nosu ili ustima) (TSP);
- Torakalne čestice - mogu da prodiru u gornje disajne puteve (do bronhiola) (PM_{10})
- Respirabilne čestice - prođu iza terminalnih bronhiola do regiona pluća gde se vrši razmene gasova (PM_4).

1.2.2. Izvori suspendovanih čestica $PM_{2,5}$

Glavni izvori čestica PM u urbanim sredinama su prirodni i antropogeni (40, 44). Prirodni izvori uključuju mineralnu (zemljišnu) prašinu koja se generiše vetrom, magle i mora, nekontrolisane (divlje) požare i vulkane, vegetaciju i aerosol mikrobiološkog porekla (65).

Antropogeni izvori čestica PM se obično klasifikuju kao: 1) mobilni, uključujući automobile, kamione, avione, brodove, vozove i građevinsku ili poljoprivrednu opremu ili 2) stacionarni, uključujući elektrane, fabrike, rudnike, farme, mlekare, domove i deponije otpada. Reagujući gasovi i isparenja, porekla prirodnih i antropogenih izvora, predstavljaju prekursore za formiranje sekundarnih čestica PM, te se u tom slučaju izvori ne mogu uvek identifikovati (40, 44, 66).

Prema rezultatima dosadašnjih istraživanja u urbanim sredinama, prirodni izvori čestica $PM_{2,5}$ podrazumevaju mineralnu (zemljišnu) prašinu i morsku so (66). Utvrđeno

je da zemljišna prašina nastaje u procesima resuspenzije elemenata tj. materija koje su sastavni deo zemljine kore (aluminijum (Al), silicijum (Si); kalijum (K); kalcijum (Ca); kalcijum oksid (CaO), titanium (Ti), gvožđe (Fe)) pod uticajem lokalnih vetrova (67). U pojedinim istraživanjima, kada se procenjuju dominantni izvori čestica PM urbanih sredina, zemljišna prašina na putevima se klasifikuje u saobraćaj, kao kategoriju izvora (68, 69). Iako se resuspenzija prirodnog tla (zemljišta) i prašine koja se emituje od saobraćaja (npr. habanje guma) može razlikovati na osnovu hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$, većina autora smatra da njihovo razdvajanje može biti izazov (69). Čestice morske soli su uglavnom najzastupljenije u vazduhu životne sredine priobalnih oblasti. U urbane sredine kontinentalnih područja transportuju se vetrom ili su porekla soli na putevima, usled njene primene za odmrzavanje saobraćajnica tokom hladnih sezona (70, 69).

Saobraćaj je kategorija izvora koja uključuje različite vrste emisija iz različitih tipova vozila (69). Pored primarnih emisija čestica $PM_{2,5}$ iz izduvnih gasova, emituju se i organski i neorganski gasovi prekursori pri procesu sagorevanja goriva i maziva, značajnih za formiranje sekundarnih čestica $PM_{2,5}$. Takođe, vozila emituju značajne količine čestica $PM_{2,5}$ kroz habanje kočionih sistema, kvačila i guma na putevima (68, 69, 71), i u literaturi se često definišu kao resuspendovana prašina od saobraćaja, koja sadrži i čestice prašine prirodnog porekla. Naime, emitovane čestice $PM_{2,5}$ u navedenim procesima se talože na put, a zatim ponovo suspenduju turbulencijom vazdušnih masa, usled protoka vozila, zajedno sa česticama prašine prirodnog tla, odnosno mineralne (zemljišne) prašine (69).

Industrija predstavlja heterogenu kategoriju izvora u urbanim sredinama i uključuje uglavnom emisije čestica $PM_{2,5}$ iz procesa sagorevanje nafte i uglja u elektranama i toplanama, kao i emisije iz različitih specifičnih procesnih industrijskih postrojenja (naftno-petrohemijska, metalurška, keramička, farmaceutska) i aktivnosti vezane za luku (68, 69). Zbog široke upotrebe fosilnih goriva, najrasprostranjeniji nespecifični industrijski izvori (elektrane i toplane) bivaju pomešani sa neidentifikovanim urbanim izvorima sagorevanja fosilnih goriva ili saobraćajem (69).

Procesi sagorevanja fosilnih goriva (gas, uglj) i biomase (drvo) za potrebe grejanja ili kuvanja u stambenim i komercijalnim objektima, takođe predstavljaju značajan antropogeni izvor čestica $PM_{2,5}$, karakterističan za urbana područja (69).

Karagulian i saradnici navode da se tipičan primer zagađenja vazduha životne sredine usled visokih emisija čestica $PM_{2,5}$ iz procesa sagorevanja goriva, za potrebe zagrevanje domaćinstava, nalazi u Centralnoj Evropi, gde se dominantno koriste drvo i ugalj (69).

U urbanim sredinama značajan deo izvora čestica $PM_{2,5}$ se može klasifikovati kao "nespecifični izvori ljudskog porekla" i uglavnom uključuju sekundarne čestice $PM_{2,5}$ nastale iz neodređenih antropogenih izvora (69). U zavisnosti od mehanizma formiranja, razlikuju se neorganske (čestice SO_4^{2-} i NO_3^-) ili organske sekundarne čestice $PM_{2,5}$ (69). Čestice SO_4^{2-} se uglavnom formiraju u hemijskim reakcijama NH_3 , emitovanog iz poljoprivrednih aktivnosti, i SO_2 porekla industrijskih postrojenja ili procesa za proizvodnju energije. Čestice NO_3^- nastaju kombinacijom NH_3 sa NO_x emitovanog iz saobraćaja, procesa za proizvodnju energije, kao i iz industrijskih i stambenih objekata. Sekundarni neorganski aerosoli (SNA), odnosno masa čestica SO_4^{2-} i NO_3^- u formi NH_3NO_2 i NH_3SO_4 , mogu biti povezani sa udaljenim (regionalnim) transportom, jer je vreme zadržavanja SO_4^{2-} i NO_3^- u atmosferi između tri i devet dana (69, 70).

Pored sekundarnih čestica $PM_{2,5}$, mnoštvo neidentifikovanih izvora, dominantno antropogenog porekla, u urbanim sredinama, emituje i primarne čestice, što doprinosi kompleksnosti mešavine zagađujućih materija u vazduhu životne sredine (46). Često, većina čestica PM antropogenog porekla, koje se emituju u urbanim i industrijskim područjima, doprinose formiranju žarišnih mesta sa prilično visokim koncentracijama čestica PM i drugih zagađujućih materija vazduha („hot spots“) (46). Međutim, primarne i sekundarne čestice PM antropogenog porekla, takođe utiču na regionalne koncentracije čestica PM, jer deo emitovanih čestica $PM_{2,5}$ može ostati u suspenziji nekoliko dana i putovati do hiljada kilometara u atmosferi (46).

1.2.3. Suspendovane čestice $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine na globalnom, regionalnom i nacionalnom nivou

Dokumentovani podaci o česticama $PM_{2,5}$, kao jednim od glavnih zagađujućih materija u svetu sa najvećim negativnim efektima na zdravlje (3, 33), u pogledu raspona koncentracija (72, 73), mogućih izvora i zdravstvenih efekata (74), u urbanim, suburbanim, ruralnim i udaljenim područjima, dosežu svetske razmere.

Analizom trenda prosečne godišnje izloženosti česticama PM_{2,5} između 1990. i 2010. godine, na globalnom nivou, utvrđen je porast izloženosti česticama PM_{2,5} za 9,9% (75). Globalni porast izloženosti je u direktnoj korelaciji sa povećanjem izloženosti od 8% u Južnoj Aziji i od 34% u Istočnoj Aziji i Pacifiku. U zemljama Evropske unije, Latinske Amerike i SAD, u poslednje dve decenije, zabeleženo je značajno smanjenje izloženosti česticama PM_{2,5} od 42%, 7% i 29%, redom (75).

U zemljama Zapadne i Južne Azije, koje su najnaseljenije, registruje se i najveći stepen zagađenja vazduha životne sredine (Katar, Iran, Ujedinjeni Arapski Emirati) (75). Utvrđeno je da su prosečne godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} u navedenim zemljama bile 8 do 10 puta veće od preporuka SZO (10 µg/m³), dok su u Indiji prosečne godišnje koncentracije bile 5 puta veće. U južnom i severoistočnom delu Indije registrovane su niže koncentracije čestica PM_{2,5} u poređenju sa drugim regijama, uglavnom zbog veće vegetacije, nižih emisija i planirane urbanizacije. Prosečne godišnje koncentracije od 64 µg/m³ su zabeležene u Mongoliji, a u Kini 43 µg/m³ (75). Niže koncentracije čestica PM_{2,5} se registruju i na području Jugoistočne Azije, izuzev Vijetnama i Mjanmara (75). Jedino je Japan bio sa prosečnim godišnjim koncentracijama čestica PM_{2,5} < 10 µg/m³ (75).

Na afričkom kontinentu, u proseku su godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} bile iznad 30 µg/m³ (Senegal, Mauricijus i Gana), a na prostoru Južne Afrike ispod 30 µg/m³. Autori preglednog rada ističu da zagađenje vazduha na afričkom kontinentu nije novina zbog prekomernog sagorevanja biomase u domaćinstvima (kuvanje) i prašnjavih puteva (75). Prema istraživanju od strane Doumbia i saradnika (75, 76) visoke koncentracije čestica PM_{2,5} su uočene i na lokacijama pod uticajem saobraćaja u Dakaru, glavnom i najvećem gradu Senegala u Zapadnoj Africi, gde su dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} varirale između 24 i 80 µg/m³, a srednja godišnja koncentracija bila je nekoliko puta veća od propisanog godišnjeg normativa (75).

Većina zemalja Južne Amerike (Brazil, Kolumbija, Urugvaj, Argentina, Ekvador...) su regulisale koncentracije čestica PM_{2,5} do nivoa ispod 25 µg/m³, izuzev Perua (39 µg/m³) (75). U zemljama na prostoru severnoameričkog kontinenta uočava se velika prostorna varijabilnost koncentracija čestica PM_{2,5}. U Kanadi su bile ispod smernica SZO na godišnjem nivou, a iznad nacionalnog normativa (75). U zemljama kao što je Meksiko, smernice SZO na godišnjem nivou su prekoračene za 2,5 puta. Ponderisana

srednja godišnja vrednost koncentracije čestica $PM_{2,5}$ za 2013. godinu (75) je u većini područja SAD-a bila ispod nacionalnog američkog normativa od $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mukherjee sa saradnikom navodi da prema podacima o koncentracijama čestica $PM_{2,5}$, Evropa ima mnogo bolji kvalitet vazduha u poređenju sa drugim regionima sveta, zbog planiranog razvoja, zelene tehnologije, smanjenja emisija i manje gustine naseljenosti (75). Najmanji nivoi čestica $PM_{2,5}$ su bili u Severozapadnoj Evropi, izuzev Ujedinjenog Kraljevstva (UK), Danske i Litvanije, gde su prosečne godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ iznad smernica SZO. U većini zemalja Zapadne Evrope, godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su u rasponu od 15 do $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (75). U Istočnoj Evropi, osim Rumunije i Belorusije, zabeležene su vrednosti iznad $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a maksimalna dnevne koncentracija beležene su u Turskoj, sa prosečnim godišnjim nivoom od $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. U južnoevropskim zemljama, godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su bile iznad $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u Španiji, Portugalu i Malti, iznad $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u Sloveniji i Italiji, iznad $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u Srbiji i iznad $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u Bugarskoj (75).

Na području zemalja Zapadnog Balkana (Albanija, Srbija sa Kosovom, Bosna i Hercegovina (BH), Republika Srpska, Crna Gora (CG) i Makedonija), u 30 urbanih sredina, tokom 2013 - 2017 godine, prosečne godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su prekračile $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (smernice SZO), dok je u više od 75% gradova utvrđeno prekoračenje normativa Evropske unije (EU) ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (77). Najveće prekoračenje normativa EU zabeleženo je u Tuzli (BH), potom Dardištu, Obiliću i Gnjilanu (Kosovo), Pljevlju (CG), Karpošu (Makedonija), Pančevu, Kraljevu i Subotici (Srbija) (77).

Na području Srbije, podaci o koncentracijama čestica $PM_{2,5}$, iz državne mreže mernih stanica za praćenje kvaliteta vazduha životne sredine, su još uvek limitirani samo na pojedine gradove (78). Tokom 2017. godine prosečne godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su u Pančevu ($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Subotici ($31 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Nišu ($30-53 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Kraljevu ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i Čačku ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bile iznad smernica SZO i nacionalnih normativa ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dok su vrednosti u Šapcu ($8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bile i ispod smernica SZO i nacionalnog normativa. Maksimalne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $395,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $154,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrovane su u Nišu i Beogradu, redom (79). Rezultati pojedinačnih istraživanja na području grada Beograda (80) pokazuju da su se koncentracije čestica $PM_{2,5}$ kretale u rasponu od $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom leta do $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom zime 2004. godine.

1.2.4. Hemijski sastav suspendovanih čestica PM_{2,5}

Sa aspekta uticaja na zdravlje ljudi i pitanja uspešnog upravljenja kvalitetom vazduha životne sredine, utvrđeno je da pored fizičkih karakteristika, hemijski sastav čestica PM_{2,5} takođe ima značajnu ulogu. Prema rezultatima mnogobrojnih studija, hemijski sastav čestica PM_{2,5} direktno utiče na reaktivnost i toksičnost čestica, što ima za posledicu negativan uticaj na ljudsko zdravlje (81, 82, 83). Poznavanje hemijskog sastava čestica PM_{2,5} predstavlja osnovu za razumevanje vremenske i prostorne varijacije koncentracija čestica, odnosno identifikacije i kvantifikacije doprinosa izvora zagađenja vazduha u odabranim područjima (83, 84).

U poslednjoj deceniji, analiza hemijskog sastava čestica PM_{2,5} bila je predmet istraživanja mnogobrojnih studija. Rezultati najčešće citiranih istraživanja, u naučnoj i stručnoj literaturi, autora Harisona i saradnika (82), pokazuju da hemijski sastav čestica PM iz urbanih područja širom sveta ima tipičnu kompoziciju, iako sa znatno različitim udelom pojedinih glavnih komponenti u odnosu na ispitivano područje (*“hot spots”, urbana pozadina...*) (82).

Prema Harisonu i saradnicima (82) tipičan hemijski sastav čestica PM_{2,5} u urbanim sredinama podrazumeva:

- elementarni (EC) i organski ugljenik (OC) - emituju se iz procesa sagorevanja u gradskim područjima, a saobraćaj se navodi kao njihov najdominantniji izvor (46). EC, zajedno sa K (85), se emituje u atmosferu uglavnom kao primarna čestica, rezultat nepotpunog sagorevanja fosilnih goriva i biomase. OC može biti prisutan i kao primarna i sekundarna organska čestica. Sekundarni organski aerosoli (SOA) nastaju u hemijskim reakcijama isparljivih organskih jedinjenja (direktno emitovanih iz procesa sagorevanja biomase, drveta, uglja) (82) sa drugim supstancama nastalih iz biogenih volatilnih organskih jedinjenja (VOC). SOC nastao kao rezultat oksidacije VOC-a, važan je deo mase čestica PM_{2,5}, posebno tokom leta u oblastima sa obilnom vegetacijom (82). SOA obuhvata i čestice NMVOC-a (nemetanski VOC) emitovanih iz industrijskih procesa, isparavanja upotrebljenih rastvarača, procesa sagorevanja i saobraćaja (69).

- SO₄²⁻ - nastaje pretežno u hemijskim reakcijama oksidacije SO₂ u atmosferi. S obzirom da se oksidacija SO₂ odvija sporo, prostorni gradijenti SO₄²⁻ na skali od nekoliko desetina kilometara očekuju se da budu mali, preko stotina kilometara mogu biti značajni, a

preko čitavog kontinenta veoma veliki (46). Zaključci mnogobrojnih istraživanja su da je sadržaj SO_4^{2-} u česticama $\text{PM}_{2,5}$ uglavnom iz procesa sagorevanja uglja i izduvnih gasova motornih vozila (40, 46).

- NO_3^- - nastaje uglavnom u hemijskim reakcijama oksidacije azotnih oksida (NO i NO_2) (opisanih u prethodnom poglavlju). Pokazuje veću prostornu varijaciju od SO_4^{2-} (86), s obzirom da NO_2 oksidiše mnogo brže od SO_2 . Veće koncentracije NO_3^- u vazduhu urbanih sredina povezane su sa većom emisijom NO_x iz procesa sagorevanja, posebno motornih vozila (87). Dnevne koncentracije NO_3^- takođe mogu biti značajno različite između pojedinih urbanih lokacija, što ukazuje na značaj lokalnog doprinosa procesa sagorevanja (87). Međutim, sekundarne čestice NO_3^- se generalno smatraju regionalnim doprinosom.

- amonijum (NH_4^+) – sekundarno se emituje u hemijskim reakcijama neutralizacije NH_3 sa sumpornom i azotnom kiselinom (nastale oksidacijom SO_2 i NO_2) (46). NH_4^+ , dominantno porekla emitovanog NH_3 iz poljoprivrednih aktivnosti (upotreba fertilizera, farme), u česticama $\text{PM}_{2,5}$ je najčešće u obliku $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i NH_4NO_3 jer dopirnosi njihovom stvaranju (44, 88).

- hloridi (Cl^-) – najčešće su prisutni u formi natrijum hlorida (NaCl) porekla isparavanja morske soli ili soli za odmrzavanje saobraćajnih puteva tokom zime. Opisane su i reakcije neutralizacije NH_3 , iz procesa sagorevanja fosilnih goriva (uglja) i elektrana, hlorovodoničnim gasom, u kojima se emituje Cl^- (46).

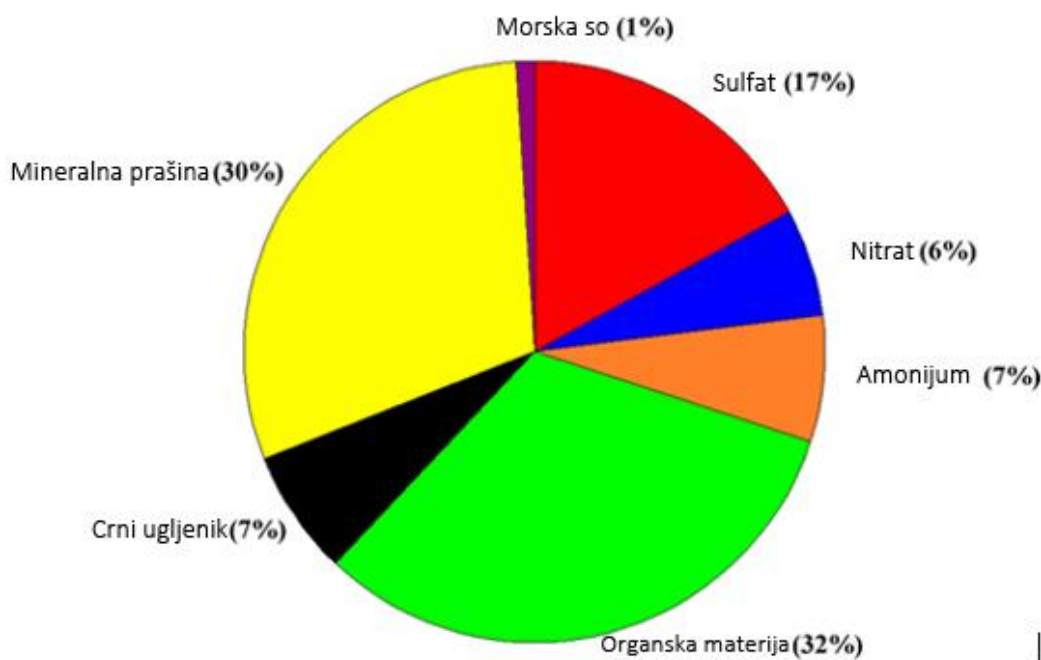
- elementi mineralne (zemljišne) prašine – frakcija u česticama $\text{PM}_{2,5}$ koja je veoma raznovrsna po hemijskom sastavu koji odražava lokalnu geologiju (88). Sastavu mineralne prašine se pripisuju elementi: Na, K, aluminijum (Al), rubidijum (Rb), kalcijum (Ca), titanijum (Ti) i magnezijum (Mg) (88), ali i joni rastvorljivi u vodi: Ca^{2+} i Mg^{2+} (89). Istraživanja pokazuju da čestice mineralne prašine, značajno veći udeo imaju u frakciji grubih čestica (46, 90).

- materije biološkog porekla – bakterije, spore, polen, ostaci insekata i fragmenti biljaka. Generalno se, po veličini, svrstavaju u grubu frakciju čestica, ali se u većini studija posmatraju kao deo organske karbonatne (ugljenične) frakcije čestica $\text{PM}_{2,5}$, a ne kao zasebna biološka komponenta (46).

Detaljna analiza kompozicije (sastava) čestica $\text{PM}_{2,5}$ u velikom broju studija pokazala je da najveći udeo u ukupnoj masi čestica imaju OC i joni rastvorljivi u vodi,

odnosno NO_3^- i SO_4^{2-} (91, 92). Doprinos zemljišne prašine i morske soli u masi čestica $\text{PM}_{2,5}$ i PM_1 znatno je manji u poređenju sa kompozicijom grube frakcije čestica (83).

Na osnovu istraživanja iz 2014. godine, utvrđen je detaljan hemijski sastav čestica $\text{PM}_{2,5}$ na globalnom nivou (93). Rezultati su, takođe, pokazali da je organska materija (OM) bila najdominantnija (32%), a potom SNA i mineralna prašina (30%). U SNA komponentama dominirao je SO_4^{2-} (17%), zatim NH_4^+ (7%) i NO_3^- (6%) (Slika 7) (93).



Slika 7. Hemijski sastav populaciono ponderisane mase čestica $\text{PM}_{2,5}$ na globalnom nivou

Izvor: Philip S, Martin RV, van Donkelaar A, Lo JW, Wang Y, Chen D, et al. Global chemical composition of ambient fine particulate matter for exposure assessment. *Environ Sci Technol.* 2014;48(22):13060-13068.

U vazduhu urbanih područja, prvenstveno sa visokom gustinom naseljenosti, karbonatna frakcija čestica $\text{PM}_{2,5}$ dostiže veoma visok maseni udeo (82). Podaci naučne lietarature pokazuju da čestice ugljenika mogu iznositi 40–50% mase $\text{PM}_{2,5}$ (82). Udeo OC je u rasponu 10-50%, dok je udeo EC manji, odnosno 5% - 20% (82).

Joni rastvorljivi u vodi (SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) u česticama $\text{PM}_{2,5}$ igraju značajnu ulogu u atmosferskim hemijskim reakcijama, ponašajući se kao prekursori za nove čestice, posebno SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ , odnosno SNA (82). SNA u velikoj meri utiče na koncentracije i sastav čestica $\text{PM}_{2,5}$, kako u oblastima koje su udaljene od

značajnijih izvora emisije, tako i u urbanim područjima. Uopšteno govoreći, mnoge studije su pokazale da je glavni deo SNA, prisutnih u atmosferi, deo čestica $PM_{2,5}$ i da je najveći doprinos SNA obično identifikovan na ruralnim pozadinskim stanicama (82, 93).

1.2.5. Hemijski sastav suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ na globalnom, regionalnom i nacionalnom nivou

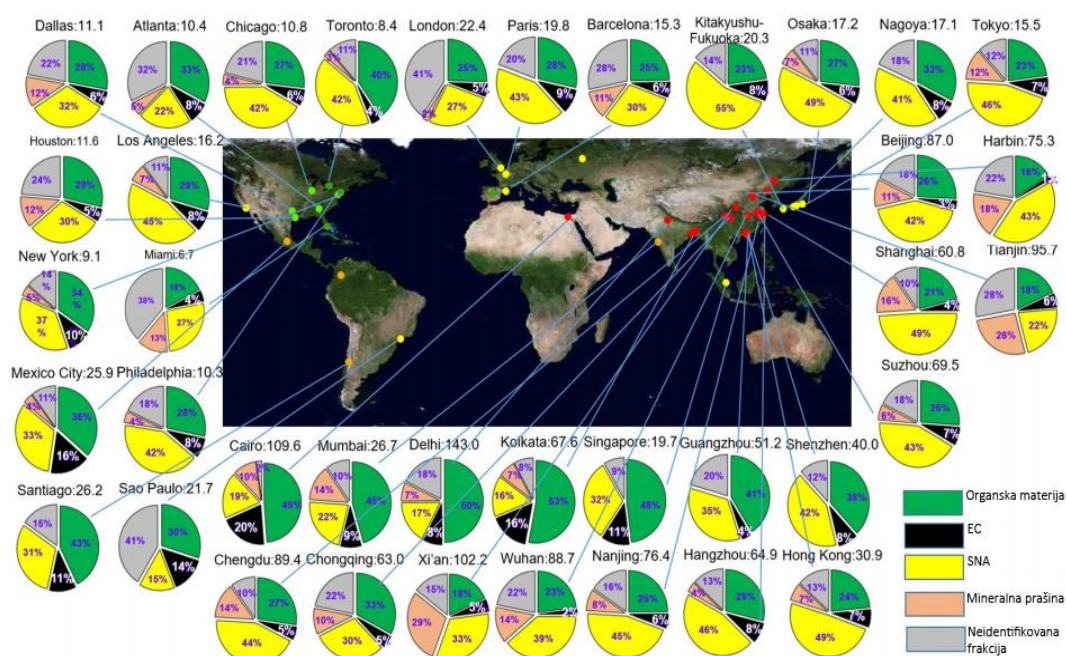
Prema rezultatima globalne analize hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$, u populaciono ponderisanoj masi čestica $PM_{2,5}$ dominira masa organske frakcije ($11,9 \pm 7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), SNA ($11,1 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i mineralna prašina ($11,1 \pm 7,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (93). U SNA koncentracija SO_4^{2-} je iznosila $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, NH_4^+ $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a NO_3^- $2,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Na regionalnom nivou, sekundarni neoganski sastojci čestica $PM_{2,5}$ su bili najdominantniji na području Istočne i Južne Azije ($28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom), dok su prosečne koncentracije organskog sastojka čestica $PM_{2,5}$ iznosile $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ u oba područja (93).

Globalnom, preglednom, analizom hemijske kompozicije čestica $PM_{2,5}$ urbanih aglomeracija, sa preko 5 miliona stanovnika, dominantno sa područja Amerike, Evrope i Azije, autor Cheng i saradnici (94) su zaključili da su OM i SNA bili dominantni sastojci čestica $PM_{2,5}$. Prema rezultatima objavljenih istraživanja, u 38 megagradova (Slika 8) (94), prosečan procenat (maseni udeo) za SNA je bio 36%, 30% za OM, 7% za EC, 10% za zemljišnu prašinu i 19% za neidentifikovanu frakciju čestica $PM_{2,5}$.

Prema istraživanjima iz megagradova Severne Amerike (Dalas, Atlanta, Čikago, Hjuston, Los Anđeles, Njujork, Majami, Filadelfija i Meksiko), prosečni maseni udeo SNA je iznosio 35%, OM 30%, EC i mineralne (zemljišne) prašine oko 7%, dok je udeo neidentifikovane frakcije u proseku bio 20% (94). U megagradovima Južne Amerike, Santiago i Sao Paulo, maseni udeo OM je bio 43% i 30%, SNA 31% i 15%, EC 11% i 14%, neidentifikovane frakcije 15 i 41%, redom, dok mineralna prašina ili nije bile zastupljena ili je bila u neznatnom procentu (94). U Kairu (Afrika), najveći maseni udeo u česticama $PM_{2,5}$ je imala OM (49%), zatima slede EC (20%), SNA (19%), mineralna prašina (10%), dok je udeo neidentifikovane frakcije bio 2%. Na području Azije, prosečan maseni udeo analiziranih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ je bio komparabilan sa područjem Severne Amerike. Međutim, u Aziji se uočava veća prostorna varijabilnost za OM i SNA, za razliku od Severne Amerike (94). Najveći udeo OM od 63% je zabeležen u gradu Kolkota (Indija),

a najmanji od 16% u Harbinu (Kina), dok je udeo SNA bio najveći u Kitakjušu (Japan) (55%), a najmanji u Kolkati i Delhiju (Indija) (16% i 17%, redom) (94). Izvorni profil čestica $PM_{2,5}$ u Izmiru (Turska), pokazao je da masi čestica $PM_{2,5}$ u prigradskom području doprinosi neidentifikovana frakcija (38%), gorivo i čelik (37%), saobraćaj (12%), mineralna (9%) i morska prašina (4%), dok je u urbanom području utvrđen doprinos neidentifikovanih frakcija (48%), goriva i čelika (22%), saobraćaja (15%), morske (14%) i mineralne prašine (1%) (75).

U Evropskim megagradovima, London, Pariz, Baselsona, prosečan maseni udeo SNA u česticama $PM_{2,5}$ je bio 33%, OM 26%, EC 7%, mineralne prašine 4%, dok je udeo neidentifikovane frakcije u proseku bio 30% (94).



Slika 8. Hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$ u megagradovima na globalnom nivou (brojčana vrednost pored naziva grada označava prosečnu koncentraciju čestica $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$))

Izvor: Cheng Z, Luo L, Wang S, Wang Y, Sharma S, Shimadera H, et al. Status and characteristics of ambient $PM_{2,5}$ pollution in global megacities. *Environ Int.* 2016;89-90:212-21.

Prema istraživanju Rajšić i saradnika (95), u centralnoj urbanoj oblasti Beograda (Srbija), kao glavni doprinosni izvori metala, utvrđenih u masi čestica $PM_{2,5}$, su procesi sagorevanja porekla saobraćaja i resuspendovana prašina duž puteva.

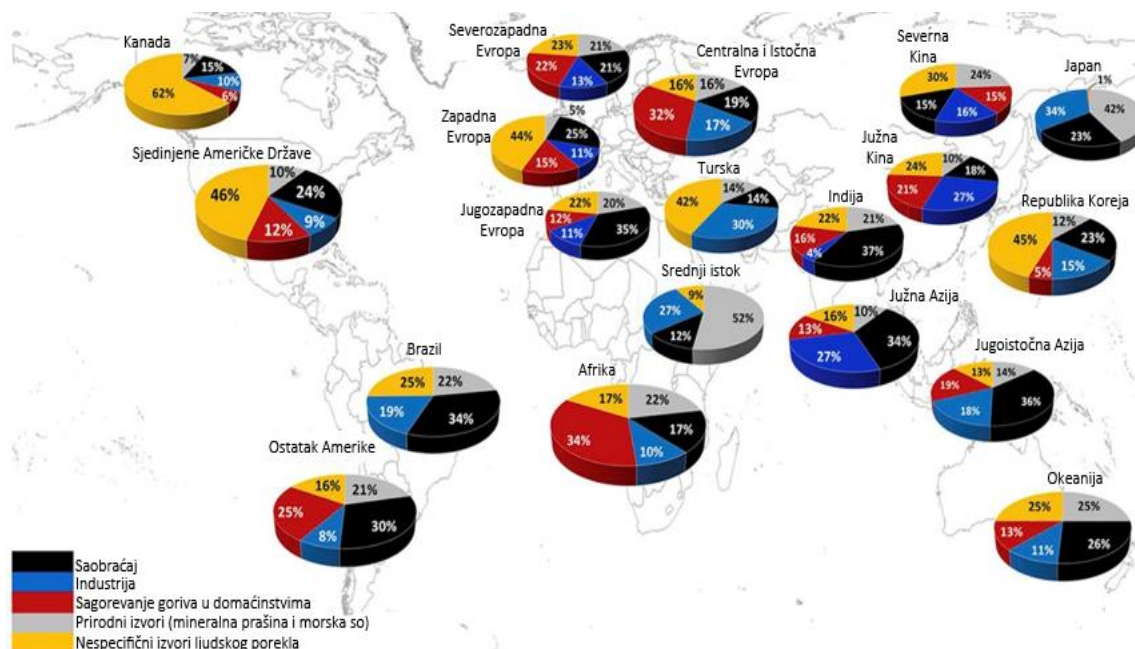
Prostorna varijabilnost hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ je, zbog izraženih specifičnosti u odnosu na izvore, topografske karakteristike i meteorološke uslove, najčešće izražena kroz udeo (doprinosa) izvora zagađenja vazduha životne sredine (69).

Rezultati istraživanja distribucije mogućih izvora čestica $PM_{2,5}$, u urbanim sredinama, pokazuju da se saobraćaj (69) i stambeni tj rezidencijalni delovi (96), zbog grejanja domaćinstava, smatraju vodećim izvorima primarnih čestica $PM_{2,5}$. Sa druge strane, u suburbanim i ruralnim područjima, vodeći izvor čestica $PM_{2,5}$ jeste spaljivanje biomase za potrebe kuvanja ili poljoprivrednih aktivnosti (97, 98). Smatra se i da regionalni transport čestica $PM_{2,5}$, emitovanih iz procesa sagorevanja biomase, može ponekad biti važan doprinosni faktor u urbanim i ruralnim područjima (99). Emisije iz energetskih, industrijskih i transportnih sektora prepoznati su kao značajni izvori sekundarnih čestica $PM_{2,5}$, jer sagorevanje uglja generiše SO_2 , a vozila VOC i NO_x , a ne samo kao isključivo emiteri primarnih čestica $PM_{2,5}$ (100). Pojedini autori navode da mala količina čestica $PM_{2,5}$, koja se emituje iz povremenih rekreativnih aktivnosti, npr. roštiljanje, takođe doprinosi sekundarnom stvaranju čestica $PM_{2,5}$, zbog emisije PM_{10} i $PM_{2,5}$ iz roštilja (101).

Prema rezultatima globalne studije o prostornoj distribuciji izvora čestica $PM_{2,5}$ (69), na urbanim područjima 51 zemlje, poreklo čestica $PM_{2,5}$ je u proseku oko 25% od saobraćaja, 22% iz nespecifičnih izvora ljudskog porekla, 20% od sagorevanja energenata u domaćinstvima, 18% od mineralne prašine i morske soli i oko 15% od industrijskih aktivnosti (uključujući proizvodnju električne energije).

U navedenoj studiji (69) utvrđeno je da su se doprinosi izvora emitovanim česticama $PM_{2,5}$, po kategorijama, značajno razlikovali između posmatranih regiona. Saobraćaj je bio glavni doprinosni izvor česticama $PM_{2,5}$ u nekoliko regiona, uključujući Indiju (37%), Jugoistočnu Aziju (36%), Jugozapadnu Evropu (35%), Južnu Aziju (34%), Brazil (33%) i ostatak Amerike (30%) (Slika 9) (69). Na području Severne Amerike, Zapadne Evrope, Turske i Koreje, gradsko stanovništvo je najviše izloženo sekundarnim česticama $PM_{2,5}$, zbog pogodujućih atmosferskih procesa, koji utiču na njihovo stvaranje iz gasova, emitovanih u procesima sagorevanja za potrebe motornih vozila,

grejanja, poljoprivrede. Vodeći izvor čestica PM_{2,5} u Istočnoj Evropi je grejanje u domaćinstvima, dok je u zemljama u razvoju sa područja Afrike, kuvanje (69).



Slika 9. Doprinos izvora zagađenja vazduha životne sredine masi čestica PM_{2,5}

Izvor: Karagulian F, Belis CA, Dora C, Pruss-Ustun A. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 2015;120:475-283.

Pregledna studija autora Mukherjee i Agrawal, objavljene 2017. godine (75), pokazala je da na području većih gradova Azije (Nju Delhi, Indija) kompozicija hemijskog sastava čestica PM_{2,5} ukazuje na izvore kao što su sagorevanje biomase i fosilnih goriva i čestice porekla tla (zemljišna prašina) (75). U Istočnoj Indiji, analizom primarnih komponenti čestica PM_{2,5}, uočen je najveći doprinos emisije od motornih vozila (38%), sagorevanje biomase (27%), prašine (18%) i sekundarne antropogene komponente (11%). U pojedinim gradovima Pakistana, u gradu Karači, čestice PM_{2,5} su porekla industrije (53%), prašine duž saobraćajnica (16,1%) i sekundarni aerosoli (12,4%) (75), dok u gradu Lahoreu, nadominatnije su bile sekundarne čestice (30,2%), čestice dizel goriva (28,3%), porekla sagorevanja biomase (14,8%), uglja (13,3%) i motora (7,7%) (75).

Autor Zakey sa saradnicima (102) je utvrdio da spaljivanje otpada predstavlja glavni izvor čestica $PM_{2,5}$ u različitim sredinama Kaira u Egiptu. U Nairobiju u Keniji, identifikovano je pet glavnih izvora čestica $PM_{2,5}$, odnosno saobraćaj (39%), mineralna prašina (35%), mešoviti izvori (13%), industrijski procesi (7%) i procesi sagorevanja (6%) (75).

Na području Floride (SAD), analizom raspodele izvora zagađenja vazduha, u masi čestica $PM_{2,5}$ identifikovani su SO_4^{2-} (55%), doprinos motornih vozila na gasni pogon (32%), vozila na dizel pogon (8%) i prašinu duž puteva (5%) (75). U navedenom preglednom radu se navodi da su u studiji, koju su sprovedi Murillo i saradnici (103), sa ciljem da identifikuju izvore EC i OC prisutnih u masi čestica $PM_{2,5}$ u Kostariki (Centralna Amerika), utvrdili da najveći doprinos predstavljaju motorna vozila sa benzinskim motorom (10%), emisije dizel goriva (16%), železnički-drumski saobraćaj (4%), sagorevanje u industrijskim procesima (9%) i sagorevanje drveta (5%). Glavni izvori čestica $PM_{2,5}$ u urbanoj zoni na području Argentine, bili su saobraćaj (32%), urbana prašina (54%), zemljišna prašina (1%), metalurška industrija i upotreba dizel goriva (13%), dok je u predgrađu najveći doprinos ostvarila urbana prašina (56%), zatim saobraćaj (28%) i metalurška industrija i dizel gorivo (11%) (75).

U urbanim područjima Evrope, na osnovu analize maksimalnih masenih koncentracija čestica $PM_{2,5}$, utvrđenih na lokacijama gradske pozadine u 150 gradova, najveći prosečan doprinos ima sektor poljoprivrede (farme i poljoprivredni otpad) od 23%, zatim sektor industrije (energija, grejanje i specifični procesi) sa 20% doprinosa, doprinos prirodnih izvora (pustinjska prašina i morska so) iznosi 19%, drumski saobraćaj doprinosi sa 14%, a stambeni sektor (kuvanje i grejanje) sa 13% (104). Najveći doprinos sektora poljoprivrede masi čestica $PM_{2,5}$ (35-40%) je utvrđen u Nemačkoj i Češkoj, sektora industrije (47%) u Ludwigshafenu, prirodnih izvora (46%) u mediteranskom području (Valeta), drumskog saobraćaja (39%) u Madridu, a stambenog sektora (48%) u Varšavi (104).

Karagulian i saradnici ističu značaj razdvajanja malih, lokalnih, izvora sagorevanja od drugih kategorija izvora, koji su najčešće pripisivani transportnim ili industrijskim aktivnostima, što je rezultiralo precenjivanjem doprinosa pomenutih sektora (69). Takođe, u mnogobrojnim studijama su transportne aktivnosti, kao izvor zagađenja, kategorizovane samo na osnovu primarno emitovanih čestica $PM_{2,5}$, koje

obuhvataju čestice dizel čađi i čestice porekla kočionih sistema i guma automobila (69). Isti autor ističe da se sekundarne čestice NO_3^- nastalih iz emisija NO_x , u većini studija nisu posmatrale kroz izvor saobraćaja (69).

1.3. Identifikacija i utvrđivanje doprinosa izvora suspendovanih čestica $\text{PM}_{2,5}$

Za potrebe upravljanja rizikom, od enormne je važnosti identifikacija izvora čestica $\text{PM}_{2,5}$, koje doprinose značajnom zdravstvenom opterećenju stanovništva. Dobro poznavanje izvora čestičnih materija, mogućih razlika u uticaju čestica na zdravlje, bi mogla da omogući diferencijaciju izvora prema njihovoj važnosti, sa aspekta uticaja na zdravlje ljudi, i tako omogući efikasnije upravljanje rizikom (46)

Mogući tipovi izvora, koji doprinose koncentracijama čestica PM određene lokacije, mogu se odrediti primenom metoda identifikacije izvora na osnovu hemijskog sastava čestica PM, meteoroloških podataka i drugih dostupnih podataka o merenjima. Studije identifikacije izvora obuhvataju procenu prosečnih uticaja izvora na lokalni kvalitet vazduha, kao i vremensku (sezonsku) varijabilnost koncentracija čestica PM specifičnih za pojedine izvore (46)

Tehnike identifikacije distribucije izvora zagađenja vazduha podrazumevaju kvantitativnu procenu doprinosa različitih kategorija izvora izmerenim koncentracijama čestica PM u atmosferi, a na osnovu hemijskih i fizičkih karakteristika čestica i vremenski zavisne korelacije hemijskih komponenata čestica PM (46).

Identifikacija mogućih izvora emisije čestica PM u vazduhu je tehnika koja povezuje izvore emisija zagađujućih materija sa njihovim uticajem na koncentraciju i hemijski sastav čestica PM u vazduhu životne sredine (84). Identifikacija i kvantifikacija doprinosa različitih izvora, emisiji čestica PM, moguća je pomoću dve glavne grupe tehnika modelovanja: receptorski modeli i modeli prostorne raspodele koncentracija iz različitih izvora (46, 105). Receptorski modeli identifikuju i procenjuju izvore čestica PM na osnovu hemijskih i fizičkih karakteristika čestica utvrđenih na određenoj lokaciji (receptor), unutar područja koje je reprezentativno za izmerene koncentracije čestica (106). Emisije čestica PM iz specifičnih izvora često imaju jedinstven hemijski sastav na osnovu kojeg se doprinos navedenog izvora (receptora) ukupnoj masenoj koncentraciji može prepoznati (46).

Najčešće primenjivani receptorski modeli za identifikaciju izvora čestica su hemijski bilans masa („*Chemical Mass Balance*“ - CMB) i nekoliko vrsta multivarijantnih metoda, višestruka linearna regresija, faktorska analiza, analiza glavnih komponenti („*Principal Component Analysis*“ - PCA), pozitivna faktorizacija matrice („*Positive Matrix Factorization*“ - PMF) kao i njihova kombinacija (46, 107).

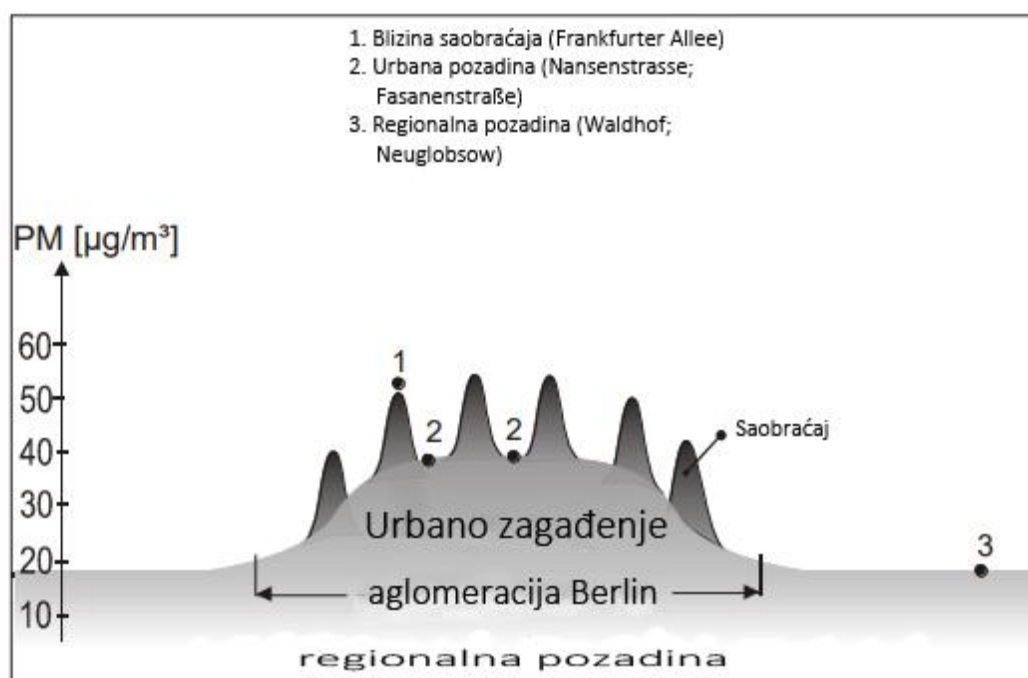
Modeli prostorne raspodele (distribucije) koncentracija čestica PM, iz različitih izvora, bazirani su na mreži rasprostranjenih izvora u određenoj oblasti/domenu (46). Kao ulazni podaci koriste se modeli kvaliteta vazduha, koji obuhvataju inventar emisija i meteorološke uslove, kao i koncentracije zagađujućih materija u vazduhu sa nekoliko karakterističnih mernih mesta unutar i na graničnim delovima područja od interesa (46). Modeli koji se najčešće koriste u tu svrhu su Gausov i non-Gausov parametrijski model; Ojlerov („*Euler*“) model hemijskog transporta i Lagranžov („*Lagrange*“) model (107).

Među najrasprostranjenijim i najčešće korišćenim metodama izdvajaju se CBM i PMF. Primena CBM zahteva detaljno kvantitativno poznavanje izvora i njihovih emisionih profila, dok je PMF prvi izbor primene kada postoji adekvatno početno kvalitativno znanje o prisutnim izvorima na ispitivanim područjima (108). Neki multivarijantni receptorski modeli se zasnivaju na poznavanju hemijskog sastava čestica PM i na korelacionoj analizi utvrđenih koncentracija hemijskih komponentata, pretpostavljajući da visoko korelirane komponente potiču iz istog izvora (109). Jedan od najčešće korišćenih multivarijantnih receptorskih modela jeste PCA (107). Međutim, PCA nije pogodan za kvantifikaciju doprinosa utvrđenih izvora zagađenja vazduha životne sredine (109).

Za potrebe početnih razmatranja, u pogledu identifikacije i kvantifikacije doprinosa izvora zagađenja vazduha u odabranim područjima, često se primenjuje Lenschow pristup (110). Razvijen je u Berlinu, 2001. godine, za određivanje tipova mogućih izvora zagađenja i kvantifikaciju njihovih doprinosa, a koji ne zahtevaju detaljno kvantitativno i kvalitativno poznavanje izvora čestica PM_{2,5}, za razliku od većine prethodnih (111). Prepoznat je njegov značaj za razvoj strategije i adekvatnih mera za redukciju zagađenja vazduha, odnosno upravljenje kvalitetom vazduha (111). Primenjen je, prvenstveno, za procenu doprinosa saobraćaja kao izvora emisije čestica PM₁₀ u urbanim aglomeracijama. Lenschow pristup zasnovan je na pretpostavkama da

urbana pozadinska područja predstavljaju "ostrva" povišenih koncentracija čestica PM koja proizilaze iz regionalnog doprinosa, kao i da najveće koncentracije čestica registrovanih na žarišnim urbanim mestima ("hot spots") tj. duž saobraćajnica, reprezentuju uticaj saobraćaja (Slika 10) (109, 111). Pretpostavlja se da su koncentracije čestica PM utvrđenih na "hot spots" lokacijama posledica uticaja regionalnog doprinosa čestica dospelih (transportovani) iz susednih regiona, doprinosa urbanog područja (iz izvora unutar aglomeracije) i doprinos lokalnog uticaja drumskog saobraćaja (Slika 10) (112).

Dakle, ulazni podaci za primenu navedene tehnike podrazumevaju utvrđene koncentracije na tri tipične lokacije: regionalna pozadina, urbana pozadina i uz saobraćajnice ("hot spots") (111, 113). Identifikacija izvora zagađenja vazduha zasnovana je na direktnom povezivanju izmerenih koncentracija čestica PM sa kategorijama izvora navedenim u inventaru emisija za odgovarajuća područja (110, 111).



Slika 10. Shematski horizontalni profil koncentracija čestica PM₁₀ iz vazduha životne sredine prema Lenschow-om pristupu

Izvor: ICARUS. Horizon 2020. Societal Challenge: Improving the air quality and reducing the carbon footprint of European cities. Integrated Climate forcing and Air pollution Reduction in Urban Systems. Project: 690105 – ICARUS. Ares(2016)1512245, 2016.

Procena kvantifikacije doprinosa izvora, zagađenju vazduha, zasnovana je na matematičkim proračunima, odnosno analizom razlike u koncentracijama čestica PM i njihovih komponenti, utvrđenih simultanim merenjima na reprezentativnim mestima (regionalna, urbana, duž saobraćajnica). Razlika u koncentraciji čestica PM utvrđenih na žarišnim mestima (blizina saobraćajnica) i urbanog pozadinskog područja, predstavlja lokalni doprinos saobraćaja, jer se smatra da je porast koncentracija čestica PM utvrđenih na lokaciji duž saobraćajnica isključivo posledica lokalnih emisija od strane saobraćaja, osim ako hemijski sastav čestica PM ne ukazuje na duge izvore (109, 110). Slično, razlika u koncentracijama čestica PM utvrđenih u urbanom pozadinskom i ruralnom pozadinskom području, podrazumevaju doprinos izvora unutar aglomeracije (urbano zagađenje vazduha životne sredine) (109, 112).

1.4. Uticaj meteoroloških faktora na koncentracije i hemijski sastav suspendovanih čestica PM_{2,5}

Masena koncentracija i hemijske komponente (sastojci) čestica PM_{2,5} su često na vremenskoj osnovi povezani, jer se generišu iz istih izvora zagađenja vazduha (70, 102). Međutim, klimatske varijacije i drugi prirodni faktori (topografija, vegetacija) značajno mogu uticati na koncentracije i hemijski sastav čestica PM, nezavisno od izvora zagađenja (114, 115, 116).

Meteorološki faktori, odnosno vetar (brzina i smer), temperature vazduha, količina padavina, relativna vlažnost vazduha i visina graničnog sloja atmosfere, su najvažniji u regulaciji varijacija koncentracija čestičnih materija u vazduhu životne sredine (117, 118, 119).

Veza između meteoroloških uslova i koncentracije čestica PM_{2,5} je prilično složena, zbog različitosti hemijskog sastava čestica PM_{2,5} i mešovitih atmosferskih procesa (118). Pojedine studije su ispitivale odnose između čestica PM i pojedinačnih meteoroloških varijabli, uključujući temperaturu vazduha, relativnu vlažnost vazduha, brzinu vetra i smer vetra (118). Drugi su razmatrali kombinovane efekte pomenutih parametara i sinoptičke meteorološke uticaje na čestice PM_{2,5} (118, 120). Hladni frontalni prolazi, povezani sa srednjim širinama ciklona, omogućavaju difuziju zagađujuć materija i dovode do varijabilnosti čestica PM_{2,5} u istočnoj Severnoj Americi,

Evropi i Istočnoj Aziji (118, 121, 122, 123). Utvrđeno je da hladni fronti utiču na povezanost čestica $PM_{2,5}$ sa temperaturom i relativnom vlažnošću vazduha u istočnim Sjedinjenim Državama (118).

Najviše koncentracije čestica $PM_{2,5}$ se često javljaju tokom stabilnih meteoroloških uslova, kao što je inverzija sa malim brzinama vetra (124). Autori pojedinih istraživanja navode da, zbog globalnog zagrevanja, smanjenja učestalost ciklona može uzrokovati prolongiranu stagnaciju i konačno češće epizode većih koncentracija zagađujućih materija tokom leta (125). Utvrđen je i značajan lokalni uticaj meteoroloških faktora, koji može da varira od mesta do mesta. Na primer, s jedne strane, visoka temperatura vazduha može promovisati formiranje sekundarnih aerosola (125) i povećati koncentracije čestica $PM_{2,5}$, ali, s druge strane, visoka temperatura takođe može promovisati konvekciju vazduha (125), čime se stvaraju bolji uslovi za difuziju čestica i smanjuju se koncentracije čestica $PM_{2,5}$. Temperatura vazduha, takođe, može uticati na koncentraciju čestica $PM_{2,5}$ zbog njenog uticaja na isparavanja NH_4NO_3 , ali i uticati na nivo emisije čestica $PM_{2,5}$ porekla domaćinstava (individualnih ložišta) i proizvodnje električne energije (125). Dakle, prostorne varijacije koncentracije čestica $PM_{2,5}$ jesu posledice uticaja meteoroloških faktora kroz niz suprotnih procesa, međutim, nepobitan je najznačajniji uticaj sinteze lokalnih meteoroloških uslova, topografije područja i hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$, odnosno izvora zagađenja (125).

Primeri prostorne varijacije koncentracija čestica $PM_{2,5}$ u funkciji meteoroloških uslova, uočeni su dominantno na prostoru Kine. Autor Chen sa saradnicima (119) je, proučavajući povezanost između čestica $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora u Kineskom urbanom području (grad Nanjing), u period 2013-2015 godine, utvrdio negativnu korelaciju čestica $PM_{2,5}$ i brzine vetra, temperature vazduha, relativne vlažnosti i precipitacije. Drugi autori (126) su utvrdili da koncentracije čestica $PM_{2,5}$ negativno koreliraju sa brzinom vetra i temperaturom vazduha, ali pozitivno sa vazдушnim pritiskom i relativnom vlažnošću vazduha. Autori studije u gradu Chengdu (Kina), navode da sa porastom relativne vlažnosti vazduha u rasponu od ~ 40 - 70%, dolazi do veće oksidacije SO_2 i NO_2 , što ukazuje da je veća relativna vlažnost vazduha značajno promovisala formiranje sekundarnih SO_4^{2-} i NO_3^- u česticama $PM_{2,5}$ i doprinela porastu koncentracije mase čestica $PM_{2,5}$ (126). Mnogi autori, dominantno sa područja Azije

(125), su utvrdili da povezanost koncentracije čestice $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora variraju i tokom različitih sezona. Chen je sa saradnicima (119) utvrdio da je korelacija čestica $PM_{2,5}$ i temperature vazduha bila negativna tokom leta i jeseni, ali pozitivna tokom zime i proleća. Takođe, od strane istog autora, utvrđeno je da vetar negativno korelira sa česticama $PM_{2,5}$ tokom zime, ali je zato tokom leta utvrđena prilično slaba korelaciona povezanost (127).

Rezultati trogodišnje studije u gradu Wuhan (Kina) (128) ukazuju na značajnu povezanost koncentracije čestica različitih veličina i brzine vetra. Utvrđeno je da su se koncentracija čestice $PM_{2,5}$ postepeno smanjivale s povećanjem brzine vetra, dok bi se koncentracije $PM_{2,5-10}$ povećavale zbog resuspenzije prašine pod jakim vetrom (128). Takođe, utvrđeno je da su koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i $PM_{2,5-10}$ bile smanjene za skoro 60% i 15%, redom, kada je brzina vetra bila do 6 m/s (128). Istraživanjem na području četiri grada Evrope (Helsinki, Atina, Amsterdam i Birmingham) utvrđena je i pozitivna i negativna povezanost brzine vetra sa koncentracijom čestica $PM_{2,5}$ (129). Negativna korelacija umerenih i jakih vetrova i čestica $PM_{2,5}$ je uslovljena uklanjanjem i transportom čestica iz atmosfera urbanih područja. Pozitivna korelacija je posledica doprinosa slabih vetrova koncentraciji čestica $PM_{2,5}$ (resuspenzija) u proseku sa 1,2 - 10,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ u svim urbanim područjima (129).

Procenjeno je da zanemarivanje regionalnih varijacija međusobne povezanosti koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora, čini njihovu povezanost još uvek nedovoljno jasnom (125). Yang (125) ističe da je potrebna analiza povezanosti čestica $PM_{2,5}$ sa meteorološkim uslovima, koja će obuhvatati veći broj gradova i područja, kao i varijacije među njima, sa posebnim osvrtom na rezimiranje uticaja različitih regija i godišnjih doba.

1.5. Uticaj suspendovanih čestica PM_{2,5} na ljudsko zdravlje

Sa prvobitnim istraživanjima uticaja zagađenja vazduha na ljudsko zdravlje, nakon magle u dolini Meze („Meuse“, Belgija) 1930. godine ili londonskog smoga 1952. godine (34), Rückerl ističe, da se nije mogao naslutiti značaj začetka istraživanja na tom polju (34). Samo tokom poslednjih 10-20 godina, došlo je do značajnog prirasta rezultata, iz mnogih istraživačkih disciplina (procena izloženosti stanovništva, epidemiološka posmatranja, kontrolisane studije izloženosti, toksikološka istraživanja), koji ukazuju na značajne negativne zdravstvene posledice izlaganja današnjim zagađujućim materijama iz vazduha životne sredine (34, 75). Autori opsežnog preglednog rada (34) ističu značaj razumevanja da su, usled svakodnevne izloženosti ljudske populacije zagađenju vazduha životne sredine, uticaji na zdravlje mogući u svim fazama života - od začeća do starosti (Slika 11).



Slika 11. Najosetljiviji periodi u životnom ciklusu čoveka
u odnosu na zagađenje vazduha

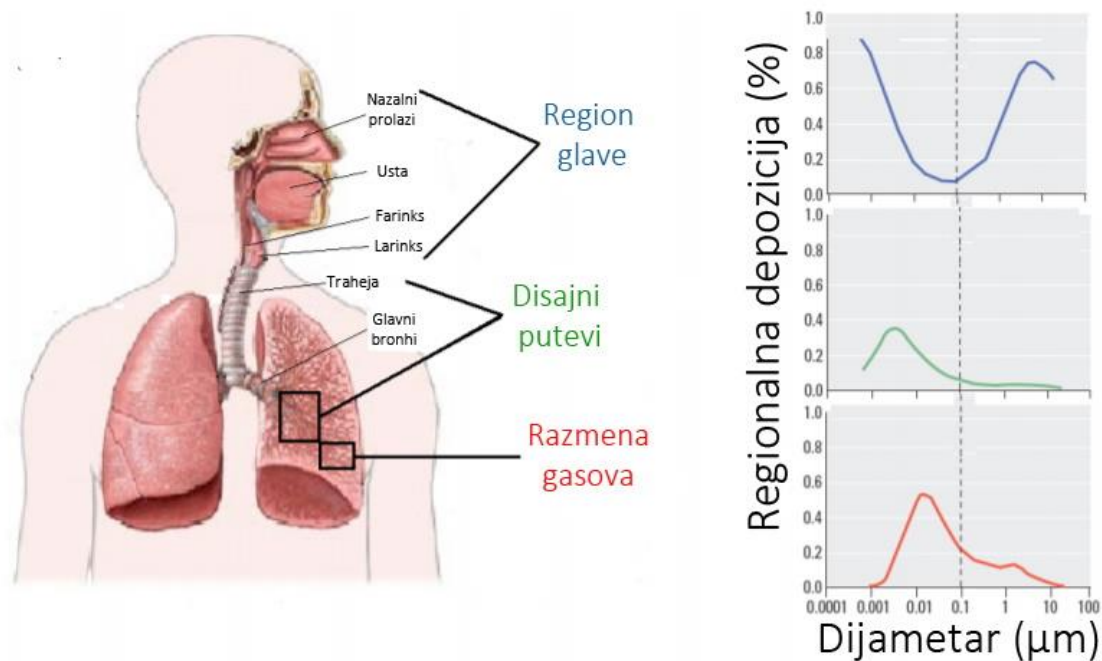
Izvor: Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrus J, Peters A. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.* 2011;23(10):555-92.

1.5.1. Depozicija suspendovanih čestica PM_{2,5} u respiratornom traktu

Patogena svojstva čestica PM određena su veličinom, hemijskim sastavom, rastvorljivošću, izvorom i drugim karakteristikama čestica PM (oblik, površina, broj) (130). Međutim, zdravstvene posledica inhaliranih čestica PM zavise i od načina disanja, volumena udahnutog vazduha, prisustva respiratornih bolesti, fizičke aktivnosti i godina života (131).

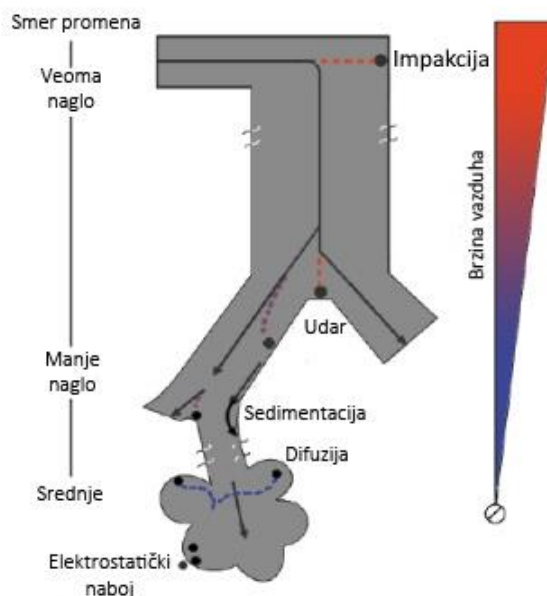
Elaborirajući niz fizioloških i patoloških reakcija, koje su u funkciji međusobne zavisnosti karakteristika čestica PM i ljudskog organizma, većina autora ukazuje na značaj veličine čestica i hemijskog sastava (opisani u prethodnom poglavlju), kao i njihove depozicije u respiratornom traktu, skladištenja i uklanjanja (izlučivanja) iz organizma (132, 133)

Frakcije čestica PM (od 1 nm do 10 µm) koje ulaze kroz nos ili usta nazivaju se inhalatornim suspendovanim česticama (131). Nakon udisanja, čestice PM se mogu deponovati duž disajnih puteva ili se, pak, mogu izdahnuti (Slika 12) (131). Deo inhalatornih čestica PM koje se deponuju duž respiratornog trakta naziva se respirabilna frakcija. U respiratornom traktu, odnosno duž gornjeg disajnog puta (nos, usta, farinks i larinks), donjeg disajnog puta (traheja, bronhije i bronhiole) i sistema razmene gasova (terminalne i respiratorne bronhiole, alveole) (Slika 12) čestice PM se najčešće deponuju putem tri mehanizma: impakcija, sedimentacija i difuzija (udar) (Slika 13) (131). Primarni mehanizam kojim će se PM deponovati zavisi od njihove veličine i mesta depozicije duž respiratornog trakta (134). Manje značajni mehanizmi depozicije su intercepcija (dodir čestica sa zidovima disajnih puteva, bez menjanja pravca) i elektrostatički naboj (135).



Slika 12. Shematski prikaz najverovatnijeg modela depozicije čestica PM duž respiratornog trakta u zavisnosti od njihove veličine

Izvor: Bezzemer Gillina FG. Particle deposition and clearance from the respiratory tract. Master thesis. Institute for Risk Assessment Sciences. University of Utrecht, Netherlands; 2009.



Slika 13. Glavni mehanizmi depozicije (taloženja) čestica PM u respiratornom traktu

Izvor: Hussain M, Pierre M. Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases Part-I. The Health. 2011;2:51-56.

Impakcija čestica PM posledica su promene pravca strujanja vazduha kroz disajne puteve. Čestice koje su najbliže zidu disajnog puta, slede svoj originalni smer, umesto prilagođavanja strujanju vazduha, odnosno ne prate zakrivljenost disajnog puta (Slika 13) (135). Srazmerno je proporcionalan veličini čestica PM i brzini protoka čestica. Stoga, karakterističan je mehanizam depozicije za čestice promera većih od 1 μm u gornjim i donjim disajnim putevima. Naime, pri većim brzinama protoka vazduha, karakterističnim za nazofaringealnu i traheobronhijalnu regiju, veće čestice se zadržavaju najviše zbog udara (impakcije) čestica u zidove disajnih puteva na zakrivljenim mestima i bifurkacijama (čestice dodiruju površinu čak i ako njena putanja ne odstupa od struje vazduha) (135).

Sedimentacija čestica PM posledica je uticaja sile gravitacije. Verovatnoća mehanizma sedimentacije zavisi od veličine čestice PM, brzine strujanja vazduha, dimenzija disajnih puteva i udaljenosti čestica od disajnog zida (Slika 13) (135). Mehanizam sedimentacije srazmerno je proporcionalan veličini čestice PM, a obrnuto brzini protoka vazduha. Karakteristična je za čestice veće od 0,5 μm i postaje dominantan mehanizam depozicije u bronhiolama i alveolama, gde se protok vazduha usporava, te se vreme zadržavanja čestica povećava. Međutim, čestice promera većih od 2,5 μm , za koje je karakteristična sedimentacija, nemaju mogućnost depozicije do alveola, jer bivaju uklonjene već u gornjim respiratornim putevima, mehanizmima sedimentacije i impakcije (Slika 13) (135).

Difuzija čestica u respiratornom sistemu je posledica slučajnog molekularnog kretanja tzv. Braunovo kretanje (Slika 13) (135). Predstavlja mehanizam depozicije za čestice promera $<0,5 \mu\text{m}$ usled njihovog sudara sa molekulima. Doprinosi kretanju čestica PM duž vazdušnog toka strujanja, ali i sedimentaciji nakon kontakta sa zidovima disajnih puteva. Verovatnoća depozicije čestice mehanizmom difuzije obrnuto je proporcionalna veličini čestice i protoku vazduha. Stoga, izražena difuzija je karakteristična u alveolama, zbog dužeg vremena boravka čestica PM i manjih disajnih puteva (135).

Čestice $\text{PM}_{0,1}$ imaju efikasno taloženje u sva tri regiona. Čestice $<0,001 \mu\text{m}$ imaju najviše taloženja u području glave, dok se čestice $<0,01 \mu\text{m}$ talože uglavnom u alveolarnom regionu (Slika 12) (135). Stuart je, u svom preglednom radu, napomenuo da na veličinu čestica može uticati higroskopnost, što je hemijsko svojstvo čestice da

apsorbuje ili adsorbuje molekule vode iz veoma vlažnog respiratornog trakta, i na taj način povećava svoj prečnik (136). Stoga, navedeno hemijsko svojstvo takođe utiče na totalno i regionalno taloženje, jer svi mehanizmi depozicije zavise od veličine čestica (131).

Eliminacija deponovanih čestica iz respiratornog trakta, bilo transportom čestica ili apsorpcijom u krv, predstavlja klirens čestica. U različitim delovima respiratornog trakta zastupljeni su i različiti mehanizmi klirensa (135).

Mehanički klirens je prvenstveno zastupljen u gornjim disajnim putevima i podrazumeva kihanje, kašalj ili gutanje deponovanih čestica. Dešava se odmah nakon deponovanja čestica u nazalnom ili oralnom disajnom putu. Kašalj je mehanizam od kritične važnosti za higijenu disajnih puteva i produkciju sluzi. Obično se čestice prečnika $>5,0$ μm zaustavljaju i talože pomoću nosnih dlačica (135).

Mukocilijarni klirens je primarni mehanizam za uklanjanje nerastvorljivih deponovanih čestica u traheo-bronhiolarnom putu (135). Putem sluzi deponovane čestice se iz traheje i bronha transportuju do farinksa, gde mukus biva progutan ili uklonjen kao ispljuvak. Procenjeno je da se, u slučaju odsustva bilo koje bolesti, većina deponovanih čestica ukloni u roku od 24 sata iz traheje i bronha. Međutim, mukocilijarni klirens progresivno opada od većih (bronhija) do manjih disajnih puteva (bronhiola) (135).

Klirens posredovan makrofazima je aktivan u alveolarnoj regiji i pomaže transport deponovanih čestica prema bronhiolarnim disajnim putevima (135). U slučaju da je transport prema bronhiolima onemogućen, deponovane čestice se putem makrofaga preusmeravaju na cirkulaciju ili limfni sistem. S obzirom da je samo ograničen broj makrofaga aktivan u klirensu čestica, smatra se mehanizmom sporog uklanjanja čestica (135).

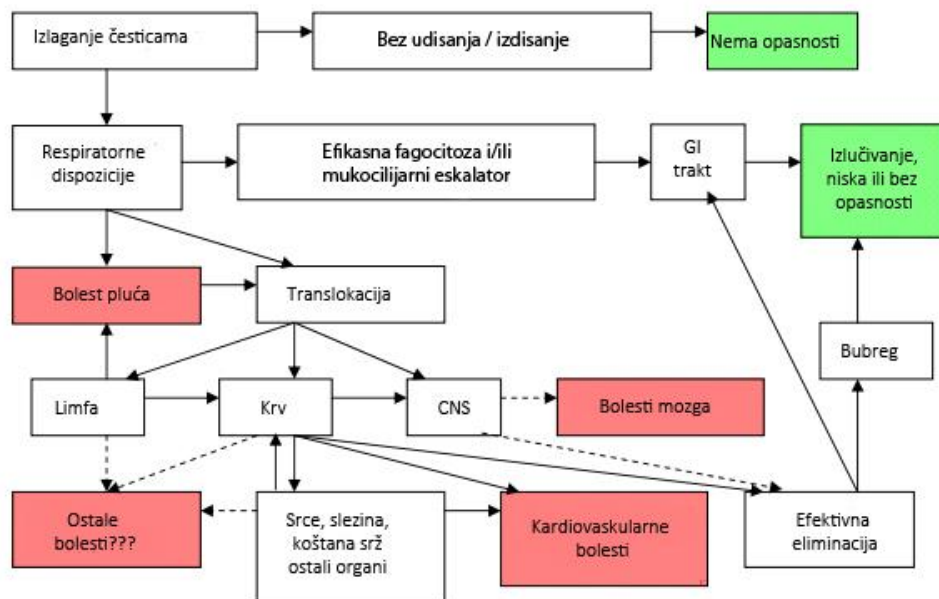
Translokacija je mehanizam koji podrazumeva prenos apsorbovanog materijala iz respiratornog trakta u druga tkiva (135). Čestice $\text{PM}_{0,1}$ i relativno nerastvorljive čestice, mogu se premestiti iz traheo-bronhijalne ili alveolarne regije u druge delove pluća i telesna tkiva. U traheobronhijalnom regionu obično se vrši translokacija preko peribronhijalne regije. U alveolama, translokacija se odvija preko epitela alveola direktno u intersticijum (135). Mali deo čestica $\text{PM}_{0,1}$ se može premestiti u cirkulatorni sistem i samim tim može doći do ekstrapulmonalnih organa kroz krvotok (jetra, mozak,

srce....). Utvrđeno je da se čestice $PM_{0,1}$ mogu preneti posredstvom nosnog epitela u mozak i druge delove centralnog nervnog sistema, posebno u slučaju hronične upale nosne mukoze, uz narušen integritet epitela, odnosno barijere nos-mozak (135).

Apsorpcija u krvotok (cirkulaciju) je mehanizam klirensa koji podrazumeva kretanje rastvorljivih supstanci ili materija putem krvotoka bez obzira na mehanizam (135). Apsorpcija u krvotok je dvostepeni proces i podrazumeva disocijaciju čestica u supstance koje se mogu apsorbovati u krv (rastvaranje), a zatim apsorpciju rastvorenih jedinjenja nastalih iz čestica ili jedinjenja deponovanih u rastvorljivom obliku. Vreme, tj. brzina apsorpcije čestica u krvotok zavisna je dominantno od brzine rastvaranja čestica. Shodno tome, toksičnost čestica PM je takođe usko povezana sa njihovom brzinom rastvaranja (135).

Najveći broj čestica PM koji se udiše, se, takođe, putem respiracije i eliminiše, te sledstveno tome ne predstavlja opasnost po zdravlje (Shema 1) (131). Većina čestica PM koje se talože (deponuju) u respiratornom traktu mogu se efikasno eliminisati iz tela putem gastrointestinalnog trakta, te se, takođe, ne očekuje da predstavljaju opasnost (131). Međutim, čestice PM koje se zadržavaju u disajnim putevima ili se pak translociraju u druge organe, predstavljaju potencijalnu opasnost po ljudsko zdravlje (Shema 1) (131).

Mesto depozicije čestica PM i mehanizmi uklanjanja zajedno utiču na moguće zdravstvene efekte (Shema 1) (131, 137, 138).



Shema 1. Zavisnost zdravstvenih efekata čestica PM od njihove deponicije u respiratornom traktu i mehanizama uklanjanja

Izvor: Bezzemer Gillina FG. Particle deposition and clearance from the respiratory tract. Master thesis. Institute for Risk Assessment Sciences. University of Utrecht, Netherlands; 2009.

Do sada je opisano nekoliko mehanizama uzročno - posledične veze negativnog uticaja čestica PM na zdravlje (137, 138, 139, 140).

1.5.2. Mehanizmi uzročno-posledične veze suspendovanih čestica i zdravlja na nivou respiratornog sistema

Oksidativni stres i inflamatorni odgovor

Ćelijska redoks ravnoteža je neophodna za održavanje normalnih bioloških procesa (137). Pod fiziološkim uslovima, ćelije proizvode antioksidanse koji neutrališu slobodne kiseonične radikale ("Reactive Oxygen Species" - ROS) (141). Međutim, egzogeni i endogeni stimulansi često narušavaju ravnotežu između oksidacije i antioksidacije i prave prekomernu akumulaciju ROS-a, izazivajući oksidativni stres (138, 142).

Oksidativni stres može biti indukovano direktno površinom čestica PM, rastvorljivim jedinjenjima, poput prelaznih metala, koji se oslobađaju s površine čestica PM ili organskim jedinjenjima (131). Utvrđeno je da čestice PM_{0,1}, zbog veće površine, stvaraju relativno više ROS-a u poređenju sa česticama PM većih promera. Ulazak čestica PM u mitohondrije i indukcija imunih ćelija koje su sposobne da stvaraju ROS, predstavlja dodatni mehanizam indukcije oksidativnog stresa (131). Dokazano je da bronhijalne epitelne ćelije, makrofazi i neutrofilni, kao glavne mete čestica PM u plućima, mogu stvarati ROS stimulacijom od strane čestica PM in vitro (137). Li i saradnici (143) su uporedili reakcije oksidativnog stresa, za čestice u različitim ćelijama, i otkrili da bronhijalne epitelne ćelije generišu više ROS-a i da su podložnije citotoksičnim efektima više od makrofaga (137). Visok nivo ROS-a povećava infiltraciju neutrofila u plućnom tkivu i aktivira neutrofile da produkuju još veću količinu ROS. Međutim, do sada nije pronađen nijedan dokaz da čestice PM mogu povećati produkciju ROS-a u humanom plućnom tkivu (137). ROS izaziva značajno oštećenje tkiva i, nadalje, indukuje različitu kaskadu prenosnih signala u navedenom procesu. Intenzitet oksidativnog stresa zavisi od veličine čestica sadržanih u frakciji čestica PM_{2,5} kao i od njegovih hemijskih sastojaka. Policiklični aromatični ugljovodnici (PAH), organski sastojci i teški metali se izdvajaju kao sastojci čestica PM koji ozbiljno pojačavaju efekte oksidativnog stresa (138).

Čestice PM iniciraju kaskadu procesa koji vode ka razvoju sistemske upale (144). Nakon udisanja čestica PM, imunološki odgovor počinje u respiratornim makrofazima, smeštenih unutar bronhiola (145). Pored toga, čestice PM oksidšu molekule surfaktanata koji prekrivaju površinu alveole. Oksidovani molekuli surfaktanata vezuju se za TLR4 i pojačavaju aktivaciju respiratornih makrofaga (146). Aktivirani makrofagi produkuju interleukin (IL)-6, IL-1, faktor nekroze tumora alfa i druge proinflamatorne citokine (147), što rezultira lokalnom upalom. Nadalje, lokalno produkovani citokini, putem cirkulacije, stižu do ciljnih organa i, sledstveno tome, indukuju hronični sistemski inflamatorni odgovor i oksidativni stres (138). Aktivacija transkripcije citokina, hemokina i adhezionih molekula, igra važnu ulogu u PM - indukovanoj upali pluća. Utvrđeno je da hemijski sastojci čestica PM određuju diferencijalne inflamatorne odgovore u plućima (137). Kod hronične opstruktivne bolesti pluća (HOBP), karakterističan je porast alveolarnih makrofaga, CD8⁺ ćelija i neutrofilna infiltracije

(148). Porast makrofaga pokazuje da mukocilijarni klirens nije u potpunosti efikasan, što rezultira zadržavanjem čestica u plućima. Kaskada inflamatornih procesa uzrokuje opstrukciju disajnih puteva i oštećenje epitela, što može rezultirati i emfizemom pluća. Patološki procesi kod astme više imaju alergijsku pozadinu, gde su uključeni eozinofili i CD4⁺ ćelije (148). Antigeni, poput polena ili grinja iz kućne prašine, su okidači restrikcije klirensa čestica PM i produkovane sluzi, što rezultira ograničenim protokom vazduha (nedostatak vazduha) (131). Utvrđeno je i da izlaganje česticama PM_{0,1} izaziva maturaciju dendritičnih ćelija. Dendritične ćelije predstavljaju antigen T ćelijama u plućnim limfnom čvorovima, što u slučaju astme rezultira pojačanim alergijskim Th2 odgovorom (131).

Citotoksičnost i karcinogeneza

Wang sa saradnicima (137) navodi da je ćelijska smrt, još jedan, mehanizam za indukovanje respiratornih bolesti izazvane česticama PM. Smatra se da oksidativni stres, kaskada inflamatornih medijatora i oštećenja dezoksi-ribo-nukleinske kiseline (DNK), učestvuju u PM-indukovanoj ćelijskoj smrti (137). Nedavno se pokazalo da su prisutni različiti tipovi ćelijske smrti (apoptoza, autofagija i nekroza) u plućnom tkivu koji su povezani sa izlaganjem česticama PM. Wang je istakao rad Deng i saradnika, koji su ustanovili da čestice PM_{2,5} mogu aktivirati spoljašnji i unutrašnji put apoptoze i povećati autofagiju u ćelijama (137, 149). Jedan od važnih tumorski supresora, takođe je aktiviran čestičnim zagađenjem vazduha, posredujući u mitohondrijskoj disfunkciji koja indukuje apoptozu (137). Analizirajući hemijski sastav čestica PM, Schiliro i saradnici su utvrdili da je veći inhibirajući efekat jona rastvorljivih u vodi u poređenju sa organskim sastojcima čestica PM (137, 150). PAH-ovi su pogodni za prodiranje u ćeliju, remeteći strukturu DNK, izazivajući njeno oštećenje (151). Međutim, autor Wang ističe da su neke studije pokazale da čestice PM ipak nemaju proapoptotski efekat na ćelije pluća (137).

Smatra se da bi mehanizam promovisanja karcinogeneze, od strane čestica PM, bio zasnovan na izazivanju oštećenja DNK i genomske nestabilnosti (137). Hornberg i saradnici su in vitro otkrili razmenu sestrinskih hromatida, u bronhijalnim epitelnim ćelijama, nakon izlaganja česticama PM₁₀ i PM_{2,5} (137, 152). Utvrđeno je da PAH u

česticama PM može direktno da deluje na DNK izazivajući aduktne mesta u DNA i njihovu neaktivnost. Utvrđeno je da je izloženost česticama PM doprinela somatskim mutacijama kod raka pluća i da je nekoliko mutacija gena imalo pozitivnu povezanost sa izlaganjem BaP-u (137). Pored toga, oksidativan stres, indukovano česticama PM, oštećenje DNK i alternacija ekspresije gena remete progresiju ćelijskog ciklusa na različitim fagima, indukujući genetsku nestabilnost (137).

1.5.3. Mehanizmi uzročno-posledične veze suspendovanih čestica i zdravlja na nivou kardiovaskularnog sistema

Utvrđena je snažna veza između čestica PM i smrtnih slučajeva usled kardiovaskularnih oboljenja i prepoznato je nekoliko puteva koji objašnjavaju vezu između čestica PM i kardiovaskularnih bolesti (139). Direktni put podrazumeva apsorpciju čestica PM_{2,5}, posebno PM_{0,1}, u krvotok i udaljene ciljane organe. Jedan od indirektnih puteva je posredovan plućnim oksidativnim stresom i inflamatornim odgovorom, koji je manje akutan i javlja se nakon nekoliko sati ili dana inhalacije (139). Interakcija autonomnog nervnog sistema posredstvom specifičnih receptora pluća, takođe je jedan od indirektnih puteva koji je dokumentovan od strane mnogih autora (139).

Direktno delovanje PM_{0,1} na kardiovaskularni sistem

Utvrđeno je da izlaganje česticama PM_{0,1}, čak i pri niskoj koncentraciji, zbog apsorpcije u krvotok i udaljene organe, može da izazove potencijalnu kumulativnu toksičnost (139). Posle taloženja na vaskularnom endotelu, PM_{0,1} mogu agravirati lokalni oksidativni stres i lokalnu inflamaciju, što dovodi do nestabilnosti aterosklerotskog plaka, te do stvaranja tromba. Eksperimentalnim studijama (kod pacova), uočena je povećana ejakciona (istisna) frakcija i preuranjeni ventrikularni otkucaji nakon intravenskog ubrizgavanja PM_{0,1}, a u uslovima izolacije od karakterističnog vazduha životne sredine (139, 153). In vivo je utvrđeno i da inotropni efekat čestica PM_{0,1}, povećavajući snagu srčane kontrakcije i potrebe miokarda (srčanog mišića) za kiseonikom, može pogoršati simptome ishemije kod pacijenata sa

koronarnom bolešću. Međutim, in vitro studije uticaja čestica PM_{0,1} na srčanu performansu, pokazali su efekat depresije srčane funkcije, koja može izazvati ometanje srčanog rada i pogoršanje srčane funkcije (154). Kontradiktorni rezultati in vivo i in vitro studija mogli bi se objasniti različitim efektima cirkulišućih čestica PM i čestica sa direktnim kardiotsičnim efektom (155). Navedene studije pokazuju kardiotsične efekte čestica PM koji do sada nisu observirani na ljudima (139).

Indirektan efekat na kardiovaskularni sistem

Inflamatorni put i oksidativni stres – posledica su deponovanja čestica u plućnom tkivu, koji predstavljaju značajne trigere za navedene procese (139). Povećan nivo cirkulatornih proinflamatornih citokina (C reaktivni protein (CRP), IL-6, IL-8 i IL-1p) su primećeni i kod zdravih ispitanika nakon izlaganja česticama PM iz vazduha životne sredine (139). Sistemska inflamacija je dobro poznat faktor rizika za progresiju ateroskleroze, a i proinflamatorni medijatori su povezani sa povećanom koagulacijom krvi i endotelnom disfunkcijom, koji mogu pogoršati ishemiju miokarda. Dokazi studija ukazuju i na uključenost ROS-zavisnih mehanizama u proinflamatorni put koji je indukovano PM česticama (139). U in vivo studijama je utvrđeno da su povećane količine ROS-a prisutne u plućnom i srčanom tkivu pacova, nakon izlaganja česticama PM (156). ROS se povezuje sa razvojem ateroskleroze, vaskularne disfunkcije, srčane aritmije i oštećenjem miokarda (139). Eksperimenti su pokazali da višak ROS-a dovodi do narušavanja vaskularne dilatacije i vazokonstriktora u ex vivo i in vivo studijama (157, 158). Osim toga, izlaganje česticama PM povezano je sa povećanjem koncentracije endotelina-1 u plazmi, što je potencijalni potentni endogeni vazokonstriktor, koji uzrokuje disfunkciju vaskularnog endotela. Iako je povezanost čestica PM i vaskularne disfunkcije dokumentovana u mnogim publikacijama, rezultati za krvni pritisak, kao odgovor na akutnu izloženost česticama PM, su nedosledni (139). Na osnovu pojedinačnih studija, utvrđeno je da izlaganje česticama PM ima više za posledicu aktiviranje simpatičkog kardiovaskularnog tona (povećan dijastolni krvni pritisak) u odnosu na parasimpatički (139).

Lokalna inflamacija plućnog tkiva, praćena sistemskom, može dovesti i do poremećaja krvno-moždane barijere, što olakšava prenos čestica PM u moždane

strukture (131). Cirkulišući citokini sistemske inflamacije, takođe, mogu proći krvno-moždanu barijeru i izazvati dodatne upalne reakcije (131, 159) koje mogu izazvati, ali i pogoršati povrede cerebralnog tkiva. Smatra se da porast sistolnog i diastolnog krvnog pritiska i redukcija cerebralnog protoka krvi, u danima povećane izloženosti česticama PM, mogu doprineti izumiranju cerebralnog tkiva (moždani udar). In vitro studije pokazuju da su pojedini hemijski sastojci čestica PM i neurotoksični (144).

Interkacija autonomnog nervnog sistema – predstavlja indirektan put uticaja čestica PM na kardiovaskularni sistem koji je dominantno zasnovan na hemijskom sastavu čestica PM (metali) (139). Smatra se da čestice PM stimulišu autonomni nervni sistem (139), narušavajući autonomnu ravnotežu i favorizujući aktivnost simpatičkog nervnog sistema. Aktivirani simpatički ton je usko povezan sa povećanim kardiovaskularnim rizikom putem indukcije prohipertenzivne vazokonstrukcije, predisponirajući tako srčane aritmije (139). Utvrđeno je da se u roku od nekoliko minuta izlaganja visokim koncentracijama čestica PM pokreće fiziološka kaskada koja vodi ka porastu krvnog pritiska (hipertenziji). Iako nije utvrđen definitivni mehanizam za povećanje krvnog pritiska, hipotetički je razmatrano nekoliko mehanizama. Jedna od hipoteza je indukcija imunološkog odgovora posredstvom mikrobiološke komponente čestica PM (139, 160). Druga hipoteza je da se posredstvom inflamacije pluća stimuliše oslobađanje endotelina-1 koji izaziva plućnu vazokonstrukciju, što posledično stimuliše aferentna vlakna vagusnog nerva i pruzrokuje promenu sistemske autonomne ravnoteže. Nastala vazomotorna disfunkcija može doprineti i hipotenziji izazvanoj vazokonstrukcijom (144, 161). Povećani krvni pritisak uzrokovan izloženošću česticama PM povećava rizik od ishemijskog moždanog udara (144, 162). Upotrebom transkranijalnog Doplerskog ultrazvuka utvrđeno je da povećani krvni pritisak kao posledica izloženosti česticama PM_{2,5} izaziva promene moždane cirkulacije. Registrovani su smanjena brzina protoka krvi u moždanima strukturama i povećan kardiovaskularni otpor (144, 163).

Generalno posmatrano, izloženost ljudskog organizma česticama PM životne sredine se ne može sprečiti, samim tim ni njegov doprinos negativnim zdravstvenim

efektima, uključujući kardiovaskularne i respiratorne zdravstvene efekte, dijabetes i preranu smrt (131, 164).

1.5.4. Istraživanja o uticaju suspendovanih čestica na ljudsko zdravlje

Do danas, većina studija o uticaju zagađenja vazduha na ljudsko zdravlje su realizovane na području Severne Amerike i Evrope (2, 17, 33, 34, 69, 81). Međutim, poslednjih pet godina primetan je trend porasta studija sa područja Azije, koje takođe dokumentuju negativne zdravstvene efekte kao posledica uticaja suspendovanih čestica iz vazduha životne sredine (20, 26, 27, 28, 30, 75). Prema najnovijim procenama studije globalnog opterećenja bolestima, u 2017 godini, 5,25% svih smrtnih slučajeva se pripisalo česticama PM_{2,5} iz vazduha životne sredine, što ga čini 8. vodećim faktorom rizika za smrt, sa ukupno 2,94 miliona smrtnih slučajeva na globalnom nivou (3).

Uopšteno, istraživanja o uticaju zagađenja vazduha na zdravlje predstavljena su impresivnom literaturom koja potiče iz nekoliko relevantnih disciplina, uključujući i eksperimentalne i epidemiološke studije.

Rezultati eksperimentalnih studija zasnovanih na izalaganju ljudi, životinja i ćelijskih kultura određenim zagađujućim materijama u kontrolisanim uslovima, sa smanjenim rizikom od pristrasnosti, su praktični i korisni (165, 166, 167). Međutim, takve studije mogu istovremeno ispitivati uticaj jedne ili dve zagađujuće materije, a u stvarnosti stanovništvo je izloženo smeši gasova i čestica PM, sa većim stepenom nesigurnosti (165, 166). Dodatno, predmeti istraživanja eksperimentalnih studija takođe mogu biti problematični, jer rezultati studija na životinjama ne mogu biti generalizovani na ljude, niti ispitivanja na zdravim odraslim mogu biti generalizovana za nerođene, novorođenčad, decu, adolescente ili osobe sa teškim oboljenjima (166). Konačno, eksperimentalnim studijama je teško sagledati efekte dugotrajne izloženosti, jer je teško izbeći izloženost drugim toksičnim česticama i spoljašnjim uticajima okoline (167, 168). Rezultati iz komplementarnih disciplina, kao što su toksikologija životinja i kliničke studije o izloženosti ljudi, takođe su doprineli saznanju o tome kako zagađenje vazduha utiče na zdravlje, posebno u karakterizaciji bioloških mehanizama koji leže u pozadini negativnih zdravstvenih uticaja (169). Dokazi o mehanizmima smanjuju nesigurnost, posebno u ekstrapolaciji rizika za izloženost pri nižim nivoima zagađenja vazduha za koje nedostaju epidemiološki podaci (169). Za čestice PM i druge

zagađujuće materije iz vazduha, takvi dokazi su uglavnom zasnovani na rezultatima epidemioloških istraživanja, koja pokreću postavljanje standarda/normativa za analizirane zagađujuće materije (169).

Epidemiološke studije se sprovode u opštoj populaciji i odabranim grupama (kohortama) u kojima se može proučavati širok raspon zdravstvenih efekata, uključujući akutne, subakutne i hronične. Međutim, glavna problematika epidemioloških studija je činjenica da nijedna od bolesti vezanih za zagađenje vazduha nije specifična, niti je kratkoročna varijacija zagađenja vazduha jedini uzrok dnevnih fluktuacija zdravstvenih efekata (168). Takođe, kompleksnost načina na koje zagađujuće materije doprinose ukupnom efektu (kolinearnost, s jedne strane, i interakcija zagađujućih materija, s druge strane) ostaje kao jedno od ograničenja (170) i pored dostupnih adekvatnih statističkih metoda. Ipak, najvažniji izvor pristrasnosti u epidemiološkim studijama, prema nekim autorima (171), jeste procena izloženosti zagađenju vazduha životne sredine i pogrešna kalsifikacija izloženosti, odnosno neadekvatna mera prostorne varijabilnosti zagađenja vazduha (172).

Epidemiološka istraživanja, i pored opisane problematike, predstavljaju najčešći i najrasprostranjeniji tip istraživanja uticaja zagađenja vazduha na zdravlje ljudi, jer direktno ukazuju na zdravstveni uticaj pri izlaganju stanovništva (166, 167). Za čestice PM, kao i druge vodeće zagađujuće materije iz vazduha životne sredine, epidemiološki dokazi imaju istaknutost u regulatornom procesu upravljanja kvalitetom vazduhu, kao i u izradi smernica (166, 167).

Uticaj čestica PM na zdravlje ljudi su proučavani, uglavnom, kroz dva dizajna epidemioloških studija:

1. Studije vremenskih serija, koje koriste agregirane podatke, a jedinica agregacije je vremenski period (obično jedan dan ili jedna godina). Podaci se često rutinski prikupljaju i dostupni su za duže vremenske periode. Jedna od prednosti navedenog dizajna je da ne postoje konfuzije po pojedinačnim karakteristikama. Međutim, postoje potencijalno pridružene (zbunjujuće) varijable koje se razlikuju na dnevnoj / sezonskoj / godišnjoj osnovi (npr. temperatura vazduha) (173).

2. Panel studije se zasnivaju na intezivnom praćenju jedne kohorte, u relativno kratkom vremenskom periodu. Često obuhvataju dnevne individualne podatke (173). Ključne prednosti kohortne studije su mogućnost procene pojedinačnih faktora rizika osetljivosti stanovništva, odnosno, prilagođenosti individualnim faktorima (status pušenja, nacionalnost, indeks telesne mase i zanimanje). Iako upotreba informacija na individualnom nivou smanjuje potencijal pristrasnosti, ograničenja kohortnih studija ogledaju se u adekvatnosti podataka o individualnim faktorima, prikladnosti modela koji se koriste za prilagođavanje, a često i u nedostatku podataka o ličnoj izloženosti (173, 174).

Odnedavno, sve češće su zastupljene i studije slučajeva – ukršteni dizajn (“*crossover study*”). Dani sa događajem se upoređuju sa danima bez događaja, a podudarni su sa pridruženim (zbunjujućim) događajima (varijablama). Navedeni pristup zahteva manju dostupnost podataka i ima širu primjenjivost (173).

Tokom poslednje dve do tri decenije, došlo je do porasta broja istraživanja o kratkoročnim zdravstvenim efektima čestica PM (“*short-term study*”) (37, 81). Većina istraživanja zasnovana su na ispitivanju uticaja masene koncentracije, prvenstveno čestica PM₁₀, a potom i čestica PM_{2,5}, dok je za čestice PM_{0,1} još uvek prisutan mali broj istraživanja (37, 175). Iako postoje pojedini dokazi da patološka svojstva (toksičnost) čestica PM zavise od njihovih hemijskih karakteristika i, samim tim, od njihovih izvora (173), istraživanja o uticaju sastava čestica PM na zdravlje ljudi su još uvek retka.

1.5.5. Značaj epidemioloških studija vremenskih serija

Među svim epidemiološkim studijama, studije vremenskih serija, za dokumentovanje hroničnih ili akutnih negativnih zdravstvenih efekata zagađujućih materija iz vazduha životne sredine, imaju značajan porast od izdavanja Smernica za kvalitet vazduha za Evropu (1987. godine) (37, 44). Upravo rezultati studija vremenskih serija su relevantni za regulatorne procese, koji postavljaju standarde za zagađujuće materije na nivoima koji se smatraju dovoljno sigurnim za ljudsko zdravlje (37,174).

Studije vremenskih serija odnose se na vremensku varijaciju zagađenja vazduha i neke varijable odabranog zdravstvenog ishoda, kao što su dnevni mortalitet, prijem u bolnicu, hitni prijemi itd. (44). Izvori zdravstvenih podataka su raznovrsni: za mortalitet se obično koriste rutinski statistički podaci; za prijem u bolnicu, podaci su ponekad dostupni u centralnim registrima, ali ponekad se dobijaju iz pojedinačnih bolnica; kada se proučavaju "paneli" (zdravi ili bolesni subjekti), zdravstveni podaci se obično dobijaju kroz dnevnike praćenja, merenja funkcije pluća, itd. (44).

Postoji nekoliko metodoloških problema koji su uključeni u analizu studija vremenskih serija. Jedan od njih je da varijable odabranih zdravstvenih ishoda obično pokazuju neki obrazac tokom vremena (npr. veći mortalitet tokom zime ili tokom toplotnih talasa) koji se moraju uzeti u obzir pre nego što se pristupi ispitivanju uticaja zagađenja vazduha na zdravlje (44). U nekim dugoročnim studijama (nekoliko godina), uočeni su pored sezonskih ciklusa i dugoročni trendovi u zdravstvenim podacima (44).

Sa javnozdravstvenog aspekta posebno se ističe značajnost oblika odnosa „izlaganje - odgovor“ između čestica PM i zdravlja, jer otkriva moguće postojanje sigurnog nivoa zagađujuće materije, u određenim rasponima koncentracija, i veličine zdravstvenog efekta (173). Rezultati istraživanja su pokazali da je odgovor na izloženost česticama PM kompatibilan sa ravnom (linernom) linijom i da nema definisanog (sigurnog) praga u opsegu koncentracija utvrđenih u evropskim i severnoameričkim gradovima (173).

Dodatna velika prednost studija vremenskih serija je da se fokusiraju najčešće na dnevne vremenske varijacije (jedan dan) do najviše sedam dana (nedelja dana). U kratkim periodima, mnoge individualne karakteristike (socioekonomske determinante, bihevioralni faktori rizika (pušenje, ishrana), genetski faktori, itd.) se ne menjaju, tako

da se mogu ignorisati kao potencijalne konfuzije (44, 173). Često se dovodi u pitanje javnozdravstveni značaj kratkoročnog efekta mortaliteta (173). Pojedini kritičari su sugerisali da samo veoma osetljivi pojedinci mogu biti “pogođeni” izlaganjem zagađenju vazduha (173). Međutim, ako bi ta hipoteza “berbe” bila istinita, primetno povećanje smrtnosti bi, u narednim danima vremenske serije, bilo praćeno srazmernim naknadnim smanjenjem smrtnosti (173). Ispitivanja sa distribuiranim modelima zaostajanja pokazala su da se to ne dešava. Naime, i oko 40 dana nakon izlaganja, smrtnost ostaje povišena (173, 176). SZO u pogledu vremenskih serija, ističe značaj kratkoročnih studija, s obzirom da dugoročne studije ne mogu uhvatiti adekvatne varijacije koje su osnov u bilo kojoj analitičkoj studiji (44). Takođe, varijacije u kratkoročnim (npr. dnevnim) srednjim koncentracijama zagađujućih materija, često su mnogo veće od varijacija srednjih godišnjih koncentracija, koje čine osnovu dugoročnih efekata zagađenja vazduha na zdravlje (44). Navedeno je važno, jer je dovoljna varijacija izloženosti preduslov u bilo kojoj analitičkoj epidemiološkoj studiji (44).

Prema metodologij SZO, najpouzdaniji zdravstveni ishod, od značaja za procenu kratkoročnog uticaja kvaliteta vazduha na zdravlje ljudi, jeste ukupan mortalitet, a odmah potom kardiovaskularni i respiratorni bolnički morbiditet (Slika 14) (44, 177).



Slika 14. Piramida zdravstvenih efekata zagađenja vazduha

Izvor : World Health Organization. Health risk assessment of air pollution. General principles. Copenhagen:WHO Regional Office for Europe; 2016.

Najveći broj studija vremenskih serija (178, 179, 180) se uglavnom oslanja na podatke o ukupnom mortalitetu i morbiditetu, zbog lake dostupnosti i pouzdanosti tih podataka. Pored toga, većina prethodnih i sadašnjih studija (44, 173) fokusirana je na kardiovaskularne i respiratorne bolesti, za koje je biološki mehanizam, u osnovi negativnog uticaja zagađenja vazduha na ishod, relativno jasan.

1.5.5. Studije vremenskih serija - mortalitet i suspendovane čestice PM_{2,5}

Brojne studije vremenskih serija, na različitim područjima i primenom različitih statističkih modela, pružile su dokaze da su čestice PM i smrtnost povezani (180, 181, 182). Shodno dostupnosti podataka o kvalitetu vazduha, prvobitne studije su za indikatora izloženosti koristile čestica PM₁₀ (182, 183). S obzirom da je SZO, 2006. godine, u smernicama za kvalitet vazduha (184), čestice PM_{2,5} definisala za indikatora zagađenja vazduha životne sredine, istraživanja sa česticama PM_{2,5} u fokusu, imaju trend porasta.

Prvobitne epidemiološke studije 20 veka, dizajna vremenskih serija, su pokazale kratkoročne efekte izloženosti česticama PM u odnosu na mortalitet (44, 173). Katsouyanni navodi da su njihovi rezultati stavljeni u širi kontekst i konsolidovani su uvođenjem velikih studija u više gradova širom Evrope i SAD-a (173). 1993. godine pokrenut je projekat Evropske komisije – “Zagađenje vazduha i zdravlje: evropski pristup” - APHEA (“*Air Pollution and Health: a European Approach*”) (173, 185). Uključivao je podatke iz preko 30 evropskih gradova koji se prostiru širom kontinenta. Utvrđeno je da je povećanje koncentracije čestica PM₁₀ od 10 µg/m³ povezano sa povećanjem ukupnog respiratornog mortaliteta za 0,6% i kardiovaskularnog mortaliteta za 0,8% (173, 186). Istraživanja koja su razmatrala duži vremenski period izlaganja, nakon približno 40 dana, procenjuju da porast ukupnog mortaliteta iznosi 1,6%; kardiovaskularnog mortaliteta 1,97% i respiratornog mortaliteta 4,2%, što ukazuje na tzv “zaostale, odložene” („*lagged*”) efekte, koji su prvenstveno izraženi za respiratorni mortalitet (173, 187). Studija nacionalnog mortaliteta, morbiditeta i zagađenja vazduha - NMMAPS (“*National Mortality, Morbidity and Air Pollution Study*”) u SAD-u su pokazali konzistentne rezultate (173, 188).

Dostupnost podataka o koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ doprinela je dominaciji epidemioloških studije koje ukazuju na značaj kratkoročnog izlaganja česticama $PM_{2,5}$ koje su čak ispod preporučenih godišnjih ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), odnosno dnevnih vrednosti ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) SZO (184, 189). Pojedinačna istraživanja na području SAD-a su pokazala da je izloženost česticama $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine povezana sa ukupnim mortalitetom kao i uzročno specifičnim mortalitetom (189, 190, 191). Evropske studije (192) o suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ su prvobitno bile malobrojnije i povezanost sa ukupnim mortalitetom se beležilo u svega nekoliko Evropskih gradova. Procenjeno je da sa svakim povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ukupni mortalitet poraste za 1,4% u Barseloni, za 1,5% u Stokholmu i za 2,7% u Madridu, dok u Holandiji taj procenat iznosi 0,8% (192). Sa druge strane, pojedinim istraživanjima značajan uticaj čestica $PM_{2,5}$ na ukupan mortalitet nije dokazan (193). U kratkoročnoj studiji tipa vremenske serije koja je obuhvatala šestogodišnje podatke o gradskom zagađenju vazduha u Londonu, čestice $PM_{2,5}$ nisu bile značajno povezane sa ukupnim mortalitetom, niti sa kardiovaskularnim, ali jesu sa respiratornim mortalitetom uzimajući u obzir jedan dan odloženog dejstva (189). Rezultati najnovije meta analize kratkoročnih studija, objavljenih u periodu 2015 - 2018 godine, pokazuju da je sa svakim povećanjem koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ porast ukupnog mortaliteta stanovništva svih uzrasta, u 114 gradova Evrope, Amerike i Zapadnog pacifika, iznosio 0,89% (189). Porast kardiovaskularnog mortaliteta je bio 0,8% (obuhvaćeno 89 gradova), dok je porast respiratornog mortaliteta bio 1,1% (86 gradova) (189). Među gradovima je utvrđena značajna heterogenost, u odnosu na dobijene rezultate, u pogledu ukupnog i kardiovaskularnog mortaliteta, dok su rezultati za respiratorni mortalitet bili homogeniji (189).

Nedavna kineska nacionalna studija, koja je obuhvatila 272 grada, je takođe potvrdila povezanost čestica $PM_{2,5}$ sa mortalitetom (kardiovaskularni i respiratorni) nakon kratkoročne izloženosti stanovništva, ali su rezultati bili manje snažni u poređenju sa rezultatima na području Evrope i Amerike (194). Utvrđeno je da su prosečne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ bile $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i da je sa svakim povećanjem dvodnevni prosečni koncentracija od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ porast ukupnog mortaliteta iznosio 0,22%, kardiovaskularnog morbiditeta 0,27%, hipertenzije 0,39%, koronarnih srčanih bolesti 0,30%, moždanog udara 0,23%, respiratornih oboljenja 0,29%, i HOBP 0,38%.

Povezanost je bila snažnija u gradovima sa nižim koncentracijama čestica PM_{2,5} ili višim temperaturama vazduha, kao i među starijima ili manje edukovanim stanovništvom (194). Meta analizom 33 epidemiološke studije u Kini opisano je da porast koncentracije čestica PM_{2,5} od 10 µg/m³ rezultuje i porastom ukupnog mortaliteta za 0,38%, respiratornog mortaliteta za 0,51% i kardiovaskularnog mortaliteta za 0,44% (195).

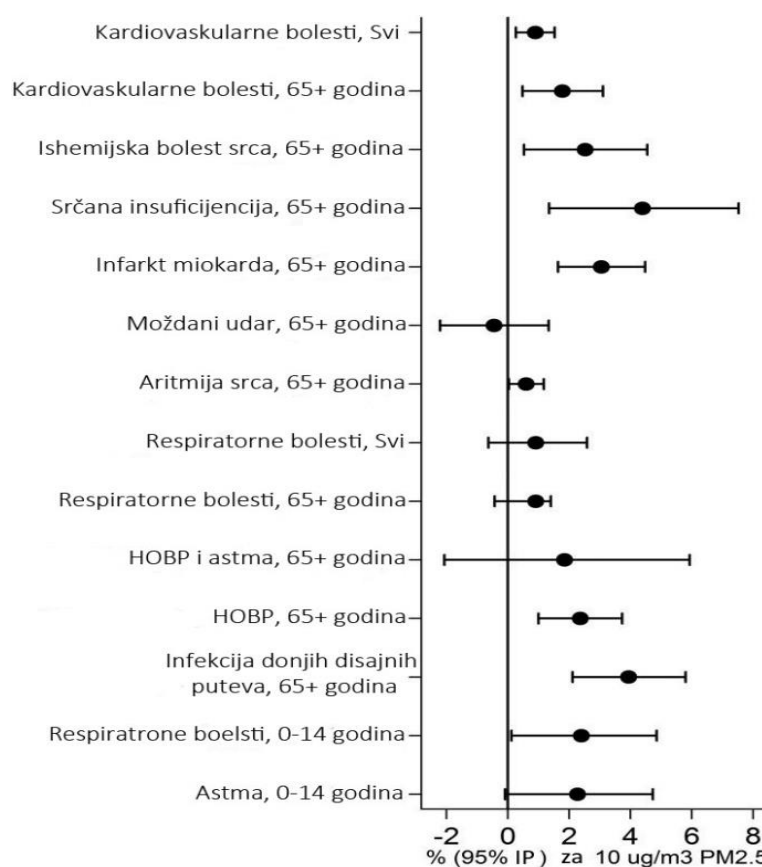
1.5.6. Studije vremenskih serija -kardiovaskularni i respiratorni morbiditet i suspendovane čestice PM_{2,5}

Većina objavljenih studija o zagađenju vazduha i bolničkim prijemima zbog kardiovaskularnih i respiratornih oboljenja su zasnovane na analizi čestica PM₁₀ (182). Dokazi o respiratornim i kardiovaskularnim rizicima koji su povezani sa kratkoročnim izlaganjem česticama PM_{2,5} su malobrojniji (182).

U jednoj od prvih većih studija na području SAD-a (196) koja je koristila čestice PM_{2,5} kao indikator zagađenja vazduha životne sredine, zahvaljujući dostupnosti podataka o istom, tokom 1999-2002 godine, obuhvaćena su 204 američka okruga sa brojem stanovnika preko 200 000. Infarkt miokarda, poremećaj srčanog ritma, cerebrovaskularne bolesti, ishemična bolest srca, periferne vaskularne bolesti, HOBP i infekcije respiratornog trakta su, između ostalih, izabrani kao zdravstveni ishodi od interesa za praćenje. Utvrđeno je da je prosečna godišnja koncentracija čestica PM_{2,5} na nivou okruga bila 13,4 µg/m³, sa prilično ujednačenim koncentracijama između okruga (koeficijent homogene prostorne distribucije (r)=0,91) (196). Pozitivna povezanost sa dnevnim varijacijama čestica PM_{2,5} je utvrđena za sve navedene zdravstvene ishode. Najveći efekat je utvrđen tokom istog dana izloženosti za sve kardiovaskularne ishode, osim ishemijske srčane bolesti, za koje je najveći efekat bio dva dana nakon izlaganja. Za respiratorne ishode, najveći efekti su se javili tokom istog dana i dan nakon izlaganja za HOBP, odnosno dva dana nakon izlaganja za infekcije respiratornog trakta. Prosečne procene relativnog rizika (RR) bile su veće za najstariju populaciju u pogledu ishemične bolesti srca, poremećaja srčanog ritma, srčanu insuficijenciju i HOPB (196).

Potvrdu pozitivne povezanosti čestica PM_{2,5} sa bolničkim prijemima zbog kardiovaskularnih i respiratornih oboljenja pružaju i rezultati studija novijih datuma, kako na području Amerike, tako i na području Evrope, odnosno Azije (197).

Porast koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu g/m^3$, pozitivno je povezan sa povećanjem broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti za 0,9% i respiratornih bolesti za 0,96%, stim da je među ispitivanim regionima utvrđena heterogenost za respiratorne bolesti, ali ne i za kardiovaskularne bolesti (197). Slika 15 ilustruje zbirne procene RR za specifične kardiovaskularne i respiratorne bolesti u uzrasnoj kategoriji od 65+ godina i za decu u dobi od 0-14 godina. Sve ispitivane povezanosti su bile pozitivne, osim za moždani udar i HOBP (uključujući i astmu), s obzirom da je donja granica intervala poverenja (IP) premašila 0% (197).



Slika 15. Procenat porasta prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti povezanih sa porastom koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu g/m^3$

Izvor: Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. Epidemiological time series studies of $PM_{2.5}$ and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax*. 2014; 69(7):660-665

Rezultati studije sprovedne na području Južne Evrope (193) pokazuju da je povećanje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu g/m^3$ statistički značajno povezano sa

povećanjem dnevnog broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti za 0,51%. U istoj studiji značajnija povezanost je utvrđena sa bolničkim prijemima zbog respiratornih bolesti, gde se njihov broj poveća za 1,36% (95% IP: 0,23 – 2,49) (193). U najnovijoj longitudinalnoj multietničkoj kohortnoj studiji na području 6 metropolitanskih oblasti SAD-a utvrđena je značajna povezanost $PM_{2,5}$ i NO_2 sa progresijom kalcifikacije krvnih sudova, odnosno ateroskleroze (198). U dvogodišnjoj studiji na području Beijing (Kina) utvrđen porast broja bolničkih prijema zbog moždanog udara za 0,31% sa svakim porastom koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu g/m^3$. Stratifikovana analiza je pokazala da ne postoji razlika u navedenoj povezanosti između stanovništva starosni dobi ≥ 65 godina i < 65 godina, kao ni između muškaraca i žena (199). Autor Amsalu sa saradnicima (200) je, na osnovu rezultata novije petogodišnje studije (2013-2017), takođe na području Beijing (Kina) zaključio da izloženost česticama $PM_{2,5}$ povećava rizik od porasta broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih oboljenja, posebno zbog koronarne srčane bolesti, dok uvrđen rizik za srčani infarkt nije bio statistički značajan.

Takođe, prepoznato je da su na uticaj čestica $PM_{2,5}$ osetljiviji stari, deca i osobe sa komorbiditetom od respiratornih bolesti (182). U 16-to godišnjoj studiji kojom je obuhvaćeno 500 000 dece i odraslih sa područja Kolumbije i Portorika, autora Pope i saradnika, utvrđen je porast rizika za nastanak ishemične bolesti srca, akutnog infarkta prednjeg zida srca, aritmije i srčanog zastoja za 8-18% sa svakim povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$ za $10,5 \mu g/m^3$ (180).

Značajno je istaći da dobijene rezultate većine epidemioloških istraživanja (139, 182, 197) uvek prati i poteškoća u odvajanju zasebnog uticaja zagađujućih materija u odnosu na doprinosni uticaj meteoroloških parametara (temperature vazduha i relativne vlažnosti vazduha).

1.5.7. Studije vremenskih serija - mortalitet, morbiditet i hemijski sastav suspendovanih čestica PM_{2,5}

Opisano je da su čestice PM_{2,5} iz životne sredine hemijski nespecifične, da imaju različit hemijski sastav (elementi u tragovima, EC, OC, SO₄²⁻) i da toksičnost svake od hemijskih komponenti i njihovih smeša može varirati (201).

Objavljivanje podataka o hemijskom sastavu čestica PM_{2,5} započeto je u protekloj deceniji (202), što je uslovalo da istraživanja povezanosti između hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} i zdravstvenih ishoda bude dominantno na nivou akutne (kratkoročne) izloženosti. Prvobitne studije o uticaju zagađenja vazduha na zdravlje ljudi, u zapadnim zemljama Azije, dokazale su negativan uticaj karbonatnih sastojaka (npr. EC i OC) i pojedinih metala, međutim "ukupni" epidemiološki rezultati ipak ostaju mešoviti (201). Na nivou Azije, nije postignut konsenzus u epidemiološkim studijama koje ispituju povezanost zdravstvenih ishoda i specifičnih hemijskih sastojaka čestica PM (201).

Na području Šangaja (Kina) utvrđena je pozitivna povezanost koncentracije crnog ugljenika („black carbon“, BC) sa porastom ukupnog i kardiovaskularnog mortaliteta nakon prilagođavanja statističkog modela masenom koncentracijom čestica PM_{2,5}. U istoj studiji, izostala je značajna povezanost sa respiratornim mortalitetom (203). Korejski istraživači su utvrdili statističku značajnu povezanost ukupnog i kardiovaskularnog mortalitet samo sa Mg²⁺ i NH₄⁺, ali ne i sa drugim hemijskim sastojcima koje su ispitali (204). Autori pojedinih istraživanja ističu da hemijski sastav čestica PM_{2,5}, a samim tim i njihova toksičnost, pokazuje vremensku i prostornu (geografsku) varijabilnost u zavisnosti od izvora specifičnih za grad, interakcije između izvora, meteoroloških uslova i drugih vremenski promenljivih faktora (205).

Na području Feniksa (Arizona), autori su ispitali nekoliko ključnih hemijskih sastojaka PM_{2,5} pored masene koncentracije čestica PM_{2,5} i gasovitih zagađujućih materija (206, 207). Utvrdili su da je takođe koncentracija EC značajno povezana sa kardiovaskularnim mortalitetom, ali su takođe pronašli sličnu povezanost i sa NO₂, SO₂, CO i masenom koncentracijom čestica PM_{2,5}. Ostro i saradnici (208) analizirali su podatke iz devet kalifornijskih okruga i utvrdili povezanost između kardiovaskularnog

mortaliteta i EC, OC, NO_3^- , Fe i K, u različitim vremenskim razmacima. Opsežna meta studija Atkinsona i saradnika (209) je pokazala da je, na zbirnom nivou, najveći RR za mortalitet povezan sa SO_4^{2-} , a potom i sa NO_3^- , EC i OC. Navedena sva četiri sastojka su bila pozitivno povezana sa ukupnim mortalitetom; najveći uticaj na porast mortaliteta za 1,3% je imao EC, a najmanji SO_4^{2-} (0,15%). Povezanost sa respiratornim mortalitetom su uglavnom bile uporedive sa onima za kardiovaskularni, iako su u svim slučajevima intervali pouzdanosti prelazili 0%. U istoj meta analizi je dokazana izražena heterogenost dobijenih rezultata između analiziranih studija (209). U pogledu SO_4^{2-} , utvrđeni rizici za svaku grupu bolesti su bili veći u Severnoj Americi nego u evropskim i zapadno-pacifičkim regionima (209). Povezanost mortaliteta i SNA i ugljenika su utvrđeni za nekoliko specifičnih, kako respiratornih, tako i kardiovaskularnih oboljenja, stratifikovanih prema uzrastu, ali sa još uvek nedovoljnom opsežnošću za meta analizu (209).

Peng i saradnici (210) su na nivou 119 američkih gradova ispitivali povezanost bolničkih prijema i sedam hemijskih komponenti čestica $\text{PM}_{2,5}$ koji su imali najveći maseni udeo (EC, OC, SO_4^{2-} , NO_3^- , Na^+ , Si i NH_4^+) i utvrdili da je jedino EC značajno povezana sa bolničkim prijemima zbog kardiovaskularnih oboljenja. U studiji meta analize Atkinsona i saradnika, u kojoj je obuhvaćeno 28 studija iz Severne Amerike, Južne Amerike i Evrope, ističe se pozitivna povezanost bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih i respiratornih oboljenja stanovništva svih uzrasta i starijih od 65 godina sa povećanjem koncentracije SO_4^{2-} (209). Isti autori itiču da za NO_3^- , EC i OC, nije bilo dovoljno procena da bi se izvršila smisljena meta-analiza. Međutim, primetna je, na osnovu rezultata veće američke studije, pozitivna povezanost EC i nedosledna povezanost NO_3^- i OC sa kardiovaskularnim i respiratornim bolničkim prijemima (211).

U preglednom radu i meta analizi Atkinsona i saradnika (209) ističe se da rezultati studija o zdravstvenim efektima koji su povezani sa kratkoročnim izlaganjem hemijskim sastojcima čestica $\text{PM}_{2,5}$ su još uvek nedosledni. Takođe, prema objavljenim istraživanjima, uočava se da ne postoji dovoljan geografski obuhvat, kao ni broj studija sa uzročno specifičnim morbiditetom koji bi doprineo razumevanju negativnog efekta na zdravlje ljudi (209). Značaj doslednosti rezultata navedenih epidemioloških istraživanja ogleda se u njihovoj praktičnoj primeni, odnosno u kreiranju regulatornih

procesa i postavljanju standarda u pogledu kvaliteta vazduha životne sredine (209, 211).

1.6. Zakonska regulativa - suspendovane čestice PM_{2,5} u vazduhu životne sredine

U cilju zaštite zdravlja ljudi, u raznim zemljama sveta, usvojeni su zakonski propisi u pogledu kvaliteta vazduha životne sredine (75). Provera usaglašenosti utvrđenih koncentracija zagađujućih materija u vazduhu sa odgovarajućim propisanim vrednostima je primarni cilj monitoringa kvaliteta vazduha životne sredine (212).

U nedostatku konzistentnih čvrstih, nacionalnih, dokaza za definisanje zakonskih propisa, regulatorna tela i donosioci odluka se često oslanjaju na dokaze i smernice SZO (44). Prema smernicama za kvalitet vazduha iz 2006. godine, za čestice PM_{2,5} preporučene su vrednosti na dnevnom i godišnjem nivou od 25 µg/m³ i 10 µg/m³, redom (184).

Prema prvobitnom Nacionalnom standardu za kvalitet ambijentalnog vazduha („*National Ambient Air Quality Standard*“ - NAAQS) (213) za zemlje SAD, definisane vrednosti koncentracije čestica PM_{2,5} su na dnevnom i godišnjem nivou bile 35 µg/m³ (kao 98-i percentil, usrednjeno za period od tri godine) i 15 µg/m³ (usrednjena za period od tri godine), redom. Zahvaljujući konzistentnim dokazima u uticaju čestica PM_{2,5} na zdravlje ljudi, u decembru 2012. godine, US EPA redefiniše srednje godišnje vrednosti propisane za primarne i sekundarne čestice PM_{2,5} na 12 µg/m³ i 15 µg/m³, redom (214). Definisane vrednosti za koncentracije čestice PM_{2,5} na godišnjem nivou od 35 µg/m³ nisu se menjale.

Prema važećem propisu u Evropskoj uniji (Direktiva o čistijem vazduhu u Evropi, 2008/50/EC) vrednosti koncentracija PM_{2,5} od 25 µg/m³ na godišnjem nivou je postavljena kao ciljna vrednost koja je trebalo da bude dostignuta do 1. januara 2010. godine i kao granična vrednost koja je trebala da bude dostignuta do 1. januara 2015. godine. Granična vrednost od 20 µg/m³ za indikativna merenja čestica PM_{2,5} treba da bude dostignuta do 1. januara 2020. godine (215).

Akti u oblasti upravljanja kvalitetom vazduha životne sredine u Republici Srbiji imaju za cilj približavanje propisima Evropske unije. Prema zakonskim aktima (Zakon o zaštiti vazduha) iz 2009. i 2013. godine (212), odnosno podzakonskim (Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha) iz 2010. i 2013. godine (216), propisane granične vrednosti za masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ na godišnjem nivou ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su izjednačene sa vrednostima propisanim u EU. Postavljeni rokovi za dostizanje vrednosti od $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ su 1. januar 2019. godine i 1. januar 2024. godine, redom. Nacionalni normativ za čestice $PM_{2,5}$ na dnevnom nivou nije propisan, kao ni normativi za hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$.

Masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su regulisane u SAD-u, Evropi i drugim zemljama (Tabela 1) (75), ali nisu uzeti u obzir izvori ili hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$. Nekonzistentnost rezultata povezanosti hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ i zdravlja, onemogućava donosiocima odluka i regulatornim telima definisanje standarda u pogledu hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ (75).

Tabela 1. Propisane vrednosti na dnevnom i godišnjem nivou za suspendovane čestice $PM_{2,5}$ u pojedinim zemljama

Agencija / Zemlja	Dan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Godina ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SZO	25	10
US EPA	35	12 (primarne)
		15 (sekundarne)
Kina	35 Klasa 1	15
	75 Klasa 2	35
Indija	60	40
Evropa	-	25 (dostići do 2015. godine)
		20 (dostići do 2020. godine)
Srbija	-	25 (dostići do 2019. godine)
		20 (dostići do 2020)
Australija	25	8
Bangladeš	65	15
Tajland	50	25
Japan	35	15

Izvor: Mukherjee A, Agrawal M. A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. *Rev Environ Contam Toxicol.* 2018;244:5-51.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj:

Proceniti uticaj suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na ukupan mortalitet i kardiovaskularni i respiratorni bolnički morbiditet odraslog stanovništva Grada Novog Sada.

Specifični ciljevi:

1. Utvrditi koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada na dnevnom i godišnjem nivou uzimajući u obzir uticaj meteoroloških parametara (temperatura, relativna vlažnost vazduha, brzina vetra).
2. Utvrditi hemijski sastav suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada u odnosu na njihovo poreklo (mesto nastanka).
3. Proceniti doprinos koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine ukupnom mortalitetu i kardiovaskularnom i respiratornom bolničkom morbiditetu odraslog stanovništva Grada Novog Sada.
4. Proceniti doprinos hemijskog sastava suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine ukupnom mortalitetu i kardiovaskularnom i respiratornom bolničkom morbiditetu odraslog stanovništva Grada Novog Sada.

3. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

1. Prosečne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine Grada Novog Sada prekoračuju preporuke Svetske zdravstvene organizacije na dnevnom i godišnjem nivou. Veće prosečne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ očekuju se u danima sa nižim temperaturama, visokom relativnom vlažnošću vazduha i odsustvom ili smanjenom brzinom vetra, posmatrano u odnosu na prosečne vrednosti utvrđenih istraživanjem.

2. Postoji statistički značajna razlika u hemijskom sastavu suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine Grada Novog Sada u odnosu na njihovo poreklo (mesto nastanka), tako da su u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ poreklom iz saobraćaja veće koncentracije organskog ugljenika, dok su u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ poreklom iz gradskog pozadinskog područja veće koncentracije sulfata i NO_3^- .

3. Porast dnevnih prosečnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ značajno doprinosi porastu dnevnog ukupnog mortaliteta i kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta stanovništva Grada Novog Sada starijeg od 18 godina.

4. Porast dnevnih prosečnih koncentracija organskog ugljenika, sulfata i NO_3^- utvrđenih u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ značajno doprinosi porastu dnevnog ukupnog mortaliteta i kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta stanovništva Grada Novog Sada starijeg od 18 godina.

4. METOD ISTRAŽIVANJA

Tokom 2017. godine prospektivnim istraživanjem, dizajniranog po tipu analize vremenske serije, na području Grada Novog Sada, su na dnevnom nivou utvrđeni / prikupljeni i obrađeni podaci o:

1. kvalitetu vazduha životne sredine (koncentracija / sastav suspendovanih čestica PM_{2,5},
2. meteorološkim parametrima (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha i brzina vetra) i
3. zdravstvenim ishodima (broj umrlih, bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti).

4.1. Područje istraživanja – Grad Novi Sad

Grad Novi Sad je pozicioniran u istočnom delu Evrope, između 19 i 20 stepena istočne geografske dužine (E 19° 50' 41"), i 45 i 46 stepeni severne geografske širine (N 45° 15' 18"), na raskrsnici kopnenih i vodenih puteva koji povezuju Severnu, Centralnu i Zapadnu Evropu sa Jadranskim, Egejskim i Crnim morem (217).

Kao drugi grad po veličini u RS i glavni grad Autonomne Pokrajine Vojvodine je Uredbom o određivanju zona i aglomeracija (218) definisan kao jedna od 8 aglomeracija u RS. Prostornim planom Grada Novog Sada (219) definisano je uže područje Grada (Novi Sad, Petrovaradin i Sremska Kamenica) i 13 naselja izvan užeg područja: Begeč, Futog, Veternik, Stepanovićevo, Kisač, Rumenka, Čenej, Kovilj, Budisava, Kač, Ledinci, Stari Ledinci i Bukovac (220).

Ukupna površina Grada Novog Sada iznosi 69917,23 ha (~699 km²) (221), dok uže područje Grada zauzima površinu od 13298,48 ha (~133 km²). Prema poslednjem popisu stanovništva koji datira iz 2011. godine, u Gradu živi 341625 stanovnika, od čega 258881 živi u užem području Grada (220, 222).

Spada u urbano-industrijski tip aglomeracije, zbog prostorno gustih, kompaktnih višeslojnih stambenih objekata namenjenih za višeporodično stanovanje i administrativno poslovne jedinice smeštenih u užem području Grada (220, 222). U širem području grada zastupljeno je individualno stanovanje u porodičnim kućama, kao i poslovni objekti, dominantno iz oblasti proizvodnog i uslužnog zanatstva i trgovine.

Turističko – sportsko – rekreativni prostori su locirani uz reku Dunav, dok su pojedini industrijski objekti smešteni na severnoj strani Grada. Zelene površine se nalaze u blizini Dunava, u parkovima i u predgrađima (223). Grad se odlikuje gustom mrežom glavnih i sporednih saobraćajnica uz koje se nalaze manji privredni objekti. U prigradskim naseljima dominiraju pretežno porodični stambeni objekti, neplanske i neorganizovane izgradnje sa neadekvatnom tj. nekompletnom saobraćajnom i komunalnom infrastrukturom i brojnim poljoprivrednim i šumskim površinama (220, 222, 224).

Prostirući se na području Panonske nizije nalazi se na nadmorskoj visini od 72 do 80 m, sa dve reljefne celine: ravničarska na levoj i brdovita na desnoj obali Dunava (do 250 m nadmorske visine) (220, 222, 224). Grad Novi Sad, kao deo Panonske nizije je okružen planinskim masivima, što ima uticaj na njegova klimatska obeležja. Prema proračunima za 30-godišnji period od 1981. do 2010. godine (225), odlikuje se umereno kontinentalnom klimom sa jasno definisanim četiri godišnja doba (proleće, leto, jesen, zima). Prosečna godišnja temperatura vazduha je 11,4°C, sa velikim temperaturnim razlikama u letnjem (21,9°C) i zimskom periodu (0,2°C). Prosečna količina padavina, koje imaju karakteristike kontinentalne klime, iznosi 647,1mm sa najvećim količinama u toku jula meseca, dok je prosečna relativna vlažnost 74% (226). Prosečne mesečne vrednosti brzine vetra kreću se od 1,9 m/s do 3m/s, najčešće zapadnog, a zatim i jugoistočnog pravca (220).

4.2. Podaci o kvalitetu vazduha životne sredine

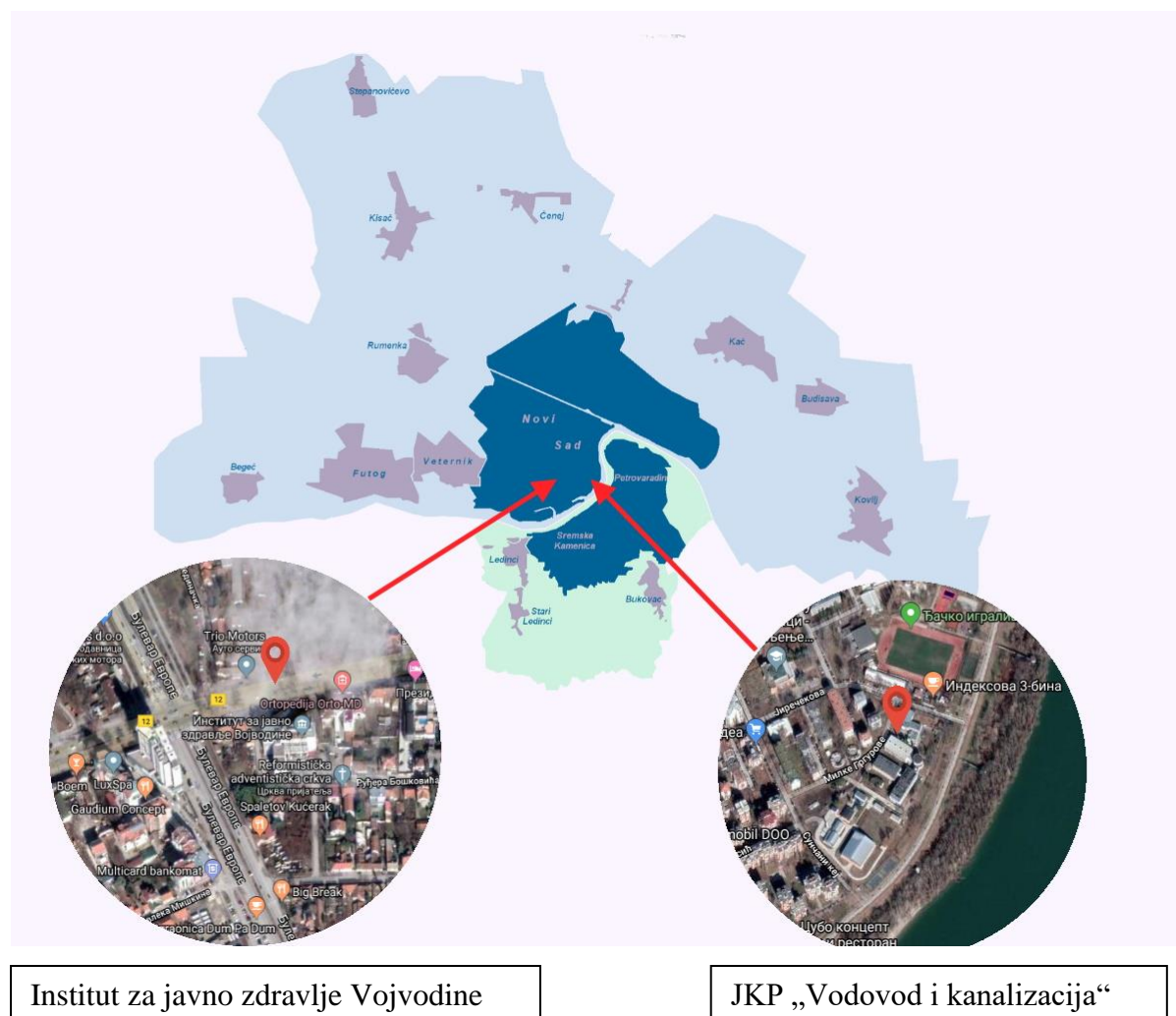
Podaci o kvalitetu vazduha životne sredine obezbeđeni su uzorkovanjem i određivanjem dnevnih koncentracija i sastava čestica $PM_{2,5}$ u aglomeraciji Grada Novog Sada, sa dva merna mesta (lokacije). Prema nacionalnoj Uredbi o određivanju zona i aglomeracija (218), teritorija Grada Novog Sada je definisana kao aglomeracija (jedna aglomeracija je područje sa više od 250 000 stanovnika), te su dva merna mesta za praćenje čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine, „Institut za javno zdravlje Vojvodine, Futoška 121, Novi Sad“ i „JKP Vodovod i kanalizacija, Jiričekova 2, Novi Sad“, određena prema zahtevima nacionalne Uredbe o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha (216) i Evropskim direktivama (215) u odnosu na posmatranu aglomeraciju.

Odabir mernih mesta (Slika 16) u Gradu Novom Sadu zasnovan je na pretpostavkama da navedena mesta reprezentuju tipične uslove životne sredine kojima je izloženo stanovništvo (uslovi pored sobračajnica ili unutar stambenih područja), te se mogu smatrati reprezentativnim za sve druge slične lokacija u Gradu. Izbor mikrolokacija na mernom mestu određen je u skladu sa nacionalnom i internacionalnim propisima (215, 216, 227, 228).

Na mernom mestu „Institut za javno zdravlje Vojvodine, Futoška 121, Novi Sad“ uzorkovane čestice $PM_{2,5}$ su posmatrane kao pokazatelj zagađenja vazduha koje potiče pretežno od jednog bliskog izvora – saobraćaja (u daljem tekstu lokacija „*urban traffic*“ (UT)). Mikrolokacija za postavljanje uređaja za uzorkovanje vazduha je bilo pozicionirano najmanje 25 m udaljenosti od ivice glavnih raskrsnica i najviše 10 m od ivičnjaka, a na visini između 1,5 m (zona disanja) i 4 m iznad tla (Slika 16).

Na mernom mestu „JKP Vodovod i kanalizacija, Jiričekova 2, Novi Sad“ uzorkovane čestice $PM_{2,5}$ su posmatrane kao pokazatelj osnovnog (baznog/ prosečnog) zagađenja vazduha u gradskim područjima, pokazatelj integrisanog doprinosa različitih bliskih i udaljenih izvora karakterističnih za Grad (energetski, privredni i stambeni objekti, saobraćaj, poljoprivreda i regionalni doprinosi) (217), ne odražavajući direktne uticaje velikih izvora emisije (industrijska postrojenja ili prometne ulice) (229) (u daljem tekstu lokacija „*urban background*“ (UB)). Mikrolokacija na navedenom mernom mestu za postavljanje uređaja za uzorkovanje čestica $PM_{2,5}$ je odabrano tako da uzorak vazduha

bude reprezentativan za područje od nekoliko kvadratnih kilometara i postavljen je na visini od 1,5 m.



Slika 16. Merna mesta za uzorkovanje čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada tokom perioda istraživanja

Istovremeno uzorkovanje, a potom i određivanje koncentracije i sastava čestica $PM_{2,5}$ na navedenim mernim mestima obavljalo je ovlašćeno osoblje Instituta za javno zdravlje Vojvodine (IZJZV) u skladu sa propisanom metodologijom (Tabela 2) i važećom zakonskom osnovom (17,18), tokom 32 dana zimskog godišnjeg doba, 35 dana prolećnog, 60 dana letnjeg i 31-og dana jesenjeg godišnjeg doba 2017. godine. Godišnja doba su definisna kao proleće (od 21. marta do 21. juna), leto (od 22. juna do 22.

septembra), jesen (od 23. septembra do 21. decembra) i zima (od 22. decembra do 20. marta).

Tabela 2. Ppropisane metode i oprema za uzorkovanje i analizu čestica PM_{2,5} iz vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada tokom 2017. godine

<i>Zagađujuća materija vazduha životne sredine</i>	<i>Metode za uzorkovanje zagađujućih materija u vazduhu životne sredine</i>	<i>Oprema za uzorkovanje uzoraka vazduha za određivanje koncentracije zagađujućih materija u vazduhu</i>	<i>Metode za utvrđivanje koncentracije zagađujućih materija u vazduhu</i>	<i>Merni instrument za utvrđivanje koncentracije zagađujućih materija u vazduhu</i>
Suspendovane čestice PM _{2,5}			SRPS EN 12341:2015	Analitička vaga
Na ⁺				
NH ₄ ⁺				
Ca ²⁺			SRPS EN ISO 14911:1999	
K ⁺				
Mg ²⁺	SRPS EN 12341:2008	Sven Leckel, LVS3		Jonski hromatogram
Cl ⁻				
NO ₃ ⁻			SRPS EN ISO 10304-1:2009	
SO ₄ ²⁻				
DOC			SRPS ISO 8245:2007	TOC analizator

Uzorkovanje vazduha životne sredine radi određivanja masene koncentracije čestica PM_{2,5} zasnivalo se na principu "provlačenja" vazduha zapremine od 55 m³ u toku 24 časa kroz teflonski filter papir, prečnika 47mm, postavljenog u uređaju Sven Leckel, LVS3. Po isteku od 24 časa, uzorci vazduha (filter papir sa nataloženim česticama PM_{2,5}) su se propisno obeležavali i u Petrijevoj šolji transportovali do akreditovane i ovlašćene laboratorije IZJV. Dvasetčetročasovne masene koncentracije čestica PM_{2,5} su određene prema propisanoj standardnoj metodi SRPS EN 12341:2015 (230), dok je hemijski sastav čestica (SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, NO₃⁻, K⁺, Cl⁻, Mg²⁺ i rastvorenog organskog ugljenika („Dissolved Organic Carbon“ - DOC) određen jonskom hromatografijom i TOC analizatorom korišćenjem modifikovanih metoda definisanih standardima SRPS EN ISO 14911:1999 (231), SRPS EN ISO 10304-1:2009 (232) i SRPS ISO 8245:2007 (233). Frakcija čestica PM_{2,5} koja predstavlja ostatak od ukupne mase čestica PM_{2,5}, čiji sastav

nije utvrđen primenjenim analitičkim metodama, je shodno rezultatima (10, 94) i metodološkim pristupima globalnih istraživanja (234, 235, 236) posmatrana kao ekvivalent karbonatne frakcije.

Uzorci vazduha u kojima nije bilo moguće utvrditi koncentraciju i hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$ (oštećen filter papir prilikom uzorkovanja vazduha ili analize, neadekvatni uslovi prostorije za kondicioniranje i merenje filter papira) isključeni su iz uzorka istraživanja.

Na osnovu utvrđenih koncentracija / sastava čestica $PM_{2,5}$ u 24-časovnim uzorcima vazduha u posmatranom periodu, podatak o kvalitetu vazduha životne sredine za lokacije UT i UB je izražen kao dnevna vrednost i kao srednja godišnja vrednost utvrđenih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), odnosno njihovog sastava ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) za period usrednjavanja jedan dan (srednja dnevna vrednost), a zatim kao srednja vrednosti za period usrednjavanja kalendarska godina (srednja godišnja vrednost), redom. Podatak o kvalitetu vazduha životne sredine za područje Grada Novog Sada je izražen kao prosečna dnevna i godišnja koncentracija čestica $PM_{2,5}$, na osnovu usrednjavanja utvrđenih dnevnih / srednjih dnevnih koncentracija na lokacijama UT i UB, na dnevnom i godišnjem nivou, redom.

Srednje godišnje koncentracije suspendovane čestice $PM_{2,5}$ na lokacijama UT i UB, kao i prosečne godišnje koncentracije za područje Grada, komentarisani su u odnosu na preporuke SZO i propisane godišnje normative (Tabela 3), dok su srednje i prosečne dnevne koncentracije komentarisane samo u odnosu na preporučene dnevne vrednosti SZO i izražene su kao broj dana prekoračenja istih (Tabela 4).

Tabela 3: Nacionalni godišnji normativi za čestice PM_{2,5} iz vazduha životne sredine (216)

Period usrednjavanja	Granična vrednost (µg/m ³)	Granica tolerancije	Tolerantna vrednost * (µg/m ³)	Rok za dostizanje granične vrednosti
Suspendovane čestice PM_{2,5} – Stadijum 1				
Kalendarska godina	25 µg/m ³	31. decembra 2011. godine iznosi 5 µg/m ³ . Od 1. januara 2013. godine umanjuje se na svakih 12 meseci za 0,7143 µg/m ³ do dostizanja 0 do 1. januara 2019. godine.	30 µg/m ³	1. januar 2019. godine

* Razlika između tolerantnih (maksimalno dozvoljenih) i graničnih vrednosti zagađujućih materija umanjuje se srazmerno prema definisanoj granici tolerancije svake kalendarske godine, kako bi u zadatom vremenskom periodu dostigla vrednost 0.

Tabela 4: Preporučene dnevne i godišnje vrednosti Svetske zdravstvene organizacije za suspendovane čestice PM_{2,5} (44)

Period usrednjavanja	Preporučena vrednost (µg/m ³)
Kalendarska godina	10
Jedan dan	25

4.3. Podaci o meteorološkim parametrima

Tokom perioda uzorkovanja vazduha na dnevnom nivou, prikupljeni su podaci za prosečnu dnevnu temperatura vazduha (°C), relativna vlažnost vazduha (%) i brzinu vetra (km/h). Podaci su preuzeti od referentne nacionalne institucije za meteorološka merenja (Republički hidrometeorološki zavod). Navedeni meeteorološki podaci za 2017. godinu su bili javno dostupni (237) i odnose se na mernu stanicu na teritoriji Grada Novog Sada (Rimski Šančevi (N 45°20 E 19°51; nadmorska visina 84 m)).

4.4. Podaci o zdravstvenom ishodu

Prema metodologiji SZO (238) mortalitet, kardiovaskularni i respiratorni morbiditet na dnevnom nivou, za stanovništvo starije od 18 godina na teritoriji Grada Novog Sada, odabrani su kao podaci o zdravstvenom ishodu koji su od značaja za praćenje radi procene uticaja čestica PM_{2,5} na ljudsko zdravlje.

Dnevni broj ukupnog mortaliteta podrazumevao je na dnevnom nivou broj umrlih osoba (čije mesto stanovanja pripada teritoriji Grada Novog Sada) zbog svih bolesti - stanja definisanih desetom revizijom Međunarodne statističke klasifikacije bolesti i zdravstvenih problema („MKB-10”) kao “MKB-10”:“A00-R99”).

Dnevni broj kardiovaskularnog morbiditeta podrazumevao je na dnevnom nivou registrovan broj bolničkih prijema pod šiframa “MKB-10”:“I00-I99” (bolesti sistema krvotoka); “I21+I22” (akutni infarkt srca) i “I60-I69” (bolesti krvnih sudova mozga), a odnosi se na osobe čije mesto stanovanja pripada teritoriji Grada Novog Sada.

Dnevni broj respiratornog morbiditeta podrazumevao je na dnevnom nivou registrovan broj bolničkih prijema pod šiframa “MKB-10”:“J00-J99” (bolesti sistema za disanje);“J18” (nespecifična upala pluća), a takođe se odnosi na osobe čije mesto (adresa) stanovanja pripada teritoriji Grada Novog Sada (Novi Sad, Stepanovićevo, Begeč, Futog, Kovilj, Petrovaradin, Sremska Kamenica, Ledinci, Stari Ledinci, Veternik, Čenej, Bukovac, Kisač, Rumenka, Kać, i Budisava) (239).

Svi navedeni zdravstveni podaci su stratifikovani prema polu (muški/ženski) i prema uzrastu (18-64 godine / 65 godina i više).

Podaci o zdravstvenom ishodu za periode u kojima se obavljalo uzorkovanje suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ tokom 2017. godine preuzeti su iz Centra za informatiku i biostatistiku u zdravstvu IZJZV.

4.5. Statistička obrada podataka

Statistička obrada podataka podrazumevala je primenu deskriptivnih metoda analize (srednja / prosečne vrednosti, standardna devijacija (SD), minimalna i maksimalna vrednost).

Jednofaktorska analiza varijanse (ANOVA) je primenjena radi utvrđivanja razlike kvaliteta vazduha u odnosu na godišnja doba, a Studentov t – test u odnosu na merna mesta.

Korelaciona analiza upotrebom Pearson-ovog koeficijenta je upotrebljena radi utvrđivanja:

- stepena povezanosti suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine sa lokacija UT i UB;
- međusobnog odnosa (stepen povezanosti) (240) suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ i meteoroloških parametara;
- stepena povezanosti komponenti (sastojaka) (240) suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine unutar i između lokacija UT i UB.

Radi postizanja kontinuiranog obuhvata podataka za svako godišnje doba, sporadično nedostajuće vrednosti dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ tretirane su metodom jednostruke imputacije (aritmetička sredina) (241). U slučaju jesenjeg perioda, kada je nedostak podataka o dnevnim koncentracijama bio veći od 10% u odnosu na obuhvaćen interval tokom tog godišnjeg doba (poteškoće tehničke prirode/ uzorci isključeni iz istraživanja jer nisu bili validni) vrednosti i hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$ su modelovane primenom višestruke linearne regresije i faktora konverzije, redom (242).

Modeli predikcije (formule 1 i 2) su zasnovani na utvrđenim koncentracijama / sastavu čestica $PM_{2,5}$ sortiranim po lokacijama i godišnjem dobu (jesen), radi postizanja visoke senzitivnosti svakog modela. Svaki model linearne regresije obuhvatao je

meteorološke perametre koji nisu u snažnoj korelacionoj povezanosti za analizirano godišnje doba ($r < 0,2$). Zbog nepredvidivih dnevnih varijacija koncentracija $PM_{2,5}$ („sporadični dnevni pikovi“), moguće greške u razvijenim linearnim modelima su prevaziđene unapređenjem samog modela sa trenutnim karakteristikama zagađenja vazduha u blizini, odnosno u model je uvedena dnevna koncentracija $PM_{2,5}$ sa druge analizirane lokacije kad god je to bilo moguće.

Čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije UT:

$$PM_{2,5} = 208,528_{(b1)} - 1,644_{(b2)} * RV - 6,389_{(b3)} * BV \quad (1)$$

$$R^2 = 0,47 \text{ (47\%)}$$

Čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije UB:

$$PM_{2,5} = -81,245_{(b1)} + 0,96_{(b2)} * RV + 3,845_{(b3)} * DUN + 0,282_{(b4)} * PM_{2,5 \text{ UT}} \quad (2)$$

$$R^2 = 0,53 \text{ (53\%)}$$

b_{1...n} – vrednosti regresionih koeficijenata primenjenog statističkog modela; RV-relativna vlažnost vazduha; BV-brzina vetra, DUN – dan u nedelji; $PM_{2,5 \text{ UT}}$ – koncentracija čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UT, R^2 - Koeficijent determinacije modela.

Cilj svakog od regresionog modela je bio da se dobija tačnost predviđanja iznad slučajnog nagađanja (243). Za određivanje granice tačnosti predviđanja, utvrđene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su u analiziranom periodu posmatrane kroz tri klase: $<13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13 - 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 5). Navedene tri klase su definisane po modelu kreiranja indeksa kvaliteta vazduha od strane američke Agencije za zaštitu životne sredine (US EPA) (244, 245), uzimajući u obzir i nacionalni normativ za čestice $PM_{2,5}$ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), koji je definisan kao gornja granica druge navedene klase. Raspon koncentracija $13 - 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za drugu klasu je odabran za granicu tačnosti predviđanja, jer je posmatran kao ekvivalent umerenom kvalitetu vazduha kada su već mogući negativni efekti na zdravlje ljudi (244, 245). Učestalost dana za svaku navedenu klasu na lokaciji UT je bila 0%, 7% i 93%, redom (Tabela 5), te je tačnost predviđanja definisana kao $> 7\%$ za model predviđanja čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UT. Učestalost navedenih klasa na lokaciji UB je bila 0%, 40% i 60% (Tabela 5), tačnost predviđanja je definisana kao $> 40\%$ za model predviđanja čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UB.

Tabela 5. Model određivanja koeficijenta determinacije za definisanje kriterijuma prihvatljivosti regresionih modela predviđanja koncentracija čestica $PM_{2,5}$ sa lokacija UT i UB

Klase koncentracija $PM_{2,5}$	Čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije UT	Čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije UB
	Broj dana (%)	Broj dana (%)
$<13 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0,00	0,00
* $13 - 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	7,00	40,00
$>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	93,00	60,00

* Granica tačnosti predviđanja koncentracija $PM_{2,5}$

S obzirom da su koeficijenti determinacije za model predviđanja čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UT i čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UB iznosili 0,53 i 0,47, ukazujući na tačnost predviđanja od 53% odnosno 47%, navedeni modeli su prihvaćeni jer prevazilaze slučajno nagađanje (Tabela 5).

Koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ na lokacijama UT i UB, međusobno su upoređivane radi procene veličine doprinosa saobraćaja porastu koncentracije čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine Grada Novog Sada. Bazirano na Lenschow-om pristupu (111), postupak izračunavanja doprinosa podrazumevao je oduzimanje koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ utvrđenih na lokaciji UB od koncentracije čestica $PM_{2,5}$ utvrđenih na lokaciji UT (formula 3):

$$\text{Doprinosa saobraćaja: } \text{čestice } PM_{2,5UT} - \text{čestice } PM_{2,5UB} \quad (3)$$

$PM_{2,5UT}$ - čestice $PM_{2,5}$ uzorkovane na lokacija urban traffic; $PM_{2,5UB}$ - čestice $PM_{2,5}$ uzorkovane na lokaciji urban background

Procena saobraćaja kao doprinosa ili drugih mogućih stacionarnih izvora, zasnovana na hemijskom sastavu čestica $PM_{2,5}$, podrazumevala je poređenju koncentracija svake od analizirane komponente u masi čestica $PM_{2,5}$ utvrđenih na lokacijama UT i UB.

U slučaju da su koncentracije analiziranih sastojaka bile veće na lokaciji UT, vrednost odnosa je izražena kao >1 , odnosno <1 u slučaju većih koncentracija hemijskih sastojaka u česticama $PM_{2,5}$ na lokaciji UB (246).

Zasnovano na principima Lenschow-og pristupa, odnos koncentracija analiziranih sastojaka >1 je posmatran kao pokazatelj doprinosa saobraćaja porastu koncentracija analiziranih sastojaka, dok je odnos <1 pokazatelj doprinosa različitih urbanih izvora.

Maseni odnosi svake komponente hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$, između i unutar lokacija UT i UB, je primenjen u cilju identifikacije i drugih mogućih izvora zagađenja vazduha životne sredine.

Za procenu uticaja nezavisnih promenljivih (čestice $PM_{2,5}$ / sadržaj čestica $PM_{2,5}$) na zavisne (ukupan mortalitet, kardiovaskularni i respiratorni morbiditet) primenjen je generalizovani linearni model regresione analize za vremenske serije podataka prema Poasonovom tipu rasporeda verovatnoća (247, 248).

Shodno velikom broju zavisnih varijabli (mortalitet i uzročno specifični morbiditet, stratifikovani prema polu i starosti), za svaku ponaosob kreiran je osnovni regresioni model koji je prilagođen potencijalnim pridruženim faktorima. Procena potencijalnih pridruženih faktora, koji su od značaja za kreiranje najbolje prilagođenog osnovnog modela, zasnivala se prvo na obuhvatu nemerljivih varijabli koji su pokazatelji varijacija srednjeročnih i kratkoročnih ciklusa, definisanih vremenom, unutar jednogodišnjeg perioda (dan u godini, dan u nedelji, nedelja u godini). Navedeni vremenski faktori su uzeti u obzir bez obzira na statističku značajnost doprinosa, u odnosu na zdravstveni ishod, jer umanjuju kratkoročne fluktuacije u podacima, čime se smanjuje ili eliminiše stepen serijske korelacije (autokorelacija). Varijable, dan u godini i nedelja u godini, su u osnovni statistički model uvedene kao linearne varijable, dok su dani u nedelji uvedeni kao „*dummy*“ varijable kodirane sa 1 - radni dan (ponedeljak-petak) i 0 - dani vikenda (subota i nedelja) (181, 186, 247, 248).

Nakon kontrole srednjeročnih i kratkoročnih fluktuacija zdravstvenih podataka, u osnovni model uvedene su merljive vremenske varijable, odnosno dnevne varijacije meteoroloških faktora. Prema dostupnoj naučnoj literaturi (181, 185, 186, 247, 248) opšte je prihvaćeno da su temperatura i relativna vlažnost vazduha najznačajniji pridruženi faktori, s obzirom da su povezane i sa zdravstvenim ishodom, ali i sa nezavisnim varijablama (zagađujućim materijama iz vazduha). U preliminarnim statističkim analizama (posmatrano u odnosu na svaki zdravstveni ishod), „*stepwise*“ linernom regresijom, utvrđeno je da je dnevni mortalitet (stratifikovan prema polu i uzrastu) najbolje prilagođen kvadratnim izrazom temperature, dnevni respiratorni morbiditet pretežno linearnim izrazom temperature (kubični izraz je upotrebljen za prilagođavanje modela analize nespecifične upale pluća stratifikovanih prema polu), dok je dnevni kardiovaskularni morbiditet najbolje prilagođen linearnim, ali i kvadratnim izrazom temperature (zavisno od uzrasta i pola) (247, 248). Relativna vlažnost vazduha nije uvedena u osnovni model zbog rezultata provere multikolinearnosti (relativna vlažnost vazduha vs temperatura vazduha, $r = -0,789$).

Kako je uvođenje meteoroloških faktora u osnovni model bilo zasnovano, ne samo na opšte prihvaćenim principima (185, 247, 248), nego i na osnovu statističke opravdanosti ($p < 0,05$), iz osnovnog modela je isključena brzina vetra, jer nije predstavljala značajan pridružen faktor ($p > 0,05$).

Odabir konačnog osnovnog statističkog modela, koji najbolje opisuje prilagođenost zdravstvenih podataka opisanim pridruženim faktora, odabran je na osnovu Akaike kriterijuma. Što je vrednost Akaike kriterijuma manja, to je prilagođenost osnovnog statističkog modela bolja. Kako vremenske serije podataka obično sadrže autokorelacije unutar promenljivih, koje često predstavljaju pokazatelj nepotpune ili neadekvatne specifikacije modela, za svaki konačan osnovni model uključen je vizuelni pregled podataka specifikacija autokorelacije (247, 248).

Velik broj zavisnih varijabli (mortalitet i uzročno specifični morbiditet, stratifikovani prema polu i uzrastu), nije dozvolio primenu uniformnog osnovnog konačnog modela koji je, u osnovi, zasnovan na sledećoj jednačini (4):

$$\text{Broj smrtnih slučajeva / bolničkih prijema} = \beta_0 + \beta_1 * \text{dan u godini} + \beta_2 * \text{nedelja u godini} + \beta_3 * \text{dan u nedelji} + \beta_4 * \text{relativna vlažnost} + \beta_5 * \text{temperatura} + \beta_6 * \text{temperatura} * \text{temperatura} + \beta_7 * \text{PM}_{2,5} \quad (4)$$

β - vrednost koeficijenta regresione jednačine, na osnovu kojeg se procenjuje porast ili pad broja smrtnih slučajeva/ bolničkih prijema.

Varijacije u osnovnim modelima, uslovljene Akaike kriterijumima u odnosu na različite zdravstvene ishode, podrazumevale su uključenje/isključenje opisanih nemerljivih i merljivih pridruženih faktora od interesa. Za procenu podobnosti svakog modela upotrebljena je vrednost Pirsonov-og hi-kvadrat testa, upoređujući izmerenu raspodelu sa modelovanom. Statistički model koji se dobro uklapa u podatke ima hi-kvadrat statistiku blisku stepenima slobode (df) ($\sim df \sim 1$), gde je $df = n - p$ (n = broj opažanja i p = broj parametara) (247, 249). U slučaju postojanja prekomernog rasipanja podataka (vrednost/stepen slobode $> 1,5$) (250) provera modela je zasnovana na primeni parametara negativne binomne regresije (test racija verodostojnosti („likelihood ratio test“), Akaike-ov informacioni kriterijum i standardna greška) (249).

Nakon provere prilagođenosti i podobnosti osnovnog statističkog modela, a u cilju ispitivanja prirode povezanosti čestica $PM_{2,5}$ i određenog hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ sa mortalitetom / morbiditetom u model je uvedena prosečna dnevna koncentracija čestica $PM_{2,5}$ / određenog sastava čestica $PM_{2,5}$.

Na osnovu primenjenog regresionog modela (formula 4) rezultat je izražen kao porast dnevnog broja smrtnih slučajeva (mortaliteta) / bolničkih prijema sa svakim porastom dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ / hemijskog sastojka (komponente) čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu g/m^3$, redom, a na osnovu utvrđenog relativnog rizika (RR) (247) (formula 5).

$$RR = e^{\beta \cdot \Delta} \quad (5)$$

β – regresioni koeficijent; e -exponent; Δ - porast koncentracije od $1 \mu g/m^3$.

Porast dnevnog broja smrtnih slučajeva/bolničkih prijema, izražen kroz procentualnu vrednost (248), je računat na osnovu sledeće formule (6)

$$\% \text{ porasta smrtnih slučajeva/hospitalizacija} = (RR-1) \cdot 100 \quad (6)$$

Zbog izuzetno velikog broja kreiranih statističkih modela, nakon uvođenja $PM_{2,5}$ čestica u model, opravdanost zadržavanja i uvođenja novih pridruženih faktora zasnovana je i na teorijskoj osnovi / empirijskom opravdanju za uključivanje pridruženih varijabli. Statistički modeli koji su ispitivali prirodu povezanosti hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ i analiziranih zdravstvenih ishoda, bili su, pored osnovnih pridruženih faktora, prilagođeni masenom koncentracijom čestica $PM_{2,5}$, kao i odgovarajućim hemijskim sastojkom. Uvođenje hemijskog sastojka u model, kao pridružene varijable, je bilo zasnovano na prehodno dobijenim rezultatima identifikacije izvora.

Za sve primenjene statističke analize korišćen je statistički paket SPSS, verzija 21, a značajnim su smatrane razlike/povezanosti na nivou od $p < 0,05$. Za grafički prikaz podataka korišćen je Excel 2016.

5. REZULTATI

5.1. Koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada

Na području Novog Sada, u ukupno 158 dana posmatranog jednogodišnjeg perioda, na osnovu istovremenog uzorkovanja čestica PM_{2,5} na lokacijama UT i UB, određene su dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} (Grafikon 1).

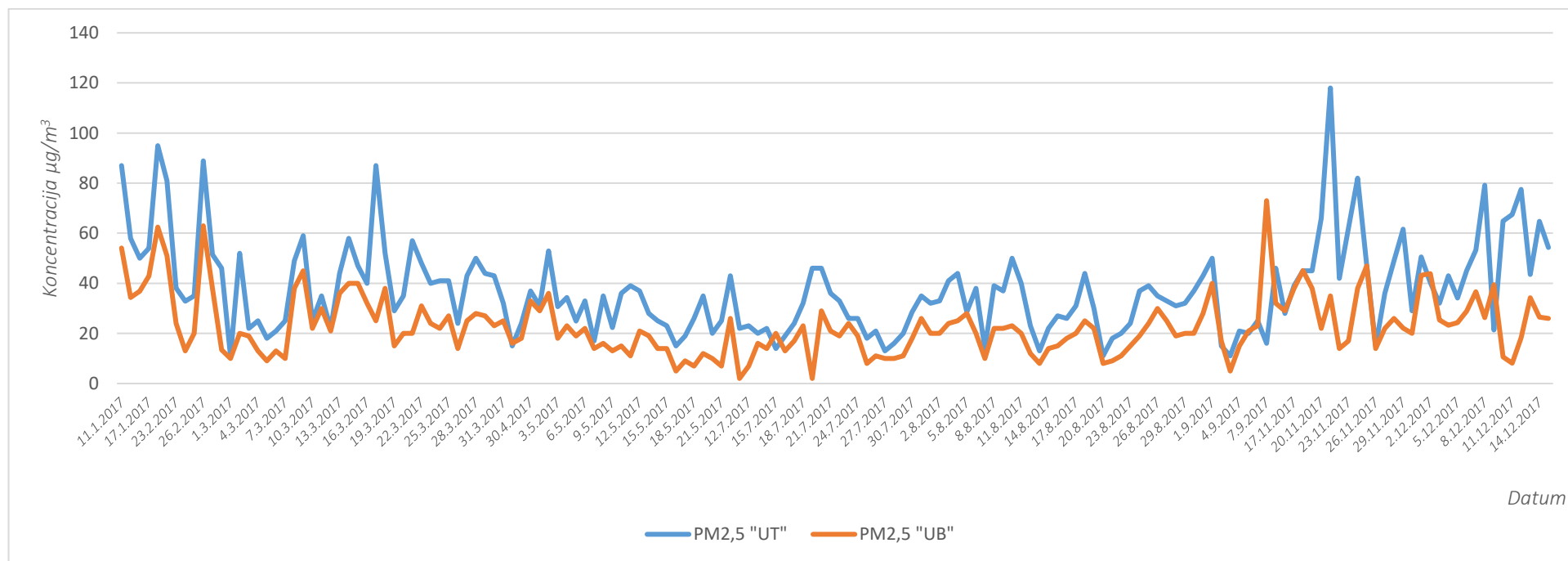
Na osnovu statističke deskriptivne analize dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5}, srednje godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} na lokacijama UT i UB su iznosile $37,45 \pm 18,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $22,95 \pm 11,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 6). Minimalne dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} na lokacijama UT i UB su iznosile $10,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a maksimalne $118,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $73,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom (Tabela 6).

Prosečna godišnja koncentracija čestica PM_{2,5} za područje Novog Sada, određena na osnovu usrednjavanja koncentracija utvrđenih na obe lokacije, je iznosila $30,28 \pm 13,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sa opsegom od $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ do $78,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabela 6).

Tabela 6. Statistički deskriptivni pokazatelji dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) u vazduhu životne sredine na području Grada Novog Sada

<i>Lokacija/ područje</i>	<i>Broj dana</i>	\bar{X}	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>SD</i>
UT ("Urban Traffic")	158	37,45	10,86	118,00	18,25
UB ("Urban Background")	158	22,95	2,00	73,00	11,97
Grad Novi Sad	158	30,28	8,00	78,75	13,50

Grafikon 1. Utvrđene dnevne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ tokom ispitivanog perioda na lokacijama „urban traffic“ (UT) i „urban background“ (UB) u Gradu Novom Sadu



$PM_{2,5}$ „UT“ – čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije „urban traffic“; $PM_{2,5}$ „UB“ – čestice $PM_{2,5}$ sa lokacije „urban background“

Prosečne dnevne koncentracije PM_{2,5} na području Novog Sada su tokom 32 dana zime, 35 dana proleća, 60 dana leta i 31-og dana jeseni iznosile 37,84 µg/m³, 25,93 µg/m³, 23,75 µg/m³ i 39,62 µg/m³ redom (Tabela 7). Varijacije prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} između godišnjih doba su bile statistički značajne (ANOVA, F=19,07; p<0,01). Rezultati Post hoc testa (p<0,05) ukazuju na značajnu razliku između koncentracija utvrđenih u toku perioda zima – jesen nasuprot leto – proleće. Prosečne dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} tokom perioda zima – jesen su bile značajno veće nasuprot koncentracijama koje su utvrđene tokom perioda leto –proleće (Tabela 7).

Analizom sezonskih varijacija dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u odnosu na odabrane lokacije, takođe je utvrđena statistički značajna razlika (F=17,79; p<0,01 i F=10,40; p<0,01). Najveće dnevne koncentracije na lokacijama UT i UB se takođe registruju tokom zime, 46,03 µg/m³ i 29,66 µg/m³, redom, odnosno jeseni, 51,03 µg/m³ i 28,20µg/m³, redom (Tabela 7).

Tabela 7. Varijacije koncentracija čestica PM_{2,5} u Gradu Novom Sadu u odnosu na sezonu i posmatranu lokaciju

		Broj dana	\bar{X}	SD	Min	Max	ANOVA	
							F	p
UT	Zima	32	46,03	22,38	10,86	95,00	17,97	<0,01
	Proleće	35	32,80	10,83	15,00	57,00		
	Leto	60	28,56	10,48	11,00	50,00		
	Jesen	31	51,03	20,60	15,00	118,00		
UB	Zima	32	29,66	15,33	9,00	63,00	10,40	<0,01
	Proleće	35	19,05	7,74	5,00	36,00		
	Leto	60	18,93	10,19	2,00	73,00		
	Jesen	31	28,20	10,45	8,12	47,00		
Grad Novi Sad	Zima	32	37,84	18,12	10,43	78,75	19,07	<0,01
	Proleće	35	25,93	8,59	10,00	44,49		
	Leto	60	23,75	8,56	8,00	45,00		
	Jesen	31	39,62	11,33	14,50	76,50		

UT - "Urban Traffic"; UB- "Urban Background"

Propisan nacionalni normativ na godišnjem nivou, GV od $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ je na području Novog Sada prekoračen za 21,12%, na lokaciji UT za 49,80%, dok na lokaciji UB nije utvrđeno prekoračenje GV. Propisana TV na godišnjem nivou od $26,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, koju je bilo potrebno dostići u toku 2017. godine, je na području Novog Sada prekoračena za 22,7%, na lokaciji UB za 41,7%, a na loakciji UB nije bilo prekoračenja TV (Tabela 8)

Posmatrano za područje Novog Sada, preporučene vrednosti koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ na godišnjem nivou od strane SZO ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) su prekoračene za 202,8%, dok su na lokacijama UT i UB navedene preporuke prekoračene za 274,5% i 129,5%, redom (Tabela 8).

U ispitivanom periodu prosečne dnevne koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ za područje Novog Sada su prekoračile preporučeni dnevni normativ SZO ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) tokom 97 (61,39%) dana. Na lokacijama UT i UB, utvrđene dnevne koncentracije čestice $\text{PM}_{2,5}$ su prevazilazile preporučeni dnevni normative SZO tokom 110 (69,62%) i 50 (31,65%) dana, redom (Tabela 8).

Tabela 8. Prekoračenje propisanih / preporučene godišnjih i dnevnih normative za čestice $\text{PM}_{2,5}$ na području Novog Sada

Lokacija/područje	Prekoračenja nacionalne godišnje GV ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Prekoračenja nacionalne godišnje TV ($26,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Prekoračenja preporučene godišnje SZO ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Broj dana prekoračenja preporučenih SZO ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	%	%	%	n	%
UT ("Urban Traffic")	49,80	41,70	274,5	110	69,62
UB ("Urban Background")	0,00	0,00	129,5	50	31,65
Grad Novi Sad	21,12	22,70	202,8	97	61,39

Tokom zime na području Novog Sada prekoračenja preporučenih dnevnih vrednosti od strane SZO je utvrđeno u 69% ispitivanih dana, u 51% u toku proleća, u 50% u toku leta i u 93% u toku jeseni (Tabela 9). Na lokaciji UT tokom zime, proleća, leta i jeseni, broj dana prekoračenja preporučenih dnevnih vrednosti SZO je iznosio 84%, 66%, 57% i 93%, redom. Broj dana prekoračenja preporučenih dnevnih vrednosti SZO tokom zime, proleća, leta i jeseni na lokaciji UB je iznosio 50%, 20% , 17% i 20%, redom (Tabela 9).

Tabela 9. Sezonske varijacije prekoračenja preporučenih vrednosti SZO na dnevnom nivou za čestice PM_{2,5} u Novom Sadu

Godišnje doba Lokacija/područje	Broj dana prekoračenja preporučenih vrednosti SZO (25 µg/m ³)							
	Zima		Proleće		Leto		Jesen	
	n	%	n	%	n	%	n	%
UT ("Urban Traffic")	27	84,37	23	65,71	34	56,66	29	93,54
UB ("Urban Background")	16	50,00	7	20,00	10	16,66	19	20,37
Grad Novi Sad	22	68,75	18	51,42	30	50,00	29	93,54

5.2. Uticaj meteoroloških uslova na koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada

Analizirajući meteorološke uslove tokom perioda istraživanja za područje Grada Novog Sada (Grafikon 2) utvrđeno je da su prosečne dnevne vrednosti temperature iznosile $14,73 \pm 9,23^{\circ}\text{C}$, relative vlažnosti vazduha $69,35 \pm 15,68\%$ i brzine vetra $2,9 \pm 1,18\text{km/h}$ (Tabela 10).

Unutar sva četiri godišnja doba, dnevne temperature vazduha su se kretale od $-10,50^{\circ}\text{C}$ (zima) do $31,80^{\circ}\text{C}$ (leto), relativna vlažnost vazduha od 37% (leto) do 98% (jesen), a brzina vetra od $0,80\text{km/h}$ (leto i jesen) do $7,2\text{km/h}$ (zima) (Tabela 10).

Detaljnija analiza Post-hoc testom je utvrdila statistički značajnu razliku u dnevnim temperaturama vazduha i relativnoj vlažnosti vazduha između svih godišnjih doba (ANOVA, $F=161,41; p<0,01$) izuzev doba zima-jesen (Tabela 10). Najveće vrednosti dnevnih temperatura vazduha su bile tokom leta, a najniže tokom jeseni, odnosno $23,90^{\circ}\text{C}$ i $5,07^{\circ}\text{C}$, redom (Tabela 10).

Dnevne vrednosti relativne vlažnosti vazduha su statistički značajno bila najniže tokom leta ($57,08\%$) a najveće tokom jeseni ($84,16\%$) ($F=44,922, p<0,01$).

Dnevne varijacije brzine vetra tokom sva četiri godišnja doba, zima, proleće, leto i jesen, odnosno $3,34\text{km/h}$, $2,77\text{ km/h}$, $2,68\text{ km/h}$ i $2,99\text{km/h}$, redom, nisu bile statistički značajno različite ($F=2,361, p>0,05$) (Tabela 10).

Grafikon 2. Prosečne dnevne vrednosti temperature vazduha (a), relativne vlažnosti vazduha (b) i brzine vetra (c) na području Grada Novog Sada tokom ispitivanog perioda 2017. godine

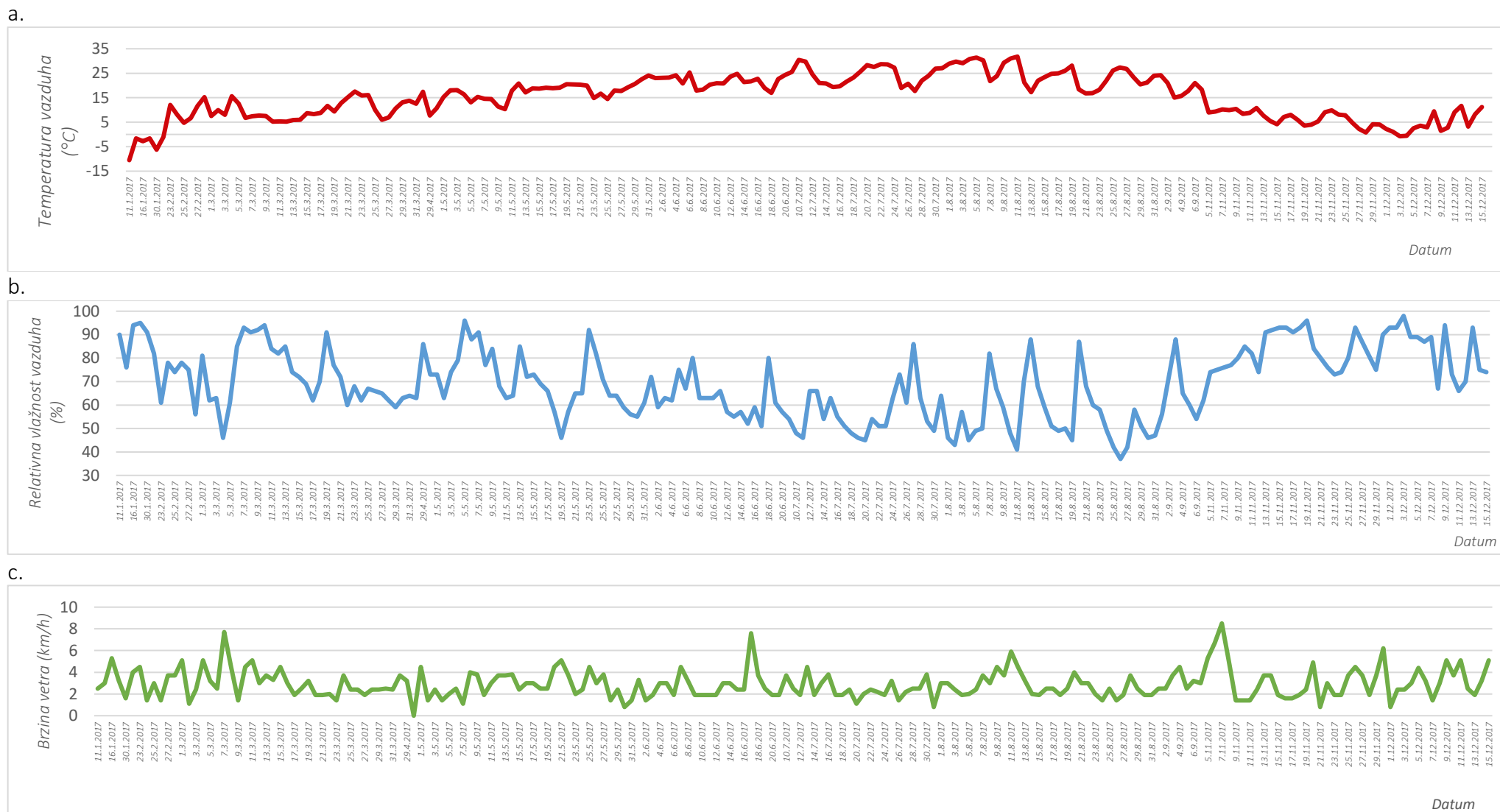


Tabela 10. Deskriptivna statistika i sezonska varijacija meteoroloških parametara na području Grada Novog Sada tokom perioda istraživanja

	<i>N</i>	\bar{X}	<i>SD</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Temperatura vazduha (°C)					
Anova F=161,41; p<0,01					
Zima	32	6,40	5,94	-10,50	15,60
Proleće	35	15,20	4,04	6,00	20,80
Leto	60	23,90	4,56	15,00	31,80
Jesen	31	5,07	3,43	-0,70	11,70
Godina	158	14,73	9,23	-10,50	31,80
Relativna vlažnost vazduha (%)					
F=44,922; p<0,01					
Zima	32	77,62	12,81	46,00	95,00
Proleće	35	69,71	10,74	46,00	96,00
Leto	60	57,08	12,26	37,00	88,00
Jesen	31	84,16	9,49	66,00	98,00
Godina	158	69,35	15,68	37,00	98,00
Brzina vetra (km/h)					
F=2,361; p>0,05					
Zima	32	3,34	1,45	1,10	7,70
Proleće	35	2,77	0,98	1,10	5,10
Leto	60	2,68	0,96	0,80	5,90
Jesen	31	2,99	1,39	0,80	6,20
Godina	158	2,90	1,18	0,80	7,70

Analizom međusobnog odnosa meteoroloških parametara i koncentracija čestica PM_{2,5} za područje Novog Sada (Tabela 11) tokom celokupnog ispitivanog perioda utvrđena je statistički značajna negativna poveznost između temperature i relativne vlažnosti vazduha (p<0,01), temperature vazduha i koncentracije čestica PM_{2,5} (p<0,01), brzine vetra i koncentracije čestica PM_{2,5} (p<0,05). Tokom perioda istraživanja statistički značajna pozitivna poveznost je utvrđena između relativne vlažnosti vazduha i brzine vetra (p<0,05), odnosno relativne vlažnosti vazduha i koncentracije čestica PM_{2,5} (p<0,05).

Tabela 11. Korelaciona povezanost meteoroloških parametara i koncentracije čestica PM_{2,5} u Novom Sadu tokom ispitivanog perioda

	Temperatura vazduha	Relativna vlažnost vazduha	Brzina vetra	Čestice PM _{2,5}
Temperatura vazduha	1			
Relativna vlažnost vazduha	-0,798**	1		
Brzina vetra	-0,136	0,162*	1	
Čestice PM _{2,5}	-0,464**	0,208**	-0,202*	1

Primenom višestruke linearne regresije utvrđena je statistički značajna povezanost ($R^2=0,286$; $p<0,01$) analiziranih meteoroloških parametara i koncentracije čestica PM_{2,5} (Tabela 12). Odnosno, veće koncentracije čestica se očekuju tokom dana sa nižim dnevnim temperaturama vazduha ($\beta = -0,678$; $p<0,01$) i smanjenom brzinom vetra ($\beta = -0,678$; $p<0,01$).

Tokom celokupnog perioda istraživanja oko 30% dnevnih varijacija koncentracija čestica PM_{2,5} je objašnjeno varijacijama dnevnih temperatura vazduha ($\beta = -0,678$; $p<0,01$) i brzine vetra ($\beta = -0,678$; $p<0,01$).

Prisustvo multikolinearnosti (temperatura/vlažnost $r=0,896$) (Tabela 11) onemogućilo je uključivanje relativne vlažnosti vazduha u višestruki regresioni model. Međutim u modelu proste linearne regresije (Tabela 12) utvrđena je statistički značajna pozitivna povezanost relativne vlažnosti vazduha ($R^2=0,043$; $p<0,01$) sa prosečnim koncentracijama čestica PM_{2,5}. Što je veća relativna vlažnost vazduha to je veća prosečna koncentracija čestica PM_{2,5}. Tokom perioda istraživanja oko 4% dnevnih varijacija koncentracija čestica PM_{2,5} objašnjeno je varijacijom relativne vlažnosti vazduha.

Tabela 12. Regresiona analiza odnosa meteoroloških parametara i prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u Novom Sadu tokom ispitivanog perioda

Varijable	Prosta regresija		Višestruka regresija		
	β	<i>p</i> vrednost	β	<i>p</i>	R ²
Temperatura vazduha (°C)*	-0,678	<0,01	-0,731	<0,01	
Relativna vlažnost vazduha (%)	0,179	<0,01	-	-	0,286
Brzina vetra (km/h)*	-2,302	<0,05	-3,077	<0,01	

* Uključene u višestruku regresiju; β –beta koeficijent regresije; R² – koeficijent determinacije višestruke regresije

Uticaj meteoroloških parametara na srednje dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada prikazan je u Tabelama 13 - 16 u odnosu na svako godišnje doba.

Tokom zimskog perioda, prostom regresionom analizom (Tabela 13), utvrđeno je da niže temperature vazduha ($p < 0,05$) i smanjena brzina vetra ($p < 0,05$) statistiki značajno predviđaju veće koncentracije srednjih prosečnih koncentracija čestica PM_{2,5}. Relativna vlažnost vazduha u toku zimskog perioda nije bila statistički značajan prediktor dnevnim varijacijama čestica PM_{2,5} ($p > 0,05$).

Primenom višestruke linearne regresije u toku zime utvrđeno je statistički značajna negativna povezanost temperature vazduha i brzine vetra sa prosečnim dnevnim koncentracijama čestica PM_{2,5} ($R^2 = 0,44$; $p < 0,05$) (Tabela 13). U danima sa nižom temperaturom vazduha i smanjenom brzinom vetra očekuju se veće koncentracije čestica PM_{2,5}. Dnevne varijacije prosečnih koncentracija čestica PM_{2,5} su u 44% slučajeva objašnjene varijacijom temperature vazduha i brzinom vetra.

Tabela 13. Regresiona analiza odnosa meteoroloških parametara i prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u Novom Sadu tokom zime

Varijable	Prosta regresija		Višestruka regresija		
	β	<i>p</i> vrednost	β	<i>p</i>	R ²
Temperatura vazduha (°C)*	-1,760	<0,01	-1,692	<0,05	
Relativna vlažnost vazduha (%)	0,340	0,185	-	-	0,443
Brzina vetra (km/h)*	-4,604	<0,05	-4,135	<0,01	

* Uključene u višestruku regresiju; β –beta koeficijent regresije; R² – koeficijent determinacije višestruke regresije

Tokom proleća, prostom regresionom analizom, utvrđeno je da brzina vetra predstavlja statistički značajan prediktor ($p < 0,05$) prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5}, za razliku od temperatura vazduha ($p > 0,05$) i relativne vlažnosti vazduha ($p > 0,05$) (Tabela 14). U danima sa smanjenom brzinom vetra očekuju se veće koncentracije čestica PM_{2,5}. Tokom proleća, približno 17% dnevnih varijacija prosečnih koncentracija čestica PM_{2,5} se može objasniti brzinom vetra ($R^2 = 0,167$; $p < 0,05$).

Tabela 14. Regresiona analiza odnosa meteoroloških parametara i prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u Novom Sadu tokom proleća

Varijable	Prosta regresija		
	β	<i>p</i>	R ²
Temperatura vazduha (°C)	-0,596	>0,05	0,079
Relativna vlažnost vazduha (%)	-0,157	>0,05	0,038
Brzina vetra (km/h)	-3,562	<0,05	0,167

Tokom letnjeg perioda veće temperature ($p < 0,05$) i snižena relativna vlažnost vazduha ($p < 0,01$) statistički značajno predviđaju veće prosečne dnevne koncentracije čestica PM_{2,5}. Brzina vetra u toku letnjeg perioda nije bila statistički značajan prediktor prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} ($p > 0,05$) (Tabela 15).

Primenom višestruke linearne regresije (Tabela 15) utvrđeno je da u oko 45% varijacija prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$, tokom leta, udeo imaju temperatura vazduha i relativna vlažnost vazduha ($R^2=0,45$; $p<0,05$) (Tabela 15). Tokom dana sa većim temperaturama i sniženom relativnom vlažnošću vazduha očekuju se veće prosečne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$.

Tabela 15. Regresiona analiza odnosa meteoroloških parametara i prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ u Novom Sadu tokom leta

Varijable	Prosta regresija		Višestruka regresija		
	β	<i>p vrednost</i>	β	<i>p</i>	R^2
Temperatura vazduha (°C)*	1,080	<0,01	0,501	<0,05	
Relativna vlažnost vazduha (%)*	-0,447	<0,01	-0,322	<0,01	0,448
Brzina vetra (km/h)	-1,825	>0,05	-4,135	-	

* Uključene u višestruku regresiju; β –beta koeficijent regresije; R^2 – koeficijent determinacije višestruke regresije

Tokom jeseni prosta linearna regresiona analiza pokazala je da relativna vlažnost vazduha ($p<0,05$) i brzina vetra ($p<0,01$) predstavljaju statistički značajne prediktore prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$, za razliku od temperature vazduha ($p>0,05$) (Tabela 16).

U istom period višestrukim regresionom analizom (Tabela 16) utvrđena je statistički značajna negativna povezanost koncentracije čestica $PM_{2,5}$ sa relativnom vlažnošću vazduha ($p<0,05$) i brzinom vetra ($p<0,01$). Tokom jeseni, veće prosečne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ se objašnjavaju smanjenom vlažnošću vazduha i smanjenom brzinom vetra u oko 70% analiziranih dnevnih varijacija ($R^2=0,69$; $p<0,01$)

Tabela 16. Regresiona analiza odnosa meteoroloških parametara i srednjih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u Novom Sadu tokom jeseni

Varijable	Prosta regresija		Višestruka regresija		
	β	<i>p</i> vrednost	β	<i>p</i>	R ²
Temperatura vazduha (°C)	0,931	>0,05	-	-	
Relativna vlažnost vazduha (%)*	-0,468	<0,05	-0,594	<0,01	0,688
Brzina vetra (km/h)*	-3,939	<0,01	-4,683	<0,01	

* Uključene u višestruku regresiju; β – beta koeficijent regresije; R² – koeficijent determinacije višestruke regresije

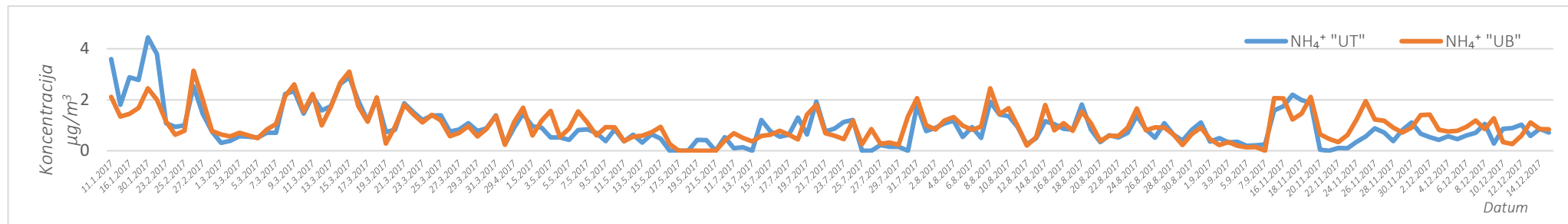
5.3. Hemijski sastav čestica PM_{2,5} i identifikacija izvora zagađenja vazduha

Na osnovu utvrđenih koncentracija (Grafikon 3 - 6) analiziranih katjona (Na⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺), anjona (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻) i DOC-a u česticama PM_{2,5}, udeo navedenih katjona, anjona i DOC-a iznosi ~ 30%, odnosno ~ 50% mase PM_{2,5} uzorkovane na lokacijama UT i UB, redom (Grafikon 7 i 8). Udeo ekvivalenta karbonatne frakcije je iznosio 67% u masi čestica PM_{2,5} sa lokacije UT, odnosno 49% u masi čestica PM_{2,5} sa lokacije UB (Grafikon 7 i 8).

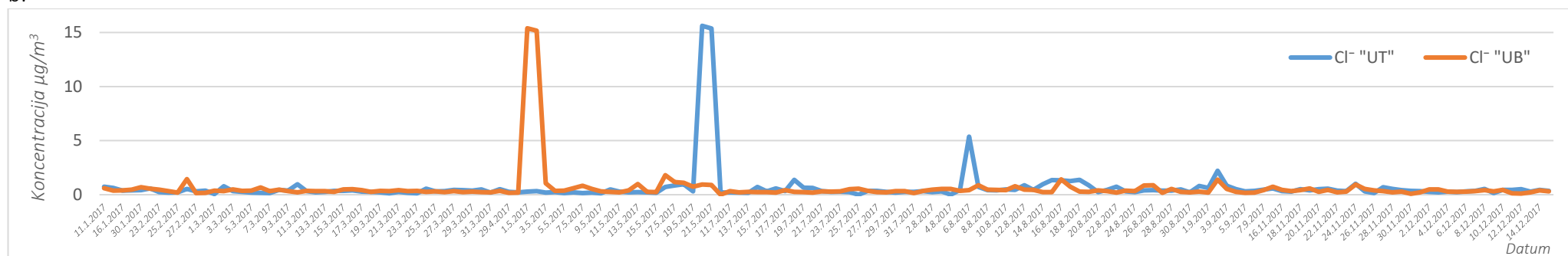
U proseku analizirani katjoni, anjoni i DOC na području Grada Novog Sada čine 40% mase prosečne godišnje koncentracije čestica PM_{2,5}, dok ekvivalent karbonatne frakcije čini 60% (Grafikon 7 i 8).

Grafikon 3. Utvrđene dnevne koncentracije analiziranih jona amonijuma (a), hlorida (b) i kalcijuma (c) u suspendovanim česticama PM_{2,5} tokom ispitivanog perioda na lokacijama „urban traffic“ (UT) i „urban background“ (UB) u Gradu Novom Sadu

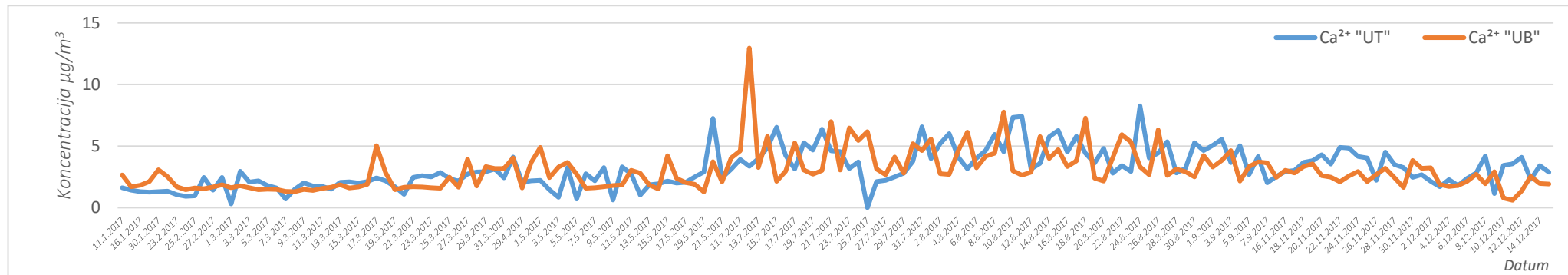
a.



b.

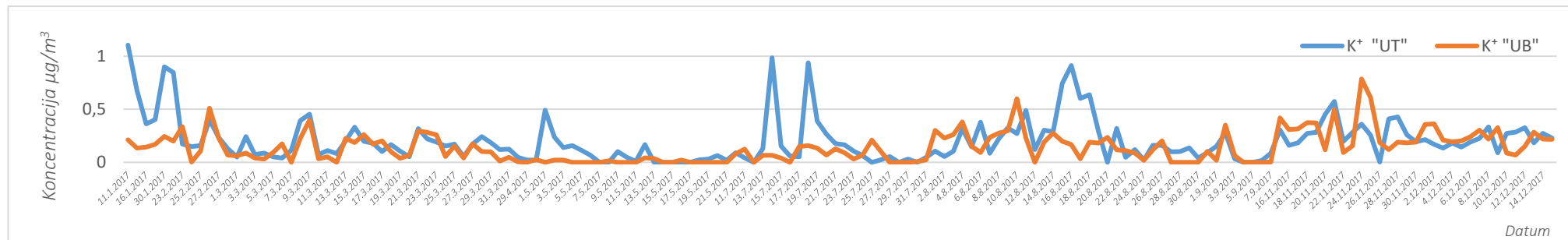


c.

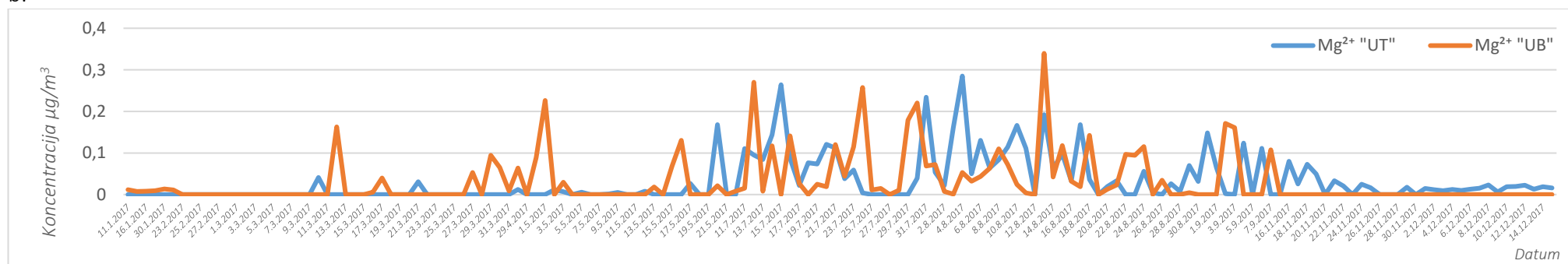


Grafikon 4. Utvrđene dnevne koncentracije analiziranih jona kalijuma (a), magnezijuma (b) i natrijuma (c) u suspendovanim česticama PM_{2,5} tokom ispitivanog perioda na lokacijama „urban traffic“ (UT) i „urban background“ (UB) u Gradu Novom Sadu

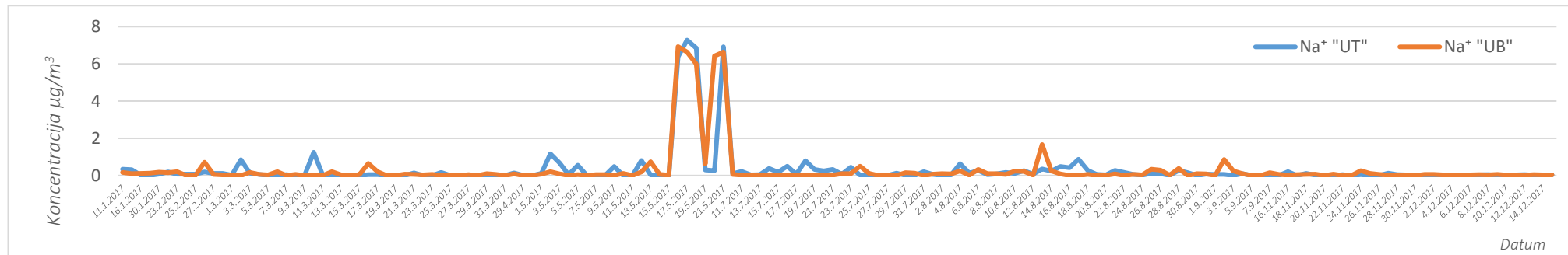
a.



b.

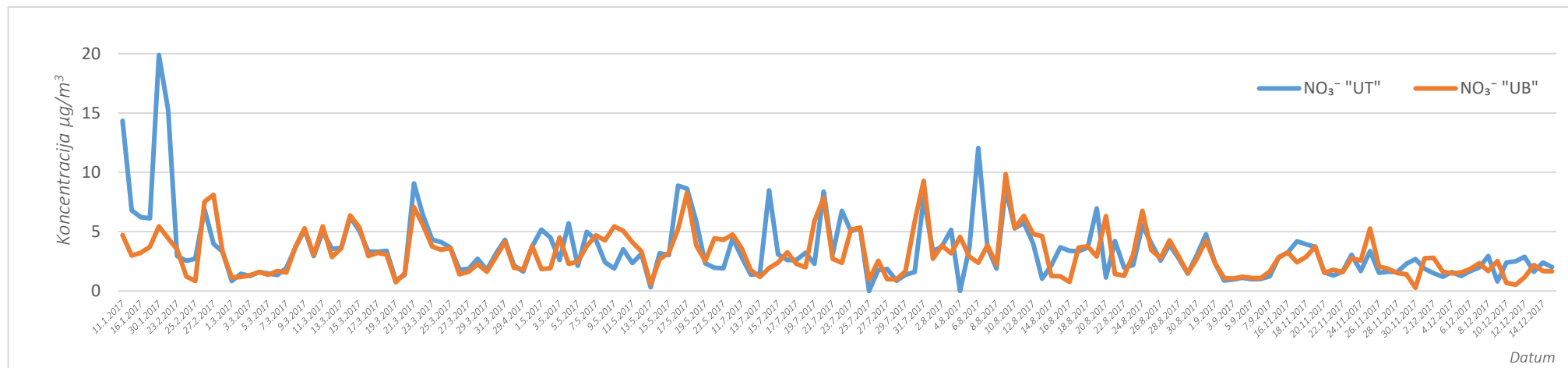


c.

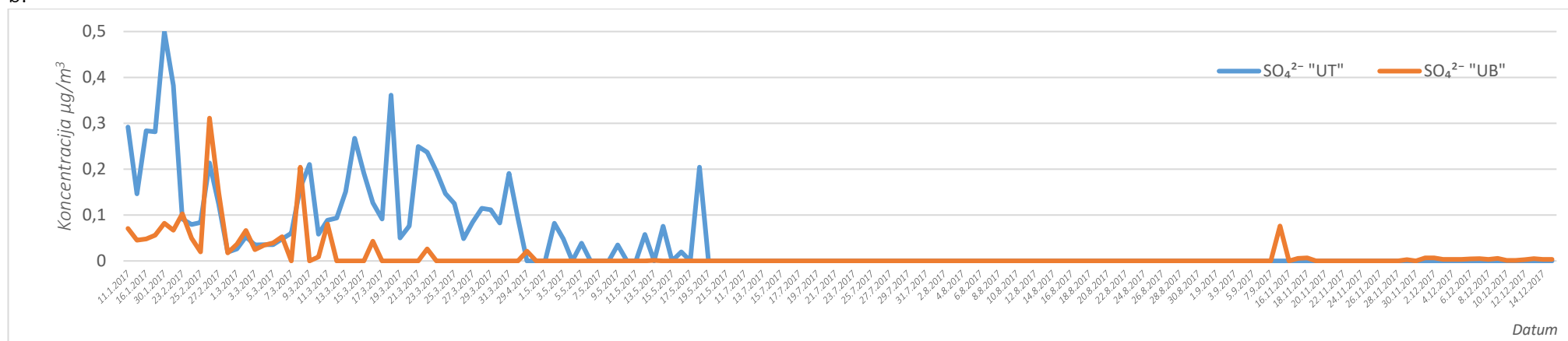


Grafikon 5. Utvrđene dnevne koncentracije analiziranih jona nitrata (a) i sulfata (b) u suspendovanim česticama PM_{2,5} tokom ispitivanog perioda na lokacijama „urban traffic“ (UT) i „urban background“ (UB) u Gradu Novom Sadu

a.

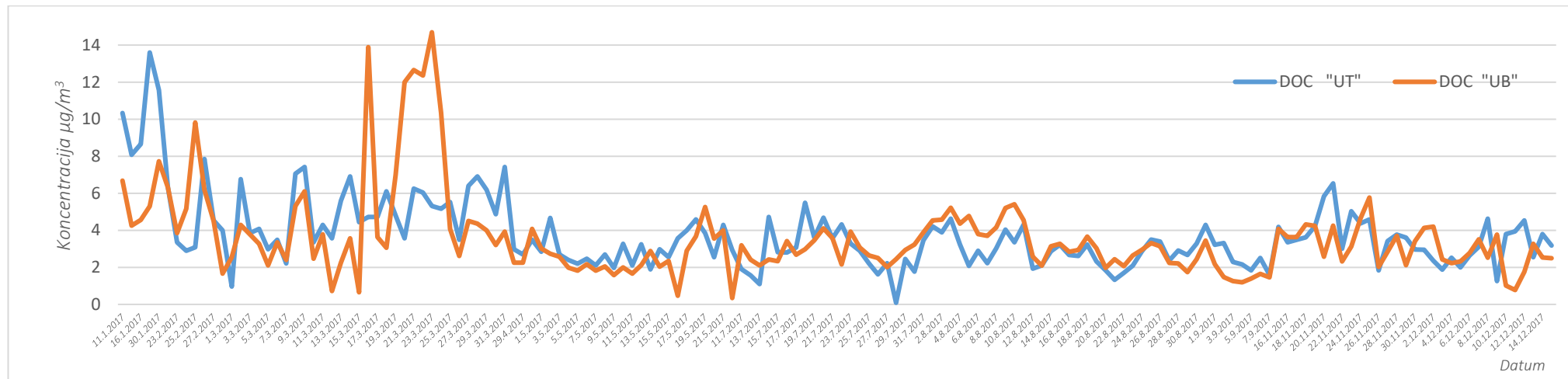


b.

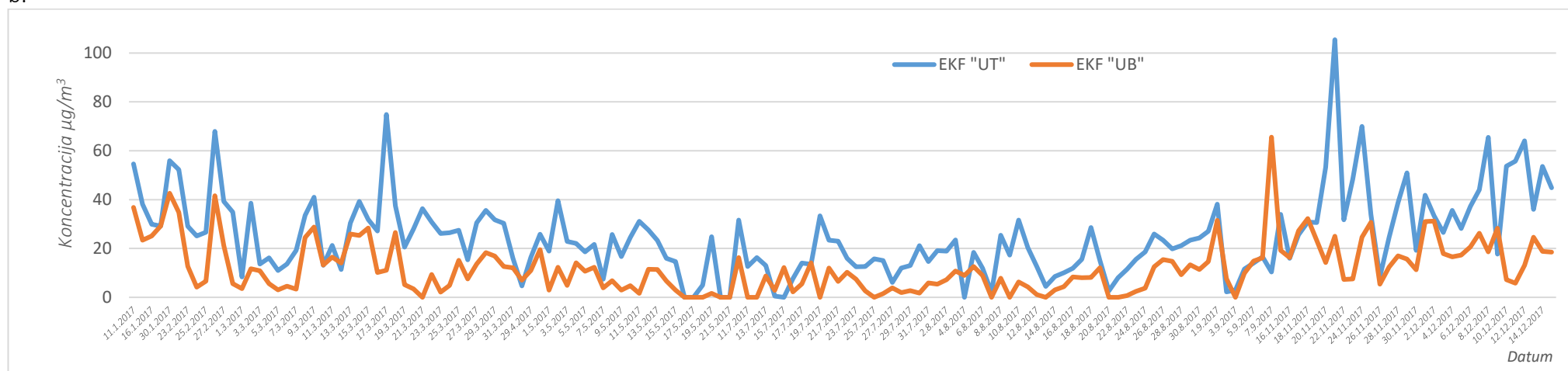


Grafikon 6. Utvrđene dnevne koncentracije rastvorljive organske frakcije (a) i ekvivalenta karbonatne frakcije (b) suspendovanih čestica PM_{2,5} tokom ispitivanog perioda na lokacijama „urban traffic“ (UT) i „urban background“ (UB) u Gradu Novom Sadu

a.



b.



Analizom hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ na području Grada Novog Sada utvrđeno je da u jonskom sastavu mase čestica $PM_{2,5}$ na lokacijama UT i UB dominiraju joni NO_3^- i Ca^{2+} sa srednjom koncentracijom od $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $3,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, odnosno $3,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom. Maseni udeo navedenih jona u masi čestica $PM_{2,5}$ uzorkovanih na lokaciji UT iznosio je $\sim 9,5\%$ i $\sim 8,5\%$, redom, odnosno $\sim 13,5\%$ i $\sim 13\%$, redom u česticama uzorkovanih na lokaciji UB (Grafikon 8 i Tabela 17).

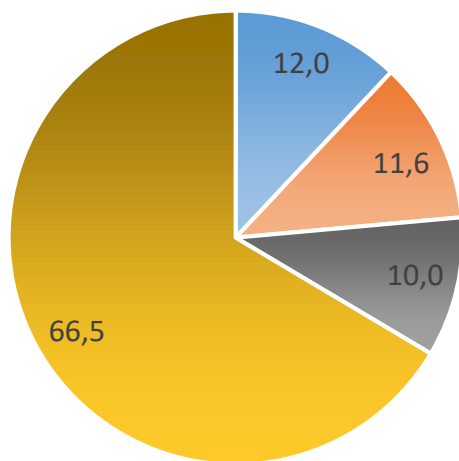
Srednje koncentracije ostalih analiziranih jona u česticama $PM_{2,5}$ uzorkovanih na lokacijama UT i UB su iznosile $\sim 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $\sim 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za NH_4^+ i Cl^- , odnosno $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za Na^+ , $<0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za K^+ i $<0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za SO_4^{2-} i Mg^{2+} (Tabela 17). Kombinovani maseni udeo navedenih jona iznosio je $\sim 6\%$ mase $PM_{2,5}$ merenih na lokaciji UT i $\sim 9\%$ mase čestica $PM_{2,5}$ merenih na lokaciji UB (Grafikon 8 i Tabela 17). Na lokacijama UT i UB u masi čestica $PM_{2,5}$ tokom analiziranog perioda srednja koncentracija DOC-a je iznosila $3,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $3,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sa udelom od $\sim 10\%$ i $\sim 16\%$, redom (Grafikon 7 i 8, Tabela 17).

Srednje godišnje koncentracije sekundarnih neorganskih aerosla (SNA) (SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+) u česticama $PM_{2,5}$ na lokacijama UT i UB su bile $4,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $4,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom, sa masenim udelom od 12% i $17,9\%$, redom. (Grafikon 7 i Tabela 17). Srednje godišnje koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ na lokacijama UT i UB su iznosile $26,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $13,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom (Tabela 17).

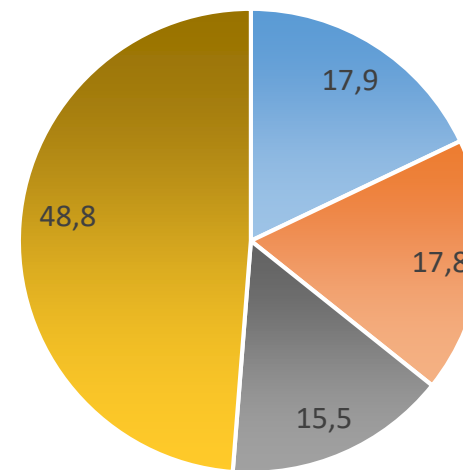
Posmatrano u odnosu na prosečne koncentracije čestica $PM_{2,5}$, u Gradu Novom Sadu, tokom analiziranog perioda, u jonskom sastavu dominiraju NO_3^- i Ca^{2+} , sa prosečnom koncentracijom od $3,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $3,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom. Maseni udeo pomenutih jona u prosečnoj masi čestica $PM_{2,5}$ je iznosio 11% i $\sim 10\%$ redom, (Grafikon 8 i Tabela 17).

Prosečne koncentracije ostalih analiziranih jona u česticama $PM_{2,5}$, sa obe lokacije na teritoriji Grada Novog Sada, su iznosile $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za NH_4^+ i Cl^- , redom, odnosno $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za Na^+ , $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za K^+ i $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za SO_4^{2-} i Mg^{2+} (Tabela 17). Kombinovani maseni udeo navedenih jona iznosio je $\sim 7\%$ prosečne mase $PM_{2,5}$ (Grafikon 8 i Tabela 17). U analiziranom sastavu čestica $PM_{2,5}$ tokom perioda istraživanja prosečna koncentracija DOC-a je iznosila $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sa učešćem od $\sim 12\%$ u prosečnoj masi čestica $PM_{2,5}$, dok je prosečna koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije iznosila $20,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Grafikon 8 i Tabela 17).

Grafikon 7. Hemijski sastav (%) čestica PM_{2,5} u Gradu Novom Sadu

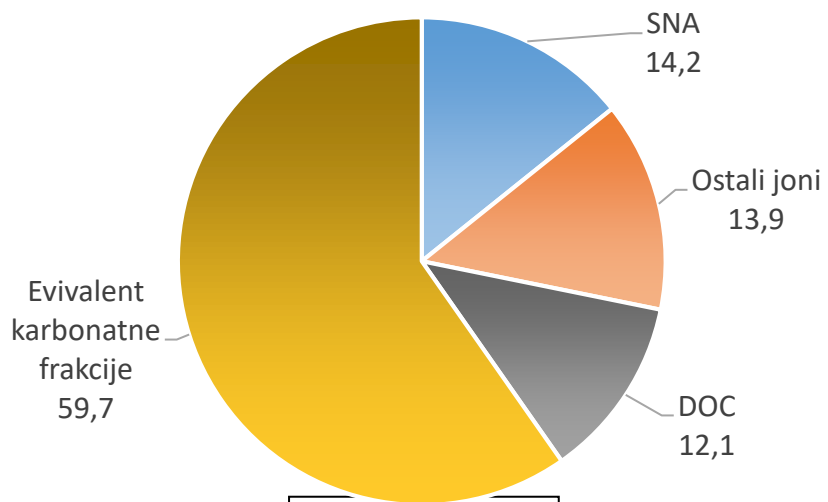


Lokacija „Urban Traffic“



Lokacija „Urban Background“

■ SNA ■ Ostali joni ■ DOC ■ Evivalent karbonatne frakcija



Grad Novi Sad

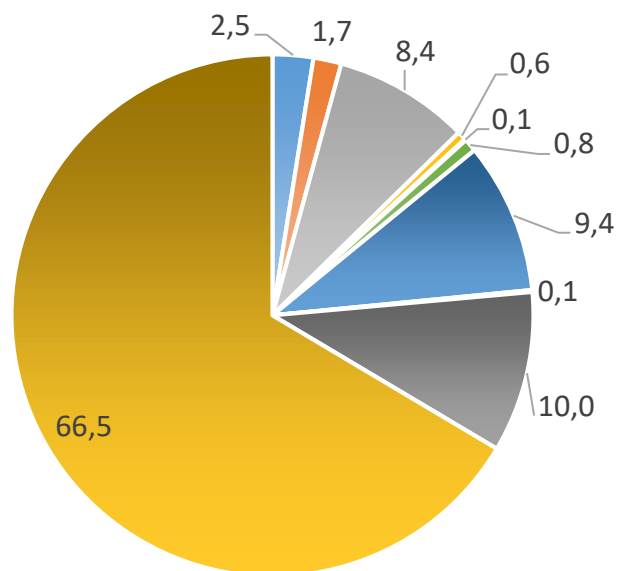
Na teritoriji Grada Novog Sada u prosečnoj masi čestica PM_{2,5} maseni udeo SNA (SO₄²⁻, NO₃⁻ i NH₄⁺) je iznosio 14%, sa prosečnom godišnjom koncentracijom od 4,57 µg/m³ (Grafikon 7, 8 i Tabela 17).

Tabela 17. Koncentracija (µg/m³) hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada tokom 2017. godine

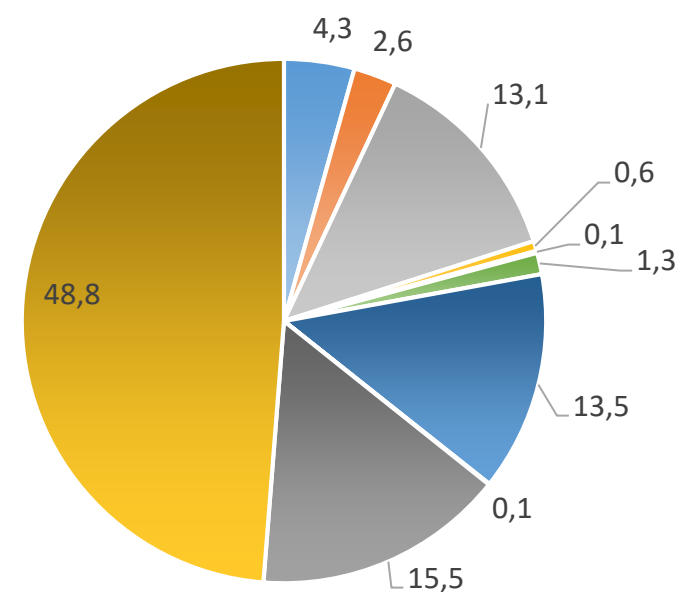
Lokacija Hemijski sastav	„Urban Traffic“		„Urban Background“		Grad Novi Sad	
	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD	\bar{X}	SD
NH ₄ ⁺	0,94	0,76	0,99	0,64	0,97	0,66
Cl ⁻	0,65	1,76	0,61	1,69	0,63	1,23
Ca ²⁺	3,15	1,55	3,00	1,61	3,07	1,27
K ⁺	0,20	0,21	0,14	0,14	0,17	0,15
Mg ²⁺	0,03	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04
Na ⁺	0,30	1,08	0,30	1,14	0,30	1,08
NO ₃ ⁻	3,50	2,74	3,09	1,84	3,29	2,02
SO ₄ ²⁻	0,04	0,09	0,01	0,04	0,03	0,05
DOC	3,74	1,91	3,57	2,30	3,65	1,79
SNA	4,51	3,35	4,11	2,23	4,57	4,44
EKF	26,93	15,93	13,36	10,29	20,15	11,32

SNA – sekundarni neorganski aerosol; EKF-ekvivalent karbonatne frakcije

Grafikon 8. Udeo (%) pojedinačnih analiziranih hemijskih sastojaka u masi čestica PM_{2,5} u Gradu Novom Sadu

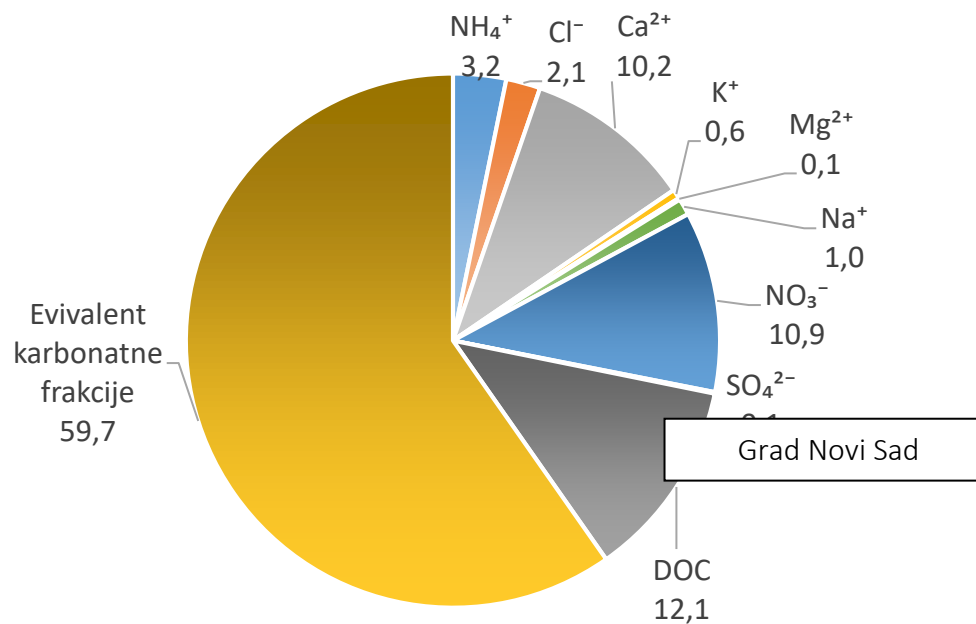


Lokacija „Urban Traffic“



Lokacija „Urban Background“

■ NH₄⁺ ■ Cl⁻ ■ Ca²⁺ ■ K⁺ ■ Mg²⁺ ■ Na⁺ ■ NO₃⁻ ■ SO₄²⁻ ■ DOC ■ Eivalent karbonatne frakcije



Grad Novi Sad

Identifikacija izvora čestica $PM_{2,5}$ i kvantifikacija doprinosa zagađenju vazduha životne sredine zasnivala se na prostornoj i vremenskoj varijaciji masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i hemijskih sastojaka čestica.

Analiza prostorne varijacije masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ (Tabela 18), je pokazala da su se dnevne koncentracije statistički značajno ($p < 0,01$) razlikovale tokom celokupnog perioda istraživanja. Dnevne koncentracije na lokaciji UT su bile statistički značajno ($p < 0,01$) veće od dnevnih koncentracija merenih na lokaciji UB (Tabela 18). Navedeni odnos koncentracija je zadržan i tokom sva četiri godišnja doba.

Tabela 18. Varijacije dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ u odnosu na posmatrane lokacije u Gradu Novom Sadu tokom ispitivanog perioda

Period	Lokacija	\bar{X}	SD	Minimum	Maximum	p
Godina	UT	37,45	18,25	10,86	118,00	<0,01
	UB	22,95	11,97	2,00	73,00	
Zima	UT	46,03	22,38	10,86	95,00	<0,01
	UB	29,66	15,33	9,00	63,00	
Proleće	UT	32,80	10,83	15,00	57,00	<0,01
	UB	19,05	7,74	5,00	36,00	
Leto	UT	28,56	10,48	11,00	50,00	<0,01
	UB	18,93	10,19	2,00	73,00	
Jesen	UT	51,03	20,60	15,00	118,00	<0,01
	UB	28,20	10,45	8,12	47,00	

UT – „Urban Traffic“; UB – „Urban Background“

Analizom međusobne povezanosti dnevnih koncentracije čestica $PM_{2,5}$ utvrđenih na lokacijama UT i UB (Tabela 19), Pirsonov koeficijent je iznosio $r=0,578$ ($p < 0,01$). Značajna pozitivna korelacija je opstala i tokom zimskog godišnjeg doba i iznosila je $r=0,842$ ($p < 0,01$). Tokom proleća Pirsonov koeficijent odnosa dnevnih varijacija koncentracija čestica na dve lokacije je iznosio $r=0,702$ ($p < 0,01$), a leta $r=0,373$ ($p < 0,01$). U jesenjem periodu koeficijent korelacije nije bio statistički značajan i iznosio je $r = - 0,046$ ($p > 0,05$) (Tabela 19).

Tabela 19. Međusobni odnos dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} utvrđenih na lokacijama UT i UB na godišnjem nivou i u odnosu na godišnja doba

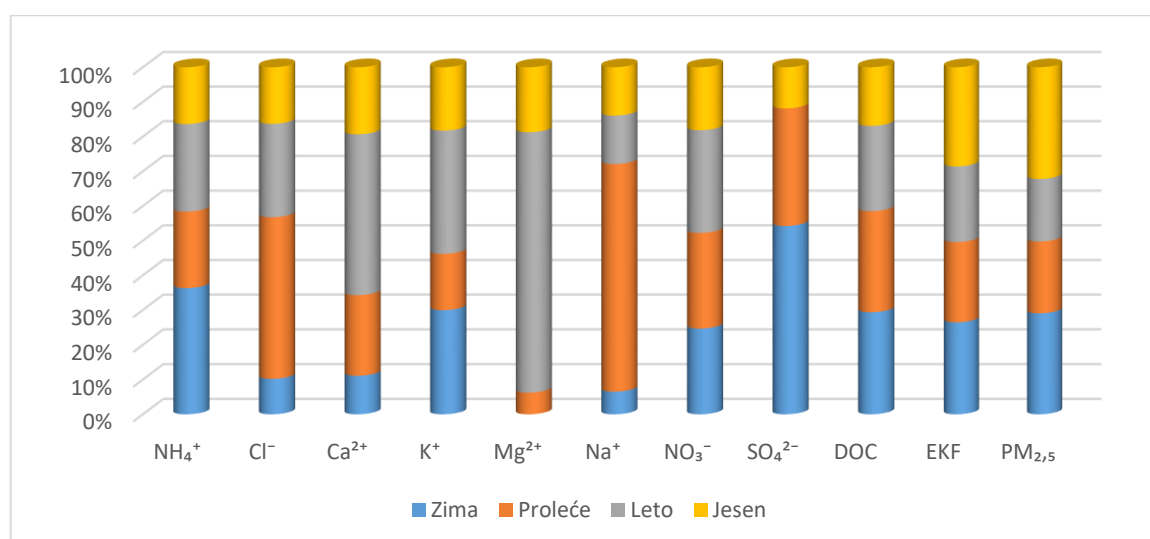
PM _{2,5}	Godina	Zima	Proleće	Leto	Jesen
UT / UB	0,578**	0,842**	0,702**	0,373**	-0,046

** statistička značajnost $p < 0,01$; UT – „Urban Traffic“; UB – „Urban Background“

Post-hoc testom (Bonferroni) analizirana je sezonska varijacija utvrđenog sastava čestica PM_{2,5} na obe lokacije. S obzirom da su se varijacije koncentracija većine analiziranih sastojaka čestica PM_{2,5} u odnosu na godišnja doba podudarale sa varijacijom njihovog masenog udela (%) u česticama PM_{2,5}, rezultati post-hoc testa su prikazani kroz njihov maseni odnos (Grafikon 9 i 10).

Na lokaciji UT, tokom zime su utvrđene statistički značajno ($p < 0,05$) veće koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije, DOC-a, NH₄⁺, SO₄²⁻, K⁺ i NO₃⁻ (udeo NO₃⁻ najveći tokom leta); tokom proleća koncentracije Na⁺; tokom leta koncentracije Ca²⁺. Maseni udeo Cl⁻ u česticama PM_{2,5} je bio najveći tokom proleća, ali koncentracije se nisu statistički značajno razlikovale u odnosu na godišnja doba ($p > 0,05$) (Grafikon 9). U sastavu čestica PM_{2,5} sa lokacije UT SO₄²⁻ nisu utvrđeni tokom leta, a Mg²⁺ tokom zime (Grafikon 9).

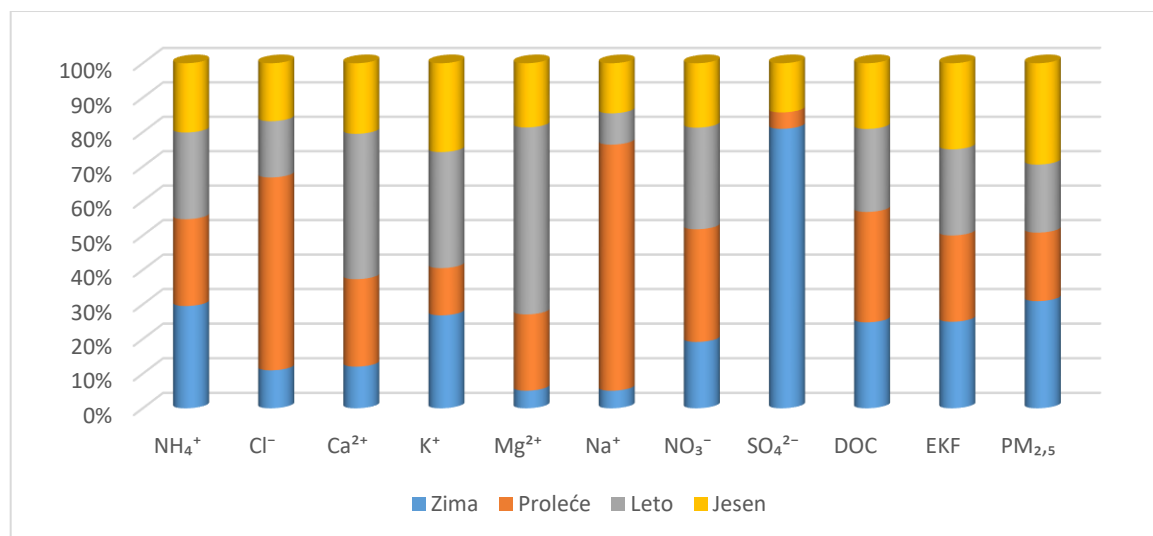
Grafikon 9. Hemijski sastav čestica PM_{2,5} na lokaciji „Urban Traffic“ u odnosu na godišnja doba



EKF – ekvivalent karbonatne frakcije

Na lokaciji UB, tokom zime su utvrđene statistički značajno ($p < 0,05$) veće koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije, NH_4^+ , SO_4^{2-} i DOC-a (udeo DOC-a veći tokom proleća); tokom proleća koncentracije Cl^- , Na^+ i NO_3^- ; tokom leta koncentracije Ca^{2+} i Mg^{2+} ; tokom jeseni koncentracije K^+ . U sastavu čestica $\text{PM}_{2,5}$ na lokaciji UB tokom leta nisu utvrđeni SO_4^{2-} (Grafikon 10).

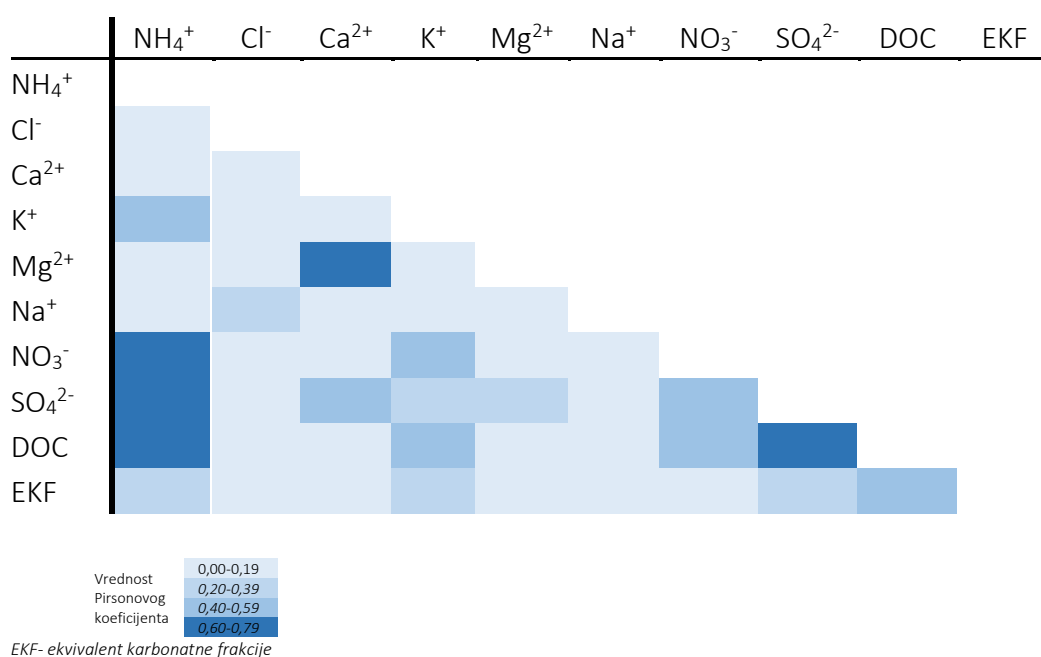
Grafikon 10. Hemijski sastav čestica $\text{PM}_{2,5}$ na lokaciji „Urban Background“ u odnosu na godišnja doba



EKF – ekvivalent karbonatne frakcije

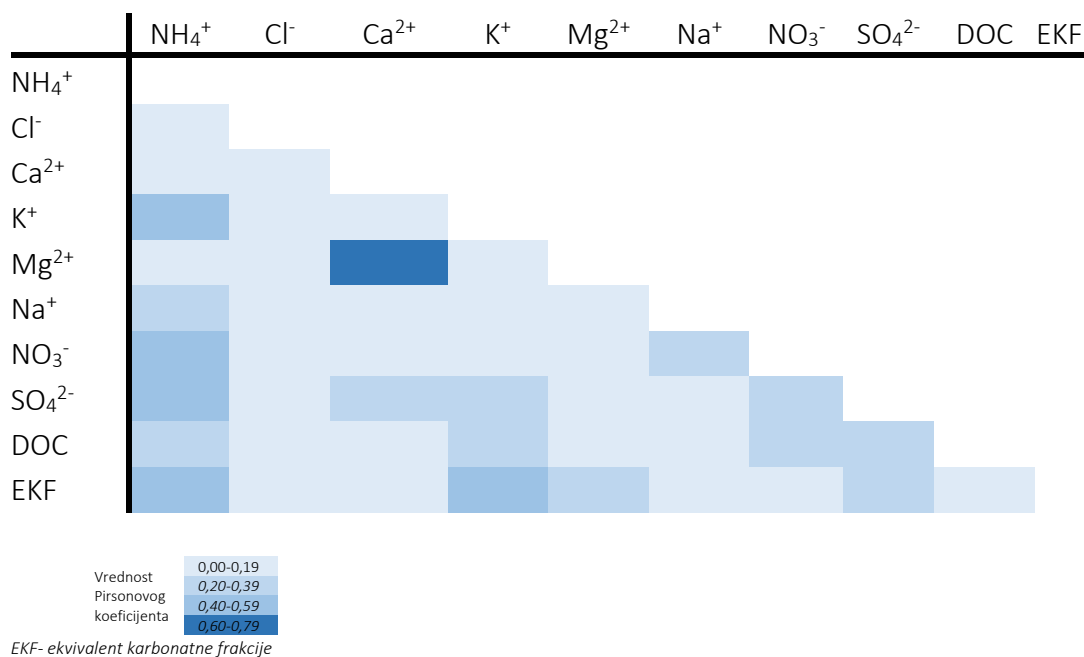
Na lokaciji UT na osnovu vrednosti Pirsonovog koeficijenta (Grafikon 11) utvrđena je statistički značajna snažna pozitivna korelacija SO_4^{2-} i DOC-a ($r=0,754$), NH_4^+ i SO_4^{2-} ($r=0,723$), NH_4^+ i DOC-a ($r=0,684$), NH_4^+ i NO_3^- ($r=0,681$), Ca^{2+} i Mg^{2+} , ($r=0,646$). Umerena statistički značajna pozitivna korelacija je utvrđena između NO_3^- i SO_4^{2-} ($r=0,572$), NO_3^- i DOC-a ($r=0,543$), K^+ i DOC-a ($r=0,524$), NH_4^+ i K^+ ($r=0,521$), K^+ i NO_3^- ($r=0,510$), ekvivalenta karbonatne frakcije i DOC-a ($r=0,477$). Slaba statistički značajna korelacija je utvrđena između Na^+ i Cl^- ($r=0,368$), K^+ i SO_4^{2-} ($r=0,345$), ekvivalenta karbonatne frakcije i K^+ ($r=0,341$). Umerena statistički značajna negativna korelacija je utvrđena između Ca^{2+} i SO_4^{2-} ($r= - 0,407$).

Grafikon 11. Korelacija koncentracija hemijskih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ na lokaciji „Urban Traffic“ na području Grada Novog Sada tokom ispitivanog perioda



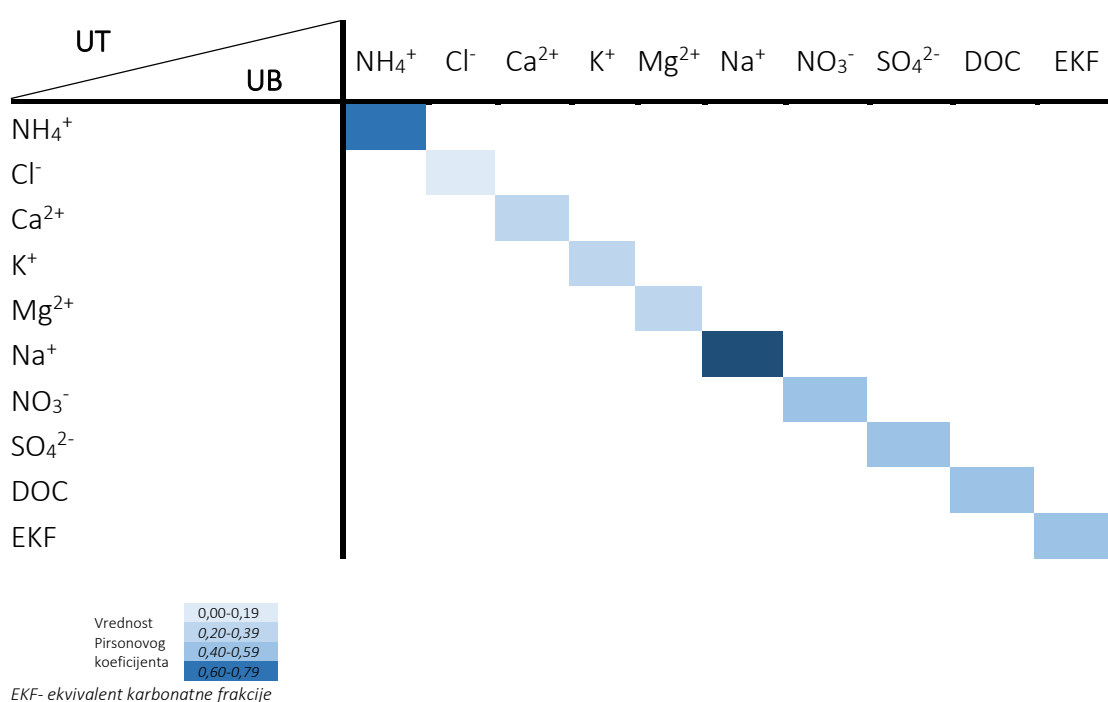
Na lokaciji UB (Grafikon 12) utvrđena je statistički značajna snažna korelacija između Ca^{2+} i Mg^{2+} ($r=0,637$), dok je umerena pozitivna korelacija utvrđena između NH_4^+ i K^+ ($r=0,488$), NH_4^+ i NO_3^- ($r=0,488$), K^+ i ekvivalenta karbonatne frakcije ($r=0,445$), NH_4^+ i SO_4^{2-} ($r=0,425$), NH_4^+ i ekvivalenta karbonatne frakcije ($r=0,420$). Slaba statistički značajna korelacija je utvrđena između NH_4^+ i DOC-a ($r=0,364$), ekvivalenta karbonatne frakcije i SO_4^{2-} ($r=0,337$) i K^+ i DOC-a ($r=0,322$).

Grafikon 12. Korelacija koncentracija hemijskih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ na lokaciji „Urban Background“ na području Grada Novog Sada tokom ispitivanog perioda



Posmatrajući međusobni odnos hemijskih sastojaka između lokacija UT i UB, utvrđena je statistički značajna veoma snažna korelacija za Na^+ ($r=0,869$), snažna za NH_4^+ ($r=0,782$), umerena za NO_3^- ($r=0,537$), ekvivalent karbonatne frakcije ($r=0,467$), DOC ($r=0,433$), SO_4^{2-} ($r=0,419$) i slaba za K^+ ($r=0,361$) i Ca^{2+} ($r=0,302$) (Grafikon 13)

Grafikon 13. Korelacija koncentracija istih hemijskih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ između lokacija „Urban Traffic“ i „Urban Background“ na području Grada Novog Sada tokom ispitivanog perioda



Analizirajući statistički značajnu razliku u pogledu svake frakcije čestice na godišnjem nivou, pimenom nezavisnog T-testa (Tabela 20), utvrđeno je da su koncentracije jona K^+ ($p < 0,01$), SO_4^{2-} ($p < 0,01$) i ekvivalenta karbonatne frakcije ($p < 0,01$) bile statistički značajno veće na lokaciji UT, dok se koncentracije drugih jona nisu značajno razlikovale.

Posmatrano u odnosu na godišnja doba, u zimskom period (Tabela 20) kao i prolećnom (Tabela 20) koncentracije K^+ ($p < 0,01$), SO_4^{2-} ($p < 0,01$) i ekvivalenta karbonatne frakcije ($p < 0,01$) su takođe bile statistički značajno veće na lokaciji UT (Tabela 20), dok se koncentracije ostalih analizirani jona i DOC-a nisu značajno razlikovale ($p > 0,05$). Tokom prolećnog perioda koncentracije Mg^{2+} ($p < 0,05$) utvrđene u masi čestica $PM_{2,5}$ su bile veće na lokaciji UB, ali na granici statističke značajnosti.

U letnjem periodu koncentracije jona K^+ ($p < 0,01$), Cl^- ($p < 0,05$) i ekvivalenta karbonatne frakcije ($p < 0,01$) su bile statistički značajno veće na lokaciji UT. SO_4^{2-} nisu utvrđeni u sadržaju čestica $PM_{2,5}$ tokom letnjeg perioda na posmatranim lokacijama (Tabela 20).

Tokom jeseni koncentracije Ca^{2+} ($p < 0,05$), Mg^{2+} ($p < 0,05$), SO_4^{2-} ($p < 0,05$) i ekvivalenta karbonatne frakcije ($p < 0,01$) utvrđene u masi čestica $PM_{2,5}$ su bile statistički značajno veće na lokaciji UT, dok je koncentracija NH_4^+ ($p < 0,05$), bila veća na lokaciji UB ali na granici statističke značajnosti (Tabela 20).

Tabela 20. Analiza prostorne varijacije koncentracija hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} tokom ispitivanog perioda na području Grada Novog Sada

Sastav PM _{2,5}	Lokacija	Godina		Zima		Proleće		Leto		Jesen	
		\bar{X}	p	\bar{X}	p	\bar{X}	p	\bar{X}	p	\bar{X}	p
NH ₄ ⁺	UT	0,94	>0,05	1,70	>0,05	0,73	>0,05	0,73	>0,05	0,79	<0,05*
	UB	0,99		1,48		0,80		0,81		1,05	
Cl ⁻	UT	0,64	>0,05	0,36	>0,05	1,19	>0,05	0,60	<0,05	0,40	>0,05
	UB	0,61		0,41		1,35		0,40		0,36	
Ca ²⁺	UT	3,15	>0,05	1,66	>0,05	2,48	>0,05	4,31	>0,05	3,17	<0,05
	UB	3,00		1,87		2,50		4,19		2,40	
K ⁺	UT	0,20	<0,01	0,27	<0,01	0,11	<0,01	0,20	<0,01	0,25	>0,05
	UB	0,14		0,15		0,05		0,12		0,27	
Mg ²⁺	UT	0,031	>0,05	0,001	>0,05	0,008	<0,05*	0,07	>0,05	0,018	<0,05
	UB	0,030		0,008		0,025		0,06		0,00	
Na ⁺	UT	0,302	>0,05	0,12	>0,05	0,93	>0,05	0,17	>0,05	0,04	>0,05
	UB	0,304		0,11		1,01		0,13		0,05	
NO ₃ ⁻	UT	3,59	>0,05	4,63	>0,05	3,69	>0,05	3,45	>0,05	2,22	>0,05
	UB	3,42		3,60		3,53		3,24		2,07	
SO ₄ ²⁻	UT*	0,04	<0,01	0,15	<0,01	0,064	<0,01	0,00	>0,05	0,000	<0,05
	UB	0,01		0,05		0,001		0,00		0,005	
DOC	UT	3,74	>0,05	5,47	>0,05	3,87	>0,05	2,84	>0,05	3,51	>0,05
	UB	3,57		4,75		3,94		2,94		3,11	
EKF	UT	26,93	<0,01	31,66	<0,01	23,21	<0,01	17,18	<0,01	40,62	<0,01
	UB	13,36		17,49		9,18		9,55		18,89	

EKF- ekvivalent karbonatne frakcije; * Na granici statističke značajnosti;

Primenom Lenschow-og pristupa utvrđeno je da su koncentracije čestica utvrđene na lokaciji UT u odnosu na koncentracije čestica $PM_{2,5}$ sa lokacije UB, na godišnjem nivou, u proseku veće za $14,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, što predstavlja 40% od srednje godišnje koncentracije utvrđene na lokaciji UT. Lokalni doprinos saobraćaja porastu koncentracije čestica $PM_{2,5}$ tokom analiziranog perioda u Gradu Novom Sadu iznosi 40%. Uzimajući u obzir svako godišnje doba, utvrđeno je da tokom zime lokalni doprinos saobraćaja iznosi 36%, tokom proleća 42% , leta 38% i tokom jeseni 45% (Tabela 21).

Tabela 21. Lokalni doprinos saobraćaja zagađenju vazduha životne sredine Grada Novog Sada tokom 2017.godine

	$PM_{2,5} UT - PM_{2,5} UB$	$PM_{2,5} UT$	Doprinos saobraćaja
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	%
Godina			
\bar{X}	14,95	37,45	39,91
SD	13,86	18,25	
Zima			
\bar{X}	16,37	46,03	35,56
SD	12,58	22,38	
Proleće			
\bar{X}	13,74	32,80	41,89
SD	7,71	10,83	
Leto			
\bar{X}	10,76	28,56	37,67
SD	7,64	10,48	
Jesen			
\bar{X}	22,83	51,03	44,73
SD	23,52	20,60	

\bar{X} -prosečna vrednost; SD-standardna devijacija

U analiziranom periodu odnos koncentracija DOC-a, ekvivalenta karbonatne frakcije i većine analiziranih katjona i anjona je bio > 1 , odnosno u korist koncentracija sastojaka u česticama $PM_{2,5}$ na lokaciji UT, izuzev za NH_4^+ i Na^+ , kada je vrednost odnosa bila < 1 (veće koncentracije navedenih jona su utvrđene u česticama na lokaciji UB) (Tabela 22).

Tokom zimskog perioda odnos koncentracija DOC-a, ekvivalenta karbonatne frakcije i većine analiziranih katjona i anjona je bio > 1 , izuzev za Cl^- , Mg^{2+} i Ca^{2+} , kada je vrednost odnosa bila < 1 (Tabela 22).

Tokom proleća odnos koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije, K^+ , NO_3^- i SO_4^{2-} je bio > 1 , dok je za DOC, NH_4^+ , Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} i Ca^{2+} iznosio < 1 (Tabela 22).

Tokom leta odnos koncentracija svih utvrđenih hemijskih sastojaka je iznosio > 1 , odnosno u korist koncentracija svih komponenti u česticama $PM_{2,5}$ na lokaciji UT, izuzev za DOC i NH_4^+ (Tabela 22).

Tokom jeseni odnos koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije, DOC, NO_3^- , Cl^- , Mg^{2+} i Ca^{2+} je bio > 1 , dok je za K^+ , NH_4^+ , Na^+ , i SO_4^{2-} iznosio < 1 (Tabela 22).

Tabela 22. Odnos (razlika) koncentracije analiziranih komponenti UT/UB u funkciji doprinosa saobraćaja

Sastav	Godina		Zima		Proleće		Leto		Jesen	
	UT/UB	$\mu g/m^3$	UT/UB	$\mu g/m^3$	UT/UB	$\mu g/m^3$	UT/UB	$\mu g/m^3$	UT/UB	$\mu g/m^3$
NH_4^+	< 1	0,04	> 1	0,22	< 1	0,07	< 1	0,08	< 1	0,26
Cl^-	> 1	0,03	< 1	0,05	< 1	0,16	> 1	0,20	> 1	0,04
Ca^{2+}	> 1	0,15	< 1	0,21	< 1	0,02	> 1	0,12	> 1	0,23
K^+	> 1	0,06	> 1	0,12	> 1	0,06	> 1	0,08	< 1	0,02
Mg^{2+}	> 1	0,001	< 1	0,001	< 1	0,017	> 1	0,01	> 1	0,018
Na^+	< 1	0,002	> 1	0,01	< 1	0,08	> 1	0,04	< 1	0,01
NO_3^-	> 1	0,09	> 1	0,30	> 1	0,03	> 1	0,05	> 1	0,03
SO_4^{2-}	> 1	0,03	> 1	0,10	> 1	0,063	-	0,005	< 1	0,005
DOC	> 1	0,17	> 1	0,72	< 1	0,07	< 1	0,10	> 1	0,40
NF	> 1	22,07	> 1	14,17	> 1	14,03	> 1	7,63	> 1	21,73

- SO_4^{2-} nisu utvrđeni u sadržaju čestica $PM_{2,5}$ tokom letnjeg perioda na posmatranim lokacijama

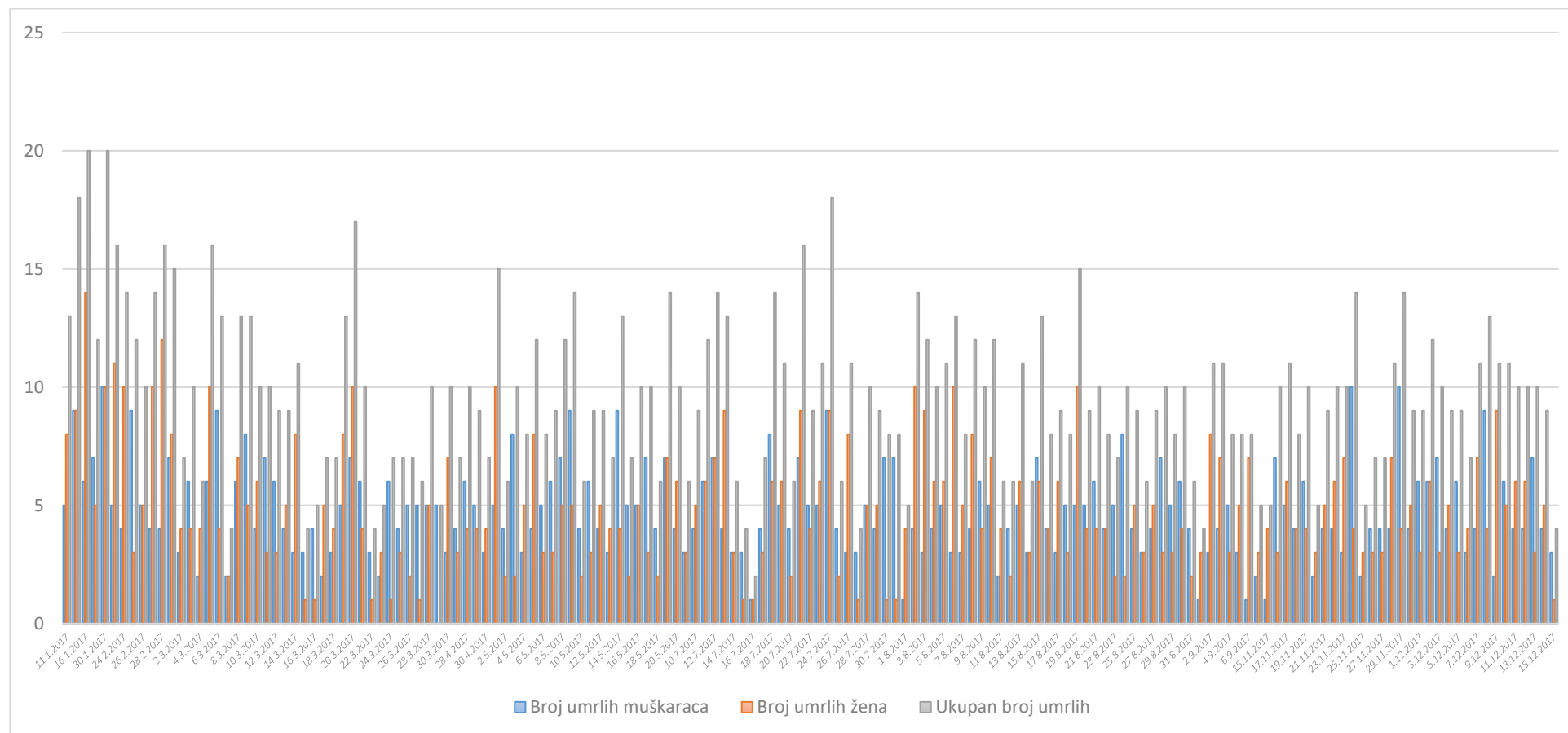
5.4. Distribucija zdravstvenih ishoda i karakteristike umrlih i hospitalizovanih stanovnika Grada Novog Sada

Tokom ispitivanih 158 dana kalendarske 2017. godine, ukupno je umrlo 1523 odraslih stanovnika Novog Sada (Grafikon 14 i 15). Dnevno je u proseku bilo 10 smrtnih slučajeva (Tabela 23). Veća smrtnost registrovana je među stanovnicima starosti ≥ 65 godina (80,30%) u odnosu na stanovnike starosti 18-64 godina (19,70%) (Tabela 23). Shodno polnoj strukturi smrtnosti, broj smrtnih slučajeva kod žena je iznosio 50,36%, a kod muškaraca 49,63% u odnosu na ukupan broj umrlih (Tabela 23).

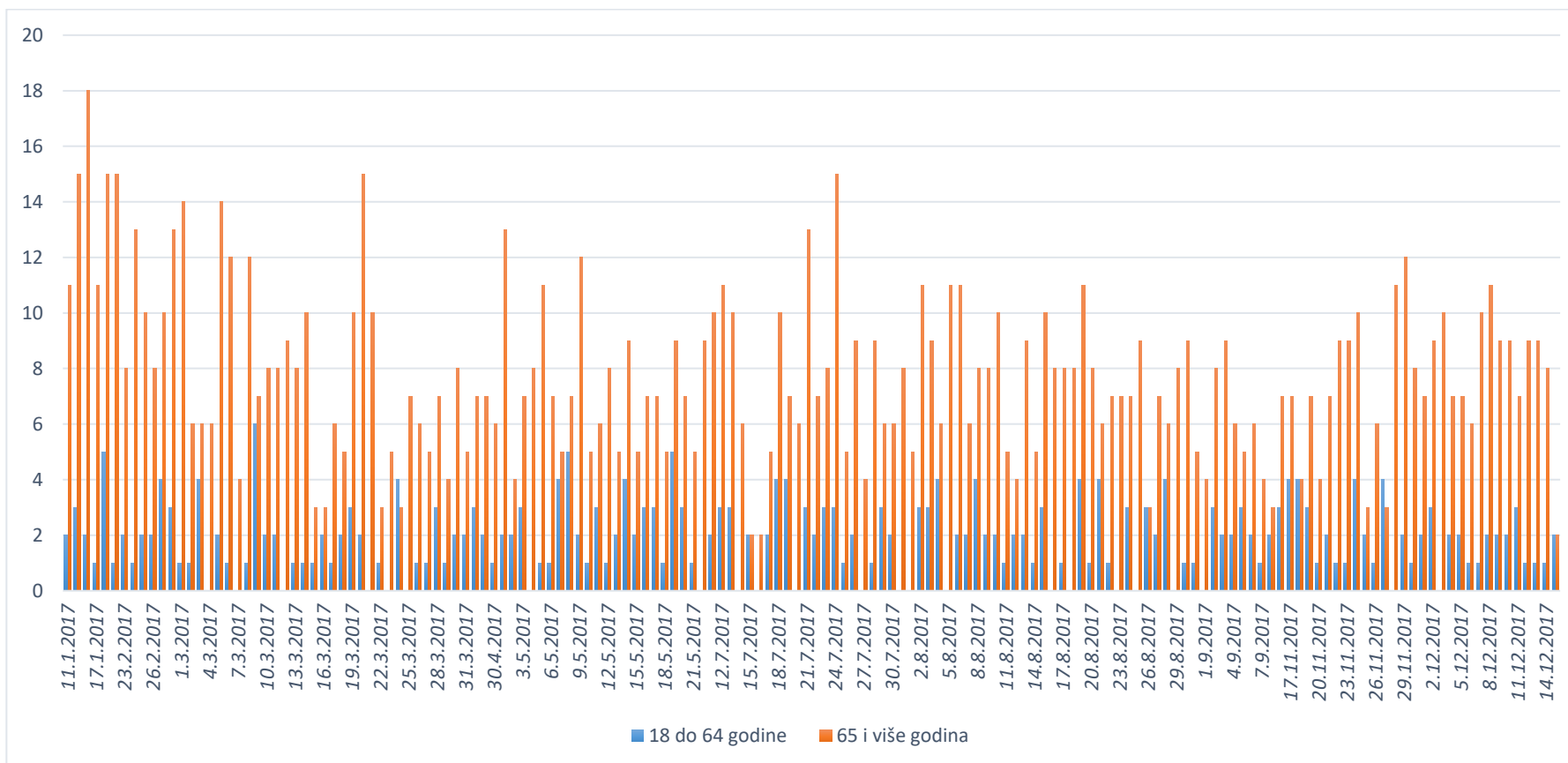
Tabela 23. Karakteristike umrlih odraslih stanovnika Grada Novog Sada tokom ispitivanog perioda

Mortalitet (MKB-10: A00-R99)	Broj umrlih ($n = 1523$; $\bar{X} = 9,63 \pm 3,39$)	
	n	%
Starost (godine)		
18-64	300	19,70
≥ 65	1223	80,30
Pol		
Muškarci	756	49,63
Žene	767	50,36

Grafikon 14. Dnevni broj umrlih odraslih stanovnika i stratifikovanih prema polu na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine



Grafikon 15. Dnevni broj umrlih odraslih stanovnika stratifikovanih prema starosti na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine



Tokom ispitivanih 158 dana kalendarske 2017. godine, ukupno je hospitalizovano 1713 odraslih stanovnika Novog Sada zbog kardiovaskularnih bolesti (Grafikon 16 – 20 i Tabela 24). Dnevno je u proseku 11 stanovnika bilo hospitalizovano zbog kardiovaskularnih bolesti. Veći broj bolničkih prijema je registrovan među stanovnicima starosti ≥ 65 godina (59,31%) u odnosu na stanovnike starosti 18-64 godina (40,68%) (Tabela 24). Zastupljenost bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti među muškarcima je bila 57,91%, a među ženama 42,08% u odnosu na ukupan broj hospitalizovanih (Tabela 24).

Tabela 24. Karakteristike odraslog stanovništva Grada Novog Sada hospitalizovanih zbog kardiovaskularnih bolesti tokom ispitivanog perioda

Kardiovaskularne bolesti (MKB-10: I00-I99)	Bolnički prijemi ($n = 1713$; $\bar{X} = 10,84 \pm 5,35$)	
	n	%
Starost (godine)		
18-64	697	40,68
≥ 65	1016	59,31
Pol		
Muškarci	992	57,91
Žene	721	42,08

Zbog cerebrovaskularnih bolesti ukupno je hospitalizovano 310 stanovnika Novog Sada tokom ispitivanog perioda (Grafikon 16 – 20 i Tabela 25). Dnevno su u proseku 2 stanovnika bila hospitalizovana zbog cerebrovaskularnih bolesti. Veći broj bolničkih prijema je registrovan među stanovnicima starosti ≥ 65 godina (70,00%) u odnosu na stanovnike starosti 18-64 godina (30,00%) (Tabela 25). Zastupljenost bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih bolesti među muškarcima je bila 55,48%, a među ženama 44,52% u odnosu na ukupan broj hospitalizovanih (Tabela 25).

Tabela 25. Karakteristike odraslog stanovništva Grada Novog Sada hospitalizovanih zbog cerebrovaskularnih bolesti tokom ispitivanog perioda

Cerebrovaskularne bolesti (MKB-10: I60-I69)	Bolnički prijemi ($n = 310$; $\bar{X} = 1,94 \pm 1,49$)	
	n	%
Starost (godine)	93	30,00
18-64	217	70,00
≥ 65		
Pol		
Muškarci	172	55,48
Žene	138	44,52

Tokom ispitivanog perioda zbog akutnog infarkta miokarda ukupno je hospitalizovano 175 stanovnika Novog Sada (Grafikon 16 – 20 i Tabela 26). Dnevno je u proseku 1 stanovnik bio hospitalizovan zbog akutnog infarkta miokarda. Veći broj bolničkih prijema je registrovan među stanovnicima starosti ≥ 65 godina (55,42%) u odnosu na stanovnike starosti 18-64 godina (44,57%) (Tabela 26). Zastupljenost bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda među muškarcima je bila 66,86%, a među ženama 33,14% u odnosu na ukupan broj hospitalizovanih (Tabela 26).

Tabela 26. Karakteristike odraslog stanovništva Grada Novog Sada hospitalizovanih zbog akutnog infarkta srca bolesti tokom ispitivanog perioda

Akutni infarkt miokarda (MKB-10: I21-I22)	Bolnički prijemi ($n = 175$; $\bar{X} = 1,10 \pm 1,02$)	
	n	%
Starost (godine)		
18-64	78	44,57
≥ 65	97	55,42
Pol		
Muškarci	117	66,86
Žene	58	33,14

Zbog respiratornih bolesti tokom 158 posmatranih dana unutar 2017. godine ukupno je hospitalizovano 738 stanovnika Novog Sada (Grafikon 16 – 20 i Tabela 27). Dnevno je u proseku 5 stanovnika bilo hospitalizovano zbog respiratornih bolesti. Veći broj bolničkih prijema je registrovan među stanovnicima starosti 18-64 godina (59,08%) u odnosu na stanovnike starosti ≥ 65 godina (40,92%) (Tabela 27). Zastupljenost bolničkih prijema zbog respiratornih bolesti je među muškarcima bila 52,71%, a među ženama 47,29% u odnosu na ukupan broj hospitalizovanih (Tabela 27).

Tabela 27. Karakteristike odraslog stanovništva Grada Novog Sada hospitalizovanih zbog respiratornih bolesti tokom ispitivanog perioda

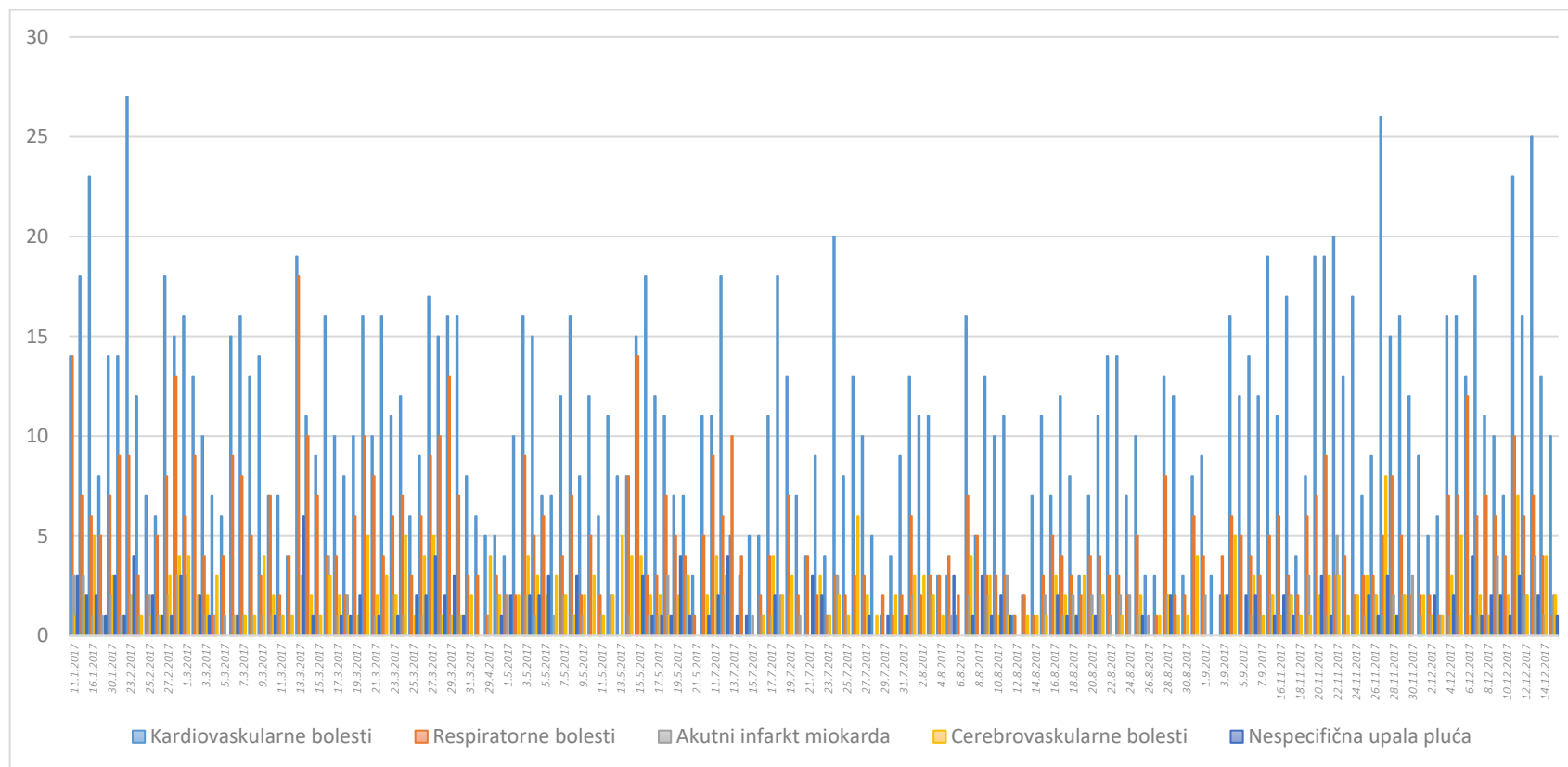
Respiratorne bolesti (MKB-10: J00-J99)	Bolnički prijemi ($n = 738$; $\bar{X} = 4,67 \pm 3,17$)	
	n	%
Starost (godine)		
18-64	436	59,08
≥ 65	302	40,92
Pol		
Muškarci	389	52,71
Žene	349	47,29

Tokom ispitivanog perioda na području Novog Sada ukupno je hospitalizovano 158 stanovnika zbog nespecifične upale pluća (Grafikon 16 – 20 i Tabela 28). Dnevno je u proseku 1 stanovnik bio hospitalizovan zbog nespecifične upale pluća. Veći broj bolničkih prijema je registrovan među stanovnicima starosti ≥ 65 godina (65,18%) u odnosu na stanovnike starosti 18-64 godina (34,81%) (Tabela 28). Zastupljenost bolničkih prijema zbog nespecifične upale pluća među muškarcima je bila 47,47%, a među ženama 52,53% u odnosu na ukupan broj hospitalizovanih (Tabela 28).

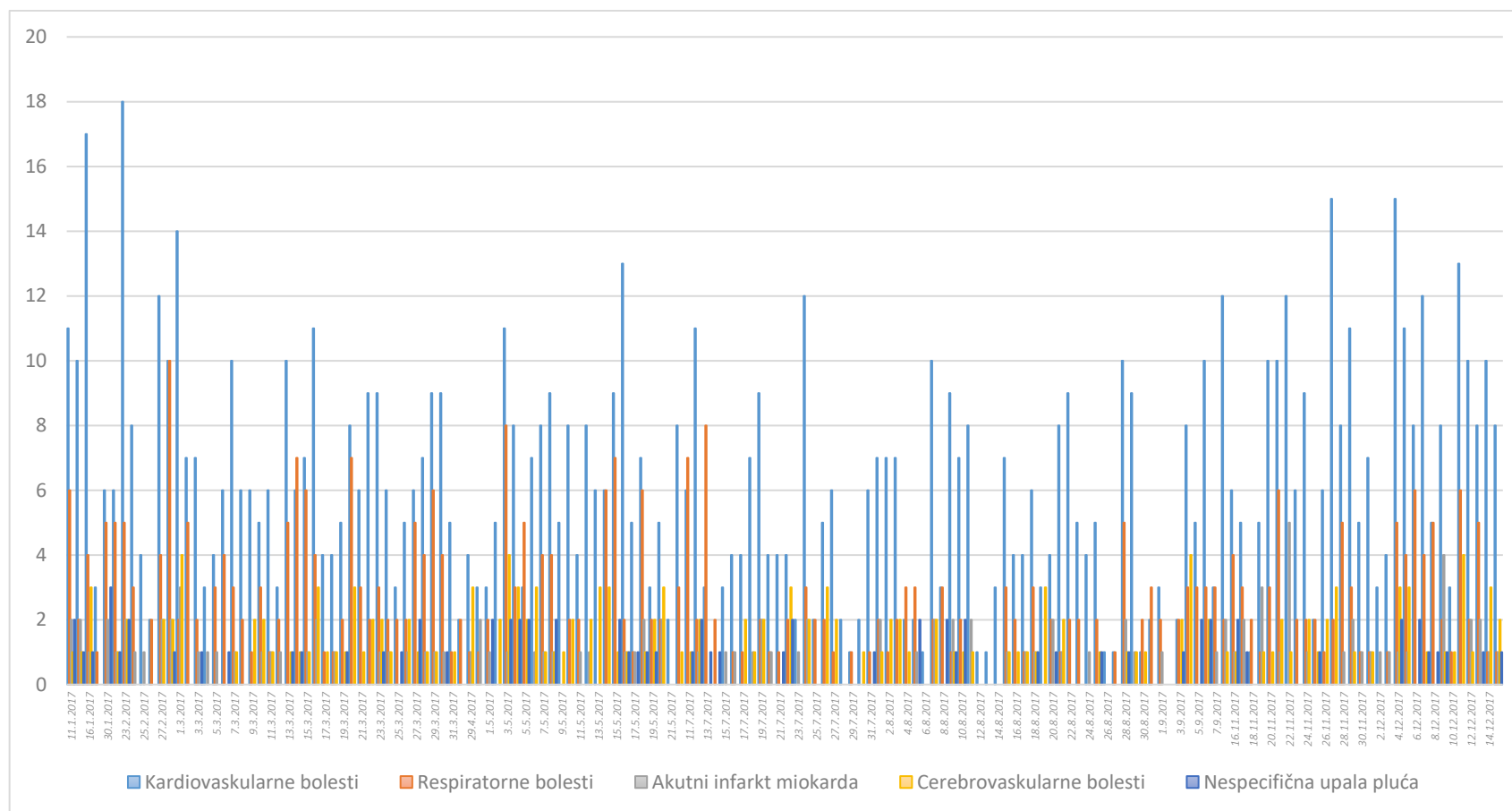
Tabela 28. Karakteristike odraslog stanovništva Grada Novog Sada hospitalizovanih zbog nespecifične upale pluća tokom ispitivanog perioda

Nespecifična upala pluća (MKB-10: J18)	Bolnički prijemi ($n = 158$; $\bar{X} = 1,00 \pm 1,19$)	
	n	%
Starost (godine)		
18-64	55	34,81
≥65	103	65,18
Pol		
Muškarci	75	47,47
Žene	83	52,53

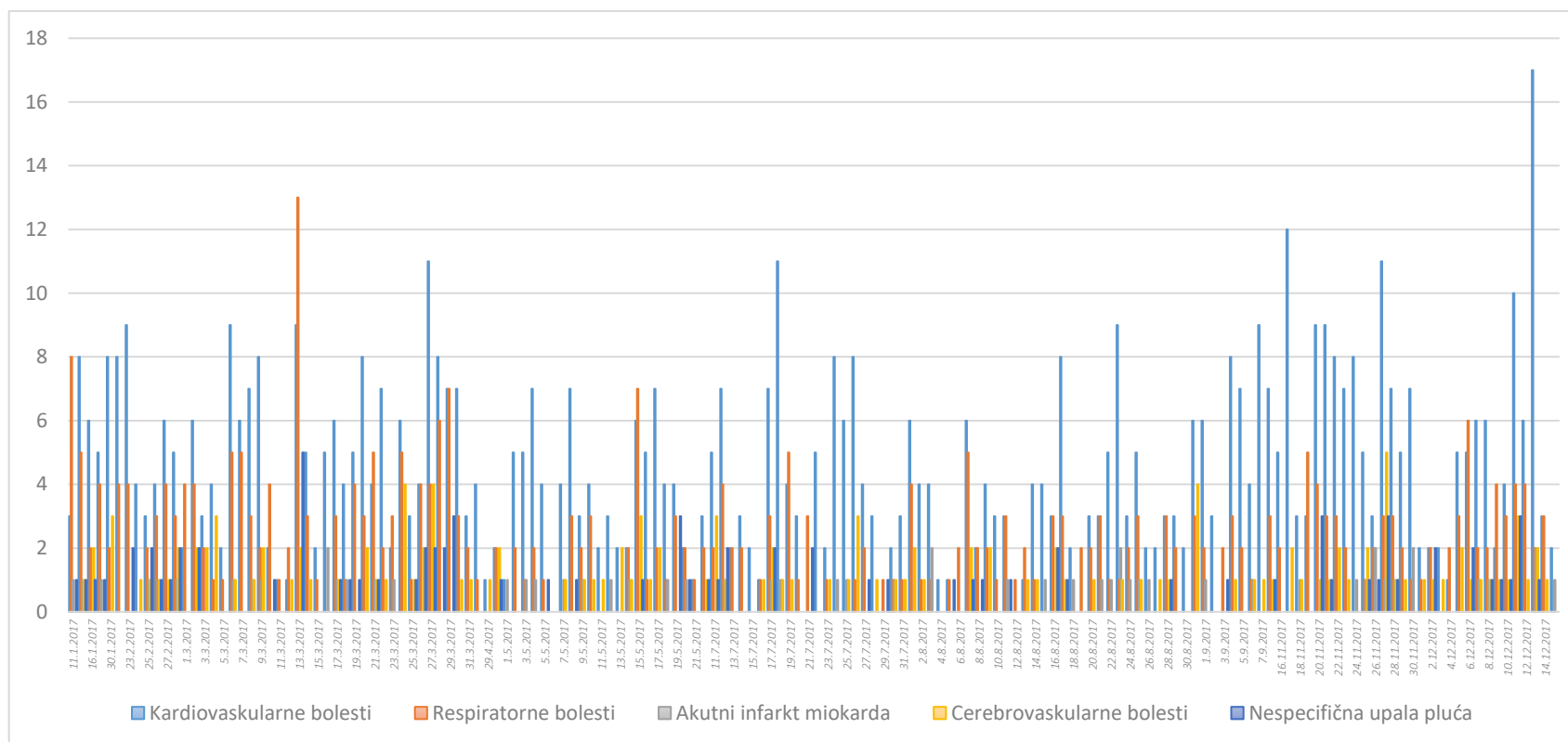
Grafikon 16. Dnevni broj bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti stanovnika starijih od 18 godina na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine



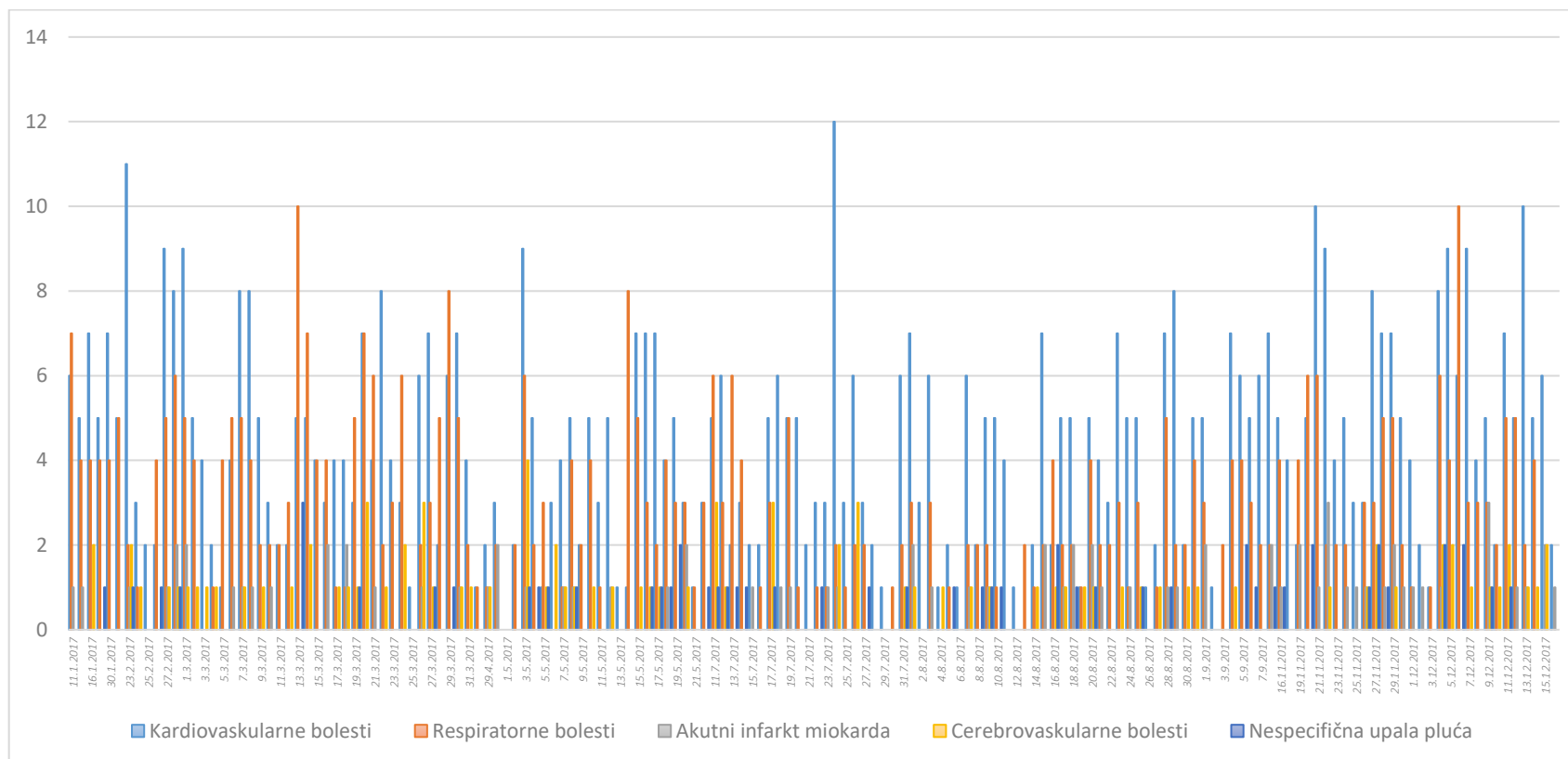
Grafikon 17. Dnevni broj bolničkih prijema muškaraca starijih od 18 godina na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

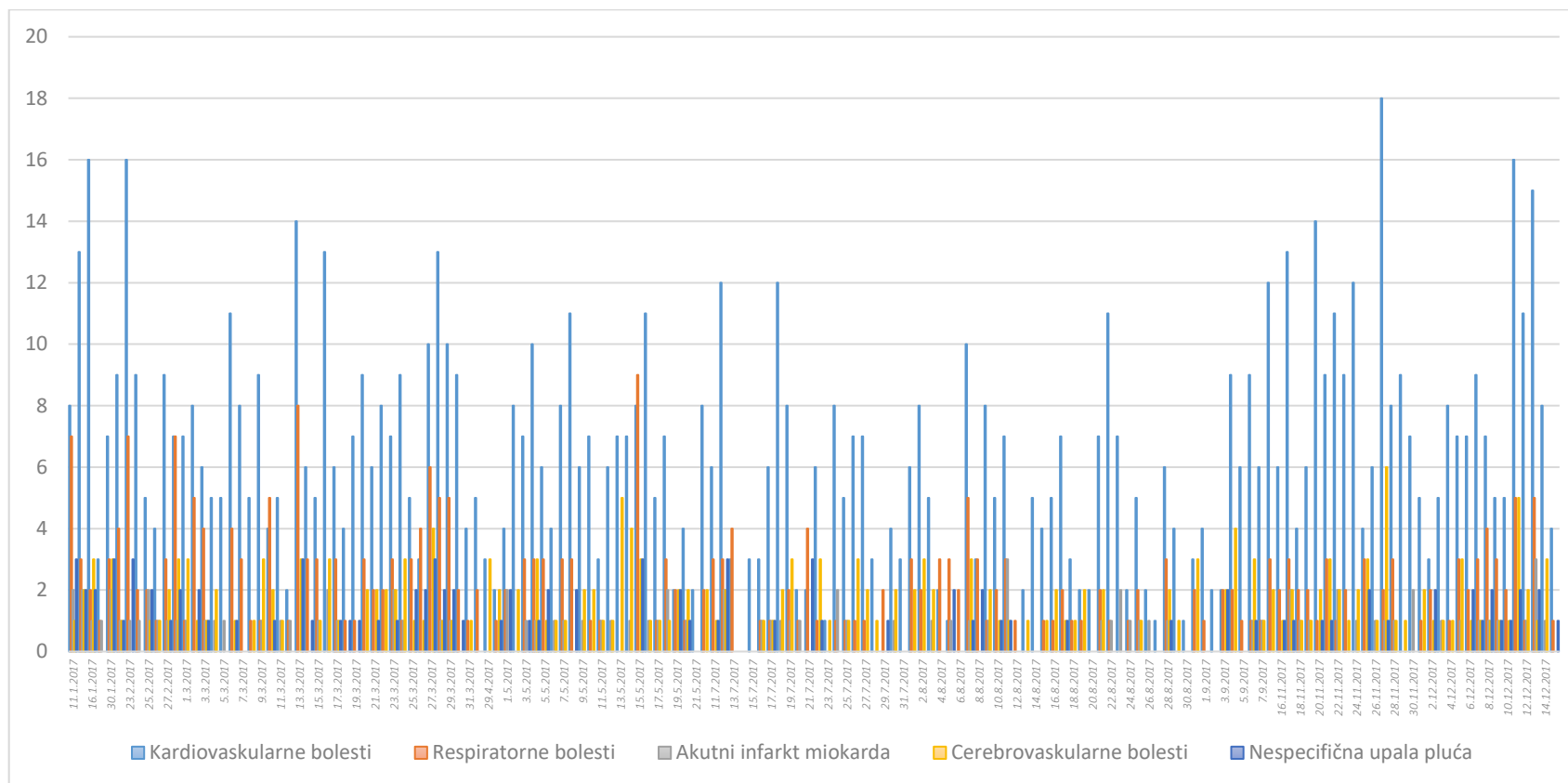


Grafikon 18. Dnevni broj bolničkih prijema žena starijih od 18 godina na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine



Grafikon 19. Dnevni broj bolničkih prijema stanovnika starosti 18 – 64 godine na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine



Grafikon 20. Dnevni broj bolničkih prijema stanovnika starosti ≥ 65 godina na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

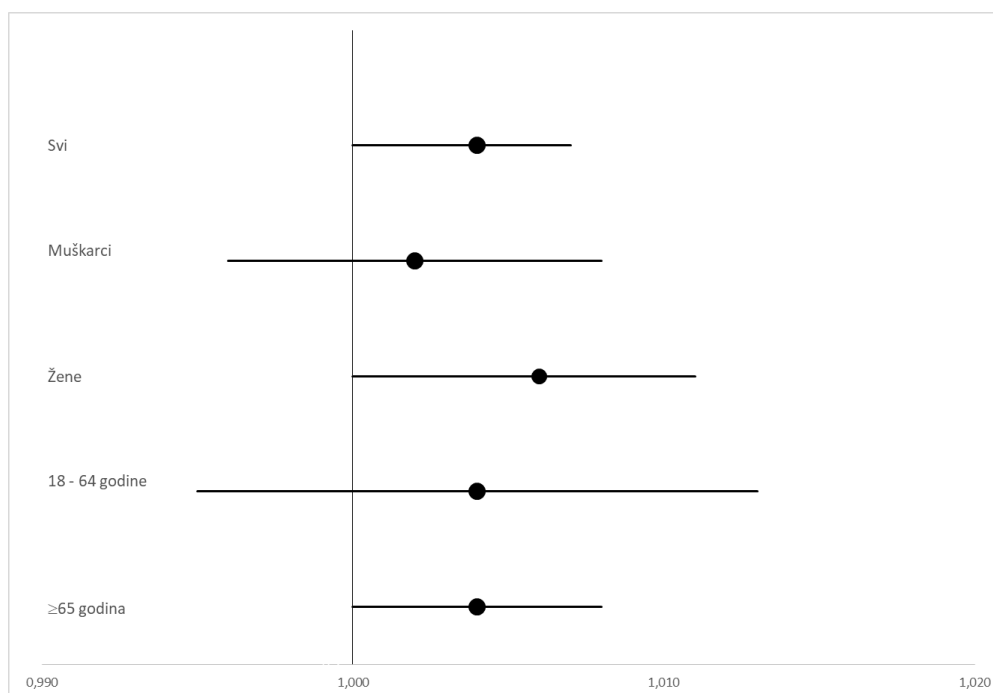
5.5. Uticaj koncentracije suspendovanih čestica PM_{2,5} na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada

U toku analiziranog perioda prosečne dnevne koncentracije PM_{2,5} su statistički značajno ($p < 0,05$) pozitivno povezane sa ukupnim mortalitetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada. Za svako povećanje prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, RR od ukupnog dnevnog mortaliteta poraste za 0,4% (RR=1,004; 95% IP: 1,000-1,007) (Grafikon 21).

Takođe, utvrđeno je da porast dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno doprinosi porastu RR od ukupnog dnevnog mortaliteta kod žena za 0,6% (RR=1,006; 95% IP: 1,000 – 1,0011), kao i kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 0,4% (RR=1,004; 95%IP: 1,000 – 1,008) (Grafikon 21).

Dnevne varijacije prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama ukupnog mortaliteta kod muškarca i stanovnika starosti 18-64 godine (Grafikon 21).

Grafikon 21. Porast RR sa 95% IP od ukupnog mortaliteta stanovništva Grada Novog Sada sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



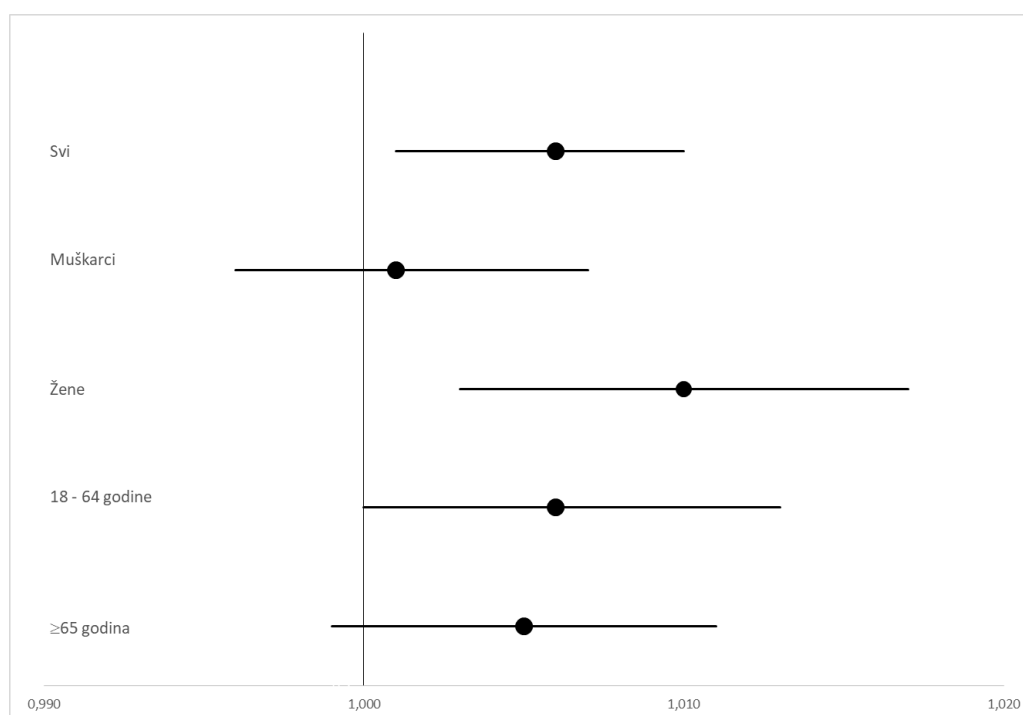
U analiziranoj godini prosečne dnevne koncentracije $PM_{2,5}$ su statistički značajno ($p < 0,05$) pozitivno povezane sa kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada (Grafikoni 22-26).

Za svaki porast prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, RR od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja poraste za 0,6% (RR=1,006; 95% IP: 1,001-1,010) (Grafikon 22).

Porast dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja kod žena za 1,0% (RR=1,001; 95% IP: 1,003 – 1,0017), a kod stanovnika starosti 18-64 godina za 0,6% (RR=1,006; 95%IP: 1,000 – 1,013), na granici statističke značajnosti ($p=0,06$). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti kod muškaraca i stanovnika starosti ≥ 65 godina (Grafikon 22).

Grafikon 22. Porast RR (sa 95% IP) od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog kardiovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica

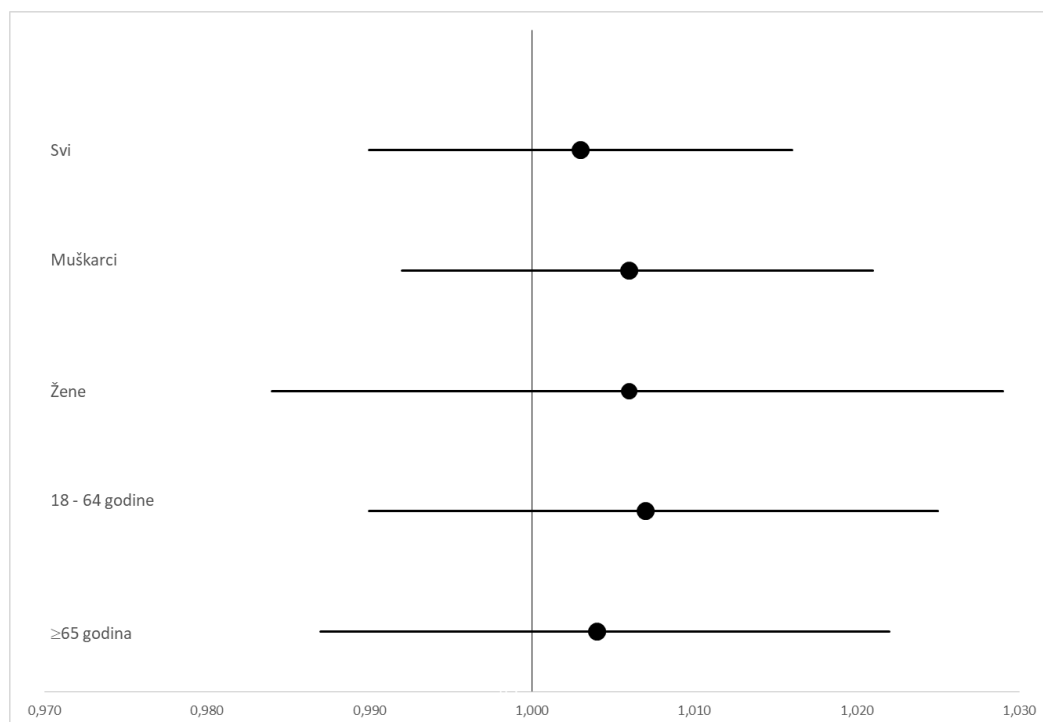
$PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Prosečne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ na području Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda nisu bile statistički značajno ($p>0,05$) povezane sa varijacijama dnevnog broja bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda (Grafikon 23).

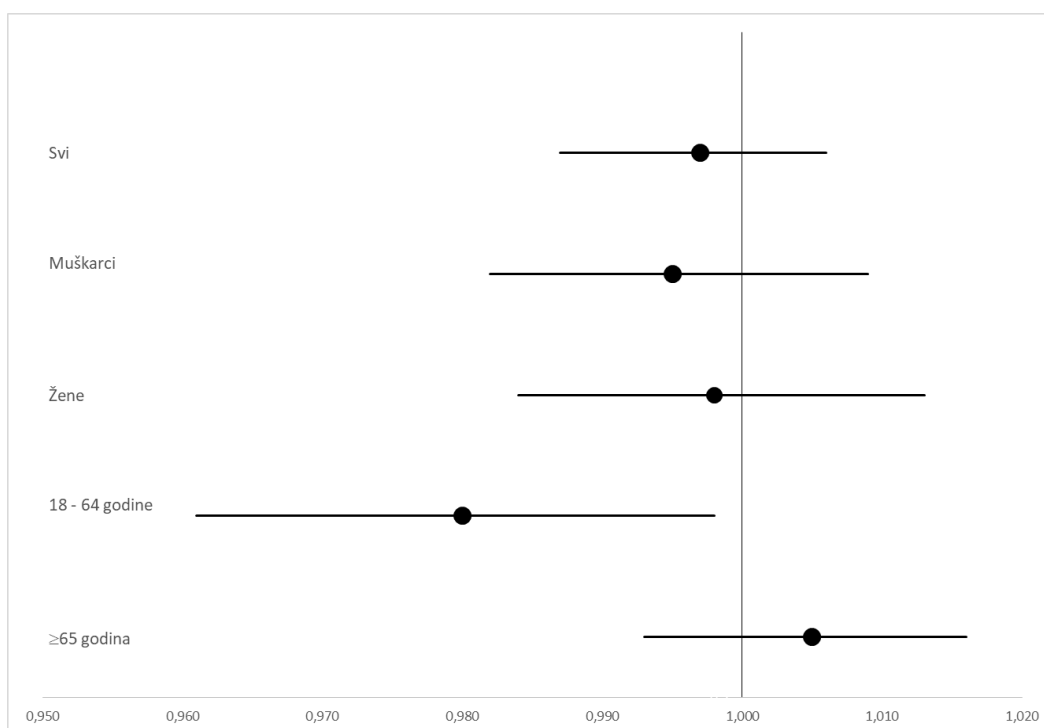
Grafikon 23. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog akutnog infarkta miokarda sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica

$PM_{2,5}$ od $1 \mu g / m^3$



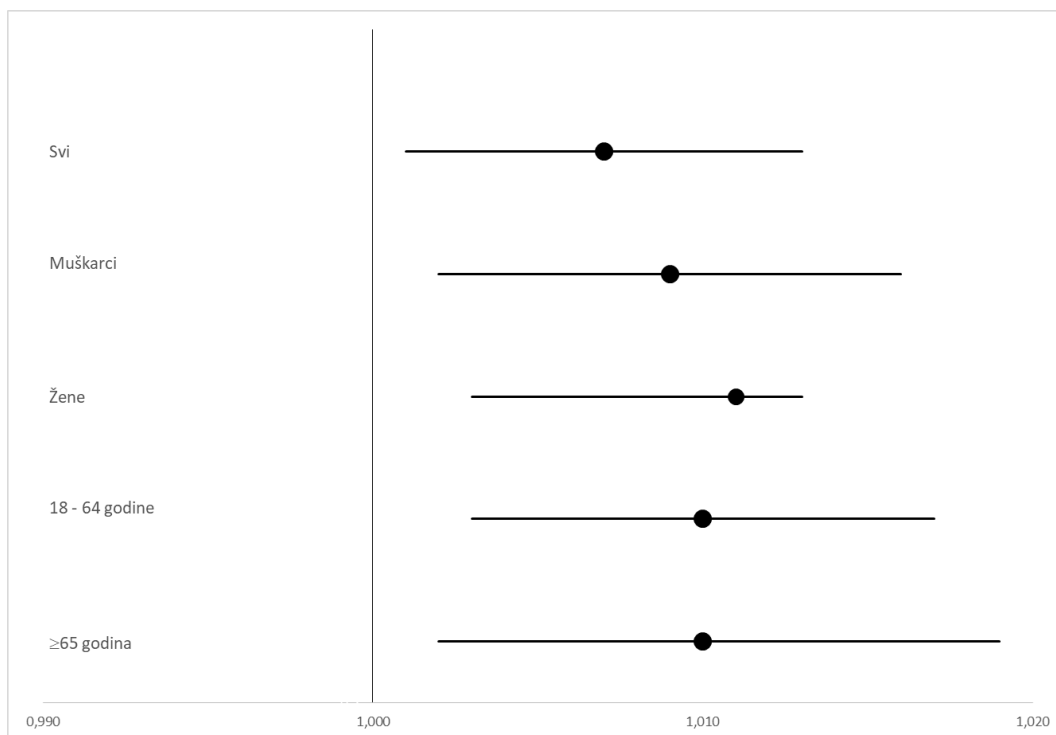
Poasonovom regresionom analizom povezanosti prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ i dnevnih varijacija broja bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih bolesti kod stanovnika starosti 18-64 godine utvrđena je statistički značajna negativna povezanost (RR=0,980; 95%IP: 0,961-0,998, $p<0,05$). Odnosno, sa svakim porastom koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$ dnevni broj bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih bolesti opada za 0,2% (Grafikon 24).

Grafikon 24. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog cerebrovaskularnih bolesti sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$



Sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija PM od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, RR od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja statistički značajno poraste za 0,7% (95% IP: 1,001-1,013) u statističkom modelu koji nije kontrolisan temperaturom vazduha (Grafikon 25). Najveći statistički značajan porast RR od 1,1% je utvrđen kod žena (RR=1,011; 95%IP: 1,003-1,017), ujednačen je kod stanovnika starosti 18-64 godine (RR=1,010; 95%IP: 1,003 – 1,017) i ≥ 65 godina (RR=1,010; 95%IP: 1,002 – 1,019) i iznosi 1,0%, dok je nešto niži kod muškarca, 0,9% (RR=1,009; 95%IP: 1,002 – 1,016) (Grafikon 25).

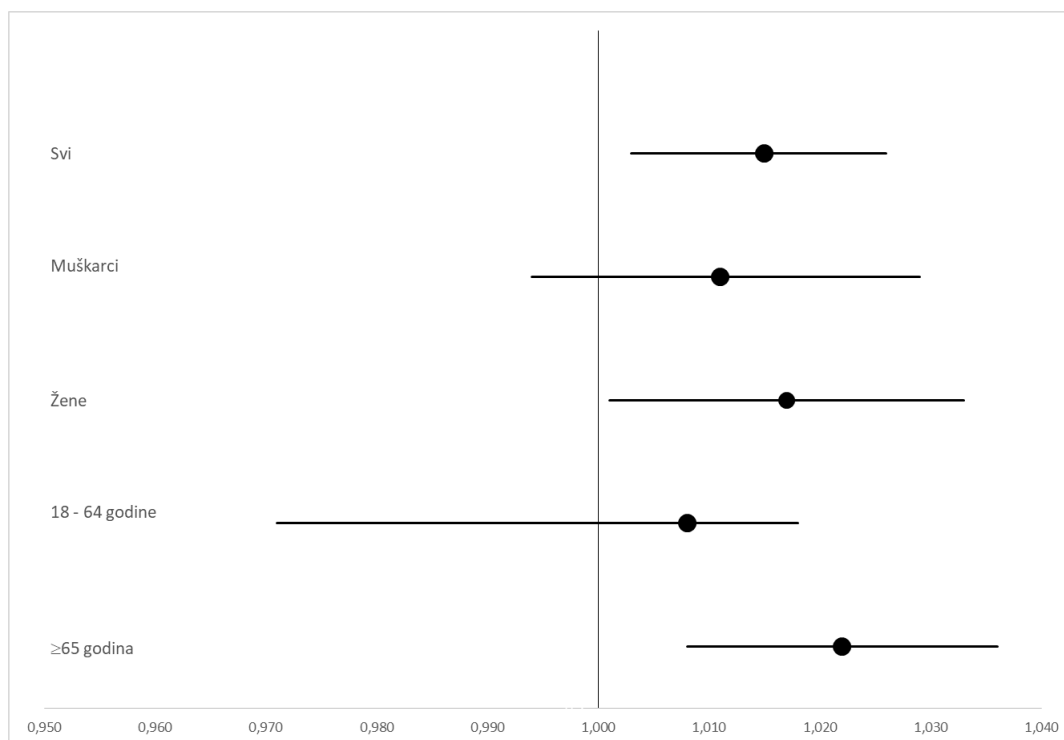
Grafikon 25. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog respiratornih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $1\mu\text{g}/\text{m}^3$



Posmatrajući nespecifičnu upalu pluća, u statističkom modelu koji nije kontrolisan temperaturom vazduha, dnevni porast koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povećava RR od prijema u bolnicu stanovništva Novog Sada za 1,5% (RR=1,015; 95% IP: 1,003-1,026) (Grafikon 26). Porast RR od prijema u bolnicu zbog nespecifične upale pluća kod stanovnika starosti ≥ 65 godina utvrđeni iznosi 2,2% (95% IP: 1,008 – 1,036) sa svakim porastom koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dok kod žena iznosi 1,7% (RR= 1,017; 95% IP: 1,001 – 1,033) (Grafikon 26).

Uticaj dnevnih varijacija koncentracija čestica $PM_{2,5}$ na broj bolničkih prijema zbog nespecifične upale pluća kod muškaraca i stanovnika Novog Sada starosti 18-64 godine nije bio statistički značajan ($p>0,05$) (Grafikon 26).

Grafikon 26. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog nespecifične upale pluća sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

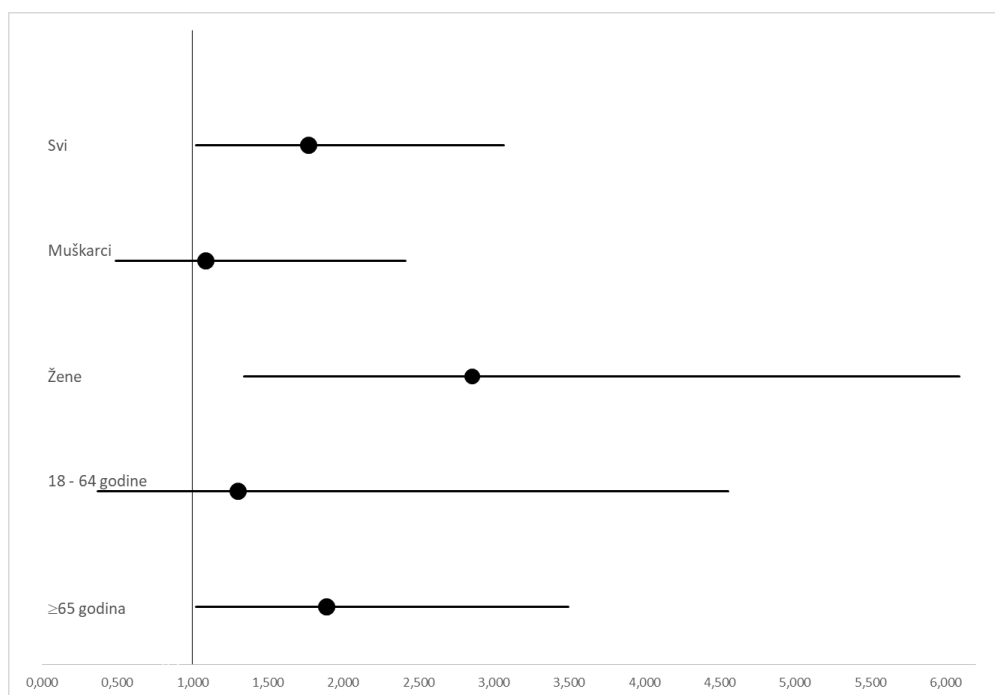


5.6. Uticaj koncentracije hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada

Analizom uticaja hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} na mortalitet stanovništva Novog Sada utvrđeno je da u primenjenim generalizovanim regresionim modelima sa dodatnim pridruženim promenljivim faktorima (K⁺/ekvivalent karbonatne frakcije, SO₄²⁻, DOC i PM_{2,5}) postoji statistički značajan uticaj koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije i K⁺. U toku posmatranog perioda sa svakim porastom dnevne prosečne koncentracije K⁺ od 1 µg/m³, RR od mortaliteta kod ukupnog stanovništva Novog Sada poraste za 77% (RR=1,769; 95% IP: 1,021 – 3,068; p<0,05) (Grafikon 27). Takođe, utvrđeno je da porast prosečnih dnevnih koncentracija K⁺ od 1 µg/m³ statistički značajno doprinosi porastu RR od ukupnog dnevnog mortaliteta kod žena (RR=2,857; 95% IP: 1,340– 6,091), kao i kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 89% (RR=1,890; 95% IP: 1,022 – 3,494) (Grafikon 27).

Dnevne varijacije prosečnih dnevnih koncentracija K⁺ nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama ukupnog mortaliteta kod muškarca i stanovnika starosti 18-64 godine (p>0,05) (Grafikon 27).

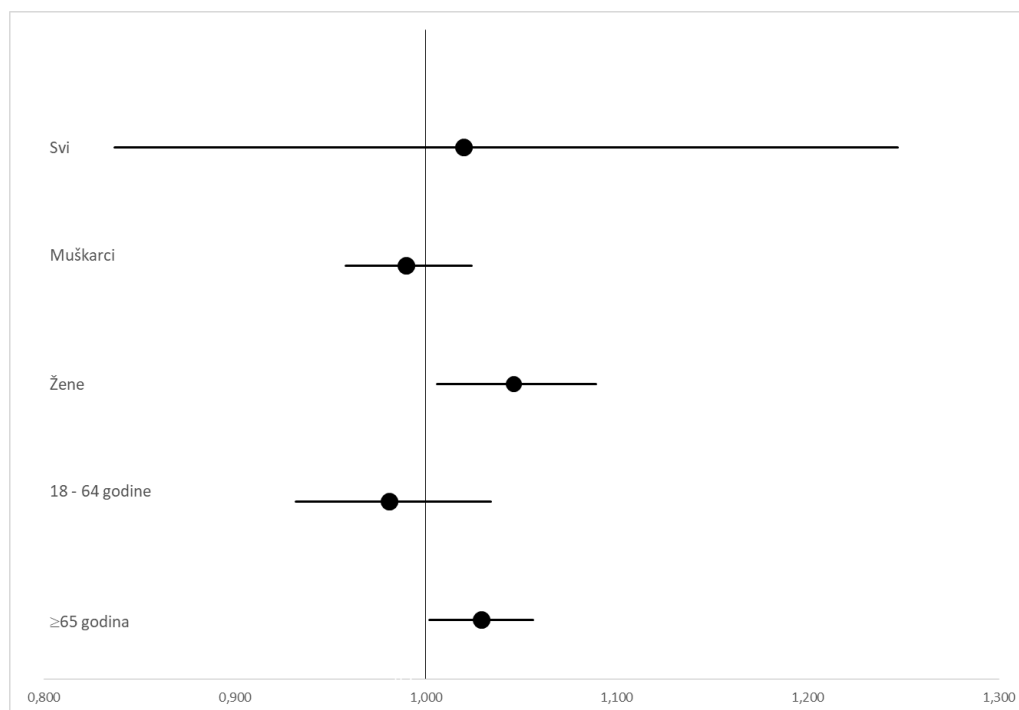
Grafikon 27. Porast RR sa 95% IP od ukupnog mortaliteta stanovništva Grada Novog Sada sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija K⁺ od 1 µg/m³



Za svako povećanje prosečnih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$, RR od ukupnog mortaliteta poraste za kod žena za 4,6% (RR=1,046; 95% IP: 1,006 – 1,089; $p<0,05$) (Grafikon 28). Takođe, porast dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$ statistički značajno utiče na porast RR od ukupnog mortaliteta kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 2,9% (RR=1,029; 95%IP: 1,002 – 1,056; $p<0,05$) (Grafikon 28).

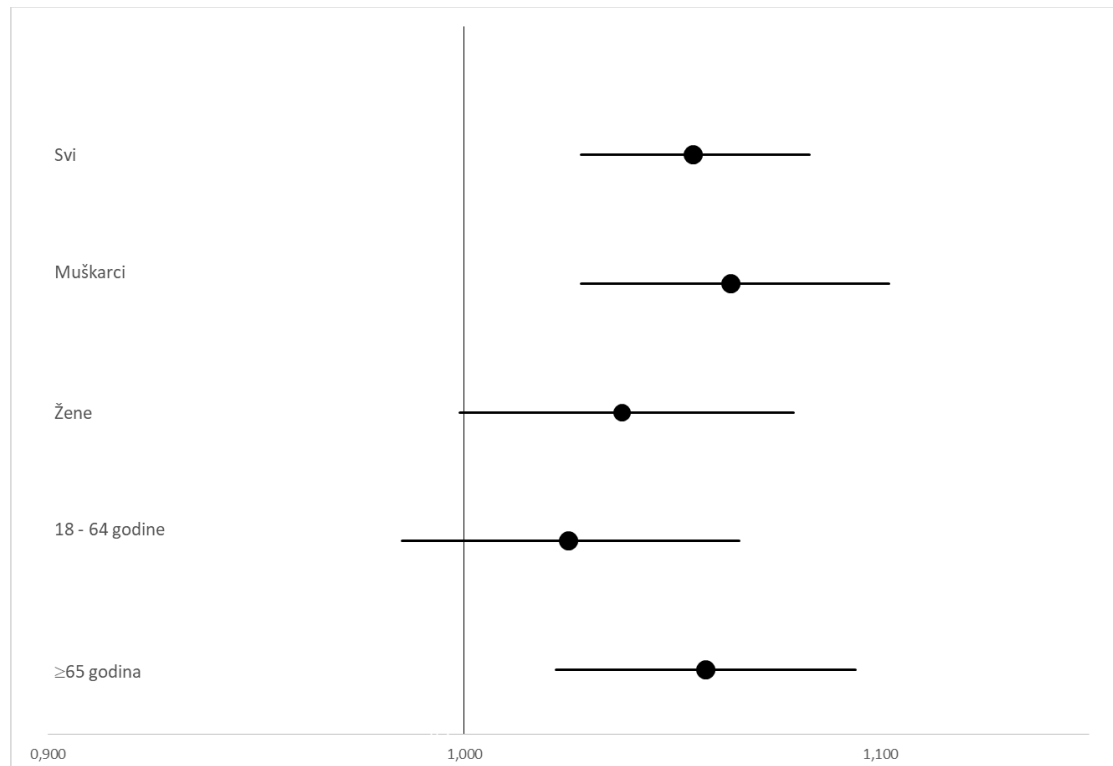
Dnevne varijacije prosečnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama dnevnog ukupnog mortaliteta odraslog stanovništva, muškaraca i stanovnika starosti 18-64 godina (Grafikon 28).

Grafikon 28. Porast RR sa 95% IP od ukupnog mortaliteta stanovništva Grada Novog Sada sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$



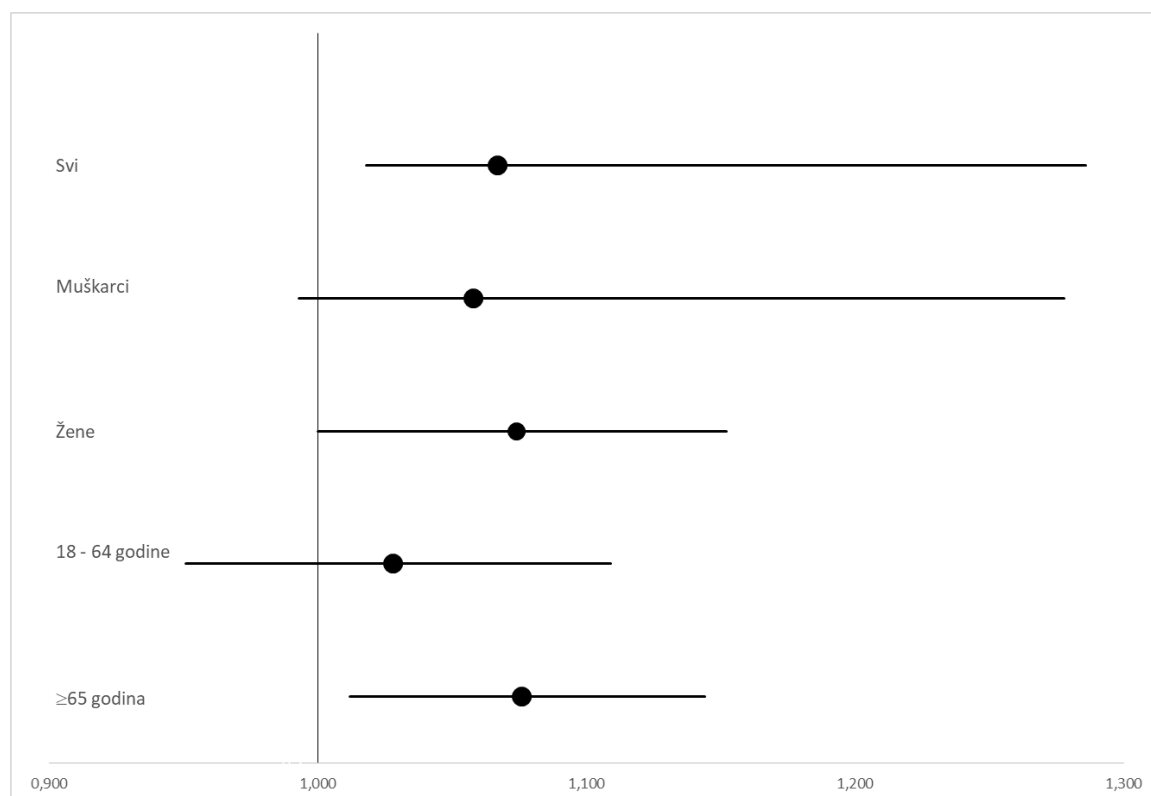
U pogledu ispitivanih pokazatelja morbiditeta, kardiovaskularni morbiditet stanovništva Grada Novog Sada je statistički značajno povezan sa ekvivalentom karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ u primenjenom regresionom modelu sa dodatnim pridruženim faktorima (K^+ , SO_4^{2-} , DOC i $PM_{2,5}$) (Grafikon 29). Porast dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije od $1 \mu g/m^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja za 5,5% kod odraslog stanovništva (RR=1,055; 95% IP: 1,028 – 1,083; $p < 0,01$), odnosno za 6,4% kod muškaraca (RR=1,064; 95%IP: 1,028 – 1,102; $p < 0,01$) i za 5,8% kod stanovnika starosti ≥ 65 godina (RR=1,058; 95%IP: 1,022 – 1,094; $p < 0,01$) (Grafikon 29). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih oboljenja kod žena i stanovnika starosti 18-64 godina (Grafikon 29).

Grafikon 29. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog kardiovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu g/m^3$



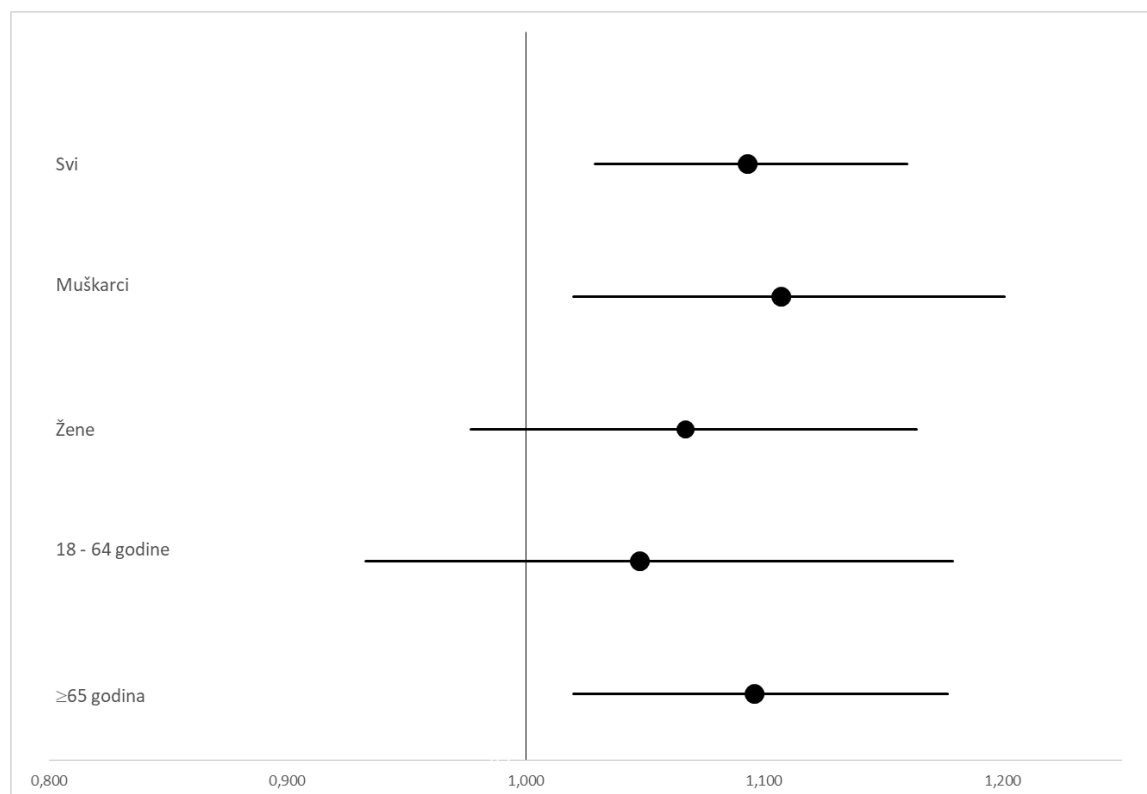
Porast dnevnih koncentracija DOC-a od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja kod odraslog stanovništva Novog Sada za 6,7% (RR=1,067; 95%IP: 1,018 – 1,286; $p<0,05$), a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 7,6% (RR=1,012; 95%IP: 1,033 – 1,144; $p=0,05$), a kod žena za 7,4% (RR=1,074 95% IP: 1,000 – 1,152), ali na granici statističke značajnosti ($p=0,05$) (Grafikon 30). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija DOC-a nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih oboljenja kod muškaraca i stanovnika starosti 18-64 godina (Grafikon 30).

Grafikon 30. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog kardiovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija DOC-a od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



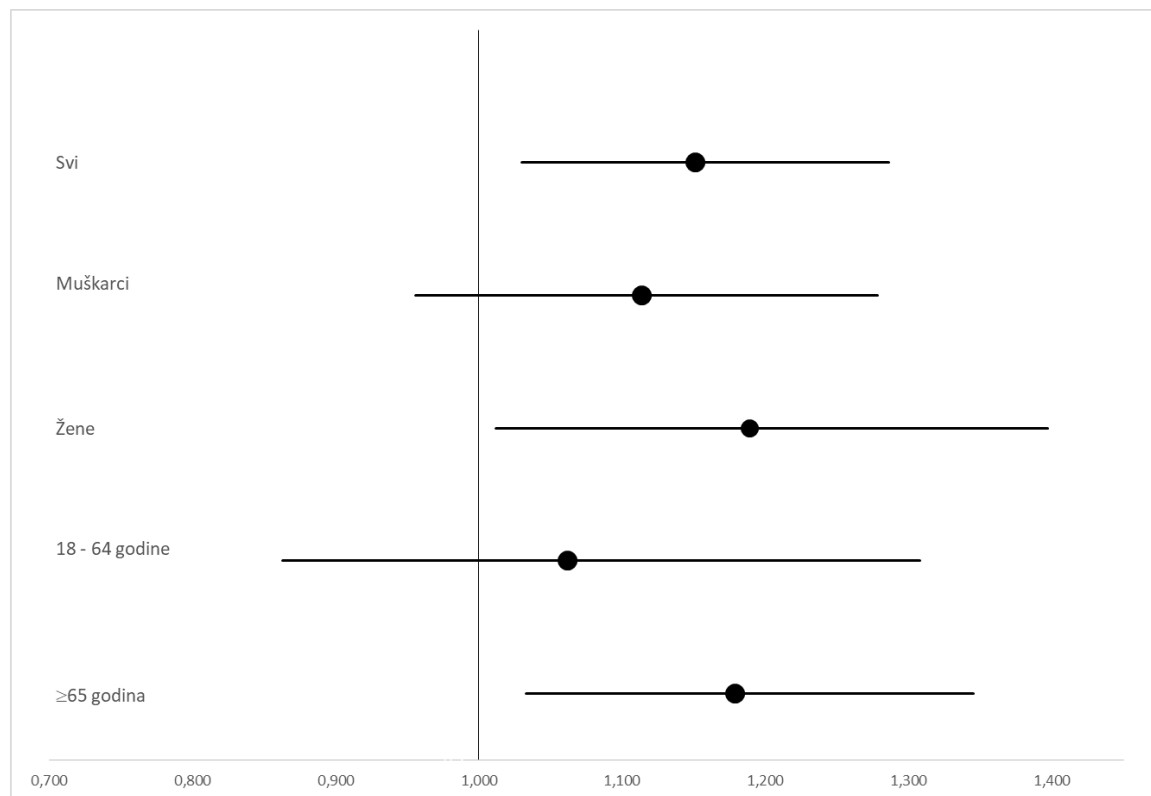
Porast dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog cerebrovaskularnih oboljenja kod odraslog stanovništva za 9,3% (RR=1,093; 95%IP: 1,029 – 1,160; $p<0,05$), kod muškaraca za 10,7% (RR=1,107 95% IP: 1,020 – 1,201; $p<0,05$), a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 9,6% (RR=1,096; 95%IP: 1,020 – 1,177; $p<0,05$) (Grafikon 31). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije nisu bile statistički značajno ($p>0,05$) povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih oboljenja kod žena i stanovnika starosti 18-64 godina (Grafikon 31).

Grafikon 31. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog cerebrovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Porast dnevnih koncentracija DOC-a od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog cerebrovaskularnih oboljenja kod odraslog stanovništva za 15,1% (RR=1,151; 95% IP: 1,030 – 1,286; $p<0,05$), kod žena za 18,9% (RR=1,189 95% IP: 1,012 – 1,397; $p<0,05$), a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 17,9% (RR=1,179; 95%IP: 1,033 – 1,345; $p<0,05$) (Grafikon 32). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija DOC-a nisu bile statistički značajno ($p>0,05$) povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih oboljenja kod muškaraca i stanovnika starosti 18-64 godina (Grafikon 32).

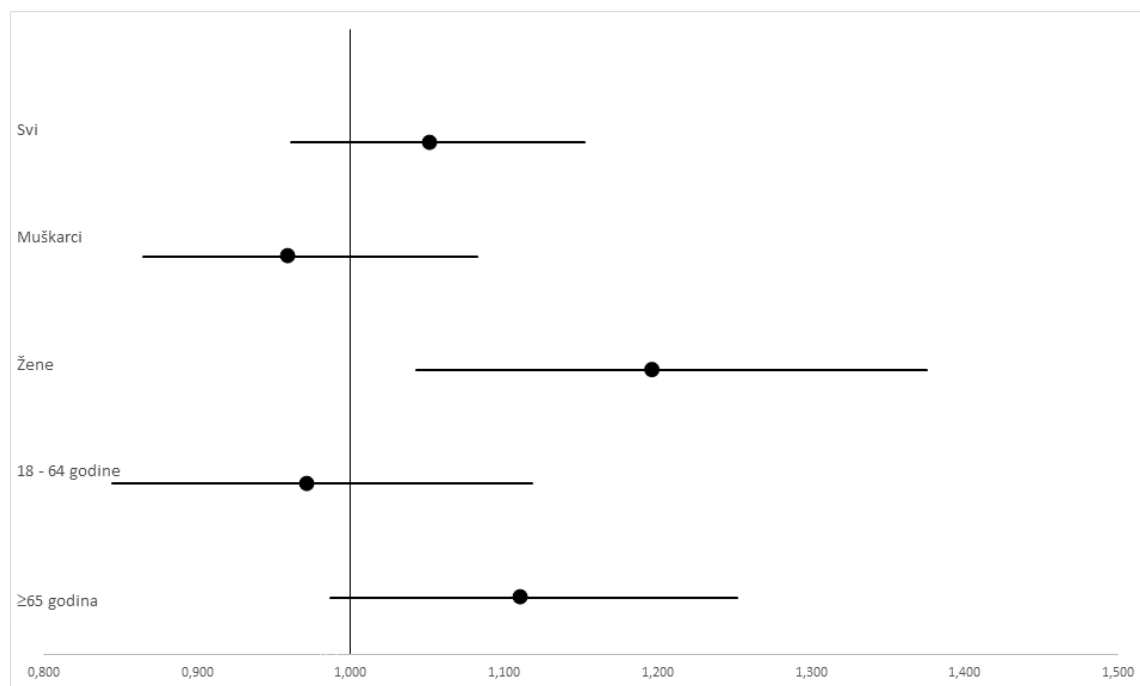
Grafikon 32. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog cerebrovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija DOC-a od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Kardiovaskularni morbiditet stanovništva Grada Novog Sada starosti 18-64 godine je statistički značajno povezan sa koncentracijom Ca^{2+} u primenjenom regresionom modelu sa dodatnim pridruženim faktorima (Mg^{2+} i čestice $\text{PM}_{2,5}$). Porast dnevnih koncentracija Ca^{2+} od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja za 19,7% kod žena (RR=1,197; 95% IP: 1,043 – 1,375; $p < 0,01$) (Grafikon 33).

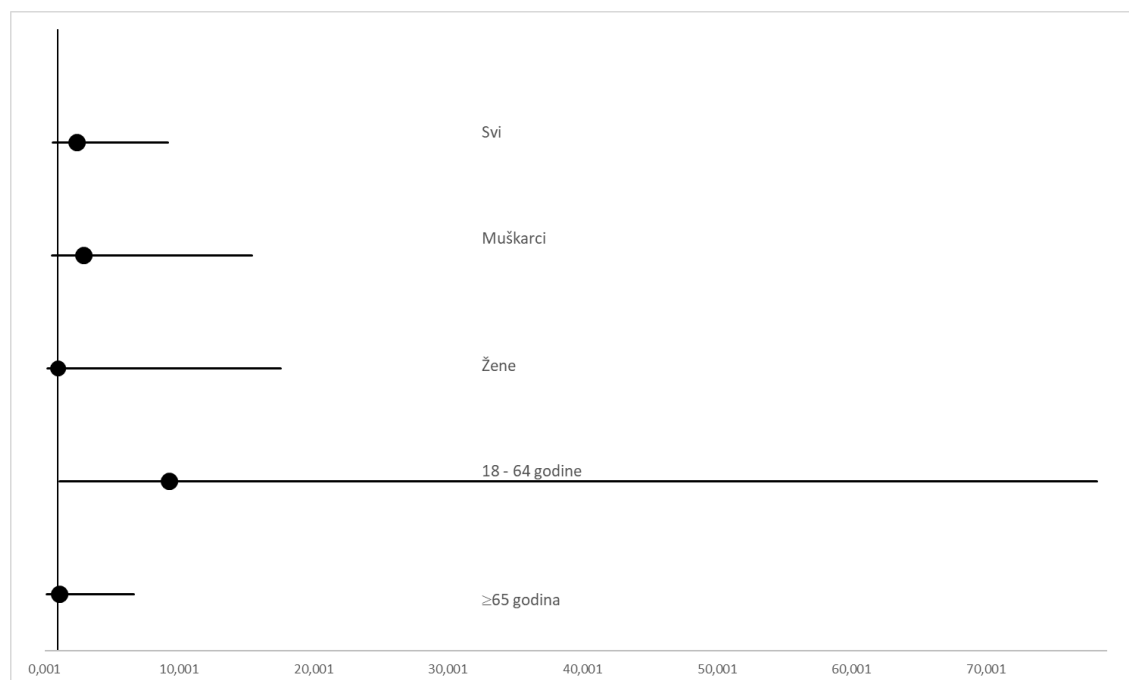
Dnevne varijacije prosečnih koncentracija Ca^{2+} nisu bile statistički značajno povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih oboljenja kod svih odraslih stanovnika Grada Novog Sada, muškaraca, stanovnika starosti 18-64 godine i ≥ 65 godina ($p > 0,05$) (Grafikon 33).

Grafikon 33. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog kardiovaskularnih oboljenja sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija Ca^{2+} od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Porast dnevnih koncentracija Na^+ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, u statističkom modelu sa dodatnim pridruženim faktorima (Cl^- i čestice $\text{PM}_{2,5}$), značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog akutnog infarkta miokarda kod stanovništva starosti 18-64 godine ($\text{RR}=9,297$; $95\%\text{IP}$: $1,105 - 78,224$; $p<0,05$) (Grafikon 34). Dnevne varijacije prosečnih koncentracija Na^+ nisu bile statistički značajno ($p>0,05$) povezane sa varijacijama broja bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda kod svih odraslih stanovnika Grada Novog Sada, muškaraca, žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina (Grafikon 34).

Grafikon 34. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog akutnog infarkta miokarda sa porastom prosečnih dnevnih koncentracija Na^+ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

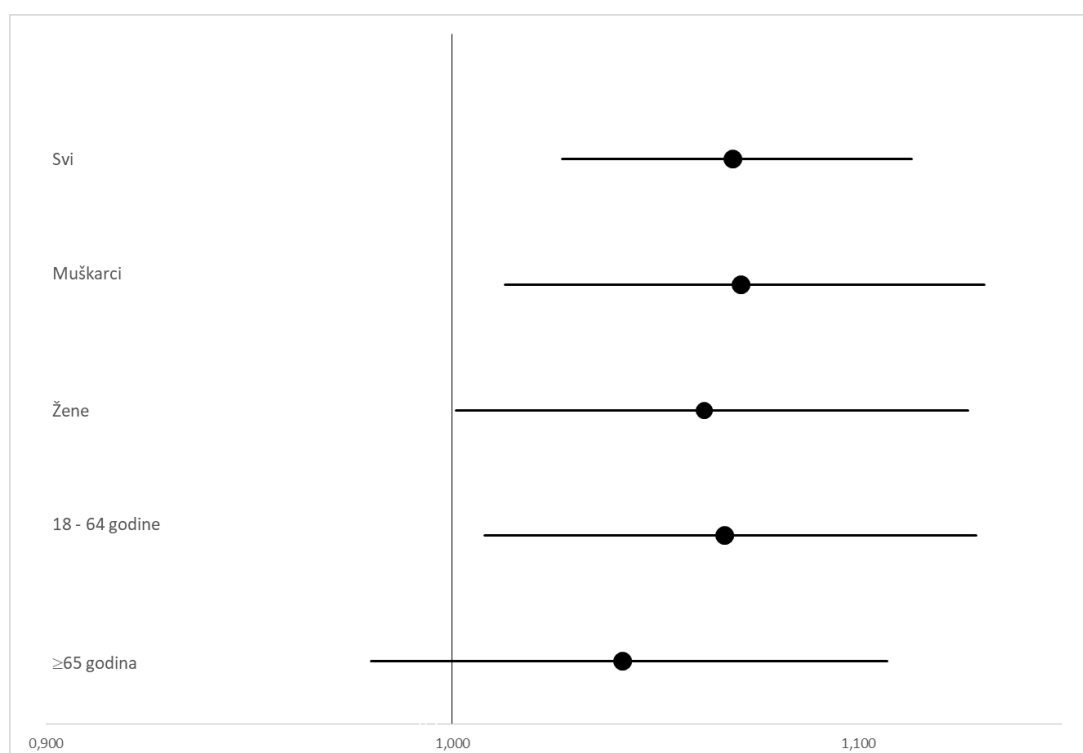


Koncentracije ostalih analiziranih hemijskih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ nisu bile statistički značajno ($p>0,05$) povezane sa ukupnim kardiovaskularnim, odnosno cerebrovaskularnim morbiditetom i brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda (Prilog).

Dnevne varijacije koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ u toku posmatranog perioda su bile statistički značajno ($p < 0,01$) pozitivno povezane sa bolničkim prijemima zbog respiratornih oboljenja u statističkim modelima prilagođenim sa koncentracijama K^+ , SO_4^{2-} , DOC-a i česticama $PM_{2,5}$. RR od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja kod odraslog stanovništva Novog Sada poraste za 6,9% sa svakim povećanjem prosečne dnevne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$ (RR=1,069, 95% IP: 1,027 – 1,113, $p=0,01$) (Grafikon 35).

Takođe, dnevni porast koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$ statistički značajno utiče na porast RR od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja kod muškaraca za 7,1% (RR=1,071; 95%IP: 1,013 – 1,131; $p < 0,05$), kod žena za 6,2% (RR=1,062; 95%IP: 1,001 – 1,127; $p < 0,05$), dok je za stanovnike starosti 18 - 64 godine iznosio 6,7% (95% IP: 1,067 – 1,129; $p < 0,05$) (Grafikon 35).

Grafikon 35. Porast RR sa 95% IP od prijema u bolnicu stanovnika Grada Novog Sada zbog respiratornih oboljenja sa porastom prosečnih dnevni koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije $PM_{2,5}$ od $1\mu g/m^3$



Koncentracije ostalih analiziranih hemijskih sastojaka čestica PM_{2,5} nisu bile statistički značajno ($p > 0,05$) povezane sa ukupnim respiratornim bolničkim morbiditetom, odnosno sa bolničkim prijemima zbog nespecifične upale pluća (Prilog).

6. DISKUSIJA

6.1. Kvalitet vazduha životne sredine – suspendovane čestice PM_{2,5}

Podaci poslednjih istraživanja pokazuju da se, u većini zemalja, kvalitet vazduha životne sredine značajno poboljšao u poslednjih nekoliko decenija (251). Poboljšanje u nekim oblastima (SAD, Evropa) je postignuto primenom niza mera za smanjenje emisija zagađujućih materija, odnosno uspostavljanjem odgovarajućih pravnih okvira (251). Sa druge strane, analize pokazuju da i dalje veliki deo svetske populacije (>90%) živi u područjima sa koncentracijama čestica PM_{2,5} (ključni indikator kvaliteta vazduha životne sredine) koje prevazilaze preporučene vrednosti SZO (251).

Prema analiziranim podacima tokom 2017. godine, na području Grada Novog Sada dnevne koncentracije čestica PM_{2,5} su se kretale od 2 µg/m³ do 108 µg/m³, sa prosečnom vrednošću od 30,28 µg/m³. Poređenja radi, prema analiziranim podacima, za skoro identičan period istraživanja (jesen 2016 - jesen 2017 godine), prosečne godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} u Detroitu (SAD) su iznosile 8,7µg/m³, u Londonu (Evropa) 13,3µg/m³, u Bejungu (Kina) 62 µg/m³, dok su u Delhiju (Indija) iznosile 126,3 µg/m³ (252). Smatra se da je direktna komparacija koncentracija čestica PM_{2,5} među gradovima krajnje nesvrshodna, s obzirom da su izuzetno osetljive na lokalne uslove. Međutim, uočene varijacije pružaju uvid u uticaj napora da se poboljša kvalitet vazduha na pripadajućem regionalnom području (253).

Na regionalnom nivou, tokom 2017. godine, najveće prosečne godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} (populaciono ponderisane) su bile na području Južne Azije (38-100 µg/m³), nešto niže u Zapadnoj Podsaharskoj Africi (47-94µg/m³), dok su najniže vrednosti, ispod 8 µg/m³ bile na prostoru Maldiva, Sjedinjene Države, Norveška, Estonija, Island, Kanada, Švedska, Novi Zeland, Brunej i Finska (251). Prema dostupnim podacima, prosečne godišnje koncentracije čestica PM_{2,5} u Novom Sadu, koja se može izjednačiti sa populacionom ponderisanom, s obzirom da je rezultat koncentracija utvrđenih sa dve najreprezentativnije lokacije za područje Grada, su uporedive sa Severnom Korejom (32µg/m³). Slično potvrđuju i podaci izrađenog petogodišnjeg trenda (2010-2015) koncentracija čestica PM_{2,5} za područje Srbije i Koreje (254). Smatra se da je prostorna heterogenost nivoa zagađenja vazduha, prvenstveno

posledica definisanja, usvajanja i primene pravnih okvira u pogledu zagađenja vazduha životne sredine, odnosno kontrole čestice $PM_{2,5}$. Pravni okviri SAD (214) i Evrope (215) u pogledu čestičnog zagađenja vazduha, iako su doprineli značajnoj redukciji zagađujućih materija, su i dalje u konstantnom preispitivanju, shodno mnogobrojnim dokazima o negativnom uticaju na zdravlje. Međutim, u mnogim drugim zemljama, dominantno na području Azije (Kina, Indija, Pakistan, Bangladeš) propisi za kontrolu čestica $PM_{2,5}$ jesu predloženi, ali ne i usvojeni (255). Despina Giannadaki (255) ističe da u zemljama sa visokim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$, kao što su Rusija, Ukrajina, Indonezija, Vijetnam, Japan, Tajland, Egipat, Turska, Iran, Irak, Nigerija, Sudan i Mjanmar, za sada ne postoje dostupni podaci koji pokazuju da postoje propisi za čestice $PM_{2,5}$. Moguć primer značaja definisanja pravnih okvira za kontrolu čestica $PM_{2,5}$, jesu i rezultati studije na području zapadnog Balkana. Naime, među preko 30 gradova u Albaniji, Srbiji sa Kosovom, BH, Republici Srpskoj, CG i Makedoniji, najveće prosečne godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ su tokom 2015 - 2017 godine zabeležene u Tuzli ($45-85 \mu\text{g}/\text{m}^3$) na području BiH, jedina zemlja koja, među navedenim, nije definisala posebne propise za kontrolu čestica $PM_{2,5}$ (77). Rezultati iste studije pokazuju da u preko 75% gradova u okruženju, i pored definisanja propisa, takođe, postoje prekoračenja propisa Evropske Unije (EU). Prekoračenje propisanih godišnjih nacionalnih vrednosti za čestice $PM_{2,5}$, u Gradu Novom Sadu, za 21,12% ($5,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i za 14,69% ($3,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$), redom, podrazumeva istovetno prekoračenje i propisa EU (215), s obzirom da su propisi Srbije i EU usklađeni. Tokom iste godine, prema izveštaju Evropske agencije za zaštitu životne sredine, svega 6% urbanog stanovništva je bilo izloženo koncentracijama iznad propisa EU (256). Međutim, bez obzira na uložene napore, svega nekoliko gradova (18%) uspeva da zadrži koncentracije čestica $PM_{2,5}$ ispod preporuka SZO $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (256). U drugim zemljama, regionima, procenat stanovništva koji živi u oblastima gde su godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ iznad smernica SZO, se kretao od 92% u Rusiji do 100% u Kini, Indiji, Nigeriji, Pakistanu i Bangladešu (251). Slično je utvrđeno i u gradovima Zapadnog Balkana, gde je gotovo u 100% gradova utvrđeno prekoračenje smernica SZO za čestice $PM_{2,5}$ na godišnjem nivou (77). Preporuke SZO za prosečan godišnji nivo čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za koji se ne očekuje da će usled dugoročne izloženosti imati negativne posledice po zdravlje, su prekoračene i u Novom Sadu za oko $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, što je za tri puta više. Očekivano,

tokom 2017. godine, najmanji procenat stanovništva koji je izložen koncentracijama čestica preko smernica SZO je na području SAD-a (<5%) (251), s obzirom da je Agencija za zaštitu životne sredine (EPA) u decembru 2012. godine pooštrila godišnji normativ za čestice PM_{2,5} sa 15 na 12 µg/m³, približavajući se preporukama SZO (214).

Međutim, pored pravnih okvira, autori ističu uticaj urbanizacije na zagađenje vazduha, s obzirom da je utvrđena snažna povezanost između gustine naseljenosti, transporta i koncentracija čestica PM_{2,5} (257, 258).

Dobijeni rezultati za Novi Sad su u saglasnosti sa drugim istraživanjima na području gradova koji predstavljaju glavne prioritete oblasti, imaju više od 250000 stanovnika, obiman vozni park i pod snažnim su uticajem komercijalnih aktivnosti (88). Lokalni uticaji izvora karakterističnih za urbanu sredinu u razvoju, uočen je i u Gradu Novom Sadu, s obzirom da su prosečne koncentracije PM_{2,5} na lokaciji UT iznosile 37,45 µg/m³, za razliku od lokacije UB, gde je prosečna koncentracija PM_{2,5} bila 22,95 µg/m³. Uzimajući u obzir podatak da je u poslednjih deset godina zabeležen porast stanovništva u Gradu od preko 30% (259), kao posledica naglog razvoja grada, efekat primarne i sekundarne urbanizacije je evidentan i na području Grada Novog Sada. Uticaj urbanizacije na kvalitet vazduha životne sredine je zabeležen širom sveta (4). Samo na području Indije, u kojoj se registruju i najveći nivoi čestica PM_{2,5}, je tokom prethodnih godina broj urbanih centara porastao sa 1827 (1901. godine) do 5161 (2001. godine). To je, prema Datta i saradnicima (260) rezultiralo širenjem grada, porastom gradske populacije, broja vozila i pređenih kilometara, zagušenjem saobraćaja, velikim građevinskim radovima i nesistematskim korišćenjem zemljišta (260).

Da svaki svaki grad ima svoj postupak urbanizacije (258), pokazuju i rezultati srednjih dnevnih koncentracija čestica PM_{2,5} u Gradu Novom Sadu, koje su tokom više od 60% dana ispitivanog perioda prevazilazile smernice SZO na dnevnom nivou (25 µg/m³). Sličan broj dana prekoračenja je zabeležen i u Hong Kongu i Mumbaju, gde su prosečne godišnje koncentracije od 30,9 µg/m³ i 26,7 µg/m³, redom (94), bile uporedive sa rezultatima za Novi Sad. U gradu Seoul (Seul), (Koreja), tokom perioda 2005-2012 godine, sa prosečnom godišnjom koncentracijom od 27 µg/m³, takođe su tokom 60% dana unutar godine prekoračene preporuke SZO (261), što je takođe posledica brze urbanizacije, izraženog "hroničnog" zastoja u saobraćaju, ali i doprinosa zagađenja vazduha iz Kine (262, 263). Najveći broj dana sa dnevnim koncentracijama iznad

preporuka SZO na godišnjem nivou su registrovani upravo u gradovima Kine, dok su najmanji u Torontu (4 dana), Čikagu (4 dana), Madridu (1 dan), Atlanti i Majamiju (0 dana) (94).

Međutim, dani u kojima koncentracije čestica $PM_{2,5}$ prekoračuju dnevne preporučene vrednosti SZO nisu bile ravnomerno raspoređeni tokom ispitivanog perioda. Najveći broj prekoračenja u Gradu Novom Sadu zabeležen je tokom perioda jesen, zatim zime, proleća i leta, ukazujući na lokalni doprinos određenih emitera karakterističnih za godišnje doba (npr. grejanje). Uzimajući u obzir vremensku varijabilnost prekoračenja dnevnih preporuka SZO, posmatranu u odnosu na lokacije UT i UB, uočen je veći broj dana prekoračenja na lokaciji UT tokom jeseni, dok je na lokaciji UB najveći broj dana prekoračenja bio tokom zime, što čini „vidljivim“ dodatnu emisiju čestica $PM_{2,5}$ porekla saobraćaja i grejanja. Statistički značajne razlike utvrđenih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ između lokacija UT i UB, ali i godišnjih doba, potvrđuju moguć uticaj navedenih izvora (grejanje i saobraćaj).

Mnogobrojna istraživanja pokazuju da prisustvo emitera nije jedini faktor koji doprinosi utvrđenim masenim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ (114, 115, 116). Rezultati prethodnih studija su pokazali da meteorološki uslovi mogu u velikoj meri da difunduju, razređuju ili čak akumuliraju zagađujuće materije, te je stoga koncentracija čestica $PM_{2,5}$ uslovljena i meteorološkim uslovima (264).

Na području Novog Sada meteorološki uslovi takođe imaju doprinos izmerenim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$. Na godišnjem nivou 30% dnevnih varijacija koncentracija čestica $PM_{2,5}$ je objašnjeno temperaturama vazduha i brzinom vetra, a 4% sa relativnom vlažnošću vazduha. Odnosno, veće koncentracije čestica $PM_{2,5}$ se očekuju u uslovima nižih temperatura, smanjene brzine vetra i povećane vlažnosti vazduha. Navedeni rezultati su u saglasnosti sa rezultatima drugih studija (119, 127) i predstavljaju potvrdu prve postavljene hipoteze, koja je bila zasnovana prvenstveno na meteorološkim uslovima koji se povezuju sa prisustvom / odsustvom očekivanih izvora i njihove aktivnosti (npr. grejna/vangrejna sezona). Međutim, uticaj meteoroloških faktora na povećanje koncentracija čestica $PM_{2,5}$ je bio različit tokom godišnjih doba i pokazatelj je homogenijeg međusobnog odnosa lokalnih meteoroloških uslova i čestica $PM_{2,5}$. U zimskom periodu, većim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ su pogodovale niže temperature vazduha i smanjena brzina vetra, dok su tokom proleće veće koncentracije

čestica $PM_{2,5}$ beležene u danima sa smanjenom brzinom vetra. Za razliku od navedenog, tokom leta veće koncentracije su beležene u danima sa većim temperaturama, odnosno manjom vlažnošću vazduha (suva sezona), što je u suprotnosti sa rezultatima autora Chen (119). Međutim, oba rezultata se objašnjavaju mogućim mehanizmima uticaja temperature vazduha na koncentracije čestica $PM_{2,5}$. Autori navode da, sa jedne strane, veće temperature vazduha promovišu stvaranje sekundarnih čestica $PM_{2,5}$, a sa druge strane, veće temperature utiču i na konvekciju vazduhu formirajući idelane uslove za bolju difuziju čestica $PM_{2,5}$ i na taj način smanjuju njihovu koncentraciju (265, 266).

Opisano je da sezonske varijacije jesu zavisne od meteoroloških parametara, ali i prisutnošću i aktivnošću izvora. Dobijeni rezultati pokazuju da se sezonske varijacije koncentracija čestica $PM_{2,5}$, u oko 30% do 40% slučajeva, objašnjavaju meteorološkim parametrima tokom svih godišnjih doba, izuzev jeseni, kada je čak 70% dnevnih varijacija bilo zavisno od niže vlažnosti vazduha i smanjene brzine vetra. Međutim, tokom jeseni su utvrđene i najveće koncentracije čestica $PM_{2,5}$ na lokaciji UT, što je doprinelo statistički značajno većim prosečnim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ tokom jeseni u odnosu na druga godišnja doba, kada je poredak koncentracija bio sledeći: zima ($37,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > proleće ($25,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > leto ($23,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Navedeni rezultati govore u prilog kombinujućeg uticaja lokalnih meteoroloških uslova i prisutnih izvora. Najverovatnije su posledica izraženije lokalne emisije čestica $PM_{2,5}$ porekla saobraćaja i porasta koncentracije čestica $PM_{2,5}$, usled favorizacije uslova za formiranje jona rastvorljivih u vodi i njihovog nakupljanja usled smanjene brzine vetra. Naime, rezultati drugih istraživanja pokazuju da visoka relativna vlažnost u kombinaciji sa visokim koncentracijama čestica PM može ubrzati dalje formiranje jona rastvorljivih u vodi (267), kao i da prevelika vlažnost vazduha dovodi do suvog taloženja čestica $PM_{2,5}$ zbog izraženog higroskopnog rasta, što dovodi do rasta mase čestica $PM_{2,5}$ i posledičnog taloženja, odnosno pada koncentracije čestica $PM_{2,5}$ (264). Međutim, tokom jeseni, relativna vlažnost vazduha se kretala u rasponu 64 - 98%, a rezultati negativne korelacije relativne vlažnosti vazduha i čestica $PM_{2,5}$ su pokazali da se smanjenjem vlažnosti vazduha, ali u navedenom rasponu, verovatno stvaraju pogodujućii uslovi za formiranja jona rastvorljivih u vodi, a ne higroskopni rast čestica $PM_{2,5}$. Druga istraživanja (119, 265) takođe potvrđuju da su različite sezonske varijacije često i

prostorno zavisne. Razlog za prostorne varijacije u rezultatima povezanosti meteoroloških faktora i masenih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ se može objasniti kroz niz preplitanih procesa, a konačni efekat je sintetički rezultat lokalnih klimatskih uslova, topografije urbanog područja i hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ (125), što je potvrđeno i u Gradu Novom Sadu. Utvrđeno je da se odnosi između koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora razlikuju između regiona (264). Na primer, temperatura može uticati na koncentraciju $PM_{2,5}$ kroz promovisanje isparavanja NH_4NO_3 i uticati na stope emisije iz individualnih ložišta u domaćinstvima i proizvodnje električne energije (268). U pojedinim urbanim sredinama, na drugim geografskim dužinama, učinci grejnih tela nisu prisutni, te su odnosi između koncentracije $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora prostorno heterogeni (115). Stoga, međusobna povezanost koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i meteoroloških faktora se može najpreciznije i detaljnije opisati samo kroz poređenja različitih regiona (115).

6.2. Hemijski sastav suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u Gradu Novom Sadu

Prema nedavno objavljenim rezultatima globalne studije (93), postoji značajna varijabilnost u hemijskom sastavu čestica $PM_{2,5}$, što je posledica raznolikosti njihovih izvora i procesa formiranja u atmosferi. Na području Grada Novog Sada, joni rastvorljivi u vodi (Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-), DOC i ekvivalent karbonatne frakcije čine 28%, 12% i 60% prosečne ukupne mase čestice $PM_{2,5}$, redom.

U rastvorljivoj frakciji čestica $PM_{2,5}$, dominirali su NO_3^- (11%) i Ca^{2+} (10%), dok je učešće ostalih jona iznosilo 7% sa sledećim poretkom: NH_4^+ (3%), Cl^- (2%), Na^+ (1%), K^+ (1%), SO_4^{2-} i Mg^{2+} (<1%). Iako se hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$ intenzivno istražuje još od 1980. godine, tek nedavno joni u rastvorljivi u vodi privlače pažnju naučne javnosti, jer mogu da imaju veliki udeo u ukupnoj masi čestica (269, 270). U pojedinačnim istraživanjima utvrđeno je da, u urbanim sredinama, joni rastvorljivi u vodi obično čine 40–60% sastava čestica $PM_{2,5}$ (271). U poređenju sa objavljenim rezultatima Xi'an (Kina), gde je rastvorljiva frakcija činila 39,5% mase čestica $PM_{2,5}$ (272), doprinos rastvorljive frakcije masi čestica $PM_{2,5}$ u Novom Sadu je bio nešto niži, uporediv sa rezultatima na području Rio de Žaneira (Brazil) (273), a veći u odnosu na rezultate na

području grada Durg (Indija) (11%) gde su koncentracije čestica $PM_{2,5}$ bile čak $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (274). Adamson i saradnici (275) sugerišu da je upravo rastvorljiva frakcija čestica PM u atmosferi najštetnija zbog svoje potencijalne toksičnosti, jer se najlakše apsorbuje u ljudskom organizmu (276). Takođe, joni rastvorljivi u vodi povećavaju rastvorljivost toksičnih organskih jedinjenja, delujući kao površinski aktivni reagensi i samim tim povećavaju rizik po ljudsko zdravlje. Stoga, koncentracija i raspodela jona rastvorljivih u vodi, mogu ukazivati na doprinose izvora, mehanizme transformacije u atmosferi, ali i na njihove potencijalne negativne efekte na zdravlje ljudi, odnosno životnu sredinu (277).

Sadržaj SNA, kao markera za sekundarno poreklo čestica $PM_{2,5}$, je iznosio 14% mase čestica $PM_{2,5}$, što je, ako se ima u vidu poreklo i način formiranja sekundarne neorganske frakcije (92), očekujuće niže od 50% utvrđenih u pojedinim evropskim regionalnim pozadinskim područjima (278). Sadržaj SNA u Gradu Novom Sadu je bio dosta niži i u poređenju sa rezultatima studije na području Soluna (Grčka). Prema autorima navedne studije, prosečan sadržaj SNA, takođe merenih na lokacijama UT i UB je iznosio 27% i 40%, redom. Slične vrednosti SNA dokumentovane su za evropske gradove od strane ostalih autora (108, 279). Na globalnom nivou, utvrđeno je da sadržaj SNA u masi čestica $PM_{2,5}$ iznosi 30% (93). Imajući u vidu da se SNA frakcija formira od gasovitih prekursora: SO_2 , NO_x , NH_3 , niži sadržaj SNA u Novom Sadu sasvim je očekivan, s obzirom da je sadržaj SO_4^{2-} iznosio manje od 1% mase čestica, kao posledica značajnog opadajućeg trenda koncentracije SO_2 u vazduhu životne sredine (78). Prema izveštaju EEA, na području Evrope emisija prekursora čestica PM, odnosno SO_x smanjile su se za 54%, emisije NO_x za 26%, a emisije NH_3 za 10% (280). Prema objavljenim podacima na području Zagreba (Hrvatska), Budimpešte (Mađarska), Sofije (Bugarska), u periodu 1990 - 2013 godine, od svih analiziranih prekursora SNA, najveći pad emisije, od čak 90%, je takođe zabeležen za SO_2 (281). Smanjena emisija SO_2 u Novom Sadu se, između ostalog, može objasniti i redukcijom upotrebe fosilnih goriva bogatih sumporom (ugalj, mazut i lož ulje), prvenstveno od strane sektora za snabdevanje toplotnom energijom (282). Druga istraživanja pokazuju da se u zemljama Istočnog Mediterana registruju visoke koncentracije SO_4^{2-} zbog značajnih emisija SO_2 iz evropskih zemalja poput Bugarske, Francuske, Nemačke, Španije, Poljske i UK (283, 284, 285). Smanjenje emisija

SO₂, NO_x i NH₃ smanjuje koncentraciju njihovih sekundarnih komponenti u masi čestica PM i time smanjuje ukupnu koncentraciju PM_{2,5} (2).

Rezultati analize hemijskog sastava čestica PM_{2,5} sa područja Grada Novog Sada, pokazuju da najveći doprinos masi čestica ima ekvivalent karbonatne frakcije (60%). Analizirajući samo neorgansku rastvorljivu frakciju čestica PM_{2,5}, rezultati pojedinih studija, takođe, ukazuju na dominaciju frakcije koja se izjednačava sa karbonatnom, odnosno organskom frakcijom (234, 235, 236). Na području Indije, frakcija za koju su autori smatrali da sadrži silikate, fosfate, metale u tragovima, ugljenik i organske materijale je činila čak 88% mase čestica PM_{2,5}, što je razumljivo veće od dobijenih rezultata za Grada Novi Sad, s obzirom i da su koncentracije čestica u Indiji bile višestruko veće (236). Uporedivost ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} sa rezultatima drugih istraživanja, je delimično otežana zbog heterogenosti u obuhvaćenim analitičkim parametrima (75). Međutim, uporedivi su sa rezultatima istraživanja na globalnom nivou, u kojem je, takođe, frakcija čestica procenjena na osnovu korekcije mase čestica za sadržaj rastvorljivih neorganskih jona (93). Uvidom u rezultate drugih studija, da sadržaj karbonatne, odnosno organske frakcije čini 10–70% sastava čestica PM_{2,5} (286, 287, 288, 289), kao i da je rastvorljiva organska frakcija (269, 290), dobra proksi varijabla za sekundarnu organsku frakciju čestica (291), utoliko je sadržaj ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} (60%) sa područja Novog Sada i DOC-a (rastvorljive organske frakcije) od 12% krajnje uporediv sa navedenim. U pojedinim evropskim gradovima sadržaj karbonatne frakcije (organske materije i EC) iznosi od 29% (Barselona (Španija)) do 60% (Prag (Češka), zimski period) (91).

Ako se posmatraju prosečne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5}, istraživanjem koje je obuhvatilo područje Amerike, Azije i Afrike (Evropa izotavljena zbog nedostataka podataka), utvrđen je njihov opseg od 2,1 µg/m³ (Buenos Aires (Argentina)) do 40,2 µg/m³ (Azija), dok je u Novom Sadu iznosila 20,15 µg/m³. Autori studija zasnovanih na kontinentalnim istraživanjima hemijskog sastava čestica PM_{2,5}, sugerišu da upravo heterogenost dobijenih rezultata ukazuje na potrebu za globalnom mrežom koja dosledno meri hemijski sastav čestica PM_{2,5} u gusto naseljenim regionima (234). Različitost u pogledu dobijenih rezultata je uočena i za sadržaj DOC-a, koji se smatra markerom sekundarnih organskih čestica PM_{2,5}. Naime, prosečne godišnje koncentracije DOC-a su se u pojedinim istraživanjima kretale u rasponu od

0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, što je u proseku slično rezultatima ovog istraživanja, gde su prosečne koncentracije DOC-a iznosile 3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nešto veće koncentracije DOC-a su utvrđene na lokacijama UT u odnosu na UB (3,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vs 3,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), što je potvrđeno i u drugim studijama. Naime, u urbanim oblastima sa intenzivnim saobraćajem lakih motornih vozila, su se, takođe, beležile koncentracije DOC-a od 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. U Sao Paulu (Brazil) koncentracije DOC-a koje su merili Urban i saradnici (292) bile su 5,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dok su na području Kine, u Chengdu-u, koncentracije DOC-a bile duplo veće ($\sim 10,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (293).

Prema objavljenim rezultatima, i dalje malobrojnih studija, koje su se bavile analizom rastvorljive frakcije čestica PM_{2,5}, prosečne koncentracije NO₃⁻ u Gradu Novom Sadu (3,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) su bile uporedive sa onim na području Švajcarske i Indije, manje u odnosu na Bangladeš i Tajvan, duplo veće od Španije, a čak tri puta veće u odnosu na razvijene zemlja Azije (Japan i Singapur) (277).

Prosečne koncentracije Ca²⁺ su bile slične koncentracijama na urbanom području Kine i Bangladeša, dok su u odnosu na Indiju, zemlje Azije (Japan, Singapur) i Evropske (Španiju, Švajcarsku) bile znatno veće (277). Sa druge strane koncentracije Cl⁻ utvrđene u Singapuru i Španiji su bile slične koncentracija Cl⁻ u Novom Sadu, dok su u Tajvanu, Kini, Indiji i Bangladešu bili znatno veće. Koncentracije K⁺ su bile slične onim na području Japana i Španije, dok su znatno veće bile u urbanim područjima Kine i Bangladeša (277).

Koncentracije SO₄²⁻ utvrđenih u česticama PM_{2,5} na području Grada Novog Sada su bile značajno niže u odnosu na utvrđene vrednosti u Švajcarskoj, Japanu, Španiji, Singapuru, Bangladešu, Indiji. U Kini koncentracije SO₄²⁻ u česticama su iznosile čak 28,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (277).

Prema podacima evropske baze podataka (294) o hemijskom sastavu čestica PM_{2,5} urbanih područja Slovenije, Hrvatske, Poljske i Nemačke, tokom 2017. godine (otvoren pristup), koncentracije K⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ u Novom Sadu su apsolutno komparabilne sa koncentracijama na području Slovenije, Hrvatske, Poljske (izuzev za NH₄⁺) i Nemačke. Koncentracije Ca²⁺ u odnosu na navedne zemlje su bile višestruko veće, dok su, sa druge strane, koncentracije NO₃⁻, a posebno SO₄²⁻ bile višestruko manje. Koncentracije Na⁺ i Cl⁻ su bile uporedive sa urbanim područjem Poljske, ali višestruko manje u odnosu na područje Slovenije, Hrvatske i Nemačke.

Za sada prosečan hemijski sastav čestica $PM_{2,5}$ na području Srbije nije poznat, s obzirom da isti nije obuhvaćen obaveznim zagađujućim materijama u okviru monitoringa kvaliteta vazduha životne sredine (78, 212). Međutim, rezultati pojedinačnih, malobrojnih, istraživanja pokazuju da su koncentracije NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} u česticama $PM_{2,5}$ urbane sredine Beograda, merenih tokom kratkog prolećnog i jesenjeg perioda, uporedive sa rezultatima na području Novog Sada. Iznenadjuće je da su koncentracije NO_3^- ($0,67-1,11 \mu g/m^3$) u urbanoj sredini Beograda bile niže u poređenju sa koncentracijom NO_3^- u Novom Sadu ($3,5 \mu g/m^3$). Sa druge strane, s obzirom na gustinu naseljenosti glavnog grada Srbije i period uzorkovanja, koncentracije SO_4^{2-} ($4,16-5,12 \mu g/m^3$), kao i K^+ ($0,15 - 0,8 \mu g/m^3$) su očekivano bile veće (295). Rezultati istog istraživanja, pokazuju da su prosečne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ urbanog pozadinskog područja Beograda, tokom navedenog perioda, bile komparabilne sa prosečnom koncentracijom čestica $PM_{2,5}$ u Novom Sadu ($22-23 \mu g/m^3$ vs $23 \mu g/m^3$) takođe pozadinskog urbanog područja.

Mogućnost različitog hemijskog sastava, iako sličnih koncentracije čestica $PM_{2,5}$, utvrđen i u jednogodišnjoj studiji na području 5 evropskih mediteranskih gradova (Barselona, Marsej, Đenova, Venecija i Solun)) ukazuje na raznolikost izvora čestica $PM_{2,5}$ i procesa formiranja u atmosferi (296).

6.3. Identifikacija mogućih izvora suspendovanih čestica PM_{2,5} na području Grada Novog Sada

Kompoziciona struktura hemijskog sastava čestica PM_{2,5} je bila pretežno konzistentna na obe lokacije (UT i UB), međutim, masene koncentracije čestica PM_{2,5} i hemijskih sastojaka su pokazale značajne prostorne i sezonske varijacije. Naime, očekivano veće koncentracije PM_{2,5} na lokaciji UT verovatno su odraz veće emisije čestica usled intenzivnog drumskog saobraćaja, što je u skladu sa rezultatima drugih istraživanja (279). Značajno veće koncentracije čestica PM_{2,5} utvrđene tokom zime-jesen na obe lokacije, verovatno su posledica većih emisija čestica (sagorevanja fosilnih goriva (nafte i uglja) i biomase za potrebe grejanje) i nepovoljnih meteoroloških uslova tokom hladnije sezone (češće temperaturne inverzije) (279). Rezultati korelacije između masenih koncentracija čestica PM_{2,5} sa lokacija UT i UB, u toku celokupnog perioda, ali i godišnjih doba, pokazuju da su najverovatnije porekla istog dominantnog izvora tokom zime (procesi sagorevanja za potrebe grejanja), a tokom leta, usled najslabije korelacije, porekla različitih antropogenih izvora. Takođe, rezultati korelacije tokom jeseni, potvrđuju prethodnu pretpostavku o značajnom uticaju i lokalnih meteoroloških uslova, osim izvora, na porast koncentracija čestica PM_{2,5}.

Dnevne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije, na obe lokacije, su takođe pokazale izraženu sezonsku varijabilnost, odnosno veće vrednosti su utvrđene u sezoni grejanja (zima-jesen), spram vangrejne sezone (proleće - leto). Navedene razlike se mogu pripisati promenama emisionog profila karakterističnim za grejnu sezonu i nepovoljne meteorološke uslove koji sprečavaju disperziju i uklanjanje zagađujućih materija, te ukazuju na procese sagorevanja fosilnih goriva kao vodeće izvore emisije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} (91). Uzimajući u obzir navedeno, ali i rezultate drugih istraživanja koja pokazuju da porast koncentracija čađi tokom grejne sezone (ekvivalent EC u česticama PM_{2,5}), doprinosi potiskanju već prirodne niske insolacije tokom hladnije sezone, vrlo je verovatno da se veći deo ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} u Novom Sadu sastoji od primarnih organskih jedinjenja sagorevanja (91). Sa druge strane, u toplijim sezonama, utvrđene koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije u česticama PM_{2,5} mogu se pripisati pojačanom stvaranju SOA (70, 91). Indirektna potvrda navedenih efekata, proizilazi iz rezultata sezonske i prostorne varijacije koncentracije DOC-a u Novom Sadu. DOC se

smatra markerom procesa sagorevanja biomase (297), ali i SOA (91, 297). Tokom zime, očekivano, veće koncentracije DOC-a na obe lokacije i umerena korelacija sa ekvivalentom karbonatne frakcije ukazuje na njihovo isto poreklo tj. primarne emisije organske materije. Tokom letnjeg perioda, veće koncentracije DOC-a na lokaciji UB, uz slabu korelaciju sa ekvivalentom karbonatne frakcije, ukazuju na njihovo različito poreklo, odnosno na mogućnost stvaranje sekundarnih čestica organskog porekla u tom periodu na lokaciji UB.

Slične sezonske varijacije na obe lokacije (UT i UB) su utvrđene za jone rastvorljive u vodi, ukazujući na njihove izvore emisija i mehanizme formiranja. Na obe lokacije, tokom perioda zima-jesen, utvrđene su značajno veće koncentracije NH_4^+ , SO_4^{2-} i K^+ što se može povezati sa izraženim emisijama primarnih zagađujućih materija porekla sagorevanja uglja (poput SO_2) i biomase (poput K^+) radi zagrevanja domaćinstava, kao i sa pogoršanjem atmosferske disperzije. Isti trend zabeležen je u prethodnim studijama (236, 298). Vang i saradnici (298) navode da se veće koncentracije jona rastvorljivih u vodi tokom zime može pripisati nižoj temperaturi vazduha, koja je pogodovala transformaciji jona iz faze gasa u čestičnu fazu, a takođe i zbog niže visine mešanja vazdušnih masa (temperaturna inverzija) i povećanih antropogenih aktivnosti. Niže koncentracije jona rastvorljivih u vodi tokom letnjeg perioda su verovatno posledica jakih vetrova, tzv "ventilacionog efekta" (299).

Iako su utvrđene koncentracije SO_4^{2-} u česticama $\text{PM}_{2,5}$ na području Novog Sada zaista niske, njihova sezonska varijacija, ipak, potvrđuje uticaj lokalnih izvora poput sagorevanja fosilnih goriva u procesima grejanja tokom zimskog perioda. Međutim, veće koncentracije SO_4^{2-} tokom zime, verovatno su i posledica loše disperzije vazduha i smanjene brzine njihovog uklanjanja. Snažna korelacija SO_4^{2-} i NH_4^+ , postojana na obe lokacije, ukazuje na prisustvo SO_4^{2-} u formi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, odnosno jedinjena za koje je karakteristično da zbog smanjene rastvorljivosti (300) ostaje u fazi čestica tokom uticaja nižih temperatura vazduha. Snažna korelacija NO_3^- i NH_4^+ , koja se, očekivano, posebno ističe na lokaciji UT, pokazuje da se NO_3^- u česticama $\text{PM}_{2,5}$, takođe najčešće nalazi u formi NH_4NO_3 , kao rezultat prvobitne oksidacije prekursora NO_x (298) i posledične reakcije sa NH_3 (300). Navedeno ujedno i ukazuje na sabračaj kao izvor emisije NO_x i NH_3 . Prethodna istraživanja (301) takođe pokazuju da se većina čestica SO_4^{2-} i NO_3^- nalaze u formi NH_4NO_3 i $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Veće koncentracije NO_3^- tokom zime, prvenstveno

na lokaciji UT, su posledica nižih temperatura vazduha, koje pogoduju prelasku azotne kiseline iz gasne faze u čestičnu fazu NO_3^- (298). Sa druge strane, niže koncentracije NO_3^- u letnjoj sezoni se mogu pripisati isparljivosti NH_4NO_3 u uslovima povećane temperature i smanjene relativne vlažnosti vazduha (9). Efekat navedenih lokalnih meteoroloških uslova, verovatno kao posledica uticaja kanjonskih ulica, je prvenstveno izražen na lokaciji UT, s obzirom da koncentracije NO_3^- na lokaciji UB nisu pokazali isti sezonski trend. Veće koncentracije NO_3^- tokom proleće i leta na lokaciji UB mogu da ukazuju i na druge izvore zagađenja vazduha, osim na procesa sagorevanja. Slična zapažanja su objavljena i u drugim istraživanjima (236).

Sezonski ciklus NH_4^+ , utvrđen u česticama $\text{PM}_{2,5}$, na području Novog Sada, je očekivano najčešće pratio obrazac varijacija koncentracija SO_4^{2-} i NO_3^- , sa najvećim vrednostima tokom zime i najmanjim tokom leta i jeseni, što ukazuje na činjenicu da NH_4^+ uglavnom vodi poreklo od neutralizacije NH_3 kiselim komponentama (298). Poznato je da se veće koncentracije NH_4^+ vezuju za obimnije poljoprivredne aktivnosti oko mesta uzorkovanja. Međutim, veće koncentracije NH_4^+ se emituju i prilikom sagorevanja biomase (302) (npr. upotreba drva za potrebe grejanja), što može da objasni njegove veće koncentracije tokom zime, koje su utvrđene na obema lokacijama u Novom Sadu.

Na posmatranim lokacijama UT i UB, koncentracije K^+ su bile najveće tokom jeseni i zime. U pojedinim istraživanjima visoke koncentracije K^+ tokom grejne sezone (jesen/zima) povezuju se sa sagorevanjem uglja (303, 304). Međutim, u istim istraživanjima uočena je identična sezonska varijacija K^+ i Cl^- , koji se takođe smatra pokazateljem sagorevanja uglja. Navedeno nije potvrđeno na području Novog Sada, s obzirom da koncentracije K^+ i Cl^- , nisu bile statistički značajno povezane na lokacijama UT i UB, što isključuje mogućnost njegovog postojanja u formi KCl (293). Sa druge strane, umerena korelacija K^+ i SO_4^{2-} na lokacijama UT i UB, ukazuje na postojanje K^+ u česticama $\text{PM}_{2,5}$ u formi K_2SO_4 , što pokazuju i rezultati drugih istraživanja (293). Navedena prostorna i sezonska varijacija koncentracije K^+ ukazuje na njegovo poreklo iz procesa sagorevanja, najverovatnije drveta, tokom grejne sezone (99). Iznenađujuća je i činjenica da su koncentracije K^+ tokom leta bile zanemarljivo niže u odnosu na period jesen/zima. Prema rezultatima drugih istraživanja (304) jedan od izvora koji bi doprineo

povišenoj koncentraciji K^+ tokom letnjeg perioda, je opsežno spaljivanja biomase, najverovatnije na obradivim površinama u prigradskim naseljima Grada.

Veće koncentracije Cl^- utvrđene su tokom proleća na obe lokacije, iako na lokaciji UT taj porast nije bio značajan. Rezultati istraživanja pokazuju da se Cl^- emituju ili iz procesa sagorevanja uglja ili su porekla čestica morske soli (305). Povezan sezonski trend Cl^- i Na^+ pokazuje da su Cl^- u česticama $PM_{2,5}$ na području Grada najverovatnije porekla morske soli, s obzirom da se joni Na^+ , kao i Mg^{2+} i Ca^{2+} mogu posmatrati i sa aspekta uticaja morske soli (279). Dodatno, korelacija Cl^- i Na^+ na lokaciji UT, njihova sezonska varijabilnost, a potom i snažna korelacija koncentracije Na^+ između lokacije UT i UB, ukazuju na poreklo iz istog izvora, odnosno na regionalni doprinos morske soli, koji, spram masenog udela Cl^- i Na^+ , iznosi oko 1%. Istraživanja pokazuju da doprinos morske soli koncentraciji čestica $PM_{2,5}$ u Evropi varira od <1% u udaljenim kontinentalnim oblastima do 12% u atlantskim zonama (279).

Međutim, istraživanja pokazuju i da joni Na^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+} potiču od prašine sa puteva, građevinskih rekonstrukcija, kao i sa krovova stambenih objekata (293). Veće koncentracije Mg^{2+} i Ca^{2+} u česticama $PM_{2,5}$ na posmatranim lokacijama tokom leta, kao i Na^+ tokom proleća, ukazuju na prisustvo mineralne prašine, koja je najverovatnije posledica resuspenzije pod uticajem veće brzine vetra (1,4–6,1 m/s i 4,1–10,4 m/s, u proleće i leto, redom). Značajno niže koncentracije Na^+ , Mg^{2+} i Ca^{2+} tokom zimskih i jesenjih dana verovatno su posledica mokre depozicije mineralne prašine zbog uticaja visoke relativne vlažnosti vazduha i padavina (299). Dodatno, snažna korelacija Mg^{2+} i Ca^{2+} na obe lokacije sugerise da je izvor Mg^{2+} uglavnom mineralna prašina (89) i isključuju mogućnost regionalnog doprinos Mg^{2+} i Ca^{2+} porekla morske soli. Na prisustvo različitih lokalnih izvora Mg^{2+} i Ca^{2+} , upućuju i rezultati međusobno slabe korelacije između lokacija UB i UT. Navedeni rezultati pokazuju da je 6% čestica $PM_{2,5}$ u Gradu Novom Sadu najverovatnije porekla saobraćaja, ali ne izduvnih sistema, nego resuspendovane prašine sa puteva, kao i prašine od građevinskih radova/rekonstrukcija i sa krovova stambenih objekata.

Pored sezonskih varijacija, prostorne varijacije analiziranog sastava čestica i masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ takođe utiču na identifikaciju mogućih izvora na području Grada Novog Sada. Tako, značajno veće koncentracije K^+ , SO_4^{2-} i ekvivalenta karbonatne frakcije na lokaciji UT, ne isključuju njihovo poreklo iz procesa sagorevanja

na lokaciji UB, ali svakako ukazuju da saobraćaj kao lokalni izvor doprinosi njihovom porastu. Veoma snažna korelacija masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i ekvivalenta karbonatne frakcije na lokaciji UT, potvrđuje da čestice $PM_{2,5}$ u Novom Sadu imaju dominantno poreklo sagorevanja goriva iz saobraćaja. Značaj sezonskog uticaj saobraćaja na porast koncentracije čestica $PM_{2,5}$ je prepoznat i kroz udeo Mg^{2+} i Ca^{2+} , tokom jesenjeg perioda (veće koncentracija Mg^{2+} i Ca^{2+} na lokaciji UT u odnosu na UB). Navedeno potvrđuje doprinos saobraćaja porastu koncentracija čestica $PM_{2,5}$ putem resuspenzije prašine sa puteva. Značajno veće koncentracije Cl^- na lokaciji UT tokom leta, mogu takođe ukazivati na lokalni doprinos saobraćaja (279), ali i na uticaj Laboratorije IZJV kao drugog lokalnog izvora, zbog upotrebe rastvarača (306) kao posledica male udaljenosti raskrsnice i navedenog objekta.

Značajno veće koncentracija NH_4^+ na lokaciji UB, posebno tokom jesenjeg perioda, ukazuju na poljoprivredne aktivnosti kao moguć izvor doprinosa porasta koncentracija čestica $PM_{2,5}$ u Gradu. S obzirom da se NH_4^+ smatra pokazateljem regionalnog zagađenja vazduha, nisu isključeni i uticaji udaljenih izvora zagađenja.

Različita prostorna distribucija koncentracija DOC-a između lokacija UT i UB (iako bez statističke značajnosti), ukazuju na doprinos saobraćaja, posebno tokom zimskog perioda, dok se veće koncentracije na lokaciji UB utvrđene tokom proleća i leta mogu pripisati kivanju u domaćinstvima i biogenim emisijama. Autori kineske studije (307) takođe navode slična zapažanja, odnosno, da su zimski pikovi koncentracija organske frakcije u gradskim lokacijama verovatno posledica dodatnih lokalnih izvora emisije koji se odnose na procese poput grejanja, a da se veće koncentracije u danima leta na pozadinskim lokacijama pripisuju pojačanim biogenim emisijama sekundarnog DOC-a.

Iako se koncentracije NO_3^- , delimično, mogu smatrati osnovnim indikatorom emisije čestica $PM_{2,5}$ iz izduvnih gasova motornih vozila, njihova prostorna distribucija je bila prilično homogena. Prema rezultatima drugih ispitivanja, homogena prostorna distribucija NO_3^- na području Grada Novog Sada verovatno je posledica horizontalne disperzije gasova prekursora (NO_x , NO_2) i sekundarnih NO_3^- iz urbanih žarišta (lokacija UT) na druga urbana područja (lokacija UB), menjajući hemijsku strukturu čestica $PM_{2,5}$ (308). Mala prostorna varijabilnost, ali značajna sezonska varijabilnost sekundarnih NO_3^- je utvrđena i u drugim studijama (309). Sa druge strane, mnogobrojne studije na

regionalnom ili globalnom nivou potvrđuju izrazito nelinearnu prostornu distribuciju čestica NO_3^- koja sledljivo prati promene koncentracije gasova prekursora (NO_2 , NO_x) i relativnu vlažnost vazduha (310, 311). Navedena nelineranost uslovljena je međusobnom zavisnošću NO_3^- i njegovih mogućih prekursora (VOC, HNO_3 , NO_2 , NO_x , NH_3) u odgovarajućim meteorološkim uslovima. Ispitujući senzitivnost stvaranja NO_3^- , u zavisnosti od navednih prekursora, u prometnim ulicama kanjonskog tipa, autori pojedinih studija su zaključili da NH_4^+ porekla saobraćaja ima vodeću ulogu u stvaranju NO_3^- (312). Imajući u vidu značajnu pozitivnu povezanosti NH_4^+ i NO_3^- na lokaciji UB, sa sličnim sezonskim varijacijama, moguće je da homogenoj prostornoj distribuciju NO_3^- na području Novog Sada, doprinosi emisija prekursora NH_4^+ , ali i VOC-a porekla višestrukih izvora urbanog pozadinskog područja. Naime, umerena značajna povezanost NH_4^+ između lokacija UT i UB ukazuje na saobraćaj kao jedan od izvora, dok već prethodno opisana sezonska varijabilnost ukazuje na uticaj grejanja, biogenog sagorevanja (otpad) i upotrebe fertilizera u poljoprivrednim aktivnostima. Prema drugim istraživanjima (82), homogenoj prostornoj distribuciji NO_3^- verovatno doprinosi i transport sekundarnih čestica NO_3^- iz okolnih urbanih, ruralnih i regionalnih područja. Međutim, izvori čestica $\text{PM}_{2,5}$ u vazduhu za većinu okolnih područja Novog Sada nisu dovoljno ispitani (nepoznati su), a podaci o hemijskom sastavu čestica koje se emituju iz izvora su ili nepoznati ili se često pripisuju profilima zasnovanim na preglednim istraživanjima (95).

Opisana sezonska i prostorna varijabilnost hemijskog sastava čestica $\text{PM}_{2,5}$ u Gradu Novom Sadu, korelacija masenih koncentracija čestica, ali i analiziranog sastava unutar i između posmatranih lokacija UB i UT, ukazuju na prisustvo četiri vodeća izvora: saobraćaj, stacionarni izvori (termoelektrane, toplane i individualna ložišta), sekundarni (dominantno NH_4NO_3) i mineralna prašina, dok su u manjoj meri zastupljeni morska so i sagorevanje biomase i otpada. Prema opsežnom preglednom istraživanju raspodele i identifikaciji izvora čestica $\text{PM}_{2,5}$ na području Evrope (68), utvrđeno je da u gradovima postoji šest glavnih izvora čestica PM: mobilni (saobraćaj), stacionarni (elektrane i industrija), resuspendovana mineralne (zemljišna) prašina, sagorevanje biomase, sekundarni aerosol (amonijum sulfat i amonijum nitrat) i morska so.

6.4. Kvantifikacija doprinosa izvora zagađenja vazduha životne sredine (saobraćaja) u Gradu Novom Sadu

Potvrđeno je da poznavanje hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ igra značajnu ulogu u pogledu identifikacije izvora zagađenja (prirodni/antropogeni) vazduha (68). Međutim, sa aspekta kontrole kvaliteta vazduha, izrade efikasnih strategija za unapređenje kvaliteta vazduha, procene izloženosti stanovništva i uticaja na zdravlje ljudi, od značaja je detaljna kvantifikacija urbanog doprinosa zagađenju vazduha (313), kao i procena lokalnih doprinosa vodećih izvora zagađenja vazduha.

S obzirom da istraživanjem na području Grada Novog Sada nije obuhvaćeno ruralno područje za praćenje koncentracije čestica $PM_{2,5}$, kvantifikacija urbanog doprinosa česticama $PM_{2,5}$, tj. razlika koncentracije čestica porekla regionalnog i urbanog područja, nije bila moguća. Međutim, rezultati drugih istraživanja pokazuju da sam urbani doprinos ne zavisi samo od suburbanog/regionalnog doprinosa, nego i od prinosa vodećih lokalnih izvora unutar samog urbanog područja (313).

Drumski saobraćaj u svetu predstavlja dominantan izvor čestica PM urbanih područja, čineći 5% - 80% mase čestica PM, pri čemu precizne procene zavisi od više faktora, uključujući meteorološke uslove, lokaciju i vozni park (314, 315, 316). U Novom Sadu, na godišnjem nivou, prosečan lokalni doprinos saobraćaja iznosi $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, što čini oko 40% posečne mase čestica $PM_{2,5}$. Na području Velike Britanije je takođe procenjeno da emisije iz drumskog saobraćaja imaju značajan (oko 30-50%) doprinos povećanju koncentracije čestica $PM_{2,5}$ u gradskoj sredini (317). Prema rezultatima studije u Keniji, lokalni doprinos saobraćaja česticama $PM_{2,5}$ iznosi 30%. U istom istraživanju, prosečne godišnje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ na lokacijama reprezentativnim za uticaj saobraćaja i pozadinskog područja uporedive su sa koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ u Novom Sadu (318). U gradu Kuopio, Finska, primenom disperzionih modela, utvrđeno je da emisije porekla saobraćaja doprinose porastu koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od oko 30%, takođe (319). Rezultati drugih istraživanja pokazuju da čestice $PM_{2,5}$ porekla saobraćaja čine više od 50% ukupne emisije čestica PM u urbanim sredinama (320). U Londonu, tokom 2001. godine, gde su emisije iz industrijskih izvora i stacionarnog sagorevanja bile umerene, procenjeno je da doprinos saobraćaja emisiji čestica PM iznosi 80% (321), dok je u Atini taj doprinos iznosio oko

66% (322). U studiji detaljne analize, urbanih, vanurbanih i lokalnih doprinosa koncentracijama čestica PM, pomoću PMF i Lenschow-og pristupa, u 5 evropskih gradova, Shiedam (Holandija), Lens (Francuska), Leipzig (Nemačka), Ciriš (Švajcarska) i Barselona (Španija), koja je objavljene juna 2019. godine (323), je utvrđeno da lokalni doprinos saobraćaja, porastu koncentracija čestica PM_{2,5}, iznosi 62-90%. Širok raspon utvrđenih doprinosa saobraćaja, emisiji čestica PM_{2,5} u urbanim područjima, svakako može biti i posledica različitih pristupa proceni raspodele izvora, što može dovesti do potcenjenog ili precenjenog doprinosa određenih sektora tj. rasprostranjenih izvora (324).

Smatra se da na veličinu lokalnog doprinosa zagađenja vazduha životne sredine utiču topografske karakteristike urbanog područja koje doprinose ograničenoj cirkulaciji vazduha (efekat kanjonskih ulica) (325). Prema rezultatima na području Velike Britanije, doprinosi saobraćaja koji su veći od $\sim 7 - 8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a mereni na lokaciji od nekoliko metara udaljenih od same ivice puteva, smatraju se uticajem kanjonskih ulica (317). Shodno navedenom, a imajući u vidu pozicioniranost lokacije UT (10 m od ivice saobraćajnice), prosečan doprinos saobraćaja emisiji čestica PM_{2,5} u Novom Sadu od $13\mu\text{g}/\text{m}^3$, govori u prilog uticaja topografije grada Novog Sada na lokalni doprinos zagađenju vazduha životne sredine.

Iako se za saobraćaj, kao primarni izvor čestica PM_{2,5}, ne očekuje da će imati neki poseban sezonski trend (281), uočen je njegov najmanji doprinos tokom zime (35%), što je, najverovatnije, posledica dominacije doprinosa drugih antropogenih izvora karakterističnih za grejnu sezonu (procesi sagorevanja za potrebe grejanja). Navedeno podržavaju i rezultati koji ukazuju na značajan doprinos saobraćaja porastu koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5}, K⁺ i SO₄²⁻ (indikatori procesa sagorevanja). Najveći doprinos saobraćaja zabeležen je tokom jeseni (44%), a potom i proleća (41%). Navedeni rezultat se može objasniti uticajem odgovarajućih meteoroloških uslova koji pogoduju akumulaciji emitovanih čestica u vazduhu i resuspenziji čestica sa puteva. Verovatno je i posledica manjeg doprinosa drugih izvora (sekundarnog aerosola) prisutnih tokom leta i proleća, što potvrđuju dobijeni rezultati doprinosa saobraćaja modifikaciji hemijskog sastava čestica PM_{2,5} tokom jeseni i proleća. Nešto niži doprinos saobraćaja emisiji čestica PM_{2,5} tokom leta (37%) u odnosu na proleće i jesen, očekivan je s obzirom da se tada zbog godišnjih odmora očekuje

smanjen intenzitet putničkih vozila, kao i redukcija javnog transporta. Veći doprinos saobraćaja tokom leta, u odnosu na zimu, je verovatno više posledica odsustva doprinosa iz procesa sagorevanja za potrebe grejanja, nego stvarno većeg doprinosa saobraćaja u letnjim danima, što potvrđuje i odsustvo SO_4^{2-} u masi čestica $\text{PM}_{2,5}$.

6.5. Uticaj suspendovanih čestica $\text{PM}_{2,5}$ na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada

Analiza uticaja čestica $\text{PM}_{2,5}$ na zdravlje odraslog stanovništva Grada Novog Sada pokazala je da kratkoročna izloženost zagađenju vazduha životne sredine značajno doprinosi povećanju rizika od mortaliteta i morbiditeta. Naime, ukoliko se povećaju prosečne dnevne koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, utoliko se istog dana poveća i rizik od ukupnog mortaliteta odraslog stanovništva za 0,4% (RR=1,004). Zdravstveni rizici, a pre svega mortalitet, kao posledica kratkoročne (akutne) izloženosti česticama $\text{PM}_{2,5}$ iz vazduha životne sredine su najčešće dokumentovani. Najveći broj epidemioloških studija tipa vremenskih serija, dominantno sa područja Amerike, ukazuje na značajnu povezanost akutne izloženosti česticama $\text{PM}_{2,5}$ sa povećanim rizikom od mortaliteta (326, 327). U studiji vodećih američkih naučnika iz oblasti procene uticaja zagađenja vazduha na zdravlje ljudi (326, 327) ističe se da RR povezan sa povećanjem koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, za ukupan mortalitet iznosi 1,006 (0,6%), kardiovaskularni mortalitet 1,017 (1,7%), a rak pluća 1,014 (1,4%). Obuhvatajući stanovništvo na području 12 gradova Kanade, Burnett i saradnici (328, 328) su objavili da RR od mortaliteta (izražen u procentima) iznosi 0,6% (95% IP = -0,03% - 1,23%) u slučaju povećanja koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ istog dana. Jaču povezanost između dnevnih koncentracija čestica $\text{PM}_{2,5}$ i ukupnog mortaliteta utvrdili su Zanobetti i Schwarty (191) na području 112 američkih gradova. RR je iznosio 0,98% sa povećanjem dnevne koncentracije čestica od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Suprotno velikom broju američkih studija o uticaju čestica $\text{PM}_{2,5}$ na zdravlje, evropske studije su retke. U publikacijama SZO se navodi da je u četvorogodišnjoj studiji na području Francuske, utvrđeno da sa povećanjem dnevne koncentracije čestica $\text{PM}_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, RR od ukupnog mortaliteta kod stanovnika svih uzrasta iznosi 1,59% (329). Prema rezultatima dvogodišnje studije u Beču (Austrija), RR od ukupnog mortaliteta takođe kod

stanovnika svih uzrasta je iznosio 2,57% (329). Međutim, u studijama na području nekoliko evropskih gradova, Helsinki (Finska), Erfurt (Nemačka), Prag (Češka), Lisabon (Portugalija), Rim (Italija), West-Midlands (UK) i London (UK), nije utvrđena značajna povezanost dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ sa ukupnim mortalitetom stanovništva (329). S obzirom da se, u različitim regionima sveta, uočavaju različite veličine procenjenih RR od ukupnog mortaliteta (326, 327, 329), komparacija dobijenih rezultata je otežana. Smatra se da je navedena razlika zavisna od geoloških i meteorološki faktora, strukture stanovništva, hemijskog sastava čestica i izvora čestica $PM_{2,5}$, metodološkog pristupa, kao i načina izveštavanja veličine RR (211). Međutim, može se reći da je veličina rizika od ukupnog mortaliteta kao posledica izlaganja česticama $PM_{2,5}$ na području Novog Sada podudarna sa rezultatima Perez i kolega (330). Naime, pomenuti autori su procenili da rizik od ukupnog mortaliteta kod stanovnika svih uzrasta Barselone (Španija) iznosi 3,92% sa svakim porastom dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ukoliko bi se isti rezultat izrazio u odnosu na povećanje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tada bi veličina RR bila 0,39%, što je gotovo podudarno sa utvrđenim rizikom u Novom Sadu. U pomenutoj studiji, kao i u većini prethodno navedenih, RR se odnosi na celu populaciju. Međutim, navedeno ne podrazumeva da je mortalitet koji je povezan sa česticama $PM_{2,5}$ ravnomerno raspoređen u odnosu na starosnu dob stanovnika, s obzirom da su godine života (stariji) vodeći faktor rizika za smrtnost. Konzistentnost rezultata za Novi Sad sa rezultatima studija na području Evrope i SAD, koji su takođe obuhvatili odraslo stanovništvo, govori upravo u prilog navedenog. RR su takođe izrazili u odnosu na $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanja koncentracije čestica $PM_{2,5}$ (331). Naime, u kohorti od 14280 stanovnika Francuske, uzrasta 25-59 godina, rizik od ukupnog mortaliteta je bio u rasponu od 0,4-1,6% (332), dok je među 350000 odraslih, uzrasta 20-87 godina, na području SAD-a iznosio 0,6% (0,2-1%) (333). Međutim, ako bi se zanemario obuhvat stanovnika svih uzrasta, procenjen efekat uticaja čestica $PM_{2,5}$ na rizik od ukupnog mortaliteta stanovništva Novog Sada je nešto veći od efekata objavljenih 2015. godine u svetskoj meta-analizi Atkinsona i saradnika (209). Najveći procenjeni rizici od mortaliteta povezanih sa povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, su na području Južne Amerike (2,08%) i Evrope (1,23%), dok su niži na području Kanade (0,94%) i Zapadnog Pacifika (Kina, Koreja, Malesija...), a najniži (0,25%) na području Australije, Novog Zelanda,

Japana, Singapura. Odstupanje dobijenih rezultata u Novom Sadu, u pogledu veličine rizika, može biti posledica razlika u demografskoj strukturi stanovništva, geografskom položaju, meteorološkim uslovima, izvorima i hemijskom sastavu čestica $PM_{2,5}$ i primenjenom metodološkom pristupu. Na osnovu rezultata iz 13 evropskih gradova, veličina RR odnosa „koncentracija - odgovor“, za povećanje koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, iznosi 1,23% (0,45 – 2,01%), što podrazumeva rizik od 0,12 % (0,045 - 0,201%) za $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povećanja dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ (329). Uzimajući u obzir razmatranja pojedinih autora (334, 335), veći rizici (RR) odnosa „koncentracija – odgovor“ u Novom Sadu (0,4%) mogu biti posledica starosti stanovnika, stepen izloženosti kao i lošiji socioekonomski uslovi (336). Među stanovništvom Novog Sada, prema analiziranim podacima za mortalitet u ispitivanom periodu, preko 80% smrtnih slučajeva je zastupljeno upravo kod najstarijih (≥ 65 godina). Stoga, nije iznenađujući ni rezultat da u ispitivanoj populaciji Novog Sada upravo stanovnici starosti ≥ 65 godina imaju veći rizik (0,4%) od mortaliteta usled akutnog izlaganja česticama $PM_{2,5}$. Vulnerabilnost starijih je utvrđena i u drugim istraživanjima novijih datuma (337). Približno isti rizik od mortaliteta (0,35%), takođe kod starijeg stanovništva, procenjen je u studiji, na području provincije Čaing Dao, Tajland, objavljene 2019. godine (336). Još 1996. godine autori studije 6 Harvardskih gradova su objavili da su čestice $PM_{2,5}$ bile jedan od faktora rizika za mortalitet (izuzimajući slučajne smrtne slučajeve), kao i da se posebno izdvojila povezanost čestica $PM_{2,5}$ i dnevnog mortaliteta kod starijih osoba (RR = 1,5%, 95% CI: 1,1–1,9%) (338). Iako je smanjena funkcija pluća sastavni deo procesa prirodnog starenja, naučni dokazi pokazuju da su stariji ljudi u velikoj meri podložniji oštećenju plućne funkcije nakon izlaganja zagađujućim materijama iz vazduha (339). Dodatno, postojeće bolesti kod starijih mogu odrediti podložnost većem riziku. Za očekivati je da starije osobe najverovatnije boluju od hroničnih bolesti, a postoje dokazi da se postojeći hronicitet pluća i kardiovaskularnog sistema mogu pogoršati nakon izlaganja zagađujućim materijama životne sredine (340, 341).

Rezultati sprovedenog istraživanja pokazuju da su, u odrasloj populaciji Novog Sada, žene takođe vulnerabilne na akutnu izloženost česticama $PM_{2,5}$, s obzirom da se rizik od ukupnog mortaliteta kod žena poveća za 0,6%. Druge studije potvrđuju da su žene, stariji, kao i osobe sa unakrsnim morbiditetom skloniji da budu u većem riziku od smrti koja je posledica izlaganja česticama $PM_{2,5}$. Naime, određen broj autora (342,

343) je istraživanje fokusiralo na ispitivanje potencijalnih faktora koji utiču na različitu vulnerabilnost među polovima u odnosu na zagađenje vazduha. S obzirom da je dokazano, mada ne potpuno konzistentno, da pušenje ima veći uticaj na funkciju pluća, infarkt miokarda i koronarnu bolest srca kod žena, nego kod muškaraca, smatra se da je razlika u biološkom mehanizmu posledica veličine disajnih puteva, genetske ili hormonalne razlike (344, 345, 346). Takođe, muškarci i žene mogu imati različiti stepen izloženosti koji je najverovatnije uslovljen karakteristikama svakodnevnih aktivnosti. U jednom istraživanju je utvrđeno da starije žene provode više vremena na otvorenom od muškaraca, dok u drugom isto nije potvrđeno (347). U britanskoj studiji među osobama ≥ 65 godina, utvrđeno je da su žene imale više aktivnosti u zatvorenom prostoru, a muškarci na otvorenom (348). Takođe, izdvaja se i podatak da žene starije od 60 godina provode više vremena u aktivnostima koje zahtevaju kretanje, za razliku od muškaraca koji više vremena provode u sedećim aktivnostima (349). Razlike po polu mogu postojati i kod komorbiditeta, ishrane i drugih vidova izloženosti zagađenju vazduha (npr. kuvanje, prevoz) (350).

Izloženost stanovnika Novog Sada dnevnim koncentracijama čestica $PM_{2,5}$ značajno povećava i rizik od kardiovaskularnog morbiditeta. Naime, rizik od prijema u bolnicu odraslog stanovništva zbog kardiovaskularnih bolesti se povećava za 0,6% (95% IP: 1,001-1,010) istog dana kada se i povećava koncentracija čestica $PM_{2,5}$ za $1\mu g/m^3$. Rizik od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja kod žena iznosi čak 1%, što dodatno potvrđuje njihovu vulnerabilnost na uticaj mase čestica $PM_{2,5}$. Navedene posledice akutne izloženosti česticama $PM_{2,5}$ u skladu su sa prethodnim epidemiološkim studijama (351, 352). U ažuriranom naučnom saopštenju Američkog udruženja za srce, posebno je izloženost česticama $PM_{2,5}$ okarakterisana kao modifikujući faktor koji doprinosi kardiovaskularnom morbiditetu i mortalitetu (353). Dominici i saradnici na području SAD, takođe su utvrdili povećan rizik za prijem u bolnicu zbog kardiovaskularnih bolesti, usled kratkoročne izloženosti česticama $PM_{2,5}$ (354). Nekoliko godina kasnije, Zanobetti sa saradnicima (191) je objavio da broj bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti poraste za 1,89% sa svakim povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od prosečno $10\mu g/m^3$ na dvodnevnom nivou. Suprotno opisanim rezultatima, u studiji autora Milojevića i saradnika koncentracije čestica $PM_{2,5}$ nisu bile značajno povezane sa porastom broja bolničkih prijema zbog

kradiovaskularnih bolesti (355). Sa druge strane, evropska studija koja je obuhvatila pet gradova (Augsburg, Černovci, Drezden, Ljubljana i Prag) ukazuje na pozitivnu povezanost koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i kradiovaskularnog morbiditeta, ali nakon dva do pet dana izlaganja ($RR= 1,8\%$; $95\%IP=0,1-3,4\%$ za $12,4\%$ povećanja koncentracije čestica $PM_{2,5}$) (356). U kliničkim istraživanjima uočeno je da čestice $PM_{2,5}$ mogu smanjiti srčanu parasimpatičku inervaciju što vodi smanjenoj varijabilnosti srčanog ritma (335). Pored toga, direktna translokacija čestica $PM_{2,5}$ može dovesti do akutnog kradiovaskularnog odgovora (163, 357, 358). Prema dosadašnjim rezultatima, izloženost česticama $PM_{2,5}$ stimuliše razvoj komplikacije poput ateroskleroze, ishemijske bolesti srca i moždanog udara, što ima za posledicu povećan morbiditet od navedenih bolesti (359). Međutim, dnevni broj bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda, među stanovništvom Novog Sada, nije bio značajno povezan sa povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$, što je suprotno rezultatima većine istraživanja na području većih urbanih sredina (360). Nepodudarnost dobijenih rezultata se može pripisati različitoj veličini uzorka, kao i većoj heterogenosti u pogledu učestalosti bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda unutar ispitivanih populacija. Naime, autori studije u kojoj je broj bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda, shodno brojnosti populacije ispitivanog područja, bio višetruko manji, takođe nisu utvrdili značajnu povezanost (336). Sa druge strane povezanost cerebrovaskularnog morbiditeta stanovnika Novog Sada starosti 18-64 godine i dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ imala je negativan predznak. Navedeno ukazuje na paradoksalni protektivni efekat čestica $PM_{2,5}$, što se u gotovo svim istraživanjima smatra statističkom greškom koja je nastala pri kreiranju statističkih modela (361). Zbog velikog broja pridruženih (zbunjujućih) faktora koji je neophodno razmatrati pri ispitivanju povezanosti zagađujućih materija i zdravstvenih ishoda („koncentracija-odgovor“), negativna povezanost nije retka u epidemiološkim istraživanjima vremenske serije. Detaljnim građenjem modela i preispitivanja kontrole najadekvatnijih pridruženih faktora (temperatura i relativna vlažnost vazduha), takva mogućnost je svedena na minimum u ovom istraživanju. Moguće je da su dnevne varijacije koncentracije čestica $PM_{2,5}$ bile znatno manje nego što je to utvrđeno u drugim istraživanjima, kao i da je osetan uticaj kraćeg perioda istraživanja (361). Međutim, verovatnije objašnjenje je da je negativan koeficijent odnosa „koncentracija-odgovor“ više posledica varijabilnosti

hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$, koji je u funkciji odсутva/prisustva izvora emisije i uticaja meteoroloških faktora, a ne samo mase čestice (362).

U skladu sa rezultatima drugih istraživanja (363), prosečne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sedine su značajno povezane sa respiratornim oboljenjima odraslog stanovništva Novog Sada. Svako povećanje prosečne dnevne koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ povećava za 0,7% (95% IP: 1,001-1,013) rizik od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja među odraslim stanovništvom Novog Sada. Najveći statistički značajan rizik je utvrđen za žene (1,1%), dok je ujednačen za stanovništvo starosti 18-64 godine i ≥ 65 godina (1,0%), a najmanji je za muškarce (0,9%). Prema raspoloživim rezultatima drugih istraživanja (343), žene takođe imaju veći rizik za razvoj respiratornih infekcija nakon izlaganja čestica $PM_{2,5}$. Naučni odgovor na stalne nedoumice u pogledu polno-zavisne povezanosti između čestica $PM_{2,5}$ i respiratornog, odnosno kardiovaskularnog morbiditeta, pokušali su da obrazlože Bell i saradnici (352). Istraživanje su sproveli na području 213 američkih gradova u periodu 1999-2010. RR su bili veći za žensku populaciju nego mušku, u pogledu infekcija respiratornog trakta i kardiovaskularnih bolesti. Smatra se da na različitu polnu osetljivost najviše utiče stepen i vrsta izloženosti (348), sa jedne strane, a zatim i razvoj, fiziologija i patologija pluća sa druge strane (364).

Druge studije su takođe ispitivale odnos između dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ i bolničkih prijema zbog respiratornih oboljenja kod stanovnika starijih od 18 godina. U istraživanju koje je obuhvatilo populaciju starosti od 18 do 64 godine, iz okruga LA (SAD), utvrđen je porast prijema u bolnicu zbog HOBP za 2,2% sa svakim povećanja prosečnih dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (363). Druga, veća studija, koja je analizirala prijem u bolnicu zbog svih respiratornih uzroka kod stanovnika 26 američkih okruga starosti ≥ 65 godina (191) je utvrdila porast dnevnih prijema u bolnicu u rasponu od 1,3% (leti) do 4,3% (u proleće) za svakih $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ porasta prosečnog dnevnog nivoa čestica $PM_{2,5}$. Autori istraživanja na području Evrope (Engleska) su takođe utvrdili pozitivnu povezanost između čestica $PM_{2,5}$ i bolničkih prijema starijih od 65 godina zbog svih respiratornih bolesti nakon kratkoročne, ali i dugoročne izloženosti. Utvrđeno je da sa svakim povećanjem koncentracije čestica $PM_{2,5}$ od $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nakon kratkoročne izloženosti, broj bolničkih prijema poraste za

0,7% (95%IP=0,35 - 0,52%), dok je procenat porasta bolničkih prijema nakon dugoročne izloženosti iznosio 4,22% (95%IP = 1,06 – 4,75%) (365).

Kao posledica akutne izloženosti odraslog stanovništva Novog Sada česticama $PM_{2,5}$, utvrđen je značajan rizik od upale pluća. Naime, sa svakim porastom dnevnih koncentracija čestica $PM_{2,5}$ od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, porast broja bolničkih prijema zbog nespecifične upale pluća, među ispitivanim odraslim stanovništvom, je iznosio 1,5%. Kao vulnerabilno stanovništvo Novog Sada u pogledu rizika od prijema u bolnicu zbog upale pluća, ponovo su se izdvojili stariji (≥ 65 godina) i žene. Rizik kod stanovnika starosti ≥ 65 godina je iznosio 2,2%, a kod žena 1,6%. Nedavno je epidemiološka studija, sprovedena na području četiri američka grada, kao zdravstveni ishod od interesa takođe analizirala zasebno nespecifičnu pneumoniju. Utvrđen je porast bolničkih prijema zbog nespecifične pneumonije sa svakim povećanjem interkvartilnog raspona koncentracija čestica $PM_{2,5}$ u prethodna 2-7 dana (366). Najveći rizik je zabeležen nakon pet, odnosno šest dana izloženosti (RR=2,5%; 95% IP: 1,8–3,2% i RR=2,5%; 95% IP: 1,7–3,2%, redom). Iako su rezultati navedene studije načelno u saglasnosti sa rezultatima ovog istraživanja, različit metodološki pristup ne omogućava direktnu komparaciju rezultata. Rezultati autora Qiu i drugi (367) potvrđuju značajnu povezanost koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i $PM_{2,5-10}$ sa hitnim prijemom u bolnicu zbog upale pluća, posebno među ženama, decom i starijim odraslim osobama (≥ 65 godina), ali ne razmatraju zasebno nespecifičnu pneumoniju. Prema rezultatima drugih, malobrojnih, istraživanja, čestice $PM_{2,5}$ mogu izazvati ili pogoršati upalu pluća (368). Autori pojedine studije sugerišu na značaj komorbiditeta, s obzirom da se upravo kod obolelih osoba može uvrđiti povećan rizik od pneumonije (369). Moguće je da je veći rizik od upale pluća kod starijih stanovnika Novog Sada, upravo posledica oslabljenog imunog sistema i veće prevalencije hroničnih respiratornih oboljenja (370). Međutim, uočavaju se određene nedoslednosti u objavljenim rezultatima rizika prijema u bolnicu zbog upale pluća kao posledica izlaganja česticama $PM_{2,5}$ (369, 371, 372). Najčešće se heterogenost rezultata objašnjava karakteristikama izložene populacije, gustinom naseljenosti, udelom starijih stanovnika u ispitivanoj populaciji, odabirom lokacija reprezentativnim za pozadinsko urbano zagađenje vazduha i složenom interakcijom čestica $PM_{2,5}$ i temperature vazduha (373). Pojedina istraživanja pokazuju da temperatura vazduha može izmeniti povezanost između zagađenja vazduha i

kardiorespiratornih bolesti (374, 375, 376, 377). Veoma često se u rezultatima istraživanja uočava modifikovan uticaj zagađenja vazduha na povezanost temperature i zdravstvenih ishoda, ali i obrnuto, mada se veličina modifikacije može razlikovati. U ovom istraživanju takođe je bio prisutan modifikovan uticaj temperature vazduha na povezanost čestica $PM_{2,5}$ i respiratornih oboljenja, s obzirom da uticaj čestica $PM_{2,5}$ na broj bolničkih prijema zbog respiratornih bolesti i upale pluća bio značajan samo u modelu bez temperature vazduha. Smatra se da značajne modifikacije efekta jesu posledica primenjenih statističkih modela (376). Međutim, više je verovatno da dokazan uticaj koncentracije čestice $PM_{2,5}$ na porast respiratornog bolničkog morbiditeta čini stanovništvo Grada Novog Sada ranjivijim na uticaj temperature vazduha. Stoga, u statističkom modelu sa temperaturom vazduha kao kontrolišućom varijablom, snažniji uticaj temperature vazduha na respiratorna oboljenja prikriva pravu veličinu povezanosti čestica $PM_{2,5}$ i respiratornih bolesti kod odraslih stanovnika Grada Novog Sada (376). Komparaciju rezultata ovog istraživanja sa drugim, otežava i nedoslednost u pogledu definisanja pneumonije kao zdravstvenog rizika od interesa za procenu uticaja čestica $PM_{2,5}$. Naime, neznatan broj istraživanja (366), uključujući i ovo, ispituje uticaj čestica na nespecifičnu pneumoniju. Većina autora u istraživanjima (367) pneumonije posmatra kao jednu grupu oboljenja, bez jasnog razdvajanja nespecifičnih od specifičnih, što može da preceni ili potceni uticaj čestica $PM_{2,5}$. Iako su prethodno sprovedene studije potvrdile povezanost čestičnog zagađenja vazduha sa uzročnom specifičnom pneumonijom (378, 379), smatra se da patogeneza ipak može biti značajno posredovana i hemijskim komponentama čestica $PM_{2,5}$ (380). Stoga, upravo rezultati za područje Grada Novog Sada, koji pokazuju da akutna izloženost česticama $PM_{2,5}$ značajno doprinosi oboljevanju od nespecifične pneumonije, mogu predstavljati začetke diskusije navedene problematike, ukazujući i na značaj hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ (381).

6.6. Hemijski sastav suspendovanih čestica PM_{2,5} – uticaj na zdravlje stanovnika Grada Novog Sada

Zahvaljajući brojnim i globalno rasprostranjenim procenama uticaja koncentracija čestica PM_{2,5} na zdravlje, i dalje opstaje mala sumnja u pogledu negativnih zdravstvenih efekata bilo nakon kratkoročne ili dugoročne izloženosti (209). Međutim, u naučnim krugovima, mnogo veća neizvesnost postoji vezano za uticaj hemijskog sastava čestica PM_{2,5} (209). Dosadašnji naučni dokazi (201, 206) sugerišu da su, globalno sveprisutne, varijacije procenjenih efekata ukupne mase čestice PM_{2,5} na mortalitet i morbiditet, posledica različitog hemijskog sastava čestica (382). Iako se ulažu naponi da se proceni relativna toksičnost različitih hemijskih svojstava čestica PM_{2,5} (209), Peng i saradnici (210) navode da su rezultati regresionih analiza, dizajna vremenskih serija, prilično ograničeni na samo najdominantnije komponente u masi čestica PM_{2,5} ili na komparativnoj analizi sezonskih / godišnjih prosečnih koncentracija čestica PM_{2,5} između nekoliko gradova zasnovano na restrospektivnim podacima. Ostro i saradnici (208) navode da takve analize mogu rezultirati širokim 95% IP, kada su u pitanju dobijeni rezultati, što često utiče na heterogenost procenjenih uticaja, odnosno zdravstvenih efekata.

Na osnovu analize hemijskog sastava čestica PM_{2,5}, a potom i ispitivanja uticaja svih hemijskih sastojaka na analizirane zdravstvene ishode, dobijeni rezultati sugerišu da za stanovnike Grada Novog Sada, najveći rizik predstavljaju procesi sagorevanja fosilnih goriva i biomase. Naime, u statističkim modelima prilagođenim sa hemijskim sastojcima čestica PM_{2,5} koji se smatraju indikatorima sagorevanja (K⁺, SO₄²⁻ i DOC), što je i potvrđeno u ovom istraživanju, utvrđen je značajan uticaj ekvivalenta karbonatne frakcije i K⁺ na porast mortaliteta. Sa svakim porastom prosečne dnevne koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} i K⁺ od 1 µg/m³, poraste i rizik od smrtnog ishoda kod žena za 4,6% i 185%, redom, a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 2,9% i 89%. Dodatno, porast koncentracije K⁺ utiče i na porast mortaliteta celokupnog stanovništva Novog Sada. Kineski autori Cao i saradnici (383) su takođe potvrdili povezanost K⁺ sa mortalitetom (kardiovaskularnim), ali i sa ostalim analiziranim jonima, izuzev sa Na⁺ i Ca²⁺, što je delimično u saglasnosti sa rezultatima za područje Grada

Novog Sada. Međutim, najveći broj istraživanja ukazuje na značajnu povezanost upravo karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ i mortaliteta (201, 206, 208) koja je ujedno i najčešća ispitivana komponenta, s obzirom da na globalnom nivou ima najveći udeo u masi čestica $PM_{2,5}$ (93). Prema autorima, nedavno publikovane, prve meta analize uticaja hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ na mortalitet stanovništva SAD-a, Evrope i Zapadnog Pacifika, najjači uticaj takođe imaju indikatori procesa sagorevanja, odnosno EC i K^+ (189). Značajan broj istraživanja, pored EC, ističu i uticaj OC na porast ukupnog (201) i kardiovaskularnog (201, 208) mortaliteta. Komparacija veličine uticaja ekvivalenta karbonatne frakcije na mortalitet sa drugim istraživanjima je onemogućena s obzirom da većina rezultata objavljenih studija pokazuje nezavisan uticaja bilo OC ili EC. Međutim, od 25 epidemioloških studija koje su ispitivale uticaj EC i OC na zdravlje, 12 studija su prijavile značajne povezanosti i EC i OC (65). Sa druge strane, veličina uticaja koncentracije K^+ na rizik od smrtnog ishoda, posebno kod žena, pokazuje izraženo odstupanje od rezultat drugih istraživanja. Smatra se da varijabilnost veličine uticaja hemijskih komponenti može biti posledica neadekvatne prilagođenosti modela, što najverovatnije nije slučaj u ovom istraživanju. Naime, u modelu ispitivanje uticaja koncentracije K^+ je iskontrolisan uticaj masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$, i drugih indikatora procesa sagorevanja (SO_4^{2-} , DOC, ekvivalent karbonatne frakcije) (384), što isključuje mogućnost zbunjujućeg uticaja sastojaka koji se emituju iz istog izvora, te se dobijeni uticaj za K^+ ne može pripisati njima. Međutim, navedena varijabilnost rezultata za K^+ može biti posledica niskih koncentracija K^+ . Slične razloge za varijabilnost veličine uticaja pojedinih sastojaka navode i drugi autori (208). Smara se da i drugi faktori mogu da modifikuju veličinu RR pojedinih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ na mortalitet, tj. zdravstveni ishod između pojedinih regiona. Autori ističu značaj pojedinačnih ili zajedničkih karakteristika kao što su prihodi, obrazovanje, pušenje, učestalost upotrebe klima uređaja i drugih potencijalnih modifikatora efekata koji se razlikuju u različitim regionima (189).

Doslednost rezultata povezanosti ekvivalenta karbonatne frakcije i K^+ sa mortalitetom kod žena i starijih, ukazuje na validnost dobijenih rezultata uticaja, sa jedne strane, ali i na izvore koje predstavljaju najveći rizik za smrtnost stanovništva Grada Novog Sada. Naime, s obzirom da se karbonatne čestice emituju iz procesa sagorevanja (dominatno saobraćaj) i biomase (85), a K^+ takođe iz proceca sagorevanje

biomase, uključujući i upotrebu drveta (85), isti se na osnovu dobijenih rezultata mogu smatrati vodećim izvorima zagađenja vazduha koji doprinose negativnom zdravstvenom efektu.

Navedeno potvrđuju i rezultati vezani za morbiditet, gde je takođe utvrđena pozitivna povezanost markera sagorevanja fosilnih goriva. Naime, koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} su bile značajno povezane sa porastom RR za kardiovaskularni i cerebrovaskularni morbiditet u statističkim modelima prilagođenim sa drugim indikatorima sagorevanja fosilnih goriva. Utvrđeno je da sa porastom koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije u česticama PM_{2,5}, rizik od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih oboljenja poraste za 5,5%, a zbog cerebrovaskularnih oboljenja za 9,3%. U većini epidemioloških ili toksikoloških studija, kao i u nekoliko studija kontrolisane izloženosti čoveka, ističu se značajne povezanosti, prevashodno, kardiovaskularnih ishoda sa EC i/ili OC (65). S obzirom da se EC i/ili OC smatraju prvenstveno markerima procesa sagorevanja fosilnih goriva, dominantno za potrebe saobraćaja, toksikološke studije su opisale nekoliko mehanizama odgovornih za negativne zdravstvene ishode nastale njihovom emisijom. Jedan od glavnih mehanizama uključuje produkciju inflamatornog odgovora posredovanog indukcijom oksidativnog stresa i oslobađanjem proinflamatornih citokina. Takođe, opisuju se i mehanizmi koji uključuju promene u bioraspodivnosti NO u vaskularnom sistemu, migraciju leukocita u bronhijalno tkivo i efekte u imunom sistemu (29). Iako navedeni dokazi ukazuju na toksično dejstvo čestica koje sadrže ugljenik, SZO (385) ističe da EC možda nije direktno toksična komponenta čestica PM. Smatara se da može da deluje kao nosilac širokog spektra hemijskih jedinjenja različite toksičnosti, kao što su aromatični policiklični ugljovodonici, organske kiseline i metali. Navedeno tumačenje SZO ukazuje na činjenicu da se na kardiovaskularni morbiditet stanovništva Novog Sada ne može isključiti uticaj metala, s obzirom da u ekvivalentu karbonatne frakcije, najverovatnije ima i određena zastupljenost metala (386). Uzimajući u obzir demografsku strukturu odraslog stanovništva Novog Sada, u najvećem riziku od kardiovaskularnih, odnosno cerebrovaskularnih oboljenja, usled akutne izloženosti koncentracijama ekvivalenta karbonatne frakcije, su muškarci i stanovnici starosti ≥ 65 godina. Dnevni porast koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5} od 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ povećava rizik od prijema u bolnicu muškaraca zbog kardiovaskularnih oboljenja

za 6,4%, a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina za 5,8%. Rizik od prijema u bolnicu zbog cerebrovaskularnih oboljenja je nešto veći, i kod muškaraca iznosi 10,7%, a kod stanovnika starosti ≥ 65 godina 9,6%. Rezultati koji ukazuju na nešto veću vulnerabilnost muških stanovnika, u odnosu na starije, je sasvim verovatno posledica različite izloženosti procesima sagorevanja fosilnih goriva i pojedinih individualnih karakteristika. Naime, s obzirom da istraživanja pokazuju da stariji veći deo vremena provede u zatvorenom (348, 349), niži rizik je verovatno posledica izloženosti procesima sagorevanja za potrebe grejanja, koji ima sezonski karakter. Moguće je da gubitak kontinuiteta izlaganja umanjuje stvarnu veličinu uticaja zagađenja vazduha. Sa druge strane, kod muškaraca, efekat sezonske varijabilnosti izvora ekvivalenta karbonatne frakcije tj. grejanja nije osetan, jer su najverovatnije i tokom vangrejne sezone izloženi izvorima navedene frakcije tj. uticaju saobraćaja. Dakle, veći rizik kod muškaraca može da se objasni kontinuitetom izloženosti izvorima ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$. Veći volumen udahnutog vazduha kod odraslih muškaraca, u odnosu na starije stanovnike, je takođe mogao uticati na veću vulnerabilnost muške populacije Grada Novog Sada na uticaj ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$.

Povezanost rizika od prijema u bolnicu muških i starijih stanovnika Novog Sada zbog cerebrovaskularnih oboljenja sa ekvivalentom karbonatane frakcije čestica $PM_{2,5}$ je komparabilan sa rezultatima studije Vedala i kolega (387). Oni su utvrdili povezanost između OC i cerebrovaskularnih oboljenja i moždanog udara, ali ne i povezanost sa EC. Pojedini autori publikovali su rezultate pozitivne povezanosti između OC, EC, NO_3^- i SO_4^{2-} i bolničkih prijema zbog cerebrovaskularnih oboljenja, ali bez statističke značajnosti (388). Iako epidemiološke studije imaju limitiranost u dokazivanju uzročno-posledične veze između izloženosti zagađenju vazduha i cerebrovaskularnih bolesti, nekoliko toksikoloških studija, studija izloženosti u kontrolisanim uslovima i longitudinalne kliničke studije su pružile snažne biološke dokaze koji su u osnovi rezultata epidemioloških studija (389). U eksperimentalnim istraživanjima utvrđeno je da izlaganje izduvnim gasovima automobila, odnosno procesima sagorevanja fosilnih goriva (dizela), dovodi do oksidativnog stresa, aktiviranja trombocita, povećanja nivoa fibrinogena i narušavanja krvno-moždane barijere (390). Kontrolisanim izlaganjem zdravih, odraslih, ljudi, izduvnim procesima sagorevanja dizela, takođe je registrovana povećana aktivacija trombocita i stvaranje tromba na oštećenim krvnim sudovima ex

vivo (391). Rezultati pojedinih studija pokazuju da su u zajednici starijih osoba, koji žive u staračkim domovima, čestice $PM_{2,5}$ bile povezane sa većom cerebrovaskularnom rezistencijom u mirovanju i smanjenim protokom krvi u cerebralnim krvnim sudovima, korišćenjem transkranijalnih ultrazvučnih merenja doplerom (392).

Sa druge strane porastu, kako kardiovaskularnog morbiditeta za 6,7%, tako i cerebrovaskularnog za 15,1% ,značajno doprinosi i porast koncentracija DOC-a. S obzirom da se isti smatra specifičnim pokazateljem sagorevanja biomase, dobijeni rezultati ukazuju na prisustvo dodatnog izvora sagorevanja koji ima značajan negativan efekat na zdravlje stanovnika Novog Sada. Naime, rizik od prijema u bolnicu žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina Novog Sada, zbog kardiovaskularnih oboljenja poraste za 7,4% i 7,6%, redom. Rizik od prijema zbog cerebrovaskularnih oboljenja, takođe kod žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina, sa svakim porastom dnevne koncentracije DOC-a poraste za 18,9% i 17,9%, redom. Navedeni rezultati su najverovatnije posledica i najveće izloženosti žena, odnosno starijih stanovnika procesima sagorevanja biomase, poput kuvanja i grejanja, što je u skladu sa prethodno opisanim rezultatima u pogledu uticaja koncentracije K^+ (marker sagorevanja biomase) na mortalitet stanovništva Novog Sada, kada su takođe u najvećem riziku bile žene i stanovnici starosti ≥ 65 godina. S obzirom da se najveći broj studija o ispitivanju uticaja sastava čestica $PM_{2,5}$, orijentisan na najdominantnije sastojke, često grupisane prema mogućim izvorima, zaista je oskudan broj istraživanja uticaja DOC-a na zdravlje ljudi koji bi omogućio komparaciju. Međutim, autori nedavne studije (393) na području Kine su, ispitujući uticaj procesa sagorevanja iz saobraćaja i kuvanja (peći za kuvanje) na zdravlje žena, publikovali gotovo identičan rezultat. Studija je obuhvatila 280 žena koje žive u ruralnom području, u kojem se za potrebe grejanja i kuvanja obično koristi biomasa, a na različitoj udaljenosti od prometnih puteva. Komparirali su dnevne koncentracije BC (produkt pirolitičkog sagorevanje biomase) i DOC-a (organski aerosol izgaranja biomase) sa izmerenim nivoom krvnog pritiska kod žena. Utvrđen je značajan uticaja i BC-a i DOC-a na porast sistolnog krvnog pritiska. Dodatno, uticaj BC na zdravlje je bio veći kod žena koje žive u blizini autoputa (393). Autori nedavno sprovedene studije ukazuju na značajan doprinos OC porastu ukupnog kardiovaskularnog morbiditeta, ali ne i cerebrovaskularnog (388). Istraživanja u Južnoj Koreji ukazuju, takođe, na varijabilne

povezanosti između OC sa kardiovaskularnim hitnim prijemim, po polu i starosnoj dobi, na način da su snažnije statističke povezanosti utvrđene među ženama i starijima (394).

Rezultati povezanosti dnevnih koncentracije Ca^{2+} i broja bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih bolesti kod žena, pokazuju da, pored procesa sagorevanja fosilnih goriva i biomase, negativan uticaj na zdravlje stanovnika Novog Sada imaju i izvori mineralne prašine (resuspendovana prašina sa puteva, građevinskih radova i krovova stambenih objekata). Slične rezultate navode i druga malobrojna istraživanja (395, 396). U kineskom gradu Beijing, Pei i saradnici su, takođe, na osnovu povezanosti koncentracije Ca^{2+} sa dnevnim brojem umrlih, tokom petogodišnjeg istraživanja, zaključili da zemljišna i resuspendovana prašina sa puteva predstavlja značajan izvor zagađenja vazduha koji treba staviti pod kontrolu (397). Sa druge strane, na području Soula (Koreja) kardiovaskularni morbiditet nije bio statistički značajno povezan sa koncentracijom Ca^{2+} (204). Međutim, Son i saradnici ističu (204) da je teško izdvojiti pojedinačne efekte komponenti čestica $\text{PM}_{2,5}$, jer svaka komponenta ima višestruke i zajedničke izvore, a efekti utvrđeni za jednu komponentu mogu biti rezultat uticaja drugih komponenti sa sličnim izvorima. Potvrda navedenog proizilazi i iz rezultata ovog istraživanja, s obzirom da je koncentracija Ca^{2+} bila značajno povezana sa kardiovaskularnim morbiditetom samo u modelu koji je, pored uobičajenih pridruženih faktora, sadržao i prosečne koncentracije Mg^{2+} .

Za razliku od kardiovaskularnih efekata, rezultati uticaja najdominantnijih hemijskih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ na respiratorni morbiditet su manje konzistentni (398). U Novom Sadu, prosečne dnevne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije su značajno povezane sa brojem prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja. Rizik od prijema u bolnicu poraste za 6,9% sa svakim porastom koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dokazi o povećanom riziku od respiratornih oboljenja stanovništva Novog Sada, nakon akutnog izlaganja ekvivalentu karbonatne frakcije, u skladu su i sa nedavno objavljenim epidemiološkim istraživanjima (399). Međutim direktno poređenje sa drugim rezultatima, pored nemogućnosti identifikacije svake karbonatne frakcije (EC, OC, OM) u ovom istraživanju, dodatno otežava i prilično mali broj publikovanih rezultata o uticaju hemijskog sastav čestica $\text{PM}_{2,5}$ na respiratorne ishode, zatim različit metodološki pristup, heterogenost područja i populacije, kao i odabir perioda izloženosti (isti dan, nakon jednog ili više dana). Sličnu problematiku

ističu i drugi autori (398). U studiji na području 119 američkih okruga Peng i saradnicu (210) su utvrdili da je porast interkvartilnog ranga koncentracije organske karbonatne frakcije bio povezan sa porastom rizika od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja istog dana za 1,01% (95% IP: 0,04–1.98%). Ostale komponente (SO_4^{2-} , NO_3^- , silicijum, EC, Na^+ i NH_4^+) nisu bile značajno povezane sa rizikom od prijema u bolnicu zbog respiratornih ili kardiovaskularnih bolesti. U periodu 1999 - 2005 godine, na području 109 američkih okruga, Bell i saradnici su utvrdili da rizik od respiratornih bolesti iznosi čak 511% sa porastom interkvartilnog ranga koncentracije EC. Međutim, autor iste studije ne umanjuje značaj i veličinu iskazanog rizika, koji je čak oko 100x veći od procenjenih rizika za stanovništvo Novog Sada, ali ističe da iskazivanje rezultata kroz interkvartilni rang otežava komparaciju sa drugim rezultatima koji opisuju direktan uticaj (400).

U metropolitanskom području Denvera, utvrđena je značajna povezanost respiratornog morbiditeta nakon nekoliko dana izlaganja koncentracijama EC i OC, odnosno SO_4^{2-} i NO_3^- . Navedeni rezultati su delimično u saglasnosti sa rezultatima za Novi Sad, s obzirom da se koncentracija NO_3^- i SO_4^{2-} nisu izdvojile kao značajne za respiratorni morbiditet, niti je ispitivan period odloženog delovanja ekvivalenta karbonatne frakcije. Međutim, autori navedene studije ističu da su, u kratkoročnim izlaganjima, veći efekat imali OC i EC, nego NO_3^- i SO_4^{2-} (388). Značajna povezanost EC i bolničkog respiratornog morbiditeta utvrđena je na području šest kalifornijskih okruga, ali među decom uzrasta ≤ 5 ili ≤ 19 godina (401). Među populacijom starijom od 65 godina, na području 4 okruga Masačusetsa i Konektikata (SAD), takođe je utvrđena povezanost respiratornih bolničkih prijema sa jednom od karbonatne frakcije čestica, odnosno BC (395). Kim i drugi (388) su objavili značajnu povezanosti između EC i bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih oboljenja, ali ne i zbog respiratornih oboljenja, što nije u potpunosti saglasno sa rezultatima među stanovništvom Novog Sada. U nedavnoj meta analizi, Levy i saradnici (211) su, ispitujući uticaj EC, BC, NO_3^- i SO_4^{2-} na broj bolničkih prijema zbog respiratornih oboljenja, u populaciji od 12 miliona američkih zdravstvenih osiguranika, utvrdili da najveći uticaj imaju EC i BC, iako nije bio statistički značajan. Autori navedene studije ističu da se nedostatak statističkog značaja za određene hemijske sastojke čestica $\text{PM}_{2,5}$, kao i odabrane zdravstvene ishode, treba tumačiti u širem kontekstu, posebno za respiratorni morbiditet, s obzirom da su stope

oboljevanja niže u odnosu na kardiovaskularni morbiditet, a samim tim i statistička snaga dobijenih rezultata (211). Sa druge strane, studija u Njujorku je utvrdila pozitivnu povezanost između SO_4^{2-} , NO_3^- i NH_4^+ i bolničkih prijema zbog respiratornih bolesti. U istoj studiji nije utvrđen uticaj OC i EC (398).

Iznenadjujući je rezultat da je, za razliku od kardiovaskularnog morbiditeta, izostao značajan uticaj ekvivalenta karbonatne frakcije na respiratorni morbiditet kod stanovnika starosti od 65 i više godina. Vrlo je verovatno da je navedena razlika delimično proizašla i iz različite distributivne strukture bolničkih prijema zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti u odnosu na starost. Broj bolničkih prijema stanovnika starosti ≥ 65 godina zbog kardiovaskularnih oboljenja je iznosio 60%, ali samo 40% zbog respiratornih oboljenja. Sa druge strane, veći rizik koji je utvrđen kod muškaraca i stanovnika starosti 18-64 godine, može se objasniti njihovim obrascima ponašanja i individualnim karakteristikama, koje su imale uticaj na veći stepen izloženosti za razliku od starijih stanovnika (duži boravak na otvorenom i različiti disajni kapaciteti) (342, 343).

S obzirom da je utvrđeno da masena koncentracija čestica $\text{PM}_{2,5}$ doprinosi porastu broja bolničkih prijema zbog respiratornih bolesti među stanovnicima starosti ≥ 65 godina, dobijeni rezultat za ekvivalent karbonatne frakcije, ukazuje na činjenicu da povezanost između čestica i zdravstvenih ishoda, u epidemiološkim studijama, može biti rezultat više komponenti koje deluju na različite fiziološke mehanizme. Naime, pokazalo se da biološki odgovori variraju u zavisnosti od karakteristika čestica, ali i njihovog hemijskog sastava (402). Mehanizmi pomoću kojih čestice $\text{PM}_{2,5}$ mogu negativno da utiču na kardiovaskularno i respiratorno zdravlje (210) su za sada najvećim delom poznati. Međutim, specifični mehanizmi koji bi mogli doprineti većoj toksičnosti čestica koje sadrže veći udeo karbonatne frakcije (EC i OC) još uvek nisu identifikovani (403). Shodno činjenici da se biološki materijali - bakterije, spore, polen, posmatra kao deo organske komponente ugljenika u većini studija, a ne kao zasebna biološka komponenta (46), moguće je da su dobijeni rezultati, u određenoj meri, i posledica uticaja bioloških sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$, a ne samo hemijskih. Patel i drugi (404) su utvrdili da su kod dece primećene značajne povezanosti između EC i kašlja u toku sezona prehlade i gripa. Međutim, kod odraslog stanovništva Novog Sada nije utvrđena značajna povezanost rizika od prijema u bolnicu zbog nespecifične pneumonije ni sa

jednim od analiziranih sastojaka čestica. Autori već pomenute petogodišnje studije na području 5 okruga Denvera (SAD), takođe nisu utvrdili značajnu povezanost između dnevne izloženosti stanovništva koncentracijama EC, OC, SO_4^{2-} , NO_3^- i broja bolničkih prijema zbog pneumonije (388). Suprotne rezultate za OC i EC, u odnosu na opisane, navodi Ostro sa kolegama (401) za dečiju populaciju, kao i Zanobetti i Schwartz (405) za populaciju u Bostonu starosti ≥ 65 godina.

Prema podacima iz dostupne literature, uloga i doprinos pojedinih sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$, poput SO_4^{2-} , NO_3^- i elemenata iz zemljine kore (prašina), oboljevanju stanovništva, još uvek nije konkluzivna zbog nedovoljnog broja istraživanja, ali i nedoslednih rezultata u različitim disciplinama istraživanja (209, 406). Na području Novog Sada, izuzev za K^+ i Ca^{2+} , nije utvrđena značajna pozitivna povezanost analiziranih jona rastvorljivih u vodi (Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- i SO_4^{2-}) sa mortalitetom i bolničkim morbiditetom odraslog stanovništva. Utvrđena statistički značajna povezanost koncentracije Na^+ sa akutnim infarktom miokarda kod stanovnika starosti 18-64 godine na nivou $p < 0,05$ se ne može smatrati dovoljno preciznim, shodno izuzetno velikim rasponom 95% IP: 1,105-78,224 (407). Navedeno je verovatno posledica izuzetno malih koncentracija Na^+ prisutnih u česticama $\text{PM}_{2,5}$, koje zahtevaju duži kontinuitet praćenja u nekim budućim istraživanjima, radi sticanja preciznijih uvida u njihov javnozdravstveni značaj (408). U Seulu (Koreja), Son i saradnici su ispitali uticaj istih jona i primetili umerenu značajnu povezanost, na nivou $p < 0,1$, između SO_4^{2-} , NO_3^- i smrtnosti zbog kardiovaskularne bolesti. U istoj studiji utvrđena je jaka povezanost između NH_4^+ i smrtnosti zbog kardiovaskularne bolesti i umerena između Cl^- i Mg^{2+} i smrtnost od respiratornih bolesti (204). Cao i njegove kolege, istraživali su povezanost između sastojaka čestica $\text{PM}_{2,5}$ i smrtnosti zbog kardiopulmonalnih bolesti u mestu Ksi'an (Kina), i utvrdili su da su svi joni povezani sa smrtnošću, osim Na^+ i Ca^{2+} . Međutim, nakon prilagođavanja statističkog modela sa koncentracijom čestica $\text{PM}_{2,5}$, samo su NH_4^+ , NO_3^- i Cl^- , pored karbonatne frakcije čestica i metala, ostali značajno povezani sa zdravstvenim ishodima (383).

Sa sličnim metodološkim pristupom, Ferreira i saradnici su (409) ispitali povezanost katjona i anjona čestica $\text{PM}_{2,5}$ iz vazduha živote sredine sa dnevnim kardiovaskularnim i respiratornim bolničkim morbiditetom stanovnika starijih od 60 godina, u gradu Sao Paoulu (Brazil). Među analiziranim sastojcima čestica $\text{PM}_{2,5}$, K^+ je

bio pozitivno povezan sa oba ishoda, dok su SO_4^{2-} i NH_4^+ bili povezani samo sa kardiovaskularnim bolestima. Autori Kim (388) i Krall (410) takođe nisu utvrdili značajnu povezanost između NO_3^- , SO_4^{2-} i NH_4^+ , utvrđenih u masi čestica $\text{PM}_{2,5}$ sa mortalitetom ili morbiditetom. Ipak, evidentni su dokazi i drugih epidemioloških studija koje ukazuju na značajan uticaj NO_3^- i SO_4^{2-} na porast kardiovaskularnih (206, 411) i respiratornih bolničkih prijema (388). Jones i saradnici ističu povezanost SO_4^{2-} i NO_3^- sa povećanim rizikom od prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja, ali samo tokom letnjeg perioda (398).

Iako se pored karbonatne frakcije čestica $\text{PM}_{2,5}$, SO_4^{2-} i NO_3^- u česticama $\text{PM}_{2,5}$ smatraju respiratornim iritansima (412), utvrđene koncentracije SO_4^{2-} i NO_3^- u česticama $\text{PM}_{2,5}$ iz vazduha životne sredine, tokom ispitivanog perioda na području Novog Sada, ne predstavljaju značajan rizik za mortalitet i morbiditet odraslog stanovništva. Američko nacionalno veće za istraživanje smatra da je potrebno više istraživanja radi diferencijacije očiglednih zdravstveni efekata povezanih sa različitim hemijskim sastojcima čestica $\text{PM}_{2,5}$. Naime, u većini istraživanja utvrđeno je da SO_4^{2-} i NO_3^- čine značajan deo mase čestica $\text{PM}_{2,5}$, ali ih ujedno prate i slične količine karbonatnog materijala, zajedno sa malim koncentracijama bioaktivnih organskih jedinjenja i metala. Opsežni podaci toksikoloških istraživanja, na ljudima i životinjama, ne pokazuju značajne efekte za čestice $\text{PM}_{2,5}$ koje se sastoje samo od jedinjenja SO_4^{2-} i NO_3^- u nivoima većim od koncentracije spoljnog vazduha (406). Rezultati nekoliko epidemioloških studija, uključujući kratkoročne studije tipa vremenskih serija i dugoročne kohortne studije, koji su uključili sadržaj SO_4^{2-} , kao specifičnu promenljivu, u analizi uticaja na zdravlje, nisu bili konzistentni. Broj epidemioloških istraživanja uticaja NO_3^- , sadržanih u česticama $\text{PM}_{2,5}$, na zdravlje je mnogo manji (209, 406).

Sveukupno, prema rezultatima ovog istraživanja, ali i dokazima dosadašnjih epidemioloških i toksikoloških istraživanja, nije moguće u potpunosti podržati uzročno-posledičnu vezu koncentracija čestica SO_4^{2-} i NO_3^- iz vazduha životne sredine sa zdravstvenim rizicima (209, 406, 413). Postoje neki mogući indirektni procesi, kroz koje SO_4^{2-} i NO_3^- sadržani u česticama $\text{PM}_{2,5}$, mogu uticati na ishode vezane za zdravlje, uključujući interakciju sa određenim vrstama metala i vezu sa proizvodnjom sekundarne organske materije. Autori preglednog rada toksikoloških istraživanja iz 2013. godine (413), zaključili su da ograničeni noviji dokazi ne menjaju zaključke autora

Schlesinger i drugih iz 2003. godine (414), tj. da SNA „ima malu biološku moć u normalnim ljudskim bićima“. Do sličnog zaključka su došli i autori preglednog rada iz 2013. godine u pogledu EC i SNA. Sugeriraju da EC možda nije glavna direktno toksična komponenta čestica $PM_{2,5}$, kao i da se SNA može ponašati kao „univerzalni nosač širokog spektra hemijskih sastojaka, dobijenih sagorevanjem, koji mogu biti različite toksičnosti za osetljiva ciljna mesta u ljudskom telu (209).

Zaključci pregledne studije o dokazima vezanim za negativan uticaj različitih komponenti čestica $PM_{2,5}$ na ljudsko zdravlje, od strane Staneka sa kolegama (415) i SZO (182), su da, iako postoje rezultati o statistički značajnoj povezanosti između različitih komponenti čestica $PM_{2,5}$ i različitih zdravstvenih ishoda, ne postoji dovoljan broj studija sa konzistentnim rezultatima koji ukazuju na veću ili manju opasnost jedne ili više komponenti čestica $PM_{2,5}$. Levy (211) ističe da se značaj rezultata epidemioloških ispitivanja uticaja hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ ogleda i u mogućnosti kvantitativnog definisanja koeficijenta funkcije „izlaganje (koncentracija) – odgovor“ (RR) za svaki različit sastojak, a ne samo u dokazivanju uticaja. Međutim, navodi i da savetodavni odbori i stručna tela na području SAD-a (416, 417) ističu da to trenutno nije moguće, zbog, još uvek, izražene heterogenosti objavljenih rezultata u pogledu hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$. Iz navedenih razloga, za sada, hemijski sastojci čestica $PM_{2,5}$ još uvek nisu obuhvaćeni regulatornom politikom upravljanja kvaliteta vazduha životne sredine, kako na globalnom i regionalnom nivou, tako i na području Republike Srbije.

6.7. Ograničenja prikazanog istraživanja

Različito veličine utvrđenog uticaja masene koncentracije i hemijskog sastava čestica $PM_{2,5}$ na mortalitet, bolnički kardiovaskularni i respiratorni morbiditet odraslog stanovništva Grada Novog Sada u odnosu na druga područja, može biti posledica jednog od uobičajenih ograničenja za ovakav tip istraživanja, odnosno neadekvatne procena izloženosti stanovništva (211). Usrednjavanje koncentracija čestica $PM_{2,5}$ sa dva reprezentativna merna mesta, u Gradu Novom Sadu, može biti odlična proksi varijabla za adekvatnu izloženost, međutim, ipak je moguće da ne oslikava u potpunosti pravu izloženost stanovništva. Dodatno, Levy i saradnici ističu da i pored obezbeđivanja adekvatnih podataka o izloženosti, najčešće primenjivane statističke metode ne mogu pružiti u potpunosti informacije potrebne za donošenje zaključaka o diferencijalnoj

toksičnosti hemijskih sastojaka PM_{2,5} (211). Iako su u prikazanom istraživanju rađene razne analize osjetljivosti statističkih modela, zasnovane na rezultatima identifikacije kategorije izvora zagađenja vazduha, ipak nisu urađene iscrpne analize svih mogućih kombinacija analiziranih komponenti čestica PM_{2,5}. Dodatna limitacija istraživanja, ali i izazov za buduća istraživanja, je i kvantifikacija komponentata ekvivalenta karbonatne frakcije čestica PM_{2,5}, s obzirom da dostupne (postojeće) analitičke metode u IZJZV nisu omogućili kvantifikaciju i potpunu identifikaciju EC, BC i OC. Primenjen metodološki pristup u ovom istraživanju nije omogućio ispitivanje uticaja čestica PM_{2,5} na zdravlje ljudi koji je moguć i nekoliko dana nakon izlaganje (period odloženog dejstva), jer bi se na taj način uticalo na gubitak određenog broja podataka, što bi dovelo do precenjenog ili potcenjenog uticaja. Dodatno, nemogućnost odvajanja hitnih prijema u bolnicu od ukupnog broja dnevnih prijema, zbog postojeće infrastrukture rutinskog prikupljanja zdravstvenih podataka, takođe može biti jedno od ograničenja istraživanja.

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenog istraživanja, a u odnosu na definisane ciljeve, prozilaze sledeći zaključci:

- 1) Prosečna godišnja koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada je iznosila $30,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Srednje dnevne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada su bile u rasponu $8 - 79 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- 2) Srednja godišnja koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na lokacijama reprezentativnim za uticaj saobraćaja („*urban traffic*“) i urbanog zagađenja vazduha („*urban background*“) su iznosile 37 i $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, redom. Raspon utvrđenih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ na lokaciji „*urban traffic*“ je bio $11-118 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a na lokaciji „*urban background*“ $2 - 73 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- 3) Na godišnjem nivou oko 30% varijabilnosti srednjih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na teritoriji Grada Novog Sada se objašnjava lokalnim meteorološkim uslovima, odnosno temperaturom vazduha, brzinom vetra i relativnom vlažnošću vazduha. Najveća varijabilnost srednjih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ koja se može objasniti meteorološkim parametrima je zabeležena tokom jeseni.
- 4) Hemijski sastav čestica na lokacijama reprezentativnim za uticaj saobraćaja („*urban traffic*“) i urbanog zagađenja vazduha („*urban background*“) u najvećem procentu čini ekvivalent karbonatne frakcije čestica, zatim sekundarni neorganski aerosol i rastvorljiva organska frakcija, dok su joni rastvorljivi u vodi (kalcijum, hloridi, natrijum, kalijum i magnezijum) zastupljeni u najmanjem procentu. Hemijski sastav suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ je bio varijabilan u odnosu na lokaciju (mesto nastanka) i godišnje doba.
- 5) Promene dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ značajno doprinose promeni ukupnog mortaliteta, kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta odraslog stanovništva Grada Novog Sada. U toku istog dana, povećanjem prosečnih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz

vazduha životne sredine u Gradu Novom Sadu povećava se i ukupan broj umrlih, odnosno broj prijema u bolnicu odraslog stanovništva zbog kardiovaskularnih i respiratornih oboljenja. Na promene dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ naosetljivije su žene i stanovnici starosti ≥ 65 godina.

- 6) Promene dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$, jona kalijuma i rastvorljive organske frakcije čestica $PM_{2,5}$ značajno doprinose promeni ukupnog mortaliteta, kardioavskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta odraslog stanovništva Grada Novog Sada. U toku istog dana, broj umrlih stanovnika Novog Sada se povećava sa povećanjem prosečnih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ i jona kalijuma. Broj prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih i cerebrovaskularnih oboljenja se poveća istog dana kada se i povećaju prosečne dnevne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$ i rastvorljive organske frakcije čestica $PM_{2,5}$. Broj prijema u bolnicu zbog respiratornih oboljenja se poveća istog dana kada se povećaju prosečne dnevne koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$. Na promene dnevnih koncentracija jona kalijuma i rastvorljive organske frakcije čestica $PM_{2,5}$ najosetljiviji su žene i stanovnici starosti ≥ 65 godina, a na promene dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije muškarci i stanovnici starosti ≥ 65 godina.

Zaključci zasnovani na radnim hipotezama su sledeći:

- 1) Prosečne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine Grada Novog Sada na godišnjem i dnevnom nivou prekoračuju preporuke Svetske zdravstvene organizacije, čime je potvrđen deo prve hipoteze. Veća prekoračenja preporuka Svetske zdravstvene organizacije za koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ na godišnjem i dnevnom nivou su utvrđena na lokaciji reprezentativnoj za uticaj saobraćaja (*“urban traffic”*) i objašnjava potvrdu dela prve hipoteze.
- 2) Srednje dnevne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine Grada Novog Sada se u toku ispitivanog perioda povećavaju sa padom

temperature vazduha, porastom relativne vlažnosti vazduha i smanjenjem brzine vetra, čime je u potpunosti potvrđena prva hipoteza istraživanja.

- 3) Prosečne godišnje koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije čestica $PM_{2,5}$, jona kalijuma i sulfata su bile statistički značajno veće u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ na lokaciji reprezentativnoj za uticaj saobraćaja („*urban traffic*“), dok se koncentracije ostalih hemijskih sastojaka (rastvorljive organske frakcije, jona natrijuma, amonijuma, kalcijuma, nitrata, hlorida i magnezijuma) nisu značajno razlikovale između lokacija „*urban traffic*“ i „*urban bacground*“, što predstavlja delimičnu potvrdu druge hipoteze istraživanja.
- 4) Porastom srednjih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rizik od ukupnog mortaliteta, kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta kod odraslog stanovništva Grada Novog Sada na dnevnom nivou značajno poraste za 0,4%, 0,6% i 0,7%, čime je potvrđena treća hipoteza. Značajan porast rizika od ukupnog mortaliteta, kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta usled porasta srednjih dnevnih koncentracija suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ je utvrđen kod žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina.
- 5) Porastom srednjih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$, u vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rizik od ukupnog mortaliteta kod žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina, kardiovaskularnog i respiratornog bolničkog morbiditeta kod odraslog stanovništva Grada Novog Sada na dnevnom nivou značajno poraste za 4,6%, 2,9%, 5,5%, 6,9%, redom, čime je indirektno potvrđen deo četvrte hipoteze. Značajan porast rizika od kardiovaskularnog bolničkog morbiditeta usled porasta srednjih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$, je utvrđen kod muškaraca i stanovnika ≥ 65 godina. Značajan porast rizika od respiratornog bolničkog morbiditeta usled porasta srednjih dnevnih koncentracija ekvivalenta karbonatne frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$, je utvrđen kod žena, muškaraca i stanovnika starosti 18-64 godina, što predstavlja dodatnu, indirektnu, potvrdu dela četvrte hipoteze.

- 6) Porastom srednjih dnevnih koncentracija rastvorljive organske frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rizik od kardiovaskularnog i cerebrovaskularnog bolničkog morbiditeta kod odraslog stanovništva Grada Novog Sada na dnevnom nivou značajno poraste za 6,7% i 15,1%, čime je potvrđen deo četvrte hipoteze. Najznačajniji porast rizika od kardiovaskularnog i cerebrovaskularnog bolničkog morbiditeta usled porasta srednjih dnevnih koncentracija rastvorljive organske frakcije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ je utvrđen kod žena i stanovnika ≥ 65 godina, čime je potvrđen deo četvrte hipoteze.
- 7) Očekivan značajan doprinos srednje dnevne koncentracije sulfata i nitrata ukupnom mortalitetu, kardiovaskularnom i respiratornom morbiditetu odraslog stanovništva Grada Novog Sada nije utvrđen, što predstavlja argument za odbacivanje dela četvrte hipoteze.

Proučavanjem uticaja suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ iz vazduha životne sredine na ukupan mortalitet, kardiovaskularni i respiratorni bolnički morbiditet zaključeno je po oblastima ispitivanja i sledeće:

- 1) Prosečne koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine Grada Novog Sada na godišnjem nivou prekoračuju nacionalne normative, odnosno normative Evropske unije. Prekoračenje nacionalnog normativa na godišnjem nivou je utvrđeno na lokaciji urban traffic, ali ne i na lokaciji reprezentativnim za gradsko zagađenje vazduha životne sredine (urban background).
- 2) Prisutni izvori zagađenja vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada su procesi sagorevanja fosilnih goriva i biomase (grejanje, proizvodnja energije i kuvanje), saobraćaj, mineralna (zemljišna) prašina i sekundarno zagađenje regionalnog porekla.
- 3) Prisutna prostorna i vremenska varijabilnosti hemijskog sastava suspendovanih čestica $PM_{2,5}$, ukazala je na vodeće izvore zagađenja vazduha životne sredine u Gradu Novom Sadu: procesi sagorevanja za potrebe grejanja i saobraćaj. Doprinos saobraćaja porastu prosečne godišnje

koncentracije suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ je iznosio 40%. Doprinos saobraćaja je bio varijabilan u odnosu na godišnja doba i uslovljen meteorološkim uslovima. Najveći doprinos saobraćaja je zabeležen tokom jeseni.

- 4) Saobraćaj doprinosi prosečnim godišnjim koncentracijama svih analiziranih komponenti hemijskog sastava suspendovanih čestica $PM_{2,5}$ u vazduhu životne sredine, izuzev za jone amonijuma i natrijuma.
- 5) Porastom srednjih dnevnih koncentracija jona kalijuma utvrđenih u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ iz vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rizik od ukupnog mortaliteta odraslog stanovništva Grada Novog Sada poraste za 77%. Porast rizika od ukupnog mortaliteta usled porasta srednjih dnevnih koncentracija jona kalijuma je bio najznačajniji kod žena i stanovnika starosti ≥ 65 godina.
- 6) Porastom srednjih dnevnih koncentracija jona kalcijuma utvrđenih u suspendovanim česticama $PM_{2,5}$ iz vazduhu životne sredine od $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rizik od prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih bolesti kod žena na području Grada Novog Sada poraste za 19,7%.

7.1. Značaj istraživanja

Dobijeni rezultati po prvi put opisuju zdravstveni uticaj masene koncentracije i hemijskih sastojaka čestica $PM_{2,5}$ na području Grada Novog Sada, kvantifikuju rizik od mortaliteta i morbiditeta, koji je do sada bio pretpostavljan na onovu drugih, odnosno tuđih procena. Stratifikacija procena uticaja čestica $PM_{2,5}$ na zdravlje, prema starosnoj i polnoj strukturi odraslih stanovnika, doprinosi potpunijem razumevanju uticaja na zdravlje utvrđenog kvaliteta vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada i predstavlja osnovu za razvoj najadekvatnijih preventivnih mera.

Takođe, po prvi put je utvrđen sadržaj čestica $PM_{2,5}$, koji je i omogućio identifikaciju izvora zagađenja vazduha na području Grada Novog Sada. Na osnovu navedenih podataka utvrđeno je da su markeri procesa sagorevanja fosilnih goriva i biomase, odnosno ekvivalent karbonatne frakcije, DOC i K^+ , dominantno odgovorni za negativne zdravstvene efekte. Navedeno ukazuje na najznačajnije izvore zagađenja vazduha u Novom Sadu (saobraćaj, toplane i individualna ložišta) i predstavlja dragoceno usmerenje za razvoj sveobuhvatne strategije kontrole kvaliteta vazduha životne sredine na području Grada Novog Sada. Dodatno, dobijeni rezultati upotpunjuju naučne osnove neophodne za definisanje nacionalnih standarda kvaliteta vazduha životne sredine u pogledu masene koncentracije čestica $PM_{2,5}$ i hemijskih sastojaka. Međutim, nepotpuna usaglašenost veličine rizika utvrđenog za masenu koncentraciju čestica $PM_{2,5}$ i hemijskih sastojaka u odnosu na analizirane zdravstvene ishode, ukazuje na potrebu dodatnih, budućih, istraživanja sa pažljivim tumačenjem dobijenih rezultata, jer nije jasno da li je komponenta, sama po sebi, odgovorna za uticaj na zdravlje ili je indeks/surogat za neku drugu zagađujuću materiju.

Takođe, rezultati prilagođenih statističkih modela daju potpuniju sliku međusobne zavisnosti mase čestica $PM_{2,5}$, hemijskih sastojaka i meteoroloških faktora u pogledu njihovog značajnog doprinosa kvantifikovanim rizicima od mortaliteta i prijema u bolnicu. Razvijeni, opisani i primenjeni statistički alati predstavljaju obnovljiv metodološki pristup. Mogu se primeniti na druge slične baze podataka za proučavanje uticaja čestica PM i drugih zagađujućih materija iz vazduha životne sredine na zdravlje, s obzirom da je potrebno više istraživanja da bi se stekao jasniji uvid o doprinosu čestica

PM_{2,5} i / ili izvora zagađenja vazduha umiranju i oboljevanju stanovništva, a zatim i o tome koje su strategije za kontrolu izvora zagađenja vazduha najefikasnije.

8. LITERATURA

1. World Health Organization. Global health risks: Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Geneva: WHO, 2009.
2. Achilleos S. Particle Pollution: Trends, Sources, Components and Health. Thesis (PhD). Harvard T.H. Chan School of Public Health; 2016.
3. GBD 2017 Risk Factor Collaborators. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet*. 2018;392(10159):1923-1994.
4. World Health Organization. Fact sheet: Ambient (outdoor) air quality and health. WHO, 2018. Dostupno na: [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) (posećeno: 16.05.2019.)
5. Milivojevic J, Kokic Arsic A, Grubor S. New human habitat and quality of life. In: Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije. 5. Nacionalna konferencija o kvalitetu života. Festival kvaliteta; 2010, 19 -21 maj; Kragujevac. Mašinski fakultet, Kragujevac: Centar za kvalitet, 2010.
6. Jevtić M, Ač Nikolić E. Javno zdravlje za studente stomatologije. Novi Sad: Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu; 2011.
7. Kemp DD. Exploring environmental issues: An integrated approach. London, United Kingdom: Routledge; 2004.
8. Dragić N. Kvalitet vazduha životne sredine i zdravlje stanovništva Grada Novog Sada. Specijalistički rad. Novi Sad: Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu; 2018.
9. Seinfeld J. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. New York, John Wiley & Sons; 1986.
10. International Agency for Research on Cancer. Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Outdoor air pollution. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 109. Lyon, France: IARC, 2016.
11. Jorga J. Higijena sa medicinskom ekologijom. Beograd: Medicinski fakultet, Univerzitet u Beogradu; 2014.
12. Ling OHL. Air Quality and Human Health in Urban Settlement: Case Study of Kuala Lumpur City. Thesis (PhD). Universiti Kebangsaan Malaysia; 2012.

13. Nemery B, Hoet PH, Nemmar A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *Lancet*. 2001; 357(9257):704-8.
14. Bell ML, Davis DL. Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environ Health Perspect*. 2001; 109(3):389-94.
15. Wilkins ET. Air pollution and the London fog of December, 1952. *J R Sanit Inst*. 1954; 74(1):1-15; discussion, 15-21.
16. Vallero DA. *Fundamentals of Air Pollution*. Amsterdam, Boston: Elsevier; 2008. 4th edition.
17. Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J Med Toxicol*. 2012;8(2):166-75.
18. Cohen B. Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability, *Technol. Soc*. 2006;28:63–80.
19. Atash F. The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran. *Cities*. 2007;24:399–409.
20. Tanaka S. Environmental regulations on air pollution in China and their impact on infant mortality. *J Health Econ*. 2015; 42:90-103.
21. Anderson WP, Kanaroglou PS, Miller EJ. Urban form, energy and the environment: A review of issues, evidence and policy. *Urban Stud*. 1996;33:7–35.
22. Wang S, Liu X, Zhou C, Hu J, Ou J. Examining the impacts of socioeconomic factors, urban form, and transportation networks on CO₂ emissions in China's megacities. *Appl. Energy*. 2017;185:189–200.
23. Borrego C, Martins H, Tchepel O, Salmim L, Monteiro A, Miranda AI. How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. *Environ. Model. Softw*. 2006;21:461–467.
24. Frank LD, Sallis JF, Conway TL, Chapman JE, Saelens BE, Bachman W. Many pathways from land use to health: Associations between neighborhood walkability and active transportation, body mass index, and air quality. *J Am Plan Assoc*. 2006;72:75–87.
25. McCarty J, Kaza N. Urban form and air quality in the United States. *Landsc. Urban Plan*. 2015;139:168–179.

-
26. Hixson M, Mahmud A, Hu J, Bai S, Niemeier DA, Handy SL, et al. Influence of regional development policies and clean technology adoption on future air pollution exposure. *Atmos Environ*. 2010;44:552–562.
 27. Zhou C, Li S, Wang S. Examining the Impacts of Urban Form on Air Pollution in Developing Countries: A Case Study of China's Megacities. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(8):1565.
 28. Chen Y, Ebenstein A, Greenstone M, Li H. Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013;110(32):12936-41.
 29. Grahame TJ, Klemm R, Schlesinger RB. Public health and components of particulate matter: the changing assessment of black carbon. *J Air Waste Manag Assoc*. 2014 Jun;64(6):620-60.
 30. Parrish DD, Stockwell WR. Urbanization and Air Pollution: Then and Now. *Eos: Earth & Space Science News*, 2015; 96:10–15.
 31. Wang K, Yingnan L. Can Beijing fight with haze? Lessons can be learned from London and Los Angeles. *Natural Hazards*. *Nat Hazards*. 2014;72:1265–1274.
 32. Vallero D. *Fundamentals of air pollution*. Cambridge, MA: Elsevier Science; 2014. 5th edition.
 33. Kelly FJ, Fussell JC. Air pollution and public health: emerging hazards and improved understanding of risk. *Environ Geochem Health*. 2015;37(4):631-49.
 34. Ruckerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrys J, Peters A. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol*. 2011; 23(10):555-92.
 35. Khafaie AM, Salvi CY, Ajay SO. Critical review of air pollution health effects with special concern on respiratory health. *Journal of Air Pollution and Health (JAPH)*. 2016;2: 73-86.
 36. Hime NJ, Marks GB, Cowie CT. A Comparison of the Health Effects of Ambient Particulate Matter Air Pollution from Five Emission Sources. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(6):1206.
 37. World Health Organization. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. European Centre for Environment and Health Bonn Office. Denmark: WHO, Regional Office for Europe; 2006.

-
38. Kelly FJ, Fussell JC. Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmos Environ.* 2012;60:504–26.
 39. Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol.* 2013;14:1262–1263.
 40. Garcia NPM, Borrega J, Coelho LMR. Airborne PM Impact on Health, Overview of Variables, and Key Factors to Decision Making in Air Quality. 2018; DOI:10.5772/intechopen.79695
 41. Hackley VA, Ferraris CF. The Use of Nomenclature in Dispersion Science and Technology, NIST Recommended Practice Guide. NIST. Washington: United States of America: Special Publication; 2001. pp. 960-963.
 42. Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med.* 1993;329(24):1753-9.
 43. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996;153(1):3-50.
 44. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition. (CD ROM version). Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark: WHO, 2000.
 45. Hinds WC. Aerosol technology-properties, behavior, and measurement of airborne particles. New York: Wiley-Interscience, 1982:442 p.
 46. Marko Vallius. Characteristics and sources of fine particulate matter in urban air. Thesis (PhD). Kuopio: National Public Health Institute, Department of Environmental Health Kuopio, Finland; 2005.
 47. Tang P, Chan H, Raper JA. A Method to Calculate Aerodynamic Diameter of Particles with Fractal Surface. Spring Meeting & 2nd Global Congress on Process Safety, Particle technology World congress; 5TH, Particle technology; 233b American Institute of Chemical Engineers, New York; april 26. 2006.
 48. Colls, J. Air pollution (2nd edn). London: SPON PRESS, Taylor & Francis Group, 2002.
 49. Clara YL, Mingshuai D, Yang Y, Zhiwei S. Portrait and Classification of Individual Haze Particulates. *Journal of Environmental Protection.* 2016;07(10):1355-1379.

50. Slowik JG, Stainken K, Davidovits P, Williams L R, Jayne JT, Kolb CE, et al. Particle Morphology and Density Characterization by Combined Mobility and Aerodynamic Diameter Measurements. Part 2: Application to Combustion-Generated Soot Aerosols as a Function of Fuel Equivalence Ratio. *Aerosol Science and Technology*. 2004; 38:1206–1222.

51. Liu BYH, Whitby KT, Pui DYH. A Portable Electrical Analyzer for Size Distribution Measurement of Submicron Aerosols. *J Air Pollut Contr Assoc*. 1974;24: 1067–1072.

52. Ilić Mićunović M.. Model za evaluaciju rezultata merenja karakteristika praškastih materija zasnovan na elektronskoj mikroskopiji. Doktorska disertacija. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka; 2018.

53. Seinfeld JH, Pandis SN. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998.

54. Emara E, Usama R. Health Impacts Estimation of Mineralogical and Chemical Characterization of Suspended Atmospheric Particles over the East Desert. *American Journal of Infectious Diseases*. 2010;6(3):75-88.

55. Whitby K, Husar R, Liu B. The aerosol size distribution of Los Angeles smog. *J. Colloid Interface Sci*. 1972;39:177–204.

56. Cao J, Chow JC, Lee FSC, Watson JG. Evolution of PM_{2.5} Measurements and Standards in the U.S. and Future Perspectives for China. *Aerosol and Air Quality Research*. 2013;13: 1197–1211.

57. Chow JC. Critical Review: Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. *J Air Waste Manage Assoc*. 1995; 45:320–382.

58. Watson JG. Visibility: Science and Regulation - 2002 Critical Review. *J Air Waste Manage Assoc*. 2002; 52: 628–713.

59. Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. *J Air Waste Manag Assoc*. 1997;47(12):1238-49.

60. Saarikoski S. Chemical mass closure and source-specific composition of atmospheric particles. Thesis (PhD). Helsinki: Finnish Meteorological Institute; 2008.

61. McMurry PH, Shepherd MF, Vickery JS. *Particulate matter science for policy makers : a NARSTO assessment*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2004

-
62. US Environmental Protection Agency. Air quality criteria for particulate matter, vol. I. Washington, DC, US EPA; 1996 (EPA/600/P-95/001aF).
63. American Conference of Governmental Industrial Hygienis (ACGIH) TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 2005.
64. European Committee for Standardization (CEN) Workplace atmospheres-size fraction definitions for measurement of airborne particles (Report No. BS EN 481:1993) London, England: CEN, British Standards Institute, 1993.
65. Rohr AC, Wyzga RE. Attributing health effects to individual particulate matter constituents. *Atmos Environ.* 2012;62:130–152.
66. Phalen RF. The particulate air pollution controversy. *Nonlinearity in biology, toxicology, medicine*, 2004;2(4):259-92.
67. Chow JC, Lowenthal DH, Chen LW, Wang X, Watson JG. Mass reconstruction methods for PM_{2.5}: a review. *Air Qual Atmos Health.* 2015;8(3):243-263.
68. Belis C, Karagulian F, Bo L, Hopke P. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmos. Environ.* 2013;69: 94-108.
69. Karagulian F, Belis CA, Dora C, Pruss-Ustun A. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*,2015;120:475-283.
70. Seinfeld JH, Pandis SN. *Atmospheric Chemistry and Physics: from Air Pollution to Climate Change* (second ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
71. Amato F, Pandolfi M, Escrig A, Querol X, Alastuey A, Pey J, et al. Quantifying road dust resuspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2. *Atmos. Environ.* 2009;43:2770-2780.
72. Brauer M, Amann M, Burnett RT, Cohen A, Dentener F, Ezzati M, et al. Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environ. Sci. Technol.* 2012;46:652-660.
73. Burnett RT, Pope CA 3rd, Ezzati M, Olives C, Lim SS, Mehta S, et al. An integrated risk function for estimating the global burden of disease attributable to ambient fine particulate matter exposure. *Environ Health Perspect.* 2014;122(4):397-403.

-
74. World Health Organization. Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012, Description of Method, Version 1.3. The Global Health Observatory. Geneva: WHO, 2014.
75. Mukherjee A, Agrawal M. A Global Perspective of Fine Particulate Matter Pollution and Its Health Effects. *Rev Environ Contam Toxicol*. 2018;244:5-51.
76. Doumbia EHT, Lioussé C, Galy-Lacaux C, Ndiaye SA, Diop B, Ouafou M, et al. Real time black carbon measurements in West and Central Africa urban sites. *Atmos Environ*. 2012; 54:529–537.
77. Colovic Daul M, Kryzanowski M, Kujundzic O. Air Pollution and Human Health: The Case of the Western Balkans. May 2019. Dostupno na: <https://www.developmentaid.org › cms › 2019/06>
78. Agencija za zaštitu životne sredine. Ministarstvo za zaštitu životne sredine, Republika Srbija. <http://www.sepa.gov.rs/>
79. Agencija za zaštitu životne sredine. Godišnji izveštaj o stanju kvaliteta vazduha u Republici Srbiji 2017. godine. Beograd: Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, 2018.
80. Rajsic SF, Tasic MD, Novakovic VT, Tomasevic MN. First assessment of the PM₁₀ and PM_{2,5} particulate level in the ambient air of Belgrade city. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2004;11(3):158-64.
81. Basagaña X, Jacquemin B, Karanasiou A, Ostro B, Querol X, Agis D, et al. Short-term effects of particulate matter constituents on daily hospitalizations and mortality in five South-European cities: results from the MED-PARTICLES project. *Environ Int*. 2015;75:151-8.
82. Harrison RM, Yin J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Sci Total Environ*. 2000;249(1-3):85-101.
83. Błaszczak B, Widziewicz-Rzońca K, Ziōła N, Klejnowski K, Juda-Rezler K. Chemical Characteristics of Fine Particulate Matter in Poland in Relation with Data from Selected Rural and Urban Background Stations in Europe. *Appl Sci*. 2019;9(1):98.

-
84. Mircea M, Calori G, Pirovano G, Belis CA. European Guide on Air Pollution Source Apportionment (SA) for estimating Particulate Matter (PM) source contributions with Source oriented Models (SMs) and combined use of SMs and Receptor Models (RMs). European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. 2014.
85. Krall JR. Statistical Methods for Linking The Chemical Composition Of Particulate Matter To Health Outcomes. Thesis (PhD). Baltimore: The Johns Hopkins University, Maryland, 2014.
86. Grobéty B, Gieré R, Dietze V, Stille P. Airborne particles in the urban environment. *Elements*. 2010;6(4):229–234.
87. Kundu S, Stone EA. Composition and sources of fine particulate matter across urban and rural sites in the Midwestern United States. *Environmental science: Processes & impacts*. 2014;16(6):1360-70.
88. Huaman de la Cruz A, Roca Y, Suarez-Salas L, Tolentino D. Chemical Characterization of PM_{2.5} at Rural and Urban Sites around the Metropolitan Area of Huancayo (Central Andes of Peru). *Atmosphere*. 2019;10. 21.
89. Bagtasa G, Cayetano MG, Yuan CS. Seasonal variation and chemical characterization of PM_{2.5} in northwestern Philippines. *Atmos Chem Phys*. 2015;18:4965-4980.
90. Harrison RM, Smith DJT, Pio CA, Castro LM. Comparative receptor modelling Study of airborne particulate pollutants in Birmingham (United Kingdom), Coimbra (Portugal) and Lahore (Pakistan). *Atmos Environ*. 1997a;31:3309-3321.
91. Rogula-Kozłowska W, Klejnowski K, Rogula-Kopiec P, Ośródka L, Krajny E, Błaszczak B, et al. Spatial and seasonal variability of the mass concentrations and chemical composition of PM_{2.5} in Poland. *Air Qual Atmos Health*. 2014;7:41–58.
92. Błaszczak B, Rogula-Kozłowska W, Mathews B, Juda-Rezler K, Klejnowski K, Rogula-Kopiec P. Chemical Compositions of PM_{2.5} at Two Non-Urban Sites from the Polluted Region in Europe. *Aerosol Air Qual Res*. 2016;16:2333–2348.
93. Philip S, Martin RV, van Donkelaar A, Lo JW, Wang Y, Chen D, et al. Global chemical composition of ambient fine particulate matter for exposure assessment. *Environ Sci Technol*. 2014;48(22):13060-13068.

-
94. Cheng Z, Luo L, Wang S, Wang Y, Sharma S, Shimadera H, et al. Status and characteristics of ambient PM_{2.5} pollution in global megacities. *Environ Int.* 2016; 89-90:212-21.
95. M Tasic, S Rajsic, V Novakovic and Z Mijic. An assessment of air quality in Belgrade urban area: PM₁₀, PM_{2,5} and trace metals. *Journal of Physics: Conference Series.* 2007;71(1), article id. 012016,13 pp.
96. Wu ZJ, Hu M, Liu S, Wehner B, Bauer S, Ssling AM, et al. New particle formation in Beijing, China: statistical analysis of a 1-year data set. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres.* 2007;112:10.
97. Tripathi S, Singh RN, Sharma S. Emissions from crop/biomass residue burning risk to atmospheric quality. *Int Res Earth Sci.* 2013;1:24–30.
98. Li H, Han Z, Cheng T, Du H, Kong L, Chen JM, et al. Agricultural Fire Impacts on the Air Quality of Shanghai during Summer Harvest time. *Aerosol Air Quality Res.* 2010;10:95–101.
99. Cheng Y, Engling G, He KB, Duan FK, Ma YL, Du ZY, et al. Biomass burning contribution to Beijing aerosol. *Atmos Chem Phys.* 2013;13:7765–7781.
100. Zhang YL, Huang RJ, El Haddad I, Ho KF, Cao JJ, et al. Fossil vs. non-fossil sources of fine carbonaceous aerosols in four Chinese cities during the extreme winter haze episode of 2013. *Atmos Chem Phys.* 2015;15:1299–1312.
101. Huang HL, Lee WG, Wu FS. Emissions of air pollutants from indoor charcoal barbecue. *J Hazard Mater.* 2015;302:198–207.
102. Zakey A, Abdelwahab MM, Pettersson JBC, Gatari MJ, Hallquist M. Seasonal and spatial variation of atmospheric particulate matter in a developing megacity, the greater Cairo, Egypt. *Atmosfera.* 2008;21:171–189
103. Murillo JH, Roman SR, Rojas Marin JF, Ramos AC, Jiménez BS, González BC, et al. Chemical characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. *Atmos Pollut Res.* 2013;4:181–190.
104. Thunis P, Degraeuwe B, Pisoni E, Trombetti M, Peduzzi E, Belis CA, et al. Urban PM_{2,5} Atlas - Air Quality in European cities, EUR 28804 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.

-
105. Viana M, Kuhlbusch TAJ, Querol X, Alastuey A, Harrison RM, Hopke PK, et al. Source apportionment of particulate matter in Europe: A Review of methods and results. Barcelona: Journal of Aerosol Science. 2008;39(10): 827-849.
106. Belis C, Larsen B, Amato F, Haddad I, Favez O, Harrison R, et al. European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models. Publications Office of the European Union, 2014. DOI:10.2788/9307.
107. Fragkou E, Douros I, Moussiopoulos N, Belis CA,. Current Trends in the use of Models for Source Apportionment of Air Pollutants in Europe. International Journal of Environment and Pollution. 2012; 50:(1-4):363-375.
108. Viana M, Pandolfi M, Minguillón MC, Querol X, Alastuey A, Monfort E, et al. Inter-comparison of receptor models for PM source apportionment: Case Study in an industrial area. Barcelona: Atmospheric Environment. 2007; 42 (16): 3820-3832
109. ICARUS. Horizon 2020. Societal Challenge: Improving the air quality and reducing the carbon footprint of European cities. Integrated Climate forcing and Air pollution Reduction in Urban Systems. Project: 690105 – ICARUS. Ares(2016)1512245, 2016.
110. Quass U, John AC, Kuhlbusch TAJ: Urban Air Quality in Europe. Berlin. Springer Berlin Heidelberg, 2012.
111. Lenschow P, Abraham HJ, Kutzner K, Lutz M, Preu JD, Reichenbacher W. Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment.2001;35(Suppl. 1):S23–S33.
112. AIRPARIF, LSCE. Source apportionment of airborne particles in the Ile-deFrance-Final Report, Edited, 171 pp. AIRPARIF and Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement. Paris. 2012. Engleska verzija: http://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/rapport-particulesanglais-120829.pdf
113. Hopke PK. Receptor Modeling for Air Quality Management. Amsterdam:Elsevier. 1991.
114. Liu Y, Zhao N, Vanos JK, Cao G,. Effects of synoptic weather on ground-level PM2.5 concentrations in the United States. Atmos Environ. 2017;148:297–305.
115. Chang W, Zhan J. The association of weather patterns with haze episodes: Recognition by PM2.5 oriented circulation classification applied in Xiamen, Southeastern China. Atmos Res. 2017;197:425-436.

-
116. Jones AM, Harrison RM, Baker J. The wind speed dependence of the concentrations of airborne particulate matter and NO_x. *Atmos. Environ.* 2010;44(13):1682–1690.
117. Pohjola M, Kousa A, Aarnio P, Koskentalo T, Kukkonen J, Härkönen J, et al. „Meteorological Interpretation of Measured Urban PM_{2.5} and PM₁₀ Concentrations in the Helsinki Metropolitan Area". In: Longhurst JWS, Brebbia CA, Power H (eds.), *Air Pollution VIII*. Wessex Institute of Technology Press, 2000:689-698.
118. Liu J, Cui S. Meteorological Influences on Seasonal Variation of Fine Particulate Matter in Cities over Southern Ontario, Canada. *Advances in Meteorology*. 2014:1-15.
119. Chen T, He J, Lu X, She J, Guan Z. Spatial and Temporal Variations of PM_{2.5} and Its Relation to Meteorological Factors in the Urban Area of Nanjing, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016;13(9):E921.
120. Brook JR, Lillyman CD, Shepherd MF, Mamedov A. Regional transport and urban contributions to fine particle (PM_{2.5}) concentrations in Southeastern Canada. *Journal of Air Waste Management Association* 2002;52:174–185.
121. Tai APK, Mickley LJ, Jacob DJ, Leibensperger EM, Zhang L, Fisher JA. Meteorological modes of variability for fine particulate matter (PM_{2.5}) air quality in the United States: implications for PM_{2.5} sensitivity to climate change," *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2012;12(6):3131–3145.
122. Jacob DJ, Winner DA. Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*. 2009;43(1):51–63.
123. Cooper OR, Moody JL, Parrish DD, Trainer M, Ryerson TB, Holloway JS, et al. Trace gas signatures of the airstreams within North Atlantic cyclones: case studies from the North Atlantic Regional Experiment (NARE '97) aircraft intensive. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*. 2001;106(6): 5437–5456.
124. Pohjola MA, Rantamäki M, Kukkonen J, Karppinen A, Berge E. Meteorological evaluation of a severe air pollution episode in Helsinki on 27-29 December 1995. *Boreal Environ Res*. 2004;9:75-87.
125. Yang Q, Yuan Q, Li T, Shen H, Zhang L. The Relationships between PM_{2.5} and Meteorological Factors in China: Seasonal and Regional Variations. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(12).

-
126. Liu F, Tan QW, Jiang X, Jiang WJ, Song DL. Effect of Relative Humidity on Particulate Matter Concentration and Visibility During Winter in Chengdu. *Huan Jing Ke Xue*. 2018;8;39(4):1466-1472.
127. Chen Z, Cai J, Gao B, Xu B, Dai S, He B, et al. Detecting the causality influence of individual meteorological factors on local PM_{2.5} concentration in the Jing-Jin-Ji region. *Sci Rep*. 2017;7:40735.
128. Boen Zhang. Influences of wind and precipitation on different-sized particulate matter concentrations (PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5-10}). *Meteorology and Atmospheric Physics*. 2018;(130):3: 383–392.
129. Harrison R. The impact of wind on particle mass concentrations in four european urban areas. *Global Nest Journal*. 2013;15(2):188-194.
130. Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004;109(21):2655-71.
131. Bezzemer Gillina FG. Particle deposition and clearance from the respiratory tract. Master thesis. Institute for Risk Assessment Sciences. University of Utrecht, Netherlands, 2009.
132. Partic Anderson JO, Thundiyil JG, Stolbach A. Clearing the air: A review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *J Med Toxicol*. 2012;8:166-75.
133. Venkataraman C, Kao AS. Comparison of particle lung doses from the fine and coarse fractions of urban PM-10 aerosols. *Inhal Toxicol* 1999;11:151-69.
134. Ching J, Kajino M. Aerosol mixing state matters for particles deposition in human respiratory system. *Sci Rep*. 2018;8(1):8864.
135. Hussain M, Pierre M. Lung deposition predictions of airborne particles and the emergence of contemporary diseases Part-I. *The Health*. 2011;2:51-56.
136. Stuart BO. Deposition and clearance of inhaled particles. *Environ. Health Perspect*. 1976:41- 53.
137. Wang J, Chen S, Zhu M, Miao C, Song Y, He H. Particulate Matter and Respiratory Diseases: How Far Have We Gone? *J Pulm Respir Med*. 2018;8(4):465.

-
138. Pasalic E, Hayat MJ, Greenwald R. Air pollution, physical activity, and markers of acute airway oxidative stress and inflammation in adolescents. *J Ga Public Health Assoc.* 2016;6(2S):314-330.
139. Du Y, Xu X, Chu M, Guo Y, Wang J. Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Journal of thoracic disease.* 2016;8(1):E8-E19.
140. Araujo JA. Particulate air pollution, systemic oxidative stress, inflammation, and atherosclerosis. *Air Qual Atmos Health.* 2010;10;4(1):79-93.
141. Trachootham D, Lu W, Ogasawara MA, Valle NR, Huang P. Redox Regulation of Cell Survival. *Antioxid Redox Sign.* 2007;10:1343-1374.
142. Li N, Hao M, Phalen RF, Hinds WC, Nel AE. Particulate air pollutants and asthma. A paradigm for the role of oxidative stress in PM-induced adverse health effects. *Clin Immunol.* 2003;109:250-265.
143. Li N, Wang M, Oberley TD, Sempf JM, Nel AE. Comparison of the pro-oxidative and proinflammatory effects of organic diesel exhaust particle chemicals in bronchial epithelial cells and macrophages. *J Immunol.* 2002;169:4531-4541.
144. Wright JC, Ding Y. Pathophysiological effects of particulate matter air pollution on the central nervous system. *Environ Dis* 2016;1:85-9.
145. Hollingsworth JW 2nd, Cook DN, Brass DM, Walker JK, Morgan DL, Foster WM, et al. The role of Toll-like receptor 4 in environmental airway injury in mice. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004;170:126-32.
146. von Bornstadt D, Kunz A, Endres M. Impact of particulate matter exposition on the risk of ischemic stroke: Epidemiologic evidence and putative mechanisms. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2014;34:215-20.
147. Dai J, Sun C, Yao Z, Chen W, Yu L, Long M. Exposure to concentrated ambient fine particulate matter disrupts vascular endothelial cell barrier function via the IL-6/HIF-1 alpha signaling pathway. *FEBS Open Bio.* 2016;6:720-8.
148. MacNee W. Oxidative stress and lung inflammation in airways disease." *European journal of Pharmacology.* 2001;429: 195-207.
149. Deng X, Zhang F, Wang L, Rui W, Long F, Zhao Y, et al. Airborne fine particulate matter induces multiple cell death pathways in human lung epithelial cells. *Apoptosis.* 2014;19: 1099-1112.

-
150. Schiliro T, Alessandria L, Degan R, Traversi D, Gilli G. Chemical characterisation and cytotoxic effects in A549 cells of urban-air PM10 collected in Torino, Italy. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2010;29: 150-157.
151. Peixoto MS, de Oliveira GM, Batistuzzo DMS. Cell death pathways of particulate matter toxicity. *Chemosphere.* 2017;188:32-48.
152. Hornberg C, Maciuleviciute L, Seemayer NH, Kainka E. Induction of sister chromatid exchanges (SCE) in human tracheal epithelial cells by the fractions PM-10 and PM-2.5 of airborne particulates. *Toxicol Lett.* 1998; 96-97: 215-220.
153. Wold LE, Simkhovich BZ, Kleinman MT, Nordlie MA, Dow JS, Sioutas C et al. In vivo and in vitro models to test the hypothesis of particle-induced effects on cardiac function and arrhythmias. *Cardiovasc Toxicol* 2006;6:69-78.
154. Simkhovich BZ, Marjoram P, Kleinman MT, et al. Direct and acute cardiotoxicity of ultrafine particles in young adult and old rat hearts. *Basic Res Cardiol.* 2007;102:467-75.
155. Simkhovich BZ, Kleinman MT, Kloner RA. Air pollution and cardiovascular injury epidemiology, toxicology, and mechanisms. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52:719-26.
156. Astort F, Sittner M, Ferraro SA, Orona NS, Maglione GA, De la Hoz A, et al. Pulmonary inflammation and cell death in mice after acute exposure to air particulate matter from an industrial region of Buenos Aires. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2014;67:87-96.
157. Ying Z, Kampfrath T, Thurston G, Farrar B, Lippmann M, Wang A, et al. Ambient particulates alter vascular function through induction of reactive oxygen and nitrogen species. *Toxicol Sci.* 2009;111:80-8.
158. Schriewer JM, Peek CB, Bass J, Schumacker PT. ROS-mediated PARP activity undermines mitochondrial function after permeability transition pore opening during myocardial ischemia-reperfusion. *J Am Heart Assoc.* 2013;2:e000159.
159. Perry VH. The influence of systemic inflammation on inflammation in the brain: implications for chronic neurodegenerative disease. *Brain behavior and immunity* 2004;18(5):407-413.

-
160. Zhong J, Urch B, Speck M, Coull BA, Koutrakis P, Thorne PS, et al. Endotoxin and β -1,3-d-Glucan in concentrated ambient particles induce rapid increase in blood pressure in controlled human exposures. *Hypertension*. 2015;66:509-16.
161. Cascio WE, Gilmour MI, Peden DB. Ambient air pollution and increases in blood pressure: Role for biological constituents of particulate matter. *Hypertension*. 2015;66:469-71.
162. Brook RD. Why physicians who treat hypertension should know more about air pollution. *J Clin Hypertens (Greenwich)*. 2007;9:629-35.
163. Wellenius GA, Boyle LD, Wilker EH, Sorond FA, Coull BA, Koutrakis P, et al. Ambient fine particulate matter alters cerebral hemodynamics in the elderly. *Stroke* 2013;44:1532-6.
164. Ngoc LTN, Kim M, Bui VKH, Park D, Lee YC. Particulate Matter Exposure of Passengers at Bus Stations: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(12). pii: E2886.
165. COMEAP. The Mortality Effects of Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution in the United Kingdom. Health Protection Agency for the Committee on the Medical Effects of Air Pollutants 2010. ISBN 978-0-85951-685-3.
166. Wain D. The effects of anthropogenic outdoor air pollution on human health. A summary report. Project AirSensa. Deliver Change Ltd. London, 2016. Dostupno na: <https://www.airsensa.com/wp-content/uploads/2018/12/Effects-of-Air-Pollution-on-Human-Health.pdf> (posećeno 19.06.2019.)
167. Priestly B, Ong J, Langley A, Dempsey J, Davies L, Fitzgerald J, et al. „Environmental health risk assessment“ in: Enhealth (ed), *Guidelines for Assessing Human Health Risks from Environmental Hazards*. Canberra, ACT: Australian Government. 2012.
168. Künzli N, Perez L, Rapp R. Air quality and health. European Respiratory Society. Lausanne. 2010. ISBN 978-1-84984-008-8. Dostupno na: <http://ersnet.org/images/stories/pdf/web-AQ2010-ENG.pdf>.
169. Bell ML, Samet JM, Dominici F. Time-Series Studies Of Particulate Matter. *Annu Rev Public Health*. 2004;25:247–80.
170. Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective

analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). *Lancet Oncol.* 2013;14(9):813-822.

171. Khafaie MA, Ojha A, Salvi SS, Yajnik CS. Methodological approach in air pollution health effect studies. *Journal of Air Pollution and Health.* 2016;1(3):219-226.

172. Shaddick G, Lee D, Wakefield J. Ecological bias in studies of the short-term effects of air pollution on health. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation.* 2013;22:65-74.

173. Katsouyanni K. Short-term health effects of particulate air pollution with special reference to the needs of Southern European countries. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly.* 2012;18(4):675–679.

174. Greenbaum DS, Bachmann JD, Krewski D, Samet JM, White R, Wyzga R. Particulate air pollution standards and morbidity and mortality: case study. *Am J Epidemiol.* 2001;154(Suppl.):78–90).

175. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int.* 2015;74:136-43.

176. Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Atkinson R, et al. The temporal pattern of mortality responses to air pollution: a multicity assessment of mortality displacement. *Epidemiology.* 2002;13(1):87-93.

177. World Health Organization. Health risk assessment of air pollution. General principles. Copenhagen:WHO Regional Office for Europe, 2016.

178. Pope CA 3rd, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;151(3 Pt 1):669-74.

179. Venners SA, Wang BY, Peng ZG, Xu Y, Wang LH, Xu XP. Particulate matter, sulfur dioxide, and daily mortality in Chongqing, China. *Environ. Health Perspect.* 2003;111(4): 562–567.

180. Pope CA, Burnett RT, Thurston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, et al. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution—Epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation.* 2004;109:71–77.

-
181. Samoli E, Analitis A, Touloumi G, Schwartz J, Anderson HR, Sunyer J, et al. Estimating the exposure-response relationships between particulate matter and mortality within the APHEA multicity project. *Environ Health Perspect.* 2005;113(1):88-95.
182. World Health Organization. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution—REVIHAAP Project: Final Technical Report. Bonn, Germany: WHO Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health, 2013.
183. Bijelović S. Činioci životne sredine kao pokazatelji uticaja na zdravlje ljudi. Doktorska disertacija. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, 2011.
184. World Health Organization. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva: WHO, 2006.
185. Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, et al. Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach.* *BMJ.* 1997;314(7095):1658-63.
186. Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y, et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology.* 2001;12(5):521-31.
187. Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Peacock J, et al. The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ Health Perspect.* 2003;111(9):1188-93.
188. Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Dockery DW, et al. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and mortality from air pollution in the United States. *Res Rep Health Eff Inst.* 2000;94(Pt 2):5-70; discussion 71-9.
189. Achilleos S, Kioumourtzoglou MA, Wu CD, Schwartz JD, Koutrakis P, Papatheodorou SI. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. *Environment international.* 2017;10;89-100.

-
190. Atkinson RW, Fuller GW, Anderson HR, Harrison RM, Armstrong B. Urban ambient particle metrics and health: a time-series analysis. *Epidemiology*. 2010; 21: 501–511.
191. Zanobetti A, Schwartz J. The effect of fine and coarse particulate air pollution on mortality: a national analysis. *Environ Health Perspect*. 2009;117:898–903.
192. Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, Ostro B, Alessandrini E, Basagaña X, et al. Which specific causes of death are associated with short term exposure to fine and coarse particles in Southern Europe? Results from the MED-PARTICLES project. *Environment International*. 2014;67:54–61.
193. Janssen NA, Fischer P, Marra M, Ameling C, Cassee FR. Short-term effects of PM_{2.5}, PM₁₀ and PM_{2.5–10} on daily mortality in the Netherlands. *Science of The Total Environment*. 2013;463–464:20–26.
194. Chen R, Yin P, Meng X, Liu C, Wang L, Xu X, et al. Fine Particulate Air Pollution and Daily Mortality. A Nationwide Analysis in 272 Chinese Cities. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;196(1):73-81.
195. Shang Y, Sun Z, Cao J, Wang X, Zhong L, Bi X, et al. Systematic review of Chinese studies of short-term exposure to air pollution and daily mortality. *Environ Int*. 2013;54: 100-111.
196. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA*. 2006;295(10):1127-34.
197. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. *Thorax*. 2014; 69(7):660-665.
198. Kaufman JD, Adar SD, Barr RG, Budoff M, Burke GL, Curl CL, et al. Association between air pollution and coronary artery calcification within six metropolitan areas in the USA (the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis and Air Pollution): a longitudinal cohort study. *The Lancet*. 2016; 388(10045):696-04.
199. Tian Y, Xiang X, Wu Y, Cao Y, Song J, Sun K, et al. Fine Particulate Air Pollution and First Hospital Admissions for Ischemic Stroke in Beijing, China. *Sci Rep*. 2017;20;7(1):3897.

-
200. Amsalu E, Wang T, Li H, Liu Y, Wang A, Liu X, et al. Acute effects of fine particulate matter (PM_{2,5}) on hospital admissions for cardiovascular disease in Beijing, China: a time-series study. *Environ Health*. 2019;18(1):70.
201. Zhou J, Ito K, Lall R, Lippmann M, Thurston G. Time-series analysis of mortality effects of fine particulate matter components in Detroit and Seattle. *Environ Health Perspect*. 2011;119(4):461-6.
202. van Donkelaar A, Martin RV, Brauer M, Kahn R, Levy R, Verduzco C, et al. Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application. *Environ Health Perspect*. 2010;118(6):847-55.
203. Geng F, Hua J, Mu Z, Peng L, Xu X, Chen R, Kan H. Differentiating the associations of black carbon and fine particle with daily mortality in a Chinese city. *Environ Res*. 2013 Jan;120:27-32.
204. Son JY, Lee JT, Kim KH, Jung K, Bell ML. Characterization of fine particulate matter and associations between particulate chemical constituents and mortality in Seoul, Korea *Environ Health Perspect*. 2012;120(6):872-878.
205. Pun VC, Yu IT, Qiu H, Ho KF, Sun Z, Louie PK, et al. Short-Term Associations of Cause-Specific Emergency Hospitalizations and Particulate Matter Chemical Components in Hong Kong. *Am J Epidemiol*. 2014;179(9):1086-95.
206. Ito K, Mathes R, Ross Z, Nádas A, Thurston G, Matte T. Fine particulate matter constituents associated with cardiovascular hospitalizations and mortality in New York City. *Environ Health Perspect*. 2011;119(4):467-73.
207. Mar TF, Norris GA, Koenig JQ, Larson TV. Associations between air pollution and mortality in Phoenix, 1995–1997. *Environ Health Perspect*. 2000;108:347–353.
208. Ostro B, Feng WY, Broadwin R, Green S, Lipsett M. The effects of components of fine particulate air pollution on mortality in California: results from CALFINE. *Environ Health Perspect*. 2007;115:13–19.
209. Atkinson RW, Mills IC, Walton HA, Anderson HR. Fine particle components and health—a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015;25(2):208–214.

-
210. Peng RD, Bell ML, Geyh AS, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, et al. Emergency admissions for cardiovascular and respiratory diseases and the chemical composition of fine particle air pollution. *Environ Health Perspect.* 2009;117:957–963.
211. Levy JI, Diez D, Dou Y, Barr CD, Dominici F. A meta-analysis and multisite time series analysis of the differential toxicity of major fine particulate matter constituents. *Am J Epidemiol.* 2012;175:1091–1099.
212. Zakon o zaštiti vazduha, Službeni glasnik Republike Srbije broj 36/09 i 10/13.
213. US Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. 71 Federal Register 61144-61233, October 17, 2006.
214. US Environmental Protection Agency. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. 78 Federal Register 3086, January 15, 2013.
215. Council Directive 2008/50/EC, on ambient air quality and cleaner air for Europe. *Official Journal L 152*, 11/06/2008 P. 0001–0044.
216. Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha. Službeni glasnik Republike Srbije, broj 11/10, 75/10 i 63/13.
217. Gradska uprava za zaštitu životne sredine, Grada Novi Sad. Program zaštite životne sredine Grada Novog Sada za period 2015-2024. godine. Službeni list Grada Novog Sada, broj 22/15.
218. Uredba o određivanju zona i aglomeracija, Službeni glasnik Republike Srbije, broj 58/2011 i 98/2012.
219. Skupština Grada Novog Sada. Prostorni plan Grada Novog Sada. Službeni list grada Novog Sada, broj 11/2012.
220. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Novom Sadu. Plan kvaliteta vazduha u Novom Sadu. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet; 2016.
221. Skupština Grada Novog Sada. Strategija pristupačnosti Grada Novog Sada (2012-2018. GODINE). Službeni list Grada Novog Sada, br. 21/2012.
222. Institut za javno zdravlje Vojvodine. Zdravstveni profil Grada Novog Sada i okvir gradskog plana za zdravlje. Novi Sad: Institut za javno zdravlje Vojvodine; 2016
223. Unger J, Savić S, Gál T. Modelling of the Annual Mean Urban Heat Island Pattern for Planning of Representative Urban Climate Station Network. *Advances in Meteorology.* 2011a; vol. 2011, Article ID 398613, 9 pages.

-
224. Dragić N. Kvalitet vazduha životne sredine i zdravlje stanovništva Grada Novog Sada. Specijalistički rad. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet; 2018.
225. Mihailović D, Lalić B, Arsenić I. Praktikum iz meteorologije. Novi Sad: Poljoprivredni fakultet; 2008.
226. Republički hidrometeorološki zavod Srbije. Klimatske karakteristike Srbije. Beograd: Republički hidrometeorološki zavod Srbije; 2016.
227. Spangl W, Schneider J, Moosmann L, Nagl C. Final Report: Representativeness and classification of air quality monitoring stations. Brussels: European Commission; 2007.
228. RICARDO-AEA. A review of air quality station type classifications for UK compliance monitoring. Ricardo-AEA/R/EDED46644/Issue Number 1. 2013.
229. Larssen S, Sluyter R, Helmis C. Criteria for EUROAIRNET the EEA Air Quality Monitoring and Information Network, Technical Report No. 12. Copenhagen; 1999:56 pp.
230. Institut za standardizaciju Srbije. SRPS EN 12341:2015. Vazduh ambijenta — Standardna gravimetrijska metoda merenja za određivanje PM10 ili PM2,5 masene koncentracije suspendovanih čestica.
231. Institut za standardizaciju Srbije. SRPS EN ISO 14911:1999. Kvalitet vode - Određivanje rastvorenog Li+, Na+, NH4+, K+, Mn2+, Ca2+, Mg2+ Sr2+ i Ba2+jonskom hromatografijom - Metoda za vodu i otpadnu vodu.
232. Institut za standardizaciju Srbije. SRPS EN ISO 10304-1:2009. Kvalitet vode - Određivanje rastvorenih anjona tečnom hromatografijom - Deo 1: Određivanje bromida, hlorida, fluorida, nitrata, nitrita, fosfata i sulfata.
233. Institut za standardizaciju Srbije. SRPS ISO 8245:2007. Kvalitet vode - Smernice za određivanje ukupnog organskog ugljenika (TOC) i rastvorenog organskog ugljenika (DOC).
234. Snider G, Weagle CL, Murdymootoo KK, Ring A, Ritchie Y, Stone E, et al. Variation in Global Chemical Composition of PM2.5: emerging results from SPARTAN. Atmos. Chem. Phys. 2016;16(15):9629–9653.
235. Weagle WL, Snider G, Chi Li C, van Donkelaar A, Philip S, Bissonnette P, et al. Global Sources of Fine Particulate Matter: Interpretation of PM2.5 Chemical Composition Observed by SPARTAN using a Global Chemical Transport Model. Environ Sci Technol. 2018;52:11670–11681.

-
236. Kumar R, Srivastava SS, Kumari KM. Characteristics of Aerosols over Urban and Suburban Site of Semiarid Region in India: Seasonal and Spatial Variations. *Aerosol Air Qual Res.* 2007;7:531–549.
237. Republički hidrometeorološki zavod. Republika Srbija. Meteorološki godišnjak – klimatološki podaci. Dostupno na: http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteo_godisnjaci (posećeno:19.02.2019)
238. World Health Organization. Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution. Copenhagen, World Health Organization, Regional Office for Europe, 2001
239. Statut Grada Novog Sada, Sl. list Grada Novog Sada, br. 43/2008.
240. Evans JD. Straightforward statistics for the behavioral sciences. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing, 1996.
241. Little RJ, Rubin DB. Statistical analysis with missing data. Hoboken: J Wiley and Sons, 2002.
242. Zhang G, Rui X, Fan Y. Critical Review of Methods to Estimate PM_{2,5} Concentrations within Specified Research Region. *ISPRS Int J Geo-Inf.* 2018;7(9):368.
243. Yin Zhao. Data mining algorithms for predicting PM_{2,5} concentration level in Hong Kong. Master Thesis. Universiti Sains Malaysia, 2014.
244. US Environmental Protection Agency. Guideline for Reporting of Daily Air Quality—Air Quality Index (AQI) (EPA-454/R-99-010). Durham, NC: Office of Air Quality Planning and Standards, 1999.
245. US Environmental Protection Agency. Revised air quality standards for particle pollution and updates to the air quality index (AQI), 2012. Dostupno na: https://www.epa.gov/sites/production/files/201604/documents/2012_aqi_factsheet.pdf (posećeno 14.02.2019.)
246. Kovačević RM. Sadržaj i sastav respirabilnih čestica u urbanoj sredini grada Bora. Doktorska disertacija. Beograd:Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu; 2016.
247. De Souza Tadano Y, Ugaya CML, Franco AT. „Methodology to assess air pollution impact on human health using the generalized linear model with poisson regression“. In: Khare M (editor), *Air pollution - monitoring, modelling and health*. Rijeka: InTech, 2012.

-
248. Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, Smeeth L, Armstrong B. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol*. 2013;42(4):1187-1195.
249. Wang P, Putterman ML, Cockburn IM, Le N. Mixed poisson regression models with covariate dependent rates. *Biometrics*. 1996;52:381-400.
250. Payne EH, Gebregziabher M, Hardin JW, Ramakrishnan V, Egede LE. An empirical approach to determine a threshold for assessing overdispersion in Poisson and negative binomial models for count data. *Commun Stat Simul Comput*. 2018;47(6):1722-1738.
251. Health Effects Institute. State of Global Air 2019. Special Report. Boston, MA:Health Effects Institute, 2019.
252. McNeill VF. Addressing the global air pollution crisis: chemistry's role. *Trends in Chemistry*. 2019;1(1):5-8
253. World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. Guidelines for air quality. World Health Organization. 2000. Dostupno na: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66537>
254. The World Bank. Data: PM2.5 air pollution, mean annual exposure (micrograms per cubic meter) – Serbia. Brauer M. et al. 2017, for the Global Burden of Disease Study 2017. Dostupno na: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.PM25.MC.M3?contextual=similar&locations=RS> (posećeno: 13.08.2019)
255. Giannadaki D, Lelieveld J, Pozzer A. Implementing the US air quality standard for PM_{2,5} worldwide can prevent millions of premature deaths per year. *Environ Health*. 2016 Aug 23;15(1):88.
256. European Environment Agency. Air quality in Europe — 2017 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EEA), 2017.
257. Han L, Zhou W, Li W. Fine particulate (PM_{2,5}) dynamics during rapid urbanization in Beijing, 1973–2013. *Sci Rep*. 2016 Mar 31;6:23604.
258. Xie W, Deng H, Chong Z. The Spatial and Heterogeneity Impacts of Population Urbanization on Fine Particulate (PM_{2,5}) in the Yangtze River Economic Belt, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;23;16(6):1058.

-
259. Centar za prostorne informacije Vojvodine. Demografski razvoj grada. Novi Sad, 2009. Dostupno na:
<http://www.nsurbanizam.rs/sites/default/files/1825-Demografska%20studija.pdf>
260. Datta P. Urbanization in India, Regional and Sub-Regional Population Dynamic Population Process in Urban Areas. European Population Conference. 2006;21-24.
261. Lee M. An analysis on the concentration characteristics of PM_{2,5} in Seoul, Korea from 2005 to 2012. *Asia-Pac Atmos. Sci.* 2014;50(S):33-42.
262. Leem JH, Kim ST, Kim HC. Public-health impact of outdoor air pollution for 2(nd) air pollution management policy in Seoul metropolitan area, Korea. *Ann Occup Environ Med.* 2015;27:7.
263. Park SH, Ko DW. Investigating the Effects of the Built Environment on PM_{2,5} and PM₁₀: A Case Study of Seoul Metropolitan City, South Korea. *Sustainability.* 2018;10:4552.
264. Wang J, Ogawa S. Effects of Meteorological Conditions on PM_{2.5} Concentrations in Nagasaki, Japan. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(8):9089-101.
265. Li J, Wang G, Wang X, Cao J, Sun T, Cheng C. Et al.. Abundance, composition and source of atmospheric PM_{2.5} at a remote site in the Tibetan Plateau, China. *Tellus B: Chem Phys Meteorol.* 2013;65(1):20281.
266. Luo J, Du P, Samat A, Xia J, Che M, Xu Z. Spatiotemporal Pattern of PM_{2.5} Concentrations in Mainland China and Analysis of Its Influencing Factors using Geographically Weighted Regression. *Sci. Rep.* 2017;7:40607.
267. Nieuwstadt F. The Turbulent Structure of the Stable, Nocturnal Boundary Layer. *J. Atmos. Sci.* 1984;41:2202–2216.
268. Tran H N, Mölders N. Investigations on meteorological conditions for elevated PM_{2.5} in Fairbanks, Alaska. *Atmos. Res.* 2011;99(1):39-49.
269. Kumagai K, Iijima A, Tago H, Tomioka A, Kozawa K, Sakamoto K. Seasonal characteristics of water-soluble organic carbon in atmospheric particles in the inland Kanto plain, Japan. *Atmos Environ.* 2009;43:3345–3351.
270. Gioda A, Ventura LMB, Ramos MB, Silva MPR. Half century monitoring air pollution in a megacity: a case study of Rio de Janeiro. *Water Air Soil Pollut.* 2016;227:86–99.

-
271. Pathak RK, Wu WS, Wang T. Summertime PM_{2,5} ionic species in four major cities of China, nitrate formation in an ammonia-deficient atmosphere. *Atmos Chem Phys*. 2009;9:1711–1722.
272. Zhang T, Cao JJ, Tie XX, Shen ZX, Liu SX, Ding H, et al. Water-soluble ions in atmospheric aerosols measured in Xi'an, China: seasonal variations and sources. *Atmos Res*. 2011;102:110–119.
273. Mariani R, Williams M. PM_{2.5–10}, PM_{2.5} and associated water-soluble inorganic species at a coastal urban site in the metropolitan region of Rio de Janeiro. *Atmospheric Environment*. 2007;41:2887–2892.
274. Deshmukh D, Deb M, Tsai Y, Mkombe S. Water Soluble Ions in PM_{2.5} and PM₁₀ Aerosols in Durg City, Chhattisgarh, India. *Aerosol and Air Quality Research*. 2011;11:696–708.
275. Adamson IYR, Prieditis H, Vincent R. Pulmonary toxicity of atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction. *Toxicol Applied Pharm*. 1999;157:43–50.
276. Ventura LM, Mateus VL, Almeida A, Wanderley KB, Taira FT, Saint'Pierre TD, et al. Chemical composition of fine particles (PM_{2.5}): water-soluble organic fraction and trace metals. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2017;10:845–852.
277. Salam A, Assaduzzaman Md, Hossain MN, Nur Alam Siddiki AKM. Water Soluble Ionic Species in the Atmospheric Fine Particulate Matters (PM_{2,5}) in a Southeast Asian Mega City (Dhaka, Bangladesh). *Open Journal of Air Pollution*. 2015;4:99–10.
278. European Environment Agency. Air quality in Europe — 2013 report. EEA Report No 9/2013. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
279. Voutsas D, Constantini S, Evangelia M, Lazarou D, Tzoumaka P. Ionic composition of PM_{2.5} at urban sites of northern Greece: Secondary inorganic aerosol formation. *Environmental science and pollution research international*. 2013;21.
280. European Environment Agency. NEC Directive status report 2011, EEA Technical report No 6/2012. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
281. Belis C, Georgieva E, Janos O, Segal K, Török S, Veleva B, et al. A comparative analysis of the causes of air pollution in three cities of the Danube region: implications for the implementation of the air quality directives. Publications Office of the European Union, 2015.

-
282. Petrović J. Ekološki aspekti rada termoenergetskih postrojenja u Novom Sadu – aerozagađenje. Doktorska disertacija. Novi Sad: Fakultet zaštite životne sredine, Univerzitet Edukons. Sremska Kamenica, 2017.
283. Querol X, Pey J, Pandolf M, Alastuey A, Cusack M, Pérez N, et al.. African dust contributions to mean ambient PM10 mass-levels across the Mediterranean Basin. *Atmos Environ.* 2009;43(28):4266–4277.
284. European Environment Agency. Air Quality in Europe—2014 Report. Contribution of industry to pollutant emissions to air and water. AMEC Environment & Infrastructure UK Limited in partnership with Bio Intelligence Service, Milieu, IEEP and REC. European Commission, EEA, 2014.
285. Koulouri E, Saarikobski S, Theodosi C, Markaki Z, Gerasopoulos E, Kouvarakis G et al. Chemical composition and sources of fine and coarse aerosol particles in the Eastern Mediterranean. *Atmos. Environ.* 2008;42(26):6542–6550.
286. Andrews E, Saxena P, Musarra S, Hildemann L.M, Koutrakis P, McMurry PH, et al Concentration and Composition of Atmospheric Aerosols From the 1995 SEAVS Experiment and a Review of the Closure Between Chemical and Gravimetric Measurements; *J Air & Waste Manage Assoc.* 2000;50:648-664.
287. Castro LM, Pio CA, Harrison RM, Smith DJT. Carbonaceous Aerosol in Urban and Rural European Atmospheres: Estimation of Secondary Organic Carbon Concentrations; *Atmos Environ.* 1999;33:2771-2781.
288. Gray HA, Cass GR, Huntzicker JJ, Heyerdahl EK, Rau JA. Characteristics of Atmospheric Organic and Elemental Carbon Particle Concentrations in Los Angeles. *Environ Sci Technol.* 1986 Jun;20(6):580-9.
289. Shah JJ, Johnson RL, Heyerdahl EK, Huntzicker JJ. Carbonaceous Aerosol at Urban and Rural Sites in the United States; *J. Air Pollut. Control Assoc.* 1986;36:254-257.
290. Saxena P, Hildemann LM. Water-soluble organics in atmospheric particles: a critical review of the literature and application of thermodynamics to identify candidate compounds. *J Atmos Chem.* 1996;24:57–109.
291. Wozniak AS, Shelley RU, Sleighter RL, Abdulla HAN, Morton PL, Landing WM, et al. Relationships among aerosol water-soluble organic matter, iron and aluminum in European, North African, and Marine air masses from the 2010 USGEOTRACES cruise. *Marine Chem.* 2013;154:24–33.

-
292. Urban RC, Lima-Souza M, Caetano-Silva L, Queiroz MEC, NogueiraRFP, Allen AG, et al. Use of levoglucosan, potassium, and water-soluble organic carbon to characterize the origins of biomass-burning aerosols. *Atmos Environ.* 2012;61:562–569.
293. Tao J, Zhang L, Engling G, ZhangR, Yang Y, Cao J, et al. Chemical composition of PM_{2.5} in an urban environment in Chengdu, China: importance of springtime dust storms and bio-mass burning. *Atmos Res.* 2013;122:270–283.
294. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-qualitystatistics-expert-viewer> in: „European Environment Agency. Air quality in Europe — 2018 report. EEA Report No 12/2018. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EEA); 2018“. (posećeno: 31.08.2019.)
295. Joksic J, Jovašević-Stojanović M, Bartonova A, Radenković M, Yttr KE, Matić-Besarabić S, Ignjatović LJ. Physical and chemical characterization of the particulate matter suspended in aerosols from the urban area of Belgrade. *Journal of the Serbian Chemical Society.* 2009; 74(11):1319-1333.
296. Salameh D, Detournay A, Pey J, Pérez N, Liguori F, et al. PM_{2.5} chemical composition in five European Mediterranean cities: A 1-year study. *Atmospheric Research, Elsevier.* 2015;155:102 – 117.
297. Rajput P, Sarin MM, & Kundu SS. Atmospheric particulate matter (PM_{2.5}), EC, OC, WSOC and PAHs from NE–Himalaya: abundances and chemical characteristics. *Atmospheric Pollution Research.* 2013;4:214-221.
298. Wang Y, Zhuang G, Zhang X, Huang K, Xu C, Tang A, et al. The Ion Chemistry, Seasonal Cycle, and Sources of PM_{2.5} and TSP Aerosol in Shanghai. *Atmos. Environ.* 2006;40:2935–2952.
299. Bhaskar BV, Mehta VM. Atmospheric Particulate Pollutants and their Relationship with Meteorology in Ahmedabad. *Aerosol Air Qual Res.* 2010;10:301–315.
300. Utsunomiya A, Shinji W. Temperature and Humidity Dependence on Aerosol Composition in the Northern Kyushu, Japan. *Atmos. Environ.* 1996;30:2379–2386.
301. Han Y, Tae SK, Kim H. Ionic Constituents and Source Analysis of PM_{2.5} in Three Korean Cities. *Atmos. Environ.* 2008;42:4735–4746.

-
302. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Fourth Assessment Report 2007, London: Cambridge University Press, IPCC, 2007.
303. Westberg HM, Byström M, Leckner B. Distribution of potassium, chlorine, and sulfur between solid and vapor phases during combustion of wood chips and coal. *Energy & Fuels*. 2003;17 (1):18-28.
304. Gao X, Yang L, Cheng S, Xiang Gao R, Zhou Y, Xue L, et al. Semi-continuous measurement of water-soluble ions in PM 2.5 in Jinan, China: Temporal variations and source apportionments. *Atmospheric Environment*. 2011;45:6048-6056.
305. Sun Y, Zhuang GS, Tang AH, Wang Y, An ZS. Chemical characteristics of PM2.5 and PM10 in haze-fog episodes in Beijing. *Environmental Science & Technology*. 2006;40(10): 3148-3155.
306. Stojić AM. Analiza raspodela i dinamike isparljivih organskih jedinjenja i aerosola u troposferi: Lidar i masena spektrometrija. Doktorska disertacija. Beograd: Fizički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2015.
307. Liu Z, Gao W, Yu Y, Hu B, Xin J, Sun Y, et al. Characteristics of PM2.5 mass concentrations and chemical species in urban and background areas of China: emerging results from the CARE-China network, *Atmos. Chem. Phys.* 2018;18:8849–8871.
308. Zhou S, Wu L, Guo J, Chen W, Wang X, Zhao J, et al. Vertical distribution of atmospheric particulate matters within urban boundary layer in southern China: size-segregated chemical composition and secondary formation through cloud processing and heterogeneous reactions, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2019;1-29.
309. Yin J, Allen A, Harrison R, Jennings S, Wright E, Fitzpatrick M, et al. Major component composition of urban PM 10 and PM 2.5 in Ireland. *Atmospheric Research*. 2005;78:149-165.
310. Myhre G, Grini A, Metzger S. Modelling of nitrate and ammonium-containing aerosols in presence of sea salt. *Atmos Chem Phys*. 2006;6:4809–4821.
311. Riemer N, Vogel H, Vogel B, Schell B, Ackermann I, Kessler C, et al. Impact of the heterogeneous hydrolysis of N2O5 on chemistry and nitrate aerosol formation in the lower troposphere under photosmog conditions. *J Geophys Res Atmos*. 2003;108:D4.

-
312. Kim MJ. Sensitivity of Nitrate Aerosol Production to Vehicular Emissions in an Urban Street. *Atmosphere*. 2019;10: 212.
313. Thunis P. On the validity of the incremental approach to estimate the impact of cities on air quality. *Atmospheric Environment*. 2017;173.
314. Pant P, Harrison RM. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmos. Environ*. 2013;77:78–97.
315. Shen X, Yao Z, Zhang Q, Wagner DV, Huo H, Zhang Y, et al. Development of database of real-world diesel vehicle emission factors for china. *J Environ Sci*. 2015;31:209–220.
316. Fang X, Li R, Xu Q, Bottai M, Fang F, Cao Y. A Two-Stage Method to Estimate the Contribution of Road Traffic to PM_{2.5} Concentrations in Beijing, China. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(1):124.
317. Air Quality Expert Group. Fine Particulate Matter (PM_{2,5}) in the United Kingdom. Air Quality Expert Group: Department for Environment, Food and Rural Affairs. London, UK: AQEG; 2012.
318. Pope FD, Gatari M, Ng'ang'a D, Poynter A, Blake R. Airborne particulate matter monitoring in Kenya using calibrated low-cost sensors. *Atmos Chem Phys*. 2018;18:15403–15418.
319. Tiitta P, Raunemaa T, Tissari J, Ili-Tuomi T, Leskinen A, Kukkonen J, et al. Measurements and modelling of PM_{2.5} concentrations near a major road in Kuopio, Finland, *Atmospheric Environment*. 2002;36:4057–4068.
320. Wrobel E, Rokita W. Maenhaut Transport of traffic-related aerosols in urban areas. *Science of the Total Environment*. 2000;257:199-211.
321. Barrowcliffe R, Newton A, Harrison R, Jones A. Sources of Particulate Matter in Urban Areas: TRAMAQ Project UG 250. United Kingdom: Department of Transport (DoT), 2002.
322. Economopoulou AA, Economopoulos AA. Air pollution in Athens Basin and health risk assessment *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002;80:277-299.
323. Marco Pandolf. Long range and local air pollution: what can we learn from 2 chemical speciation of particulate matter at paired sites? *Atmos Che Phys Discuss*. 2019;1-49.

-
324. Thunis P, Clappier A, Tarrason L, Cuvelier C, Monteiro A, Pisoni E, et al. (). Source apportionment to support air quality planning: Strengths and weaknesses of existing approaches. *Environment International*. 2019;130:104825.
325. . Zhou Y, Levy JI. The impact of urban street canyons on population exposure to traffic-related primary pollutants, *Atmos. Environ*. 2008;42:3087–3098.
326. Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli N, et al. „Urban air pollution“ in: Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Murray CJL (eds). *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*. Geneva: World Health Organization, 2004;2:1353–1433.
327. Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc*. 2002;287:1132–1141.
328. Burnett RT, Stieb D, Brook JR, Cakmak S, Dales R, Raizenne M, Vincent R, Dann T. Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Arch Environ Health*. 2004;59(5):228-36.
329. World Health Organization. Health risks of air pollution in Europe—HRAPIE project: recommendations for concentration-response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2013.
330. Perez L, Tobias A, Querol X, Künzli N, Pey J, Alastuey A, et al. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology*. 2008;19(6):800-807.
331. Janssen NA, Hoek G, Simic-Lawson M, Fischer P, van Bree L, ten Brink H, et al. Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environ Health Perspect*. 2011;119(12):1691-9.
332. Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Le Moual N, Cantagrel A, Amnesi-Maesano, et al. 2005. Twenty five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occup Environ Med*. 62:453–460.
333. Smith KR, Jerrett M, Anderson HR, Burnett RT, Stone V, Derwent R.. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: health implications of short-lived greenhouse pollutants. *Lancet*. 2009;374:2091–2103.

-
334. Cox LA Jr, Popken DA, Ricci PF. Warmer is healthier: effects on mortality rates of changes in average fine particulate matter (PM_{2,5}) concentrations and temperatures in 100 U.S. cities. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2013; 66:336–346.
335. Devlin RB, Ghio AJ, Kehrl H, Sanders G, Cascio W. Elderly humans exposed to concentrated air pollution particles have decreased heart rate variability. *Eur Respir J Suppl*. 2003;40:76s–80s.
336. Pothirat C, Chaiwong W, Liwsrisakun C, Bumroongkit C, Deesomchok A, Theerakittikul T, et al. Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. *J Thorac Dis* 2019;11(7):3070-3083.
337. Garcia CA, Yap PS, Park HY, Weller BL. Association of long-term PM_{2,5} exposure with mortality using different air pollution exposure models: impacts in rural and urban California. *Int J Environ Health Res*. 2016;26(2):145-57.
338. Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manag Assoc*. 1996;46:927-39.
339. Viegi G, Maio S, Simoni M, et al. The epidemiological link between ageing and respiratory diseases. In: Bellia V, Incalzi RA (eds). *European Respiratory Monograph 43: Respiratory Diseases in the Elderly*. Plymouth: European Respiratory Society, 2009:1-17
340. Bateson TF, Schwartz J. Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? A case-crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology*. 2004;15(2):143-9.
341. Goldberg MS, Burnett RT, Stieb DM, Brophy JM, Daskalopoulou SS, Valois MF, et al. Associations between ambient air pollution and daily mortality among elderly persons in Montreal, Quebec. *Sci Total Environ*. 2013; 463-464():931-42.
342. Simoni M, Baldacci S, Maio S, Cerrai S, Sarno G, Viegi G. Adverse effects of outdoor pollution in the elderly. *J Thorac Dis*. 2015;7(1):34-45.
343. Clougherty JE. A growing role for gender analysis in air pollution epidemiology. *Environ Health Perspect*. 2010;118(2):167-76.
344. Xu X, Li B, Wang L. Gender difference in smoking effects on adult pulmonary function. *Eur Respir J*. 1994;7(3):477-83.

-
345. Bolego C, Poli A, Paoletti R. Smoking and gender. *Cardiovasc Res.* 2002;53(3):568–576.
346. Prescott E, Bjerg AM, Andersen PK, Lange P, Vestbo J. Gender difference in smoking effects on lung function and risk of hospitalization for COPD: results from a Danish longitudinal population study. *Eur Respir J.* 1997;10(4):822–827.
347. Frazier EL, McCurdy T, Williams R, Linn WS, George BJ. Intra- and inter-individual variability in location data for two U.S. health-compromised elderly cohorts. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2009;19(6):580–592.
348. Bennett KM. Gender and longitudinal changes in physical activities in later life. *Age Ageing.* 1998;27(Suppl 3):24–28.
349. Martin KR, Koster A, Murphy RA, Van Domelen DR, Hung MY, Brychta RJ, et al. Changes in daily activity patterns with age in u.s. Men and women: national health and nutrition examination survey 2003–04 and 2005–06. *J Am Geriatr Soc.* 2014;62(7):1263–1271.
350. Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Personal exposure to ultrafine particles: the influence of time-activity patterns. *Sci Total Environ.* 2014;468–469:903–907.
351. Vahedian M, Khanjani N, Mirzaee M, Koolivand A. Ambient air pollution and daily hospital admissions for cardiovascular diseases in Arak, Iran. *ARYA Atheroscler.* 2017;13(3):117-134.
352. Bell ML, Son JY, Peng RD, Wang Y, Dominici F. Ambient PM_{2.5} and Risk of Hospital Admissions: Do Risks Differ for Men and Women? *Epidemiology.* 2015;26(4):575-9.
353. Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA III, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;121:2331–2378.
354. Dominici F, McDermott A, Daniels M, Zeger SL, Samet JMJ. Revised analyses of the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study: mortality among residents of 90 cities. *Toxicol Environ Health A.* 2005;68(13-14):1071-92.
355. Milojevic A, Wilkinson P, Armstrong B, Bhaskaran K, Smeeth L, Hajat S. Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: Case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart.* 2014;100(14):1093–8.

-
356. Lanzinger S, Schneider A, Breitner S, Eržen I, Dostál M, Pastorkova A, et al. Ultrafine and Fine Particles and Hospital Admissions in Central Europe, Results from the UFIREG Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2016;194(10):1233-1241.
357. Fiordelisi A, Piscitelli P, Trimarco B, Coscioni E, Iaccarino G, Sorriento D. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases. 2017;22:337–347.
358. Auchincloss AH, Diez Roux AV, Dvonch JT, Brown PL, Barr RG, Daviglius ML, et al. Associations between recent exposure to ambient fine particulate matter and blood pressure in the Multiethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Environ Health Perspect*. 2008;116:486–491.
359. Yamazaki S, Nitta H, Ono M, Green J, Fukuhara S. Intracerebral haemorrhage associated with hourly concentration of ambient particulate matter: case-crossover analysis. *Occup Environ Med*. 2007;64:17–24.
360. Mustafic H, Jabre P, Caussin C, Murad MH, Escolano S, Tafflet M, et al. Main Air Pollutants and Myocardial Infarction A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA*. 2012;307(7):713-21.
361. Anderson HR, Bremner S, Atkinson RW, Harrison R, Walters S. Particulate matter and daily mortality and hospital admissions in the West Midlands conurbation of the United Kingdom: Associations with fine and coarse particles, black smoke and sulphate. *Occupational and environmental medicine*. 2001;58:504-10.
362. Davidson CI, Phalen RF, Solomon PA. Airborne Particulate Matter and Human Health: A Review, *Aerosol Science and Technology*. 2005;39(8)737-749.
363. Moolgavkar SH. Air pollution and hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in three metropolitan areas in the United States. *Inhalation Toxicology*. 2000:75-90.
364. Carey MA, Card JW, Voltz JW, Arbes SJ Jr, Germolec DR, Korach KS, et al. It's all about sex: gender, lung development and lung disease. *Trends Endocrinol Metab*. 2007;18(8):308-13.
365. Kloog I, Coull BA, Zanobetti A, Koutrakis P, Schwartz JD. Acute and Chronic Effects of Particles on Hospital Admissions in New-England. *PLoS ONE*. 2012;7(4): e34664.

-
366. Krall JR, Mulholland JA, Russell AG, Balachandran S, Winqvist A, Tolbert PE, et al. Associations between source-specific fine particulate matter and emergency department visits for respiratory disease in four U.S. cities. *Environ Health Perspect.* 2017;125:97–103.
367. Qiu H, Tian LW, Pun VC, Ho KF, Wong TW, Yu IT. Coarse particulate matter associated with increased risk of emergency hospital admissions for pneumonia in Hong Kong. *Thorax.* 2014 Nov;69(11):1027–33.
368. Pirozzi CS, Jones BE, VanDerslice JA, Zhang Y, Paine R III, Dean NC. Short-term air pollution and incident pneumonia: a case-crossover study. *Ann Am Thorac Soc* 2018;15:449–459.
369. Cheng MF, Tsai SS, Chiu HF, Sung FC, Wu TN, Yang CY. Air pollution and hospital admissions for pneumonia: Are there potentially sensitive groups? *Inhalation Toxicol.* 2009;21:1092–1098.
370. Xu Q, Li X, Wang S, Wang C, Huang F, Gao Q, et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Emergency Room Visits for Respiratory Disease in Urban Areas in Beijing, China, in 2013. *PLoS One.* 2016;11(4):e0153099.
371. Lin M, Stieb DM, Chen Y. Coarse particulate matter and hospitalization for respiratory infections in children younger than 15 years in Toronto: a case-crossover analysis. *Pediatrics.* 2005;116: e235–240.
372. Zhang Z, Hong Y, Liu N. Association of ambient Particulate matter 2.5 with intensive care unit admission due to pneumonia: a distributed lag non-linear model. *Sci Rep.* 2017;17;7(1):8679.
373. Cheng FJ, Lee KH, Lee CV, Hsu PC. Association between Particulate Matter Air Pollution and Hospital Emergency Room Visits for Pneumonia with Septicemia: A Retrospective Analysis. *Aerosol and Air Quality Research.* 2019;19:345–354.
374. Choi K, Inou S, Shinozaki R. Air pollution, temperature, and regional differences in lung cancer mortality in Japan. *Arch Environ Health.* 1997;52:160–168.
375. Katsoulianni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, Tselepidaki I, Moustiris K, Asimakopoulos D, et al. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Arch Environ Health.* 1993;48:235–242.

-
376. Ren C, Tong S. Temperature modifies the health effects of particulate matter in Brisbane, Australia. *Int J Biometeorol.* 2006;51(2):87-96.
377. Roberts S. Interaction between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environ Res.* 2004;96:328–337.
378. Vodonos A, Kloog I, Boehm L, Novack V. The impact of exposure to particulate air pollution from non-anthropogenic sources on hospital admissions due to pneumonia. *Eur Respir J.* 2016;48:1791–1794.
379. Neupane B, Jerrett M, Burnett RT, Marrie T, Arain A, Loeb M. Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults *Am J Respir Crit Care Med.* 2010;181(1):47-53.
380. Hou W, Xu X, Lei Y, Cao J, Zhang Y, Chen L, Huo X. The role of the PM_{2.5}-associated metals in pathogenesis of child *Mycoplasma Pneumoniae* infections: a systematic review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016;23(11):10604-10614.
381. Croft DP, Zhang W, Lin S, Thurston SW, Hopke PK, Masiol M, et al. The Association between Respiratory Infection and Air Pollution in the Setting of Air Quality Policy and Economic Change. *Ann Am Thorac Soc.* 2019;3(16): 321–330.
382. Bell ML, Dominici F, Ebisu K, Zeger SL, Samet JM. Spatial and temporal variation in PM_{2.5} chemical composition in the United States for health effects studies. *Environ Health Perspect.* 2007;115(7):989–995.
383. Cao J, Xu H, Xu Q, Chen B, Kan H. Fine particulate matter constituents and cardiopulmonary mortality in a heavily polluted Chinese city. *Environ Health Perspect.* 2012; 120(3):373-8.
384. Mostofsky E, Schwartz J, Coull BA, Koutrakis P, Wellenius GA, Suh HH, et al. Modeling the association between particle constituents of air pollution and health outcomes. *Am J Epidemiol.* 2012;176(4):317-26.
385. WHO Regional Office for Europe. Health Effects of Black Carbon. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2012.
386. Tan JH, Duan JC, Ma YL, Yang FM, Cheng Y, He KB, Yu YC, et al. Source of atmospheric heavy metals in winter in Foshan, China. *Sci Total Environ.* 2014;493:262–270.

-
387. Vedal S, Campen MJ, McDonald JD, Larson TV, Sampson PD, Sheppard L, et al. National Particle Component Toxicity (NPACT) initiative report on cardiovascular effects. *Res Rep Health Eff Inst.* 2013;(178):5-8.
388. Kim SY, Peel JL, Hannigan MP, Dutton SJ, Sheppard L, Clark ML, et al. The temporal lag structure of shortterm associations of fine particulate matter chemical constituents and cardiovascular and respiratory hospitalizations. *Environ Health Perspect.* 2012;120(8):1094-9.
389. Mills NL, Donaldson K, Hadoke PW, Boon NA, MacNee W, Cassee FR, et al. Adverse cardiovascular effects of air pollution. *Nat Clin Pract Cardiovasc Med.* 2009;6(1):36-44.
390. Lee KK, Miller MR, Shah ASV. Air Pollution and Stroke. *J Stroke.* 2018;20(1):2-11.
391. Lucking AJ, Lundback M, Mills NL, Faratian D, Barath SL, Pourazar J, et al. Diesel exhaust inhalation increases thrombus formation in man. *Eur Heart J.* 2008;29(24):3043-51.
392. Huang Z, Zhou Y, Lu Y, Duan Y, Tang X, Deng Q, et al. Case-Crossover Study between Fine Particulate Matter Elemental Composition and Emergency Admission with Cardiovascular Disease. *Acta Cardiol Sin.* 2017;33(1):66-73.
393. Baumgartner J, Zhang Y, Schauer JJ, Huang W, Wang Y, Ezzati M. Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2014;111(36):13229-34.
394. Hwang S-H, Lee JY, Yi S-M, Kim H. Associations of particulate matter and its components with emergency room visits for cardiovascular and respiratory diseases. *PLoS ONE.* 2017;12(8):e0183224.
395. Bell ML, Ebisu K, Leaderer BP, Gent JF, Lee HJ, Koutrakis P, et al. Associations of PM_{2.5} constituents and sources with hospital admissions: analysis of four counties in Connecticut and Massachusetts (USA) for persons \geq 65 years of age. *Environ Health Perspect.* 2014;122(2):138-44.
396. Morishita M, Bard RL, Kaciroti N, Fitzner CA, Dvonch T, Harkema JR, et al. Exploration of the composition and sources of urban fine particulate matter associated with same-day cardiovascular health effects in Dearborn, Michigan. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2015;25(2):145–152

397. Li P, Xin J, Wang Y, Li G, Pan X, Wang S, et al. Association between particulate matter and its chemical constituents of urban air pollution and daily mortality or morbidity in Beijing City. *Environ Sci Pollut Res.* 2015;22(1):358 - 368.
398. Jones RR, Hogrefe C, Fitzgerald EF, Hwang SA, Özkaynak H, Garcia VC, et al. Respiratory hospitalizations in association with fine PM and its components in New York State. *J Air Waste Manag Assoc.* 2015 May;65(5):559-69.
399. Morakinyo OM, Mokgobu MI, Mukhola MS, Hunter RP. Health Outcomes of Exposure to Biological and Chemical Components of Inhalable and Respirable Particulate Matter. *Int J Environ Res Public Health.* 2016;13(6):592.
400. Bell ML; HEI Health Review Committee. Assessment of the health impacts of particulate matter characteristics. *Res Rep Health Eff Inst.* 2012;(161):5-38.
401. Ostro B, Roth L, Malig B, Marty M. The effects of fine particle components on respiratory hospital admissions in children. *Environ Health Perspect.* 2009;117(3):475-80.
402. Obot CJ, Morandi MT, Hamilton RF, Holian A. A comparison of murine and human alveolar macrophage responses to urban particulate matter. *Inhal Toxicol.* 2004;16:69–76.
403. Pope CAIII, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manage Assoc.* 2006;56(6):709–742.
404. Patel MM, Hoepner L, Garfinkel R, Chillrud S, Reyes A, Quinn JW, et al. Ambient metals, elemental carbon, and wheeze and cough in New York City children through 24 months of age. *Am J Respir Crit Care Med.* 2009;180(11):1107–1113.
405. Zanobetti A, Schwartz J. Air pollution and emergency admissions in Boston, MA. *J Epidemiol Community Health.* 2006;60(10):890-5.
406. Schlesinger RB. The health impact of common inorganic components of fine particulate matter (PM_{2,5}) in ambient air: a critical review. *Inhalation Toxicology* 2007;19:811-832.
407. Gardner MJ, Altman DG. Confidence intervals rather than P-values: estimation rather than hypothesis testing. *Br Med J.* 1986;292:746–750.
408. du Prel JB, Hommel G, Röhrig B, Blettner M. Confidence interval or p-value?: part 4 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int.* 2009;106(19):335-9.

-
409. Ferreira TM, Forti MC, de Freitas CU, Nascimento FP, Junger WL, Gouveia N. Effects of Particulate Matter and Its Chemical Constituents on Elderly Hospital Admissions Due to Circulatory and Respiratory Diseases. *Int J Environ Res Public Health*. 2016; 23;13(10). pii: E947.
410. Krall JR, Anderson GB, Dominici F, Bell ML, Peng RD. Short-term exposure to particulate matter constituents and mortality in a national study of U.S. urban communities. *Environ Health Perspect*. 2013;121(10):1148-53.
411. Kioumourtzoglou MA, Coull BA, Dominici F, Koutrakis P, Schwartz J, Suh H. The impact of source contribution uncertainty on the effects of source-specific PM_{2.5} on hospital admissions: a case study in Boston, MA. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2014; 24(4):365-71.
412. Institute of Medicine (US) Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air. *Clearing the air: Asthma and indoor exposures*. Washington, DC: National Academy of Sciences (US), 2000.
413. Cassee FR, Héroux ME, Gerlofs-Nijland ME, Kelly F.J Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhal Toxicol*. 2013; 25(14):802-12.
414. Schlesinger RB, Cassee FR. Atmospheric secondary inorganic particulate matter: the toxicological perspective as a basis for health effects risk assessment. *Inhal Toxicol*. 2003; 15(3):197-235.
415. Stanek LW, Sacks JD, Dutton SJ, Dubois JJB. Attributing health effects to apportioned components and sources of particulate matter: An evaluation of collective results. *Atmos Environ*. 2011;45:5655–5663.
416. Industrial Economics, Incorporated. *Uncertainty Analyses to Support the Second Section 812 Benefit-Cost Analysis of the Clean Air Act*. Cambridge, MA: Industrial Economics, Incorporated, 2010.
417. Science Advisory Board, Environmental Protection Agency. *Advisory on Plans for Health Effects Analysis in the Analytical Plan for EPA's Second Prospective Analysis—Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990–2020*. Washington, DC: Environmental Protection Agency, 2004.

9. PRILOG

- Tabela 1. Povezanost koncentracije K^+ sa kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 2. Povezanost koncentracije NO_3^- sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 3. Povezanost koncentracije SO_4^{2-} sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 4. Povezanost koncentracije NH_4^+ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 5. Povezanost koncentracije Ca^{2+} sa analiziranim sa mortalitetom, cerebrovaskularnim morbiditetom, sa brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i respiratornim morbiditetom za odraslo stanovništvo Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 6. Povezanost koncentracije Mg^{2+} sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 7. Povezanost koncentracije Cl^- sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 8. Povezanost koncentracije Na^+ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 9. Povezanost koncentracije DOC-a sa mortalitetom, sa brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine
- Tabela 10. Povezanost koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije sa brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i nespecifične upale pluća kod odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

Tabela 1. Povezanost koncentracije K⁺ sa kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	1,711	0,955 - 3,063	>0,05
Muškarci	1,577	0,710 - 3,503	>0,05
Žene	2,044	0,872 - 4,794	>0,05
18 - 64 godine	0,210	0,504 - 2,908	>0,05
≥65 godina	1,368	0,679 - 2,759	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	1,322	0,300 - 5,835	>0,05
Muškarci	2,716	0,385 - 19,149	>0,05
Žene	0,512	0,051 - 5,181	>0,05
18 - 64 godine	0,172	0,007 - 4,349	>0,05
≥65 godina	2,726	0,510 - 14,572	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,783	0,286 - 11,110	>0,05
Muškarci	1,309	0,106 - 16,215	>0,05
Žene	3,209	0,215 - 47,830	>0,05
18 - 64 godine	8,901	0,639 - 1,238 E ²	>0,05
≥65 godina	0,651	0,049 - 8,616	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	1,442	0,559 - 3,722	>0,05
Muškarci	1,576	0,427 - 5,809	>0,05
Žene	1,382	0,346 - 5,528	>0,05
18 - 64 godine	1,411	0,401 - 4,973	>0,05
≥65 godina	2,462	0,581 - 10,443	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	4,544	0,706 - 29,231	>0,05
Muškarci	3,085	0,252 - 37,703	>0,05
Žene	9,009	0,565 - 1,435E ²	>0,05
18 - 64 godine	12,426	0,825 - 1,872E ²	>0,05
≥65 godina	4,368	0,334 - 57,105	>0,05

Tabela 2. Povezanost koncentracije NO₃⁻ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	1,036	0,986 - 1,088	>0,05
Muškarci	1,035	0,965 - 1,111	>0,05
Žene	1,038	0,969 - 1,112	>0,05
18 - 64 godine	0,983	0,880 - 1,096	>0,05
≥65 godina	1,050	0,994 - 1,109	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	0,978	0,931 - 1,027	>0,05
Muškarci	1,005	0,942 - 1,073	>0,05
Žene	0,942	0,874 - 1,016	>0,05
18 - 64 godine	1,027	0,953 - 1,106	>0,05
≥65 godina	0,950	0,889 - 1,014	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,971	0,862 - 1,094	>0,05
Muškarci	0,949	0,811 - 1,109	>0,05
Žene	0,995	0,827 - 1,197	>0,05
18 - 64 godine	0,979	0,783 - 1,224	>0,05
≥65 godina	0,982	0,852 - 1,131	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,077	0,923 - 1,256	>0,05
Muškarci	1,209	0,989 - 1,479	>0,05
Žene	0,913	0,718 - 1,161	>0,05
18 - 64 godine	0,890	0,692 - 1,146	>0,05
≥65 godina	1,218	0,994 - 1,493	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,989	0,917 - 1,066	>0,05
Muškarci	1,005	0,942 - 1,073	>0,05
Žene	1,030	0,921 - 1,151	>0,05
18 - 64 godine	0,932	0,845 - 1,027	>0,05
≥65 godina	1,089	0,967 - 1,226	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,966	0,819 - 1,139	>0,05
Muškarci	1,114	0,902 - 1,375	>0,05
Žene	0,771	0,587 - 1,013	>0,05
18 - 64 godine	0,845	0,641 - 1,114	>0,05
≥65 godina	1,043	0,846 - 1,287	>0,05

Tabela 3. Povezanost koncentracije SO₄²⁻ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	1,402	0,163 - 12,089	>0,05
Muškarci	0,219	0,009 - 5,080	>0,05
Žene	7,677	0,395 - 1,493 E ²	>0,05
18 - 64 godine	0,437	0,003 - 60,442	>0,05
≥65 godina	1,889	0,172 - 20,773	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	1,117	0,143 - 8,736	>0,05
Muškarci	0,741	0,41 - 11,678	>0,05
Žene	2,41	0,107 - 54,679	>0,05
18 - 64 godine	1,070	0,041 - 27,649	>0,05
≥65 godina	0,697	0,048 - 10,108	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,327	0,002 - 53,775	>0,05
Muškarci	0,260	0,001 - 25,766	>0,05
Žene	0,850	0,001 - 19,302	>0,05
18 - 64 godine	0,188	8,01E ⁻⁶ - 4,40E ²	>0,05
≥65 godina	0,389	0,001 - 15,1 E ¹	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	0,22	2,5E ⁻⁵ - 19,177	>0,05
Muškarci	0,26	1,93E ⁻⁶ - 3,39E ²	>0,05
Žene	0,152	8,08E ⁻⁶ - 2,873E ³	>0,05
18 - 64 godine	1,711	3,24E ⁻⁶ - 9,1E ⁵	>0,05
≥65 godina	0,003	7,7E ⁻⁶ - 9,645	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,051	0,002 - 1,103	>0,05
Muškarci	0,741	0,047 - 11,678	>0,05
Žene	0,043	0,001 - 4,004	>0,05
18 - 64 godine	0,327	0,006 - 18,107	>0,05
≥65 godina	0,001	7,89E ⁻⁶ - 0,138	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,22	2,5E ⁻⁵ - 19,177	>0,05
Muškarci	0,26	1,93E ⁻⁶ - 3,39E ²	>0,05
Žene	0,152	8,08E ⁻⁶ - 2,873E ³	>0,05
18 - 64 godine	1,711	3,24E ⁻⁶ - 9,1E ⁵	>0,05
≥65 godina	0,003	7,7E ⁻⁶ - 9,645	>0,05

Tabela 4. Povezanost koncentracije NH₄⁺ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	0,918	0,783 - 1,078	>0,05
Muškarci	1,046	0,836 - 1,310	>0,05
Žene	0,807	0,643 - 1,015	>0,05
18 - 64 godine	1,141	0,808 - 1,611	>0,05
≥65 godina	0,869	0,725 - 1,040	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	0,884	0,759 - 1,031	>0,05
Muškarci	0,868	0,709 - 1,063	>0,05
Žene	0,900	0,713 - 1,137	>0,05
18 - 64 godine	0,866	0,683 - 1,098	>0,05
≥65 godina	0,911	0,746 - 1,113	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,895	0,619 - 1,293	>0,05
Muškarci	0,879	0,544 - 1,421	>0,05
Žene	0,939	0,531 - 1,659	>0,05
18 - 64 godine	1,117	0,604 - 2,301	>0,05
≥65 godina	0,818	0,526 - 1,270	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,154	0,721 - 1,846	>0,05
Muškarci	0,916	0,498 - 1,686	>0,05
Žene	1,601	0,776 - 3,303	>0,05
18 - 64 godine	1,523	0,773 - 3,000	>0,05
≥65 godina	0,965	0,505 - 1,844	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,923	0,730 - 1,167	>0,05
Muškarci	0,868	0,709 - 1,063	>0,05
Žene	0,870	0,614 - 1,234	>0,05
18 - 64 godine	0,987	0,730 - 1,334	>0,05
≥65 godina	0,840	0,580 - 1,217	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,946	0,567 - 1,578	>0,05
Muškarci	1,016	0,502 - 2,057	>0,05
Žene	1,041	0,489 - 2,219	>0,05
18 - 64 godine	1,168	0,531 - 2,568	>0,05
≥65 godina	0,784	0,402 - 1,515	>0,05

Tabela 5. Povezanost koncentracije Ca^{2+} sa analiziranim sa mortalitetom, cerebrovaskularnim morbiditetom, brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	0,974	0,860 - 1,042	>0,05
Muškarci	0,952	0,831 - 1,090	>0,05
Žene	0,942	0,822 - 1,079	>0,05
18 - 64 godine	1,001	0,803 - 1,248	>0,05
≥65 godina	0,936	0,841 - 1,041	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,844	0,678 - 1,051	>0,05
Muškarci	0,666	0,493 - 0,901	>0,05
Žene	1,138	0,827 - 1,565	>0,05
18 - 64 godine	0,754	0,504 - 1,128	>0,05
≥65 godina	0,890	0,686 - 1,156	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,063	0,793 - 1,421	>0,05
Muškarci	0,883	0,613 - 1,270	>0,05
Žene	1,522	0,934 - 2,2479	>0,05
18 - 64 godine	0,1128	0,728 - 1,748	>0,05
≥65 godina	1,015	0,692 - 1,490	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	1,007	0,874 - 1,161	>0,05
Muškarci	0,917	0,755 - 1,114	>0,05
Žene	1,128	0,917 - 1,389	>0,05
18 - 64 godine	0,922	0,767 - 1,107	>0,05
≥65 godina	0,1137	0,909 - 1,421	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	1,253	0,926 - 1,694	>0,05
Muškarci	1,165	0,752 - 1,806	>0,05
Žene	1,380	0,912 - 2,086	>0,05
18 - 64 godine	1,398	0,857 - 2,281	>0,05
≥65 godina	1,134	0,773 - 1,663	>0,05

Tabela 6. Povezanost koncentracije Mg²⁺ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	5,582	0,525 - 59,364	>0,05
Muškarci	7,277	0,260 - 2,033E ²	>0,05
Žene	4,359	0,152 - 1,251 E ²	>0,05
18 - 64 godine	0,166	0,001 - 44,966	>0,05
≥65 godina	12,275	0,905 - 1,664 E ²	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	0,024	0,002 - 0,268	>0,05
Muškarci	0,113	0,005 - 2,652	>0,05
Žene	0,003	8,3E ⁻⁵ - 0,144	>0,05
18 - 64 godine	3,174	0,086 - 117,233	>0,05
≥65 godina	0,002	6,78E ⁻⁵ - 0,052	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,002	4,4E ⁻⁶ - 0,704	>0,05
Muškarci	0,007	2,38E ⁻⁶ - 21,737	>0,05
Žene	0,001	1,11E ⁻⁶ - 7,048	>0,05
18 - 64 godine	0,032	9,95E ⁻⁷ - 1,02E-3	>0,05
≥65 godina	0,001	5,18E ⁻⁷ - 1,293	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	13,996	0,008 - 25,8E3	>0,05
Muškarci	11,39E ²	0,103 - 12,5E ⁶	>0,05
Žene	0,005	1,43E ⁻⁸ - 1,5E ³	>0,05
18 - 64 godine	13,895	0,004 - 1,7E ⁶	>0,05
≥65 godina	89,474	0,004 - 1,8E ⁶	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,119	0,003 - 4,683	>0,05
Muškarci	0,461	0,003 - 65,211	>0,05
Žene	0,290	0,000 - 6,868	>0,05
18 - 64 godine	0,242	0,002 - 29,685	>0,05
≥65 godina	0,390	0,001 - 134,682	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,044	1,5E ⁻⁵ - 1,27E ²	>0,05
Muškarci	34,760-	0,001 - 1,5E ⁶	>0,05
Žene	2,82E-5	9,69E ⁻¹¹ - 8,201	>0,05
18 - 64 godine	5,43E-6	7,12E ⁻¹² - 4,144	>0,05
≥65 godina	81,470	0,003 - 2,0E ⁶	>0,05

Tabela 7. Povezanost koncentracije Cl⁻ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	0,999	0,941 - 1,061	>0,05
Muškarci	0,657	0,870 - 1,053	>0,05
Žene	1,036	0,958 - 1,120	>0,05
18 - 64 godine	0,985	0,857 - 1,132	>0,05
≥65 godina	1,003	0,939 - 1,072	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	0,910	0,839 - 0,987	>0,05
Muškarci	0,912	0,819 - 1,015	>0,05
Žene	0,922	0,818 - 1,038	>0,05
18 - 64 godine	0,783	0,617 - 0,993	>0,05
≥65 godina	0,977	0,895 - 1,066	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	0,870	0,700 - 1,080	>0,05
Muškarci	0,920	0,738 - 1,147	>0,05
Žene	0,746	0,410 - 1,355	>0,05
18 - 64 godine	0,593	0,179 - 1,966	>0,05
≥65 godina	0,905	0,727 - 1,128	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	0,974	0,780 - 1,216	>0,05
Muškarci	0,964	0,707 - 1,314	>0,05
Žene	0,992	0,731 - 1,347	>0,05
18 - 64 godine	0,638	0,239 - 1,708	>0,05
≥65 godina	1,060	0,847 - 1,328	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,860	0,743 - 0,995	>0,05
Muškarci	0,818	0,653 - 1,025	>0,05
Žene	0,910	0,755 - 1,097	>0,05
18 - 64 godine	0,897	0,701 - 1,149	>0,05
≥65 godina	0,918	0,756 - 1,116	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,960	0,769 - 1,199	>0,05
Muškarci	1,053	0,843 - 1,315	>0,05
Žene	0,642	0,250 - 1,645	>0,05
18 - 64 godine	0,737	0,315 - 1,723	>0,05
≥65 godina	10,56	0,837 - 1,332	>0,05

Tabela 8. Povezanost koncentracije Na⁺ sa mortalitetom, kardiovaskularnim i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	1,130	0,726 - 1,759	>0,05
Muškarci	1,274	0,676 - 2,400	>0,05
Žene	1,014	0,546 - 1,882	>0,05
18 - 64 godine	1,594	0,597 - 4,255	>0,05
≥65 godina	1,038	0,632 - 1,704	>0,05
Kardiovaskularni morbiditet			
Svi	1,198	0,762 - 1,884	>0,05
Muškarci	1,359	0,754 - 2,451	>0,05
Žene	1,071	0,530 - 2,164	>0,05
18 - 64 godine	1,330	0,622 - 2,844	>0,05
≥65 godina	1,178	0,633 - 2,092	>0,05
Cerebrovaskularni morbiditet			
Svi	1,135-	0,390 - 3,297	>0,05
Muškarci	2,018	0,566 - 7,197	>0,05
Žene	0,494	0,070 - 3,505	>0,05
18 - 64 godine	0,908	0,094 - 8,784	>0,05
≥65 godina	0,1384	0,402 - 4,764	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	0,897	0,440 - 1,830	>0,05
Muškarci	0,818	0,304 - 2,200	>0,05
Žene	1,033	0,369 - 2,890	>0,05
18 - 64 godine	0,689	0,251 - 1,944	>0,05
≥65 godina	1,020	0,359 - 2,900	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	1,136	0,270 - 4,784	>0,05
Muškarci	0,394	0,049 - 3,140	>0,05
Žene	5,496	0,683 - 44,202	>0,05
18 - 64 godine	2,255	0,151 - 33,768	>0,05
≥65 godina	0,806	0,139 - 4,670	>0,05

Tabela 9. Povezanost koncentracije DOC-a sa mortalitetom, brojem boničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i respiratornim morbiditetom odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Mortalitet			
Svi	0,993	0,962 - 1,024	>0,05
Muškarci	1,001	0,959 - 1,044	>0,05
Žene	0,987	0,943 - 1,032	>0,05
18 - 64 godine	0,697	0,948 - 1,083	>0,05
≥65 godina	0,988	0,954 - 1,023	>0,05
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,022	0,941 - 1,110	>0,05
Muškarci	0,998	0,893 - 1,115	>0,05
Žene	1,066	0,937 - 1,212	>0,05
18 - 64 godine	1,000	0,862 - 1,160	>0,05
≥65 godina	1,026	0,927 - 1,137	>0,05
Respiratorni morbiditet			
Svi	1,052	0,980 - 1,128	>0,05
Muškarci	1,008	0,913 - 1,113	>0,05
Žene	1,093	0,989 - 1,207	>0,05
18 - 64 godine	1,066	0,972 - 1,169	>0,05
≥65 godina	1,002	0,896 - 1,121	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	0,981	0,884 - 1,088	>0,05
Muškarci	0,951	0,816 - 1,108	>0,05
Žene	1,000	0,863 - 1,159	>0,05
18 - 64 godine	0,917	0,721 - 1,167	>0,05
≥65 godina	0,988	0,879 - 1,111	>0,05

Tabela 10. Povezanost koncentracije ekvivalenta karbonatne frakcije sa brojem bolničkih prijema zbog akutnog infarkta miokarda i nespecifične upale pluća kod odraslog stanovništva Grada Novog Sada tokom posmatranog perioda 2017. godine

	RR	95% IP	p
Akutni infarkt miokarda			
Svi	1,052	0,980 - 1,128	>0,05
Muškarci	1,008	0,913 - 1,113	>0,05
Žene	1,093	0,989 - 1,207	>0,05
18 - 64 godine	1,066	0,972 - 1,169	>0,05
≥65 godina	1,002	0,896 - 1,121	>0,05
Nespecifična upala pluća			
Svi	1,070	0,976 – 1,175	>0,05
Muškarci	0,968	0,861 – 1,087	>0,05
Žene	1,018	0,986 – 1,050	>0,05
18 - 64 godine	0,999	0,961 – 1,039	>0,05
≥65 godina	1,017	0,998 – 1,047	>0,05