

# Praćenje kvalitete zraka s pomoću Sentinel - 5P satelitskih snimaka u Google Earth Engine-u

---

Jovanović, Vanja

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geodesy / Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:256:483006>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-09**



Repository / Repozitorij:

[repozitorij.geof.unizg.hr/en](http://repozitorij.geof.unizg.hr/en)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEODETSKI FAKULTET**

Vanja Jovanović

**PRAĆENJE KVALITETE ZRAKA S POMOĆU  
SENTINEL-5P SATELITSKIH SNIMAKA U  
GOOGLE EARTH ENGINE-U**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

Vanja Jovanović ♦ DIPLOMSKI RAD ♦ 2024.



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**

Vanja Jovanović

**PRAĆENJE KVALITETE ZRAKA S POMOĆU**  
**SENTINEL-5P SATELITSKIH SNIMAKA U**  
**GOOGLE EARTH ENGINE-U**

Diplomski rad

Zagreb, 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**GEODETSKI FAKULTET**



Na temelju članka 19. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu i Odluke br. 1\_349\_11 Fakultetskog vijeća Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, od 26.10.2017. godine (klasa: 643-03/16-07/03), uređena je obaveza davanja „Izjave o izvornosti“ diplomskog rada koji se vrednuju na diplomskom studiju geodezije i geoinformatike, a u svrhu potvrđivanja da je rad izvorni rezultat rada studenata te da taj rad ne sadržava druge izvore osim onih koji su u njima navedeni.

**IZJAVLJUJEM**

Ja, **Vanja Jovanović**, (JMBAG: 0007181320), rođen/a 04.06.1999. u Zagrebu, izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi tog rada nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

U Zagrebu, dana 03.07.2024

  
\_\_\_\_\_  
*Potpis studenta / studentice*

<b>I. AUTOR</b>	
<b>Ime i prezime:</b>	Vanja Jovanović
<b>Datum i mjesto rođenja:</b>	04. lipnja 1999.godine, Zagreb. Republika Hrvatska
<b>II. DIPLOMSKI RAD</b>	
<b>Naslov:</b>	Praćenje kvalitete zraka s pomoću Sentinel-5P satelitskih snimaka u Google Earth Engine-u
<b>Broj stranica:</b>	88
<b>Broj tablica:</b>	10
<b>Broj slika:</b>	78
<b>Broj bibliografskih podataka:</b>	19 + 42 URL-a
<b>Ustanova i mjesto gdje je rad izraden:</b>	Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Damir Medak
<b>Komentor:</b>	Doc. Dr. sc. Luka Rumora
<b>Voditelj:</b>	
<b>III. OCJENA I OBRANA</b>	
<b>Datum zadavanja teme:</b>	12.01.2023
<b>Datum obrane rada:</b>	05.07.2024.
<b>Sastav povjerenstva pred kojim je branjen diplomski rad:</b>	izv. prof. dr. sc. Mario Miler
	Doc. Dr. sc. Luka Rumora
	prof. dr. sc. Dino Dobrinić

## **Zahvala**

*Ovu priliku bi iskoristila kako bi se zahvalila svima onima koji su me pratili, bodrili i bili uz mene tijekom ovog, možda čak i najljepšeg, životnog perioda.*

*Veliko hvala mojim „zagrebačkim roditeljima“ odnosno tetki Vanji i Jugu koji su uvijek bili ovdje prilikom mojih nebrojenih odlazaka u bolnicu. Hvala im i za najbolje ručkove vikendom, izlete, pranje robe te svaku pomoć pri popravku auta. Hvala i Maru i Riti što su nas uvijek jedva čekali u Samoboru i svaki put nas obasipali najnovijim zanimljivostima kako bi nam skrenuli misli od učenja.*

*Hvala tetki Nini i Damiru na najvećem razumijevanju studentskih problema i čari studentskih dana. Hvala im na svakom savjetu, potpori, saslušanju i pomoći oko bilo koje sitnice ili malo veće stvari koji su bili aktualni. Također hvala Jakovu i Giti za lude šetnje Velikom Goricom i još lude priče koje su mi tijekom tih šetnji ispričali.*

*Veliko i najposebnije hvala mojoj baki Dunji i didi Zlatku. Oni su, osim što su pripremali najbolje nedjeljne ručkove, uvelike pripomogli stvaranju i formiranju mene kao osobe tijekom ovoga studiranja. Hvala im za svaki savjet, za svaku kritiku i za svaku pohvalu jer su me upravo time najviše motivirali da radim i ne odustajem, dok ne pokažem što sve zapravo mogu.*

*Hvala mojim najboljim prijateljima u obitelji, kompićima tetki Jeleni i Matiji na uvijek predobrom druženju i toni smijeha. Hvala im za glasno pjevanje i kaos u svakom video pozivu jer to je upravo ono što me najviše podsjeća na kuću i ludu situaciju u kojoj živimo. Jako se veselim bilo kakvom druženju i avanturama koje nas čekaju sad kada ću napokon imati slobodne vikende od učenja. Također, jedno najslađe hvala mojem Igiju i Nikici koji su uvijek bili tu za mene kada mi je trebala šetnja radi odmora od učenja. Hvala im što su uvijek bez previše razmišljanja rekli da idemo gdje god ja hoću „samo da idemo“.*

*Mojoj najdražoj i najboljoj babi na svijetu najveće hvala za svaku prolivenu vodu za nama prije odlaska u Zagreb za sreću kako u ispitima tako i u životu. Hvala joj za potporu, ohrabrenje i neopisivo veselje svaki puta kada bi se napokon vratila kući. Ljubi te Vanja tebe.*

*Hvala mojoj mami, mojem životnom uzoru, ženi s najvećom količinom živaca, volje i ljubavi. Hvala joj za svaku sekundu što me od malena gradila i sastavljala kao kulu od Lego kockica. Puno ljudi joj je pomoglo u tome, ali njezini su temelji koje nitko nikada neće moći srušiti. Hvala ti mama što te imam kao uzora, kao mamu i kao osobu za slušanje, kada narastem želim biti kao ti.*

*Hvala mojem čaletu, najjačem čaletu u okolici, za svaki najzdraviji i najfiniji ručak, ali i za stvaranje pogleda na svijet kakav nema puno ljudi danas i malo tko ga može i razumjeti. Hvala ti što si me uvijek tjerao da budem drugačija od drugih i da, citiram, „budem pametna i dođem kući“.*

*Mojem najdražem bratu Slavenu hvala što me vječito podsjeća da je sve u mojoj glavi. Također, hvala mu i za najbolje treniranje živaca, ali i za to što me uvijek prati u stopu s idejama, pogotovo onim idejama koje započinju s „idemo jesti...“*

*Mojoj najmanjoj sestri Maši idu posebne zahvale. Upravo zato što je ona ta koju bi uvijek zvala kada mi je bilo najteže i kada više nisam mogla. Hvala joj što mi je uvijek na tako dječji, a opet i na tako odrasli način svaki put objasnila da će sve proći i da dokle god smo ona i ja zajedno i imamo što za raditi svaki problem na ovome svijetu će se riješiti.*

*Hvala mojim prijateljima za najluđe i najbolje studentske dane koje nisam mogla niti sanjati. Hvala im za svaki trenutak kojeg smo proveli zajedno učeći, planirajući, putujući, maštajući i sanjajući. Bilo je ludo.*

*Posebno hvala mojem prijatelju Tomici koji mi je uvelike pomogao prilikom realizacije mojih ideja vezanih za ovaj diplomski rad.*

*Hvala mojoj Anđeli koja me uvijek tjerala na treniranje i zdrav život. Hvala joj što je bila treći stanar naše male sobice i hvala joj što je, osim što je uvijek bila tu za mene, uvijek bila i za izlaske i provode. Ukratko, hvala joj što je bila najbolja „putna torba“ koju smo mogle imati.*

*Hvala mojoj Hani koja je sa mnom prošla najizazovnije trenutke mojeg perioda studiranja, hvala joj i što mi je svaki najbolji provod bio upravo s njom i hvala joj što je svaki put na moje spavanje odgovarala s rečenicom „što ti uvijek spavaš kad ja dođem, diži se“. Jako sam sretna jer sam tvoja prijateljica.*

*I na samome kraju izdvojila bih dvije osobe o kojima bi se trebali i eseji pisati, međutim ograničena sam na par rečenica...*

*Hvala mojem Luki što se svaki dan, od kad ga znam, smijem do suza i vjerujem u sebe. Hvala mu što trpi moje dramatične ispade i svaki put zainteresirano sluša svaki moj problem. Hvala mu što mi omogućava da na ovu odraslu budućnost ne gledam sa strahom nego s uzbuđenjem. I hvala mu što je toliko tvrdoglav i ne odustaje od toga da mi bude dobro i da se ne brinem jer u velikoj većini situacija ja bih već dignula ruke od svega da nije bilo njega sa strane. Uz tebe ovaj fakultet je ipak postao zanimljiv...*

*U konačnici, Irina, tebi ću se zahvaliti što si svih ovih 25 godina mogega života bila najbliži član obitelji, ali ujedno i najbolji prijatelj. Najsretnija sam jer sam cjelokupan proces odrastanja i sazrijevanja provela upravo s tobom pored sebe. Neopisivo ti hvala što si uvijek bila tu, kroz sve i nadam se da ću ti nekada makar malo moći za sve to vratiti. Na samome kraju imam samo za reći da su Irina i Vanja tandem kojega niti jedan Luka neće moći razdvojiti...*

*Hvala vam svima.*

## ***Praćenje kvalitete zraka s pomoću Sentinel-5P satelitskih snimaka u Google Earth Engine-u***

### ***Sažetak:***

Kvaliteta i zagađenost zraka danas predstavljaju ključne čimbenike koji određuju kvalitetu ljudskog života. Zbog sve veće prenapučenosti planeta Zemlje, u posljednjih sedam godina svjedočimo drastičnim promjenama u zagađenosti zraka i posljedicama koje izravno utječu na ljudski organizam.

U ovom diplomskom radu analizirana je povezanost između kvalitete zraka i razdoblja epidemije COVID-19, s posebnim naglaskom na utjecaj ljudskih aktivnosti, podneblja i industrijskih zona na koncentraciju NO<sub>2</sub> u Republici Hrvatskoj. Istraživanje obuhvaća razdoblja prije epidemije COVID-19 (2019. godina), tijekom epidemije (2020.-2021. godine) i nakon epidemije (2022. godina). Također su analizirane sezonske varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub>, uspoređujući prvu polovicu 2024. godine s drugom polovicom 2018. godine, kako bi se utvrdio utjecaj sezone grijanja i klimatskih uvjeta na razinu zagađenosti zraka. Analiza je provedena korištenjem Sentinel-5P satelitskih podataka preuzetih s platforme Google Earth Engine.

Dodatno, provedena je detaljna analiza gradskih područja (Zagreb, Kutina, Osijek, Pula, Split i Rijeka) koristeći podatke Sentinela-5 i podatke mjernih zemaljskih stanica. Cilj ove analize bio je detaljno ispitati utjecaj lokacije mjernih stanica na koncentraciju NO<sub>2</sub> te utjecaj epidemije COVID-19 na kvalitetu zraka u urbanim sredinama.

Dobiveni rezultati dokazali su izravni utjecaj epidemije COVID-19 na koncentraciju NO<sub>2</sub> u zraku. Drugim riječima, ljudske aktivnosti značajno utječu na povećanje i smanjenje razine zagađenosti zraka. Također je utvrđeno da su sezonske varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub> značajne, a sezona grijanja i klimatski uvjeti imaju važnu ulogu u pročišćavanju i zagađenju zraka koji udišemo. Nadalje, ukupna razina zagađenosti zraka može varirati ovisno o lokaciji mjernih stanica i podneblju u kojem se nalaze.

***Ključne riječi:*** Google Earth Engine, Sentinel-5P, zagađenost zraka, NO<sub>2</sub>, COVID – 19



## ***Air Quality Monitoring in Google Earth Engine using Sentinel-5P satellite imagery***

### ***Abstract:***

Today, air quality and pollution are key factors that determine the quality of human life. Due to the increasing overcrowding of planet Earth, in the last seven years we have witnessed drastic changes in air pollution and the consequences that directly affect the human body.

In this thesis, the connection between air quality and the period of the COVID-19 epidemic was analyzed, with a special emphasis on the influence of human activities, climate and industrial zones on the concentration of NO<sub>2</sub> in the Republic of Croatia. The research covers the periods before the epidemic of COVID-19 (2019), during the epidemic (2020-2021) and after the epidemic (2022). Seasonal variations in NO<sub>2</sub> concentration were also analyzed, comparing the first half of 2024 with the second half of 2018, in order to determine the influence of the heating season and climatic conditions on the level of air pollution. The analysis was performed using Sentinel-5P satellite data downloaded from the Google Earth Engine platform.

Additionally, a detailed analysis of urban areas (Zagreb, Kutina, Osijek, Pula, Split and Rijeka) was carried out using Sentinel-5 data and data from ground measuring stations. The aim of this analysis was to examine in detail the impact of the location of the measuring stations on the NO<sub>2</sub> concentration and the impact of the COVID-19 epidemic on air quality in urban areas.

The obtained results proved the direct impact of the COVID-19 epidemic on the concentration of NO<sub>2</sub> in the air. In other words, human activities significantly affect the increase and decrease of air pollution levels. It was also found that seasonal variations in NO<sub>2</sub> concentration are significant, and the heating season and climatic conditions play an important role in the purification and pollution of the air we breathe. Furthermore, the total level of air pollution can vary depending on the location of the measuring stations and the climate in which they are located.

***Keywords:*** *Google Earth Engine, Sentinel-5P, air pollution. NO<sub>2</sub>, COVID – 19*

## SADRŽAJ

UVOD .....	3
1.1 Pregled dosadašnjih radova .....	4
MATERIJALI I METODE .....	7
2.1 O zraku općenito .....	7
2.1.1 Zagađenost i onečišćenje zraka .....	8
2.1.2 Zagađenost zraka i utjecaj na materijalna dobra i okoliš .....	9
2.1.3 Zagađenost zraka i utjecaj na čovjeka i ljudsko zdravlje .....	10
2.1.4 Podjela onečišćivala zraka.....	11
2.1.5 Dušikov dioksid (NO <sub>2</sub> ) i njegov utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš .....	11
2.2 Copernicus program.....	13
2.2.1 Infrastruktura .....	14
2.2.2 Sentinel-5 Precursor .....	16
2.2.3 TROPOMI.....	17
2.3 Google Earth Engine (GEE) .....	18
2.4 Python .....	19
2.4.1 Visual Studio Code.....	21
2.4.2 Jupyter Notebook .....	22
2.5 DEFINIRANJE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA I ULAZNIH PODATAKA.....	23
2.5.1 Rezime praktičnog dijela rada .....	26
REZULTATI.....	28
3.1 2019 – 2020 .....	29
3.2 2020 – 2021 .....	31
3.3 2020 – 2022 .....	33
3.4 2022 – 2023 .....	35

---

3.5 2019 – 2023 .....	37
3.6 2018 – 2024 .....	39
3.7 Analiza gradskih područja .....	41
3.7.1 Grad Zagreb.....	41
3.7.2 Grad Kutina .....	46
3.7.3 Grad Pula.....	49
3.7.4 Grad Osijek.....	53
3.7.5 Grad Split .....	56
3.7.6 Grad Rijeka.....	59
DISKUSIJA.....	63
ZAKLJUČAK .....	67
LITERATURA.....	69
POPIS MREŽNIH ADRESA.....	70
POPIS SLIKA .....	74
POPIS TABLICA.....	77
ŽIVOTOPIS .....	79

## UVOD

Kvaliteta zraka kojega udišemo, odnosno njegova zagađenost, problem je novog modernog društva te je u direktnoj vezi s bolestima opasnim po život. Kada je riječ o samoj problematici kvalitete zraka jasno je da se njome nije bilo potrebno baviti u nazad nekoliko godina. Međutim s porastom broja stanovnika i ispušnih plinova te sve češćim prirodnim katastrofama, na planeti Zemlji, raste i postotak zagađenosti, a samim time raste i smrtnost koja je uzrokovana zagađenim zrakom i štetnim lebdećim česticama. Procjenjuje se da u svijetu, od bolesti čiji je glavni pokretač bilo udisanje onečišćenog zraka, u periodu od jedne godine, umre otprilike 9 milijuna ljudi (URL 1).

Ako govorimo o onečišćenju zraka mislimo na prisutnost jedne ili više tvari u zraku kao što su: aerosoli (prašine, dimovi, magle) te plinovi i pare koji se nalaze u zraku u tolikoj količini da mogu biti štetni za život i zdravlje ljudi. Također štetno djeluju i na životinje, a mogu imati i direktan štetni učinak i na biljni svijet. Postoje dvije skupine izvora onečišćenja zraka: prirodni izvori (pustinjska prašina nošena vjetrom, aeroalergeni, čestice morske soli, dim, leteći pepeo, mikroorganizmi poput bakterija i virusa, vulkanski pepeo itd.) te umjetni izvori koji su posljedice aktivnosti i procesa kojima upravlja čovjek.

Upravo je jedan od spomenutih umjetnih izvora onečišćenja zraka i plin NO<sub>2</sub>, odnosno dušikov dioksid. Lako prepoznatljiv kao sivo-smeđa izmaglica oko gradova, plin koji nastaje sagorijevanjem automobilskih motora (pogotovo onih dizelskih) pri visokim temperaturama jedan je od glavnih uzročnika drastičnih oštećenja dišnog sustava i preranog starenja pluća. Cilj ovoga rada je obratiti veću pozornost na zastupljenost i raširenost, spomenutog uzročnika onečišćenja zraka na teritoriju Republike Hrvatske. Provjerit će se njegova zastupljenost u zraku kojega udišemo u vremenskom intervalu od 7 godina, od 2018. godine do 2024. godine, te u sličnom vremenskom intervalu (od 2019. godine do 2023. godine) analizirat će se i njegova zastupljenost u gradskim područjima od interesa. Zagreb, Osijek, Kutina, Rijeka, Pula i Split gradovi su smješteni u različitim podnebljima s različitim klimatskim obilježjima i industrijskim zonama te će se upravo zato radi dodatne analize i zanimljivosti rezultata provesti i detaljnija obrada podataka kretanja zastupljenosti NO<sub>2</sub> za navedena gradska područja. Također, period u trajanju od 5 godina, prije koronavirusa (2018. godina i 2019. godina), tijekom koronavirusa (2020. godina i 2021. godina) te period nakon same epidemije (2022.

godina) odabrani su sa ciljem prikazivanja utjecaja aktivnosti stanovništva (npr. napućenost automobilskeg prometa) na zastupljenost štetne tvari u zraku te njezinu zavisnost o ljudskome djelovanju. Uz sve navedeno usporedit će se i koncentracije NO<sub>2</sub> u 2019. godini i 2023. godini, kako bi se pokazala povezanost spomenutog plina s globalnim zatopljenjem (sudjeluje u stvaranju O<sub>3</sub>) te u 2022. godini i 2023. godini radi prikaza u varijaciji koncentracije u jednogodišnjem periodu.

Potrebni podaci o koncentraciji spomenutih čestica dušikova dioksida prikupit će se s pomoću Sentinel-5P satelitskih snimaka (dio Copernicus satelitskog programa) koje će se obraditi s pomoću Python programskog jezika u razvojnom okruženju Visual Studio Code. Kompletan kod će biti obrađen u Jupyter Notebook virtualnoj bilježnici te je rezultat prikazan s pomoću Flask radnog okvira radi olakšanog ubrzanog prikaza i jasnije analize rezultata. Navedene snimke mogu se pronaći u katalogu satelitskih slika i skupova geoprostornih podataka u Google Earth Engineu, a s njima je omogućeno provođenje prostornih analiza te praćenje različitih promjena na planetarnoj razini (URL 2). Sva mjerenja provedena su na instrumentu kojega nosi Sentinel-5P, pod nazivom Tropomi (*eng. TROPOspheric Monitorng Instrument*) (URL 3).

Na samome kraju prikupljeni i obrađeni podaci će se prikazati te u konačnici i analizirati s pomoću interaktivne koropletna karte Republike Hrvatske. Zahvaljujući metodi interpolacije vizualni prikaz odgovorit će na pitanja kolika je prosječna zastupljenost NO<sub>2</sub> na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske za svaku godinu zasebno. Također, s pomoću interpolacije, dobit će se i prikazati i prosječna zastupljenost koncentracije zagađujuće tvari u spomenutim urbanim područjima. Tijekom same analize gradskih područja, usporedit će se podaci dobiveni satelitskim mjerenjima s podacima prikupljenima na mjernim postajama koje mjere kvalitetu zraka u svakome gradu. Cilj usporedbe je prikaz preciznosti i vjerodostojnosti samih podataka dobivenih satelitskim mjerenjima, te ovisnosti izmjerene koncentracije NO<sub>2</sub> o lokaciji same mjerne stanice.

## 1.1 Pregled dosadašnjih radova

Čakmak i dr. (2023) u svojem su radu pratili prostorno-vremensku raspodjelu onečišćujućih plinova s pomoću podataka dobiveni Sentinel-5P satelitskom misijom čiji su se podaci prikupili u Google Earth Engine platformi. Područje od interesa bila je Mramorna regija u Turskoj, a

period praćenja čestica bio je između lipnja 2019. godine i lipnja 2021. godine. Pomoću tabličnih podataka o zastupljenosti, odnosno vrijednosti gustoće stupca NO<sub>2</sub>, CO i SO<sub>2</sub>, preuzetih s Google Earth Engine platforme, dobili su ukupno 825 karata pokrajina, koje se nalaze u spomenutoj regiji, za period od 25 mjeseci. Mjesečni prosjeci piksela karata rasterskog formata odgovarali su prosječnoj vrijednosti koncentracije plina. Kako bi se, u konačnici, dobila prosječna vrijednost emisije plinova za spomenutu regiju unutar 25 mjeseci, izračunat je prosjek cjelokupnih dobivenih mjesečnih prikaza. Nakon analize rezultata npr. u Istanbulu, najvećem gradu regije, vrijednost gustoće stupca NO<sub>2</sub> iznosila je 9,93E-05 mol/m<sup>2</sup>, a prosječna vrijednost gustoće stupca NO<sub>2</sub> izračunata za cijelu Mramornu regiju je iznosila 8,40E-05 mol/m<sup>2</sup>. U konačnici izrađen je i grafikon s pomoću kojega se iščitao trend smanjenja vrijednosti gustoće stupca NO<sub>2</sub>. Trend opadanja najizraženiji je u prvim mjesecima 2020. godine i zadnjim mjesecima 2020. godine te je važno napomenuti da upravo to razdoblje odgovara pandemiji COVID-19 i periodu u kojem su djelovale stroge mjere izolacije kako u svijetu tako i u Mramornoj regiji u Turskoj. Međutim, pri završetku mjera koje su svima strogo preporučile izolaciju uočen je i ponovni trend rasta koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku. Spomenutim primjerom iz navedenog rada pokazana je direktna povezanost gustoće naseljenosti područja te količine prometa s koncentracijom NO<sub>2</sub> za regiju u Turskoj. Shodno tome u ovome radu će se upravo proučavati ista problematika, ali za cijeli teritorij Republike Hrvatske u nešto dužem periodu.

Buntić i dr. (2012) pratili su varijacije PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub> u gradu Mostaru, Bosna i Hercegovina, kroz 2011. godinu (od 1. siječnja do 31. prosinca) s ciljem proučavanja sezonskih i dnevnih varijacija spomenutih plinova u stambenom dijelu urbanog područja. Također, naglasak je bio na uskoj povezanosti onečišćenja zraka s prometom i godišnjim dobima. Pokazalo se da su, u zimskome razdoblju, (listopad - ožujak) najviše prosječne 24-satne mjesečne koncentracije NO<sub>2</sub> iznosile 14,24 - 21,51 μg/m<sup>3</sup>. U ljetnome razdoblju (travanj - rujanj) koncentracije spomenutog zagađivača zraka su bile izrazito niže, pa je tako koncentracija NO<sub>2</sub> za ljetni period iznosila od 7,70 do 14,96 μg/m<sup>3</sup>. Rezultati sezonskog variranja koji ukazuju na veće koncentracije zagađivača zimi mogu se povezati s više izvora. Jedan od izvora svakako je tako zvana sezona grijanja u kojoj dolazi do znatnih emisija NO<sub>2</sub> uzrokovanih pojačanom uporabom uređaja za grijanje. Također tu su i vremenski uvjeti i pojačana gustoća prometa kao još jedni od uzročnika više koncentracije. Upravo zato će se, između ostalog, s ciljem praćenja sezonskih varijacija, u ovome radu prikazati i usporediti karta Hrvatske koja prikazuje prosječnu

zagađenost zraka za drugu polovicu 2018. godine (28.6.2018. kao početni datum) s kartom Hrvatske koja prikazuje prosječnu zagađenost zraka u prvoj polovici 2024. godine (završni datum 1. 6. 2024.).

Fatemeh i dr.(2023) odlučili su provesti istraživanje o stupnju zagađenosti zraka u Iranskom gradu Ahwazu tijekom pandemije COVID-19 s pomoću satelitskih snimaka Sentinel-5P i platforme Google Earth Engine. Period istraživanja bilo je upravo doba najveće karantene, dakle početak 2020. godine do 1.lipnja 2021. godine. Također, dobiveni rezultati uspoređeni su s podacima o zagađenosti iz 2019. godine kada je svijet normalno funkcionirao. Istraživanjem se pokazala značajna promjena u koncentraciji NO<sub>2</sub>, odnosno njezin pad za čak 13,7 %, ali također je i značajno smanjena koncentracija ostalih zagađivača zraka (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO). Jasno je da je epidemija i mjere zatvaranja koje su uslijedile, uključujući ograničenje prometa i zatvaranje poslovanja odigralo ključnu ulogu u značajnom smanjenju koncentracije zraka u gradu Ahwazu. Dobiveno odstupanje između rezultata istraživanja i podataka prethodne godine potaknulo je i provedbu jedne od analiza u ovome radu. Naime, razlika u zagađenosti zraka odabranih gradskih područja Republike Hrvatske u periodu, prije epidemije koronavirusa, tijekom epidemije koronavirusa i nakon epidemije, provela se s ciljem prikaza varijacije koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku kojega udišemo. Provedena analiza provela se za područje Zagreba, Pule, Rijeke, Osijeka, Kutine i Splita za period od 5 godina (2019., 2020., 2021., 2022. te 2023.).

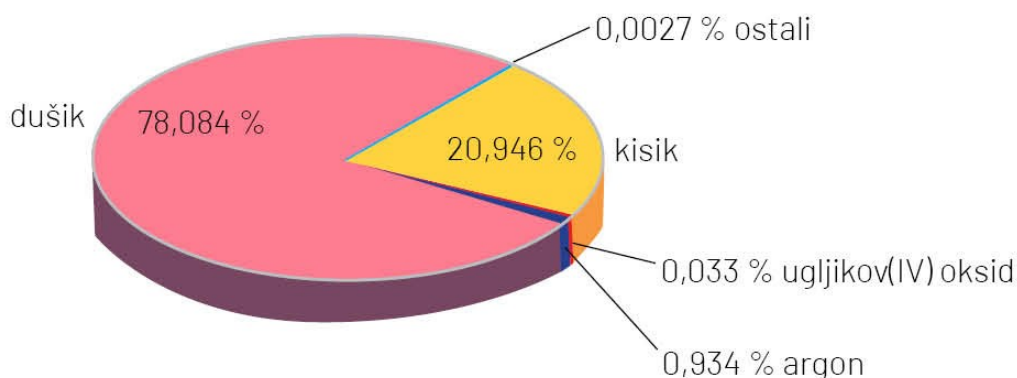
Bočková i dr.(2020) promatrali su zagađenje zraka Ukrajine iz svemira na temelju podataka Copernicus Sentinel-5P satelita. Autori ove studije prikazuju prostornu i vremensku distribuciju NO<sub>2</sub> (i ostalih zagađivača) s pomoću koropletnih karata i linijskih grafova radi lakših očitavanja vrijednosti. Međutim, satelitski podatci Sentinel-5P satelita uglavnom se mjere i daju u jedinicama mol/m<sup>2</sup>. Konverzijom spomenutih podataka u µg/m<sup>3</sup> (službena mjerna jedinica za prikaz koncentracije zagađivača u zraku) može doći do odstupanja u vrijednostima radi atmosferskih uvjeta koji utječu na prikaz područja iz zraka s pomoću spektrometra. Upravo su zato, za potrebe ovdje predstavljene detaljnije analize, površinske koncentracije PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> dobivene putem ADS-a (*eng. Atmosphere Data Store*). U ovome radu problematika će se obraditi na vrlo sličan način. Za prikaz prosječne zagađenosti zraka bit će obrađeni Sentinel-5P podaci, ali radi detaljnijeg prikaza varijacija u zagađenju gradskih područja prikazat će se i podaci izmjereni s pomoću mjernih postaja na Zemljinoj površini.

## MATERIJALI I METODE

### 2.1 O zraku općenito

Zrak je smjesa plinova koja okružuje Zemlju te je vezana uz nju gravitacijskim silama. Sudjeluje u njezinoj rotaciji te tvori Zemljinu atmosferu i nužna je za život na Zemlji (URL 4). S obzirom na temperaturu, atmosferu možemo podijeliti na: troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzozferu. Zemljina atmosfera, s litosferom i hidrosferom čini biosferu, sferu koja omogućava rast, razvoj i opstanak svih živih organizama na planeti (Vrbanek, 2020). Zahvaljujući atmosferi, živome svijetu omogućena je opskrba kisikom, zelenim biljkama osiguran je ugljični dioksid, a kompletan život na Zemlji zaštićen je od štetnih UV zraka djelovanjem ozonskog sloja (Brkić, 2018). Također osigurano je kruženje vode u prirodi i biogeokemijski ciklusi; kruženje pojedinih elemenata između žive i nežive prirode u ekološkim sustavima.

Čisti, suhi zrak jedan je od osnovnih uvjeta života i po sastavu je plin bez boje, mirisa i okusa, a njegova prosječna fizikalna svojstva ovise o temperaturi, tlaku i nadmorskoj visini. Po obujmu sadrži 78,08 % dušika (N<sub>2</sub>) koji je ujedno i osnovni biogeni element potreban za izgradnju tijela, 20,95 % kisika (O<sub>2</sub>) koji predstavlja najvažniji element za gorenje i disanje, 0,93 % argona (Ar) i ostalih plinova kao što su staklenički plinovi od kojih su najznačajniji vodena para, ugljikov dioksid (izrazito važan za proces fotosinteze), metan, dušikov oksid i ozon u manjim količinama (0,036 %) (Slika 2.1) (Tablica 2.1).



Slika 2.1 Prikaz zastupljenosti određenog plina u zraku (URL 5)



Tablica 2.1 Detaljniji prikaz prosječnog sastava zraka

Plin	Molarni udjel
Dušik (N <sub>2</sub> )	0.78
Kisik (O <sub>2</sub> )	0.21
Voda (H <sub>2</sub> O)	0,04 do < 5 x10 <sup>-3</sup>
Argon (Ar)	0.0093
Ugljikov dioksid (CO <sub>2</sub> )	370 x10 <sup>-6</sup> (podaci za 2000.)
Neon (Ne)	18,2 x10 <sup>-6</sup>
Ozon (O <sub>3</sub> )	0,02 x10 <sup>-6</sup> do 10 x10 <sup>-6</sup>
Helij (He)	5,2 x10 <sup>-6</sup>
Metan (CH <sub>4</sub> )	5,2 x10 <sup>-6</sup>
Kripton (Kr)	1,1 x10 <sup>-6</sup>
Vodik (H <sub>2</sub> )	0,55 x10 <sup>-6</sup>
Didušikov oksid (N <sub>2</sub> O)	0,32 x10 <sup>-6</sup>
Ugljikov monoksid (CO)	0,03 x10 <sup>-6</sup> do 0,3 x10 <sup>-6</sup>
Klorofluorouglijci (CFC)	3,0 x10 <sup>-9</sup>
Karbonilni sulfid (COS)	0,1 x10 <sup>-9</sup>

### 2.1.1 Zagađenost i onečišćenje zraka

Sastav zraka kojega danas poznajemo nije isti kao i sastav zraka do prije nekoliko godina. Sastav se zraka mijenja s razvitkom života na Zemlji te je usko povezan s postojećim životnim oblicima; životom biljaka, ljudi i životinja (Cvitaš i dr., n.d.). Prema Cvitaš i dr. (n.d.): „Odrastao čovjek dnevno izmjenjuje 16 kg zraka, tj. šesterostruku masu potrebne mu vode i hrane, pa je razumljivo da je kvaliteta zraka toliko važna i da čisti zrak treba očuvati.“ Postoji više čimbenika koji direktno utječu na kvalitetu zraka kojega udišemo. Valja spomenuti izrazito velike prirodne onečišćivače zraka kao što su: pustinjska prašina nošena vjetrom, čestice morske soli, dim, leteći pepeo, plinovi šumskih požara, plinovi iz močvara, mikroorganizmi (bakterije i virusi), magla, vulkanski pepeo i plinovi, meteorska prašina i prirodna isparavanja. Međutim, uz prirodne procese onečišćenja tu su i tvari koje dolaze u zrak kao posljedica ljudskoga djelovanja. Jedni od umjetnih izvora zagađenja su: elektrane i toplane (onečišćenje uzrokovano proizvodnjom toplinske i/ili električne energije), kemijska industrija (onečišćenje uzrokovano radom industrijskih postrojenja), poljoprivreda (velike količine zaprašivanja i spaljivanja), transportna sredstva, spaljivanje različitih vrsta otpada, kemijsko čišćenje, tiskanje, bojanje, rušenje objekata itd. Na njih se može direktno utjecati, a promjene su tada mnogo brže od prirodnih promjena kojima se život može prilagoditi.

### 2.1.2 Zagađenost zraka i utjecaj na materijalna dobra i okoliš

Čisti zrak izvorna je potreba sviju nas. On direktno utječe na naše zdravlje, okoliš, ali i naše gospodarstvo ovisi o njemu (URL 6). Do zagađenosti zraka dolazi vrlo jednostavno. Naime, atmosfera je jedna, a tvari koje ne čine sastav čistoga zraka ispuštaju se u nju te tako dolazi do mnogobrojnih kemijskih reakcija i transformacija. Osim na ljudsko zdravlje, štetne tvari također utječu i na materijalna dobra, kulturne i povijesne spomenike i građevine. Upravo su radi sve češćeg djelovanja kiselih kiša i sve veće koncentracije štetnih tvari u zraku mnogi povijesni spomenici i građevine u posljednjih 100 godina oštećeniji nego od vremena njihova nastanka pa do početka 20. stoljeća (Slika 2.2).



Slika 2.2 Utjecaj zagađenosti zraka na kulturnu baštinu (URL 6)

Kancerogeni ugljikovodici i toksični teški metali procesima taloženja dopijevaju u okoliš te se gomilaju u slatkovodne i morske (oceanske) ekosustave. Također dolazi do zakiseljavanja okoliša i eutrofikacije (starenje vodenih ekosustava) radi sve veće koncentracije dušikovih i sumporovih spojeva. Oni utječu i na učinkovitost proizvodnje poljoprivrednih kultura. Svakako treba spomenuti i izloženost prizemnom ozonu koji nanosi neposredne i vidljive štete vegetaciji i usjevima. Ukratko, radi atmosferskoga onečišćenja na mnogim područjima ugrožena je bioraznolikost te je sveprisutno širenje invazivnih monokultura i korova (Slika 2.3).



Slika 2.3 Utjecaj zagađenosti zraka na biljni svijet (URL 6)

### 2.1.3 Zagađenost zraka i utjecaj na čovjeka i ljudsko zdravlje

Osim na okoliš, zagađeni zrak ima direktan utjecaj i na zdravlje ljudi, a spoznaje o ovome posebno su se povećale u posljednjih nekoliko desetljeća (Sofilić, 2015). Prema podacima EEA (eng. *European Environment Agency*) procjenjuje se da na području Europe godišnje prijevremeno umre oko 400 000 ljudi zbog onečišćenja zraka. Sve je više studija usmjereno na promjene, u respiratornom i kardiovaskularnom sustavu, koje su direktne posljedice izloženosti zagađenom zraku. Međutim, također je vidljiv i niz učinaka štetnih tvari iz zraka i na drugim organima ljudskoga tijela npr. koža.

Štetne čestice prisutne u zraku uzrokuju imunosupresiju (slabljenje imunološkoga sustava čime se povećava osjetljivost na tumore i infekcije) (Kučić Grgić, 2022). Nadalje, znatno doprinose pojavi astme i bronhitisa, alergija, srčanih bolesti, kožnih bolesti i bolesti osjetila, a rezultati nedavnih istraživanja pokazali su i da djeca koja žive u područjima gdje je kontinuirano prisutan smog imaju nisku plućnu funkciju, deficit u razvoju pluća i povećan rizik od razvoja cjeloživotne astme (Slika 2.4).



Slika 2.4 Utjecaj zagađenosti zraka na zdravlje (URL 7)

#### 2.1.4 Podjela onečišćivala zraka

Onečišćenje prema području kojega obuhvaća može biti: lokalno, regionalno, interkontinentalno, kontinentalno i globalno (Pokos, 2020). Trajanje onečišćenja zraka, odnosno „životni vijek“ onečišćivala, razlikuje se ovisno o području kojega obuhvaća. Kod lokalnog onečišćenja problem je smog u gradovima ili onečišćenje zraka radi blizine kamenoloma, brodogradilišta ili industrijske zone te samo onečišćenje traje do nekoliko dana. Kada govorimo o regionalnom onečišćenju u pitanju su tjedni, kontinentalno i interkontinentalno onečišćenje traje po nekoliko mjeseci, a globalno godinama. Do globalnog onečišćenja dolazi zahvaljujući djelovanju vjetera i drugih prirodnih pojava te ono najčešće prelazi i u zagađenje zraka.

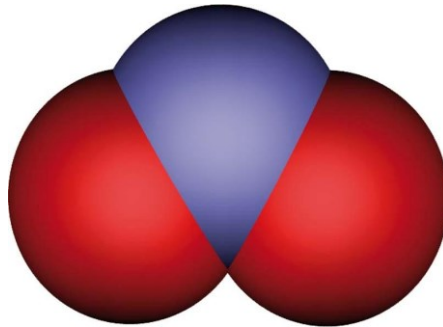
Onečišćivala zraka se najčešće dijele na primarna i sekundarna onečišćivala. Ako govorimo o primarnim onečišćivalima govorimo o tvarima koje izravno onečišćuju zrak bilo iz prirodnih izvora ili kao posljedica ljudskih aktivnosti, a u njih spadaju: ugljični monoksid (CO), sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>), dušikovi oksidi (NO<sub>2</sub>, NO), ugljikovodici (CH<sub>4</sub>), formaldehid i lebdeće čestice. Međutim, kada je riječ o sekundarnim onečišćivalima valja napomenuti da oni nastaju kemijskim reakcijama primarnih onečišćivala ili neke druge prirodne tvari (npr. vodena para) pod utjecajem sunčeve svjetlosti. U njih ubrajamo ozon i smog, kisele čestice (sulfati, nitrati i sl.) itd.

Zahvaljujući Sentinel-5P satelitskoj misiji omogućeno nam je praćenje zagađenosti zraka, određenim česticama, iz svemira. Prema tome dostupne su nam informacije o zagađenosti: ugljičnim monoksidom, sumporovim dioksidom, dušikovim dioksidom, ozonom, metanom i formaldehidom. Međutim, za potrebe ovoga rada pažnja će se dodatno posvetiti upravo dušikovom dioksidu (NO<sub>2</sub>), kao i njegovoj ulozi u zagađenju zraka te zastupljenosti i rasprostranjenosti njegovih čestica u zraku iznad područja Republike Hrvatske.

#### 2.1.5 Dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>) i njegov utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš

Dušikov dioksid (NO<sub>2</sub>) spoj je dušika i kisika (Slika 2.5) koji nastaje oksidacijom atmosferskoga dušika pri visokim temperaturama izgaranja. Definira se kao plin crvenosmeđe do tamno crvene boje (URL 8). Izvor dušikova dioksida može biti prirodnog tipa (npr. šumski požari) ili antropogenog tipa. Antropogene izvore dijelimo na pokretne (mobilne), kao što su

npr. ispušni plinovi motornih vozila, aviona i sl., te na stacionarne (nepokretne), kao što je npr. proces sagorijevanja u domaćinstvu i industrijski pogoni (Pintarić, 2015).



*Slika 2.5 Prikaz molekule dušikovog dioksida (URL 9)*

Štetni učinci dušikovitih dioksida predmet su proučavanja već desetljećima. Laboratorijskim eksperimentima i kliničkim istraživanjima na ljudima i životinjama, kao i brojnim proučavanjima u biljnom svijetu želi se dokazati razina toksičnosti djelovanja spomenutog plina na ljudski organizam, ali i na floru i faunu. Kao i kod svih ostalih onečišćivača zraka sve štetne učinke dušikovitih oksida možemo podijeliti na akutne i kronične. I akutni i kronični učinci ovisni su o trajanju izloženosti organizma i o razini koncentracija u zraku.

Najčešće posljedice izloženosti NO<sub>2</sub>, u prekomjernim količinama, u ljudskome organizmu se očituju kao: povećani mortalitet i morbiditet od akutnih respiratornih bolesti, akutno pogoršanje zdravstvenog stanja astmatičnih bolesnika, pogoršanje zdravstvenog stanja kardiovaskularnih bolesnika, izrazita iritacija očiju, povećani morbiditet od kroničnih respiratornih bolesti kao i štetni učinak na osjetne organe i plućnu funkciju. Slaba topljivost u vodi omogućava štetnoj tvari duboki prodor u respiratorni trakt sve do alveola te ulazak u krvotok gdje se veže uz hemoglobin i time znatno otežava njegov prijenos kisika do ostalih stanica.

Osim što je štetan za ljudsko zdravlje, izrazito je toksičan i za atmosferu. Emisije dušikova dioksida uzrokuju nastanak kiselih kiša, velika koncentracija NO<sub>2</sub> zaslužna je za nastajanje fotokemijskog smoga te sudjeluje i u razgradnji ozona u višim slojevima atmosfere (ozonske rupe) i stvaranju prizemnog ozona (efekt staklenika). Kisele kiše danas su problem koji izrazito šteti okolišu planeta Zemlje (URL 10). Jedne od glavnih posljedica su: zakiseljavanje vode, oštećenje vegetacije, mijenjanje kemijskog sastava tla, oštećenje svih umjetnih površina koje stvara čovjek te povećani efekt staklenika. Kada govorimo o fotokemijskom smogu jedne od glavnih posljedica su korozija, ubrzano starenje materijala te smanjenje vidljivosti.

## 2.2 Copernicus program

Ideja Copernicus programa, programa Europske svemirske agencije (ESA) i Europske komisije, je praćenje i nadziranje atmosfere, oceana i kopnenih površina s ciljem pružanja preciznih i pouzdanih informacija za dobrobit europskih građana (URL 11). Drugim riječima zadaća mu je praćenje stanja planete Zemlje iz svemira s fokusom na Europu. Zahvaljujući raznolikoj tehnologiji, od satelita u svemiru do mjernih sustava na tlu i u moru, omogućeno je otvoreno i slobodno rukovanje velikim brojem podataka u širokom rasponu područja primjene (Bieńkowska, n.d.).

Copernicus program je nastavak GMES (*eng. Global Monitoring for Environment and Security*) programa koji je poznat još od davne 1998.godine (Jakupović i dr., 2018.). Osnovni motiv razvitka programa je praćenje okoliša i poboljšanje ukupne sigurnosti Europske Unije. Sukladno navedenom, Copernicus servisi pokrivaju 6 tematskih područja: zemlju, more, atmosferu, promjenu klime, upravljanje hitnim intervencijama i sigurnost (Slika 2.6). Podržavaju široki raspon primjena uključujući zaštitu okoliša, upravljanje urbanim područjima, regionalno i lokalno planiranje, poljoprivredu, šumarstvo, ribarstvo, zdravstvo, transport, održivi razvoj i druge. Glavna zadaća servisa je davanje potrebne informacije za donošenje odluka u slučaju izvanrednih situacija kao što su prirodne katastrofe i humanitarne krize, ali i donošenje odluka o okolišu. „Djelovanje tih servisa očituje se Sentinel misijama koje s pomoću satelita prikupljaju razne podatke iz svemira. Također, koriste se i senzori na površini Zemlje kako bi se dobila bolja i detaljnija slika, no fokus je na snimanju iz svemira“ (Sabljak, 2020).



Slika 2.6 Prikaz servisa Copernicus programa (URL 12)

### 2.2.1 Infrastruktura

Kako bi se uspješno prikupili podaci s pomoću Copernicus Sustava potrebna je obrada podataka koju prikupe sateliti, ali i in situ senzori (URL 13). In situ senzori definiraju se kao zemaljske postaje koje isporučuju podatke prikupljene mnoštvom senzora na kopnu, moru ili u zraku. Sateliti za promatranje Zemlje koji pružaju podatke za usluge programa Copernicus podijeljeni su u dvije skupine misija.

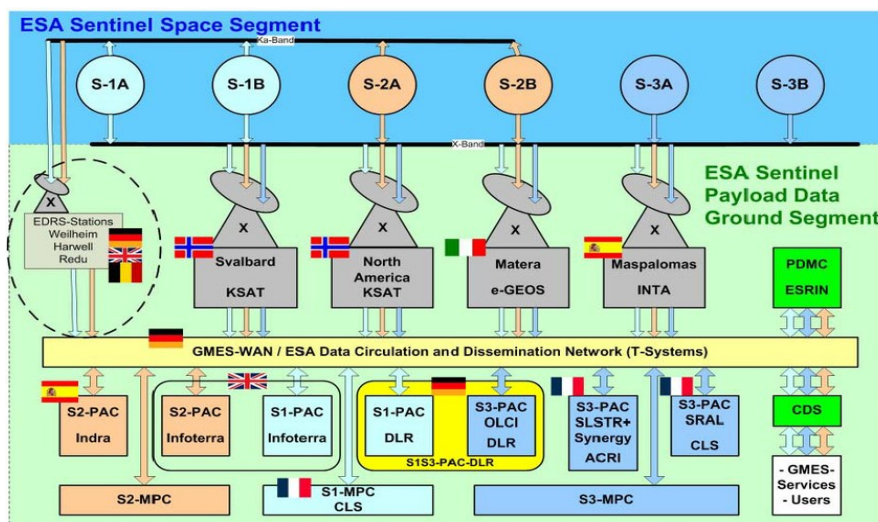
Prvu skupinu misija čine Sentinel sateliti. Svaka generacija satelita sastoji se od jednog ili više satelita koji orbitiraju oko Zemlje. Misija pripada jednom servisu ili više servisa, ovisno o tome s kojim instrumentima je satelit opskrbljen. Prema tome imamo, Sentinel-1, -2, -3, i -6 koji su namjenski sateliti. Sentinel -4 i -5 su instrumenti na EUMETSAT-ovim (*eng. European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) meteorološkim satelitima. Dok je Sentinel-5P, koji je prekursor satelita Sentinel-5, također namjenski satelit. On se nalazi u orbiti kao most između starih ESA-ovih satelita, koji su pri kraju životnoga vijeka, te novih Sentinel 5 satelita koji su u proizvodnji.

Također, imamo i dodatne misije koje su zadužene za dopunske podatke radi što uspješnijeg ispunjavanja niza zahtjeva za promatranje (URL 14). Dodatne misije su misije Europske svemirske agencije (ESA), njezinih država članica, EUMETSAT-a i ostalih europskih međunarodnih provoditelja misija trećih strana. Planira se provedba otprilike 30 novih dodatnih misija koje će ispunjavati svoje zadaće u idućim zadacima: dnevno i noćno praćenje kopna i oceana s pomoću radara sa sintetskom antenom (SAR), praćenje aktivnosti na kopnu i praćenje dinamike oceana s pomoću optičkih senzora, mjerenje razine mora s pomoću altimetrijskog sustava, praćenje temperature kopna i oceana s pomoću radiometara te u konačnici mjerenje kvalitete zraka s pomoću spektrometara. Sateliti i dodatne misije definiraju svemirski segment Copernicus programa (Slika 2.7).



Slika 2.7 Prikaz svemirskog segmenta Copernicus Programa (URL 15)

Osim svemirskog segmenta, da bi neki satelitski sustav ispravno funkcionirao potreban je i zemaljski segment. Također, poznat i pod nazivom kontrolni segment. Neke od njegovih zadaća su: prikupljanje podataka praćenja satelita, računanje položaja satelita u orbitama, generiranje navigacijski poruka itd. (Bačić, 2020). On obuhvaća centar za nadzor misija koji upravlja satelitima i službama koje obrađuju podatke primljene od satelita. Usprkos tome jedna od glavnih uloga zemaljskoga segmenta ipak je pružiti pristup podacima Sentinela i dodatnih misija (URL 16). Elementi zemaljskoga segmenta raspoređeni su na širem geografskome području te se on oslanja na postojeću infrastrukturu (Slika 2.9). Njime upravljaju međunarodne agencije (ESA i EUMETSAT) te nacionalne i javne privatne službe.



Slika 2.8 Primjer zemaljskog segmenta Copernicus programa (URL 17)



### 2.2.2 Sentinel-5 Precursor

Sentinel-5 Precursor, ili skraćeno Sentinel-5P, prva je Copernicus misija čiji je glavni cilj praćenje Zemljine atmosfere (URL 18) (Slika 2.9). Sa širinom pojasa pokrivanja od 2600 km, svaki dan mapira cijeli planet. Informacije prikupljene ovom misijom koriste se za prognoze kvalitete zraka i donošenje odluka od strane Copernicus službe za praćenje kvalitete atmosfere.



Slika 2.9 Sentinel-5P (URL 19)

Satelit je uspješno lansiran 13. listopada 2017. godine iz Rusije (URL 20). Koristi orbitu visoke inklinacije (kutna udaljenost ravnine orbite od ekvatora) od otprilike  $98.7^\circ$ . Orbita satelita je skoro polarna, Sunčevo-sinkrona orbita s ekvatorijalnim križanjem uzlaznog čvora u 13:30 sati po srednjem lokalnom solarnom vremenu. Orbitalni ciklus, vrijeme koje je potrebno da satelit prijeđe iznad iste geografske točke na tlu, je 16 dana. Sukladno tome prijeđe 14 orbita po danu; 14 punih krugova/orbita oko Zemlje i 227 orbita po ciklusu; tijekom jednog orbitalnog ciklusa od 16 dana, satelit će obaviti ukupno 227 krugova/orbita oko Zemlje te tako pokriti cijelu Zemljinu površinu. Referentna visina orbite je približno 824 km.

Glavna i temeljna zadaća, kao što je to navedeno, Sentinel 5P misije je praćenje sastava atmosfere (URL 21). Zahvaljujući ovoj misiji omogućena su točna mjerenja nekoliko štetnih sastavnica atmosfere kao što su: ozon, dušikov dioksid, sumporov dioksid, ugljikov monoksid, metan, formaldehid i aerosoli. Spomenuta mjerenja izvršavaju se s pomoću TROPOMI instrumenta (*eng. TROPospheric Monitoring Instrumenta*).

### 2.2.3 TROPOMI

TROPOMI je spektrometar s metlicom sa spektralnim pojasevima: UV, VIS, NIR i SWIR zračenja (URL 22). Snimanje Zemljine atmosfere zahvaljujući minimalnim pogreškama u utorima ima izrazito visoku rezoluciju, 7 km x 3.5 km.

Jedne od glavnih karakteristika TROPOMI *instrumenta* jesu:

- Vrsta instrumenta: pasivni spektrometar s rešetkastom slikom
- Konfiguracija: stalni *push broom* pogled s nadir načinom promatranja (satelit kontinuirano promatra Zemlju izravno ispod sebe, bez potrebe za bočnim skeniranjem)
- Širina otkosa: 2600 km (širina trake površine Zemlje koju instrumenti na satelitu mogu snimiti tijekom jednog prolaska)
- Radiometrijska točnost (apsolutna): 1.6 % (SWIR) do 1.9 % (UV) izmjerene Zemljine spektralne refleksije
- Životni vijek dizajna: 7 godina
- Generirana količina podataka: 139 gigabita po punoj orbiti

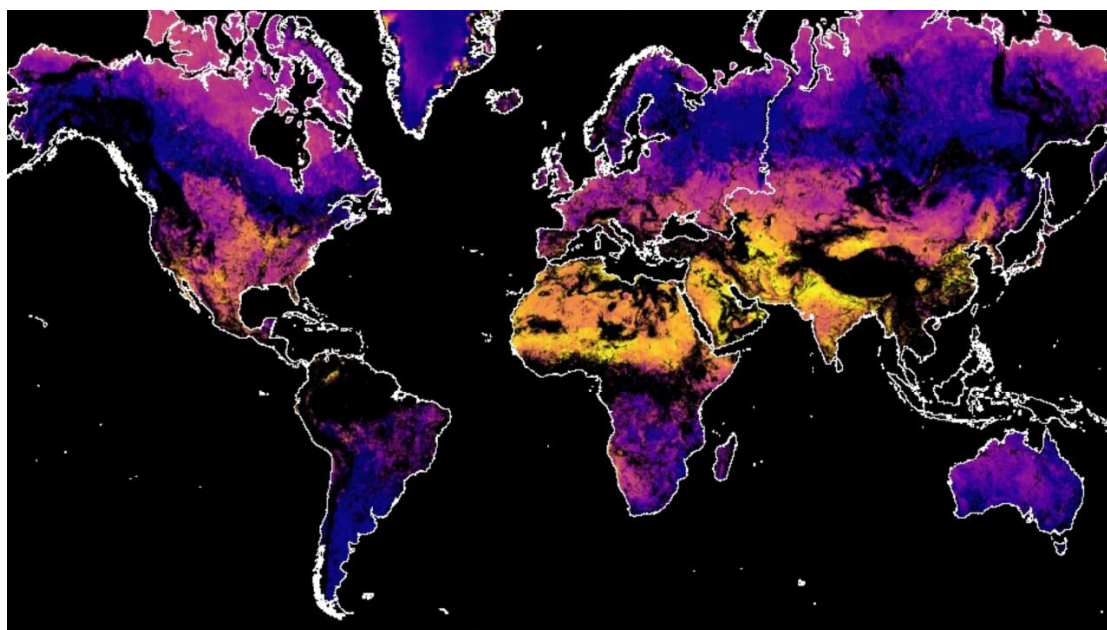
Zaključno, TROPOMI instrument predstavlja izvanredan primjer tehnološkog dostignuća. Zahvaljujući izrazito dobroj radiometrijskoj točnosti ovaj instrument omogućava precizna mjerenja spektralne refleksije čestica te samim time i vrlo dobar uvid u trenutno stanje atmosfere. Sa svojom kompaktnom veličinom, niskom potrošnjom energije i impresivnom generiranom količinom podataka, TROPOMI je ključan za razumijevanje i praćenje ključnih atmosferskih procesa te će njegovi podaci biti, ali već i jesu, od izrazite pomoći i važnosti pri očuvanje planete Zemlje i njezine atmosfere (Slika 2.10).



Slika 2.10 TROPoSpheric Monitoring Instrument (URL 23)

### 2.3 Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine je platforma (oblak podataka) za geoprostornu analizu koja korisnicima omogućava analizu satelitskih slika našega planeta (URL 24). Između ostalih, omogućene su i vizualizacija, analiza i rad s podacima prikupljenih Sentinel-5P satelitskom misijom (Slika 2.11). Navedeno se postiže kombiniranjem višepetabajtnog kataloga satelitskih slika i skupova geoprostornih podataka s analizama koje GEE omogućava na planetarnoj razini. Popis svih prikupljenih podataka koji se nalaze na spomenutoj platformi može se pronaći u Earth Engine Data Catalogu, međutim kao najvažniji bi se trebali izdvojiti: podaci o temperaturi Zemljine površine, klimatski podaci, atmosferski podaci te podaci vezani za vrijeme. (URL 25).



*Slika 2.11 Prikaz podataka Sentinel-5P satelita u katalogu GEEa (URL 26)*

GEE službeno je lansiran 2010. godine, a 2013. godine istraživači sa Sveučilišta u Marylandu proizveli su prve karte visoke rezolucije o globalnom šumskom pokrovu i njegovim gubicima. Od tada je Earth Engine korišten u izradi stotine članaka znanstvenih časopisa iz mnogih područja uključujući: šumarstvo i poljoprivredu, hidrologiju, praćenje i procjenu prirodnih katastrofa, urbano kartiranje, atmosferske i klimatske znanosti te kartiranje tla.

Temeljna razlika između Google Eartha i Earth Enginea je u tome što nam Google Earth omogućuje putovanje, istraživanje i učenje o svijetu uz pomoć interakcije s virtualnim globusom dok je Earth Engine, s druge strane, alat za analizu geoprostornih informacija (URL

27). Iako se ova dva alata oslanjaju na neke od istih podataka, samo su neke od slika i podataka Google Eartha dostupne za analizu u Earth Engineu.

Jedni od ključnih aspekata Google Earth Enginea su:

- Mogućnost obrade velikih podataka (petabajtni geoprostorni podaci koji se koriste npr. za znanstvene svrhe)
- Pristup različitim skupovima podataka (npr. satelitske snimke Landsat i Sentinel satelita)
- „Cloud računarstvo“ (infrastruktura u obliku oblaka podataka omogućava bržu analiza podataka bez potrebe za snažnim lokalnim računalom, sve se odvija na Googleovim serverima)
- Interaktivno mapiranje (korisnicima je omogućeno samostalno stvaranje prilagođenih mapa animacija i drugih vizualnih prikaza)
- Razvojni alati (JavaScript i Python API; mehanizam koji omogućava da dvije softverske komponente komuniciraju jedna s drugom s pomoću skupa definicija i protokola (URL 28))

## 2.4 Python

Python se definira kao programski jezik visoke razine opće namjene (URL 29) (Slika 2.12). Njegovu široku primjenu možemo prepisati jednostavnošću učenja samoga jezika i čitljivim kodom. Primjenjuje se u različitim područjima poput: podatkovne znanosti, velikih podataka, testiranja, automatizacije, strojnog učenja, računalnih i mobilnih aplikacija i drugo. Omogućava izradu prototipa, jasnu sintaksu, veliki ekosustav biblioteka i podršku za više platformi.



*Slika 2.12 Python logo (URL 30)*

Programski jezik je formalni jezik koji je dizajniran s ciljem izrazito brzog izračunavanja, dok je sam program slijed instrukcija koje određuju kako izvesti izračun (Downey, 2015). Svaki izračun može biti nešto matematičko (npr. rješavanje sustava jednačbi), ali također može biti i simboličko izračunavanje poput pretraživanja i zamjene određenih dijelova teksta u dokumentu od interesa. Međutim, izračun može biti i nešto grafičko poput obrada slika ili reproduciranja videa.

Ovisno o programskome jeziku, pojedinosti izgledaju drugačije, ali nekoliko osnovnih uputa pojavljuje se u gotovo svakome jeziku:

- Unos podataka (prikupljanje podataka s tipkovnice, iz određene datoteke, s mreže podataka ili nekog drugog uređaja)
- Izlaz (prikaz podataka na ekranu, spremanje u datoteku, slanje putem mreže i slično)
- Matematika (izvođenje osnovnih matematičkih operacija poput zbrajanja i množenja)
- Uvjetno izvršavanje (provjera određenih uvjeta i pokretanje odgovarajućega koda)
- Ponavljanje (izvođenje određene radnje više puta, najčešće s određenom varijacijom)

Osim sličnosti koje povezuju veliku većinu programskih jezika tu su i tri ključne razlike između programskih jezika poput Java, C/C++, C# i Pythona (Stojanović, Kovačević 2022):

1. Kada je riječ o programskome jeziku Python, varijable nemaju oznaku tipa iako pojam tipa podataka postoji. Odnosno Python nam omogućava da nekoj varijabli možemo pridružiti vrijednost bilo kojega tipa. Također varijabla ne mora uvijek sadržavati vrijednost istoga tipa, u jednom trenutku može biti znakovni niz, a u drugom cijeli broj
2. Velika prednost Pythona je upravo ta što se memorija oslobađa automatski. Drugim riječima ne postoji naredba kojom se eksplicitno uklanja objekt iz memorije. To je omogućeno *sakupljačem smeća*, odnosno sustavom za automatsko upravljanje memorijom koja je dio Pythonovog izvršnog sustava.
3. Programi pisani u Pythonu ne prevode se na prirodni kod dotičnog računala nego se izvršavaju s pomoću drugoga programa pod nazivom *interpreter*. Radi navedenoga programi u Pythonu izvršavaju se sporije od onih pisanih u jezicima koji izvorni kod prevode u prirodni. Zbog toga i zbog načina izvršavanja Python nije idealan jezik za izradu programa kod kojih je brzina izvršavanja važan aspekt, kao što su sistemski

programi (npr. operacijski sustavi), programi za upravljanje hardverskim komponentama (engl. driver), razni kontroleri i sl.

Jedna, možda i najznačajnija prednost Pythona u odnosu na druge popularne programske jezike je ta da za njega postoji, pored njegovih standardnih biblioteka, i velik broj biblioteka za mnoga područja primjene, kao što su analiza podataka, web, strojno učenje i umjetna inteligencija, mrežno programiranje i mnoge druge. Također umjetna inteligencija, područje je u kojem je Python trenutno najpopularniji programski jezik.

### 2.4.1 Visual Studio Code

Visual Studio Code, poznatiji i kao VS Code, je besplatni Microsoftov uređivač teksta otvorenoga koda (URL 31) (Slika 2.13). Dostupan je za Linux, macOS i Windows. Podržava široki spektar programskih jezika od kojih je najbitnije izdvojiti Javu, C++ i Python. Također omogućava dodavanje i stvaranje novih proširenja uključujući i programe za ispravljanje pogrešaka te podršku za razvoj oblaka i weba.



Slika 2.13 VS Code logo (URL 32)

Prepoznatljiv je po svojoj brzini, jednostavnosti i prilagodljivosti te ga upravo to čini jednim od najpopularnijih razvojnih alata. Uz navedeno njegove su prednosti što dolazi s ugrađenom podrškom za *debugging*, integriranim terminalom i alatima za kontrolu verzija što omogućava jednostavnije upravljanje Git repozitorijima. Osim toga podržava i *IntelliSense*, pametnu nadopunu koda koja nudi prijedloge na temelju sintakse i konteksta te omogućuje jednostavnije pregledavanje dokumentacije. Također, može osjetiti i pogreške kodiranja i ponuditi prijedloge za njihovo ispravljanje (URL 33). VS Code koriste brojni programeri kako bi svoj kod učinili učinkovitijim i bez grešaka zahvaljujući svim navedenim mogućnostima, ali i mnogim drugim opcijama i prednostima koje nisu trenutno navedene.

## 2.4.2 Jupyter Notebook

Jupyter Notebook, u prošlosti poznat i kao IPython Notebook, definira se kao interaktivno računalno okruženje u kojem je moguće kombinirati izvršavanje koda, obogaćeni tekst, matematiku, zaplete i bogate medije pod okriljem projekta Jupyter (URL 34) (Slika 2.14). Zahvaljujući formatu računalne bilježnice nudi brze, interaktivne i nove načine za izradu prototipa koda, istraživanja i vizualizaciju podataka (URL 35).



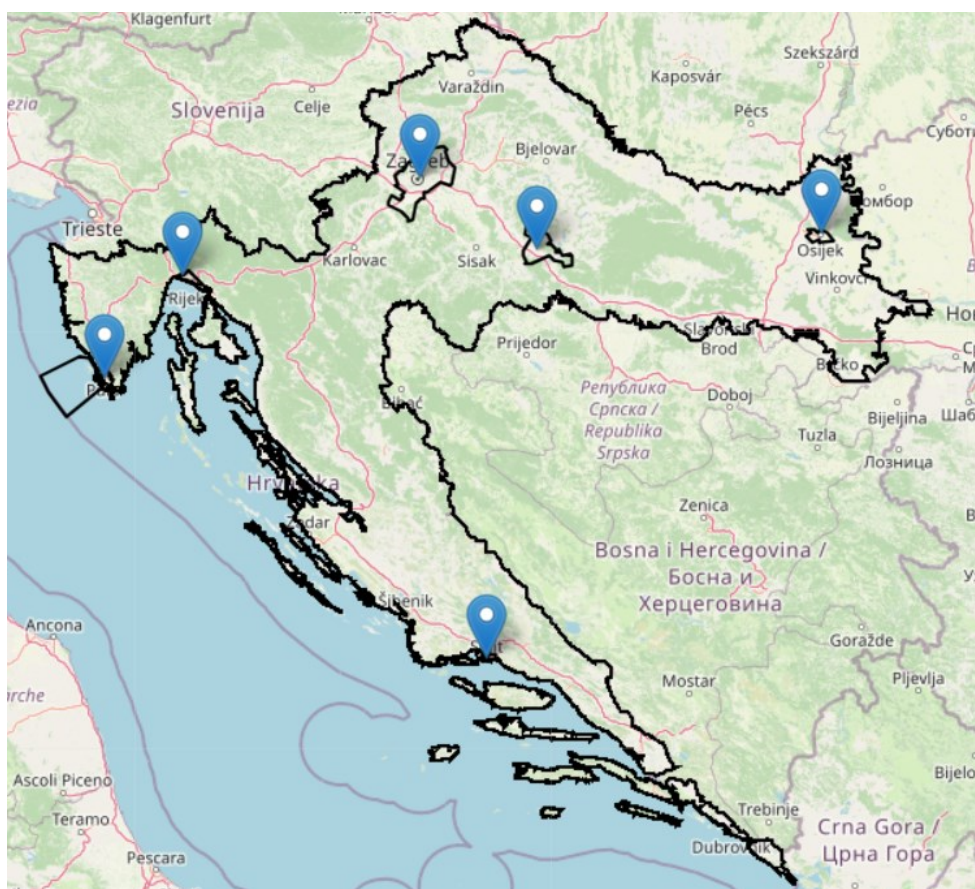
*Slika 2.14 Logo Jupyter projekta (URL 36)*

Kombiniranjem koda, vizualizacije, teksta i drugih medija u jedan dokument stvara se kohezivan i izražajan tijek rada (URL 37). Zahvaljujući tome omogućeno je pokretanje koda, prikaz rezultata i dodavanje objašnjenja i to sve na jednome mjestu. Kao projekt otvorenog koda, Jupyter Notebooks potpuno je besplatan. Softver se može preuzeti izravno s web stranice projekta Jupyter ili kao dio skupa alata za znanost podataka Anaconda.

Jupyter Notebook izvorno je nastao kao dio IPython projekta te mu je za cilj bilo omogućavati korisnicima pisanje i izvršavanje Python koda u interaktivnim bilježnicama (Vukadinović, 2021). Sve većim razvojem projekta započelo je i dodavanje funkcionalnosti koje nisu morale biti specifične samo za Python te se samim time morao razviti i novi projekt kako bi navedene funkcionalnosti bile dostupne i ostalim programskim jezicima (Project Jupyter). Neovisno o tome, Python je danas najčešće korišten programski jezik u Jupyter Notebooku upravo radi svoje svestranosti i bogatstva biblioteke za analizu podataka. U skladu s navedenim i daljnja razrada i samo definiranje koda bit će obavljena u Jupyter Notebooku.

## 2.5 DEFINIRANJE PODRUČJA ISTRAŽIVANJA I ULAZNIH PODATAKA

U ovome radu glavni predmet istraživanja je koncentracija plina NO<sub>2</sub>, u zraku kojega udišemo, nad teritorijalnim područjem Republike Hrvatske i određenim gradovima (Slika 2.15). Cilj je ispitati vezu njegove zastupljenosti s većim podnebljem, prisutnošću industrije, zimskim ili ljetnim periodom, gustoćom prometa i kretanjem stanovništva, te njegova „veza“ s globalnim zatopljenjem. Vizualni kartografski prikazi s pomoću kojih će se vršiti same analize dobiveni su interpolacijom podataka mjerenja Sentinel-5P satelitske misije u Python programskome jeziku. Sentinel podaci preuzeti su s Google Earth Engine platforme.



Slika 2.15 Prikaz učitane granice Republike Hrvatske i gradskih područja

Periodi u kojem se ispituje koncentracija spomenutog zagađivača u zraku, na cijelome području Republike Hrvatske, su 2018. godina (početni datum 28. 6. 2018.), 2019. godina, 2020. godina, 2021. godina, 2022. godina, 2023. godina i 2024. godina (do 01. 6. 2024.). Razlog odabira ovog vremenskog intervala je upravo epidemija koronavirusa koja je buknula s početkom 2020.



godine i polako jenjavala s početkom druge polovice 2021. godine. Opće je poznato da se smanjenim kretanjem i izolacijom stanovništva te slabijim radom industrijskih pogona smanjila zagađenost zraka, međutim kako se zapravo kretala koncentracija NO<sub>2</sub> na teritoriju Republike Hrvatske i koliko je epidemija zapravo doprinijela pročišćavanju zraka bit će prikazano u rezultatima ovog istraživanja. Također, od početka 2022. godine svako ljeto je sve toplije i toplije te su toplinski valovi sveprisutni, ukratko globalno zatopljenje postaje sve ozbiljniji problem današnjice (URL 38). Kao što je u prethodnim odlomcima navedeno, NO<sub>2</sub> je i plin koji, osim što šteti ljudskome zdravlju, sudjeluje i u razgradnji ozonskog omotača i u stvaranju prizemnog ozona (staklenički plin). Upravo zato doći će i do vizualne kartografske usporedbe koncentracije NO<sub>2</sub> u 2019. godini s koncentracijom u 2023. godini. Također, vizualni kartografski prikazi vremenskih perioda od 28. 6. 2018. do 31. 12. 2018. te 1. 1. 2024. do 1. 6. 2024. usporedit će se zasebno kako bi se ispitala povezanost utjecaja zimskog i ljetnog perioda na koncentraciju NO<sub>2</sub> u zraku, odnosno koliko sama sezona grijanja i vremenski uvjeti mogu doprinijeti stvaranju NO<sub>2</sub> (Tablica 2.1)

Tablica 2.2 Prikaz postupka analize na razini Republike Hrvatske

<b>Prvi vremenski period</b>	<b>Drugi vremenski period</b>	<b>Područje ispitivanja</b>
2019. godina	2020. godina	Koncentracija NO <sub>2</sub> , prije i tijekom epidemije
2020. godina	2021. godina	Koncentracija NO <sub>2</sub> na vrhuncu epidemije (2020.) s periodom postepenog jenjavanja (2021.)
2020. godina	2022. godina	Koncentracija NO <sub>2</sub> tijekom epidemije s prvom "normalnom" godinom nakon epidemije
2022. godina	2023. godina	Varijacija koncentracije NO <sub>2</sub> u jednogodišnjem periodu
2019. godina	2023. godina	Koncentracija NO <sub>2</sub> u godini prije epidemije i postepenog rasta globalnog zatopljenja, te u godini nakon epidemije s još jačim zagrijavanjem
28. 6. 2018. - 31. 1. 2018.	1. 1. 2024. - 1. 6. 2024.	Koncentracija NO <sub>2</sub> u zimskome periodu te koncentracija NO <sub>2</sub> u ljetnome periodu

Uz vizualne kartografske prikaze rasprostranjenosti NO<sub>2</sub> na cjelokupnom teritorijalnom području Republike Hrvatske, također će se obratiti i pažnja na 6 gradskih područja različitog podneblja, prisutne industrijske zone te gustoće naseljenosti. Detaljnije će se kartografski prikazati i vizualno analizirati gradska područja grada Zagreba, Kutine, Osijeka, Pule, Rijeke i Splita u vremenskome intervalu od 2019. godine do 2023. godine (Tablica 2.5.1). Međutim, u ovome dijelu istraživanja će se, osim podataka dobivenih Sentinel-5P satelitskom misijom, prikazati i podaci prikupljeni mjernim postajama postavljenima u svakom od spomenutih gradova.

Podaci mjernih postaja preuzeti su s web portala Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja te se radilo s isključivo dnevnim validiranim podacima (URL 39). Također, za nekolicinu mjeseci nedostaje podataka jer se radi o podacima državne mreže mjernih postaja kojoj je potrebno održavanje i obnavljanje radi što dužeg vremenskog tijeka praćenja. Navedeni podaci korišteni su isključivo za grafičke prikaze.

Cilj uvođenja grafičkih prikaza podataka, dobivenih mjernim zemaljskim postajama, upravo je potreba za još detaljnijom razradom problematike vezane uz zagađenje urbanih sredina. Naime, dobivenim kartografskim prikazima vizualno će se prikazati varijacija prosječne godišnje koncentracije NO<sub>2</sub>, snimljena iz svemira, za spomenute gradove u navedenome periodu. Međutim, linijskim grafikonima prikazat će se njegova točna prosječna koncentracija po mjesecima u svakoj od navedenih godina na određenoj lokaciji. Također, važno je spomenuti da su podaci prikupljeni Sentinel-5P satelitskom misijom prikazani u mjernoj jedinici mol/m<sup>2</sup>, a podaci prikupljeni mjernim postajama definirani su kao µg/m<sup>3</sup>. Za pretvorbu podataka dobivenih Sentinel-5P misijom u µg/m<sup>3</sup> koristila se sljedeća formula (Savenets, 2020):

$$C = \frac{C_{col}}{H} * M * A \quad (1)$$

gdje je:

C<sub>col</sub> – sadržaj onečišćenja u stupcu (mol/m<sup>2</sup>)

M – molarna masa plina, konstanta (46.0055 g/mol)

A – konstanta jednaka 1000 (za pretvranje u mg/m<sup>3</sup>)

H – visina izražena u metrima (za potrebe ovoga istraživanja korištena je visina u iznosu od 100 metara)

„Mora se pojasniti da su ponovno izračunate prizemne koncentracije bile usporedive s uobičajenim in situ vrijednostima, međutim, s nižim vrijednostima od očekivanih.“ (Savenets, 2020).

Tablica 2.3 Prikaz postupka analize na gradskoj razini

Grad	Vremenski period proučavanja					Područje ispitivanja
Zagreb	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	Praćenje koncentracije NO <sub>2</sub> u gradskim područjima u periodu prije, tijekom i nakon epidemije koronavirusa s pomoću podataka prikupljenih s pomoću Sentinel-5P satelitske misije i zemaljskih stanica
Osijek	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	
Pula	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	
Rijeka	2019.	2020.	2021.	2022.	2023.	
Split	2019.	2020.	2021.	2022.	NP	

### 2.5.1 Rezime praktičnog dijela rada

Obrada podataka Sentinel-5P satelitskih snimaka izvršena je s pomoću Python programskog jezika, u Visual Studio Code razvojnom okruženju u Jupyter Notebook virtualnoj bilježnici. Prije samoga početka pisanja programskoga koda bilo je potrebno uvesti određene knjižnice, od kojih je svakako najvažnija knjižnica Google Earth Engine (ee) koja se koristi za analizu i vizualizaciju geoprostornih podataka. Uz nju uvezene su i knjižnice: folium (za kreiranje interaktivne karte), osmnx (za preuzimanje i analiziranje OpenStreetMap podataka) te geopandas (za rukovanje geoprostornim podacima). Osim knjižnica uvezena je i funkcija shape iz Shapely knjižnice koja se koristi za manipulaciju geometrijom, modul datetime za rad s datumima i s vremenom, funkcija add\_ee\_layer iz modula utils koja se koristi za dodavanje Earth Engine slojeva na folium kartu, modul json koji omogućuje rad s JSON podacima u Pythonu te dio foliuma, raster\_layers, koji se koristi za rad s raster slojevima. Nakon učitavanja potrebnih knjižnica, funkcija i modula bilo je potrebno pokrenuti proces autentifikacije za Google Earth Engine kako bi se moglo pristupiti Earth Engine računima i resursima. U

konačnici izvršila se i inicijalizacija zahvaljujući kojoj je Earth Engine biblioteka povezana sa samim kodom u Pythonu te je time omogućeno korištenje svih funkcionalnosti Earth Enginea. Nadalje, na samome početku programskoga koda, učitane su globalne granice svih država svijeta, iz GEE platforme, kako bi se izvršila filtracija podataka za vizualni prikaz Republike Hrvatske. Nakon definiranja granica učitana je kolekcija slika (satelitska mjerenja Sentinel-5P misije) iz Earth Enginea koja sadrži podatke o koncentraciji NO<sub>2</sub>, te je i ona također filtrirana na samo područje RH zahvaljujući prethodno definiranim granicama. Za potrebe ovoga istraživanja učitani podaci NO<sub>2</sub> filtrirani su za svaku godinu od interesa (2018., 2019., 2020., 2021., 2022., 2023., 2024.) te je za svaku godinu izračunata i prosječna vrijednost (mean) koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku. Za potrebe prikazivanja samih gradova prvo je definirana GeoJSON datoteka koja je zatim dodana na vizualni kartografski prikaz, a kompletna površina rasprostiranja cjelokupnih gradskih područja definirana je s pomoću osmnx knjižnice.

U posljednjem koraku koda prikazani su podaci zagađenosti NO<sub>2</sub> na karti Folium kao slojevi definirani različitim godinama koji se mogu kontrolirati s pomoću padajućeg izbornika. Navedeno je postignuto funkcijom `get_no2_vis_param()` kojom se vraćaju parametri vizualizacije za sloj NO<sub>2</sub> te funkcijom `add_image()` kojom je dodan sloj podataka o zagađenosti za odabranu godinu na konačni kartografski prikaz. U konačnici, nakon provedene analize u Jupyter Notebook virtualnoj bilježnici, stvorena je i Python datoteka u kojoj se nalaze bitni dijelovi aplikacije potrebni za rad i prikaz rezultata. Uz navedeno kreiran je i poslužitelj uz pomoć flask radnog okvira za prikaz konačnih rješenja putem HTTP protokola. Zahvaljujući svemu navedenom omogućen je prikaz rezultata analize u web pregledniku.

Na samome kraju praktičnoga dijela istraživanja, radi detaljnije analize gradskih područja, bilo je potrebno izračunati srednje vrijednosti za svaki grad od interesa te preuzeti godišnje podatke o koncentraciji NO<sub>2</sub>, koji su prikupljeni mjernim zemaljskim postajama. Srednje vrijednosti prvo su dobivene s pomoću prethodno definiranih granica gradova, `reduceRegion()` funkcije (250 m jedan piksel) i naravno NO<sub>2</sub> podataka o koncentraciji Sentinel-5P satelitske misije. Dobiveni rezultati izvezeni su u .csv datoteku te su iz mjerne jedinice mol/m<sup>2</sup> konvertirani u µg/m<sup>3</sup> na temelju prethodno definirane formule (1). Prikupljeni skup podataka mjernih zemaljskih stanica (dnevni validirani podaci) obrađen je i vizualiziran s pomoću Excel softverskog programa te je također, uspoređen s konvertiranim satelitskim podacima.

## REZULTATI

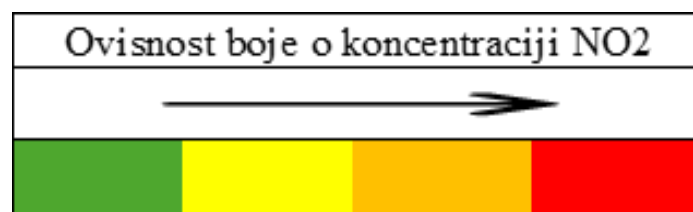
Ovo poglavlje prikazuje rezultate istraživanja o onečišćenju zraka s pomoću NO<sub>2</sub> plina na području Republike Hrvatske. Podaci o onečišćenju zraka prikupljeni su s pomoću Sentinel-5P satelitske misije i mjernih stanica koje se nalaze u određenim gradovima RH.

Vizualni kartografski prikazi prikazuju prosječnu godišnju koncentraciju NO<sub>2</sub>, dobivenu metodom interpolacije prikupljenih satelitskih podataka, za cijelo područje RH i za određene gradove. Linijski grafički prikazi prikazuju zastupljenost spomenutog zagađivača u zraku u gradskim područjima od interesa kroz godine, a podaci za definiranje samog grafa prikupljeni su zahvaljujući mjernim postajama koje se nalaze unutar odabranih gradova. Radi uvida u prosječne godišnje vrijednosti koncentracije NO<sub>2</sub> u određenim gradskim područjima, dobivene srednje vrijednosti satelitskih mjerenja konvertirane su iz mol/m<sup>2</sup> u µg/m<sup>3</sup> s pomoću formule (1) koristeći visinu od 100 metara. Također su, radi usporedbe, prikazane i na dodatnom linijskom grafičkom prikazu s podacima mjernih postaja.

Tablica 3.1 Razina indeksa kvalitete zraka na osnovni koncentracije u µg/m<sup>3</sup>

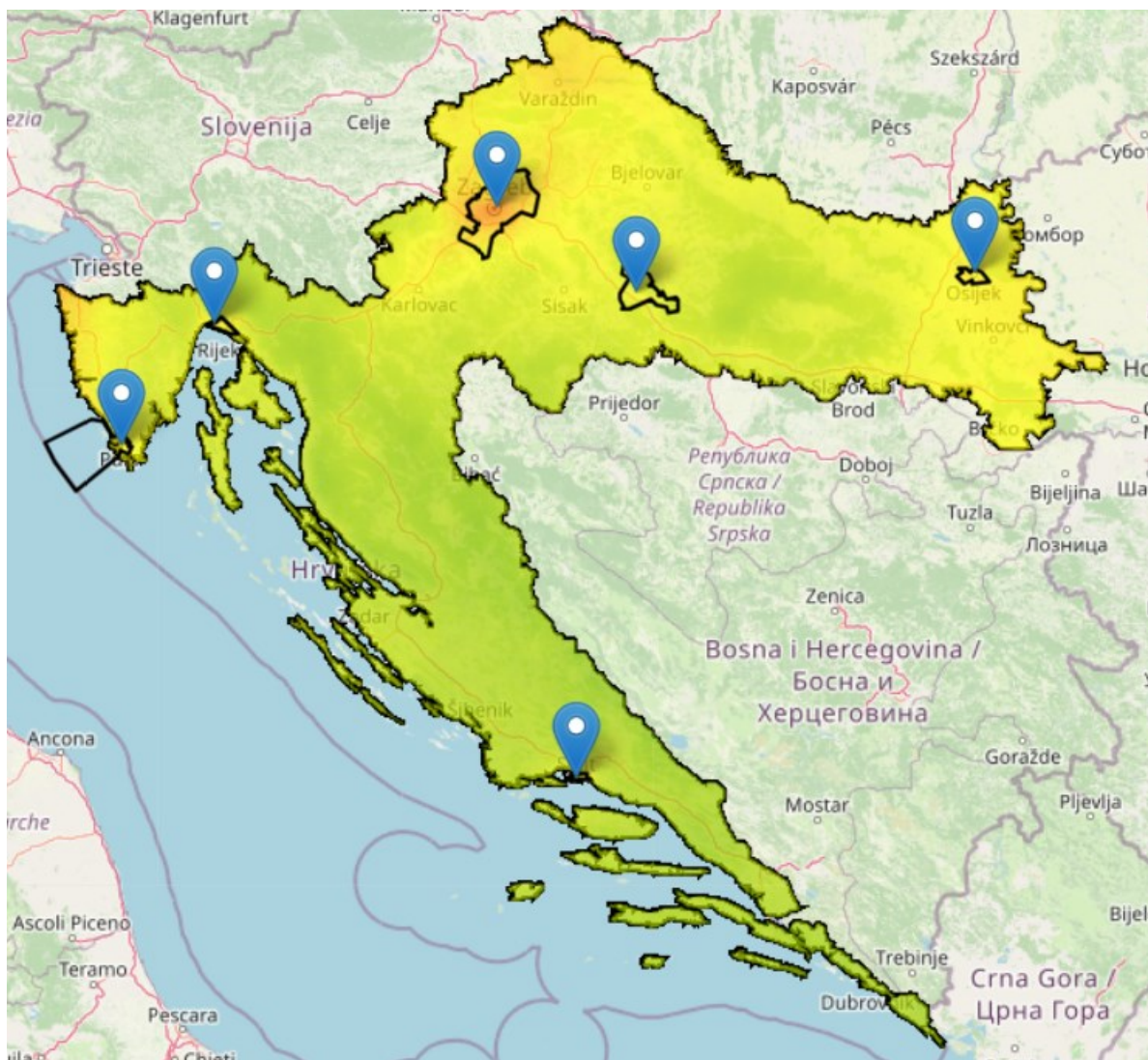
Dušikov dioksid (NO <sub>2</sub> )	Dobro	Prihvatljivo	Umjereno	Loše	Vrlo loše	Izuzetno loše
	0 - 40	40 -90	90 - 120	120 -230	230 - 340	340 - 10000

Analiza rezultata za cijelo područje Republike Hrvatske provest će se za vremenski interval od 7 godina (2018-2024). Godišnji prikazi uspoređivat će se ovisno o predmetu istraživanja zahvaljujući koropletnim kartama dobivenim obradom Sentinel-5P podataka. Analiza gradskih područja provest će se odvojeno kao zasebna cjelina s obzirom na to da će u ovu analizu, uz Sentinel-5P podatke (kartografski prikazi), biti ubačeni i podaci prikupljeni s pomoću zemaljskih mjernih postaja zaduženih za praćenje kvalitete zraka.



Slika 3.1 Ovisnost boje o koncentraciji NO<sub>2</sub>

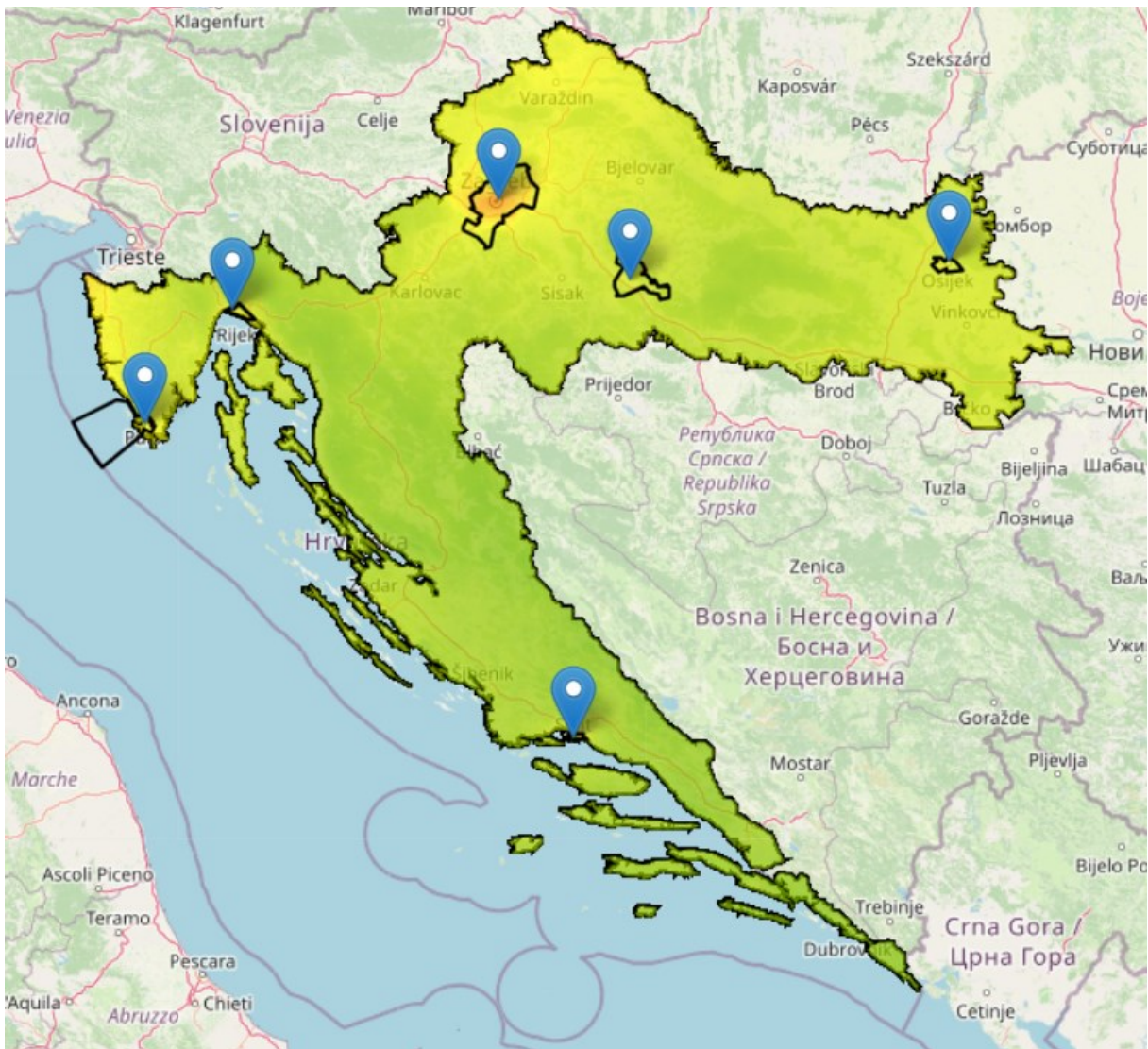
### 3.1 2019 – 2020



Slika 3. 2 2019. godina

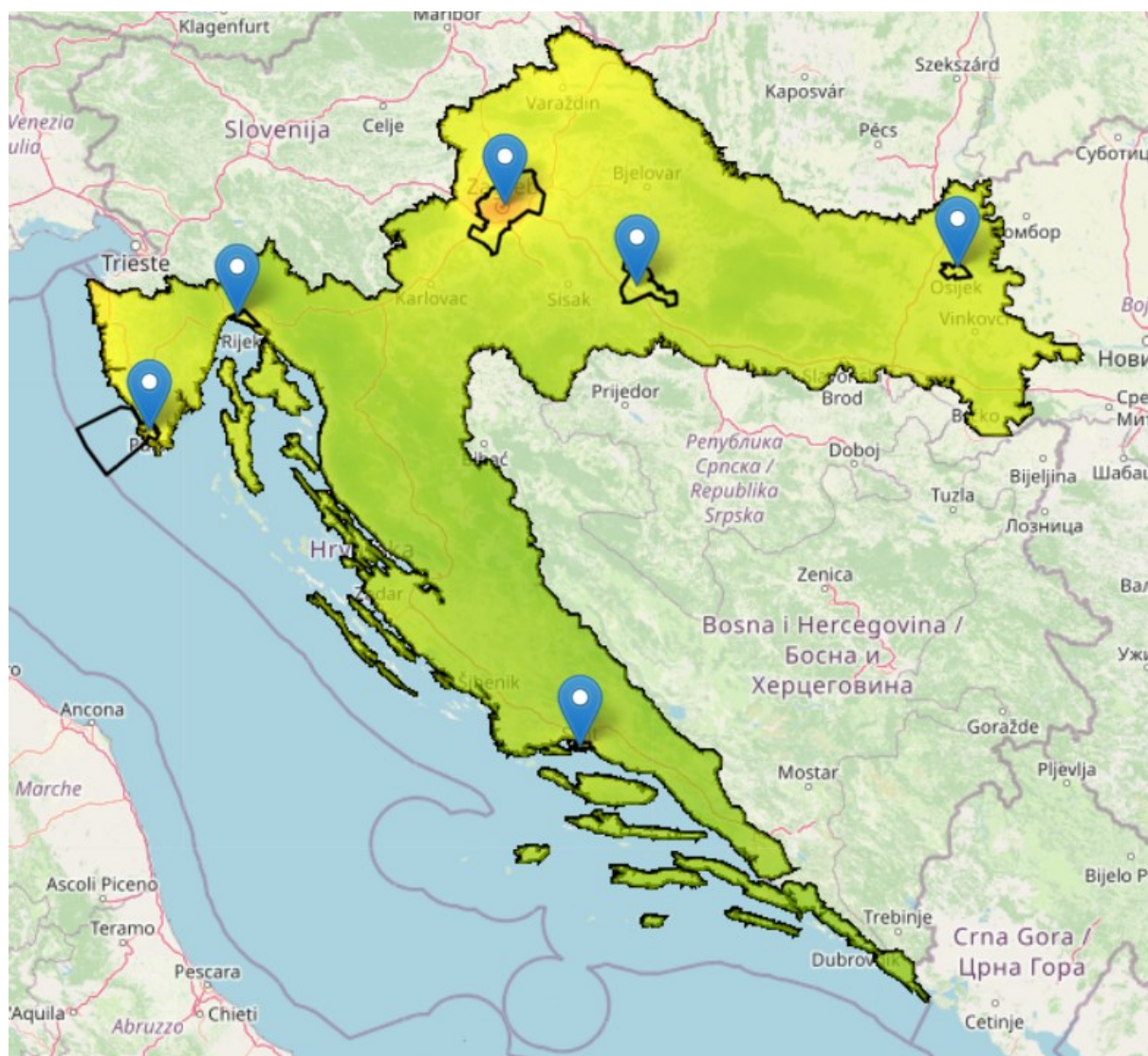
Na Slici 3.2 prikazano je područje Republike Hrvatske i prosječna zastupljenost NO<sub>2</sub> na njezinom teritoriju u 2019. godini. Jasno je vidljivo, zahvaljujući crvenoj, narančastoj i tamno žutoj boji, da sjeverniji i istočniji dio Hrvatske, pogotovo područje grada Zagreba i područje sjeveroistočnog dijela Hrvatske, imaju zastupljeniju koncentraciju plina zagađivača nego samo područje Dalmacije, Like i Gorskog kotra (svijetlo zelena nijansa boje). Također, jasno je uočljiva razlika u boji Istarske obale (gušće naseljeniji dio poluotoka) i Istarske unutrašnjosti. Ako govorimo o unutrašnjosti prevladavaju žuta i zelena boja, a kada je riječ o obalnome pojasu prevladavaju nijanse tamno žute do narančaste boje te se čak u najsjevernijim predjelima

(blizina Trsta, grada s razvijenom industrijom) nazire i crvena boja. Usporedimo li navedenu sliku sa Slikom 3.3, koja prikazuje prosječnu godišnju rasprostranjenost NO<sub>2</sub> za 2020. godinu, odnosno godinu koju je obilježila epidemija koronavirusa, jasno je uočljiva razlika u zastupljenosti i rasprostranjenosti zelene boje na drugoj slici. Područje sjeverne Hrvatske, sjeveroistočne Hrvatske i Slavonije pretežito je prikazano zelenom bojom s tragovima žute boje oko gradskih područja. Kada je riječ o Istri, žutom bojom je prikazano obalno područje, a zelenom bojom unutrašnjost, dok je područje Gorskog kotra i Like prikazano još tamnijom nijansom zelene boje, nego na prethodnom kartografskom prikazu za 2019. godinu. Promjena u bojama ukazuje na nižu prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub> u Hrvatskoj u 2020. godini.



Slika 3.3 2020.godina

## 3.2 2020 – 2021

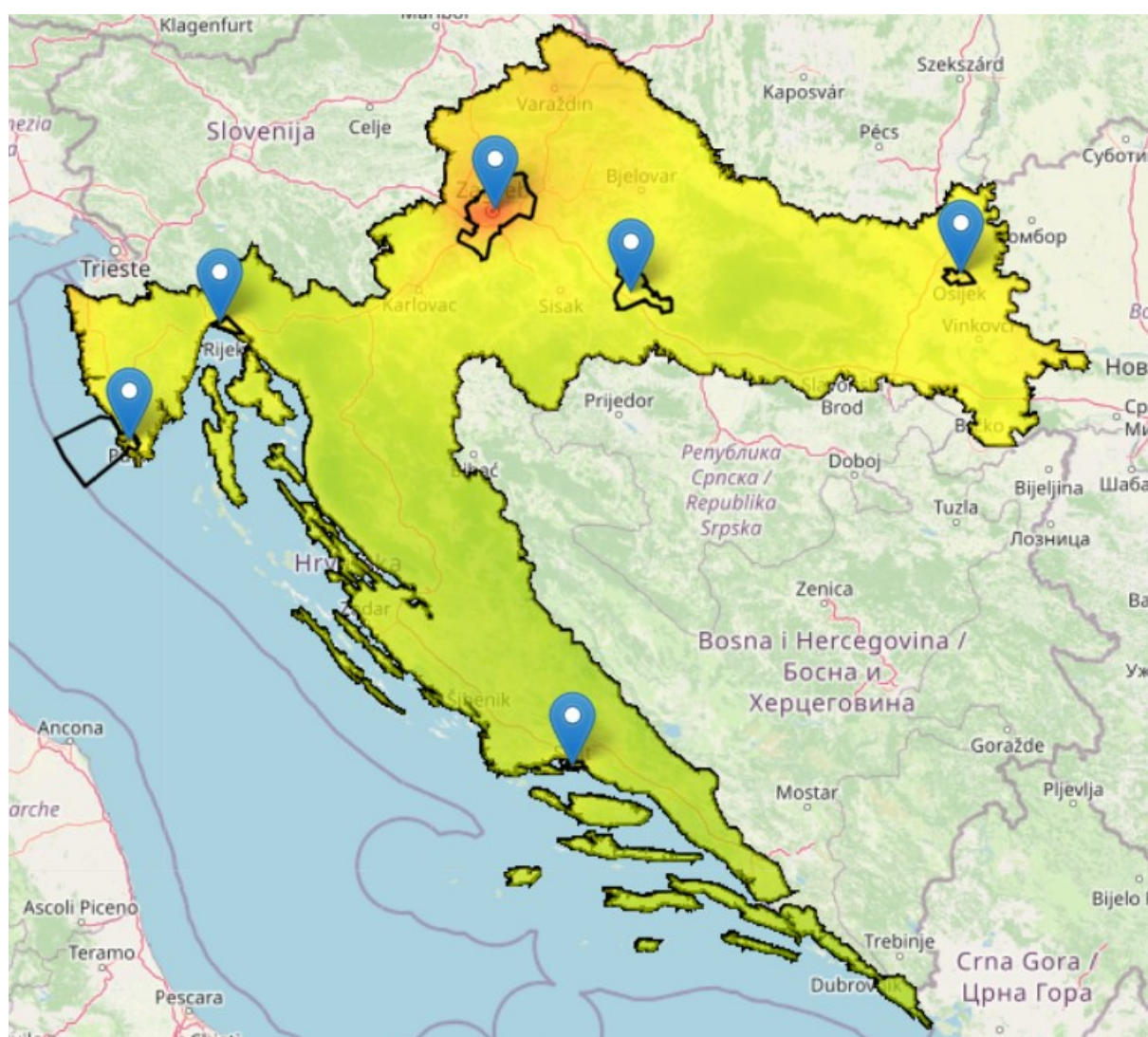


Slika 3.4 2020 godina

Slika 3.4 prikazuje teritorij Republike Hrvatske i prosječnu godišnju koncentraciju NO<sub>2</sub> nad istim za 2020. godinu, odnosno period obilježen epidemijom COVID-19. Pretežito cijelo područje Hrvatske je prošarano zelenom bojom i nijansama svijetlo žute boje, osim područja glavnog grada Zagreba unutar kojega se nazire nijansa narančaste boje. Kartografski prikaz koji se nalazi na Slici 3.5 prikazuje prosječnu godišnju koncentraciju rasprostranjenosti NO<sub>2</sub> za područje Republike Hrvatske u 2021. godini, godini koju je također obilježila epidemija koronavirusa, ali s nešto slabijim mjerama izolacije i kretanja stanovništva, npr. ukinuta je zabrana kretanja izvan općina prebivališta i omogućen je odlazak na posao uz poštivanje

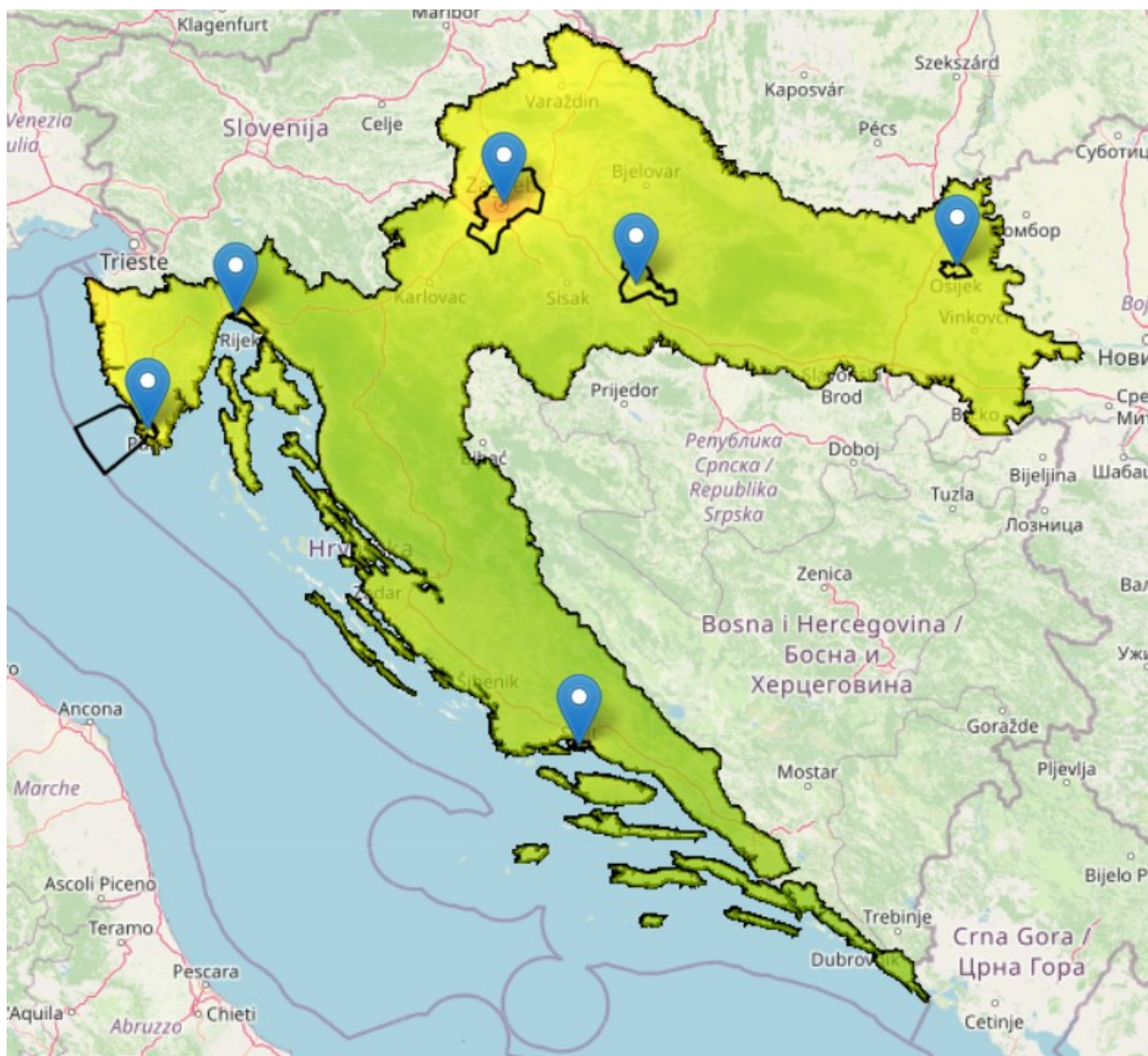


odgovarajućih mjera. Na drugome kartografskome prikazu jasno je uočljiva veća zastupljenost tamno žute do narančaste boje na cjelokupnom području RH. Lika i Gorski kotar nisu više u potpunosti prikazani zelenom bojom, područje Kvarnera je također prošarano nizom žutih i zelenih tonova dok je istarski poluotok u potpunosti narančast. Sjeverni dio Hrvatske prikazan je nijansom narančaste boje koja prelazi u crvene tonove boje dok je Slavonija u potpunosti prikazana tamno žutom nijansom s izrazito malom zastupljenošću zelene boje oko određenih područja, npr. Park prirode Papuk. Područje grada Zagreba više nije definirano narančastom nijansom boje, kao na Slici 3.4, nego je u potpunosti crveno s nijansama narančaste u graničnim dijelovima gradskoga područja. Promjena u nijansama boja ukazuje na višu prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub> u Republici Hrvatskoj u 2021. godini u odnosu na 2020. godinu.



Slika 3.5 2021 godina

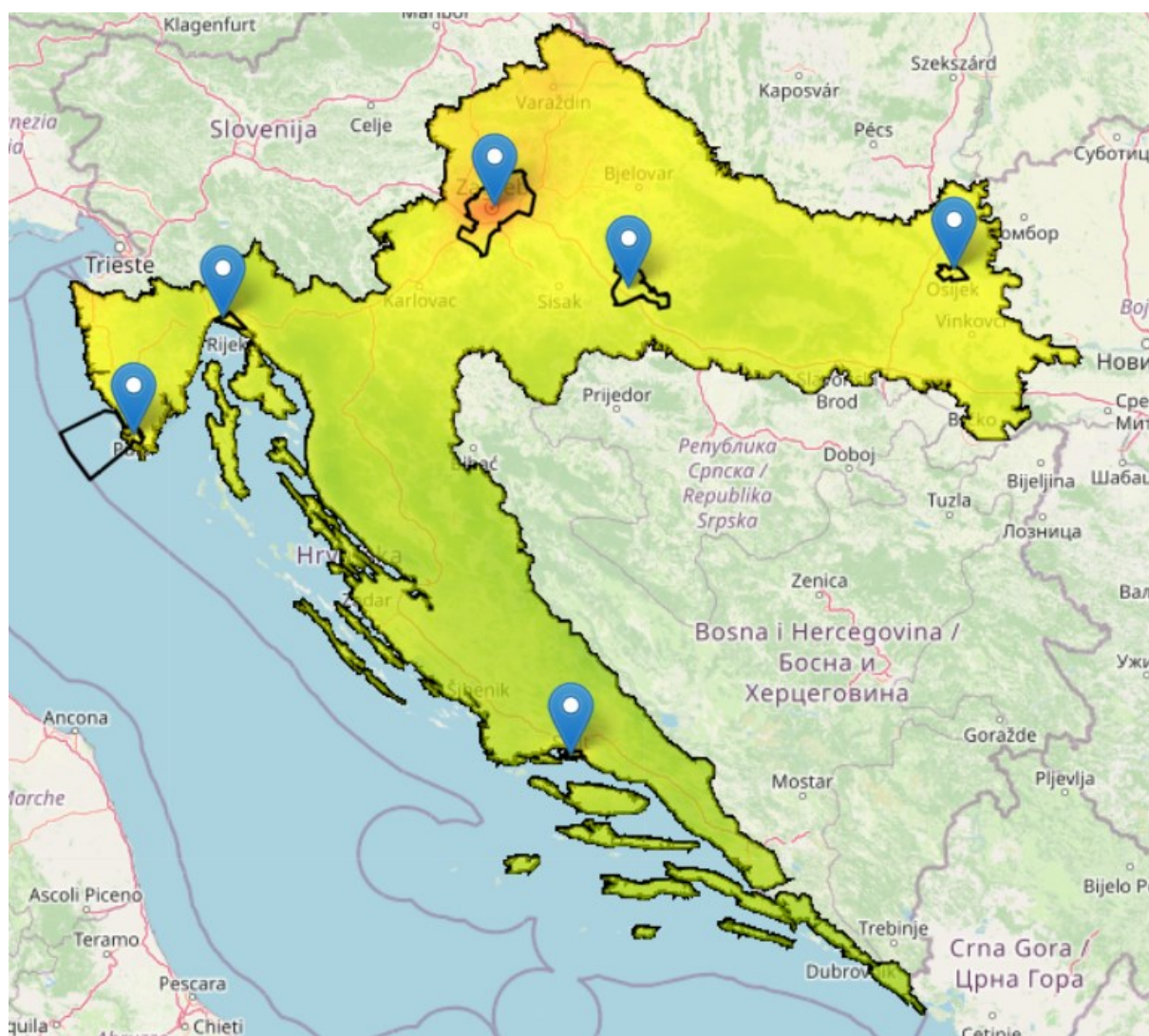
## 3.3 2020 – 2022



Slika 3.6 2020. godina

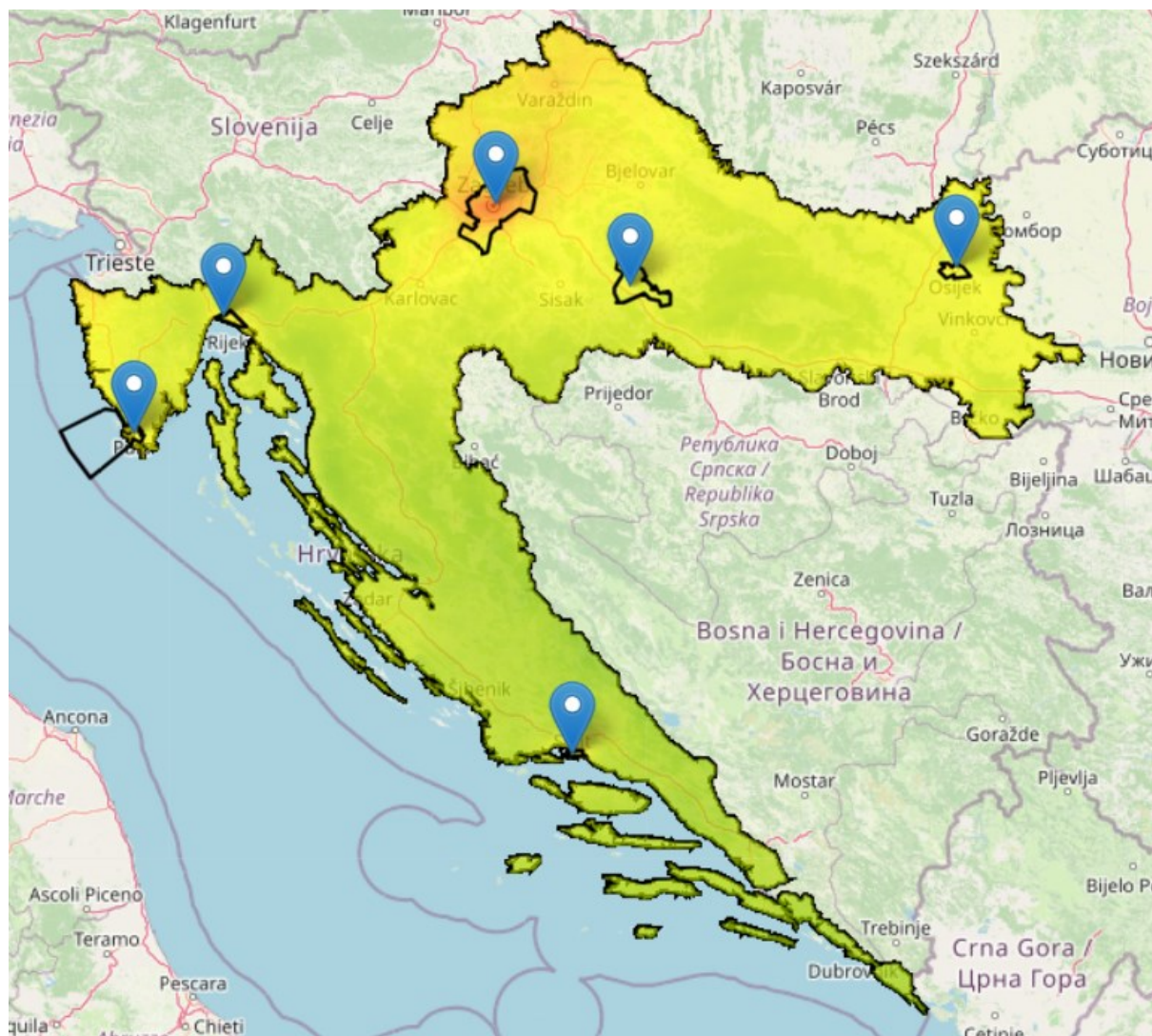
Slika 3.6 prikazuje rasprostranjenost prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> nad teritorijem Republike Hrvatske za 2020. godinu. Kako je u prethodnim analizama navedeno, na vizualnom kartografskom prikazu, za 2020. godinu, dominira zelena boja dok se žute nijanse pojavljuju u tragovima unutar većih gradskih područja, obalnom pojasu Istarskog poluotoka i sjevernim dijelovima Hrvatske. Međutim, Slikom 3.7, omogućena je vizualizacija drugačije koncentracije NO<sub>2</sub> nad teritorijalnim područjem Republike Hrvatske u 2022. godini, prvoj godini bez mjera vezanih uz epidemiju koronavirusa. Naime, Kvarner, Gorski kotar i Lika nisu više u potpunosti zelene boje nego su definirani tonom zelene boje s izrazito jakom koncentracijom žute boje

tako da se na određenim područjima, npr. područje grada Rijeke, stvara dojam prikaza isključivo žutim tonovima. Sjeverni dio Hrvatske velikim dijelom je prikazan narančastim tonovima dok je Slavonija pretežito prikazana žutom bojom. Područje glavnoga grada u potpunosti je narančasto dok je sam centar grada prikazan crvenim tonovima boje. Istarsko obalno područje u potpunosti je žuto dok je unutrašnji dio poluotoka prikazan žutim nijansama s prošaranim tonovima zelene boje. Dalmacija i Kvarner su, kao i na Slici 3.6, prikazani zelenom bojom, međutim razlika je u nijansi. Naime u ovom slučaju se radi o izrazito svjetlijem tonu zelene boje (gotovo žuta nijansa) za razliku od onog kojim je definirano područje za 2020. godinu. Promjena u nijansama boja ukazuje na višu prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub> u Republici Hrvatskoj u 2022. godini u odnosu na 2020. godinu.



Slika 3.7 2022. godina

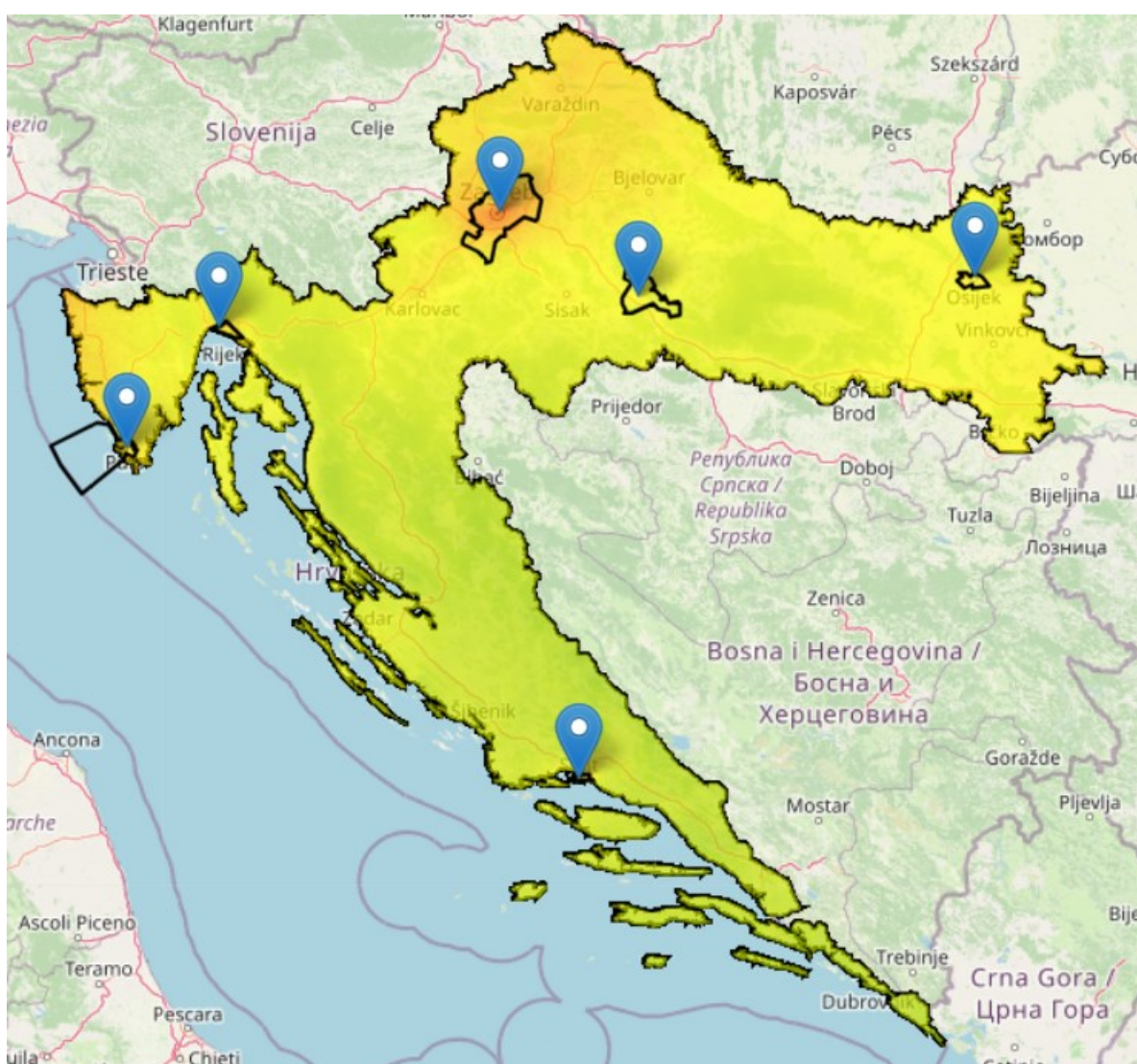
## 3.4 2022 – 2023



Slika 3.8 2022.godina

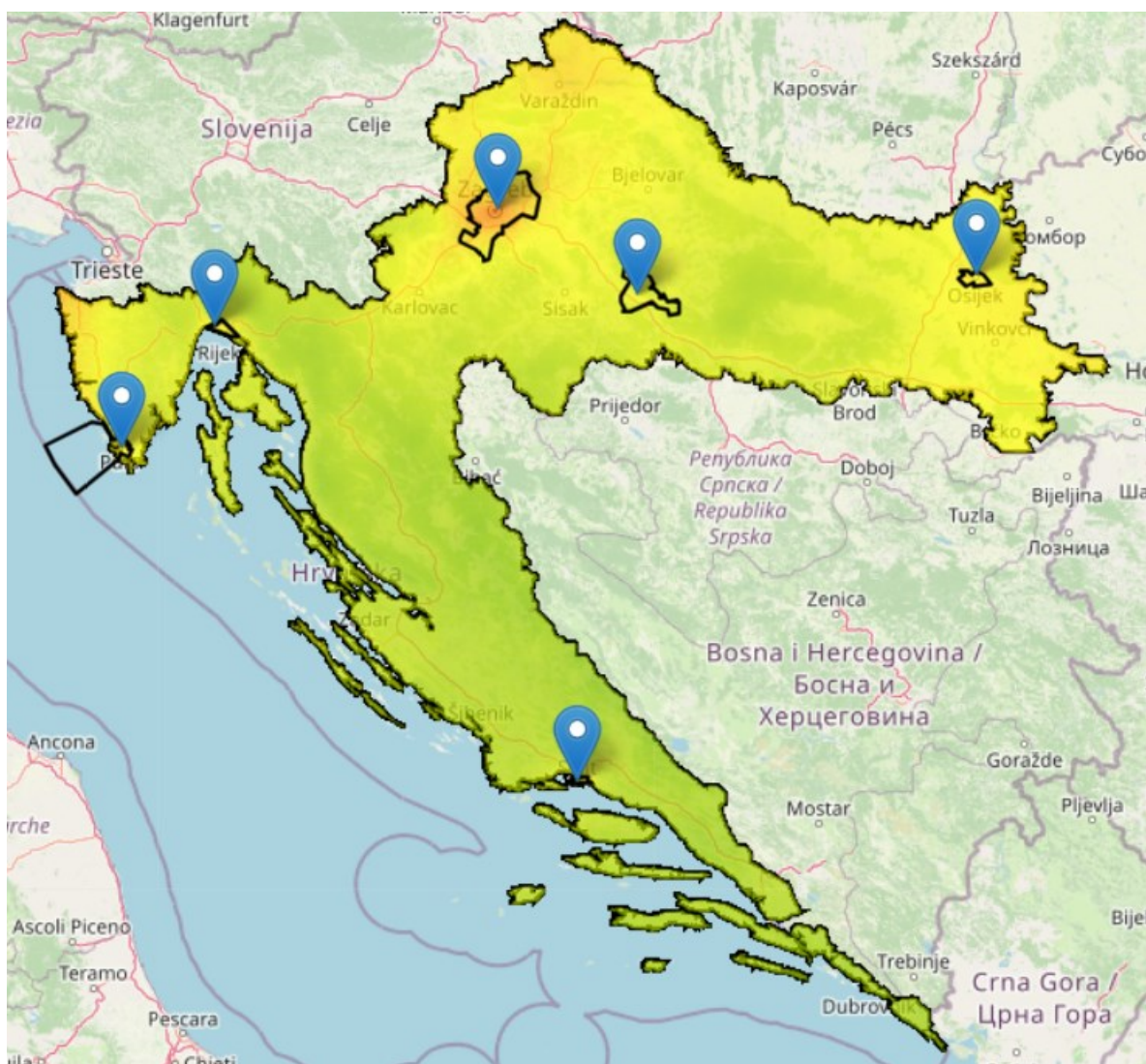
Na slici 3.8 prikazana je prosječna zastupljenost zagađujućeg plina NO<sub>2</sub> u zraku za područje Republike Hrvatske u 2022. godini. Boje koje pretežito prevladavaju na ovom kartografskom prikazu su žuta s prošaranim elementima svijetlo zelene boje za središnji dio Hrvatske (osim Zagreba) i Slavoniju, narančasta za sjeverniji dio, žuto – zelena za istarski poluotok, izrazito svijetla zelena boja koja na momente izgleda žuto za područje Kvarnera, Like i Gorskog kotra te svijetli žuto-zeleni tonovi za područje Dalmacije. Kao jedino crvenije područje izdvaja se gradsko područje grada Zagreba, odnosno njegov centar. Međutim, na Slici 3.9 vidljiv je nešto drugačiji raspored boja, odnosno prosječni godišnji stupanj koncentracije NO<sub>2</sub> za područje RH

u 2023. godini. Naime, Kvarner, Dalmacija, Lika i Gorski kotar u potpunosti su prikazani žutom bojom, osim na određenim predjelima koje karakteriziraju viši planinski lanci. Područje više elevacije prošarano je izrazito svijetlim nijansama zelene boje. Nadalje, unutrašnjost istarskog poluotoka je u potpunosti prikazana žutom bojom koja prelazi u tamnije narančaste tonove s blazinom obalnog područja. Predio Slavonije u potpunosti je žut, a njezini najistočniji dijelovi su definirani narančastim svijetlim tonovima boje. Sjeverni predio Hrvatske poprimio je tamniju narančastu boju, centralni dio Hrvatske prikazan je narančasto, a prikaz područje grada Zagreba ostao je isti. Odnosno, crveno u samome centru te izrazito narančasto na granicama gradskoga područja. Promjene u boji ukazuju na drastičnu promjenu u prosječnoj koncentraciji NO<sub>2</sub> u zraku u vremenskome intervalu od godine dana.



Slika 3.9 2023. godina

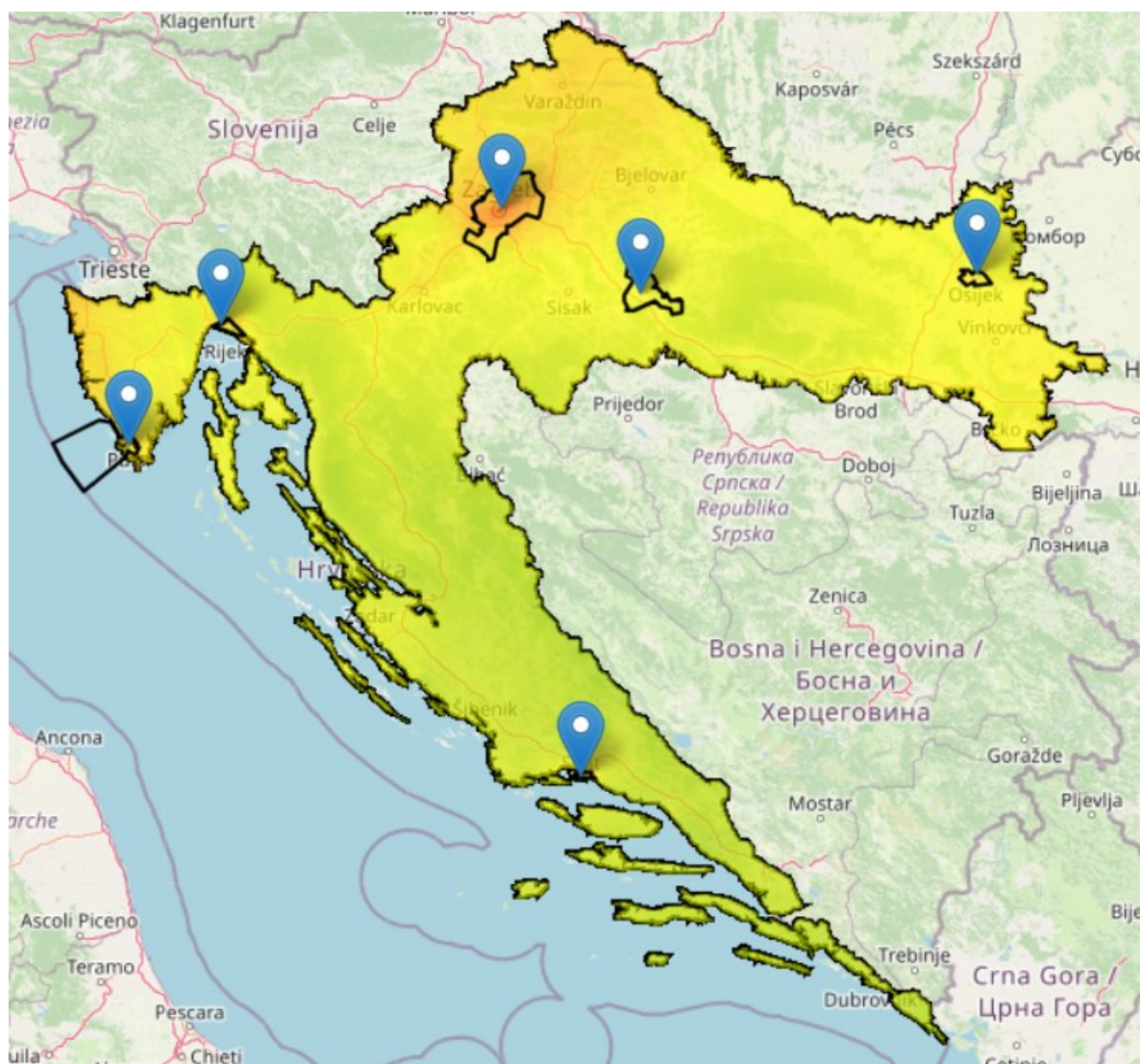
## 3.5 2019 – 2023



Slika 3.10 2019. godina

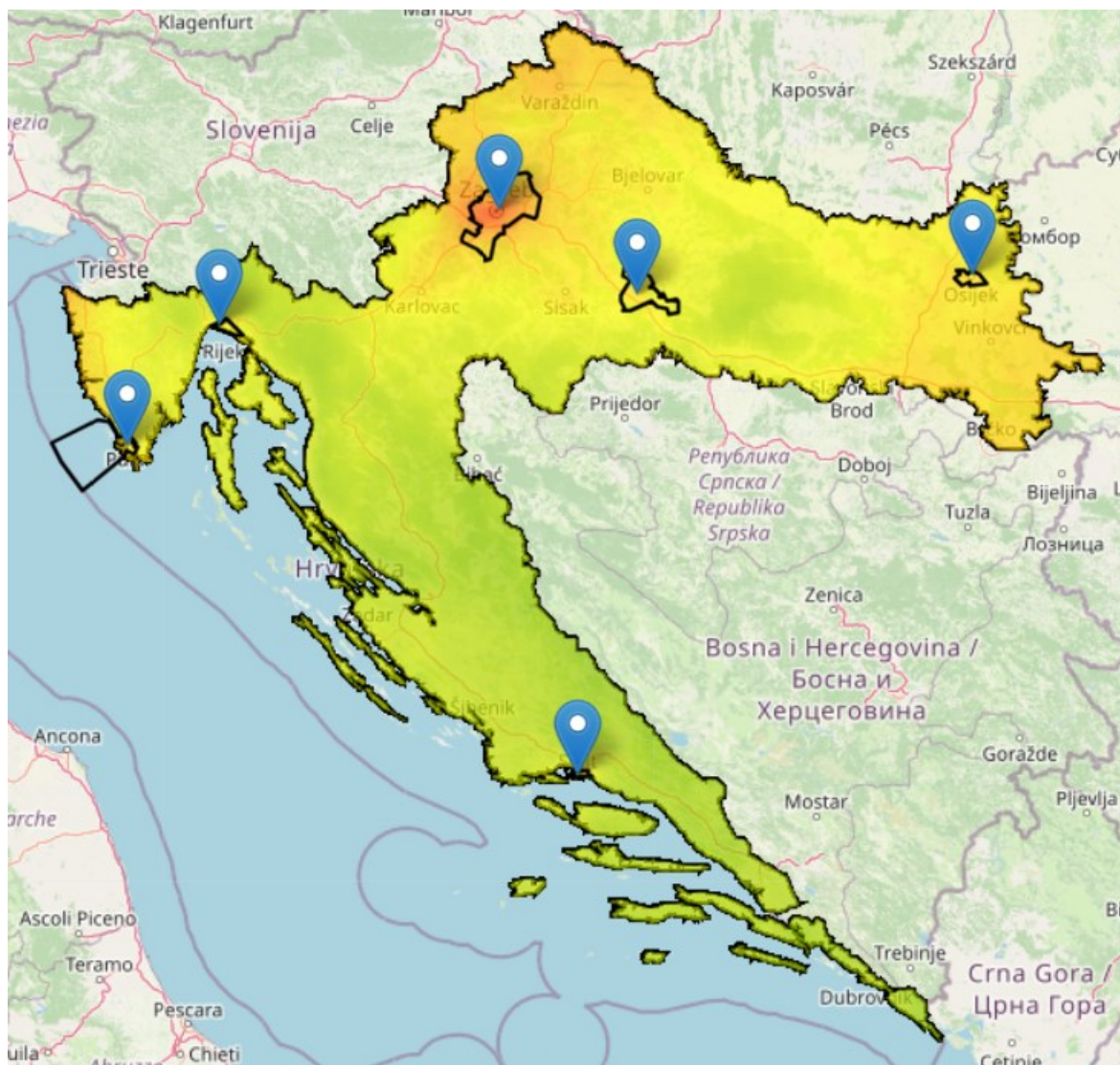
Slika 3.10 prikazuje prosječnu rasprostranjenost NO<sub>2</sub> u Republici Hrvatskoj za 2019.godinu, a Slika 3.11 prikazuje prosječnu rasprostranjenost NO<sub>2</sub> za 2023.godinu. Usporedbom dviju slika jasno je vidljiva razlika u zastupljenosti i rasporedu zelene, žute i narančaste boje na kartografskim prikazima. Na vizualnom prikazu za 2019. godinu pretežito prevladava svjetlija nijansa zelene i blijedo žute boje posebice za predio Dalmacije, Kvarnera, Gorskog kotra i Like. Centralni dio Hrvatske, osim Zagreba, i Slavonija prikazani su žutom bojom sa svijetlo zelenim elementima u predjelima više nadmorske visine, a najsjeverniji dio RH definiran je narančastim tonovima boje. Unutrašnjost istarskog poluotoka definirano je zelenom i žutom bojom dok je

obala prikazana žutom bojom s narančastim do crvenim tonovima na najsjevernijem dijelu poluotoka. Međutim, na vizualnom prikazu prosječne rasprostranjenosti NO<sub>2</sub> u 2023. godini situacija je nešto drugačija. Prevladavaju žuti do narančasti i tamno narančasti tonovi za gotovo cjelokupno područje Republike Hrvatske. Izuzetak su dijelovi Like, Gorskog kotra i Dalmacije gdje se na područjima više nadmorske visine naziru nijanse svijetlo zelene boje. Područje glavnog grada definirano je narančastim do crvenim tonovima. Promjene u vizualnom prikazu ukazuju na veću prosječnu godišnju koncentraciju NO<sub>2</sub> u 2023. godini. Navedeno se može povezati i s većom prosječnom koncentracijom stakleničkog plina O<sub>3</sub> (prizemni ozon) koji utječe na globalno zatopljenje, a za čiji je proces nastajanja potreban i NO<sub>2</sub>.



Slika 3.11 2023.godina

### 3.6 2018 – 2024



Slika 3.12 druga polovica 2018. godine

Slike 3.12 i 3.13 prikazuju različite periode s ciljem analize prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> u zimskom periodu godine (28. 6. 2018. do 31. 12. 2018.) i ljetnom periodu godine (1. 1. 2024. do 1. 6. 2024.). Na Slici 3.12. vizualiziran je prikaz prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> za zimski period 2018. godine (period u kojem je izraženija sezona grijanja) te je jasno uočljivo da na samoj karti prevladavaju nijanse žute, narančaste pa čak i crvene boje. Područje istočne Slavonije, sjeverne Hrvatske, grada Zagreba i njegove okolice te obalnog područja istarskog poluotoka pretežito je prikazano tamnim narančastim tonovima koji na određenim dijelovima prelaze i u nijansu crvene boje. Također, Gorski kotar, Lika, Kvarner i Dalmacija definirani su



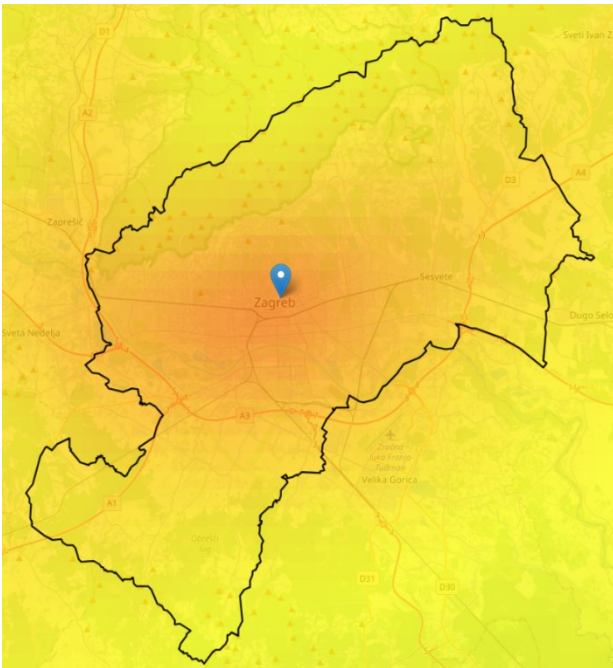
žutom nijansom s elementima izrazito svijetle zelene boje u područjima više elevacije. Slika 3.13 prikazuje prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub> za suprotno razdoblje od onog navedenog (slabije potrebe za grijanjem), odnosno ljetni period 2024. godine. Na ovome kartografskom prikazu prevladava zelena boja s elementima žutih nijansi u istočnom dijelu Slavonije, najsjevernijim dijelovima Hrvatske te u istarskom priobalju. Jedino je isključivo područje grada Zagreba, odnosno njegov centar, prikazan tonom narančaste boje. Promjene u boji ukazuju na promjenu prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku kojega udišemo ovisno o periodu godine (sezona grijanja, vremenski uvjeti).



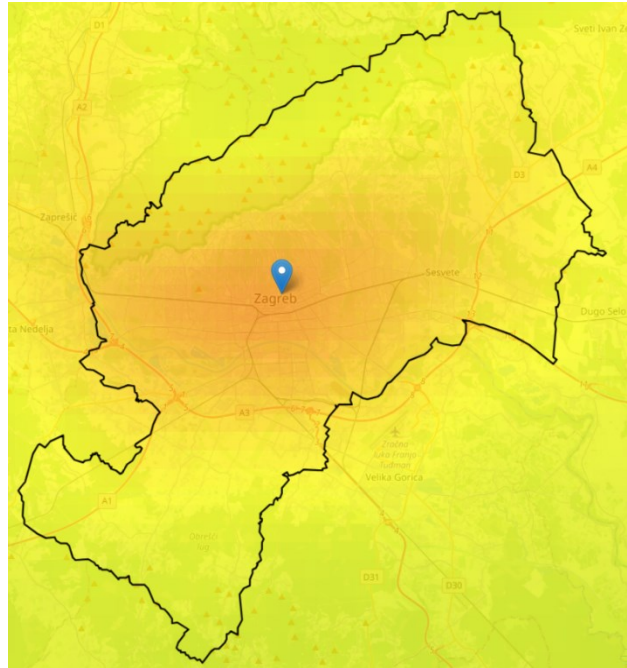
Slika 3.13 prva polovica 2024. godine

### 3.7 Analiza gradskih područja

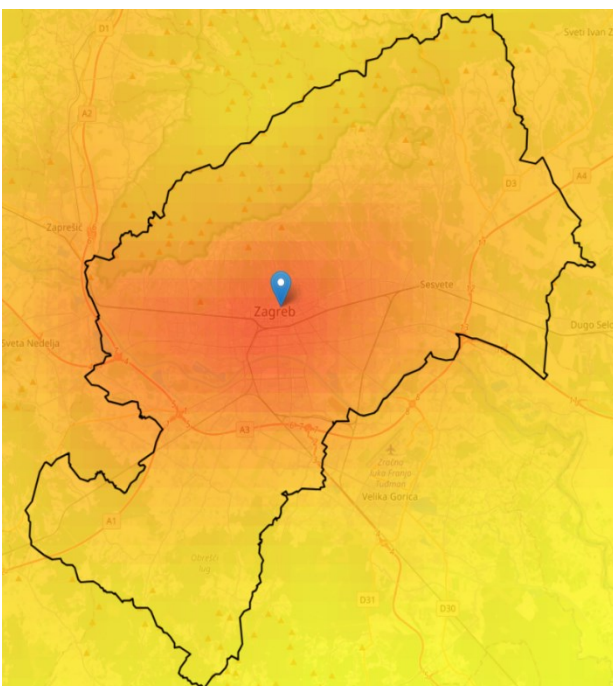
#### 3.7.1 Grad Zagreb



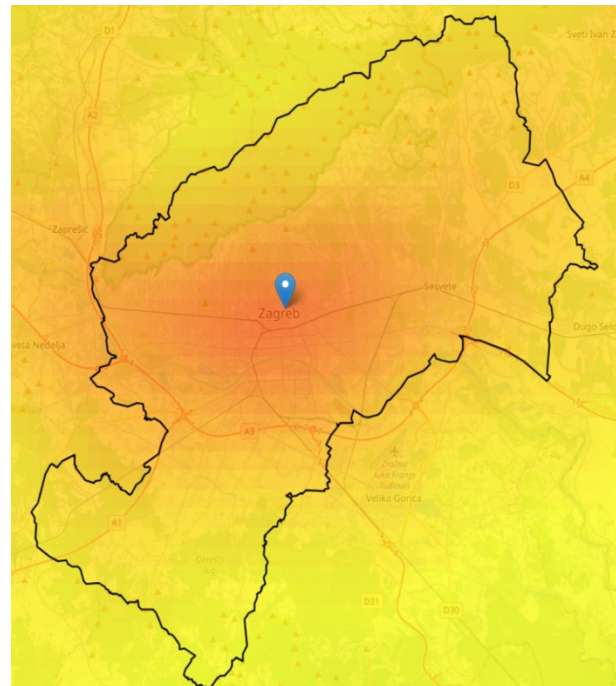
*Slika 3.14 Zagreb 2019. godina*



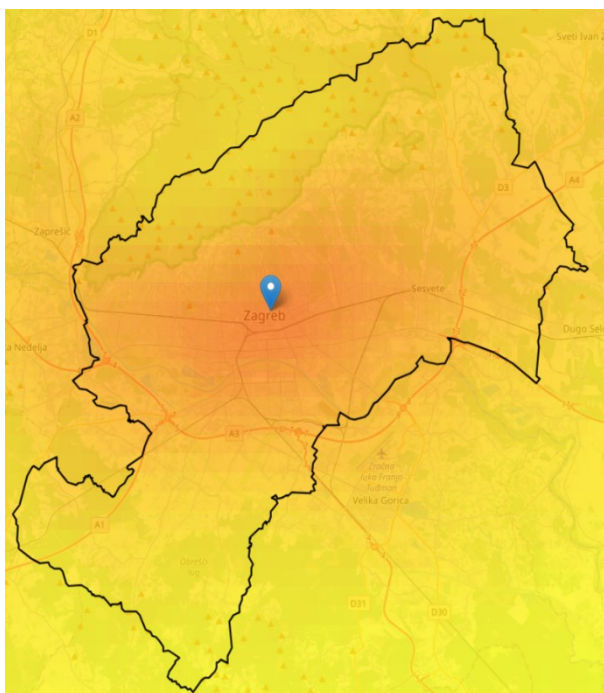
*Slika 3.15 Zagreb 2020. godina*



*Slika 3.16 Zagreb 2021. godina*



*Slika 3.17 Zagreb 2022. godina*



Slika 3.18 Zagreb 2023. godina

Tablica 3.2 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>

Zagreb	
Godina	µg/m <sup>3</sup>
2019.	41,044
2020.	39,193
2021.	44,141
2022.	42,600
2023.	42,572

Priloženi skup slika prikazuje prosječnu godišnju koncentraciju NO<sub>2</sub> za grad Zagreb unutar vremenskog intervala istraživanja od 5 godina (2019. – 2023.). Također, zahvaljujući priloženom tabličnom prikazu, Tablica 3.2, mogu se i iščitati prosječne godišnje vrijednosti NO<sub>2</sub>, za Zagrebačko gradsko područje, dobivene konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1) koja je navedena u prethodnom dijelu teksta.

Jasno je uočljiva razlika u raspodjeli i kontrastu boja na svakome kartografskom prikazu. Na Slici 3.15 koja prikazuje period kojega je obilježila epidemija korona virusa vidljiva je veća zastupljenost svjetlijih nijansi žute, narančaste te u graničnom gradskom području čak i zelene boje. Međutim, na ostalim kartografskim prikazima to nije slučaj. Pretežito prevladavaju tamne nijanse narančaste i u samome centru i crvene boje, dok se na rubnom dijelu gradskog područja može razaznati nijansa tamno žute boje. Svijetli tonovi boja ukazuju na nižu koncentraciju NO<sub>2</sub> u 2020. godini, nego u ostalim godinama istraživanja, te je zanimljivo istaknuti njegovu najvišu koncentraciju upravo u 2021. godini.

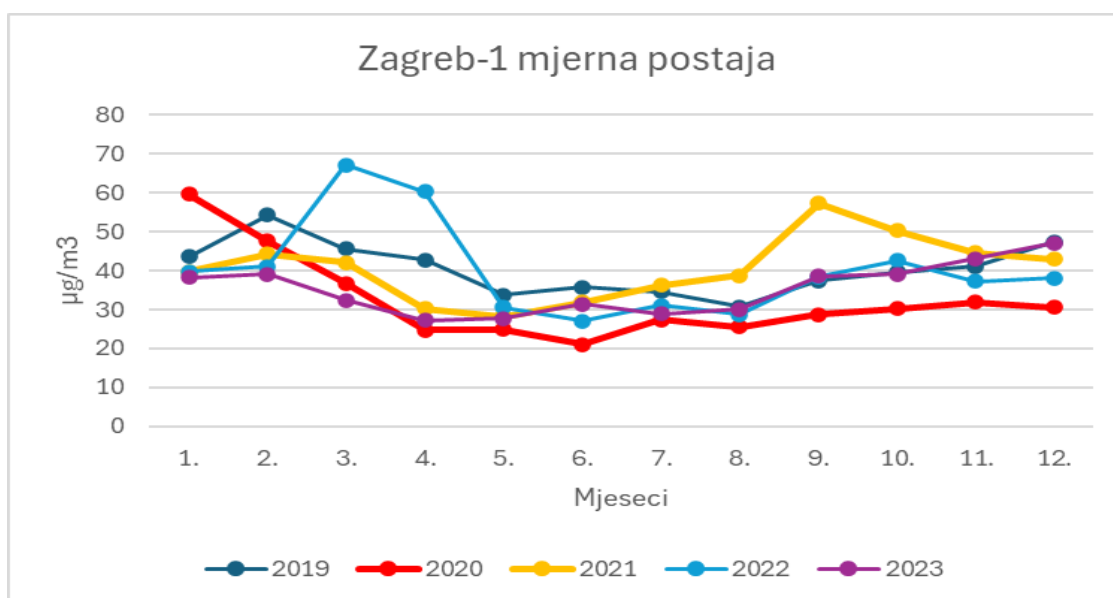
Radi detaljnije analize obrađeni su i dnevni validirani podaci tri mjerne postaje koje se nalaze na različitim lokacijama unutar grada (Zagreb-1 i Zagreb-3). Prikupljena mjerenja uspoređena su i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom.

Zagreb – 1 mjerna postaja nalazi se na križanju Ulice grada Vukovara i Miramarske ceste nasuprot Ministarstva poljoprivrede (Slika 3.19).



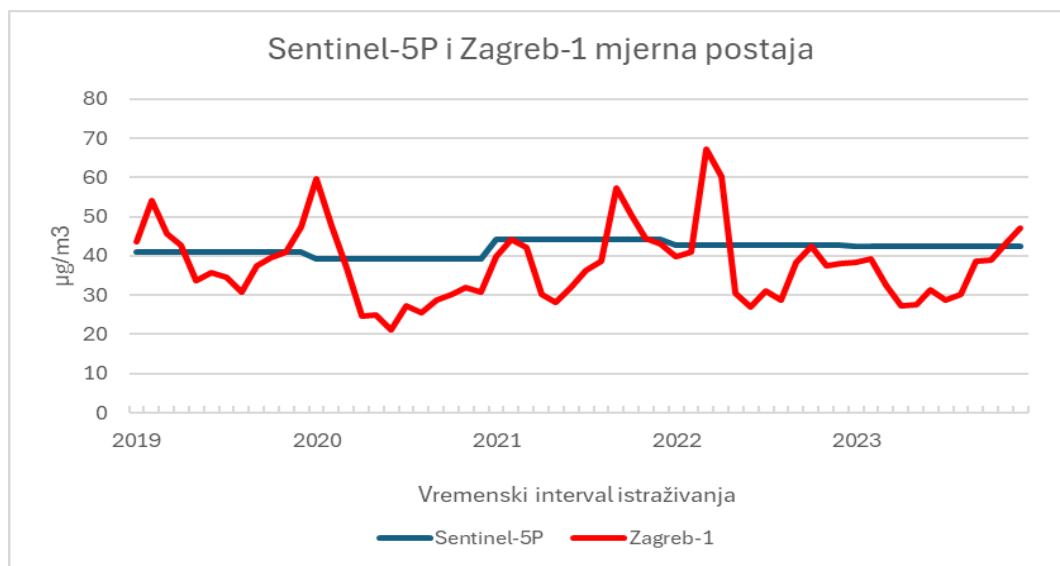
Slika 3.19 Zagreb – 1 (URL 40)

Na Slici 3.20 prikazan je grafički prikaz prosječnih mjesečnih varijacija NO<sub>2</sub> izračunat s pomoću podataka prikupljenih zemaljskom mjernom postajom Zagreb – 1. Mjesečne varijacije prikazane su za svaku godinu od interesa za ovo istraživanje. Jasno je vidljiva niža koncentracija NO<sub>2</sub> u 2020. godini u usporedbi s ostalim godinama.



Slika 3.20 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Zagreb – 1 mjerne postaje

Na grafičkom prikazu kojega možemo vidjeti na Slici 3.21 vidljivo je kretanje prosječnih godišnjih koncentracija NO<sub>2</sub> dobivenih s pomoću satelitskih mjerenja te kretanje prosječnih mjesečnih varijacija oko dobivenog godišnjeg prosjeka koncentracije NO<sub>2</sub>. U određenom periodu mjesečni prosjek znatno prelazi godišnji prosjek što je bilo i za očekivati s obzirom na to da se mjerna postaja nalazi na izrazito prometnom dijelu grada Zagreba.



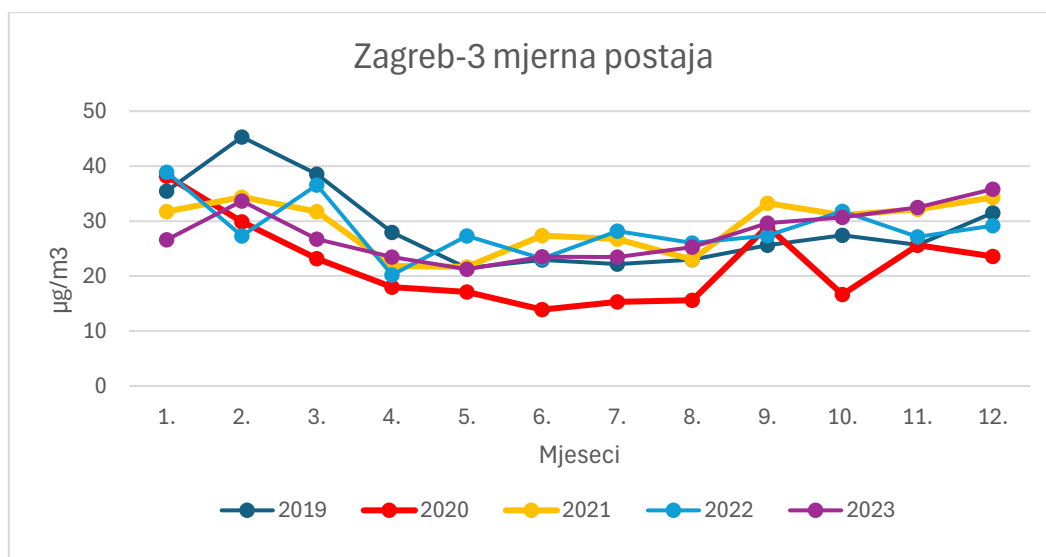
Slika 3.21 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Zagreb – 1

Zagreb – 3 mjerna postaja nalazi se na križanju Sarajevske ceste i Kauzlarićevog prilaza na samom istoku Novog Zagreba (Slika 3.22).



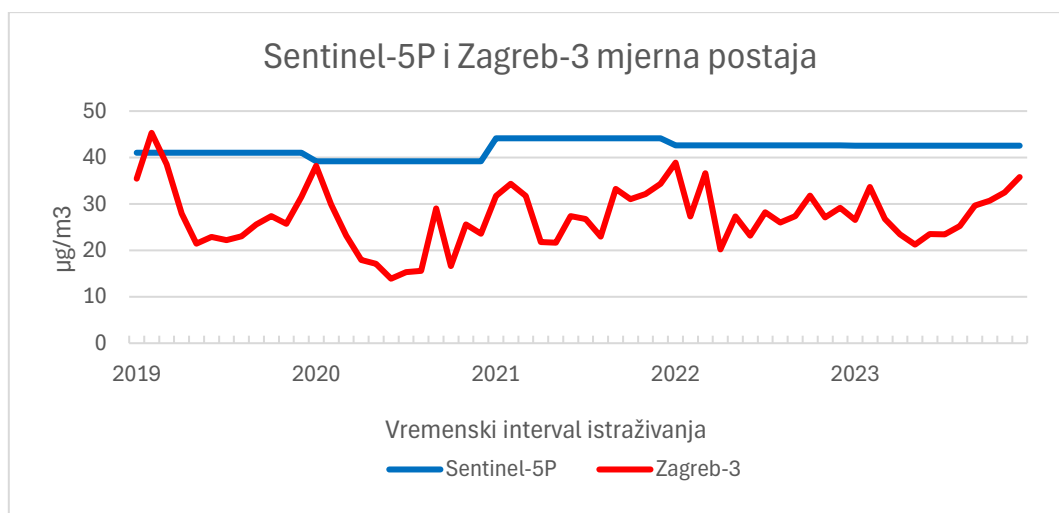
Slika 3.22 Zagreb – 3

Grafički prikaz prosječnih mjesečnih varijacija NO<sub>2</sub>, za svaku godinu istraživanja, izračunat s pomoću podataka prikupljenih zemaljskom mjernom postajom Zagreb – 3 prikazan je na Slici 3.23. Jasno je vidljiva niža koncentracija NO<sub>2</sub> u 2020. godini u usporedbi s ostalim godinama, ali i općenito niža prosječna mjesečna koncentracija NO<sub>2</sub> u usporedbi s podacima mjerne postaje Zagreb – 1 (Slika 3.22).



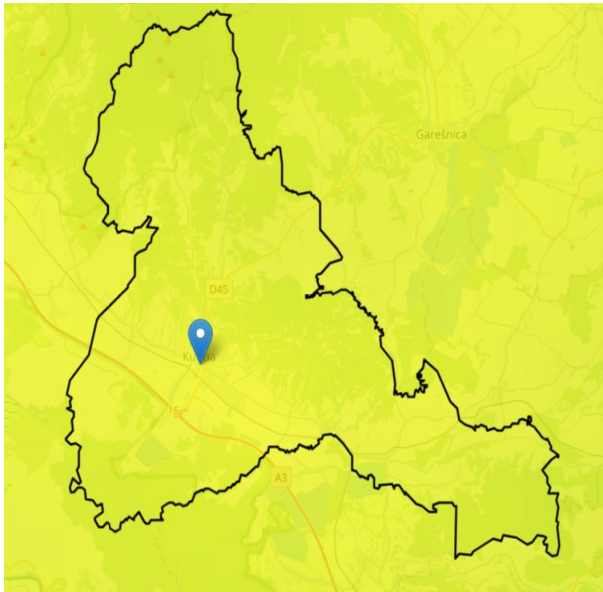
Slika 3.23 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Zagreb – 1 mjerne postaje

Usporedimo li podatke mjerne postaje Zagreb – 3 s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje niži od izračunatog prosjeka što je i bilo za očekivati s obzirom na lokaciju same stanice (izvan centra grada) (Slika 3.24).

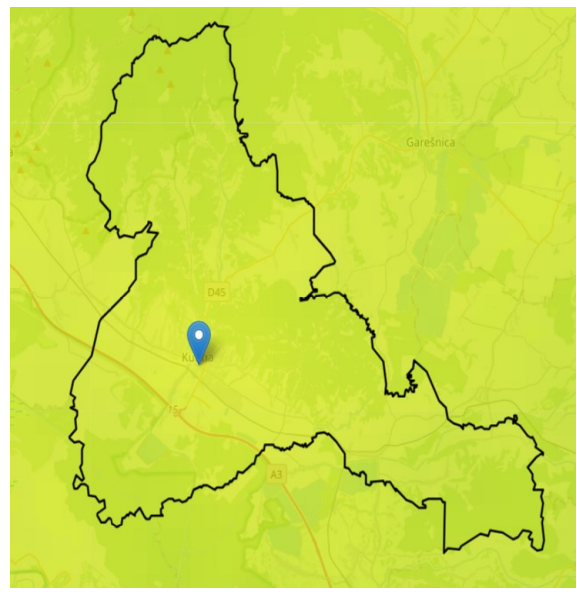


Slika 3.24 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Zagreb – 3

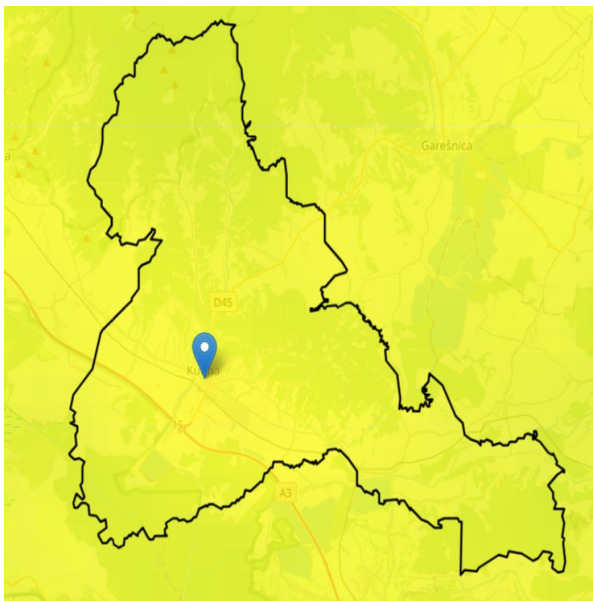
### 3.7.2 Grad Kutina



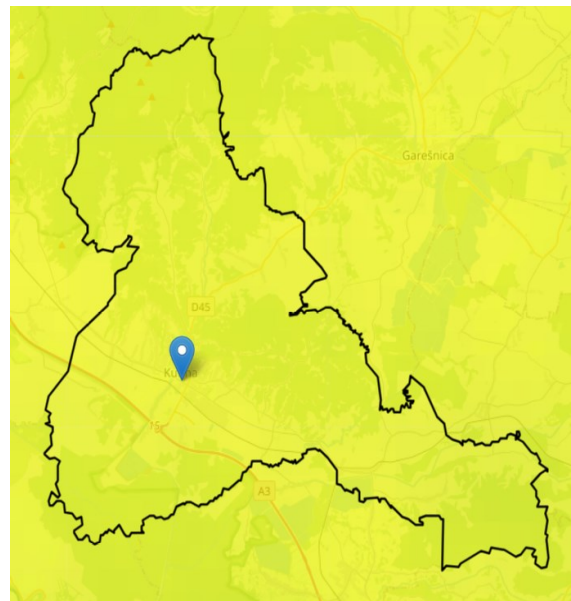
*Slika 3.25 Kutina 2019. godina*



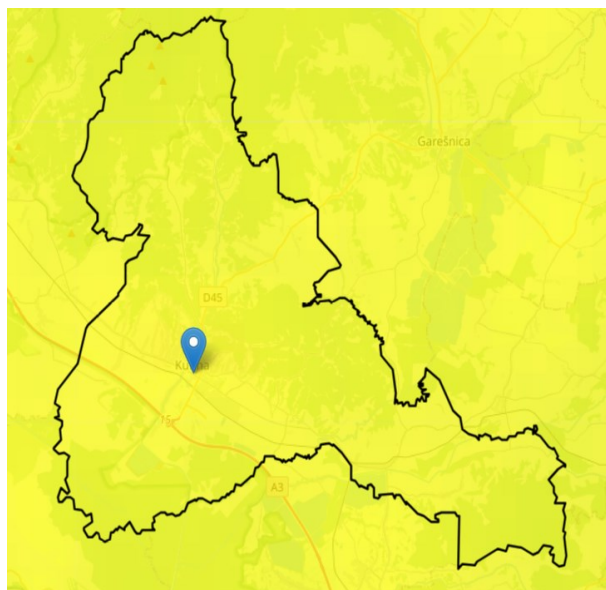
*Slika 3.26 Kutina 2020. godina*



*Slika 3.27 Kutina 2021. godina*



*Slikan 3.28 Kutina 2022. godina*



Slika 3.29 Kutina 2023. godina

Tablica 3.3 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>

Kutina	
Godina	µg/m <sup>3</sup>
2019.	35,119
2020.	32,987
2021.	35,901
2022.	35,151
2023.	36,301

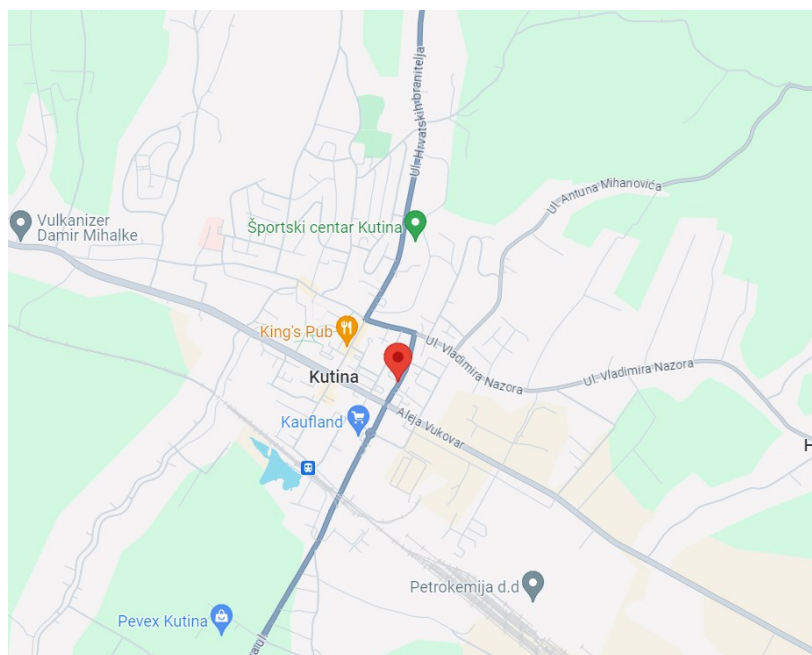
Skup slika prikazuje prosječnu godišnju koncentraciju NO<sub>2</sub> za grad Kutinu unutar vremenskog intervala istraživanja od 5 godina (2019. – 2023.). Zahvaljujući priloženom tabličnom prikazu, Tablice 3.3, mogu se i iščitati prosječne godišnje vrijednosti NO<sub>2</sub> prikazane na slikama. Priložene vrijednosti dobivene su konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1) koja je navedena.

Zahvaljujući vizualnom i tabličnom prikazu podataka jednostavno je za uočiti da razlika u prosječnoj koncentraciji NO<sub>2</sub> za područje grada Kutine nije velika u vremenskom intervalu uzetom za ovo istraživanje. Najveća razlika može se uočiti između Slike 3.26 i Slike 3.29, odnosno između vizualnog prikaza za 2020. godinu i prikaza za 2023. godinu. Područje Kutine u 2020. godini definirano je tonovima zelene boje dok je u 2023. godini definirano isključivo tonovima žute boje.

Radi detaljnije analize obrađeni su i dnevni validirani podaci mjerne postaje Kutina – 1. Prikupljena mjerenja uspoređena su i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom.

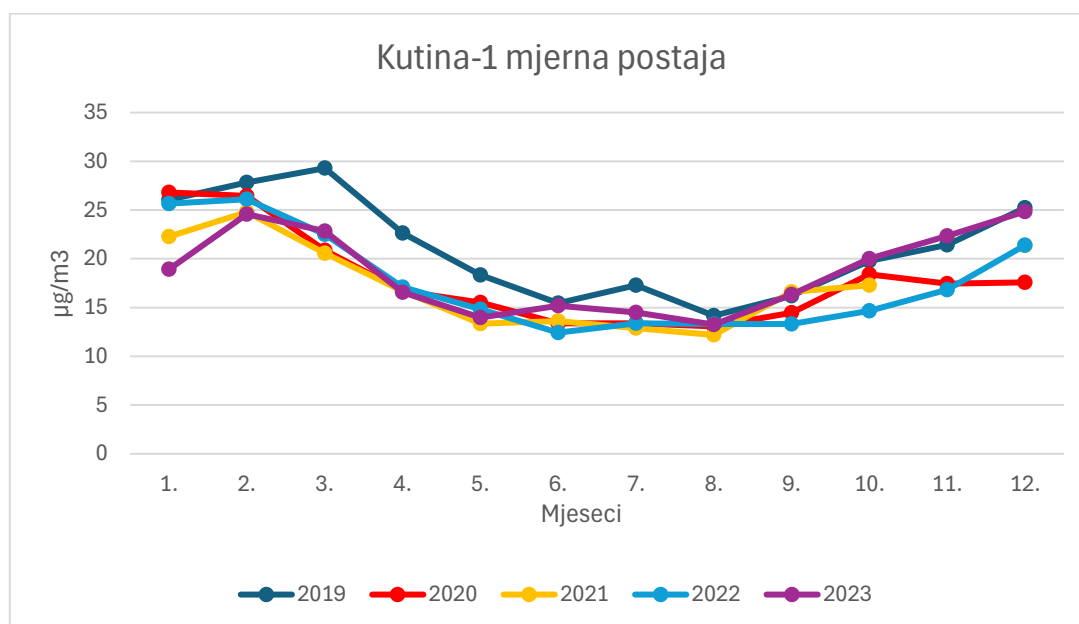
Mjerna postaja Kutina – 1 nalazi se u samome centru grada Kutine (Slika 3.30), ali i na otprilike 3 km od industrijske zone u Kutini koja je jedna od najvećih uzročnika zagađenog zraka u ovome gradu (URL 41).



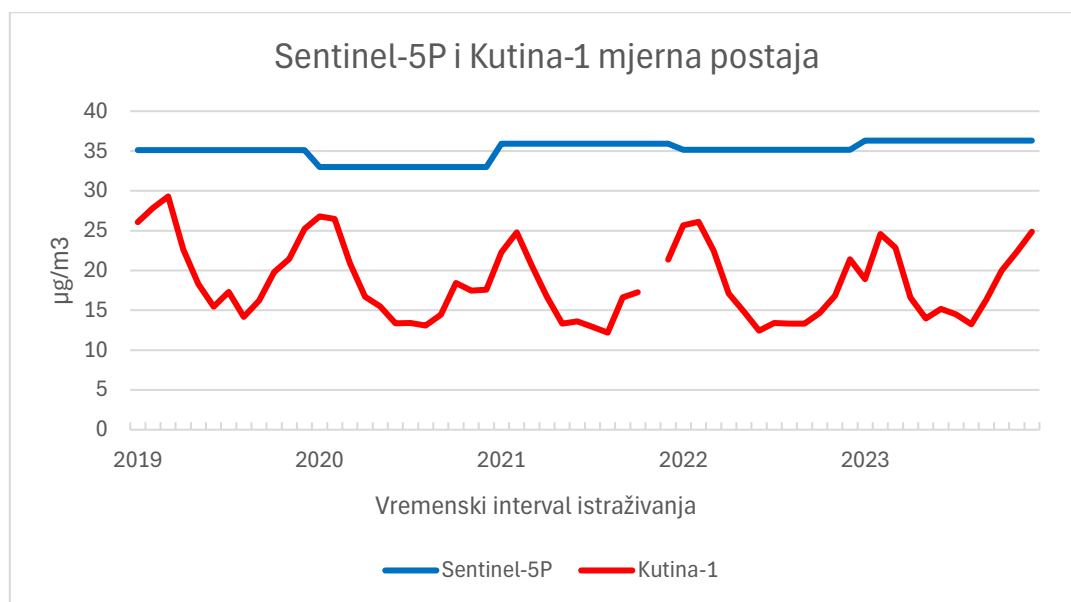


Slika 3.30 Kutina – 1

Grafički prikaz prosječnog mjesečnog kretanja koncentracije NO<sub>2</sub> za grad Kutinu prikazan je na Slici 3.31. Drastične varijacije u izmjerenim podacima nisu vidljive, odnosno za svaku godinu izmjerene prosječne mjesečne vrijednosti su otprilike iste. Jedino izraženije odstupanje vidljivo je od veljače do ožujka 2019. godine.

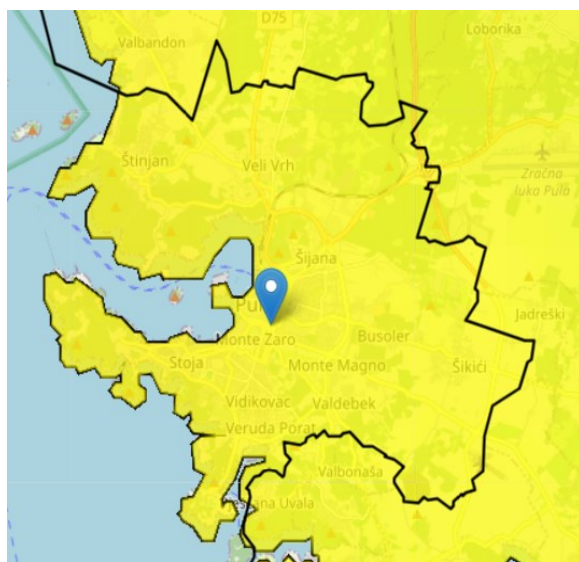
Slika 3.31 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Kutina – 1 mjerne postaje

Usporedimo li podatke mjerne postaje Kutina – 1 s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje niži od izračunatog prosjeka što je i bilo za očekivati s obzirom na lokaciju same stanice, odnosno udaljenosti od industrijske zone (Slika 3.32). Također, vidljiv je nedostatak podataka za studeni 2021. godine jer u tome periodu stanica nije radila te samim time mjerenja nisu bila izvršena (URL 42).

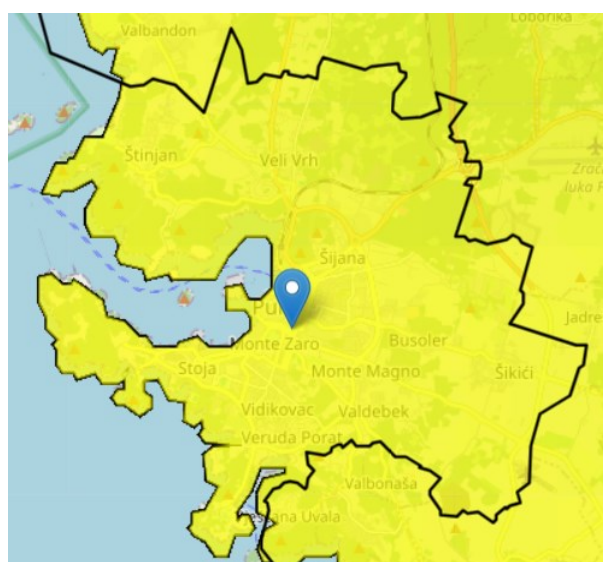


Slika 3.32 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Kutina – 1

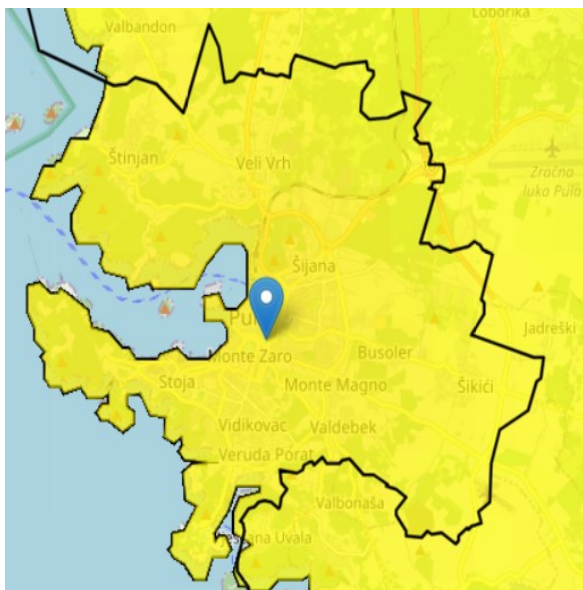
### 3.7.3 Grad Pula



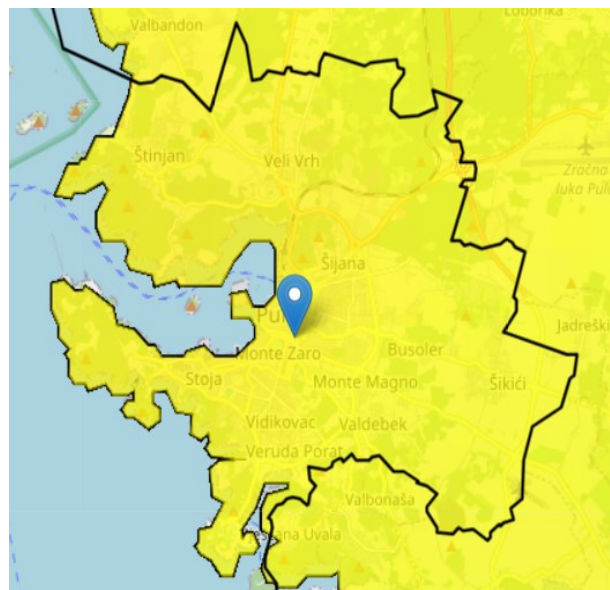
Slika 3.33 Pula 2019. godina



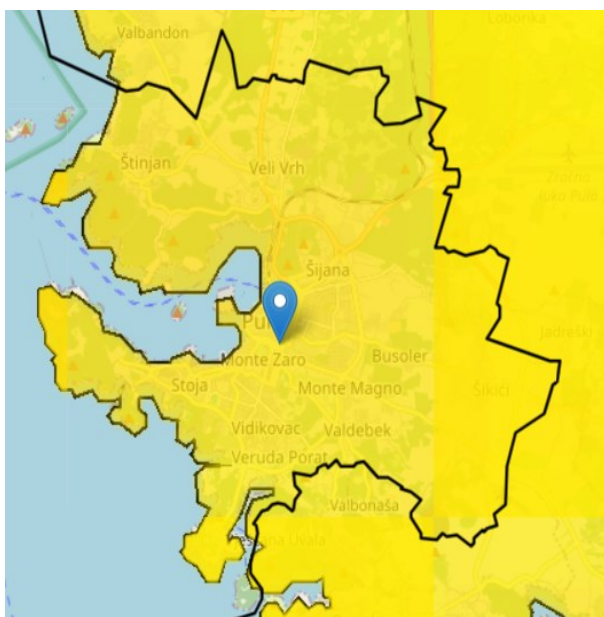
Slika 3.34 Pula 2020. godina



Slika 3.35 Pula 2021. godina



Slika 3.36 Pula 2022. godina



Slika 3.37 Pula 2023. godina

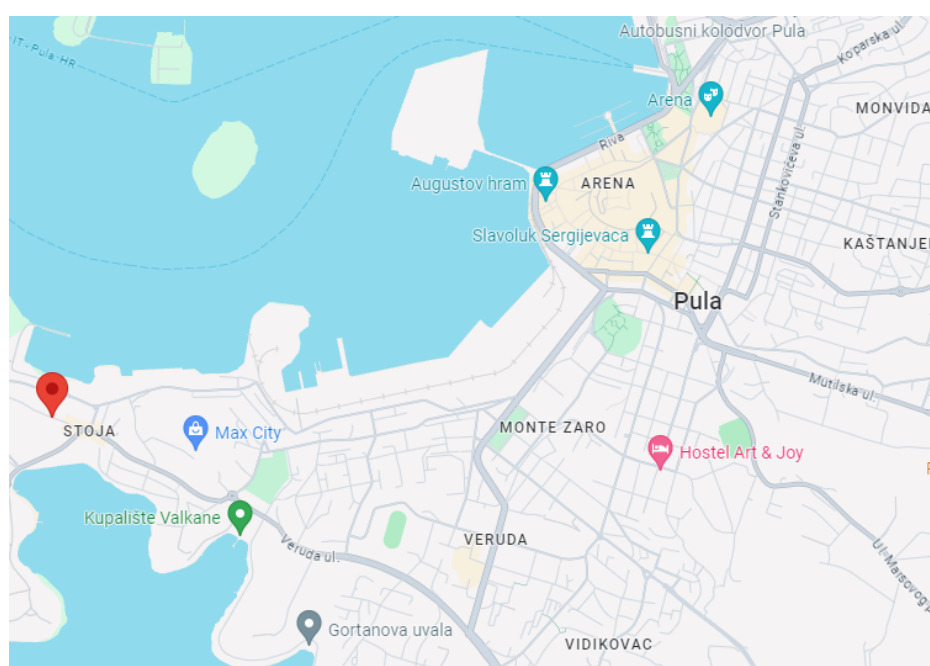
Tablica 3.4 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>

Pula	
Godina	µg/m <sup>3</sup>
2019.	38,895
2020.	37,612
2021.	38,204
2022.	37,701
2023.	39,897

Na slikama je vizualizirana prosječna godišnja koncentraciju NO<sub>2</sub> u gradu Puli unutar vremenskog intervala istraživanja od 5 godina (2019. – 2023.) Radi lakšeg iščitavanja navedenog Tablica 3.4, sadrži prosječne godišnje vrijednosti NO<sub>2</sub> prikazane na slikama. Priložene vrijednosti dobivene su konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1) koja je navedena.

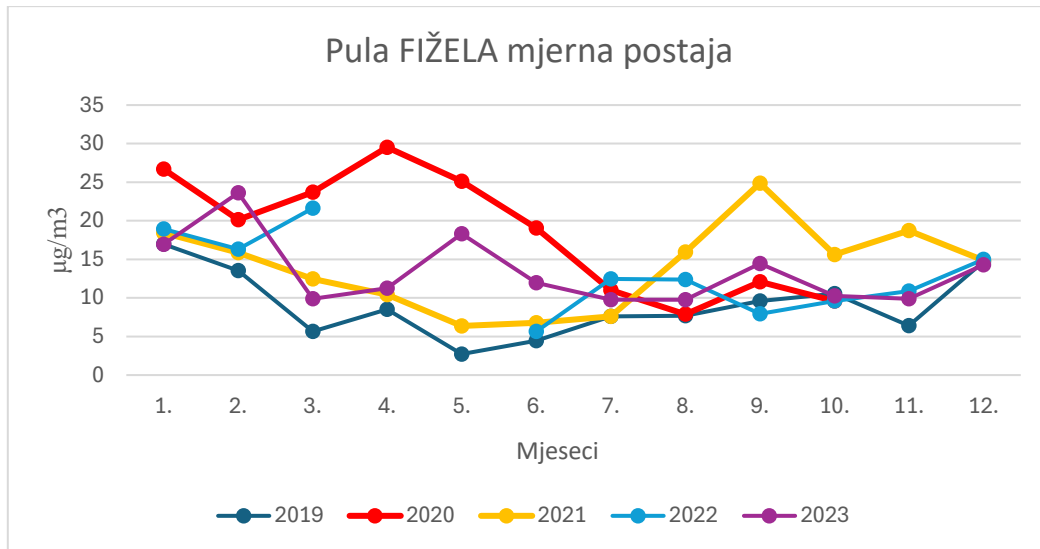
Analizom slika moguće je uočiti da na svakom godišnjem prikazu, do prikaza 2023. godine, prevladavaju nijanse žute boje s prošaranim elementima svijetlo zelene nijanse u predjelima više elevacije. Međutim, za 2023. to nije slučaj. Naime, vizualni prikaz 2023. godine definiran je isključivo tamnim tonovima narančaste boje. Promjene u boji ukazuju na veću prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub> u zraku u 2023. godini što se također može i iščitati iz Tablice 3.3.

Radi detaljnije analize obrađeni su i dnevni validirani podaci mjerne postaje Pula – Fižela, te su prikupljena mjerenja uspoređena i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom. Mjerna postaja Pula – Fižela nalazi se na zapadnom dijelu grada Pule (Slika 3.38), u blizini plaže i daleko od strogog centra grada.



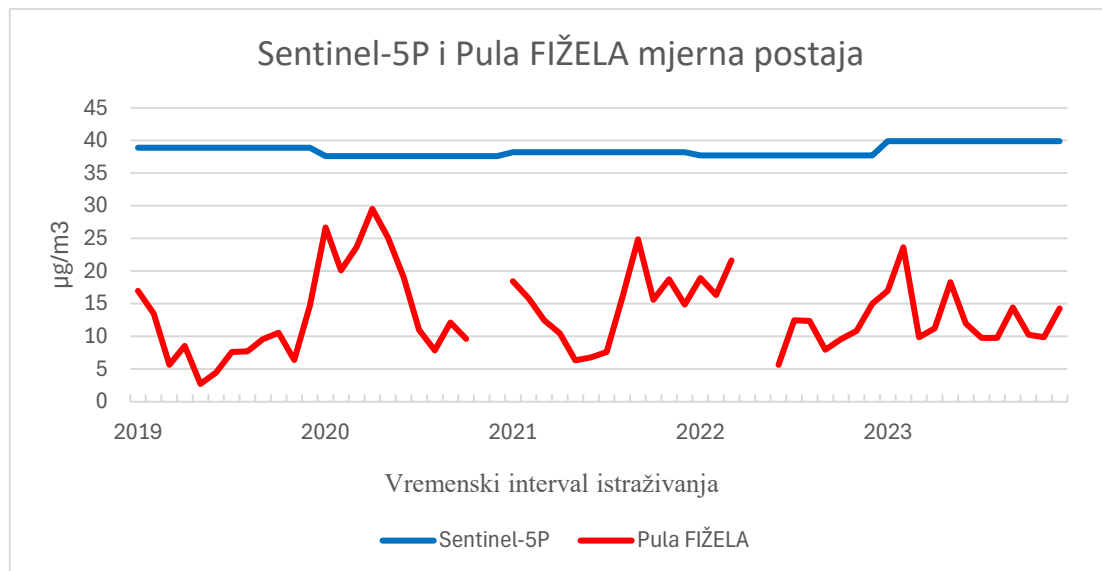
*Slika 3.38 Pula – Fižela*

Na grafičkom prikazu na Slici 3.39 moguće je iščitati mjesečne varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub>, dobivene mjerenjem zemaljske mjerne postaje, na području grada Pule unutar intervala od 5 godina (2019. – 2023.). Varijacije u mjesečnoj koncentraciji su jasno uočljive te se najviši zabilježeni rast u koncentraciji može uočiti od ožujka do travnja 2020. godine. Potrebno je i napomenuti nedostatak dnevnih validiranih podataka za travanj i svibanj 2022. godine te studeni i prosinac 2020. godine radi procesa popravka kvara na mornoj stanici.



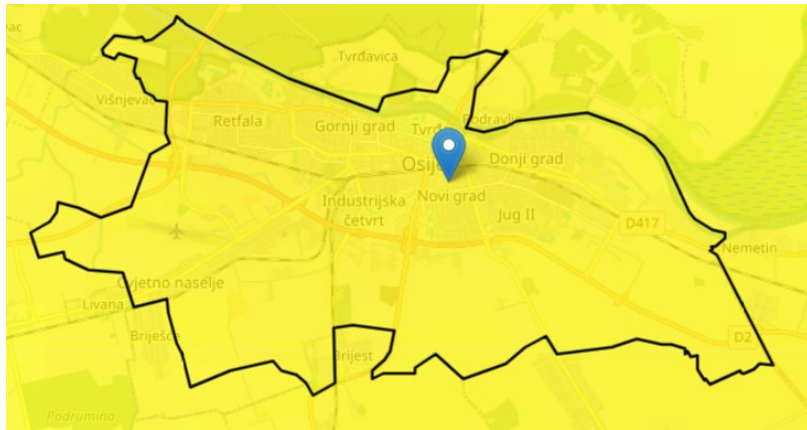
Slika 3.39 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Pula – Fižela mjerne postaje

Usporedimo li podatke mjerne postaje Pula – Fižela s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje niži od izračunatog prosjeka (Slika 3.40). Dobivene varijacije u rezultatima prosječnih mjesečnih vrijednosti i prosječnih godišnjih vrijednosti bile su za očekivati s obzirom na udaljenost same stanice od prometno gušćeg dijela grada i blizinu morske obale (Slika 3.38). Također, vidljiv je nedostatak podataka za travanj i svibanj 2022. godine te studeni i prosinac 2020. godine radi popravka kvara na mjernoj stanici.

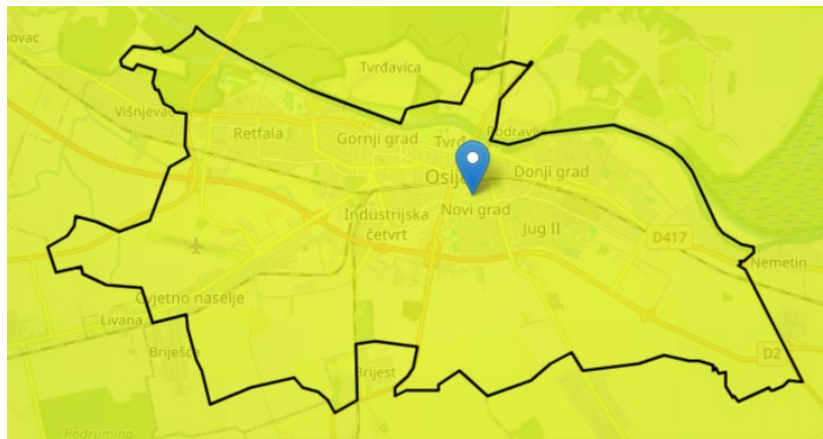


Slika 3.40 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Pula – Fižela

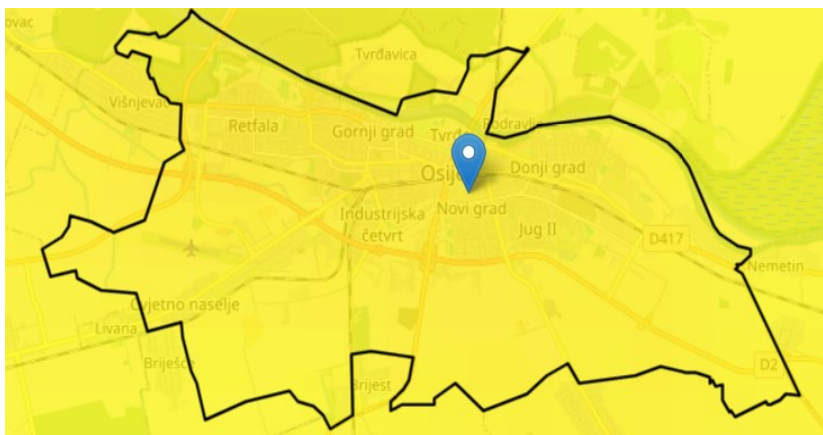
### 3.7.4 Grad Osijek



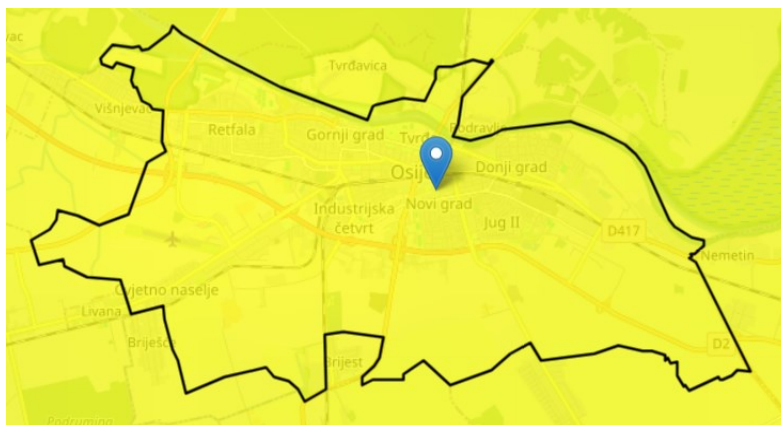
*Slika 3.41 Osijek 2019. godina*



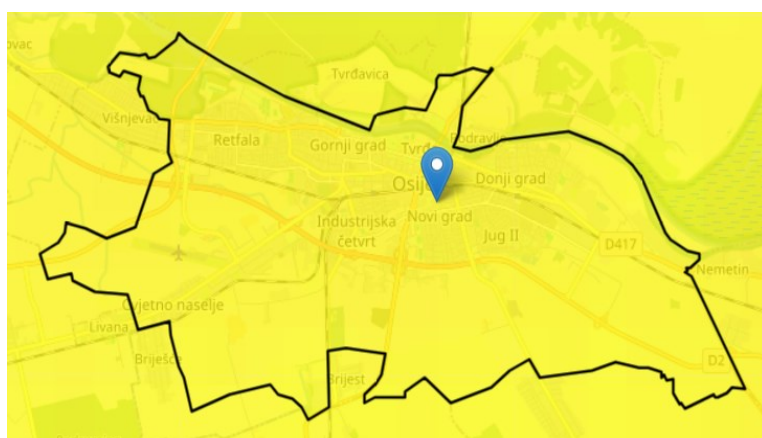
*Slika 3.42 Osijek 2020. godina*



*Slika 3.43 Osijek 2021. godina*



Slika 3.44 Osijek 2022. godina



Slika 3.45 Osijek 2023. godina

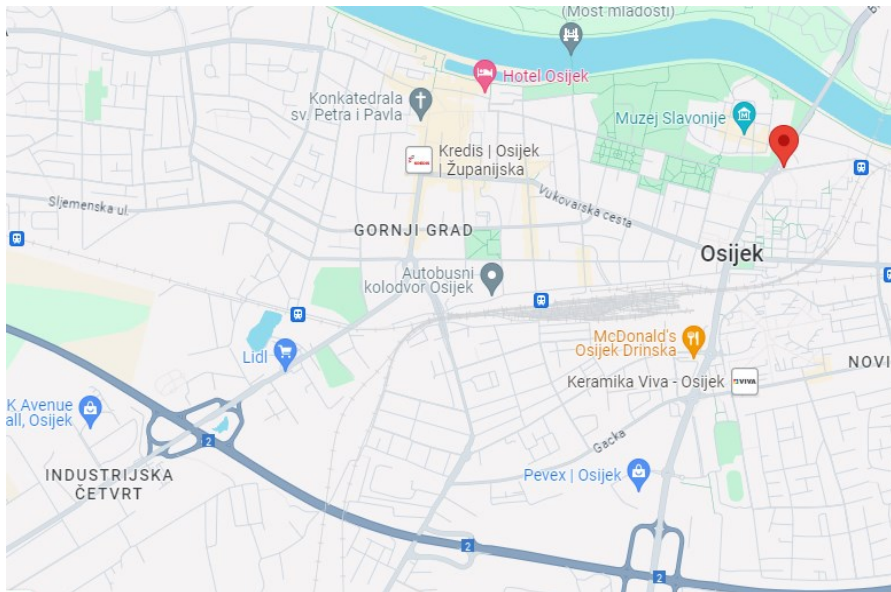
Tablica 3.5 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>

Osijek	
Godina	µg/m <sup>3</sup>
2019.	37,679
2020.	34,319
2021.	38,098
2022.	36,386
2023.	37,369

Slikovni niz i Tablica 3.5 prikazuju prosječnu godišnja koncentraciju NO<sub>2</sub> za grad Osijek unutar vremenskog intervala istraživanja od 5 godina (2019. – 2023.). Priložene tablične vrijednosti dobivene su konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1) koja je navedena.

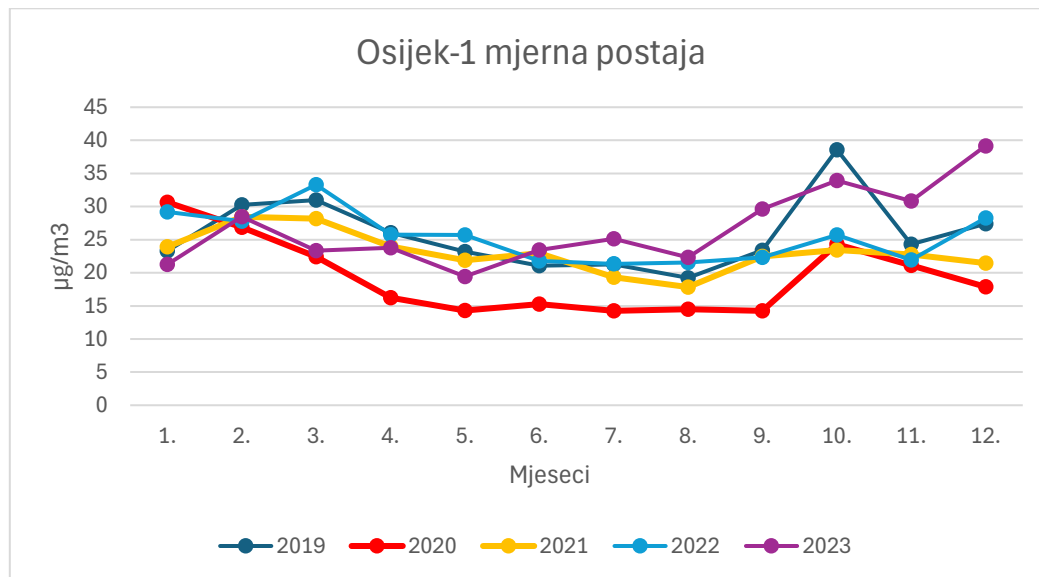
Osim na kartografskome prikazu 2020. godine (Slika 3.42), na kojem pretežito prevladavaju tonovi zelene boje, na ostalim kartografskim prikazima zastupljena je žuta boja s elementima narančaste boje odnosno njezinim tamnijim tonovima pogotovo u 2021. godini (Slika 3.43).

Za potrebe dublje analize obrađeni su i dnevni validirani podaci mjerne postaje Osijek – 1, te su prikupljena mjerenja također uspoređena i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom. Mjerna postaja Osijek – 1 nalazi se na sjeveroistočnom dijelu grada Osijeka, izvan samog centra grada i otprilike 5 km od industrijske zone (Slika 3.46).



Slika 3.46 Osijek – 1

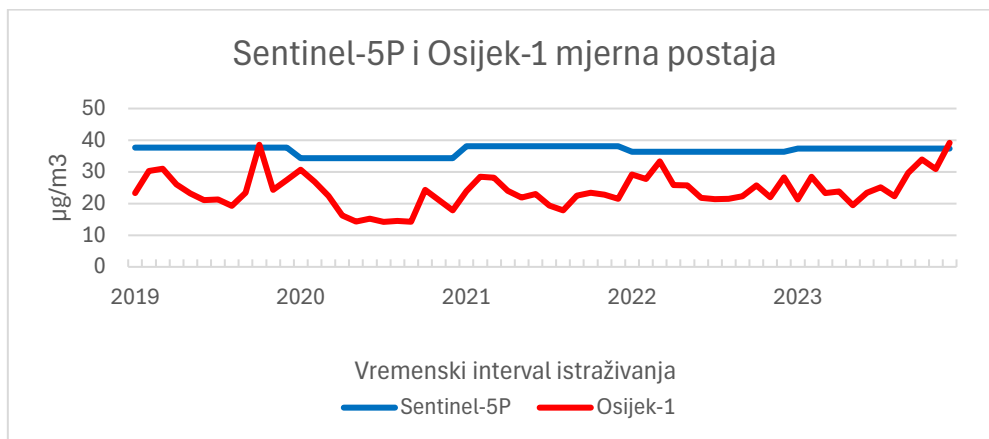
Na grafičkom prikazu (Slika 3.47) vidljive su mjesečne varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub> iz podataka mjerenja zemaljske mjerne postaje Osijek – 1 unutar intervala od 5 godina (2019. – 2023.). Drastičnih varijacija u mjesečnoj koncentraciji nema, osim za listopad 2022. godine. Odnosno uočljiv je veći porast u koncentraciji NO<sub>2</sub>.

Slika 3.47 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Osijek – 1 mjerne postaje

Usporedimo li podatke postaje Osijek – 1 s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje, većinom, niži od izračunatog prosjeka

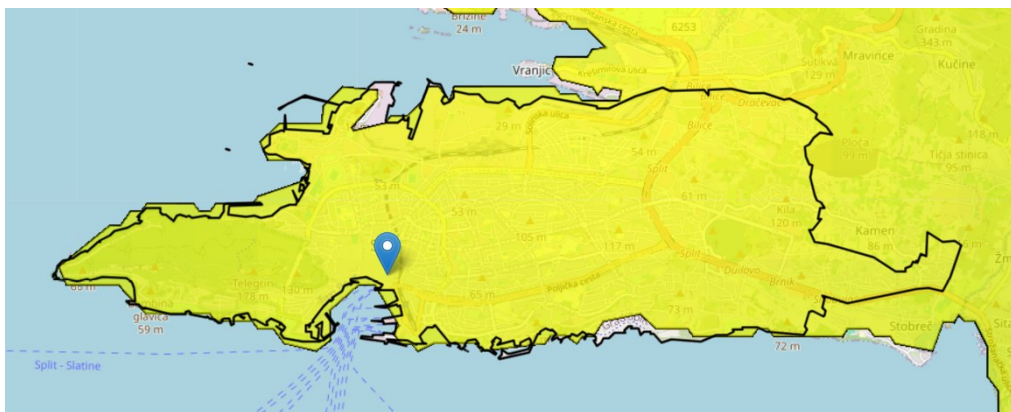


(posljedica udaljenosti industrijske zone). Međutim, u listopadu 2019. godine i u prosincu 2023. godine uočljiv je skok podataka mjerne stanice iznad dobivenog prosjeka (Slika 3.48).

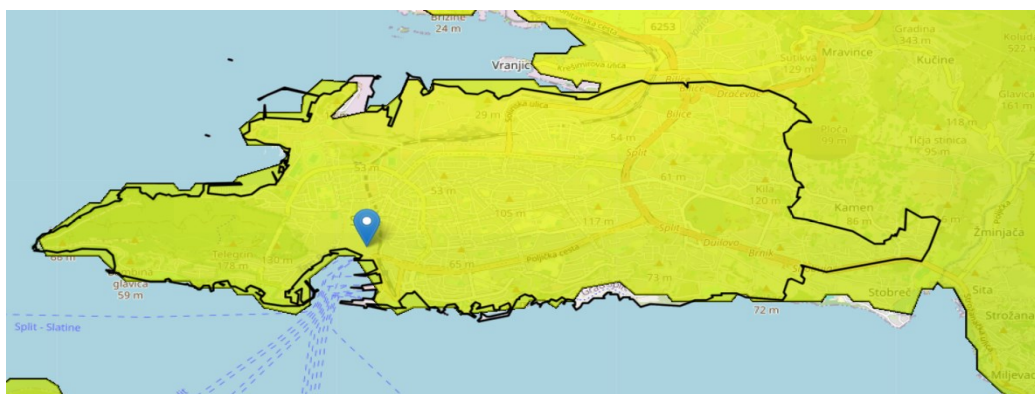


Slika 3.48 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Osijek – 1

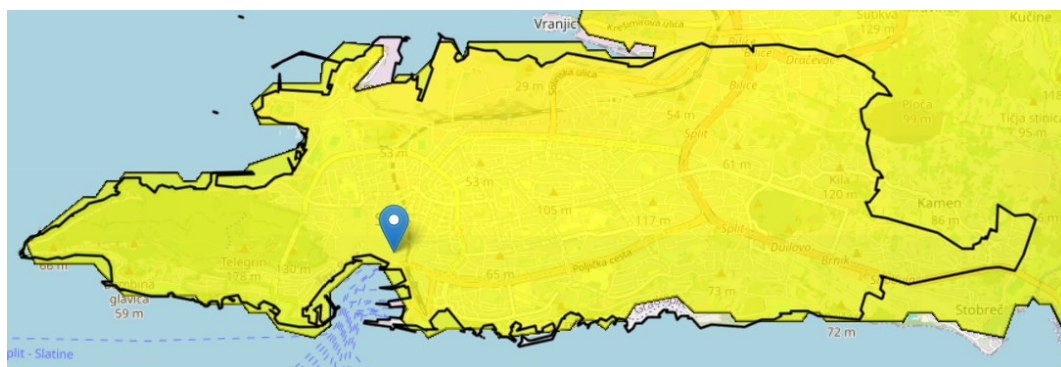
### 3.7.5 Grad Split



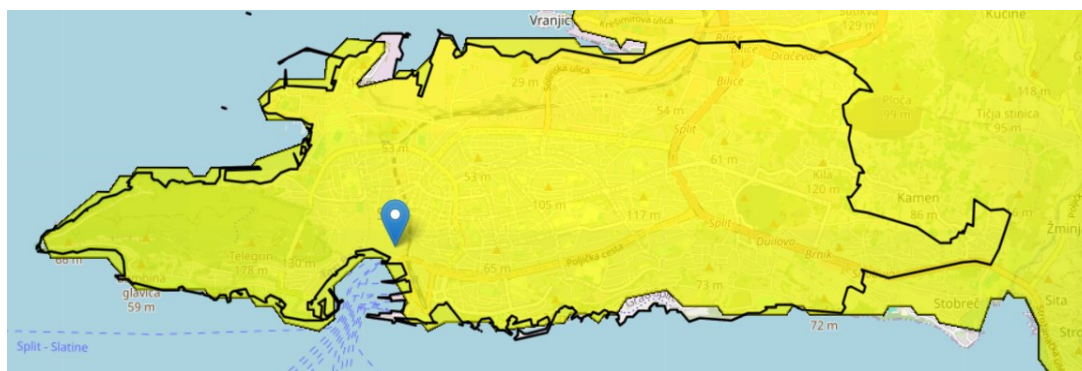
Slika 3.49 Split 2019. godina



Slika 3.50 Split 2020. godine



Slika 3.51 Split 2021. godine



Slika 3.52 Split 2022. godine

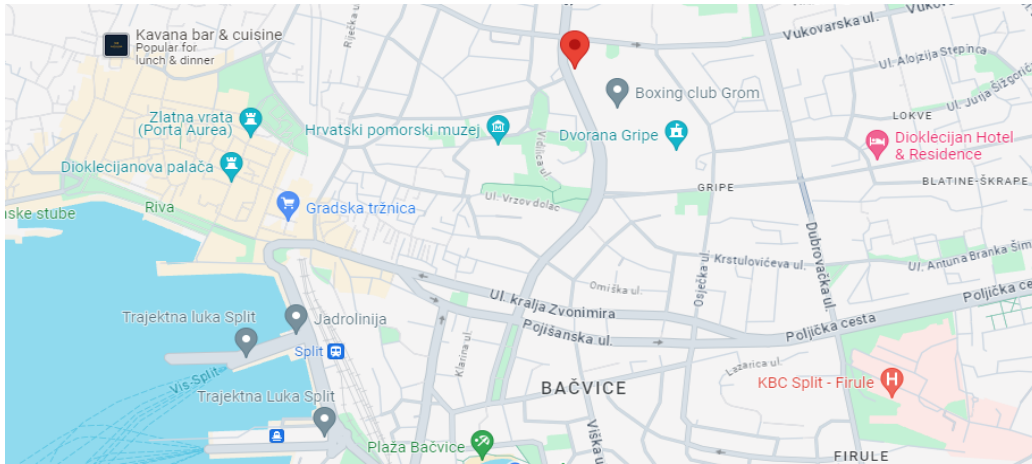
Tablica 3.6 Prosječna koncentracija NO2

Split	
Godina	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2019.	35,582
2020.	33,790
2021.	36,190
2022.	35,902

Slikovni niz i Tablica 3.6 prikazuju prosječnu godišnja koncentraciju NO<sub>2</sub> za grad Split unutar vremenskog intervala istraživanja od 4 godine (2019. – 2022.). Razlog izostavljanja 2023. godine u procesu analize koncentracije NO<sub>2</sub> grada Splita je nedostatak mjerenih podataka zemaljske stanice za 2023. godinu radi kvara iste. Samim time onemogućena je usporedba satelitskih podataka iz 2023. godine sa zemaljskim podacima. Priložene tablične vrijednosti dobivene su konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1) koja je navedena.

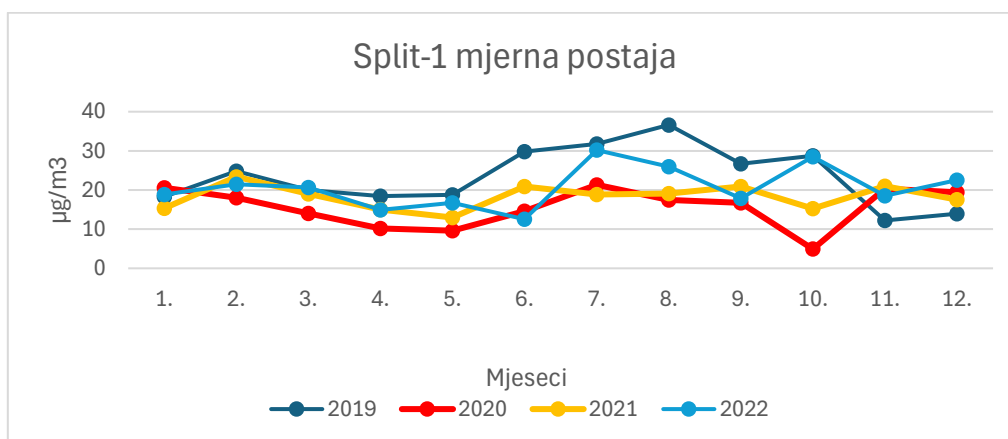
Vizualizacija koncentracije NO<sub>2</sub> 2020. godine u gradu Splitu (Slika 3.50), definirana je pretežito tonovima zelene boje dok je na ostalim kartografskim prikazima zastupljena žuta boja s elementima narančaste boje odnosno njezinim tamnijim tonovima.

U svrhu detaljnije analize obrađeni su i dnevni validirani podaci mjerne postaje Split – 1, te su prikupljena mjerenja također uspoređena i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom. Mjerna postaja Split – 1 nalazi se u stambenoj četvrti na samome kraju centra grada Splita (Slika 3.53).



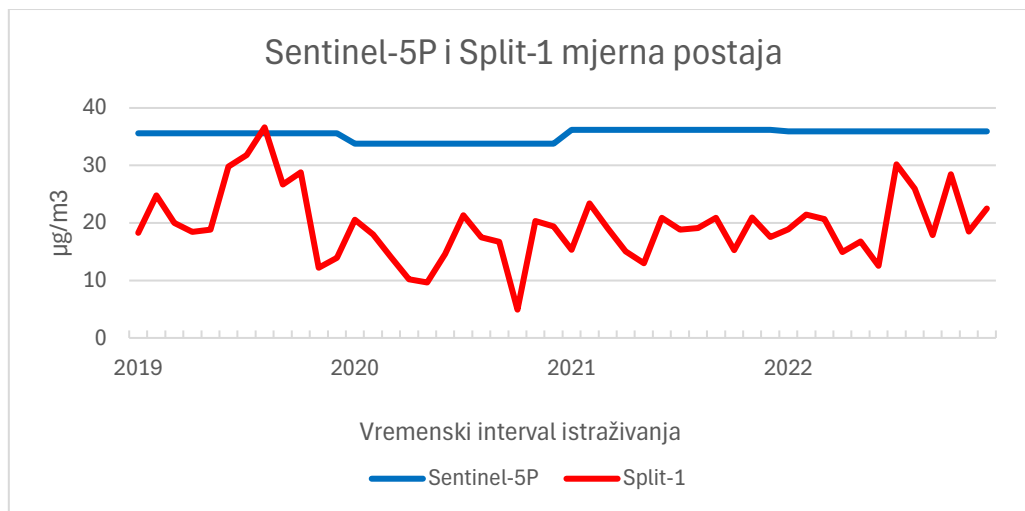
Slika 3.53 Split – 1

Zahvaljujući grafičkom prikazu (Slika 3.54) vidljive su mjesečne varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub> iz podataka mjerenja zemaljske mjerne postaje Split – 1 unutar spomenutog vremenskog intervala. Prosječni mjesečni podaci, zemaljske stanice, iz 2019. godine i 2022. godine premašuju mjesečne vrijednosti 2020. godine i 2021. godine.



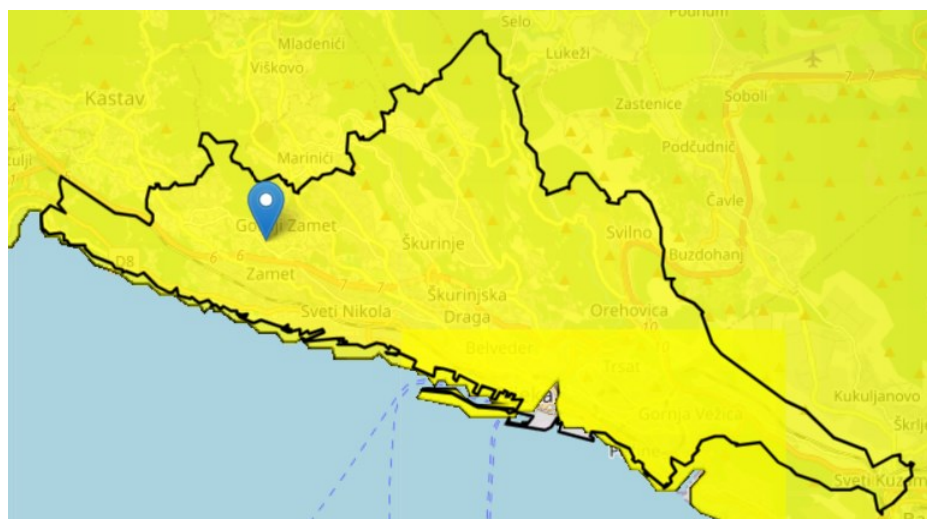
Slika 3.54 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Split – 1 mjerne postaje

Usporedbom podataka postaje Split – 1 s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje, većinom, niži od izračunatog prosjeka (posljedica lokacije mjerne stanice unutar stambene četvrti). Međutim, u kolovozu 2019. godine uočljiv je skok podataka mjerne stanice iznad dobivenog prosjeka.

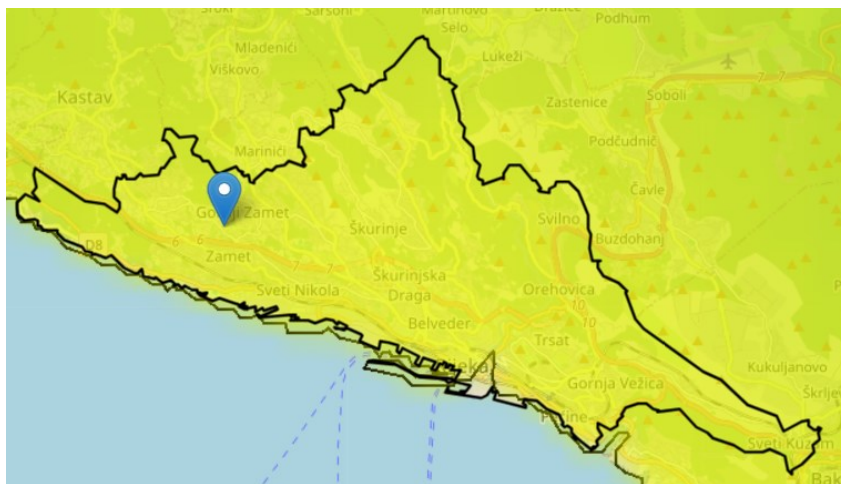


Slika 3.55 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Split – 1

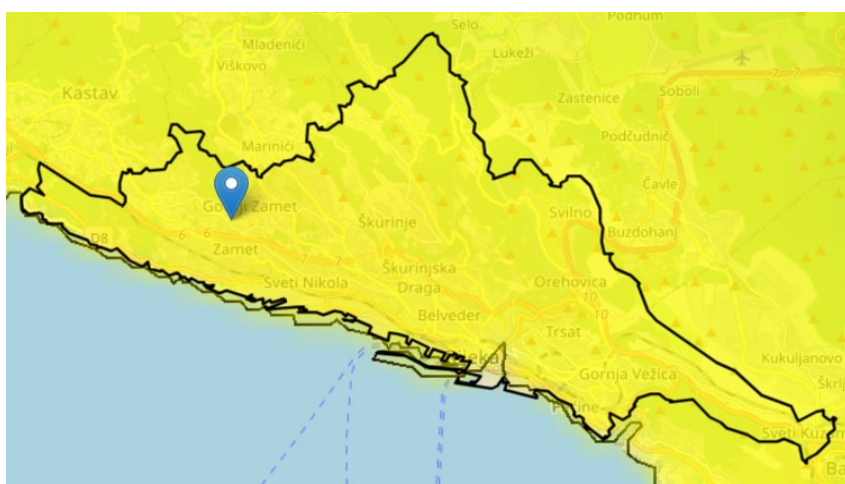
### 3.7.6 Grad Rijeka



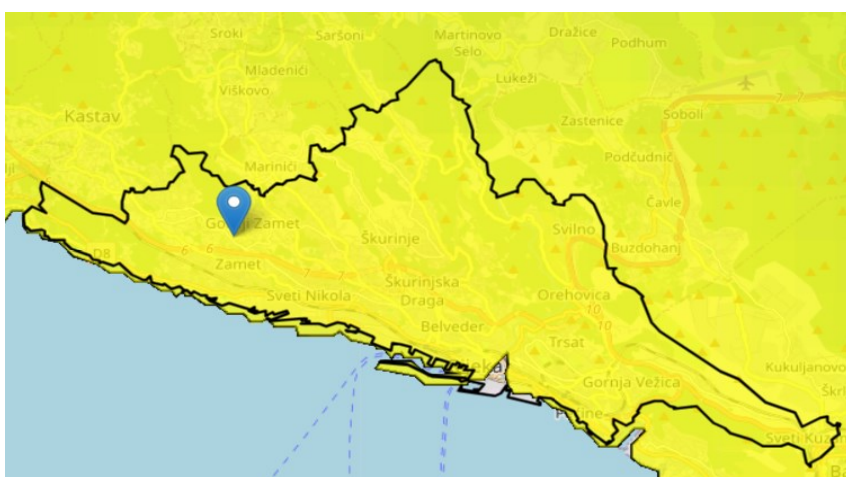
Slika 3.56 Rijeka 2019. godine



*Slika 3.57 Rijeka 2020. godine*



*Slika 3.58 Rijeka 2021. godine*



*Slika 3.59 Rijeka 2022. godine*



Slika 3.60 Rijeka 2023. godine

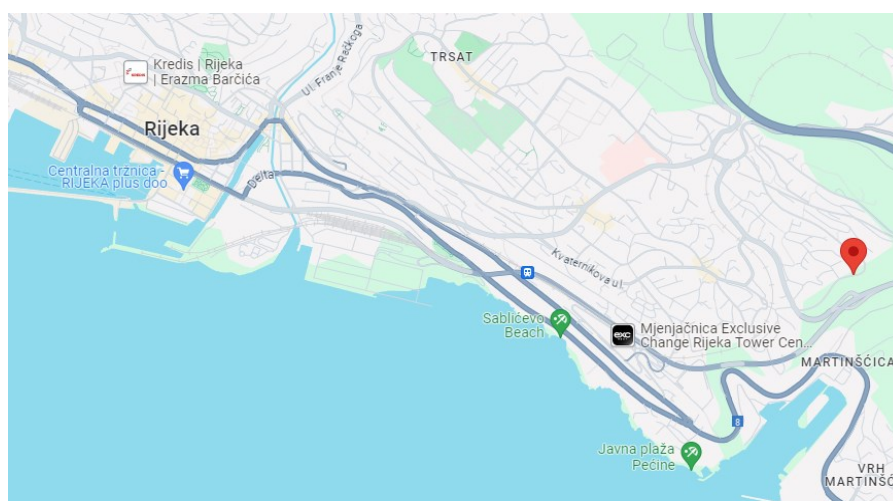
Tablica 3.7 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>

Rijeka	
Godina	µg/m <sup>3</sup>
2019.	36,610
2020.	34,785
2021.	37,079
2022.	36,765
2023.	38,449

Zahvaljujući priloženom slikovnom nizu i Tablici 3.7 prikazane su varijacije u prosječnoj godišnjoj koncentraciji NO<sub>2</sub> za grad Rijeku unutar vremenskog intervala istraživanja od 5 godina (2019. – 2023.). Priložene tablične vrijednosti dobivene su konverzijom podataka Sentinel-5P satelitske misije s pomoću formule (1).

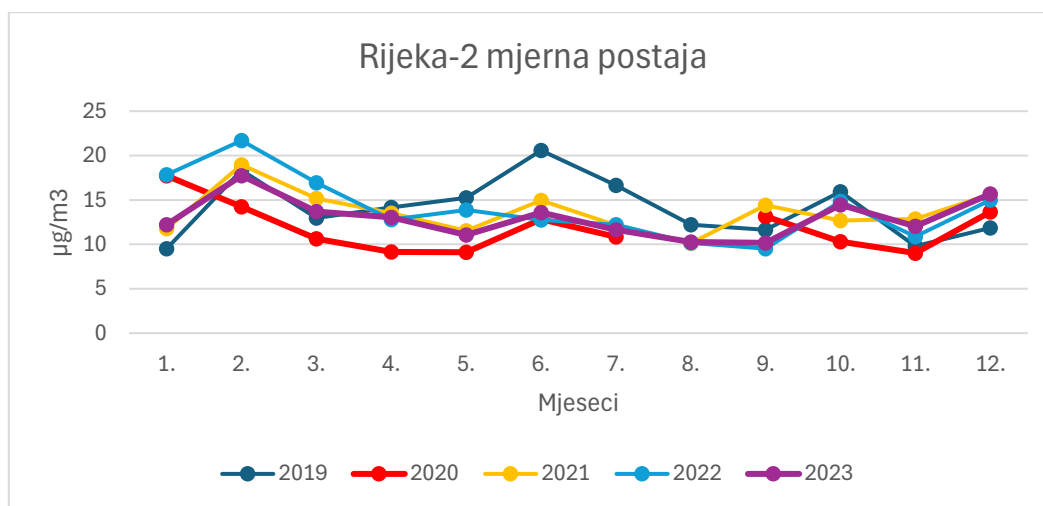
Na kartografskim prikazima pretežito prevladavaju žuti do tamno narančasti tonovi, pogotovo na prikazu za 2023. godinu (Slika 3.60). Izuzetak je Slika 3.57, odnosno prikaz koncentracije NO<sub>2</sub> u 2020. godini gdje dominira zelena boja i njezini tonovi.

U svrhu detaljnije analize obrađeni su i dnevni validirani podaci mjerne postaje Rijeka – 2, te su prikupljena mjerenja također uspoređena i s podacima dobivenima Sentinel-5P satelitskom misijom. Mjerna postaja Rijeka – 2 nalazi se na rubnome dijelu grada Rijeke (Slika 3.61).



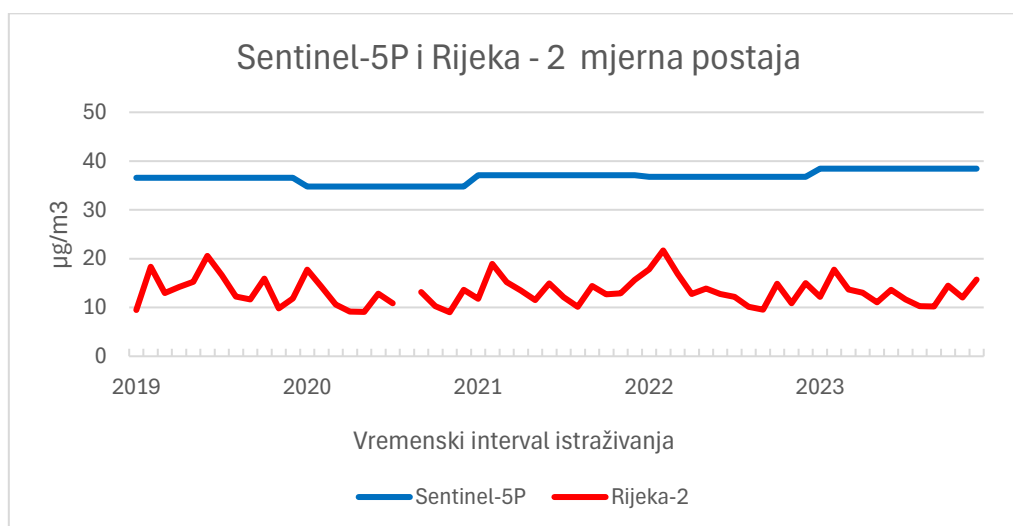
Slika 3.61 Rijeka – 2

Slika 3.62 omogućuje praćenje mjesečne koncentracije NO<sub>2</sub>, dobivene mjerenjem zemaljskom postajom, na području grada Rijeke za period od 2019. do 2023. godine. Varijacije u mjesečnoj koncentraciji su jasno vidljive. Najviši zabilježeni rast u koncentraciji može se uočiti od srpnja do lipnja 2019. i od siječnja do veljače 2022. godine. Potrebno je i napomenuti nedostatak dnevnih validiranih podataka za kolovoz 2020. godine radi popravka kvara na mjernoj stanici.



Slika 3.62 Izmjereni podaci o koncentraciji NO<sub>2</sub> s pomoću Rijeka – 2 mjerne postaje

Usporedimo li podatke postaje Rijeka – 2 s prosječnim godišnjim vrijednostima dobivenim satelitskim mjerenjima vidljivo je da su podaci postaje znatno niži od godišnjeg prosjeka. Varijacije u rezultatima očekivane su s obzirom na lokaciju same stanice (Slika 3.61). Također, vidljiv je nedostatak podataka za kolovoz 2020. godine radi popravka kvara na mjernoj stanici.



Slika 3.63 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Rijeka – 2

## DISKUSIJA

Istraživanje provedeno za Mramornu regiju u Turskoj (Cakmak i dr., 2023) proizvelo je slične rezultate rezultatima dobivenima u ovome istraživanju, koristeći vrlo slične materijale i metode prikupljanja i analize podataka. Naime, predmet ispitivanja, u spomenutom radu, bio je u prvome redu utjecaj epidemije koronavirusa na zastupljenost zagađujućih čestica u zraku. Točnije, ispitivalo se koliki je zapravo ljudski utjecaj u samome procesu zagađenja zraka, npr. gustoća prometa, odnosno kretanje stanovništva. Također, kartografskim prikazima analizirao se i sam utjecaj gustoće naseljenosti i prisutnosti industrijskih zona na kvalitetu zraka kojega udišemo. Usporedbom grafikona, definiranih mjesečnim koncentracijama NO<sub>2</sub> u zraku, uočen je trend opadanja koncentracije zagađujuće čestice od prvih mjeseci 2020. godine do prvih mjeseci 2021. godine (početak popuštanje mjera). Isto se može vidjeti i na kartografskim prikazima dobivenima u ovome istraživanju. Naime, na slikovnim prikazima: Slika 3.2, Slika 3.5 i Slika 3.7, odnosno prikazu RH u periodu bez mjera vezanih za samo kretanje stanovništva, jasno je vidljiva razlika u zastupljenosti tonova žute, narančaste i crvene boje (viša prosječna koncentracija NO<sub>2</sub>). Međutim, na kartografskim prikazima RH za 2020. godinu, npr. Slika 3.3, dominantno prevladavaju tonovi zelene boje koji simboliziraju nižu prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub>. Zahvaljujući navedenom pokazana je direktna povezanost ljudskog utjecaja (npr. gustoća prometa, rad industrije) na utjecaj stupnja zagađenosti zraka plinom NO<sub>2</sub>. Nadalje nakon analize rezultata za cjelokupno područje Mramorne regije, zahvaljujući kartografskim prikazima, najveća koncentracija NO<sub>2</sub> locirana je na području glavnog grada Mramorne regije, Istanbulu. Gustoća stupca NO<sub>2</sub> iznosila je 9,93E-05 mol/m<sup>2</sup> dok je prosječna vrijednost za cjelokupnu regiju iznosila 8,40E-05 mol/m<sup>2</sup>. Vrlo slični rezultati mogu se uočiti i na dobivenim kartografskim prikazima Republike Hrvatske za cjelokupni period istraživanja. Neovisno o prisutnosti mjera vezanih uz epidemiju COVID – 19 područja veće gustoće naseljenosti, npr. Zagreb i Istarsko priobalno područje, pretežito su prikazani tamno žutim, narančastim pa čak za neke godine i crvenim tonovima. S druge strane područja slabije gustoće naseljenosti, npr. Lik i Gorski kotar, prikazani su pretežito zelenim i žutim bojama te vrlo rijetko i nijansama narančaste boje. Time je dokazan direktan utjecaj blizine industrijske zone i gustoće naseljenosti na stupanj zagađenosti zraka na određenome području.



Proučavanje problematike sezonske varijacije u koncentraciji NO<sub>2</sub> na određenome prostoru, bilo je glavna tema istraživanja provedenog za područje grada Mostara 2011. godine (Buntić i dr., 2020). Rezultati se vrlo slični rezultatima dobivenima u ovome istraživanju. Međutim, za dobivanje istih korišteni su drugačiji materijali i metode prikupljanja i obrade podataka. Spomenutim istraživanjem pokazalo se da su u zimskome razdoblju, najviše prosječne 24-satne mjesečne koncentracije NO<sub>2</sub>, zabilježene mjernim postajama u gradu Mostaru, iznosile 14,24 - 21,51 µg/m<sup>3</sup>. Dok je za ljetni period izmjerena koncentracija NO<sub>2</sub> bila izrazito niža. Odnosno koncentracija NO<sub>2</sub> za ljetni period, u gradu Mostaru, iznosila od 7,70 do 14,96 µg/m<sup>3</sup>. Vrlo slična situacija može se iščitati i s vizualnih kartografskih prikaza dobivenih analizom satelitskih podataka. Na Slici 3.12 prikazana je prosječna koncentracija za drugu polovicu 2018.godine, a na slici 3.13 prikazana je prosječna koncentracija za prvu polovicu 2024. godine. Jasno je vidljiva razlika u koncentraciji NO<sub>2</sub> za spomenute periode zahvaljujući rasporedu i zastupljenosti boja na kartografskim prikazima. Zelena boja, koja simbolizira nižu prosječnu koncentraciju NO<sub>2</sub>, velikom većinom prekriva područje RH kod kartografskog prikaza prve polovice 2024. godine (Slika 3.13). Međutim, na Slici 3.12 jasno je uočljiva dominacija tonova žute, narančaste i crvene boje što nas upućuje na viši prosječni stupanj koncentracije NO<sub>2</sub> na kartografskome prikazu druge polovice 2018. godine. Zahvaljujućim svemu navedenom, dokazana je uska povezanost sezone grijanja, pojačane gustoće prometa te suhim vremenskih uvjeta (kiša i vjetar prirodno pročišćavaju zrak) s koncentracijom NO<sub>2</sub> u zraku.

Dobiveni godišnji prikazi prosječne koncentracije NO<sub>2</sub> za teritorij Republike Hrvatske iskorišteni su i za prikaz dvije zanimljivosti kao dodatnih dijelova ovoga istraživanja. Prilikom usporedbe Slike 3.8 i Slike 3.9 područje ispitivanja bila je razlika u prosječnoj godišnjoj koncentraciji NO<sub>2</sub> za dvije uzastopne godine, 2022. i 2023. godinu. Analizom priloženih kartografskih prikaza jasno je vidljiva razlika u rasprostranjenosti žute i narančaste boje koje ukazuju na znatan porast prosječne koncentraciju NO<sub>2</sub> u vremenskome razmaku od samo godinu dana. Nadalje, usporedbom Slike 3.10 i Slike 3.11 usporedio se prosječni godišnji prikaz koncentracije NO<sub>2</sub> za 2019. i 2023. godinu s ciljem ispitivanja indirektnog utjecaja NO<sub>2</sub> na globalno zatopljenje. Naime, NO<sub>2</sub> jedan je od plinova zaslužnih za stvaranje stakleničkog plina prizemnog ozona koji je jedan od glavnih čimbenika stvaranja efekta staklenika. Prema tome analizom navedenih slikovnih prikaza ispitana je i razlika u koncentraciji spomenutog plina u

2023. godini s obzirom na 2019. godinu. Prikazane razlike u koncentraciji žute i narančaste boje na kartografskim prikazima slažu se s činjenicom da je globalno zatopljenje bilo jače u 2023. godini nego u 2019. godini na prostoru Republike Hrvatske.

Za potrebe detaljnije analize gradskih područja ideja prikupljanja, obrade i prikaza rezultata podataka u potpunosti je preuzeta iz istraživanja Bočková i dr., 2020. godine. Povod istraživanja bilo je ispitivanje zagađenosti zraka nad Ukrajinom s ciljem lociranja područja veće zagađenosti i samih uzročnika istog nad detektiranim područjem. Autori ove studije ispituju prostornu i vremensku distribuciju NO<sub>2</sub> (i ostalih zagađivača) s pomoću koropletnih karata (Sentinel-5P podaci) i linijskih grafova (zemaljske mjerne stanice). Zahvaljujući navedenim metodama i podacima dokazana je direktna povezanost većih gradskih i industrijskih područja, velikih prometnih raskrižja unutar gradova te samog podneblja grada s pojačanom koncentracijom NO<sub>2</sub> u usporedbi s ostalim ukrajinskim područjem. Vrlo slično može se zaključiti i na temelju rezultata dobivenih i u ovome istraživanju, samo što područje ovog dijela istraživanja nije bila cijela Hrvatska nego samo urbana područja od interesa (Zagreb, Kutina, Osijek, Pula, Split, Rijeka). Varijacija u prosječnoj mjesečnoj koncentraciji NO<sub>2</sub> za npr. različite predjele grada Zagreba jasno je vidljiva na grafičkim prikazima na Slici 3.20 i Slici 3.23. Prikazano odstupanje u prosječnoj mjesečnoj koncentraciji prepisuju se različitim lokacijama stanica, odnosno blizini velikog prometnog raskrižja (Slika 3.19) ili same periferije grada (Slika 3.22). Također, prilikom usporedbe prosječnih mjesečnih podataka dobivenih mjernim stanicama s prosječnim godišnjim vrijednostima za cijelo gradsko područje (Sentinel-5P podaci) jasno je uočljivo kretanje iznad godišnjeg prosjeka (Slika 3.21) i ispod godišnjeg prosjeka (Slika 3.24) koje je također posljedica same lokacije stanice. Na temelju ostalih priloženih grafičkih prikaza dobivene mjesečne i godišnje koncentracije NO<sub>2</sub>, za ostale gradove za koje je također provedeno istraživanje u ovome radu, samo je potvrđen utjecaj industrijskog područja, velikih prometnih raskrižja te podneblja u kojem se nalazi stanica na utjecaj kvalitete zraka na određenome prostoru. Ukratko na grafičkom prikazu mjesečnih varijacija (podaci mjerne stanice) i godišnjih varijacija (satelitski podaci za cjelokupno gradsko područje) koncentracije NO<sub>2</sub> u gradovima Kutina (Slika 3.32) i Osijek (Slika 3.48) jasno je vidljivo niže odstupanje od godišnjeg gradskog prosjeka koncentracije NO<sub>2</sub> zbog udaljenosti mjernih postaja od industrijskih zona spomenutih gradova (Slika 3.30, Slika 3.46). Nadalje, mjerna postaja u Puli nalazi se u blizini morske obale i u blizini prirodne površine (Slika 3.38), mjerna postaja u

Rijeci smještena je na samoj periferiji grada (Slika 3.61) dok je lokacija mjerne postaje u gradu Splitu u potpunosti u stambenoj četvrti dalje od užeg pojasa gradskog centra i industrijske zone (Slika 3.53). Shodno tome, na grafičkim prikazima usporedbe podataka mjernih postaja i satelitskih mjerenja za cjelokupna gradska područja, odstupanja u koncentraciji NO<sub>2</sub> za navedena urbana područja jasno su vidljiva (Slika 3.40, Slika 3.63, Slika 3.55). Prema tome, zahvaljujući svemu navedenom, pokazana je uska povezanost industrijskih zona, većih prometnica i raskrižja te samoga podneblja s kvalitetom zraka kojega udišemo.

Također, na samome kraju, bitno je spomenuti i istraživanje o kretanju koncentracije NO<sub>2</sub> provedeno za grad Ahwaz u Iranu za period od 2019. godine do 2021 godine. Odnosno period prije, tijekom i nakon epidemije koronavirusa (Fatemeh i dr., 2023). Ovim istraživanjem se pokazala značajna promjena u prosječnoj godišnjoj koncentraciji NO<sub>2</sub>, odnosno njezin pad za čak 13,7 %, u 2020. godini, godini širenja COVIDa-19. Zahvaljujući kartografskim prikazima na priloženim slikama (Slika 3.15, Slika 3.26, Slika 3.34, 3.42, 3.50, 3.57) i tablicama dobivenih na temelju rezultata ovoga istraživanja (Tablica 3.2, Tablica 3.3, Tablica 3.4, Tablica 3.5, Tablica 3.6, Tablica 3.7) uočen je sličan trend opadanja i kod hrvatskih gradova. Navedeni niz slika prikazuje dominaciju zelene boje, unutar gradskih područja, koja označava nisku koncentraciju NO<sub>2</sub> za 2020. godinu. Međutim, ostali godišnji prikazi (2019., 2021., 2022. i 2023.) gradskih područja prošarani su žutim, narančastim te ponegdje i crvenim nijansama koje ukazuju na višu koncentraciju NO<sub>2</sub> u zraku. Točne varijacije između prosječnih godišnjih koncentracija za gradska područja Zagreba, Kutine, Osijeka, Pule, Splita i Rijeke prikazane su navedenim nizom tablica. Razlika u prosječnoj koncentraciji NO<sub>2</sub> u 2020. godini s ostalim godinama je sveprisutna. Međutim, u nešto nižem postotku u usporedbi s izmjerenom razlikom za grad Ahwaz. Na temelju svega navedenog može se zaključiti da je epidemija koronavirusa, odnosno njezine mjere koje su ograničavale kretanje stanovništva, pripomogla pri pročišćavanju zraka i zagađenijih gradskih područja. Međutim, zahvaljujući ostatku priloženih kartografskih prikaza urbanih područja te spomenutih tablica, vidljiv je i trend nagloga rasta i zadržavanja više koncentracije NO<sub>2</sub> od 2021. godine. Ukratko, sama zagađenost zraka izrazito je povezana s ljudskim kretanjem i djelatnošću.

## ZAKLJUČAK

Za područje istraživanja ovoga rada odabrano je praćenje kvalitete zraka s pomoću Sentinel-5P satelitskih snimaka u Google Earth Engineu. Preciznije rečeno, analizirao se stupanj zagađenosti zraka plinom NO<sub>2</sub> u Republici Hrvatskoj. Cilj rada bio je ispitati vezu koncentracije NO<sub>2</sub> s gustoćom naseljenosti i gustoćom prometa, prisutnošću industrijskih zona, podneblju te vremenskim uvjetima i dobu godine. Za vremenski interval istraživanja odabran je period od druge polovice 2018. godine do prve polovice 2024. godine. Vizualni godišnji prikazi, dobiveni interpolacijom Sentinel-5P satelitskih snimaka, međusobno su uspoređivani ovisno o području ispitivanja. Dodatno, analiza je obuhvatila urbana područja od interesa, uključujući Zagreb, Kutinu, Osijek, Pulu, Split i Rijeku, za period od 2019. do 2023. godine, uz korištenje podataka mjernih postaja unutar svakog grada.

Analiza i usporedba kartografskih prikaza prosječne godišnje koncentracije NO<sub>2</sub> na cjelokupnom teritoriju Republike Hrvatske jasno su pokazale povezanost ljudskih aktivnosti, poput gustoće prometa i rada industrijskih zona, s razinama koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku. Ova povezanost je potvrđena analizom i usporedbom kartografskih prikaza prosječne godišnje koncentracije NO<sub>2</sub> u razdobljima prije, tijekom i nakon pandemije COVID-19. Nadalje, utvrđena je značajna korelacija između sezonskih varijacija i koncentracije NO<sub>2</sub> u zraku, uključujući utjecaj sezone grijanja i specifičnih vremenskih uvjeta, kao što su suho vrijeme i odsutnost vjetera, na razine ovog zagađivača.

Analizom urbanih područja s pomoću satelitskih podataka i podataka dobivenih mjernim stanicama, pokazana je povezanost visoke koncentracije NO<sub>2</sub> s urbanim i industrijskim zonama. Naime, koncentracija NO<sub>2</sub> u istome gradu može značajno varirati ovisno o lokaciji mjerne stanice, primjerice blizina velikih prometnih raskrižja ili industrijske zone ili smještaj same stanice na samoj periferiji grada u blizini prirodne površine. Također, gradskom analizom detaljnije je ispitan i utjecaj epidemije COVID-19. Zabilježen je trend smanjenja koncentracije NO<sub>2</sub> tijekom 2020. godine, ali i nagli porast tijekom i nakon 2021. godine, što dodatno ukazuje na snažnu povezanost zagađenosti zraka s ljudskim kretanjem i aktivnostima.

Sveukupno, ovi rezultati potvrđuju da ljudske aktivnosti, sezonske varijacije, gustoća naseljenosti i industrijska prisutnost imaju značajan utjecaj na koncentraciju NO<sub>2</sub> u zraku.

Epidemijske mjere koje ograničavaju kretanje stanovništva mogu privremeno poboljšati kvalitetu zraka, no povratak normalnim aktivnostima brzo vraća više razine zagađenja.

Dobiveni rezultati ovog istraživanja pružaju idealnu osnovu za daljnje istraživanje koncentracije svih zagađivača zraka praćenih misijom Sentinel-5P iz svemira. Osim podataka o koncentraciji NO<sub>2</sub> na GEE platformi, dostupni su i podaci o koncentraciji drugih zagađivača zraka kao što su ozon, sumporov dioksid, ugljikov monoksid, metan, formaldehid i aerosoli. Uz spomenute podatke, moguće je i dodatno analizirati godišnje varijacije u temperaturi te zaključiti istraživanje analizom cjelokupnog procesa utjecaja zagađenja zraka na globalno zatopljenje u Republici Hrvatskoj.

## LITERATURA

- Bačić Ž. (2020) Predavanja iz kolegija Satelitsko pozicioniranje, Preddiplomski studij, Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- Bieńkowska E. (n.d.) Copernicus Europe's eyes on Earth, Copernicus Brouchure
- Bočková S., Bohovic R. Hrnčiar M., Muroň M., Filippovová P., Skalský M., Soroka, M. (2020) Air Pollution in Ukraine from Space
- Brkić B. (2018) Utjecaj onečišćenja zraka u Slavonskom Brodu na zdravlje ljudi i eko sustava, završni rad, Veleučilište u Šibeniku odjel Menadžmenta, Šibenik
- Buntić N., Kraljević T., Talić S. (2012) Variation of PM10, NO2, NO and O3 in City of Mostar, Bosnia and Herzegovina, Glasnik hemičara i tehnologa Bosne i Hercegovine
- Cakmak N., Yilmaz O. S., Sanil F. B (2023) Analiza prostorno-vremenske raspodjele onečišćujućih plinova korištenjem podataka Sentinel-5P TROPOMI na Google Earth Engine platformi tijekom COVID-19 pandemije u Mramornoj regiji u Turskoj, izvorni znanstveni rad, Građevinski fakultet, Mostar
- Cvitaš T., Jeftić J., Klasnic L. (n.d.) Zlato – zrak
- Downey A. (2015) Think Python, Needham
- Fatemeh A., Ali Akbar J., Ladan Khedri G. (2023) Tracing air pollution changes (CO, NO2, SO2, and HCHO) using GEE and Sentinel 5P images in Ahvaz, Iran
- Jakopović L., Kolarek M., Rezo M., Kranjčić N. (2018) Satelitska misija Copernicus – mogućnosti nadziranja prirodnih nepogoda, Geotehnički fakultet, Varaždin
- Kučić Grgić D. (2022) Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
- Pintarić S. (2015) Utjecaj dušikova dioksida, ozona i meteoroloških parametara na broj hitnih pregleda kardioloških bolesnika, doktorska disertacija, Sveučilišni poslijediplomski interdisciplinarni doktorski studij Zaštita prirode i okoliša, Osijek
- Pokos V. (2020) Modeli kvalitete zraka, završni rad, Geotehnički fakultet, Varaždin

Sabljak D. (2020) Izrada aplikacije za analizu i korištenje podataka sa Sentinel 3 i Sentinel, završni rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Savenets M. (2021) Air pollution in Ukraine: a view from the Sentinel-5P satellite

Sofilić T. (2015) Zdravlje i okoliš, Metalurški fakultet, Zagreb

Stojanović A., Kovačević Ž. (2022), Uvod u programski jezik Python, Tehničko veleučilište, Zagreb

Vukadinović A. (2021), Integracija podataka putem razvojnog okružja Jupyter Notebook, završni rad, Fakultet organizacije i informatike, Varaždin

Vrbanek D. (2020) Analiza kvalitete zraka u Gradu Zaboku, diplomski rad, Geotehnički fakultet, Varaždin

## POPIS MREŽNIH ADRESA

URL 1: Kako zagađeni zrak utječe na zdravlje?

<https://zrak.ekoakcija.org/content/kako-zagadeni-zrak-utjece-na-zdravlje> (27.05.2024.)

URL 2: Meet Earth Engine

<https://earthengine.google.com/> (27.05.2024.)

URL 3: Sentinel-5 Precursor

[https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-5\\_Precursor](https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-5_Precursor) (27.05.2024.)

URL 4: Zrak

<https://www.enciklopedija.hr/clanak/zrak> (28.05.2024.)

URL 5: Priroda i sastav zraka

[https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/2438174/m\\_3/j\\_1.html](https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/2438174/m_3/j_1.html) (03.06.2024.)

URL 6: Učinci i posljedice onečišćenja zraka

<https://www.airq.hr/ucinci-i-posljedice-oneciscenja-zraka/> (28.05.2024.)

URL 7: Utjecaj zagađenog zraka na zdravlje

<https://balkans.aljazeera.net/interactives/2020/1/15/infografika-utjecaj-zagadenog-zraka-na-zdravlje> (03.06.2024.)

URL 8: Dušikov (IV) oksid

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Du%C5%A1ikov\(IV\)\\_oksid](https://hr.wikipedia.org/wiki/Du%C5%A1ikov(IV)_oksid) (29.05.2024.)

URL 9: Kemija 7 slikovni materijali atomi i modeli molekula

URL 10: Kako nastaje kisela kiša?

<https://www.meteorologiaenred.com/hr/Kako-nastaje-kisela-ki%C5%A1a.html> (12.06.2024.)

URL 11: Predstavljen Copernicus, program koji promatra Zemlju

<https://www.nacional.hr/program-copernicus-predstavljen-na-medijskoj-konferenciji/>  
(29.05.2024.)

URL 12: About Us, Copernicus

<https://climate.copernicus.eu/about-us> (03.06.2024.)

URL 13: Ukratko o programu Copernicus

<https://www.copernicus.eu/hr/o-programu-copernicus/ukratko-o-programu-copernicus>  
(29.05.2024.)

URL 14: Dodatne misije

<https://www.copernicus.eu/hr/dodatne-misije> (29.05.2024.)

URL 15: Copernicus Programme

<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme> (03.06.2024.)

URL 16: Infrastruktura

<https://www.copernicus.eu/hr/o-programu-copernicus/infrastruktura> (29.05.2024.)

URL 17: Overall structure of Copernicus Payload Data Ground Segment for Sentinels -1 to -3

[https://www.researchgate.net/figure/Overall-structure-of-Copernicus-Payload-Data-Ground-Segment-for-Sentinels-1-to-3-Status\\_fig1\\_259899058](https://www.researchgate.net/figure/Overall-structure-of-Copernicus-Payload-Data-Ground-Segment-for-Sentinels-1-to-3-Status_fig1_259899058) (29.05.2024.)

URL 18: Introducing Sentinel-5P



[https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Introducing\\_Sentinel-5P](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Introducing_Sentinel-5P) (30.05.2024.)

URL 19: Sentinel-5P

[https://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/sentinel-5-precursor.htm](https://space.skyrocket.de/doc_sdat/sentinel-5-precursor.htm) (03.06.2024.)

URL 20: S5P Mission

<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s5p-mission> (30.05.2024.)

URL 21: Otkrijte naše satelite,

<https://www.copernicus.eu/hr/o-programu-copernicus/infrastruktura/otkrijte-nase-satelite>  
(30.05.2024.)

URL 22: SENTINEL-5P

<https://www.horiba.com/int/scientific/resources/jobin-yvon-history-200-years-of-optical-innovation/our-gratings-in-space/sentinel-5p/> (30.05.2024.)

URL 23: TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI)

<https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/tropomi> (03.06.2024.)

URL 24: Planetary – wide analysis on Google’s cloud

<https://www.google.com/earth/education/tools/google-earth-engine/> (01.06.2024.)

URL 25: Earth Engine Data Catalog

<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog> (01.06.2024.)

URL 26: Sentinel-5P

<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p> , (03.06.2024.)

URL 27: Google Earth Engine FAQ

<https://earthengine.google.com/faq/> (01.06.2024.)

URL 28: What is an API (Application Programming Interface)?

<https://aws.amazon.com/what-is/api/> (01.06.2024.)

URL 29: Programiranje i programski jezik Python

<https://group.miletic.net/hr/nastava/materijali/python-programiranje/> (02.06.2024.)

URL 30: Python – Python logo

<https://www.cleanpng.com/png-python-programming-language-computer-programming-1-1141718/> (04.06.2024.)

URL 31: What is Visual Studio Code?

<https://www.educative.io/answers/what-is-visual-studio-code> (02.06.2024.)

URL 32: Download Visual Studio Code full logo transparent PNG

<https://www.stickpng.com/img/icons-logos-emojis/tech-companies/visual-studio-code-full-logo> (04.06.2024.)

URL 33: Visual Studio Code

<https://www.webopedia.com/definitions/visual-studio-code/> (02.06.2024.)

URL 34: IPython

<https://ipython.org/notebook.html> (02.06.2024.)

URL 35: The Jupyter Notebook

<https://jupyter-notebook.readthedocs.io/en/stable/notebook.html> (02.06.2024)

URL 36: Project Jupyter

[https://en.wikipedia.org/wiki/Project\\_Jupyter](https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Jupyter) (04.06.2024.)

URL 37: How to Use Jupyter Notebook: A Beginner's Tutorial

<https://www.dataquest.io/blog/jupyter-notebook-tutorial/> (02.06.2024.)

URL 38: U Europi najmanje 15.000 mrtvih u 2022.zbog vrućine:”Klimatske promjene nas već ubijaju”

<https://www.jutarnji.hr/vijesti/svijet/u-europi-najmanje-15-000-mrtvih-u-2022-zbog-vrucine-klimatske-promjene-nas-vec-ubijaju-15272177> 13.06.2024. (14.06.2024.)

URL 39: Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj

<https://iszz.azo.hr/iskzl/> (14.06.2024.)

URL 40: Google Maps,

<https://www.google.com/maps> (23.06.2024)

URL 41: Kako diše grad koji ima najgori zrak u RH? Direkt u Kutini

<https://net.hr/danas/rtl-direkt/kako-dise-grad-koji-ima-najgori-zrak-u-rh-direkt-u-kutini-9e702240-e465-11ed-93b7-2ee0a40210e3> (23.06.2024)

URL 42: Obavijesti za državnu mrežu

<https://iszz.azo.hr/iskzl/obavijestp.htm?d=1> (24.06.2024)

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Prikaz zastupljenosti određenog plina u zraku (URL 5).....	7
Slika 2.2 Utjecaj zagađenosti zraka na kulturnu baštinu (URL 6).....	9
Slika 2.3 Utjecaj zagađenosti zraka na biljni svijet (URL 6).....	9
Slika 2.4 Utjecaj zagađenosti zraka na zdravlje (URL 7).....	10
Slika 2.5 Prikaz molekule dušikovog dioksida (URL 9).....	12
Slika 2.6 Prikaz servisa Copernicus programa (URL 12).....	13
Slika 2.7 Prikaz svemirskog segmenta Copernicus Programa (URL 15).....	15
Slika 2.8 Primjer zemaljskog segmenta Copernicus programa (URL 17).....	15
Slika 2.9 Sentinel-5P (URL 19).....	16
Slika 2.10 TROPOSpheric Monitoring Instrument (URL 23).....	17
Slika 2.11 Prikaz podataka Sentinel-5P satelita u katalogu GEEa (URL 26).....	18
Slika 2.12 Python logo (URL 30).....	19
Slika 2.13 VS Code logo (URL 32).....	21
Slika 2.14 Logo Jupyter projekta (URL 35).....	22
Slika 2.15 Prikaz učitane granice Republike Hrvatske i gradskih područja.....	23
Slika 3.1 Ovisnost boje o koncentraciji NO <sub>2</sub> .....	28

Slika 3. 2 2019. godina.....	29
Slika 3.3 2020.godina.....	30
Slika 3.4 2020 godina.....	31
Slika 3.5 2021 godina.....	32
Slika 3.6 2020. godina.....	33
Slika 3.7 2022. godina.....	34
Slika 3.8 2022.godina.....	35
Slika 3.9 2023. godina.....	36
Slika 3.10 2019. godina.....	37
Slika 3.11 2023.godina.....	38
Slika 3.12 druga polovica 2018. godine .....	39
Slika 3.13 prva polovica 2024. godine .....	40
Slika 3.14 Zagreb 2019. godina .....	41
Slika 3.15 Zagreb 2020. godina .....	41
Slika 3.16 Zagreb 2022. godina .....	41
Slika 3.17 Zagreb 2021. godina .....	41
Slika 3.18 Zagreb 2023. godina .....	42
Slika 3.19 Zagreb – 1 (URL 40).....	43
Slika 3.20 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Zagreb – 1 mjerne postaje.....	43
Slika 3.21 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Zagreb – 1 .....	44
Slika 3.22 Zagreb – 3 .....	44
Slika 3.23 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Zagreb – 1 mjerne postaje.....	45
Slika 3.24 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Zagreb –3 .....	45
Slika 3.25 Kutina 2019. godina.....	46

Slika 3.26 Kutina 2020. godina.....	46
Slika 3.27 Kutina 2022. godina.....	46
Slika 3.28 Kutina 2021. godina.....	46
Slika 3.29 Kutina 2023. godina.....	47
Slika 3.30 Kutina – 1.....	48
Slika 3.31 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Kutina – 1 mjerne postaje .....	48
Slika 3.32 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Kutina – 1 .....	49
Slika 3.33 Pula 2019. godina .....	49
Slika 3.34 Pula 2020. godina.....	49
Slika 3.35 Pula 2022. godina.....	50
Slika 3.36 Pula 2021. godina.....	50
Slika 3.37 Pula 2023. godina.....	50
Slika 3.38 Pula – Fižela.....	51
Slika 3.39 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Pula – Fižela mjerne postaje .....	52
Slika 3.40 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Pula – Fižela.....	52
Slika 3.41 Osijek 2019. godina .....	53
Slika 3.42 Osijek 2020. godina .....	53
Slika 3.43 Osijek 2021. godina .....	53
Slika 3.44 Osijek 2022. godina .....	54
Slika 3.45 Osijek 2023. godina .....	54
Slika 3.46 Osijek – 1 .....	55
Slika 3.47 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Osijek – 1 mjerne postaje.....	55
Slika 3.48 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Osijek – 1 .....	56
Slika 3.49 Split 2019. godina .....	56

Slika 3.50 Split 2020. godine .....	56
Slika 3.51 Split 2021. godine .....	57
Slika 3.52 Split 2022. godine .....	57
Slika 3.53 Split – 1 .....	58
Slika 3.54 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Split – 1 mjerne postaje.....	58
Slika 3.55 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Split – 1 .....	59
Slika 3.56 Rijeka 2019. godine .....	59
Slika 3.57 Rijeka 2020. godine .....	60
Slika 3.58 Rijeka 2021. godine .....	60
Slika 3.59 Rijeka 2022. godine .....	60
Slika 3.60 Rijeka 2023. godine .....	61
Slika 3.61 Rijeka – 2 .....	61
Slika 3.62 Izmjereni podaci o koncentraciji NO <sub>2</sub> s pomoću Rijeka – 2 mjerne postaje.....	62
Slika 3.63 Usporedba podataka Sentinel-5P i mjerne postaje Rijeka – 2 .....	62

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Detaljniji prikaz prosječnog sastava atmosfere (IZVOR) .....	8
Tablica 2.2 Prikaz postupka analize na razini Republike Hrvatske .....	24
Tablica 2.3 Prikaz postupka analize na gradskoj razini .....	26
Tablica 3.1 Razina indeksa kvalitete zraka na osnovni koncentracije u µg/m <sup>3</sup> .....	28
Tablica 3.2 Prosječna koncentracija NO <sub>2</sub> .....	42
Tablica 3.3 Prosječna koncentracija NO <sub>2</sub> .....	47
Tablica 3.4 Prosječna koncentracija NO <sub>2</sub> .....	50
Tablica 3.5 Prosječna koncentracija NO <sub>2</sub> .....	54

Tablica 3.6 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub> ..... 57

Tablica 3.7 Prosječna koncentracija NO<sub>2</sub> ..... 61

# ŽIVOTOPIS



## Vanja Jovanović

**Datum rođenja:** 04/06/1999

**Državljanstvo:** hrvatsko

**Spol:** Žensko

## KONTAKT

✉ [vjovanovic46@gmail.com](mailto:vjovanovic46@gmail.com)



## O MENI

Ambiciozna sam i spremna unaprijediti i upotrijebiti sva svoja znanja i vještine koje sam stekla do sada. Marljiva sam i predana bilo čemu što radim te sam posebno zainteresirana za rad u struci s naglaskom na prostorne podatke i njihovu svrhu u širokom spektru industrija. Volim učiti nove stvari i svaki zadani zadatak rješavam u zadanome roku. Dobro funkcioniram u timu, odnosno dobar sam timski radnik. Volim rad sa ljudima, ali isto tako i nemam ništa protiv odrađivanja određenog posla samostalno. Kroz sezonski rad stekla sam red, rad i disciplinu, a trenutno sam u potrazi za zanjem iz struke i za novim izazovima i iskustvima.

## RADNO ISKUSTVO

**2015 – 2018 MALI LOŠINJ, Hrvatska**

● **Recepcioner/mjenjačnica** Jadranka kampovi d.d.

Sezonski posao (rad isključivo tijekom ljetnih mjeseci, lipanj–rujan) na glavnoj recepciji Auto kampa Čikat, na radnim mjestima recepcionera, recepcionera mjenjača te glavnog recepcionera.

**06/2019 – 09/2019 Veli Lošinj, Hrvatska**

● **Edukator za dupine** Plavi Svijet d.o.o.

Sezonski posao edukatora za dupine sastoji se od edukacije turista o dupinima, te od traženja dupina po Cresko–Lošinjskom akvatoriju na gliseru te vođenje podataka o njima samima. Kako bi se navedeni posao mogao obavljati bilo je potrebno završiti stručno osposobljavanje za vođenje edukacije o dupinima i drugim morskim životinjama koje žive na području Jadranskoga mora te također položiti za voditelja brodice B kategorije.

**01/07/2022 – 01/09/2022 MALI LOŠINJ, Hrvatska**

● **Recepcioner za izlete** Jadranka turizam d.d., Mali Lošinj

Prodaja izleta na recepciji Auto kampa Čikat.

**03/2022 – 06/2022 Zagreb, Hrvatska**

● **Administrativni službenik** ELEKTRO IMBER DOO

Prvi posao u struci, rad na administrativnim poslovima, te obavljanje različitih poslova u QGIS-u, AutoCadu, te prikupljanje podataka pomoću Katastar.hr portala.

**01/10/2022 – 15/12/2022 Zagreb, Hrvatska**

● **Administrativni poslovi** MULTISOFT d.o.o.

Rad na projektu postavljanja i aktivacije 5G mreže u ruralnim dijelovima Republike Hrvatske. Kartiranje elektrovodova u CAD-u.

**10/01/2023 – 10/04/2023 Zagreb, Hrvatska**

● **Administrativni poslovi** LIST LABS d.o.o.

Rad na projektu vezanom uz vektorizaciju TK25 u QGIS-u.

**16/06/2023 – 12/09/2023 Avalon, NJ, Sjedinjene Države**

● **Server** Summer Salt

Rad s ljudima, prezentiranje jela, serviranje jela, ispomoć u kuhinji.



**16/06/2023 – 12/09/2023** Avalon, NJ, Sjedinjene Države

● **Barista Isabel's**

Pripremanje kava, čajeva te drugih toplih napitaka. Priprema raznovrsnih smoothie napitaka, limunada te priprema u izradi jela u kuhinji te rad na blagajni.

## OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

**22/07/2018 – TRENUTAČNO** Zagreb, Hrvatska

● **univ.bacc.ing.geod.et.geoinf.** Apsolventica na diplomskome studiju Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

**Adresa** Kačićeva 26, 10000, Zagreb, Hrvatska | **Internetske stranice** <https://www.geof.unizg.hr/> |

**Konačna ocjena** 4

**2014 – 2018** Mali Lošinj, Hrvatska

● **Opća gimnazija-Srednja škola Ambroza Haračića**

**Adresa** Omladinska ulica 12, 51550, Mali Lošinj, Hrvatska | **Internetske stranice** <https://www.ss-aharacica-malilosini.com.hr/>

## JEZIČNE VJEŠTINE

**MATERINSKI JEZIK/JEZICI** hrvatski

**Drugi jezici:**

**engleski**

**Slušanje** C1

**Čitanje** C1

**Pisanje** B2

**Govorna produkcija** C1

**Govorna interakcija** C1

*Razine: A1 i A2: temeljni korisnik; B1 i B2: samostalni korisnik; C1 i C2: iskusni korisnik*

## DIGITALNE VJEŠTINE

Poznavanje AutoCad | dobro poznavanje MS Office paketa | Komunikacijski programi (Microsoft Teams, Zoom, Google Meet) | Poznavanje QGIS-a | Poznavanje PostgreSQL | Poznavanje Pythona | Osnovno poznavanje RStudio | Osnovno poznavanje BlueJ

## VOZAČKA DOZVOLA

● **Vozačka dozvola:** B

## HOBII I INTERESI

● **Odbojka, planinarenje, putovanja**

## KOMUNIKACIJSKE I MEĐULJUDSKE VJEŠTINE

● **Komunikacijske vještine**

Izvršne komunikacijske vještine stečene tijekom sezonskog rada i tijekom samoga studija. Pristupačnost i otvorenost.

● **Timski rad**

Velika sposobnost za rad u timu stečena putem studija i sezonskoga rada.