

# Procjena utjecaja pandemije COVID-19 na zrak u Parku prirode Kopački rit

---

**Pritišanac, Klara**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:182:424584>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Klara Pritišanac

Procjena utjecaja pandemije COVID-19 na zrak u Parku prirode Kopački rit

Završni rad

Mentor: izv. prof. dr. sc. Vlatka Gvozdić

Komentor: izv. prof. dr. sc. Elvira Kovač-Andrić

Osijek, 2023

## SAŽETAK:

Zrak je neophodan za život na zemlji. Onečišćenju zraka pridonose zagađivači u atmosferi prisutni u graničnom sloju atmosfere. Ozon, PM10 čestice i benzen neki su od onečišćivača u zraku. Uvelike utječu na ekosustav, remeteći prije svega zdravlje čovjeka, kao i biljni i životinjski svijet. U ovom radu procijenjene su koncentracije ozona, benzena i PM10 čestica na dvije različite lokacije (Park prirode Kopački rit i grad Osijek) istočne Hrvatske za razdoblje prije SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemije, točnije prije „lockdowna“, i na početku popuštanja mjera (2018.-2021.godine). Koncentracije ozona u Kopačkom ritu uspoređene su s istima u Osijeku jer su ove dvije lokacije interesantan primjer međusobnog utjecaja ruralnog i urbanog područja na relativno maloj udaljenosti. Prosječne srednje vrijednosti koncentracija PM10 čestica za promatrano razdoblje su veće na području Osijeka u odnosu na Park prirode Kopački rit. Vrijednosti koncentracija benzena u Osijeku svoj maksimum postižu u večernjim satima, dok u Kopačkom ritu u jutarnjim satima. Uočeno je kako se koncentracija ispitivanih onečišćivača smanjila u razdoblju „lockdowna“ u odnosu na razdoblje prije.

Ključne riječi: ozon, PM10 čestice, benzen, COVID-19, onečišćenje

## SUMMARY:

Air is necessary for life on earth. Contaminants in the atmosphere present in the boundary layer of the atmosphere contribute to air pollution. Ozone, PM10 particles and benzene are some of the pollutants in the air. They affect the ecosystem, first of all disrupting human health, as well as plant and animal life. In this paper, the concentrations of ozone, benzene and PM10 particles were estimated at two different locations (Kopački rit Nature Park and the city of Osijek) in eastern Croatia for the period before the SARS-CoV-2 (COVID-19) pandemic, more precisely before the "lockdown", and at the beginning of the easing of measures (2018-2021). Ozone concentrations in Kopački rit were compared with those in Osijek, because these two locations are an interesting example of the mutual influence of rural and urban areas at a relatively short distance. The average mean values of the concentration of PM10 particles for the observed period are higher in the area of Osijek compared to the Kopački rit Nature Park. Benzene concentration values in Osijek reach their maximum in the evening hours, while in Kopački rit in the morning hours. It was observed that the concentration of the tested pollutants decreased during the "lockdown" period compared to the previous period.

Keywords: ozone, PM10 particles, benzene, COVID-19, pollution

## Sadržaj:

1.UVOD.....	1
2.LITERATURNI PREGLED.....	3
2.1. Ozon .....	3
2.2. PM10 .....	4
2.3. Benzen .....	6
2.4.Pandemija SARS-CoV-2 .....	8
3. EKSPERIMENTALNI DIO .....	9
3.1 Prikupljanje podataka .....	9
3.2 Mjerne postaje .....	9
3.1.Mjerna postaja Kopački rit .....	9
3.2.Mjerna postaja Osijek.....	10
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	12
5. ZAKLJUČAK.....	20
6.LITERATURA .....	21

## 1. UVOD

Podatci Svjetske zdravstvene organizacije (eng. *World Health Organization*, WHO) prikazuju kako je onečišćenje zraka najveći ekološki rizik za zdravlje u Europskoj uniji (EU). Onečišćenje zraka u EU-u prouzroči otprilike 400 000 slučajeva preuranjene smrti. U najčešće onečišćujuće tvari ubrajaju se lebdeće čestice (eng. *Particulate Matter*, PM) PM10 i PM2.5, prizemni ozon, hlapljivi ugljikovodici sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>) i dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>) (dušikov(II) oksid + dušikov(IV) oksid) = NO<sub>x</sub>). Koncentracije ozona zajedno s meteorološkim parametrima praćene su na području grada Osijeka već 2002. godine u periodu od proljeća do kraja ljeta. Rezultati regresijske analize pokazali su relativno jaku povezanost koncentracija ozona s meteorološkim varijablama (relativna vlažnost zraka, vrijeme trajanja sunčanih sati, temperatura zraka, smjer vjetra). Rezultati Fourierove analize ukazali su na postojanje 7 dnevnog ciklusa povezanog s danima vikenda kada su koncentracije ozona bile nešto više.[1] U nastavku istraživanja koncentracija polutanata na području istočne Hrvatske analizirane su koncentracije NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM10 zajedno s meteorološkim parametrima tijekom razdoblja ljeto-jesen 2007.godine u gradu Osijeku. Analize rezultata mjerenja ukazale su na izražen dnevni hod ozona s jutarnjim minimumom (6 h) i maksimumom između 14 i 16 h. Suprotno koncentracijama NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub> i PM10, koncentracije ozona bile su nešto više tijekom vikenda u odnosu na radni dio tjedna. Rezultati Fourierove analize ukazali su na postojanje 28 dnevnog (lunarnog) ciklusa.[2] Rezultati prvog praćenja ozona u parku prirode Kopački Rit objavljeni su 2008. godine. Izmjerene satne koncentracije ozona u zraku nisu prelazile graničnu vrijednost od 110 μg m<sup>-3</sup> propisanu zakonskom regulativom za zaštitu zdravlja ljudi.[3] Tijekom kalendarske godine prekoračenje ciljne vrijednosti od 120 μg m<sup>-3</sup> prekoračeno je samo 13 puta. Vrijednosti AOT40 nisu prelazile kritičnu razinu od 18000 (μg m<sup>-3</sup>)·h.[4] Koncentracije lako hlapljivih ugljikovodika u prizemnom sloju troposfere na području Tikveša, Parka Prirode Kopački Rit mjerene su tijekom 2008. godine. Utvrđeno je da najznačajnije promjene koncentracije pokazuju etan, propan i butan.[5] Tijekom ljetnih sezona 2002., 2007. i 2012. istražene su varijacije ozona, ugljikovog monoksida i dušikovog dioksida i njihova korelacija s meteorološkim parametrima u Osijeku. Utvrđena je povezanost između meteoroloških parametara i ozona. Za razliku od ozona, koncentracije CO i NO<sub>2</sub> nisu prelazile granične vrijednosti prema

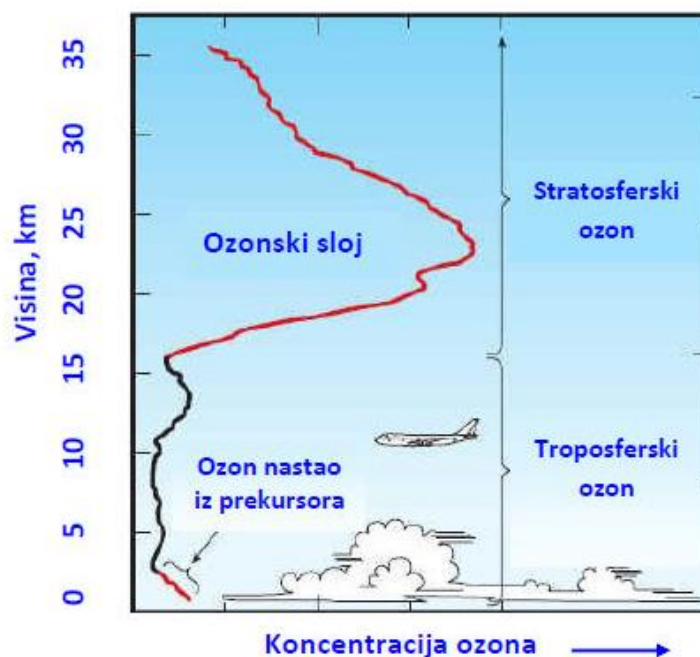
pravilnicima RH i EU.[6] Koncentracije H<sub>2</sub>S, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> i meteorološki parametri praćeni su na području Slavenskog Broda. Rezultati analize glavnih komponenti (eng. *Principal component analysis*, PCA) pokazali su da niža temperatura zraka, niža brzina vjetra i viša relativna vlažnost imaju značajnu ulogu u zimskim epizodama onećišćenja.[7] U ovom radu biti će procijenjene koncentracije ozona, PM 10 čestica i benzena u zraku na području Osijeka i Parka prirode Kopački rit u razdoblju od 2018.-2021. godine kako bi se procijenio utjecaj „lockdowna“ na kvalitetu zraka.

Kopački rit je područje uz desnu obalu Dunava s raznovrsnom florom i faunom i zakonom je zaštićeno. Specifičnost Kopačkog rita je često plavljenje površina, koje stvara močvarna staništa prikladna za život velikog broja organizama i vrsta vezanih uz vodu. Park prirode Kopački rit predstavlja jedno od temeljnih područja na istoku Hrvatske s obzirom na specifičnosti i različitosti, s velikim brojem ekoloških sustava. Ovo područje se smatra važnom prirodnom baštinom i u regionalnim odrednicama, te se svrstava i na Ramsarski popis. Samo poplavno stanište bitno je radi ukupnosti i raznolikosti površinskih i vodenih ekoloških sustava.[8][9]

## 2. LITERATURNI PREGLED

### 2.1. Ozon

Ozon je bezbojan plin koji ima zagušljiv miris, te je snažno oksidacijsko sredstvo. Ne pronalazi se u plinovima koji nastaju izgaranjem goriva, ali nastaje u prizemnim slojevima atmosfere (Slika 1). Stratosferski ozon dobar plin, i njegova je uloga zaštita od štetnog ultraljubičastog zračenja. Visoke koncentracije prizemnog ozona mogu imati negativne utjecaje na okoliš.[10][11]

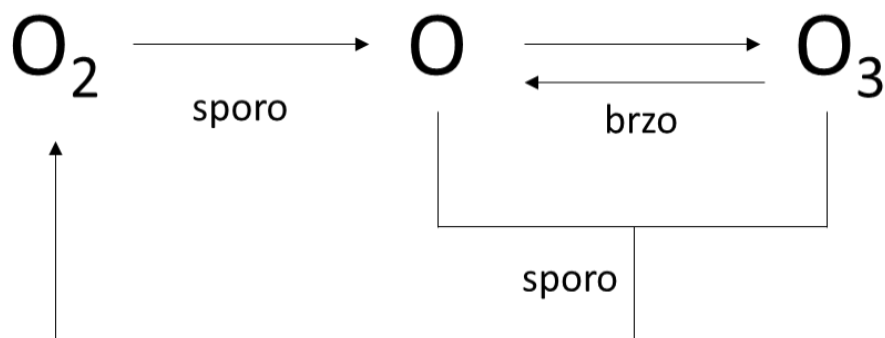


Slika 1. Ozon u atmosferi[11]

Povišene koncentracije ozona u troposferi utječu na dišne putove, uzrokuju kašalj, povećavaju sklonost infekcijama, utječu na funkciju pluća, proteina, masti itd. Također, mogu utjecati na stanje akutnih bolesnika s astmom, bronhitisom i emfizemom. Kada ozon dospije u dišni sustav, stupa u kontakt sa kompletnim dišnim sustavom, a osobito je štetan za sluznicu. Oštećuje epitel zbog čega dolazi do velike osjetljivosti na alergene i izloženosti infekcijama. U nekim slučajevima ostavlja trajne ožiljke na plućima. Također ima negativan utjecaj na kardiovaskularni sustav tako što pogoršava kardiovaskularne bolesti i arteriosklerozu.[10]

Mehanizam nastajanja i nestajanja ozona u stratosferi predložio je Chapman (Slika 2).[12]



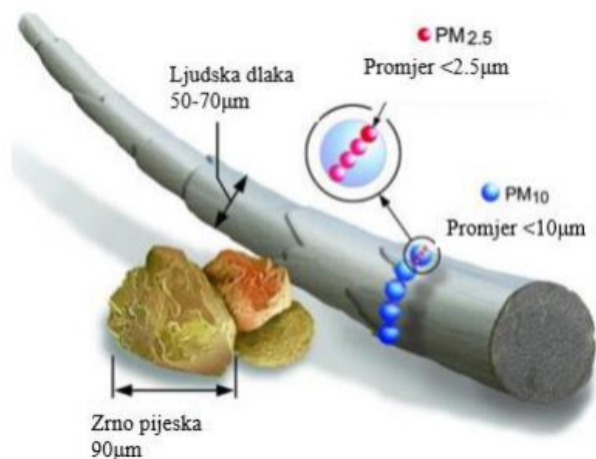


Slika 2. Chapmanov mehanizam nastajanja i nestajanja ozona

## 2.2. PM10

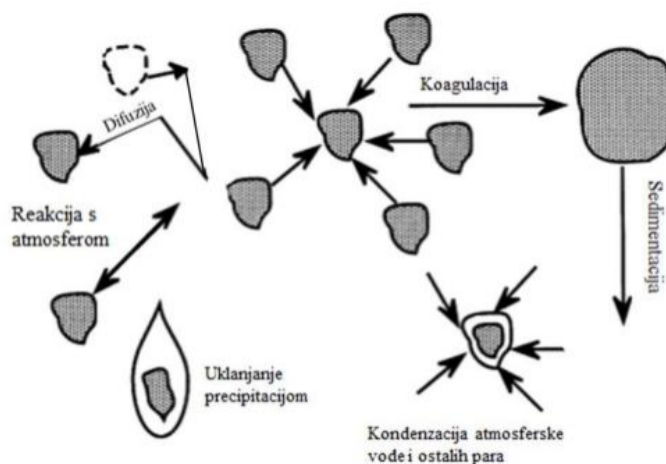
PM čestice su tvari koje pronalazimo u nižim slojevima troposfere gdje su u obliku tekućina ili krutina raspršene u zraku. U znanstvenoj se literaturi s obzirom na razlike u njihovoj veličini suspendirane lebdeće čestice, označavaju engleskim pojmom Particulate Matter, odnosno PM. Primarnim česticama se nazivaju lebdeće čestice izravno emitirane iz nekog izvora u atmosferu, a sekundarne čestice su one koje se formiraju u atmosferi preko prekursora. Glavni plinoviti prekursori plinova koji formiraju sekundarne lebdeće čestice su dušikovi oksidi ( $NO_x$ ) sumporov dioksid ( $SO_2$ ) i hlapljivi organski spojevi (eng. *Volatile Organic Compounds*, VOC). Amonijeve soli, fosfati ili nitrati stvaraju se od prekursora fotokatalitičkim reakcijama u atmosferi. Te reakcije oblikuju nove čestice u zraku ili se na primarnim česticama ukapljuje voda iz drugih spojeva, te zatim nastaju sekundarne čestice kao organske i anorganske aerosoli, a one mogu biti kapljične ili čvrste. Kako bi aerosol bio stabilan kao sustav čestice se moraju dovoljno dug period zadržavati u lebdećem stanju. Sve štetne tvari u atmosferi, u tekućem i krutom stanju, ubrajaju u lebdeće čestice.[13]

PM10 ili grube čestice (Slika 3) poznate i pod nazivom torakalne zbog svoje sposobnosti ulaska u dublje dijelove dišnog sustava, većinom se raznose vjetrom, također se pronalaze u obliku morske soli, prašine, krhotina i sl. njihov promjer manji je od  $10\mu m$ . [14]



Slika 3. Usporedba veličina PM čestica sa zrnom pijeska i dlakom čovjeka[15]

Lebdeće čestice u atmosferi sudjeluju u brojnim reakcijama (Slika 4). U procesima difuzije sudjeluju male koloidne čestice koje se spajaju u veće čestice. Jedan od glavnih mehanizama za odstranjivanje čestica iz atmosfere je sedimentacija ili suho taloženje čestica, sok je drugi mehanizam uklanjanje oborinama.[15]



Slika 4. Procesi kojima čestice podvrgavaju u atmosferi[15]

Kemijske vrste koje pretvaraju veliku količinu atmosferskih plinova u čestice su organski onečišćivači i dušikovi oksidi, pri čemu uzrokuju nastanak ozona i fotokemijskog smoga u troposferi. Kako bi se smanjila razina čvrstih čestica potrebna je kontrola emisije organskih i dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ) koji su preteče ruralnog i nacionalnog stvaranja ozona. Izgaranje, uključujući i elektrane na fosilna goriva; kamini, motori s unutarnjim izgaranjem, požari u šumama i aktivnosti vulkana, sve su to procesi kojima se stvaraju PM čestice.[15]

### 2.3. Benzen

Benzen je ugljikovodik dobiven dekarboksilacijom benzojeve kiseline. Joseph Loschmidt prvi je svojim istraživanjem utvrdio da se veći broj aromatskih spojeva može smatrati derivatima benzena (Tablica 1).

Hlapljivi organski spojevi, VOC, jednostavni su organski spojevi čija mala molekulska masa uzrokuje hlapljenje pri sobnoj temperaturi odakle i dolazi naziv hlapivi. Ti spojevi pripadaju organskim spojevima koji se nazivaju ugljikovodici, a dijele se na metanske i ne-metanske hlapive organske spojeve, odnosno onih plinova koji ishlapljaju iz različitih krutih ili tekućih tvari. Benzen je organsko otapalo koje je lako hlapivo, kancerogeno, izuzetno toksično, zapaljivo i eksplozivno kada se nađe u smjesi sa zrakom. U nekim slučajevima kod čovjeka može uzrokovati rak kostiju i krvi kao i tumore slezene, bubrega i jetre. [10][11][16]

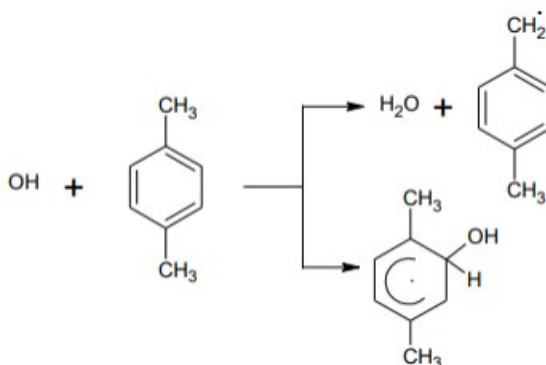
Tablica 1. Nekih spojevi iz skupine VOC i njihovi štetni učinci na zdravlje [11]

Štetan učinak	Eten (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	Benzen (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	Propen (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> )	Toluen (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> )	Ksilen (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Karcinogen	✓	✓				
Kardiovaskularni sustav	✓	✓			✓	✓
Razvoj		✓	✓		✓	
Endokrini sustav		✓				
Probavni sustav i jetra		✓	✓		✓	✓
Imunološki sustav	✓	✓			✓	✓
Bubrezi					✓	
Živčani sustav		✓	✓		✓	✓
Reproduktivni sustav		✓				
Dišni sustav		✓	✓	✓	✓	✓
Koža		✓	✓		✓	✓

Kratica BTEX predstavlja aromatske ugljikovodike: benzen, toluen, etilbenzen i ksilen. Ovi hlapljivi organski spojevi sastojci su benzina i u atmosferu dolaze iz ispušnih plinova automobila. U prirodi dolaze kao sastojci nafte i njezinih derivata. Glavni izvor izloženosti BTEX-u u okolišu dolazi od sagorijevanja automobilskih motora, ali i od duhanskog dima. Ovi se spojevi u zraku zadržavaju od nekoliko sati pa čak i do nekoliko dana, što ovisi o

vremenskim uvjetima, koncentraciji oksida sumpora i dušika i koncentraciji hidroksilnih radikala (OH).[10][11][16]

Reakcijom hidroksilnog radikala preko dana započinje troposferska razgradnja BTEX-a. Kod benzena OH radikali reagiraju s vodikovim atomom iz ugljik-vodik veze u prstenu ili s vodikovim atomom iz ugljik-vodik veze supstituirane alkilne skupine skupine. U adiciji OH radikala s aromatskim (Slika 5) prstenom nastaje hidroksicikloheksadienil ili supstituirani hidroksicikloheksadienilni radikal.[17]



Slika 5. Razgradnje spojeva u troposferi.[17]

Pojam „granična vrijednost“ je razina onečišćenosti koju je potrebno postići u određenom razdoblju, a ispod kojeg nema rizika od štetnih učinaka na zdravlje ljudi te na okoliš u cjelini te se ne smije prijeći ako je jednom ostvaren. U tablici 2. prikazane su granične vrijednosti i granice tolerancije koncentracije benzena u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi.[17]

Tablica 2. granične vrijednosti i granice tolerancije koncentracije benzena u zraku s obzirom na zaštitu zdravlja ljudi

Onečišćujuća tvar	Vrijeme usrednjavanja	Razina granične vrijednosti	Razina granice tolerancije	Učestalost dozvoljenih prekoračenja
Benzen	1 godina	5 $\mu\text{g m}^{-3}$	10 $\mu\text{g m}^{-3}$	-

## 2.4. Pandemija SARS-CoV-2

SARS-CoV-2, odnosno "Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2" ili još poznat kao COVID-19, bolest čiji je uzročnik takozvani koronavirus. Ovaj virus prvi put je identificiran u kineskom gradu Wuhan krajem 2019. godine, a od tamo se brzo proširio na druge dijelove svijeta. Prvi slučaj koronavirusa u Republici Hrvatskoj zabilježen je 20. veljače 2020. godine. Koronavirus pripada skupini zoonotskih virusa odnosno prenosi se između ljudi i životinja. Istraživanjem ovog virusa pokazalo je da su neki od simptoma: visoka temperatura, kašalj, otežano disanje, gubitak osjeta okusa i mirisa, umor, bol u mišićima i drugi. Bolest COVID-19 može rezultirati i smrću zaražene osobe, a za osobe koje su preboljele ovu bolest postoji rizik od dugoročnih posljedica. Istraživanja su pokazala da u Republici Hrvatskoj je najviše oboljelih od COVID-19 bilo rođeno između 70-ih i početka 80-ih godina prošlog stoljeća. Osim na zdravlje ljudi koronavirus utjecao je i na sve društveno-ekonomske parametre u zemlji trgovine, transporta, turizma, uslužnih djelatnosti i dr.[18]

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

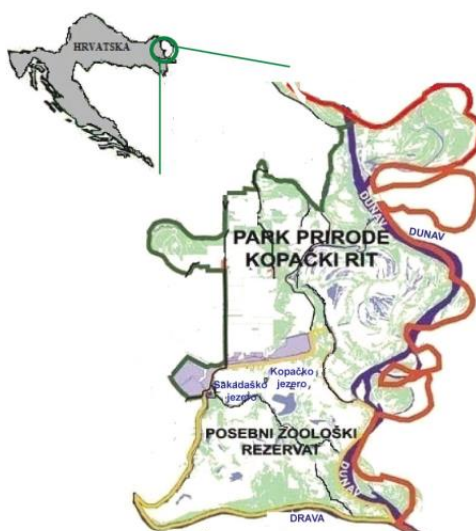
#### 3.1. Prikupljanje i obrada podataka

Podatci koncentracija preuzeti su sa stranice Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja za mjerne postaje Osijek-1 i Kopački rit za mjerno razdoblje od 2018.-2021. Izračunati su dnevni prosjeci, a podatci su obrađeni pomoću neparametrijskog Kruskal-Wallis testa. Podatci koncentracija polutanata ozona, benzena i PM10 čestica obrađeni su i analizirani komercijalnim računalnim programima Excel i Statistica TIBCO verzija 14.0.0.15..

#### 3.2. Mjerne postaje

##### 3.2.1. Mjerna postaja Kopački rit

Na sjeveroistoku Republike Hrvatske, područje Osječko-baranjske županije, se nalazi Park prirode Kopački rit (Slika 6), a mjerna postaja je u Tikvešu. Kopački rit specifičan je po svom reljefu zbog djelovanja poplavnih voda i rijeka koje čine cjelokupno područje plavnim.[19] Zemljopisno se Kopački rit nalazi između  $18^{\circ} 45'$  i  $18^{\circ} 59'$  istočne geografske dužine te  $45^{\circ} 32'$  i  $45^{\circ} 32'$  sjeverne geografske širine.[20]



Slika 6. Zemljovid Parka prirode Kopački rit[21]

U Tikvešu je smještena mjerna postaja Kopački rit (Slika 7) koja je aktivna od 2013. godine. S obzirom na izvor emisija, postaja je pozadinskog tipa i ruralno-regionalnog područja. Pojam pozadinska postaja podrazumijeva mjernu postaju gdje se mjeri zagađenje na čiju razinu utječu svi izvori i zbog toga je pod njegovim indirektnim utjecajem. Postaja mjeri koncentracije ozona, lebdećih čestica PM2.5, PM10 i benzena.[20]



Slika 7. Mjerna postaja Kopački rit [22]

### 3.2.2. Mjerna postaja Osijek

U gradu Osijeku (Slika 8) postavljena je automatska mjerna postaja (AMP) Osijek-1, koja je sastavnica državne mreže za praćenje kvalitete zraka. Osijek ima kontinentalnu klimu čiji je prosjek  $11^{\circ}\text{C}$ . Zemljopisno gledajući postaja Kopački rit nalazi se na  $45^{\circ}33'31.7''$  sjeverne geografske širine i  $18^{\circ}41'55.7''$  istočne geografske dužine.[19]



Slika 8. Geografski položaj Grada Osijeka u Osječko-baranjskoj županiji[23]

AMP Osijek-1 (Slika 9), kategorizirana je kao prometna postaja s obzirom na izvor emisija, a s obzirom na tip područja na kojem je smještena pripada gradskoj postaji. Nalazi se u blizini autobusnog stajališta i raskrižja (križanje Ulice kneza Trpimira i Europske avenije). Na postaji se provode mjerenja raznih onečišćivača, a u ovom radu su analizirane koncentracije ozona, PM10 i benzena te su uspoređivane s istima u Parku prirode Kopački rit.[19]



Slika 9. Automatska mjerna postaja Osijek-1[24]

Mjerna postaja mjeri pomoću automatskog analizatora koncentracije onečišćivača navedenih na tablici 3.[19]

Tablica 3. Prikaz polutanata i mjernih metoda kojima se mjere koncentracije tih polutanata u mornoj postaji Osijek [19]

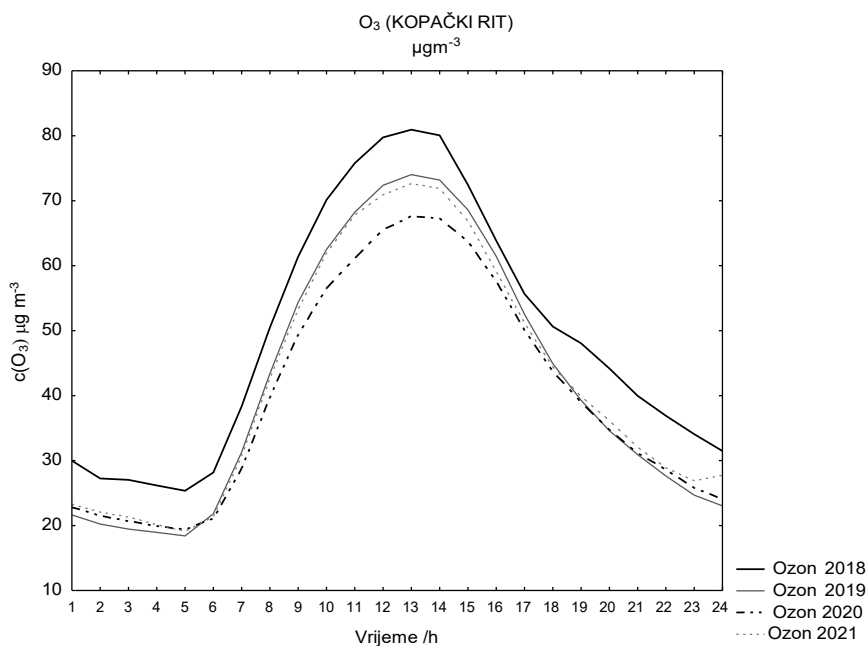
FORMULA POLUTANTA	IME POLUTANTA	MJERNA METODA	MJERNA JEDINICA
NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> spojevi izraženi kao NO <sub>2</sub>	kemiluminiscencija	µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	dušikov(IV) oksid	kemiluminiscencija	µg/m <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	sumporov(IV) oksid	UV fluoescencija	µg/m <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	lebdeće čestice	analiza apsorpcije β zraka	µg/m <sup>3</sup>
CO	ugljikov(II) oksid	neraspršujuća infracrvena spektroskopija (NDIR)	µg/m <sup>3</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	benzen	plinska kromatografija pomoću plameno ionizacijskog detektora (GC-FID)	µg/m <sup>3</sup>
O <sub>3</sub>	ozon	UV apsorpcija	µg/m <sup>3</sup>



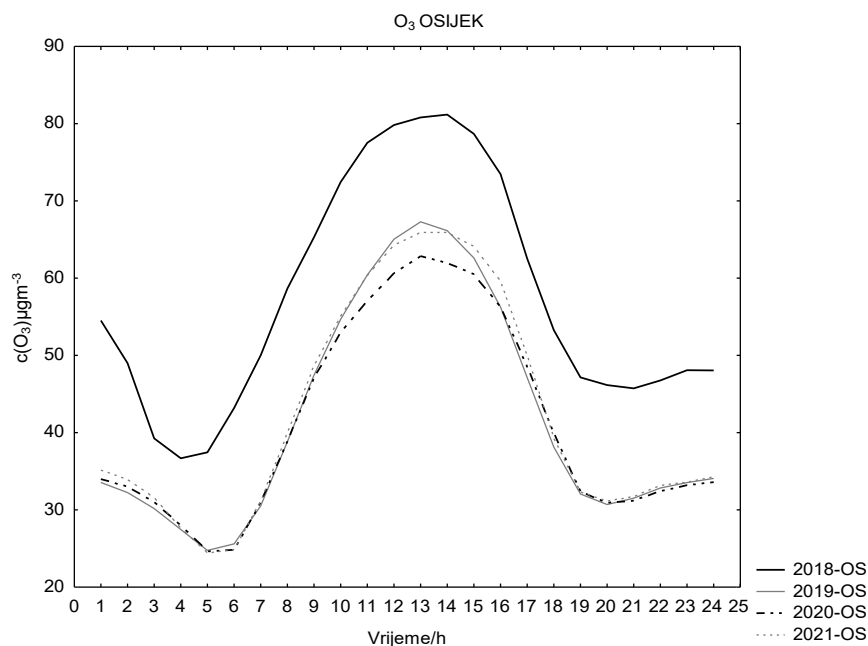
#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Analizirane su dnevne koncentracije ozona, benzena i PM10 čestica na područjima Kopački rit i Osijek u periodu od 2018.-2021. , a rezultati su prikazani na slikama od 10 do 21. Radi usporedbe, rezultati Parka prirode Kopački rit, uspoređeni su sa onima mjerne postaje za praćenje onečišćenja zraka na području grada Osijeka.

Slike 10. i 11. prikazuju dnevni hod koncentracija ozona na mjernim postajama Kopački rit i Osijek kroz promatrano razdoblje od 2018-2021.godiine. Na slikama su vidljivi podnevni maksimumi te jutarnji i večernji minimumi za sve četiri godine. Najviša razina koncentracija dnevnog hoda ozona u Kopačkom ritu uočava se tijekom 2018. godine. Koncentracije tijekom 2020. godine pokazuju najmanje oscilacije i najniže su tijekom promatranog razdoblja.



Slika 10. Dnevni hod ozona u Kopačkom ritu

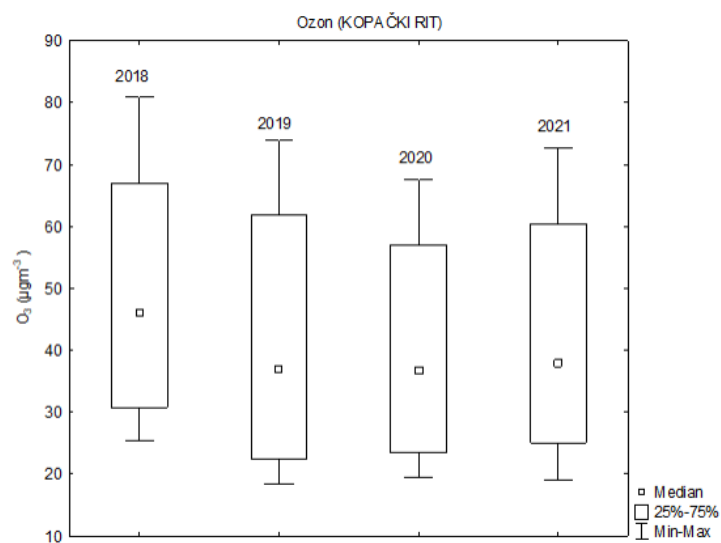


Slika 11. Dnevni hod ozona u Osijeku

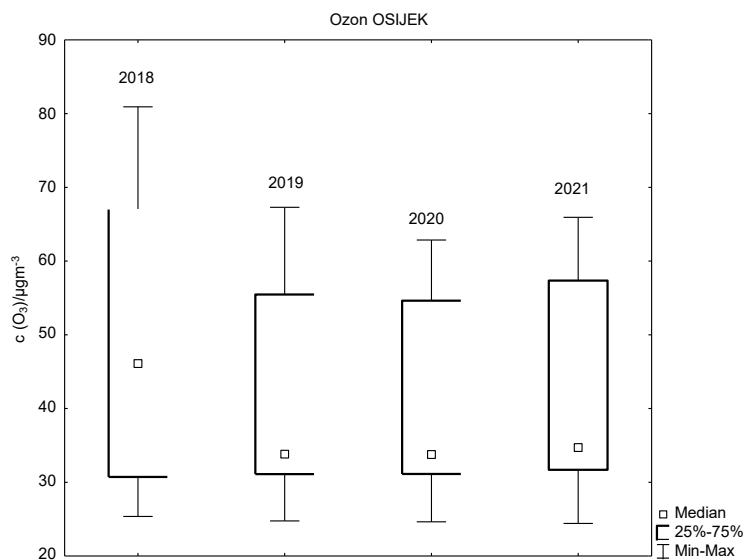
Krivulje dnevnog hoda ozona na području Osijeka prikazane su na slici 11. Trend pada koncentracija ozona nakon 2018. godine zaustavljen je tijekom narednog trogodišnjeg perioda (2019.-2021. godine). Najniže koncentracije ozona zabilježene su tijekom 2020., (godine lockdowna), ali su se tijekom 2021. godine „vratile“ na razinu onih iz 2019. Slično ponašanje i u potpunosti jednake vrijednosti koncentracija dnevnog maksimuma ozona (oko podneva) zabilježene su na području Kopačkog rita ( $c(\text{O}_3)=81 \mu\text{gm}^{-3}$ ) (Slika 10) i Osijeka ( $c(\text{O}_3)=81 \mu\text{gm}^{-3}$ ) (Slika 11).

Rezultate istraživanja vizualno je najlakše pratiti putem statističkih dijagrama stoga su koncentracije prikazane u obliku *Box and Whiskers* dijagrama na kojima su vidljive vrijednosti medijana, minimuma, maksimuma i vrijednosti 25% i 75%-tnih percentila. Proveden je Kruskal-Wallis pri razini značajnosti od 5%.

Na slikama 12. i 13. prikazani su *Box and Whiskers* dijagrami koncentracija ozona na području Kopački rit i Osijek.

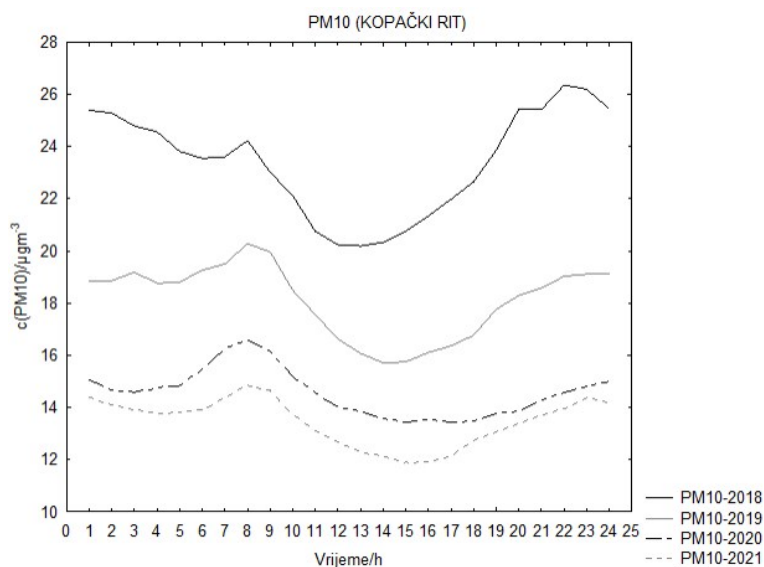


Slika 12. Kruskal-Wallis test za ozon u Kopačkom ritu

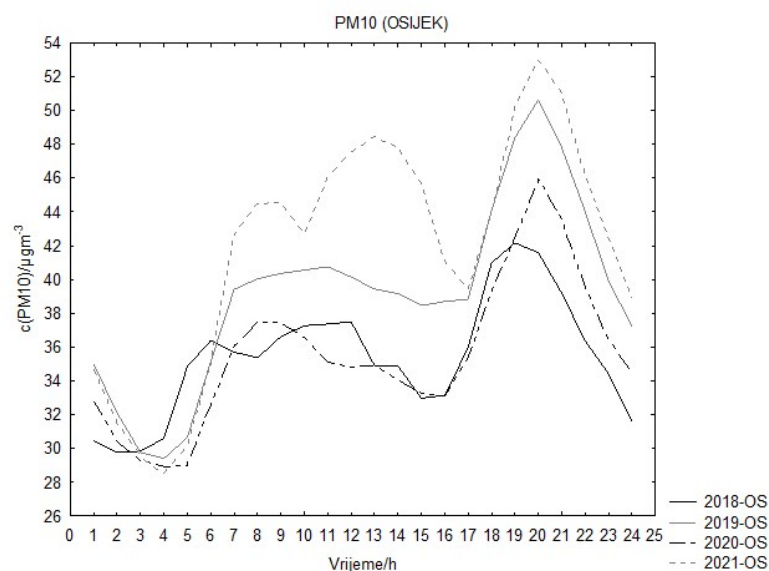


Slika 13. Kruskal-Wallis test za koncentracije ozona u Osijeku

Rezultati Kruskal-Wallis testa nisu ukazali na postojanje statistički značajnih razlika u koncentracijama ozona tijekom praćenog perioda niti na području Kopačkog rita ( $p=0,2770$ ), niti na području Osijeka ( $p=0,3276$ ).



Slika 14. Dnevni hod koncentracija PM10 čestica u Kopačkom ritu

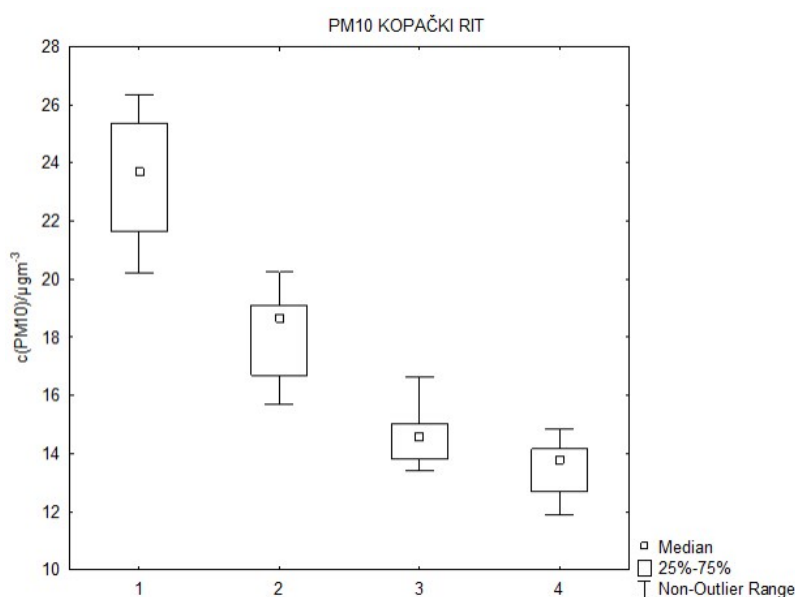


Slika 15. Dnevni hod koncentracija PM10 čestica u Osijeku

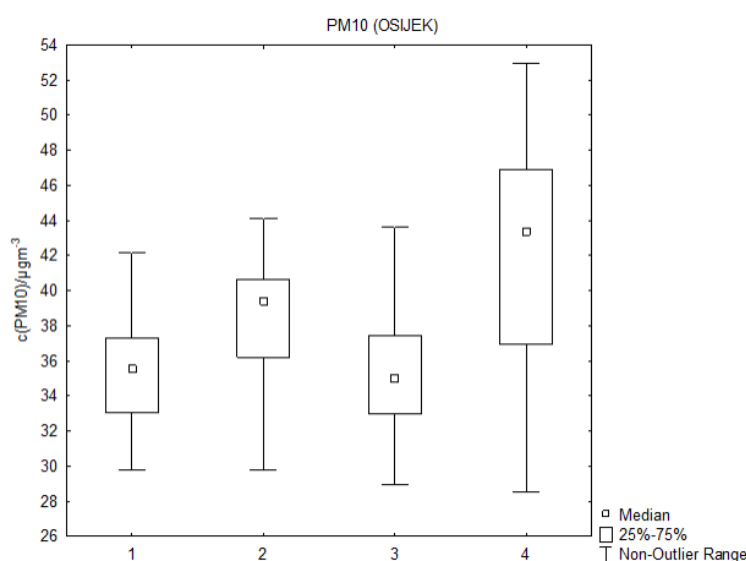
Na području Kopačkog rita (Slika 14) rezultati pokazuju pad koncentracija PM10 čestica tijekom proučavanog razdoblja od 2018. do 2021. godine, kada su na kraju praćenog perioda tj. 2021. godine dosegle i najnižu vrijednost. Najviše koncentracije lebdećih čestica PM10 uočene su tijekom 2018. godine, a tijekom 2021. godine najniže su kroz promatrani period. U potpunosti drugačija situacija zabilježena je na području Osijeka. Slika 15 pokazuje dnevni hod koncentracija PM10 čestica u Osijeku. Najviše koncentracije i u potpunosti različit profil u odnosu na tri prethodne godine, zabilježen je 2021. godine. Uočen je porast koncentracije u vremenu od 10:00 do 15:00 h tijekom 2021. godine što nije vidljivo na

dnevnom hodu čestica PM10 prethodnih godina. Zamjetan je porast koncentracija lebdećih čestica PM10 u periodu popuštanja mjera koje su uvedene zbog pandemije SARS-CoV-2. Usporede li se slike 14. i 15. u razdoblju istraživanih godina, vidljiva je veća koncentracija PM10 čestica u gradu Osijeku u odnosu na područje Kopačkog rita.

Na slikama 16. i 17. prikazani su *Box and Whiskers* dijagrami koncentracija lebdećih čestica PM10 na području Kopačkog rita i Osijeka. Na području Parka prirode Kopački rit rezultati Kruskal-Wallis testa ukazali su na postojanje statistički značajnih razlika među praćenim godinama. Statistički značajne razlike na području Osijeka zabilježe su između 2018. i 2021. godine ( $p=0,002557$ ), ali između 2020. i 2021. godine ( $p=0,002142$ ).



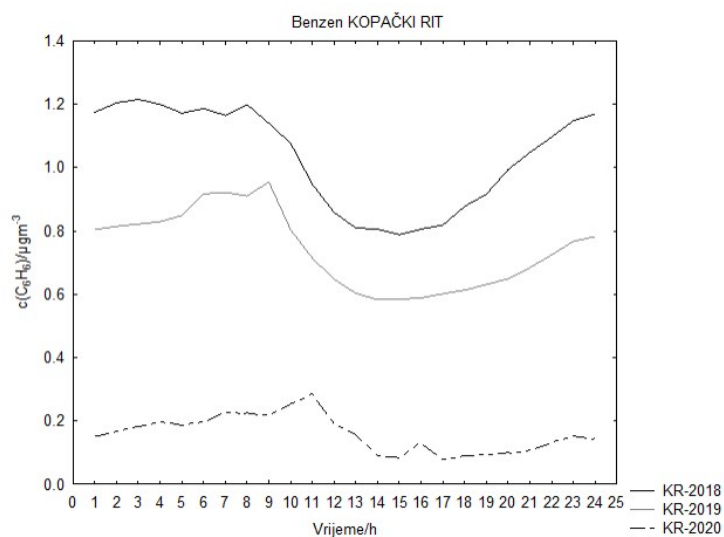
Slika 16. Rezultati Kruskal-Wallis testa za PM10 čestice na području Kopačkog rita



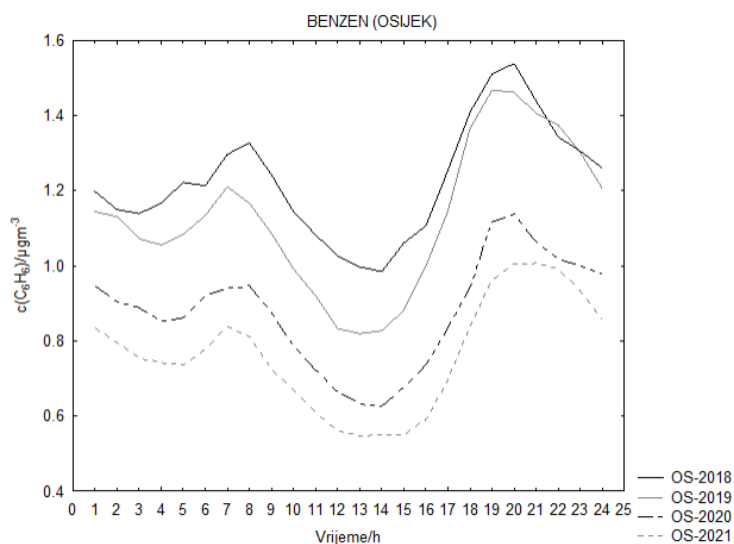
Slika 17. Rezultati Kruskal-Wallis testa za čestice PM10 u Osijeku

Na slikama 18 i 19 prikazan je dnevni hod koncentracija benzena, na mjernim postajama Kopački rit i Osijek-1. Najviše koncentracije su zabilježene na obje lokacije tijekom 2018.godine.

Na području Kopačkog rita maksimumi su zapaženi u prijednevnom satima, dok su u Osijeku u večernjim satima. Koncentracije  $C_6H_6$  varirale su tijekom 24 satnog perioda mjerenja. Najniže vrijednosti zabilježene su u periodu od 12:00h do 15:00 h, a najviše vrijednosti u periodu od 18:00-20:00h kada svoj maksimum od  $1,567 \mu\text{g m}^{-3}$  dostižu u gradu Osijeku tijekom 2018. godine.



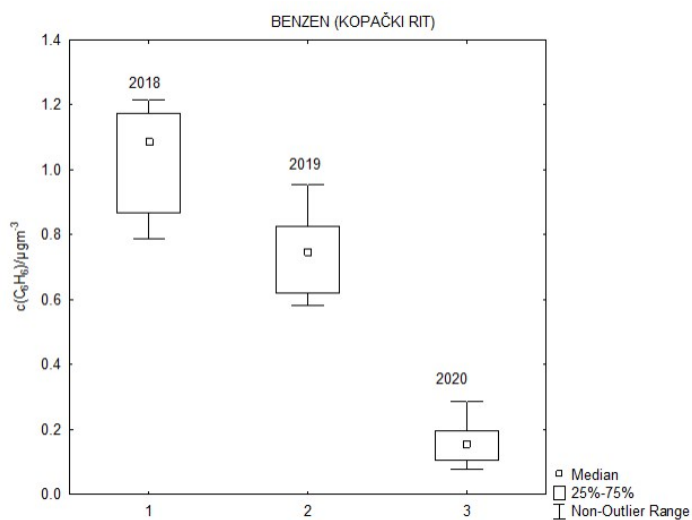
Slika 18. Dnevni hod koncentracija benzena u Kopačkom ritu



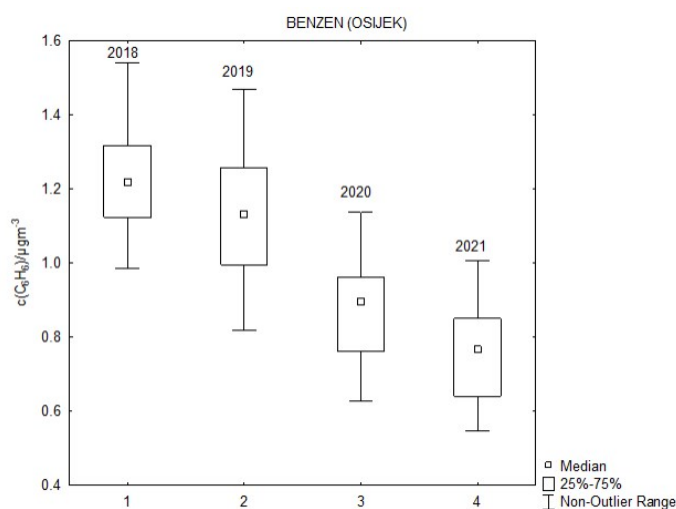
Slika 19. Dnevni hod koncentracija benzena u Osijeku

Generalno, rezultati pokazuju manju koncentracije benzena u Kopačkom ritu u odnosu na područje grada Osijeka (Slike 18 i 19). Usporede li se dnevni hod koncentracija benzena s dnevnim hodom koncentracija ozona na obje mjerne lokacije jasno je vidljivo njihovo različito ponašanje. Odnos koncentracije benzena i ozona može biti složen i ovisi o koncentraciji benzena jer se on ubraja u prekursore ozona, zatim o meteorološkim uvjetima i geografskoj lokaciji.

Budući da nisu bili dostupni podatci koncentracija benzena iz 2021. godine s područja Kopačkog rita, Kruskal-Wallis test je proveden za godine koje su bile dostupne (Slika 20 i 21). Najveća vrijednost medijana koncentracija benzena u Kopačkom ritu je bila tijekom 2018. godine dok je iste te godine najveća koncentracija bila i na području Osijeka. Na području Osijeka statistički značajne razlike nisu zabilježene između 2020. i 2021. godine.



Slika 20. Rezultati Kruskal-Wallis testa za benzen u Kopačkom ritu



Slika 21. Rezultati Kruskal-Wallis testa za benzen u Osijeku

Onečišćenje zraka smatra se jednim od osnovnih problema koji bi mogao uzrokovati mnoge zdravstvene probleme kao što su astma, oštećenje pluća, pa čak i smrt. Kako bi ispunile nacionalne standarde kvalitete zraka, mnoge su zemlje izradile strategije praćenja emisija o kvaliteti zraka.

Analiza podataka o koncentracijama ozona, lebdećih čestica PM10 i benzena kako u gradovima tako i u ovim zaštićenom području Hrvatske znatno doprinosi istraživanju o onečišćenosti zraka. Park prirode Kopački rit je zaštićeno mjesto u kojem se nastoji očuvati prirodne značajke tog područja; flora i fauna. Ozon, PM10 čestice i benzen uvelike utječu na kvalitetu zraka i života na zemlji. Koncentracije ozona u području Kopačkog rita i Osijeka protežu se unutar sličnih vrijednosti kroz promatrane godine. Za oba područja dnevni maksimumi smješteni su u sličnim vremenskim periodima (između 12:00 i 15:00 h), a najviše koncentracije zabilježene su u periodu prije pojave bolesti COVID-19. U odnosu na područje Kopačkog rita gdje su dnevne koncentracije PM10 čestica pokazale manje oscilacije, njihove koncentracije na području grada Osijeka pokazuju u potpunosti drugačije ponašanje. Maksimalne vrijednosti koncentracija postignute su tijekom perioda kasnih poslijepodnevni, odnosno rano večernjih sati, što je moguće povezati između ostaloga i sa intenzivnijim prometom koji se odvija u tom periodu. Nalik dnevnom profilu PM10 čestica bili su i profili benzena na području Kopačkog rita s manje izraženim oscilacijama nego što je to slučaj kod dnevnog hoda benzena na području grada Osijeka i zamjetno nižim koncentracijama. Potrebna su daljnja istraživanja u smislu pronalaženja korelacija između onečišćivača i meteoroloških parametara i mogućih „nevidljivih“ ciklusa u njihovim podacima.



## 5. ZAKLJUČAK

Usljed pandemije uzrokovane koronavirusom, COVID-19, čija je posljedica bila „lockdown“ i restriksijski zakon došlo je do smanjenja koncentracija ozona, PM10 čestica i benzena. Pandemija je onemogućila mobilnost ljudi što je pridonijelo smanjenom transportu i radu pojedinih industrijskih postrojenja. Općenito, za smanjenje negativnog utjecaja onečišćujućih tvari na kvalitetu zraka, važno je ograničiti emisije onečišćivača iz industrije, prometa i drugih izvora. Regulacije i mjere kontrole emisija onečišćivača, kao i prijelaz na čišće energetske izvore i tehnologije, mogu pomoći u smanjenju ovih utjecaja i zaštiti ozonskog sloja i kvalitete zraka.

## 6. LITERATURA:

- [1] E. Kovač-Andrić, J. Brana, V. Gvozdić, Impact of meteorological factors on ozone concentrations modelled by time series analysis and multivariate statistical methods, *Ecological Informatics* 4 , 2009, 117–122
- [2] V. Gvozdić, E. Kovač-Andrić , J. Brana, Influence of Meteorological Factors NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO and PM<sub>10</sub> on the Concentration of O<sub>3</sub> in the Urban Atmosphere of Eastern Croatia,
- [3] Uredba o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/2012)
- [4] E. Kovač-Andrić, V. Gvozdić, H. Muharemović, Assessment of Variations of O<sub>3</sub> Concentrations in Kopački Rit Nature Park, Eastern Croatia, *Croatica Chemica Acta* 86 (1) 2013., 109–115
- [5] E. Kovač-Andrić, G. Herjavić, H. Muharemović, Hlapljivi ugljikovodici u graničnom sloju u Tikvešu, Park prirode Kopački rit, *Kem. Ind.* 62 (7-8), 2013, 235–239
- [6] E. Kovač-Andrić, T. Radanović, I. Topalović, B. Marković, N. Sakač, Temporal Variations in Concentrations of Ozone, Nitrogen Dioxide, and Carbon Monoxide at Osijek, Croatia, *Advances in meteorology*, 2013., 469786-1 - 469786-7
- [7] V. Gvozdić, J. Brana, N. Malatesti, D. Puntarić, D. Vidosavljević, D. Rolan, Analysis of the Pollution Problem in Slavonski Brod (Eastern Croatia), *Coll. Antropol.* 35 2011., 4: 1135–1141
- [8] D. Barčić, N. Panić, EKOLOŠKO VREDNOVANJE U ZAŠTIĆENOM PROSTORU PARKA PRIRODE KOPAČKI RIT, *Šumarski list* br. 7–8, 2011., 379-390
- [9] S. Maričić, Vodostaji Kopačkog rita - ugroza močvare, *Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode*, 2019, 153 - 161
- [10] I. Horvat, Utjecaj ispušnih plinova na zdravlje i okoliš, *Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju*, 2018
- [11] T. Sofilić , *Zdravlje i okoliš, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak* 2015
- [12] M. Škobić, *Analiza podataka o ozonu u graničnom sloju atmosfere otoka Visa, Završni rad, Josip Juraj Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju*, 2015
- [13] A. Barišić-Jaman, *Analiza koncentracija lebdećih čestica (PM<sub>2.5</sub>) i (PM<sub>10</sub>) u zaštićenim područjima Hrvatske, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju*, 2016
- [14] L. Mandić, *Vremenske varijacije koncentracija atmosferskih polutanata u Parku prirode Kopački rit, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju*, 2015

- [15] I. Majić, Analiza metala u lebdećim česticama u zraku Južne Slavonije, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2020
- [16] N. Lutz, Analiza podataka koncentracija benzena u zatvorenom i otvorenom školskom prostoru, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2016
- [17] M. Barešić, Sezonske varijacije koncentracije benzena u Parku prirode Kopački rit, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2017
- [18] Žmuk, B. i Jošić, H., Godina dana bolesti COVID-19 u Republici Hrvatskoj: Pogled s kvantitativne perspektive, Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, 19 (1), 2021., 223-241
- [19] M. Kovačević, Troposferski ozon i njegovi prekursori u Osijeku, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2020
- [20] D. Prokopec, Analiza mjerenih koncentracija lebdećih čestica u urbanim i ruralnim područjima u Istočnoj Slavoniji, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za kemiju, 2020
- [21] M. Nikić, Formiranje epiksilonona u poplavnom području Kopačkog rita, Diplomski rad Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za biologiju, 2012
- [22] [https://meteo.hr/kvaliteta\\_zraka.php?section=podaci\\_kz&post=Kopa%C4%8Dki%20rit&id\\_komp=259&komp=lebdece%20cestice%20%28%3C2.5um%29](https://meteo.hr/kvaliteta_zraka.php?section=podaci_kz&post=Kopa%C4%8Dki%20rit&id_komp=259&komp=lebdece%20cestice%20%28%3C2.5um%29) (20.09.2023)
- [23] <https://www.osijek.hr/wp-content/uploads/pdf/948-simurda.pdf> (20.09.2023)
- [24] <https://iszz.azo.hr/iskzl/postaja.html?id=160> (20.09.2023)