

Analiza mjerenih koncentracija lebdećih čestica u urbanim i ruralnim područjima u Istočnoj Slavoniji

Prokopec, Doris

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:182:530285>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-23**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Department of Chemistry, Osijek](#)



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Doris Prokopec

ANALIZA MJERENIH KONCENTRACIJA LEBDEĆIH
ČESTICA U RURALNIM I URBANIM PODRUČJIMA U
ISTOČNOJ SLAVONIJI

Završni rad

Mentor:

doc.dr.sc. Elvira Kovač-Andrić

Sažetak

Lebdeće čestice (eng. Particulate Matter, PM) pripadaju skupini onečišćujućih tvari koje štetno djeluju na zdravlje ljudi, ali i na okoliš.

U radu su prikazani i obrađeni rezultati mjerenja koncentracija lebdećih čestica (PM₁₀) na području grada Osijeka i Parka prirode Kopački rit za 2018. i 2019. godinu. Rezultati mjerenja su pokazali da PM₁₀ čestice u svojim dnevnim vrijednostima koncentracija nisu iznad granične vrijednosti koja je propisana Zakonom o zaštiti zraka. Veće vrijednosti su primijećene samo tijekom zimskih mjeseci. U promatranom vremenskom razdoblju izmjerene srednje vrijednosti koncentracija PM₁₀ čestica su veće u gradu Osijeku nego u Parku prirode Kopački rit.

Ključne riječi : atmosfera, lebdeće čestice (PM₁₀), Park prirode Kopački rit, grad Osijek

Abstract

Particulate Matter, PM belong to the group of pollutants that affect human health and the environment.

This paper shows the results on concentration measurements of particulate matters within the area of nature park Kopački rit and city of Osijek for 2018. and 2019 year. On a daily basis, an average level of particulates concentration did not exceed the limiting value as prescribed by the Law on Protection of Air, however, higher PM₁₀ concentration has been recorded during the winter period. Average level of PM₁₀ concentration, as well as maximum and minimum levels of these concentrations for observed period are higher in city of Osijek then in nature park Kopački rit.

Keywords: atmosphere, particulate matters (PM₁₀) , Nature park Kopački rit, city of Osijek

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Literaturni pregled.....	2
2.1	Atmosfera.....	2
2.2	Onečišćenje zraka.....	4
2.3	Lebdeće čestice.....	5
2.3.1	Utjecaj lebdećih čestica (PM) na zdravlje ljudi.....	8
2.3.2	Utjecaj lebdećih čestica (PM) na vegetaciju.....	10
2.4	Meteorološki utjecaji.....	11
2.5	Kemijski sastav lebdećih čestica.....	12
2.6	Obrada rezultata mjerenja.....	14
2.6.1	Regresijska i korelacijska analiza	15
3.	Eksperimentalni dio.....	16
3.1	Opis mjerne postaje Kopački rit.....	16
3.2	Opis mjerne postaje Osijek.....	17
3.3	Mjerni instrumenti.....	19
4.	Rezultati i rasprava.....	20
5.	Zaključak.....	28
6.	Literatura.....	29

1. UVOD

Lebdeće čestice (eng. Particulate Matter, PM) ubrajaju se u skupinu onečišćujućih tvari. S obzirom na veličinu aerodinamičkog promjera, dijele se u tri skupine: PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{0.1}. U sastavu lebdećih čestica se nalaze brojni kemijski spojevi: organski spojevi, sulfati, nitrati, soli, metali i čestice vode. U procese koji su zaslužni za stvaranje lebdećih čestica ubrajaju se kondenzacija, isparavanje i izgaranje. Smjer i brzina vjetra su značajni čimbenici koji utječu na koncentraciju lebdećih čestica na nekom području. Cilj završnog rada je dobiti uvid o stanju zraka u prizemnom sloju atmosfere s obzirom na koncentraciju lebdećih čestica PM₁₀ u urbanom i ruralnom području. U tu svrhu odabran je grad Osijek i susjedni Park prirode Kopački rit koji su primjer nesmetanog miješanja zraka urbanog i ruralnog područja. Nadalje, ustanoviti koliki utjecaj na izmjerene vrijednosti koncentracija PM₁₀ čestica ima industrijski dio grada i grad sa svojim emisijama općenito u odnosu na zračne mase iz sjeverne okolice Osijeka tj. iz Baranje.

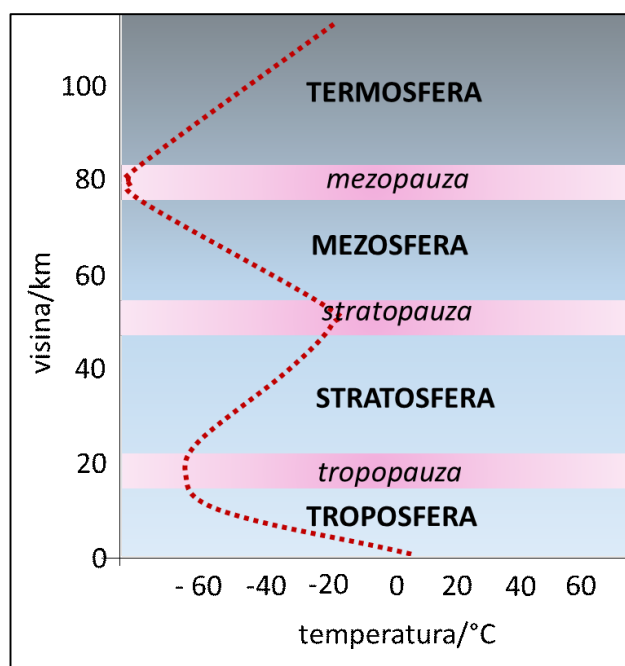
U literaturnom pregledu rada, opisana je atmosfera i njezino zagađenje, kemijski sastav lebdećih čestica (PM) te njihov utjecaj na zdravlje čovjeka i vegetaciju.

U eksperimentalnom dijelu rada su opisane mjerne postaje Tikveš, Kopački rit i Osijek. Analizirane su koncentracije lebdećih čestica (PM₁₀) u navedenim postajama za 2018. i 2019. godinu. Podatci o koncentraciji lebdećih čestica (PM₁₀) su dobiveni od Ministarstva zaštite okoliša i energetike i obrađeni su u računalnim programima Microsoft Excel i Origin.

2. LITERATURNI PREGLED

2.1 ATMOSFERA

Atmosfera se može definirati kao smjesa plinova koja obavija Zemlju i svakodnevno sudjeluje u njezinoj rotaciji. Ona je dinamički, složeni sustav u kojem se neprestano odvijaju kemijske i fizikalne reakcije koje se nalaze u stanju dinamičke ravnoteže. U sastav atmosfere ubrajaju se plinovi: dušik, kisik, argon, vodena para, vodik, helij, ozon, metan, amonijak, ugljikov monoksid, kripton i ksenon. Od navedenih plinova u sastavu atmosfere najzastupljeniji su dušik (78,08 %), zatim kisik (20,95%), argon (0,93%), vodena para (0-4 %). U vrlo malim količinama su zastupljeni helij, vodik, metan, ozon, ugljikov monoksid, amonijak, ksenon i kripton te se nazivaju „manjinski plinovi“. Iako su vrlo malo zastupljeni u atmosferi, manjinski plinovi mogu znatno utjecati na klimatske pojave i život na Zemlji²³. Najniži slojevi atmosfere sadržavaju čestice organskog (npr. pelud i mikrobi) i anorganskog podrijetla (npr. sol, prašina, pepeo). S obzirom na kemijski sastav zraka, atmosfera se može podijeliti na dva dijela: homosferu i heterosferu. Homosfera je sloj koji se prostire do 80 km i u kojem je stalan sastav pojedinih plinova (N_2 , Ar, Ne, He, Kr, O_2). U višim slojevima atmosfere – heterosfera, plinovi apsorbiraju ultraljubičasto zračenje (eng. Ultraviolet, UV) i to dovodi do njihove ionizacije, što za posljedicu ima promjenu volumnih omjera plinova^{1,2}.



Slika 1. Vertikalni presjek atmosfere.

U Zemljinoj atmosferi mijenjaju se vrijednosti atmosferskog tlaka i temperature s nadmorskom visinom. Prema vertikalnom presjeku atmosfera se sastoji od nekoliko slojeva ili područja od kojih svaki ima odgovarajuće fizikalne, kemijske i toplinske karakteristike. Slojevi koji se razlikuju s obzirom na udaljenost od površine Zemlje su: stratosfera, troposfera, mezosfera i termosfera (Slika 1.). Granice između slojeva nisu strogo odijeljene, već se mijenjaju s promjenom godišnjeg doba i promjenom temperature pa se između slojeva nalaze pripadajući međuslojevi: tropopauza, stratopauza i mezopauza^{2,3}.

Najbliži sloj površini Zemlje je troposfera i prostire se do približno 11 kilometara iznad površine tla. Plinovi koje sadržava troposfera omogućuju život na Zemlji. Vrijednosti temperature troposfere se smanjuju s visinom, ali su moguće pojave temperaturnih inverzija. Površina Zemlje je prosječne temperature oko 15° C, a temperatura gornjeg rubnog područja troposfere iznosi oko -60° C. Između troposfere i stratosfere nema oštre granice, već se tu nalazi tanki sloj tropopauza. Na visini od 11 km do oko 50 km nalazi se stratosfera. Hladna stratosfera je donji dio stratosfere u kojem se temperatura neznatno mijenja s porastom visine. Za razliku od nje, u toploj stratosferi (gornji dijelovi stratosfere) temperatura raste s visinom zbog apsorpcije ultraljubičastog Sunčevog zračenja od strane prisutnog ozona. Oko 90% ozona u atmosferi nalazi se u stratosferi.

Stratosferski ozon je u najvećim koncentracijama prisutan na visinama između 20 i 35 km. Ozon karakterizira apsorpcija štetnog UV zračenja te na taj način stratosferski ozon štiti život na Zemlji. Sloj atmosfere koji se nastavlja na stratopauzu, a prostire se od 50 do 85 km visine, naziva se mezosfera. U tom sloju se temperatura zraka smanjuje s visinom. Termosfera se nastavlja na mezopauzu i prostire se do visine od oko 500 km. U ovom sloju atmosfere temperatura zraka naglo raste s porastom visine. Visoke vrijednosti temperature termosferi posljedica su procesa ionizacije i apsorpcije Sunčevog zračenja. Sloj između termosfere i egzofere naziva se termopauza. Vanjski, krajnji sloj atmosfere, egzosfera, nalazi se iznad 500 km od površine tla i njezina granica nije točno određena. U egzosferi je iznimno visoka temperatura zraka (u gornjim slojevima egzofere temperatura može doseći vrijednosti iznad 1500°C), a gustoća plinova (vodik i helij) je značajno mala te su prisutni plinovi u stanju plazme i gibaju se kaotično².

2.2 ONEČIŠĆENJE ZRAKA

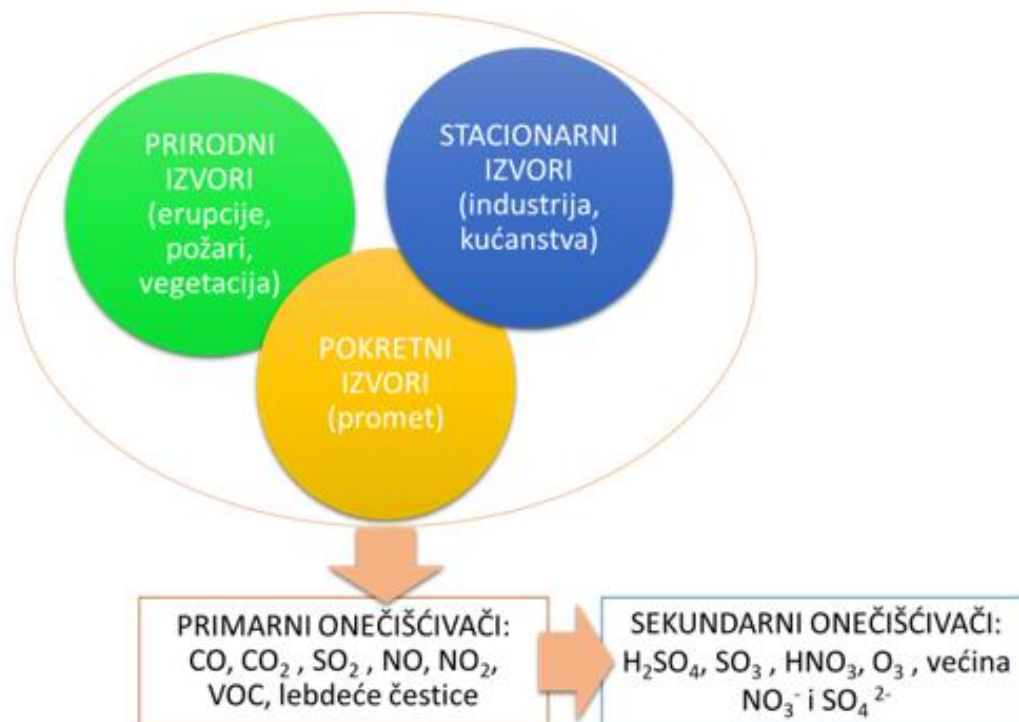
Jedan od problema u današnjem suvremenom svijetu je onečišćeni zrak u kojem su prisutne onečišćujuće tvari koje mogu smanjiti kvalitetu življenja, narušiti zdravlje čovjeka te štetno utjecati na okoliš⁵.

Razlikuju se prirodni i antropogeni izvori onečišćujućih tvari. U prirodne izvore onečišćenja zraka ubrajaju se: erupcije vulkana, seizmičke i geotermalne aktivnosti, snažni vjetrovi, atmosferska uzdizanja te prenošenje prirodnih čestica iz područja za koja su karakteristična sušna razdoblja. Antropogeni izvori onečišćujućih tvari dijele se na pokretne i nepokretne emisijske izvore. U nepokretne emisijske izvore se ubrajaju difuzni i točkasti koji se razlikuju prema načinu otpuštanja onečišćujućih tvari. Nepokretni, točkasti izvori otpuštaju onečišćujuće tvari kroz određene ispuste (npr. industrijska postrojenja), a difuzni izvori otpuštaju onečišćujuće tvari bez dimnjaka ili ispusta (npr. odlagališta otpada). U skupinu pokretnih izvora onečišćenja zraka ubrajaju se različita prijevozna sredstva (npr. zrakoplovi, plovni objekti, lokomotive, motorna vozila), koja također ispuštaju onečišćujuće tvari u okolni zrak. Svaki izvor, bez obzira kojoj skupini pripada mora ispuštati onečišćujuće tvari u zrak u skladu sa Zakonom o zaštiti zraka, što znači da onečišćujuće tvari ne smiju prijeći granične vrijednosti emisije. Stoga je od velike važnosti kvalitetna izgradnja i proizvodnja svih izvora^{2,5}.

Skupini tvari koje onečišćuju zrak pripadaju plinovi, lebdeće čestice (koje po svom kemijskom sastavu sadrže različite anorganske i organske tvari), radioaktivne i organske tvari te otpadna toplina (djeluje na mikroklimu te se javlja kao oblik onečišćenja atmosferskog zraka).

Navedene onečišćujuće tvari (Slika 2.) dijele se na primarne i sekundarne onečišćujuće tvari. Primarne se izravno emitiraju u atmosferu iz različitih izvora (npr. dimnjaci, automobili), a u njih ubrajamo sumporov(IV) oksid (SO₂), ugljikov(IV) oksid (CO₂), ugljikov(II) oksid (CO), cijanovodik (HCN), amonijak (NH₃), teške metale, hlapljive organske spojeve.

Za razliku od njih, sekundarne onečišćujuće tvari nastaju oksidacijom te transformacijom primarnih onečišćujućih tvari pod utjecajem Sunčeve svjetlosti (primarna emisija). Ozon pripada skupini sekundarnih onečišćujućih tvari^{2,5}.



Slika 2. Primarne i sekundarne onečišćujuće tvari.

2.3 LEBDEĆE ČESTICE

Lebdeće čestice ili aerosoli su tvari koje su zastupljene u nižim dijelovima Zemljine atmosfere. U prirodi se javljaju u obliku krutina ili tekućina raspršenih u zraku.

Dijele se u dvije kategorije: primarne i sekundarne. Primarne lebdeće čestice su čestice koje neki izvor onečišćenja izravno emitira u atmosferu, dok sekundarne lebdeće čestice nisu izravno emitirane već su formirane iz plinovitih prekursora koji su prethodno emitirani u atmosferu iz različitih emisijskih izvora.

Glavni plinoviti prekursori koji sudjeluju u formiranju sekundarnih lebdećih čestica su SO₂, NH₃, dušikovi oksidi (dušikov(II) oksid(NO) + dušikov(IV) oksid (NO₂)= NO_x) i hlapljivi organski spojevi (eng. Volatile Organic Compounds, VOC). Fotokatalitičkim reakcijama u zraku nastaju različiti spojevi npr. fosfati (PO₄³⁻), nitrati (NO₃⁻) ili amonijeve soli i dolazi do kondenzacije vode te drugih spojeva na tim primarnim česticama formirajući „sekundarne

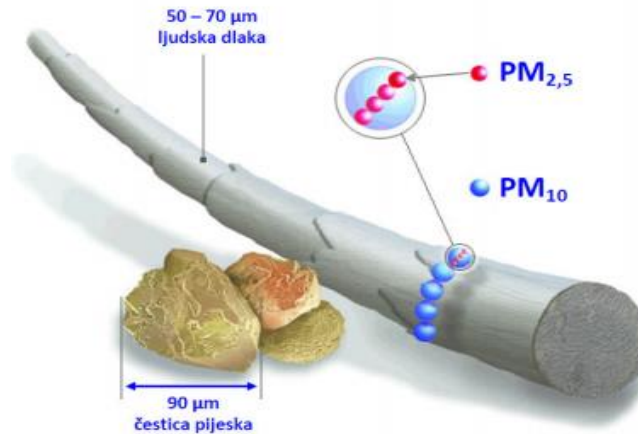
čestice“, a one se pojavljuju u obliku organskih i anorganskih aerosola te mogu biti čvrsti i tekući. Iako se voda nalazi u tekućem ili čvrstom agregacijskom stanju ona se ne ubraja u skupinu lebdećih čestica, već se u tu skupinu ubrajaju onečišćujuće tvari koje tvore prašinu ili dim⁵.

U lebdeće čestice se ubrajaju:

1. Crni dim – može biti u tekućem ili krutom agregacijskom stanju, a čestice nastaju nepotpunim sagorijevanjem tvari
2. Prašina – krute čestice veličine od 1 μm koje su često podložne sedimentaciji
3. Magla i vodena prašina – čestice koje se nalaze u tekućem agregacijskom stanju. Postoji nekoliko načina njihovog nastajanja a neki od njih su nukleacija te kondenzacija vodene pare na malim jezgrama
4. Dimovi – čestice im većinom sadrže metalni oksid, kao posljedica toga štetno djeluju na zdravlje ljudi. Veličina čestica se kreće u rasponu od 1-2 μm . U zraku se zadržavaju do nekoliko sati u tekućem ili krutom obliku
5. Smog (eng. smoke i fog) – kombinacija magle i dima, izrazito prisutan u zimskim mjesecima u gradskim sredinama u kojima je velika koncentracija industrijskih postrojenja i prometa, a sve to zbog utjecaja ultraljubičastog zračenja.

Brojni kemijski spojevi se nalaze u sastavu lebdećih čestica: organski spojevi, metali, sulfati, soli, nitrati i čestice vode. Sastav ovisi o meteorološkim parametrima, godišnjem dobu, o svojstvima i vrsti izvora te o starosti i veličini samih čestica.

U kojoj mjeri će čestica ugroziti i narušiti ljudsko zdravlje prvenstveno ovisi o veličini čestice, a mogu se podijeliti u tri skupine koje se označavaju $\text{PM}_{0.1}$, $\text{PM}_{2.5}$ i PM_{10} (Slika 3.). $\text{PM}_{2.5}$ su čestice aerodinamičkog promjera 2.5 μm , dok se PM_{10} odnose na čestice aerodinamičkog promjera 10 μm ^{5,6,7}.



Slika 3. Usporedba krupnoće čestica PM₁₀ i PM_{2,5} sa česticom pijeska i ljudskom dlakom⁵

U procesima kao što su isparavanje, kondenzacija i izgaranje nastaju lebdeće čestice. Velika industrijska postrojenja u kojima se odvijaju proizvodni procesi i termoenergetski objekti smatraju se glavnim i najvećim izvorima emisija lebdećih čestica. Veliki učinak u procesu nastajanja lebdećih čestica imaju pokretni izvori onečišćenja te promet.

Grube čestice (PM₁₀) su zastupljene u velikim gradilišnim zonama i prometnim područjima poput autocesta, dok fine čestice (PM_{2,5}) nastaju reakcijom plinova emitiranih iz različitih izvora (npr. termoelektrane, osobna vozila, industrijski objekti). Lebdeće čestice mogu nastati i za vrijeme industrijskih procesa koji uključuju postupke mljevenja i usitnjavanja, a to proizlazi u tijeku pripreme pojedinih sirovina npr. kod pripremanja pigmenta za boje^{5,9}

U svrhu zaštite zraka i poboljšanja kvalitete istoga, kao i sve veće svijesti ljudi o štetnim učincima onečišćenja tvari koje se nalaze oko nas u zraku, u našoj Republici Hrvatskoj donesen je i propisan Zakon o zaštiti zraka. Uredba o razini tvari koje onečišćuju zrak propisala je granice tolerancije (GT) i granične vrijednosti (GV) za pojedine onečišćujuće tvari kako bi postigla zadane ciljeve, a oni se odnose prvenstveno na zaštitu zdravlja ljudi i kvalitete njihovog života, ali i svih ekosustava i vegetacije (Tablica 1).

Pod „graničnom vrijednosti“ smatra se razina onečišćenja koju treba postići u nekom određenom vremenu a ispod koje je najmanji štetni utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Postignute GV se ne smiju prekoračiti. Za razliku od toga, granica tolerancije je određeni postotak granične vrijednosti koji može biti prekoračen, ali ipak u za to propisanim uvjetima¹⁰.

Zakon o zaštiti zraka propisuje i ciljnu vrijednost (CV), koja se definira kao „razina onečišćenosti određena radi izbjegavanja, sprječavanja ili umanjivanja štetnih učinaka na ljudsko zdravlje i/ili okoliš u cjelini koju treba, ako je to moguće, dostići u zadanom razdoblju“²⁴.

Tablica 1. Tolerirane (GT) i granične (GV) vrijednosti koncentracija PM₁₀ u zraku u skladu sa Zakonom o zaštiti zraka¹⁰.

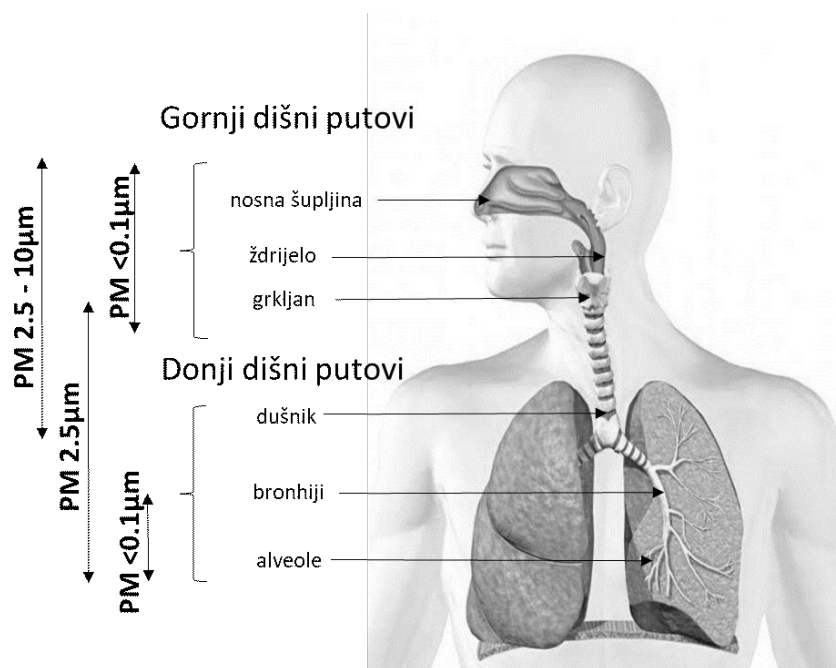
Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Razina granične vrijednosti (GV)	Učestalost dozvoljenih prekoračenja	Razina tolerirane vrijednosti (TV)
PM ₁₀	24 sata	50 µg/m ³	GV ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine	75 µg/m ³ (TV ne smije biti prekoračena više od 35 puta tijekom kalendarske godine)
	1 godina	40 µg/m ³	-	60 µg/m ³

2.3.1 UTJECAJ LEBDEĆIH ČESTICA (PM) NA ZDRAVLJE LJUDI

Suvremeni način života i rada ljudi sve više ugrožava okoliš i svakodnevno doprinosi sve većem onečišćenju zraka, vode i tla. Posebno štetne tvari za čovjekovo zdravlje su lebdeće čestice koje se nalaze u prizemnom sloju atmosfere i ozon. Pretjerano izlaganje onečišćenim tvarima ima loše posljedice na naš dišni sustav, a ponekad može dovesti i do smrti. Negativan utjecaj onečišćujućih tvari na zdravlje čovjeka je različitog intenziteta i trajanja (reverzibilan ili ireverzibilan), a to ovisi o agregacijskom stanju, koncentraciji, vremenu izloženosti, kemijskim te fizikalnim svojstvima¹¹.

Lebdeće čestice iz zraka ulaskom u dišni sustav najčešće se zaustavljaju odmah u nosu zbog promjene smjera. Prilikom promjene smjera kretanja, čestice iz zraka se zadržavaju u sluznicama respiratornog sustava, a to se naziva impakcija. Budući da su čestice različite mase i veličine, impakcija će im se razlikovati po veličini.

Krupnije čestice aerosola ili prašine ne prodiru do donjih dišnih putova jer se zaustavljaju na dlačicama i sluznicama gornjih dišnih putova, za razliku od njih sitnije čestice veličine od nekoliko mikrometara prolaze kroz gornji dio dišnih putova i dopijevaju do bronhija na čijim stjenkama se talože. Najsitnijim česticama njihova veličina omogućuje najdalje prodiranje kroz dišne putove, odnosno prodiranje sve do plućnih alveola (Slika 4.). Kada se govori o prodiranju plinovitih onečišćenih tvari ključan faktor je njihova topljivost, odnosno u koliko su onečišćujuće tvari topljive lakše će proći kroz sluznicu te će se brže apsorbirati i razgraditi u dišnom susatvu⁵.



Slika 4. Raspoređivanje čestica prema krupnoći u dišnim putovima.

Najnovija istraživanja svjetske zdravstvene organizacije (WHO, eng. World Health Organization) pokazala su da je danas mnogo veća opasnost po zdravlje ljudi onečišćenje sitnim česticama $PM_{2.5}$ nego što su pokazala ranija istraživanja. Posljedice dugotrajne izloženosti $PM_{2.5}$ dovode do opasnih zdravstvenih problema: bolesti dišnih putova, ateroskleroze, poteškoća tijekom trudnoće te kardiovaskularnih bolesti^{12,13}.

Tijekom 2014. godine, 40% europskog gradskog stanovništva je bilo izloženo povišenim koncentracijama lebdećih čestica koje nisu u skladu sa vrijednostima koje je postavila Europska unija s ciljem sprječavanja narušavanja ljudskog zdravlja¹³.

2.3.2 UTJECAJ LEBDEĆIH ČESTICA (PM) NA VEGETACIJU

Onečišćivači zraka lako dopijevaju u okoliš u kojem dispergiraju putem različitih sredstava: vode, tla, zraka, živih organizama te putem hrane, a način na koji dispergiraju ovisi o prirodi onečišćivača te o izvoru iz kojeg je emitiran u okoliš. Na disperziju onečišćivača utječu različiti čimbenici, odnosno vrsta i razina na kojoj se nalazi izvor iz kojeg se onečišćujuća tvar emitira u okoliš, regionalne i lokalne geografske karakteristike te meteorološki uvjeti. Vrste izvora dijele se na točkaste (npr. dimnjak) i difuzne (npr. prijevozno sredstvo), a razine na kojima se izvor onečišćivača nalazi mogu biti prizemne ili se mogu nalaziti na većim visinama. Primjer prizemne razine je disperzija onečišćujuće tvari koja se javlja kao posljedica utjecaja cestovnog prometa, a disperzija onečišćujuće tvari iz visokog dimnjaka je primjer razine koja se nalazi na određenoj visini. Meteorološki uvjeti koji u znatnoj mjeri utječu na disperziju onečišćujućih tvari su relativna vlažnost i temperatura zraka, stabilnost atmosfere, smjer i brzina vjetera te Sunčevo zračenje. Izloženost određenoj masenoj koncentraciji PM u zraku dovodi do različitih fitotoksičnih reakcija².

Fragmenti lebdećih čestica (npr. nitrati, sulfati, elementi u tragovima) talože se te na taj način utječu na vegetaciju. Antropogene čestice nitrata i sulfata imaju veću kemijsku reaktivnost i topljivost od mineralne prašine i za razliku od nje tvore kiselinu. Prah pH vrijednosti > 9 svojim taloženjem uzrokuje ozljedu tkiva lišća, osim njega ozljede i štetan utjecaj na biljke ima i prašina u čijem se sastavu nalaze otrovne topljive soli. U kojoj mjeri će se lebdeća čestica nošena prašinom istaložiti, ovisi o njezinoj veličini tj. aerodinamičkom promjeru. Što je veća koncentracija lebdećih čestica u zraku manja je količina svjetlosti koja je potrebna za proces fotosinteze, a to ujedno povećava temperaturu lista zbog izmijenjene sposobnosti apsorpcije svjetlosti. Posljedice toga su difuzija plinova u listu i izvan njega te promjena u izmjeni energije koja nastaje pod utjecajem boje, veličine čestica i nagomilane prašine. Bazične čestice prašine uzrokuju oštećenja površine lista.

Čestice imaju utjecaj i na kutikulu lista te na sloj tla uz korijen biljke (rizosfera) gdje je najizglednije nakupljanje (metaboličkog unosa) i utjecaj na ekosustav i vegetaciju. Postoji poveznica između utjecaja lebdećih čestica na vegetaciju i klimatskih promjena¹⁴.

2.4 METEOROLOŠKI UTJECAJI

Kako bi se objasnili meteorološki utjecaji na lebdeće čestice, potrebno je definirati meteorologiju i razmotriti njezina proučavanja. Meteorologija je znanstvena disciplina koja proučava strukturu, sastav i fizičko stanje atmosfere te fizikalne procese (atmosfera i Zemljina površina). Meteorološki uvjeti utječu na koncentraciju i taloženje lebdećih čestica (PM). Do gibanja atmosferskog zraka dolazi pod utjecajem relativne vlažnosti i temperature. Postoji nekoliko faktora koji utječu na kvalitetu zraka: emisija primarnih onečišćujućih tvari iz različitih izvora, stvaranje sekundarnih onečišćujućih tvari iz plinovitih prekursora te prijenos onečišćujućih tvari s jednog područja na drugo. U kojem vremenskom periodu, u kojoj mjeri te na kojem mjestu će doći do pojava koje uzrokuju onečišćenje zraka određuju meteorološki uvjeti. Za vrijeme stabilnih atmosferskih uvjeta, doći će do miješanja zraka u kojem su prisutne onečišćujuće tvari sa čistim zrakom koji je prisutan u višim dijelovima atmosfere. Kada se lebdeće čestice nađu u području s nižim tlakom, česticama će se smanjiti brzina gibanja, a kao posljedica toga smanjit će se i njihova temperatura. Volumen zraka se smanjuje za vrijeme padanja čestica u niže dijelove atmosfere pa će česticama temperatura ponovno porasti, a prilikom podizanja u više slojeve atmosfere, zrak će se širiti i hladiti¹⁵.

Zračne struje djeluju na dulje ili kraće zadržavanje lebdećih čestica u zraku. Čestice se mogu istaložiti na tlo suhim tj. gravitacijskim taloženjem i mokrim (oborinskim) taloženjem. Suho taloženje čestica na Zemljinu površinu se odvija za vrijeme padanja čestica u niže slojeve atmosfere pri kojem volumen opada pa dolazi do porasta temperature čestica. Kapljice se stvaraju u oblacima i potom padaju te uzrokuju mokro (oborinsko) taloženje lebdećih čestica. U kojoj će mjeri određeno područje biti onečišćeno ovisi o razmjeru i veličini emisije lebdećih čestica na regionalnoj, lokalnoj i globalnoj razini te o meteorološkim uvjetima.

Proces taloženja ovisi o atmosferskim prilikama, zemljopisnim obilježjima pojedinog područja, ali isto tako i o vrsti izvora onečišćenja i njegovom rasporedu u određenom području^{15,16}.

Relativna vlažnost zraka i temperatura zraka, smjer i brzina vjetra, stabilnost atmosfere i globalno Sunčevo zračenje utječu na disperziju onečišćujućih tvari².

Utjecaj prometa manje utječe na koncentraciju lebdećih čestica (PM) od meteoroloških elemenata. Pri velikoj relativnoj vlažnosti zraka lebdeće čestice apsorbiraju vodu, kao posljedica toga povećava se volumen lebdećih čestica, a time i zamagljenost zraka⁹.

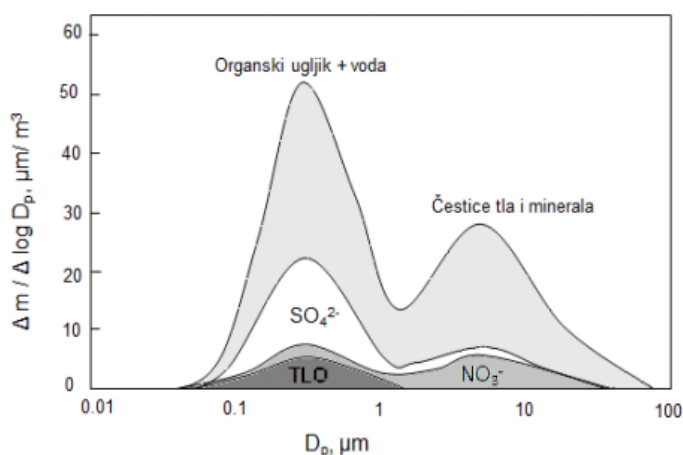
Faktori koji utječu na razine onečišćenja su industrijski pogoni, rijeke ili planine, količine padalina na nekom području i smjer vjetra. Lebdeće čestice se mogu ukloniti iz atmosfere pomoću prirodnih mehanizama kao što su oborine i snažna strujanja zraka. Poznavanje vremenskih situacija je od velike važnosti jer omogućava predviđanje razine onečišćenja te zaštitu rizičnih skupina stanovništva (trudnice, djeca, bolesne i starije osobe)⁹.

2.5 KEMIJSKI SASTAV LEBDEĆIH ČESTICA

Lebdeće čestice se prema njihovom porijeklu mogu podijeliti na tri tipa: temeljne (eng. Background), kontinentalne i maritimne čestice. Kontinentalne čestice uključuju čestice ruralnog i urbanog područja, a ovise o ljudskoj aktivnosti koja je zaslužna za nastanak mineralne prašine. Za vrijeme pješčanih oluja nastaju kontinentalne čestice s pijeskom. Osnovna gradivna jedinica maritimnih čestica je morska sol. Temeljne čestice nastaju iz antropogenih emisijskih izvora i oceana, ali i brojnim kemijskim i fotokemijskim reakcijama u kojima su krajnji produkti plinovi s kontinenta. Glavne komponente temeljnih čestica su: nitrati, sulfati, ugljikovodici i drugi spojevi⁷.

U kemijskom sastavu atmosferskih čestica pretežno se nalaze nitrati, sulfati, ugljikovodici i ugljik (Slika 5.). Lebdeće čestice se dijele na dva moda, krupni i sitni mod. Glavne komponente većih sivih do sivožutih čestica su kalcij (Ca), aluminij (Al) te silicij (Si) i one pripadaju sitnom modu. Područje u kojem se mjerenje provodi je glavni čimbenik koji utječe na kvantitativni omjer lebdećih čestica.

Sukladno tome, krupni mod čestica prevladavat će u poljima, pustinjama i šumama, a sitni mod u industrijskoj i gradskoj sredini¹⁷.



Slika 5. Sastav atmosferskih čestica s obzirom na njihovu veličinu⁷.

Tablica 2. Donji i gornji pragovi kakvoće zraka za arsen, olovo, benzo(a)piren, nikal i kadmij u lebdećim česticama (PM₁₀)¹⁰.

Onečišćujuća tvar	Prag procjene	Iznos praga procjene
Olovo u PM ₁₀	gornji	0,35 μg/m ³ (70% GV)
	donji	0,25 μg/m ³ (50% GV)
Arsen u PM ₁₀	gornji	3,6 ng/m ³ (60% GV)
	donji	2,4 ng/m ³ (40% GV)
Nikal u PM ₁₀	gornji	14 ng/m ³ (70% GV)
	donji	10 ng/m ³ (50% GV)
Kadmij u PM ₁₀	gornji	3 ng/m ³ (60% GV)
	donji	2 ng/m ³ (40% GV)

Kalendarska godina je razdoblje praćenja za nikal, kadmij, olovo, benzo(a)piren i arsen u lebdećim česticama (PM₁₀). Kako bi se procijenila kakvoća zraka za sve navedene tvari koje su prisutne u lebdećim česticama (PM₁₀) određeni su donji i gornji pragovi (Tablica 2.). Za donji prag procjene može se upotrijebiti tehnika objektivne procjene ili tehnika modeliranja, dok se za gornji prag procjene upotrebljava kombinacija tehnika indikativnih mjerenja i modeliranja te mjerenja na istom mjestu¹⁰.

Kiseli aerosoli u zraku nastaju oksidacijom ugljikovodika, dušikovog(IV) oksida i sumporovog(IV) oksida koji se ubrajaju u primarne i sekundarne polutante. Njihovo pojavljivanje u atmosferi je posljedica izgaranja biomase i fosilnih goriva te ljudske aktivnosti.

Atmosferske lebdeće čestice sadrže crni amorfnj ugljik a njegovi glavni oblici su: karbonatni (CC, eng. Carbonate Carbon), elementarni (EC, eng. Elemental Carbon) i organski (OC, eng. Organic Carbon) ugljik¹⁸. Elementarni ugljik (EC) je jedina frakcija lebdećih čestica koja je vidljiva golim okom u atmosferskom zraku. EC nastaje nepotpunim izgaranjem biljnih i fosilnih goriva te pripada skupini primarnih polutanata koji zagađuju okolni zrak, a nalazi se u ledu, tlima i sedimentima. Karakterizira ga apsorpcija valnih duljina iz ultraljubičastog, vidljivog i bliskog infracrvenog područja. Postoji još nekoliko naziva za njega a to su: čađa, crni ugljik (BC, eng. Black Carbon) te ugljik (LAC, eng. Light-absorbing Carbon).

Izgaranjem sekundarnih organskih aerosola nastaju: poliklorirani bifenili (PCB, eng. Polychlorinated biphenyls), furani i poliklorirani dibenzo-p-dioksini, polibromirani difenileteri, policiklički aromatski ugljikovodici (PAH ili PAU, eng. Polycyclic aromatic hydrocarbons) te druga organska onečišćenja koja se svrstavaju u organski ugljik (OC)¹⁸.

2.6 OBRADA REZULTATA MJERENJA

Analizirani su validirani podatci koncentracija lebdećih čestica PM₁₀ u razdoblju od dvije uzastopne godine 2018. i 2019. godine na mjernim lokacijama Osijek i Tikveš u Kopačkom ritu. Jednosatni prosjeci izmjerenih koncentracija PM₁₀ su analizirani komercijalnim računalnim programima. Najčešće se podatci uvrste u Excel- tablice. U cilju zornijeg prikaza rezultata izrađeni su linijski grafikoni koji se koriste za prikaz trenda tijekom određenog vremenskog razdoblja (godina, mjeseca ili dana). Za analizu podataka korišteni su komercijalni programi Excel i Origin.

2.6.1 REGRESIJSKA I KORELACIJSKA ANALIZA

Podatci o koncentraciji lebdećih čestica (PM₁₀) u razdoblju od dvije godine analiziraju se i temelje se regresijskoj i korelacijskoj analizi. Korelacijska analiza utvrđuje postojanje veze između pojava, jačinu, smjer i oblik. Regresijska analiza se koristi u svrhu utvrđivanja međusobne ovisnosti jedne pojave o drugoj ili više njih. Model jednostavne linearne regresije izražava vezu između jedne nezavisne i jedne zavisne varijable, a glasi (1):

$$y = a + bx \quad (1)$$

Odsječak na osi y označava se slovom a i izračunava se pomoću sljedeće formule (2):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - b \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2)$$

a pokazuje vrijednost zavisne varijable u situacijama kada je nezavisna varijabla jednaka nuli, dok b označava nagib pravca (koeficijent smjera ili regresijski koeficijent). Nagib pravca daje informaciju o tome koliko je zavisna varijabla promjenjiva u odnosu na nezavisnu varijablu. Nagib regresijskog pravca može imati negativan (pravac pada) i pozitivan (pravac raste) predznak.

Koeficijent korelacije se može izračunati na više načina, ovisno o raspodjeli (nije normalna/normalna) i podacima. On određuje smjer i stupanj povezanosti među dvjema pojavama. Pojave koje imaju manju povezanost imaju niže vrijednosti koeficijenta korelacije, dok se kod povezanih pojava očekuju veće vrijednosti koeficijenta korelacije.

Korelacijska analiza često se prikazuje dijagramom raspršenja, a on sadrži točke smještene u koordinatnom sustavu. Točke prikazuju uređene parove vrijednosti x i y varijabli. Na temelju rasporeda točaka u dijagramu, može se zaključiti jesu li varijable x i y korelirane ili nisu, odnosno može se utvrditi je li korelacija negativnog ili pozitivnog smjera^{19,20}.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Podatci o koncentracijama PM₁₀ čestica s mjernih postaja Osijek i Tikveš, Kopački rit korišteni su u svrhu izrade završnog rada. Meteorološki podatci su dobiveni iz Državnog hidrometeorološkog zavoda, a validirani podatci o koncentracijama polutanata iz Ministarstva zaštite okoliša i energetike.

3.1 OPIS MJERNE POSTAJE KOPAČKI RIT

U sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske, na području Osječko-baranjske županije se nalazi Park prirode Kopački rit, a sama mjerna postaja u Tikvešu je dvadesetak kilometara udaljena od grada Osijeka. Zemljopisno se Kopački rit nalazi između 18° 45' i 18° 59' istočne geografske dužine te 45° 32' i 45° 32' sjeverne geografske širine. Prostire se na lijevoj i desnoj obali Dunava njegovim uzvodnim tokom do nekadašnjeg pristaništa Kopački rit, te sjeverno od ušća rijeke Drave u Dunav. Istočni kraj Kopačkog rita je omeđen državnom granicom s Republikom Srbijom. Područje Kopačkog rita se nalazi na najnižem dijelu u Baranji. To je ravničarski kraj o čemu nam govori i podatak da u Baranji nema uzvisina iznad 250 metara nadmorske visine. Kopački rit ima izrazito specifičan reljef zahvaljujući djelovanju poplavnih voda i rijeka koje plave cjelokupno područje.

Područje Parka prirode Kopački rit sadrži neobraslo i obraslo šumsko zemljište, brojne vodene površine, šume te velike površine obradivog poljoprivrednog zemljišta na sjeveroistočnom i sjeverozapadnom dijelu (Slika 6.)



Slika 6. Park prirode Kopački rit.

Izvor : <https://pp-kopacki-rit.hr/foto-2/>

U mjestu Tikveš je smještena mjerna postaja Kopački rit (Slika 7.) . Nalazi se na 83 metara nadmorske visine, 18° istočne geografske duljine te 48° sjeverne geografske širine. Aktivna je od 01.01.2013. godine. Postaja je s obzirom na izvor emisija pozadinskog tipa i ruralno-regionalnog područja. Pod pojmom pozadinska postaja podrazumijevamo mjernu postaju na kojoj se mjeri zagađenje koje se nalazi neposredno uz direktan izvor zagađenja te je pod njegovim indirektnim utjecajem. U postaji se mjere koncentracije: lebdećih čestica (PM_{2,5} i PM₁₀), benzena i ozona²¹.



Slika 7. Mjerna postaja Kopački rit²¹.

3.2 OPIS MJERNE POSTAJE OSIJEK

Grad Osijek je smješten na 18,88° istočne geografske dužine i 45,54° sjeverne geografske širine (Slika 9.). Središte je Osječko-baranjske županije te se nalazi na nadmorskoj visini od 90 metara. Grad Osijek broji oko 110 000 stanovnika i prostire se na površini od 169 km². Karakteriziraju ga tipična kontinentalna klima i prosječna temperatura od 11°C (zima 0,2°C, jesen 11,8 °C, proljeće 11°C, ljeto 21°C). Najveći je grad Istočne Hrvatske i nalazi se na desnoj obali rijeke Drave, 21 km uzvodno od njezina utoka u Dunav.

3.3 MJERNI INSTRUMENTI

Utvrdjivanje koncentracije lebdećih čestica (PM_{10}) u mornoj postaji Kopački rit, odvijalo se automatskim analizatorom GRIMM 180 EDM (Slika 11.), pri čemu je korištena ne-referentna metoda ortogonalnog raspršenja. Automatski analizator optički mjeri veličinu čestica i masu prašine u realnom vremenu. Čestice iz uzorka okolnog zraka se najprije izlože svjetlosti kojoj je izvor laser. Na zrcalu se javlja raspršeno zračenje koje se nalazi pod kutom od 90° u odnosu na laserski snop. Nakon odbijanja na površini zrcala, signali se sakupljaju u diodi a zatim odlaze u analizator te se ondje razvrstavaju prema veličini²¹.



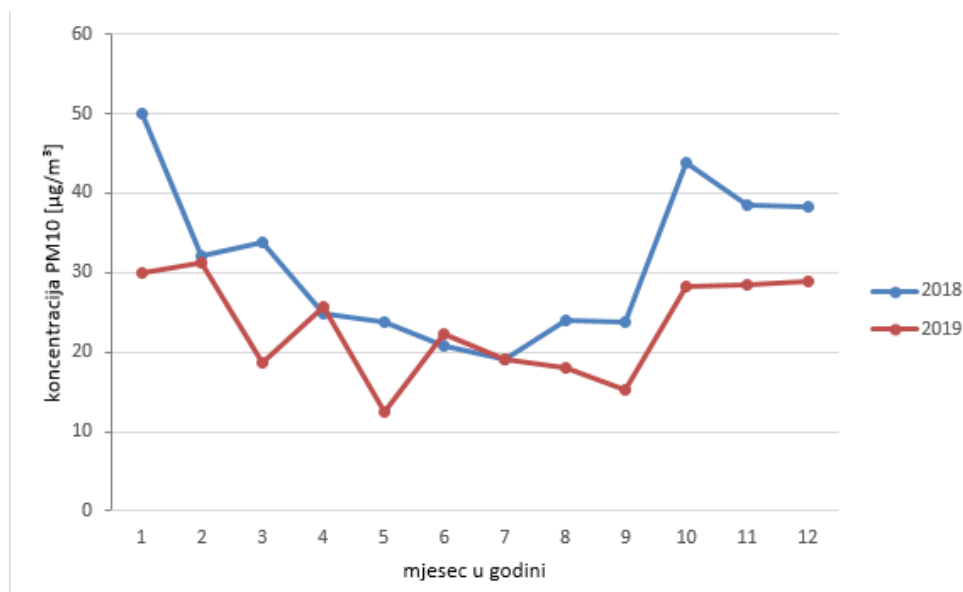
Slika 11. GRIMM 180 EDM²¹.

U mornoj postaji Osijek je masena koncentracija lebdećih čestica PM_{10} određena metodom atenuacije β -zraka koje prolaze kroz sakupljeni uzorak. Masene koncentracije uzorka određene su gravimetrijskom metodom prema HRN EN 12341:2006 referentnim sakupljačem u svrhu kategorizacije kvalitete zraka s obzirom na postojeće propise²² (Slika 12.).



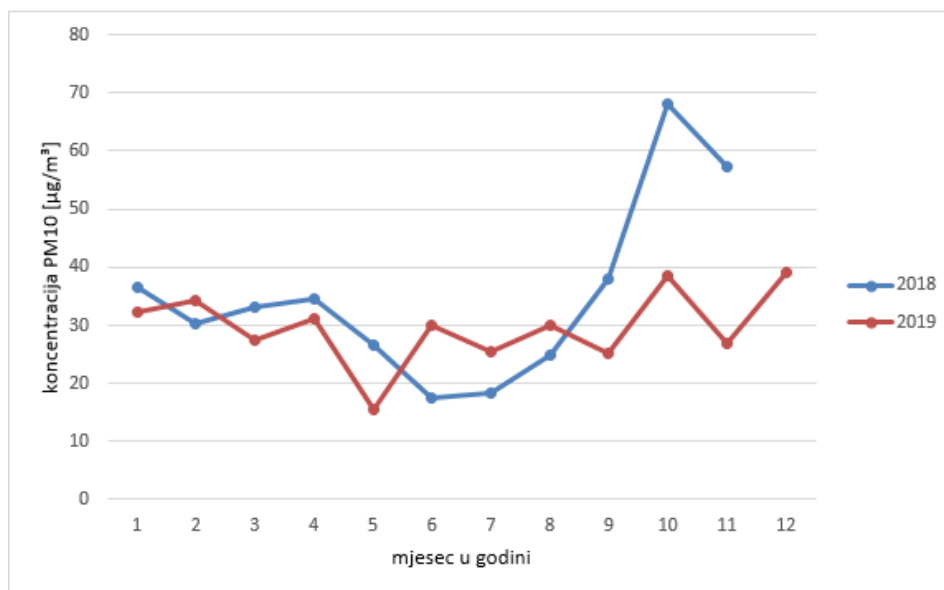
Slika 12. Thermo Andersen ESM FH 62 I-R²².

4. REZULTATI I RASPRAVA



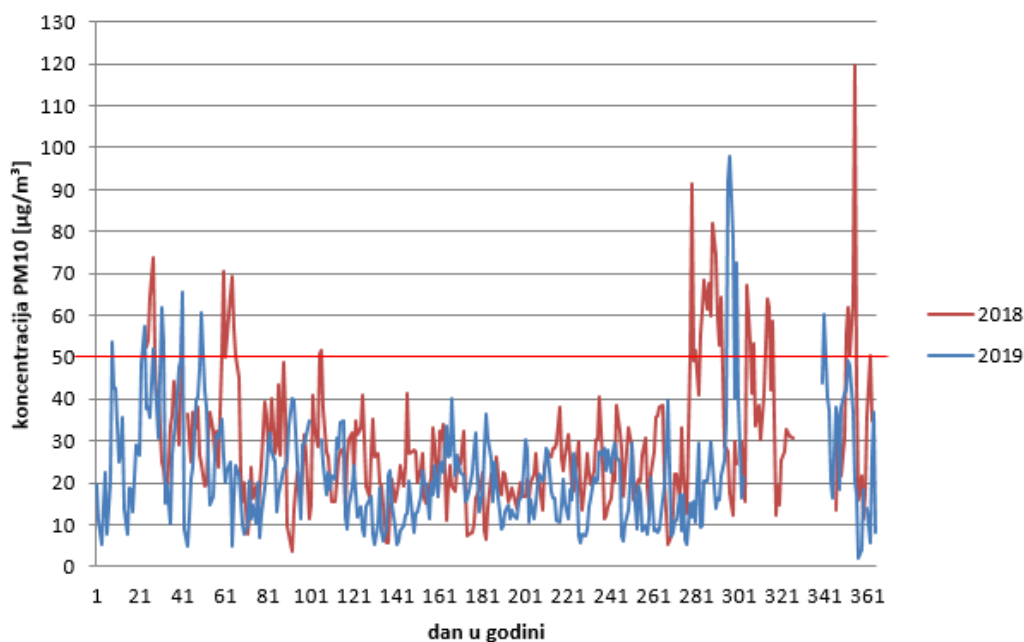
Slika 13. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica izmjerenih u Tikvešu, Kopački rit.

Slika 13. prikazuje prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica izmjerenih na mjernoj postaji Tikveš, u Kopačkom ritu. Iz slike je vidljivo da su koncentracije lebdećih čestica bile više tijekom 2018. godine te da su prosječne mjesečne koncentracije za obje analizirane godine veće tijekom jesenskih i zimskih mjeseci. Razlog povišenih koncentracija PM₁₀ čestica tijekom hladnijeg dijela godine može biti spaljivanje biomase (poljoprivredna imanja- spaljivanje ostataka po poljima kukuruza) i grijanje u domaćinstvima.



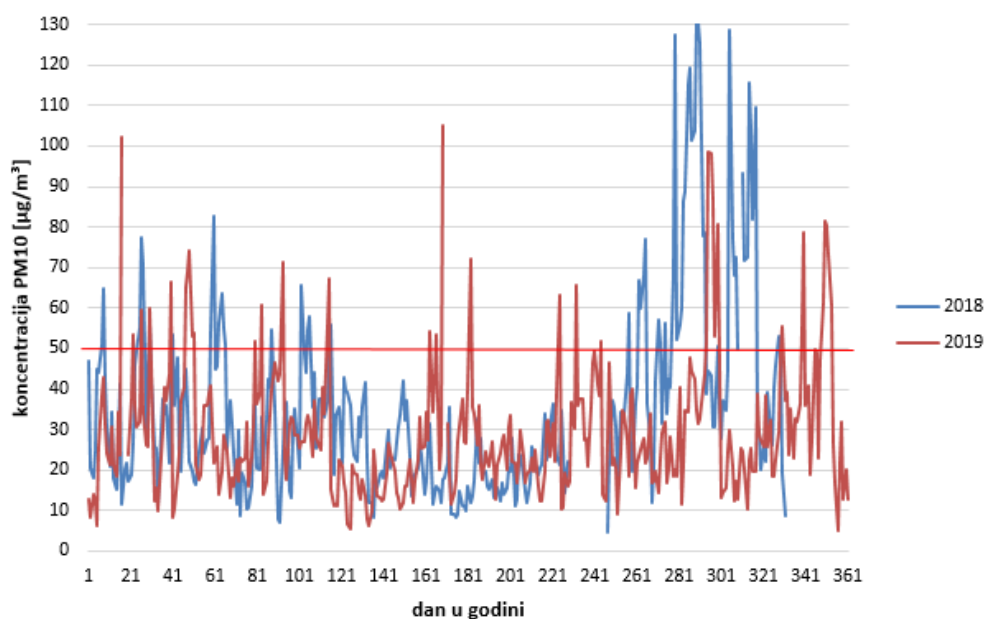
Slika 14. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica izmjerenih u Osijeku.

Slika 14. prikazuje prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica izmjerenih na mjernoj postaji u Osijeku. Iz slike je vidljivo da su koncentracije lebdećih čestica bile više tijekom 2018. godine te da su prosječne koncentracije za obje analizirane godine veće tijekom jesenskih i zimskih mjeseci. Najviše koncentracije PM₁₀ tijekom 2018. godine bile su u listopadu (70 µg/m³), dok su tijekom 2019. godine bile u listopadu i prosincu (40 µg/m³).



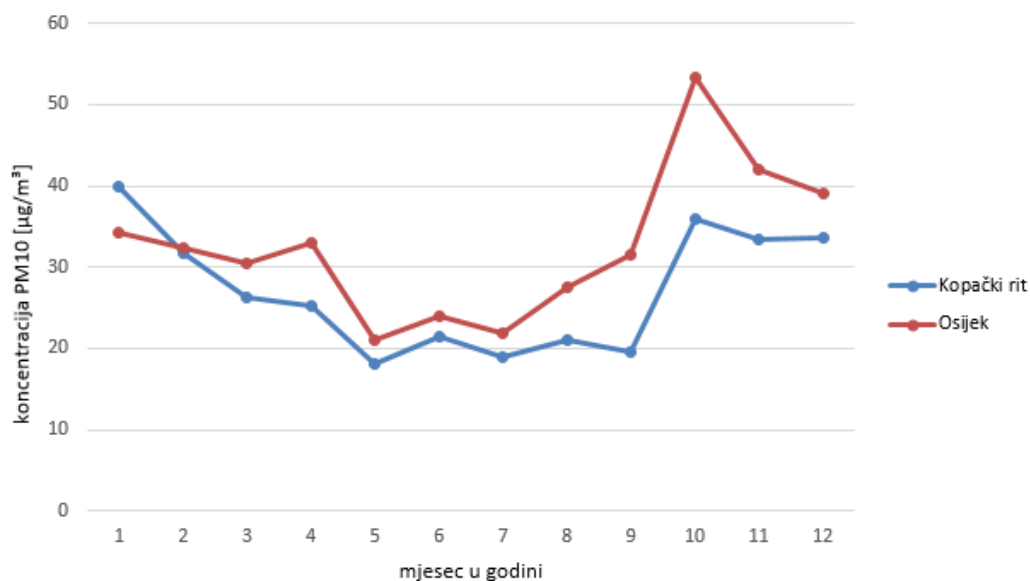
Slika 15. Kretanje srednjih dnevnih koncentracija frakcija lebdećih čestica PM₁₀ u zraku na mjernoj postaji Tikveš, Kopački rit u 2018. i 2019. godini.

Na slici 15. prikazane su srednje dnevne koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ tijekom 2018. i 2019. godine na mjernoj postaji Tikveš u Kopačkom ritu. Tijekom obje godine su izmjerene česte oscilacije u vrijednostima koncentracije PM₁₀ čestica. U analiziranim godinama vrijednosti iznad 50µg/m³ nisu prijeđene više od 35 dana tijekom kalendarske godine. Najviša vrijednost od 119,51 µg/m³ je zabilježena 21.12.2018. godine.



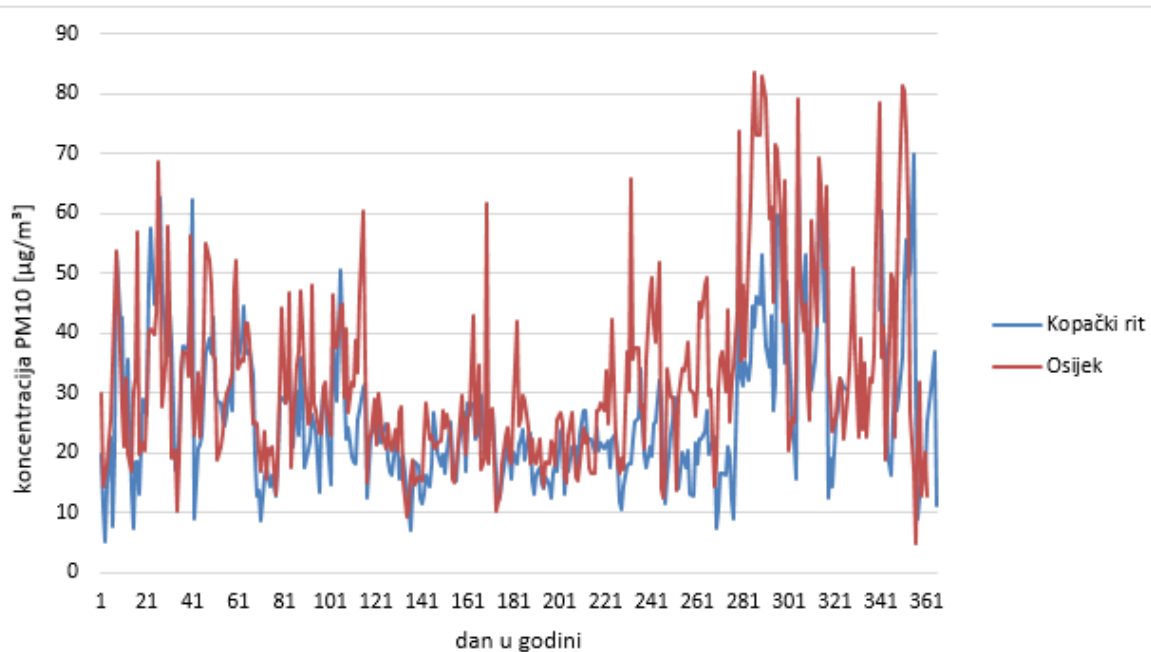
Slika 16. Kretanje srednjih dnevnih koncentracija frakcija lebdećih čestica PM₁₀ u zraku na mjernoj postaji Osijek u 2018. i 2019. godini.

Slika 16. prikazuje srednje dnevne koncentracije lebdećih čestica PM₁₀ tijekom 2018. i 2019. godine izmjerene u gradu Osijeku. Tijekom obje godine, kao i u Kopačkom ritu, izmjerene su česte oscilacije u vrijednostima koncentracije PM₁₀ čestica. U 2018. godini vrijednosti iznad 50 µg/m³ izmjerene su tijekom jeseni i zime, a u 2019. godini visoke vrijednosti su izmjerene i tijekom ljetnog perioda. U analiziranim godinama nije prekoračena granična vrijednost od 50 µg/m³ više od 35 dana tijekom kalendarske godine. No, tijekom 2018. godine vrijednosti iznad 50 µg/m³ izmjerene su 33 puta. Najviše izmjerene vrijednosti PM₁₀ čestica u promatranom razdoblju su tijekom jeseni 2018. godine.



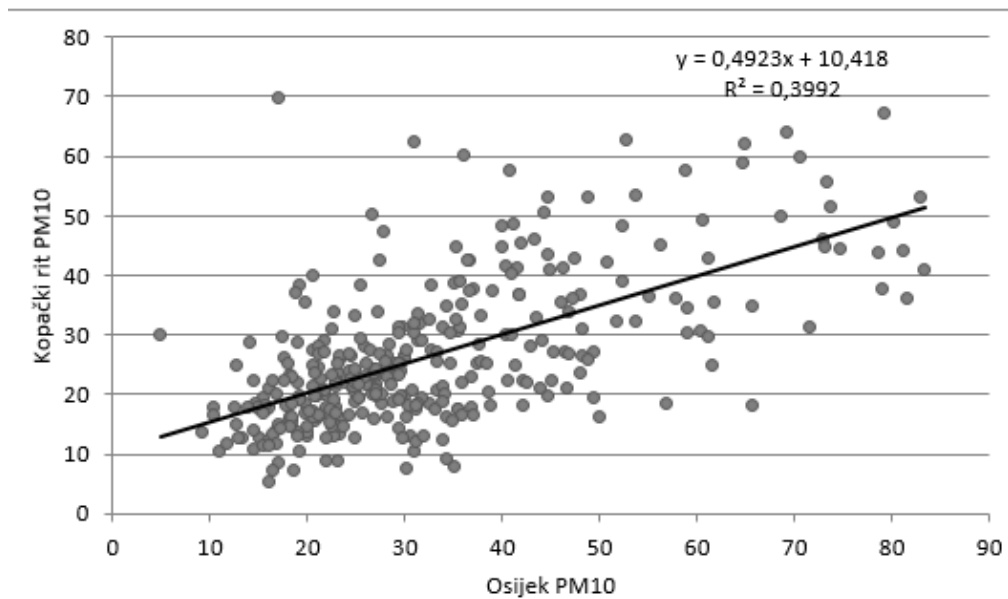
Slika 17. Prosječne mjesečne vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica izmjenjenih u Osijeku i Tikvešu, Kopački rit, tijekom a) 2018. i b) 2019. godine.

Prosjeck izmjerenih mjesečnih vrijednosti koncentracije PM₁₀ čestica u Osijeku i Tikvešu tijekom promatrane dvije godine prikazan je na slici 17. Mjesečne vrijednosti PM₁₀ čestica u gradu Osijeku su veće, osim u siječnju, što je i očekivano obzirom da je, Osijek urbano područje. Tijekom svibnja, lipnja i srpnja vrijednosti obje mjerne postaje se slično ponašaju i niže su obzirom na vrijednosti tijekom ostalih mjeseci u godini jer je u tim mjesecima manji promet zbog godišnjih odmora te nije sezona grijanja. U listopadu su najviše vrijednosti koncentracija PM₁₀ na obje lokacije, jer u tom mjesecu započinje sezona grijanja, pojačano je izgaranje fosilnih goriva (toplana) i gorenje biomase.



Slika 18. Kretanje prosječnih srednjih dnevnih koncentracija frakcija lebdećih čestica PM₁₀ u zraku na mjernim postajama Osijek i Tikveš, Kopački rit, tijekom 2018. i 2019. godine.

Slikom 18. prikazane su prosječne srednje dnevne koncentracije PM₁₀ lebdećih čestica u obje promatrane lokacije Osijek i Tikveš, Kopački rit za 2 godine (2018.-2019.). U Kopačkom ritu su tijekom ljeta niže koncentracije lebdećih čestica, isto kao u gradu Osijeku. Najviše izmjerene vrijednosti su tijekom jeseni i zime.

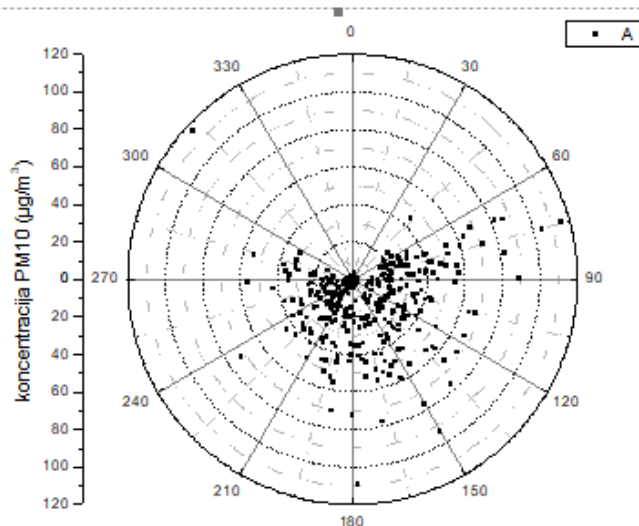


Slika 19. Dijagram raspršenja za PM₁₀ čestice u Osijeku i Kopačkom ritu tijekom 2018. i 2019. godine.

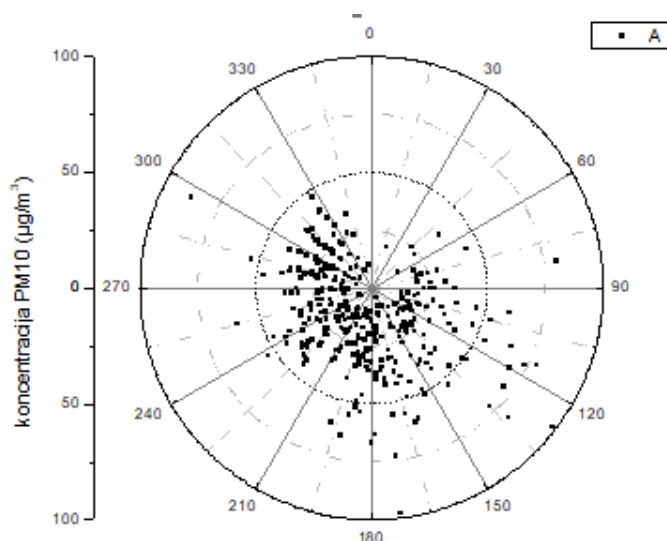
Na slici 19. prikazan je dijagram raspršenja, pravac regresije i korelacija između izmjerenih koncentracija PM₁₀ čestica u Osijeku i Kopačkom ritu. Prilikom računanja korelacija korišteni su prosječni dnevni podatci za 2018. i 2019. godinu. Dijagram raspršenja je ishodište za daljnju korelacijsku i regresijsku analizu. Vrijednosti analiziranih PM₁₀ čestica su pozitivno korelirane. Koeficijent korelacije R² iznosi 0,399 što pokazuje povezanost između promatranih varijabli od oko 40% ukupne varijacije odnosno linearnu ovisnost između PM₁₀ čestica u promatranim lokacijama. Korelacija je pozitivnog smjera te se povećanjem vrijednosti jedne varijable povećava vrijednost druge varijable i obrnuto. Jednadžba pravca regresije izračunata je prema formuli: $y = a + bx$

$$PM_{10} (\text{Kopački rit}) = 0,4923 \cdot PM_{10} (\text{Osijek}) + 10,418$$

Povećanjem broja čestica PM₁₀ u Osijeku za 100 čestica, broj čestica PM₁₀ u Kopačkom ritu povećat će se za 49 čestica više.



a)



b)

Slika 20. Polarni dijagram PM_{10} za mjernu postaju Osijek tijekom a) 2018. i b) 2019. godinu (A – prosječna dnevna koncentracija PM_{10}).

Slika 20. prikazuje ovisnosti koncentracije PM_{10} o smjeru vjetra za 2018. i 2019. godinu u gradu Osijeku. Prema dobivenim rezultatima, odnosno polarnim dijagramima može se uočiti da je najmanja povezanost koncentracija PM_{10} lebdećih čestica u obje analizirane godine sa sjevernim i sjeveroistočnim smjerom vjetra. Obzirom na navedeno može se pretpostaviti da najmanje PM_{10} čestica u grad Osijek dolazi iz smjera Kopačkog rita. Ostali smjerovi vjetra povezani su s višim koncentracijama lebdećih čestica PM_{10} . Uzrok može biti doprinos čestica iz naseljenih mjesta i prometnica.

5. ZAKLJUČAK

Park prirode Kopački rit je ruralno područje, dok je grad Osijek urbano područje. Mjerenjem koncentracija lebdećih čestica u tim područjima dobiven je uvid o stanju zraka u prizemnom sloju atmosfere. Na obje mjerne postaje rezultati su pokazali da su prosječne vrijednosti dnevnog hoda PM_{10} veće tijekom jeseni i zime, a razlog toga je sagorijevanje biomase i fosilnih goriva. Mjesečne vrijednosti PM_{10} čestica su veće u Osijeku nego u Kopačkom ritu, što je i očekivano obzirom da je, Osijek urbano područje.

Vrijednosti PM_{10} čestica su pozitivno korelirane. Koeficijent korelacije ukazuje na povezanost između promatranih varijabli odnosno linearnu ovisnost između PM_{10} čestica u promatranim lokacijama. Prema dobivenim rezultatima, može se uočiti da je najmanja povezanost koncentracija PM_{10} lebdećih čestica u obje analizirane godine sa sjevernim i sjeveroistočnim vjetrom.

6. LITERATURA

1. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4464> (23.08.2020.)
2. <https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Zrak.pdf> (23.08.2020.)
3. I. Lagzi, M. Meszaros, G. Gelybo, A. Leeslossy, Atmospheric chemistry, Eötvös, Lorand University, 2013
4. <http://www.wiking.edu.pl/article.php?id=28%20> (23.08.2020.)
5. T. Sofilić, Zdravlje i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2015.
6. <https://zrak.imi.hr/Kvaliteta> (23.08.2020.)
7. K.Šega, Lebdeće čestice (Aerosoli), Gospodarstvo i okoliš, 2004.
8. M.Čačković, G.Marović, K.Šega, V. Vađić, I. Bešlić, J.Senčar, Kisele komponente u PM_{10} frakciji lebdećih čestica i ukupna beta aktivnost zraka, Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb 2012.
9. K.Ružman, I.Smiljanić, M.Stojnić, Utjecaj gustoće prometa i meteoroloških čimbenika na koncentraciju PM_{10} čestica u zraku, Seminarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
10. Zakon o zaštiti zraka, NN 130/11, 47/14
http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_10_117_2521.html
11. R. van Zelm, M.A.J.Huijbregts, H.A. den Hollander, H.A. van Jaarsveld, F.J. Sauter, J. Struijs, H.J. van Wijnen, D.van de Meent, European characterization factors for human health damage of PM_{10} and ozone in life cycle impact assessment, Atmospheric Environment, 42 (2008)
12. World Health Organization, Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project, WHO Regional Office for Europe, 2013.
13. <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/signals-2013/clanci/svaki-nas-udisaj>
14. S.Kumar Prajapati, Ecological effect of airborne particulate matter on plants, Environmental Skeptics and Critics, 1 (2012)
15. J.H.Seinfeld, S.N. Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics : From Air Pollution to Climate Change, John Wiley i Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2006.
16. V.Šojat, G.Hrabak – Tumpa, D.Borovečki, Z.Gliha, Lebdeće čestice i oborinsko taloženje, Zbornik radova Četvrtog hrvatskog znanstveno – stručnog skupa Zaštita zraka 2005, Zadar, Hrvatska, 2005, 227-234.
17. V.Vađić, J.Hršak, Sadržaj teških metala u lebdećim česticama u zraku, Gospodarstvo i okoliš, 12 (2004)
18. R. Godec, Arh Hig Rada Toksikol, 59 (2008)

19. B. Petz, Osnove statističke metode za nematematičare, Slap, Jastrebarsko, 1997.
20. T.Bilić, A. Kuruc, Pravac regresije, Seminarski rad iz kolegija Metodika nastave matematike 3, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2014.
21. <http://iszz.azo.hr/iskzl/postajad.html?pid=255&mt=1#>
22. <http://iszz.azo.hr/iskzl/postajad.html?pid=160&mt=1>
23. Jacob. D.J., Introduction to Atmospheric Chemistry, University Press Princeton, New Jersey, 1999.
24. Zakon o zaštiti zraka NN 127/19