

Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

Kovač, Valentina

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:378554>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

Valentina Kovač

Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 01. 03. 2023. u 10 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 15. 02. 2023

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Saša Kovčič

Članovi povjerenstva

- 1) *Prof. dr. sc. Ivana Grčić*
- 2) *Prof. dr. sc. Hrvoje Mezić*
- 3) *Prof. dr. sc. Ranko Bradić*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

KANDIDAT:

MENTOR:

Valentina Kovač

Izv. prof. dr. sc. Ivana Grčić

VARAŽDIN, 2023.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Ivane Grčić** i komentorstvom **izv. prof. dr. sc. Hrvoja Meaškog**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 21.02.2023.

Valentina Kovač

(Ime i prezime)

Valentina Kovač

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

(naslov završnog rada)

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 7.2. 2023.

Izv. prof. dr. sc. Ivana Grčić
(Mentor)



(vlastoručni potpis mentora)

SAŽETAK

Ime i prezime: Valentina Kovač

Naslov rada: Primjena GIS karata za praćenje onečišćivala u zraku

Svako korištenje prirodnih resursa brzinom većom od sposobnosti prirode da se sama obnovi je jedan od rezultata onečišćenja zraka, vode i tla. Onečišćenje okoliša definiramo kao onečišćenje zraka, vode, tla i dr. na način da uzrokuje stvarnu ili potencijalnu štetu prirodi kao i zdravlju ljudi. Odakle nastaju problemi onečišćenja okoliša ili tko je kriv? Onečišćenje zraka nastaje kada se plinovi, čestice prašine, pare (ili dim), ili neugodni mirisi unesu u atmosferu na način koji se čini štetan za okoliš, žive organizme i biljke. Zrak je mješavina raznih plinova; poput dušika, kisika, ugljikovog dioksida, te ostalih plinova u tragovima zajedno s vodenom parom i suspendiranim krutim tvarima u obliku čestica. Praćenje kvalitete zraka važno nam je kako bi mogli kontrolirati kvalitetu zraka, ponajviše u urbanim sredinama. GIS (geografski informacijski sustav) je vrlo napredna tehnologija koja povezuje prostorne podatke s kartama što omogućuje stvaranje, analizu i prikazivanje karti onečišćenja zraka, kao i koncentracije onečišćujućih čestica u zraku.

Ključne riječi: onečišćenje okoliša, zrak, onečišćenje zraka, GIS

ABSTRACT

First name and last name: Valentina Kovač

Title of work: The application of GIS for monitoring air pollutants

Any use of natural resources at a rate greater than nature's ability to renew itself is one of the results of air, water and soil pollution. We define environmental pollution as pollution of air, water, soil, etc. in such a way that it causes actual or potential damage to nature as well as human health. Where do environmental pollution problems come from or who is to blame? Air pollution occurs when gases, dust particles, vapors (or smoke), or unpleasant odors are introduced into the atmosphere in a way that appears harmful to the environment, living organisms and plants. Air is a mixture of various gases; such as nitrogen, oxygen, carbon dioxide, and other trace gases together with water vapor and suspended solids in the form of particles. Air quality monitoring is important to us in order to be able to control the air, especially in urban areas. GIS (geographic information system) is a very advanced technology that connects spatial data with maps which provides creation, analysis and visualisation of maps of air pollution, as well as concentrations of polluting particles in the air.

Keywords: environmental pollution, air, air pollution, GIS

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	OPĆI DIO	2
2.1	Onečišćenje okoliša	2
2.1.1	Onečišćenje vode	4
2.1.2	Onečišćenje tla	6
2.1.3	Onečišćenje bukom	7
2.1.4	Svjetlosno onečišćenje	8
2.2	Onečišćenje zraka	9
2.2.1	Onečišćivala u zraku	13
2.3	GIS	19
2.3.1	Primjena GIS-a u zaštiti okoliša	20
2.4	GIS karte kod praćenja onečišćivala u zraku	21
3	ZAKLJUČAK.....	34
4	LITERATURA.....	35
	POPIS SLIKA.....	41
	POPIS TABLICA.....	41
	POPIS I OBJAŠNJENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU	42

1 Uvod

Čovječanstvo je u povijesti karakterizirano iskorištavanjem, uništavanjem i nemarnošću za okoliš. Razumijevanje i praćenje kvalitete zraka važno je radi smanjenja emisija, zaštite ljudskog zdravlja i okoliša. Postoje tisuće različitih tvari i spojeva koji mogu onečistiti zrak, stoga su prikazane samo najvažnije od njih. Onečišćivačima zraka smatramo tvari koje štete ljudima i okolišu, a mogu postojati u zraku u krutom, tekućem ili plinovitom obliku. Najveće i najčešće onečišćujuće tvari danas su sumporov dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x), ugljikov monoksid (CO), ozon (O₃) te lebdeće čestice.

Širok raspon mnogih analitičkih alata, s njihovim značajkama modeliranja i analize, ne samo da omogućuje uporabu GIS aplikacija (od eng. *Geographic Information System*) u brojnim istraživačkim poljima (od okoliša, zdravstva, itd.), već omogućuje i istraživanje odnosa između ostalih znanstvenih polja.

Primjena GIS karata u slučaju praćenja onečišćenja zraka uvelike nam pomaže kod prikaza na kojim krajevima promatranih područja je najviše primjetljivo onečišćenje zraka, a samim time i identificiranje izvora onečišćenja. Na primjer, najveća onečišćenja zraka nalaze se pokraj većih gradova; velik broj stanovnika – povećan cestovni promet – mnoštvo industrijskih pogona. Ljudi su često izloženi onečišćenim zrakom; npr. kretanje uz prometnice, gdje kod ranjivijih osoba (uglavnom djeca i stariji) može doći do respiratornih bolesti, bolesti srca i slično. S obzirom da onečišćivači zraka štetno djeluju na ljudski organizam; važno je upamtiti kako koncentracije onečišćivača variraju iz dana u dan iliti godine u godinu te kako i meteorološki uvjeti utječu na onečišćenje zraka (brzina vjetra, smjer vjetra, temperatura).

2 OPĆI DIO

2.1 Onečišćenje okoliša

Onečišćenje okoliša danas je jedan od ozbiljnijih problema s kojima se suočava čovječanstvo i ostali živi svijet na našem planetu. Onečišćenje je pojam koji se odnosi na unos ili prisutnost štetnih tvari u okolišu [1]. Uzrok onečišćenja je najčešće čovjek, ali može biti i prirodno poput vulkanskih erupcija, erozije tla, i sl. Važno je razlikovati onečišćenje od zagađenja; kod onečišćenja, okoliš se može određenim postupcima vratiti u prvobitno stanje, dok je zagađenje trajno mijenjanje oblika i sastavnica okoliša [2].

Onečišćenje se najčešće dijeli na:

- onečišćenje zraka
- onečišćenje voda
- onečišćenje tla
- onečišćenje bukom, svjetlošću i zračenjem.

„Okoliš je prirodno okruženje organizama i njihovih zajednica uključivo i čovjeka, koje omogućuje njihovo postojanje i njihov daljnji razvoj: zrak, vode, tlo, zemljina kamena kora, energija te materijalna dobra i kulturna baština kao dio okruženja kojeg je stvorio čovjek; svi u svojoj raznolikosti i ukupnosti uzajamnog djelovanja” [3].

Zakon o zaštiti okoliša bavi se zaštitom, obnovom i poboljšanjem kakvoće okoliša, očuvanjem i racionalnim korištenjem prirodnih dobara, sprječavanjem nastanka šteta ili otklanjanje istih. Zbog čovjekove aktivnosti (npr. urbanizacija, industrijalizacija) promijenjen je okoliš, tj. narušeno njegovo prirodno stanje. Zakonom o zaštiti okoliša osigurava se zaštita prirodnih zajednica i cjelokupna zaštita kakvoće okoliša. Sam Zakon propisuje da se sastavnice okoliša trebaju pažljivo koristiti i njima gospodariti na način da se vodi računa o ponovnoj uporabi prirodnih resursa, koje treba održavati kako ne bi nanosili štetu okolišu. Čovjek,

koji treba racionalno koristiti okoliš i njegovu produktivnost, mora izbjegavati sve zahvate koji destruktivno djeluju na okoliš, jer svaka mala promjena u okolišu je zapravo onečišćenje [3].

Institucionalni ustroj zaštite okoliša u Hrvatskoj započeo je osnivanjem Zavoda za prostorno planiranje i zaštitu okoliša pri Ministarstvu graditeljstva 1980. godine. Spajanjem Državne uprave za zaštitu prirode i okoliša i Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja 2000. godine formirano je Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, a trenutno je to Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja [4]. Vlada Republike Hrvatske je Uredbom u lipnju 2002. godine osnovala Agenciju za zaštitu okoliša kao središnju agenciju na državnoj razini za prikupljanje i objedinjavanje podataka o okolišu, obradu podataka, vođenje baza podataka o okolišu i praćenje stanja okoliša. Sada je to Zavod za zaštitu okoliša i prirode koji zaprima i sažima relevantne podatke o svim karakteristikama okoliša i svim sankcijama na prirodu i okoliš, upravlja i oblikuje informacijske sustave prirode i okoliša, obavlja analize te organizira izvješća o stanju prirode i okoliša kao i njihovom očuvanju [5]. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost formiran je za poticanje i provedbu projekata i drugih djelatnosti u polju energetske učinkovitosti i upotrebu obnovljivih izvora energije te polju zaštite i unaprjeđenja okoliša [6].

Zakon o zaštiti prirode ima cilj očuvanja bioraznolikosti, svih životinjskih i biljnih vrsta. Donesen je radi sprječavanja negativnih utjecaja na okoliš [7]. Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine osigurava zaštitu prirodnih i kulturnih područja. U Republici Hrvatskoj je stupila na snagu 8. listopada 1991. godine [8].

Danas, u RH postoji mnoštvo propisa, konvencija i direktiva, te se cjelokupno očuvanje okoliša i prirode ne može obuhvatiti jednim temeljnim zakonom.

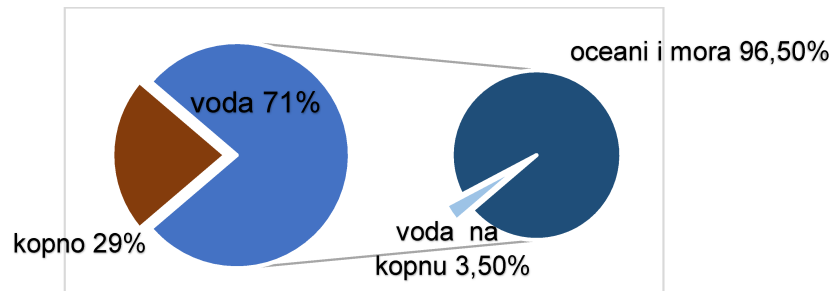
2.1.1 Onečišćenje vode

Voda je vrlo važan biološki i ekološki čimbenik živog svijeta na Zemlji radi svojih posebnih fizikalnih i kemijskih svojstava. Onečišćenje vode je rezultat nakupljanja jedne ili više tvari u vodi do mjere odnosno koncentracije koja uzrokuje probleme ljudima, životinjama i biljkama (Slika 1.).



Slika 1. Onečišćenje vode [9]

Dodavanjem određenih tvari u vodu; poput organskih ili anorganskih, pogoršava se kvaliteta vode, koja zatim nije prikladna za upotrebu. Onečišćenje vode nije ograničeno samo na površinske vode, već se to odnosi i na podzemne vode, mora i oceane (Slika 2.). Okoliš se ozbiljno mijenja kada dolazi do onečišćenja vode, a samim time i nestaje živi svijet, jer se u vodi smanjuju hranjive tvari, dok je tek maleni postotak vode, oko 0,64% dostupan na raspolaganju živom svijetu. [10]



Slika 2. Voda na Zemlji

Neki od izvora onečišćenja voda su: otpadne vode - kanalizacija (ispusti iz kućanstava i javnih ustanova) (Slika 3.), industrijske otpadne vode (industrije ispuštaju nekoliko anorganskih i organskih štetnih tvari koje mogu biti vrlo toksične za živi svijet), poljoprivreda (višak gnojiva koji dopijeva u podzemnu vodu ispiranjem ili se može pomiješati s površinskom vodom, pesticidi koji sadrže širok raspon kemikalija te su samim time nerazgradivi), toplinsko onečišćenje (razne elektrane koriste vodu kao rashladno sredstvo i ispuštaju toplu vodu, a nagli porast temperature površinske vode ubija ribe i druge vodene životinje) [10,11].



Slika 3. Onečišćenje vode kanalizacijama [11]

2.1.2 Onečišćenje tla

Industrijalizacija, rat, rudarstvo, poljoprivreda ostavili su veliku štetu na tlo diljem svijeta. Onečišćenje tla odnosi se na prisutnost neke strane tvari u tlu te samim time ima štetno djelovanje na bilo koji organizam (Slika 4.). Izvori onečišćenja tla mogu biti prirodni (npr. požari i vulkanske erupcije) i antropogeni (kisele kiše, otpad, poljoprivreda, kanalizacija) [12].



Slika 4. Onečišćenje tla [13]

Način na koji iskorištavamo tlo neodrživom poljoprivrednom procedurom dovodi do erozija vodom i vjetrom, gubitka organske tvari, zbijanja tla, salinizacije, onečišćenja i gubitka hranjivih tvari. Tlo je važna sastavnica okoliša jer ima funkciju proizvodnje hrane i omogućuje proces fotosinteze pa tako samim onečišćenjem tla umanjuje se dostupnost hrane živim bićima zbog onečišćenog tla. S obzirom na to da je tlo izvor hrane, važno ga je održavati čistim što više možemo. Postoji nekoliko strategija za sanaciju onečišćenog tla: iskopavanje onečišćenog tla i njegovo odlaganje dalje od kontakta s ljudima ili osjetljivim ekosustavom, ali to nije dugoročno rješavanje problema. Postoji nekoliko metoda sanacija tla kao što su fitoekstrakcije, fitodegradacije, evapotranspiracije, fitostabilizacije, hidrauličke kontrole i druge koje su postale predmet javnog i znanstvenog interesa kao isplativija tehnologija čišćenja tla. Onečišćivala koja završe u tlu mogu se „zalijepiti“ za strukturu biljaka i ući u hranidbeni lanac, ili

mnogi dijelovi kontaminiranog tla mogu dospjeti u površinske i podzemne vode (može doći i do velike količine nitrata u pitkoj vodi), te samim time uzrokuju velike štete za okoliš. [14]

2.1.3 Onečišćenje bukom

Buka se definira kao neželjeni ili neugodni zvukovi koji uzrokuju nelagodu živim bićima. Intenzitet zvuka mjeri se u decibelima (dB). Onečišćenje bukom ovisi o glasnoći i frekvenciji zvuka, točnije kada zvuk prijeđe granicu i postaje poguban za ljude i druge organizme. Obično se zvukovi intenzivniji od 30 dB nazivaju bukom, a osoba može podnijeti buku do 85 dB. Zapravo, svaka neželjena buka koja nastaje u okolišu, a koja štetno utječe na zdravlje živih bića je onečišćenje bukom. Postoji industrijska buka (odnosi se na zvukove visokog intenziteta koju uzrokuju industrijski strojevi), buka u prometu (odnosi se ponajviše na cestovni, željeznički i zrakoplovni promet, najveća je u velikim gradovima radi povećanog prometa), buka iz susjedstva (uključuje smetnje od kućanskih naprava; TV, radio, zvučnici, i dr.) [15].



Slika 5. Sredstva za zaštitu sluha [16]

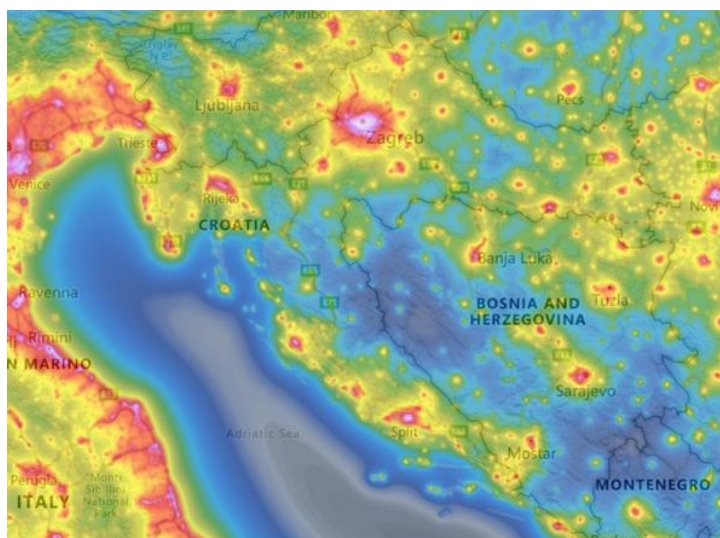
Ministarstvo zdravlja u RH brine se problematikom buke. Zakonom o zaštiti od buke donesene su mjere s ciljem sprječavanja, izbjegavanja i smanjenja štetnih učinaka na zdravlje ljudi koje izaziva buka (Slika 5.). Kako bi se emisije buke mogle što više kontrolirati u RH imamo i brojne pravilnike; Pravilnik o mjerama zaštite od buke izvora na otvorenom prostoru, Pravilnik o djelatnostima za koje

je potrebno utvrditi provedbu mjera za zaštitu od buke, Pravilnik o uvjetima glede prostora, opreme i zaposlenika pravnih osoba koje obavljaju stručne poslove zaštite od buke, i sl. [17].

2.1.4 Svjetlosno onečišćenje

Svjetlosno onečišćenje uključuje (Slika 6.) izravno bliještanje, a odnosi se na protok svjetlosti noću čiji je izvor emitiranja umjetan i nije odgovarajućeg intenziteta. Izvori svjetlosnog onečišćenja su vrlo različiti i nalaze se u gotovo svakom ekosustavu u obliku nebeskog sjaja, osvijetljene zgrade i tornja, ulične rasvjete, svjetlećih reklama, svjetla na vozilima i u prometu. Kako bi se smanjilo svjetlosno onečišćenje prvobitno je potrebno educirati ljude, jer vrlo malo njih je upućeno u to koliko je zapravo štetno za Zemlju. Prvi korak koji možemo sami poduzeti jest korištenje LED (od eng. *Light Emitting Diode*) svjetiljke u kućanstvima koje pomažu u smanjenju potrošnje energije. Također, možemo i gasiti nepotrebnu rasvjetu u kućama ako ne boravimo u osvijetljenim prostorijama [18].

Međunarodna udruga za tamno nebo (od eng. „International Dark Sky Association“) okupila je brojne države koje se bore protiv svjetlosnog onečišćenja. Istraživanje svjetlosnog onečišćenja i mogućih posljedica napredovala su zadnjih nekoliko godina, što je dovelo do poboljšanja pravnih sustava zaštite okoliša jer je u nekim državama donesena odluka gdje su propisane mjere smanjivanja i ograničavanja učinaka javne rasvjete [19].



Slika 6. Svjetlosno onečišćenje na području RH [20]

2.2 Onečišćenje zraka

Zemlja je okružena zračnim pokrivačem koji se zove atmosfera, sva živa bića ovise o atmosferi za svoj opstanak. Ona nam osigurava zrak koji udišemo i štiti nas od štetnog djelovanja sunčevih zraka. Atmosfera je podijeljena u pet slojeva: troposfera (najvažniji sloj atmosfere, gotovo sve vremenske pojave poput padalina, magle, tuče, javljaju se u ovom sloju), stratosfera, mezosfera, termosfera i egzosfera. Dakle, atmosfera je smjesa zraka, gdje je zrak prihvatljiv za život na Zemlji. Zrak nam je neophodan za sam život; bez njega možemo preživjeti svega nekoliko minuta. Zrak se u našoj atmosferi sastoji od dušika (oko 78%), kisika (oko 21%), argona (0,9%), vodene pare, ugljikova dioksida (0,04%) i plinova u tragovima. Dušik je najveći „sastojak“ zraka; važan je jer pomaže biljkama da dobiju minerale iz tla za rast biljaka. Kisik nam je potreban za disanje, ali ako ga ima previše štetan je jer je izuzetno reaktivan. Ako bi okoliš bio bogat kisikom, dolazilo bi do požara; zato, dušik uravnotežuje kisik te je zrak siguran za disanje i život. Plinovi u tragovima uključuju ozon, dušikov oksid, metan, helij, neon i dr. Čisti zrak nema mirisa i boje [21].

Onečišćenja zraka nastaju kako iz prirodnih procesa (npr. vulkanske erupcije, šumski požari), tako iz ljudskih aktivnosti; kućanstvo (npr. kotlovnice), promet, industrije (emisije iz industrijskih postrojenja) (Slika 7.) [22].



Slika 7. Onečišćenje zraka industrijskim postrojenjem [23]

Postoji mnogo različitih metoda praćenja kvalitete zraka, a ovise o tome da se uzme u obzir osjetljivost promatranog onečišćivača, selektivnost, točnost, ekonomsku isplativost, ne/jednostavnost upotrebe, i dr. Metode za praćenje onečišćivala u zraku moraju se birati vrlo pažljivo, ovisno kakve rezultate želimo (precizne i dovoljno točne, osjetljive i specifične, ekonomične u usporedbi s potrošenim vremenom i materijalom). S obzirom na razvijenost tehnologija, danas postoji i laserska metoda daljinskog očitavanja, koja mjeri aerosole i plinove u zraku na širokom području izravno, bez potrebe za uzorkovanjem. [24] Jedna od metoda praćenja kvalitete zraka je metoda prostorne interpolacije. Prostorna interpolacija je postupak procjene vrijednosti koncentracija sa određenog/promatranog područja. Kod metode prostorne interpolacije koristimo tzv. kriging, točnije statističku metodu procjene ili IDW (od eng. *Inverse Distance Weighting*). Kriging procjena se zasniva na upotrebi rezultata na kontrolnim točkama (lokacijama s izmjerenim podacima). Najčešće kriging metode su jednostavni kriging (pretpostavlja poznatu konstantnu srednju vrijednost), obični kriging (pretpostavlja da postoji nepoznata konstantna sredina, procijenjena iz podataka) i univerzalni kriging (pretpostavlja da postoji trend na površini koji djelomično objašnjava varijacije podataka). U GIS-u se tehnike prostorne interpolacije koriste za predviđanje vrijednosti atributa na neuzorkovanim mjestima kako bi se mogli generirati prostorno kontinuirano podaci koji su

podijeljeni u dvije kategorije: metoda determinističke interpolacije i metode geostatističke interpolacije. Odabir interpolacijskih modela treba se temeljiti na specifičnim svrhama istraživanja i karakteristikama istraživnog objekta. Posljedično, metode interpolacije kao što su IDW i kriging su bile intenzivno korištene u procjeni vode i kartiranju onečišćenja. Također, neke studije su pokazale da je IDW metoda točnija od kriging pristupa u predviđanju nekih razina onečišćenja. Ova tehnika je metoda s linearnom kombinacijom skupa podataka, gdje se događa usporedba s točkama raznih uzoraka (udaljenost između pojedinih točaka, razlika u količini.). Stoga, da bismo se pozabavili pravilnošću uzorkovanja i vremenskim korelacijama u procjeni i izračunavanju pridruženih nesigurnosti, čini se da je IDW najbolja interpolacijska analiza [25]. Za svaku onečišćujuću tvar jedna od odabranih metoda trebala bi biti metoda usporedbe; namijenjena je za korištenje kao referentna metoda kojom se mogu usporediti druge metode [26].

Koncentracije onečišćujućih tvari u zraku obično se izražavaju kao masa onečišćujuće tvari po jedinici volumena mješavine zraka, poput: mg/m^3 . Također, koncentracija plinovitih onečišćujućih tvari može se izraziti kao milijunti dio volumena onečišćujuće tvari na volumen zraka plus mješavina onečišćivala (parts per million, ppm); gdje je $1 \text{ ppm} = 0,0001 \%$ volumena. Odnos između mg/m^3 i ppm-a ovisi o gustoći plina; koja ovisi o temperaturi, tlaku i dr. [27].

Praćenjem koncentracija osnovnih onečišćujućih tvari opisuje se kakvoća zraka promatranog područja. Europski indeks kvalitete zraka pruža nam jednostavnije poznavanje trenutnog stanja kvalitete zraka za promatrano područje. Propisi u RH definiraju standarde kakvoće zraka za kratkoročne i dugoročne razmake u mjerenju. Indeks kvalitete zraka se bazira na koncentracije pet glavnih onečišćivala: čestica u zraku, ozona, dušikovih dioksida i sumpornog dioksida. Tablica 1. služi za određivanje indeksa kvalitete zraka. Izmjerenim koncentracija u $\mu\text{g}/\text{m}^3$ određenih čestica u zraku, možemo zaključiti o kakvoj se razini indeksa radi; dobar, prihvatljiv, umjeren, loš, vrlo loš ili izuzetno loš, te time možemo i sami zaključiti kakav je zrak. Važno je napomenuti da kod osjetljive skupine građana (respiratorni i srčani problemi) ukoliko je indeks kvalitete zraka umjeren,

već tada njihovo izlaganje vani može biti opasno, dok opća populacija nema problema sa izlaganjem takvom zraku [28].

Tablica 1. Indeks kvalitete zraka [28]

Onečišćujuća tvar	Razina indeksa (na osnovi koncentracija u $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Dobro	Prihvatljivo	Umjereno	Loše	Vrlo loše	Izuzetno loše
Lebdeće čestice manje od $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)	0 - 10	10 - 20	20 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 800
Lebdeće čestice manje od $10\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)	0 - 20	20 - 40	40 - 50	50 - 100	100 - 150	150 - 1200
Dušikov dioksid (NO_2)	0 - 40	40 - 90	90 - 120	120 - 230	230 - 340	340 - 10000
Prizemni ozon (O_3)	0 - 50	50 - 100	100 - 130	130 - 240	240 - 380	380 - 800
Sumporov dioksid (SO_2)	0 - 100	100 - 200	200 - 350	350 - 500	500 - 750	750 - 1250

Primjenjujući rezultate izmjerenih koncentracija onečišćivača, indeks se utvrđuje svakih sat vremena za svaku pojedinu mjernu stanicu od njih otprilike 50 u RH. Indeks definira kratkoročnu kakvoću zraka. Rezultati o očitanim koncentracijama onečišćivala u zraku nisu formalni podaci te se dodatno mogu korigirati postupkom validacije.

Zakonom o zaštiti zraka donesene su mjere, propisi za kontrolu i kvalitetu kakvoće zraka. Danas se u urbanim i/ili industrijskim područjima provodi monitoring kakvoće zraka upotrebom instrumenata i pomagala za automatsko uzorkovanje i mjerenje. Gradovi gdje se zabilježi prekoračena godišnja granična vrijednost, dužni su zbog ovog zakona izraditi godišnje planove za poboljšanje kakvoće kvalitete zraka. Sve koncentracije se prate i kontroliraju prema Pravilniku o praćenju kvalitete zraka Zakon o zaštiti zraka [29].

2.2.1 Onečišćivala u zraku

Onečišćivalom zraka možemo nazvati bilo koji plin ili česticu, a da je u toliko visokoj koncentraciji da je opasan za živa bića i prirodu.

Onečišćujuće tvari mogu biti u plinovitom stanju poput sumporovog dioksida (SO_2), dušikovih oksida (NO_x), ugljikovog monoksida (CO), ozona, plinovitih organskih spojeva i dr. te u obliku čestica (aerosoli), a u to spadaju organske i anorganske tvari u tekućem ili čvrstom agregatnom stanju, ali promjera manjeg od 10 μm . S obzirom na porijeklo mogu biti primarni onečišćivači koji direktno emitiraju onečišćenje u atmosferu i sekundarni onečišćivači koji nastaju reagiranjem primarnih onečišćivača sa spojevima koji se nalaze u atmosferi [30].

Trenutno najnovije dostupno Izvješće o praćenju kvalitete zraka na teritoriju RH je iz 2021. godine, a mjerenja su provođena na mjernim postajama Državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka na teritoriju RH. [31]. S obzirom na razine onečišćenosti i dopuštene granične vrijednosti pojedine za svaku onečišćujuću tvar zrak prema onečišćenju dijelimo na dvije kategorije; I. kategorija i II. kategorija. Prva kategorija govori kako je zrak čist ili neznatno onečišćen, a granične vrijednosti (GV) nisu prekoračene, dok druga kategorija ukazuje na to kako je zrak onečišćen i prekoračene su GV [29]. Mjerne postaje korištene za mjerenje kvalitete zraka postavljene su na područjima grada Zagreba, Siska, Velike Gorice, Slavonskog Broda, Rijeke, Osijeka, Kutine i mjerna postaja Plitvička jezera te općine Desinić [31].

Sumporov dioksid (SO_2)

Sumporov dioksid (SO_2) smatran je glavnom komponentom onečišćenja zraka u mnogim dijelovima svijeta. Sumporov dioksid je bezbojan plin koji je lako topiv u vodi. SO_2 nastaje izgaranjem fosilnih goriva koji sadrže sumpor, a njegova oksidacija dovodi do stvaranja sumpornih kiselina. Reakcijom sumporovog dioksida i molekula vode dovodi do stvaranja tzv. kiselih kiša, a one uzrokuju onečišćenje vode (štetno za morske organizme), onečišćenje bilja (smanjena

sposobnost fotosinteze) i onečišćenje tla (npr. smanjena dostupnost hranjivih tvari biljkama). Prirodni izvori također doprinose stvaranju sumporovog dioksida, ali doprinosi čiji je krivac čovjek predstavljaju veću zabrinutost (ponajviše korištenje fosilnih goriva za zagrijavanje kućanstava) [32]. Neke od metoda praćenja sumporovog dioksida su acidimetrija, konduktimetrija, kolorimetrija, potenciometrija i kulometrija te plamena fotometrija. Odabir analitičkog postupka/metode ovisi o željenom cilju i novčanim mogućnostima [33].

U RH sumporov dioksid ne predstavlja toliki problem za čovječanstvo jer mjerenja Državnog zavoda za meteorologiju ukazuju na to da 60% sumpornog dioksida dopire iz okolnih zemalja, pa možemo doći do zaključka da se strujanjem zraka onečišćuju sva okolna područja. Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja SO₂ na 12 postaja u RH kazuju na to kako je zrak označen prvom kategorijom; prekoračenja vrijednosti nije bilo, kod dvije mjerne postaje nema dovoljno podataka (Osijek2, Plitvička jezera) [31].

Dušikovi oksidi (NO_x)

Dušikovi oksidi (NO_x) su važna skupina kemikalija koja onečišćuje zrak. Dušikov oksid (NO) plin je bez boje, a reakcijama s određenim tvarima u zraku prelazi u dušikov dioksid (NO₂). Najrašireniji oblik dušikovih oksida zapravo je dušikov dioksid (NO₂), a nastaje ljudskim djelovanjem (izgaranje goriva iz automobila). NO₂ je plin žute-smeđe-crvenkaste boje neugodnog mirisa i otrovan je, djelovanjem u atmosferi prelazi u ozon te u dušičnu kiselinu (HNO₃) koja također učestvuje u kiselim kišama. Automobili i industrije doprinose oko polovici NO_x koji se emitira. [34] Neke od metoda praćenja NO_x su kolorimetrija Griess-Saltzman, kulometrija, kemiluminiscencija, fluorescencija [33].

Na slici 8. prikazana je karta RH, i možemo primijetiti da jedino grad Zagreb ima prekoračeno ispuštanje dušikovog dioksida tijekom 2017. godine.



Slika 8. Dušikov dioksid ispušten u RH za 2017.godinu [35]

Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja NO_2 za 15 postaja u RH kazuju na to kako je zrak kod većine mjernih postaja označen prvom kategorijom, dok na jednoj od mjernih postaja - Zagreb; zrak je druge kategorije. Za dvije mjerne postaje (Osijek2 i Plitvička) jezera nema dovoljno podataka. Zaključno možemo konstatirati kako je zrak prve kategorije [31].

Ugljikov monoksid (CO)

Ugljikov monoksid (CO) plin je bez boje i mirisa, vrlo je otrovan plin sa slabom topljivosti u vodi. Ako ga udišemo veže nam se za hemoglobin u krvi te dolazi do trovanja. Uglavnom se emitira u atmosferu kao proizvod nepotpunog izgaranja. Najveći izvor emisija CO je cestovni promet te se zato najveće koncentracije nalaze oko velikih gradova. Kao i svi plinovi onečišćivači tako i CO neizravno doprinosi globalnom zagrijavanju [36]. Neke od metodi praćenja CO su titrimetrija jod pentoksid, kolorimetrija sa koloidnom otopinom srebra ili indikacijskim gel cijevima, ne disperzivna infracrvena analiza, katalitička analiza, elektroliza i plinska kromatografija [33].

Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja CO za 11 postaja u RH kazuju na to kako je zrak kod većine mjernih postaja označen prvom kategorijom, što ukazuje na činjenicu da prekoračenja GV nije bilo. Za mjernu postaju Desinić nije bilo dovoljno podataka [31].

Ozon (O₃)

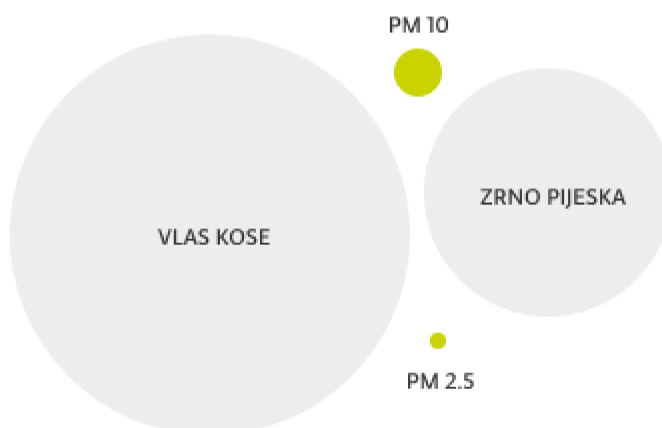
Ozon je bezbojan plin koji može biti dobar ili loš, ovisno o tome gdje se nalazi. Ozon u stratosferi dobar je jer štiti zemlju od sunčevih ultraljubičastih zraka. Prizemni ozon (O₃) je vrlo oksidativni spoj koji nastaje u nižim slojevima atmosfere. Ozon nastaje kada dvije vrste onečišćivača (hlapljivi organski spojevi i NO_x) reagiraju na sunčevoj svjetlosti. Ova onečišćivala dolaze iz izvora kao što su vozila, industrije, elektrane i proizvodi kao što su otapala i boje. Zbog svojih visoko reaktivnih kemijskih svojstava, ozon je štetan za vegetaciju, materijale i ljudsko zdravlje. U troposferi, ozon je također učinkovit staklenički plin [37]. Kod izloženosti ozona teret izloženosti ozonu nije ravnomjerno raspoređen u populaciji, neke osobe su osjetljivije od drugih. U kratkotrajnim ispitivanjima kod osoba sa respiratornim problemima čini se da ozon ima učinke neovisne o drugim zagađivačima zraka, točnije opasniji je od drugih onečišćivala [38].

Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja O₃ za 18 postaja u RH kazuju na to kako je zrak kod dvanaest mjernih postaja označen prvom kategorijom, dok kod četiri mjerne postaje označen drugom kategorijom (Pula, otok Vis, Polača, Višnjan). Za dvije mjerne postaje nema dovoljno podataka (Osijek2 i Plitvička jezera) [31].

Lebdeće čestice (aerosoli) – PM (od eng. *Particulate Matter*)

Lebdeće čestice (aerosoli) u zraku su mješavina čvrstih tvari i kapljica koje variraju u veličini (Slika 9.). Čestice manje od 10 mikrometara u promjeru imaju tendenciju predstavljati najveću zabrinutost za zdravlje jer mogu proći kroz nos i grlo i ući duboko u pluća. Čestice veće od 10 mikrometara uglavnom ne dopiru do pluća, ali mogu iritirati oči, nos i grlo. Vrlo male čestice promjera manjeg od

2,5 mikrometra nazivaju se "fine čestice". Nastaju kao produkt izgaranja goriva kao što su ugljen, nafta, dizel ili drvo. Fine čestice dolaze iz goriva koja se koriste u energetske postrojenja, pećima na drva i motornim vozilima. „Grube“ čestice su veličine od 2,5 do 10 mikrometara u promjeru. Nastaju tijekom drobljenja ili mljevenja te od vozila koja se kreću npr. neasfaltiranom cestom [39].



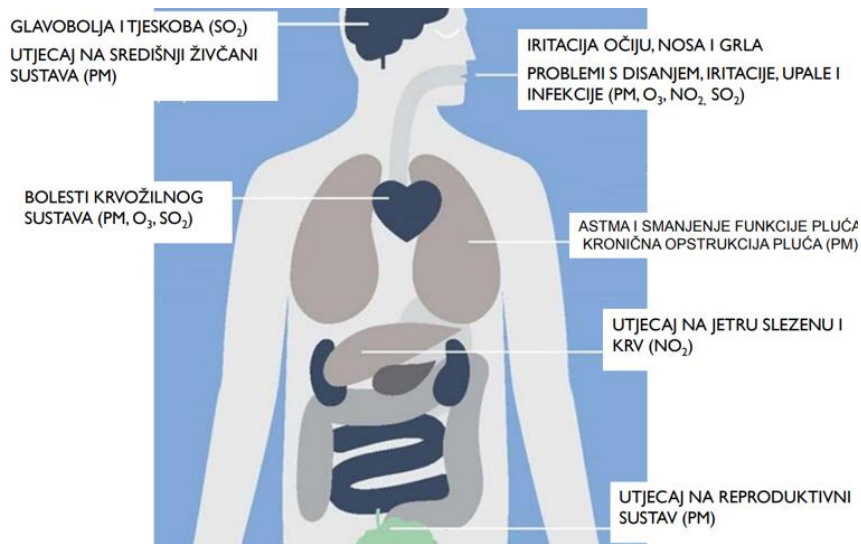
Slika 9. Usporedba lebdećih čestica sa veličinom [40]

Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja PM_{10} za 20 postaja u RH kazuju na to kako je zrak kod svega deset mjernih postaja označen prvom kategorijom, a na šest postaja došlo je do prekoračenja GV što znači da je tamo zrak bio druge kategorije. Kod ostalih postaja nema dovoljno informacija [31].

Obrađeni podaci za 2021.g. kod mjerenja $PM_{2,5}$ za 17 postaja u RH kazuju na to kako je zrak uglavnom označen prvom kategorijom, kod čak pet mjernih postaja nema dovoljno podataka, a kod postaje Slavonski Brod zrak je druge kvalitete što znači da do toga došlo radi povećanog prometa, industrijskih postrojenja i dr. [31].

Onečišćenje zraka ne djeluje isto na svaki ljudski organizam (Slika 10); ne djeluje jednako na stanice i tkiva. Utjecaj onečišćenja uvelike ovisi o trajanju i koncentraciji onečišćenja, njegovim kemijsko-fizikalnim svojstvima te o zdravstvenom stanju pojedinog organizma (prehrambene navike, ponašanje, način života). Onečišćujuće tvari u ljudski organizam iz zraka „prodiru“ putem

dišnog sustava, kože i probavnog sustava. Česte bolesti uzrokovane izlaganju štetnim tvarima u zraku su: bolesti srca i krvnih žila, bolesti dišnog sustava, kožne bolesti), rak, i dr. (Slika 10.) [41].



Slika 10. Utjecaj onečišćenja zraka na ljudsko zdravlje [42]

2.3 GIS

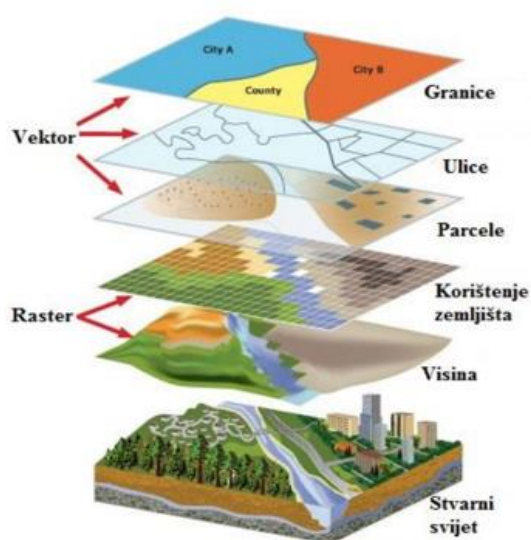
GIS (Geografski informacijski sustav) je tehnologija koja olakšava povezivanje podataka s kartama uključujući informacije i lokaciju radi daljnje analize, kartiranja, vizualizacije i slično (Slika 11). GIS može pohraniti, urediti, analizirati i prikazati veliki broj geografski informacija. Baza podataka i geografska baza su dvije važne komponente koje čine GIS sustav koji pomaže za vizualizaciju podataka u kartografskom prikazu [43].



Slika 11. Što je GIS? [44]

GIS olakšava integraciju različitih područja u svoje sučelje i omogućuje integrirane načine provođenja istraživanja i razvoja te nove analitičke pristupe za povezivanje svojih informacija sa zemaljskim aktivnostima. Ove sposobnosti (pružanje potpuno funkcionalnog okruženja za obradu podataka) razlikuju GIS od drugih informacijskih sustava jer rezultira poboljšanjem produktivnosti aplikacija saznanja koja se proširuju i produbljuju u geografskom položaju. GIS sadrži različite komercijalne programske pakete poput ArcGIS (ESRI – Environmental System Research Institute), Erdas Imagine, GeoMedia, AutoCAD, MapInfo Professional, Idrisi. Koristeći različite GIS alate određeni podaci mogu se prikazati na više načina, tako da ako želimo spojiti znanstveni format s geografskim dimenzijama možemo koristiti GIS alate [45].

Za izgradnju modela prostornih podataka, GIS sustavi podržavaju tri osnovne vrste podataka; vektorski podaci (točke, linije, poligoni) rasterski podaci (podaci mrežnih ćelija, rasterske slike) i slike (satelitske slike, fotografije). Proces modeliranja prostorne analize uključuje tumačenje i istraživanje interakcija, povezanosti i odnosa između ovih tipova podataka specifičnih za geografsku lokaciju. GIS funkcionira na način da koristi slojeve, tj. "teme", a svaki sloj/tema je drugi skup informacija, te slojeve možemo po želji isključivati/uključivati ovisno o tome kakav konačan prikaz želimo (Slika 12.) [43].



Slika 12. Tematski slojevi kod izrade GIS-a [46]

2.3.1 Primjena GIS-a u zaštiti okoliša

Mogućnost prostorne analize u GIS sustavu idealan je za prikazivanje odnosa između prostornih i ne prostornih podataka. Izraz prostorni podaci se koriste za opisivanje svih podataka koji sadrže informacije o određenoj lokaciji na Zemljinoj površini, dok ne prostorni ne ovise o zemljopisnom području. Ne prostorni podaci mogu pomoći da se prostorni podaci stave u veći kontekst. To je karakterističan podatak, npr. to može biti nečija visina/veličina. Razumijevanje tih odnosa važan je jer doprinosi bilo kojem polju istraživanja; okoliš, zdravlje, hidrologija, onečišćenje zraka i dr. [47].

Kvaliteta zraka vrlo je važan čimbenik u projektiranju ili predstavljanju stanja okoliša i zdravlja bilo koje regije. Studije onečišćenja zraka koje analiziraju kvalitetu zraka dužne su pružiti strateške informacije koje utječu na kvalitetu zraka u regiji. Većina modela za praćenje onečišćujućih tvari u zraku, u svojim simulacijama raspodjele onečišćujućih tvari, uzimaju u obzir fizikalne karakteristike onečišćenja kao što su smjer vjetra, brzina, temperatura, određivanje putanje onečišćenja zraka, itd. Integracija drugih modela praćenja onečišćenja zraka s GIS-om predstavlja geografsku dimenziju informacija o kvaliteti zraka povezujući stvarno onečišćenje, te štetne koncentracije za biljke i ljudski život na promatranom području. Sa svojim brojnim analitičkim alatima, GIS može pokazati odnos loše kvalitete zraka i pojave koje štete ljudskom zdravlju i okolišu na području koje je promatrano. Ispitivanje odnosa između visokih koncentracija onečišćenja u različitim područjima dodatno pomaže u prepoznavanju žarišta kojima je potrebno posebno istraživanje i praćenje. Vizualizacija podataka, ilustriranje takvih informacija putem karte pruža detaljan uvid na onečišćenje na nekom području te postoji li premašena granična vrijednost koju je potrebno poboljšati [26].

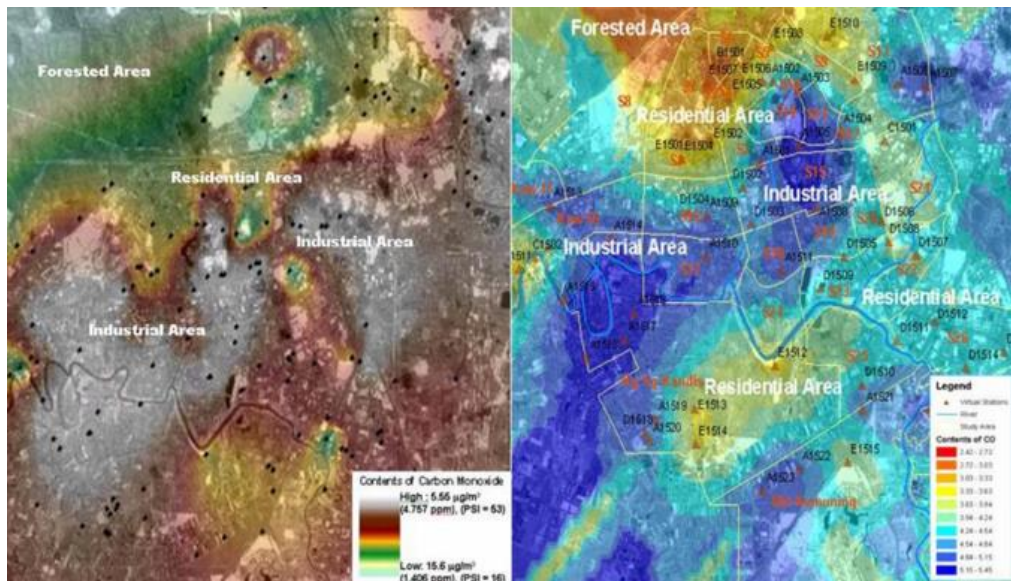
2.4 GIS karte kod praćenja onečišćivala u zraku

Onečišćenje zraka sve je veći problem današnjice, ponajviše u većim gradovima uglavnom radi ljudskih aktivnosti poput brze industrijalizacije, povećane aktivnosti vozila koja dovodi do velike potrošnje goriva i svih drugih aktivnosti poput izgradnje i proizvodnje električne energije. Gradovi potiču visoku izloženost ljudi štetnim tvarima zbog eskaliranog broja stanovnika i stalne aktivnosti vozila. Upravljanje kakvoćom zraka uključuje praćenje i analizu koncentracije onečišćujućih tvari, prostornu raspodjelu koncentracija onečišćujućih tvari, te procjenu čimbenika okoliša na koje utječu onečišćivači zraka, izrada karte zdravstvenih rizika, a za to je idealan GIS koji je zapravo vrlo koristan za procjenu kvalitete zraka, ali i kod ostalih onečišćenja (voda, svjetlost, tlo,..) [25]. U nastavku slijedi nekoliko studija ili primjera korištenja GIS softvera odnosno GIS karti kod praćenja određenih onečišćivala u zraku.

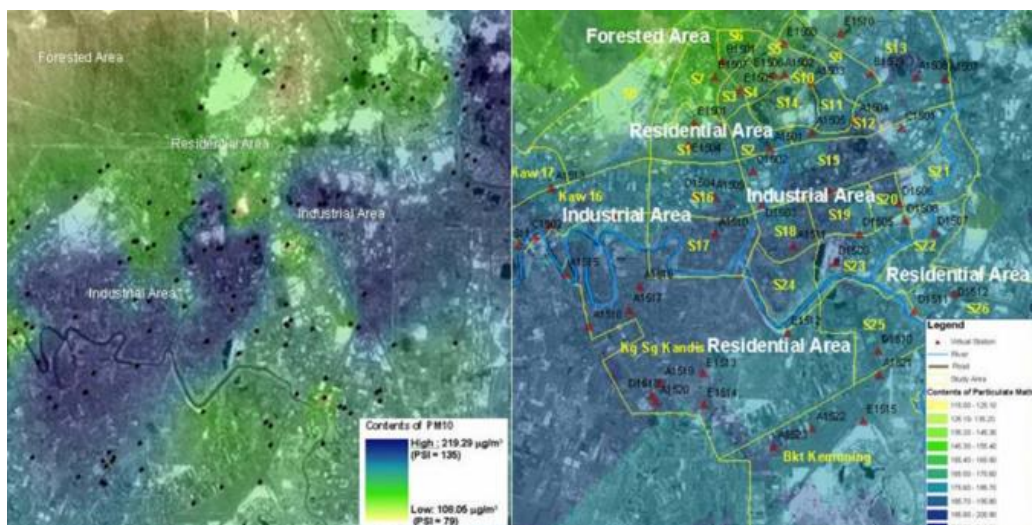
A) Praćenje kvalitete zraka Malezija – Azija [48]

Postojeća tehnika koja se koristila za praćenje kvalitete zraka uključuje ručno izmjerene koncentracije onečišćenja unutar područja mjernih stanica. Nova tehnika koja koristi satelitsko daljinsko očitavanje i Geografski informacijski sustav (GIS) pridonosi tome da se može kontinuirano pratiti kvaliteta zraka. Satelitska očitavanja mogu pružiti potpuni pregled područja i pokazati glavne izvore onečišćenja i njihove uzroke. Stanice za praćenje kontinuirane kvalitete zraka (od eng. *Continuous Air Quality Monitoring Stations* - CAQM) korištene su za određivanje odnosa između toplinskog infracrvenog pojasa i dva onečišćivala zraka; CO i PM₁₀. Budući da postoji ograničen broj dostupnih CAQM postaja, uveden je koncept "virtualne postaje" kako bi se zgusnule CAQM postaje, a s njima bi bilo i više podataka o onečišćenju te bi mjerenje bilo točnije. Na temelju ovih postaja, metoda „kriging“ interpolacije (dostupna u GIS softveru) koristi se za praćenje kvalitete zraka. Praćenje kvalitete zraka prikazano je u digitalnom obliku (karte) za područja istraživanja. Prednost ove metode je to što omogućuje detaljniju procjenu kvalitete zraka unutar urbanih područja i područja s ograničenim CAQM postajama. Karte prikaza onečišćenja s koncentracijama generirana iz virtualnih postaja korištenjem kriging metode interpolacije pokazuje realističan prikaz zagađenja zraka.

Slika 13 prikazuje koncentraciju ugljikovog monoksida u zraku (CO), a slika 14 prikazuje koncentraciju PM₁₀. Lijevo na slici nalazi se prikaz onečišćenja sa 148 mjernih virtualnih postaja, a desno na slici je prikaz sa 57 virtualnih postaja. Broj virtualnih postaja smanjen je sa 148 na 57 postaja prema slijedećim kriterijima: 1) postaje čije točke imaju istu spektralnu refleksiju, 2) postaje čije točke imaju iste okolne značajke (npr. oblik terena), 3) najmanje četiri postaje unutar područja od 2,5 km². Što je tamnija boja na kartama onečišćenje je veće. Najveće su koncentracije CO i PM₁₀ u industrijskim zonama područja istraživanja.



Slika 13. CO koncentracija [48]

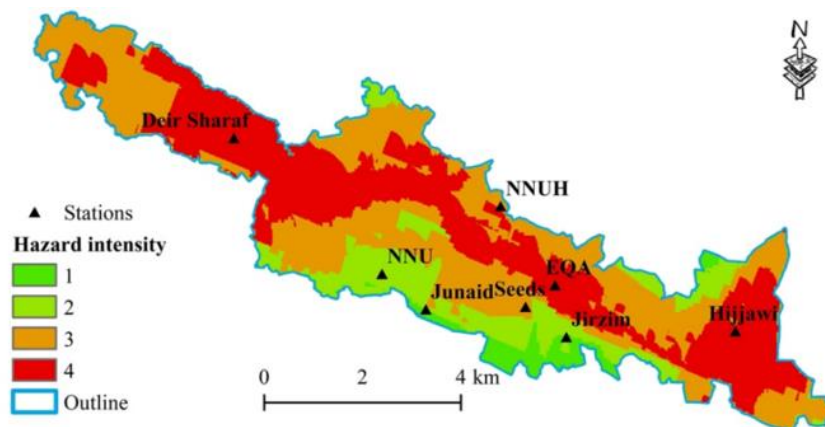


Slika 14. PM₁₀ koncentracija [48]

Zaključno je kako rad prikazan u ovom istraživanju pokazuje kombinaciju tehnologije daljinskog očitavanja i GIS-a (metoda kriging interpolacije). Ta kombinacija se može koristiti za praćenje koncentracije onečišćujućih tvari u zraku.

B) Praćenje kvalitete zraka Nablus – Palestina [49]

U Palestini su glavni izvori onečišćenja zraka kamenolomi, tvornice i promet. Palestina je posebno pogođena sezonskim olujama s prašinom, koje se uzimaju u obzir izvor jednog od onečišćenja zraka. Danas postoji malo dokaza o praćenju kvalitete zraka u Palestini, a sva istraživanja do sada pokazuju da su onečišćujuće čestice u zraku su u koncentracijama višim od onih iz smjernica Svjetske zdravstvene organizacije (od eng. *World Health Organization* – WHO). U ovom istraživanju metoda praćenja kvalitete zraka provodi se uz GIS i lokalne kalibrirane jeftine senzore (AirU) na području grada Nablus. Mjerile su se lebdeće čestice PM, a provođeno je 55 dana, u razdoblju od 07.siječnja do 02.ožujka 2022.godine. Velika je upotreba jeftinih senzora jer ostali uređaji imaju visoku cijenu, ali je i rukovanje s njima teže. AirU je jeftin senzor jednostavan za korištenje koji može mjeriti koncentracije PM₁₀ i PM_{2.5}. Proces odabira mjernog mjesta mora se kombinirati s više kriterija, kao što su meteorologija, izvori onečišćenja i vrste izvora onečišćenja u smislu utjecaja na ljudsko zdravlje. Prvo je bilo potrebno napraviti kartu promatranog područja u GIS-u, razmišljajući o izvorima emisija (npr. grad Nablus je u svrhu istraživanja omogućio na uvid sve industrije), nadmorskoj visini, brzini i smjeru vjetra, zatim su se odabrala mjesta praćenja na temelju najviše emisija onečišćivača.

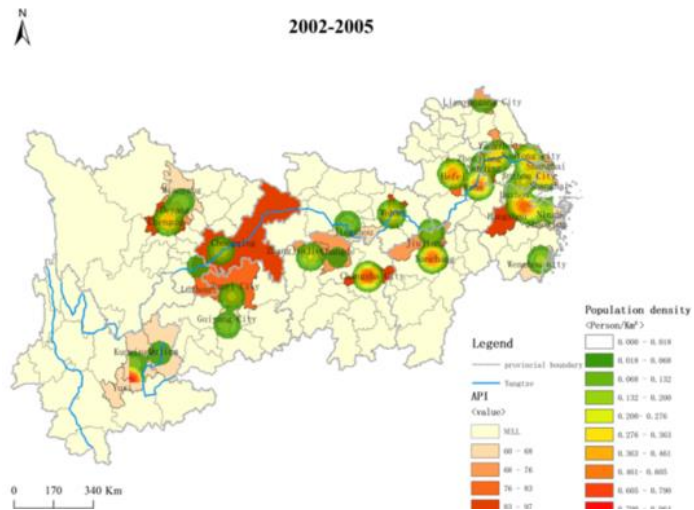


Slika 15. Karta onečišćenja zraka – PM [49]

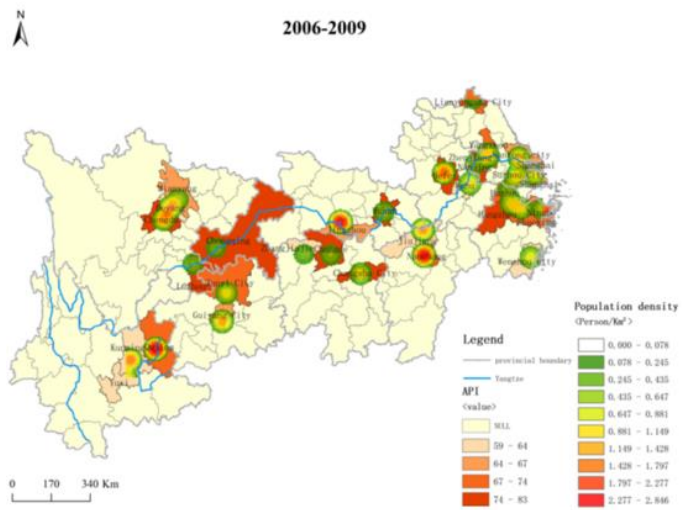
Kriteriji onečišćenja (Slika 15) prikazani su u bojama (u GIS-u napravljeni kao slojevi na karti). U ovom slučaju, najtamnija boja – crvena prikazuje da je to područje sa najviše onečišćenim zrakom, ali je i najbliže izvoru onečišćenja. Mjerenje se izvršilo na osam mjernih postaja gdje su postavljene AirUSuređaji/senzori za praćenje lebdećih čestica. Izabrana mjesta bila su najmanje izložena kiši kako bi se bolje pratio zrak. Rezultati karte opasnosti pokazali su da je 82% Nablusa izloženo visokom i srednjem riziku od onečišćenja PM. Treba napomenuti da bi rezultati možda bili bolji ako bi bila veća baza podataka koncentracija onečišćivača u prošlosti.

C) Praćenje kvalitete zraka uz rijeku Yangtze s utjecajem na turizam – Azija, Kina [50]

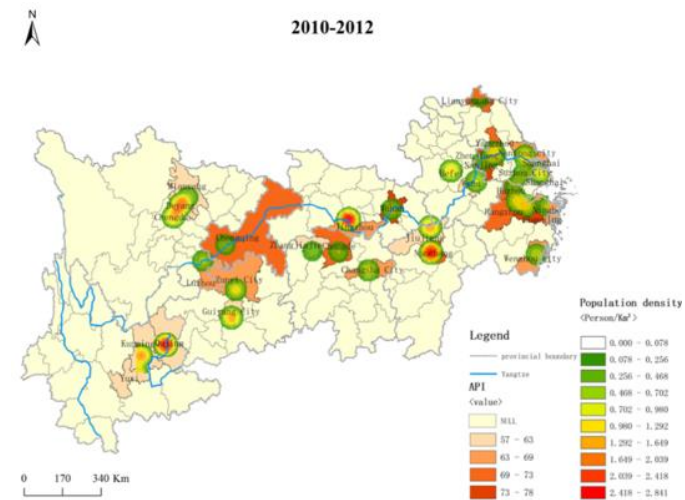
Onečišćenje zraka duž gospodarskog pojasa rijeke Yangtze (od eng. *Yangtze River Economic Belt – YREB*) predstavlja opasnost za okoliš kao i za turistički razvoj. Konkretno, onečišćenje zraka može izravno utjecati na prostornu i vremensku distribuciju turističkih resursa, ponašanja turista, operativnih troškova itd. Kroz ovo istraživanje prati se kvaliteta zraka duž rijeke Yangtze kroz 31 grad s podacima koncentracija u razdoblju 2002-2012.g. Kako bi bilo lakše snalaženje, to razdoblje podijeljeno je na tri razdoblja: 2002. – 2005.g. (Slika 16), 2006. – 2009.g. (Slika 18) i 2010. – 2012.g. (Slika 19).



Slika 16. Razdoblje 2002.-2005.g [50]



Slika 17. Razdoblje 2006.-2009.g. [50]



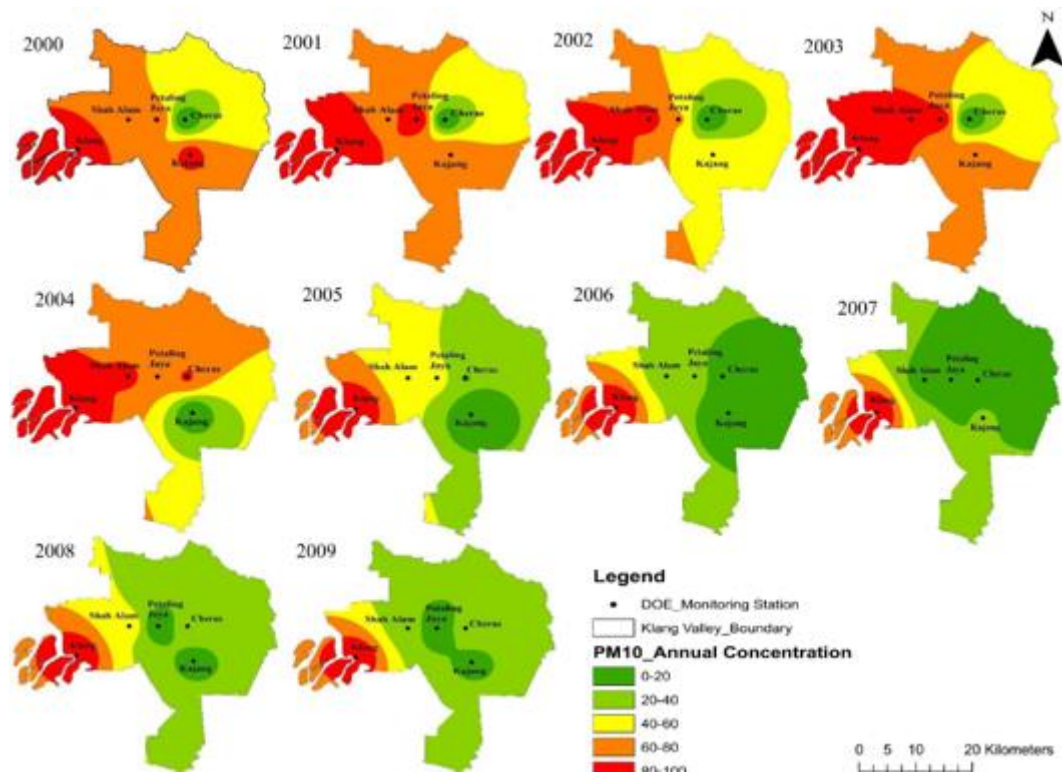
Slika 18. Razdoblje 2010.-2012.g. [50]

Onečišćenje zraka u Kini postalo je ozbiljan problem zajedno s brзом industrijalizacijom, urbanizacijom i velikim gospodarskim razvojem. Veliki dio gospodarskog rasta potaknut je proizvodnjom industrija koje su jako zagađivale, kao što je proizvodnja toplinske energije, petrokemijska i čelična industrija. Kao rezultat toga, zagađenje zraka postalo je ozbiljna briga. Na primjer, manje od jedne trećine (33 grada) od 126 gradova u YREB je zadovoljilo standardnu razinu prosječnih koncentracija onečišćujućih tvari u zraku (SO₂, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, CO i O₃) tijekom 2016. godine. YREB nudi razne turističke proizvode kao što su riječna krstarenja, gradske atrakcije (npr. muzeji i parkovi), povijesna mjesta (npr. Toranj žutog ždrala) i geografska čuda (npr. Nacionalni geopark Three Gorges). Rezultati otkrivaju da je onečišćenje zraka negativno povezano s brojem dolaznih turista duž YREB.

D) Praćenje kvalitete zraka uz dolinu Klang – Malezija, Azija [51]

Brza urbanizacija u Maleziji potaknuta je rastom stanovništva i povećanjem gospodarskih aktivnosti u gradskim središtima. Također, povećanjem onečišćujućih tvari u zrak ispuštenih iz različitih izvora, a samim time to uzrokuje pogoršanje kvalitete zraka. Za kartiranje je korištena interpolacijska

tehnika IDW u ArcGIS platformi s pet stanica za praćenje kvalitete zraka kroz razdoblje 2000. – 2009.g. (Slika 19).



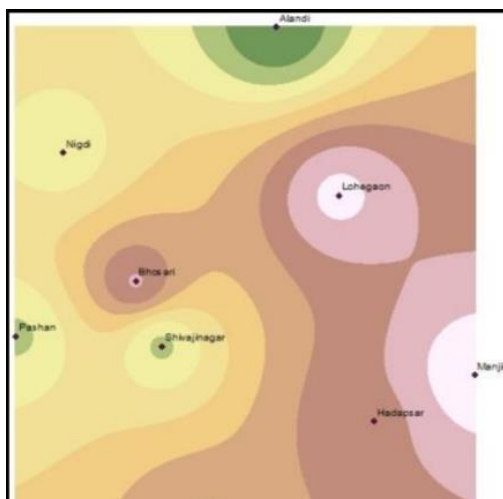
Slika 19. Karta praćenja onečišćenja zraka sa PM_{10} [51]

Visoka razina onečišćenja u dolini Klang može ugroziti zdravlje lokalne zajednice. Godišnja prostorna distribucija PM_{10} u Klangu bila je u prosjeku između 60 i 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ od 2000. do 2009. Ovo istraživanje je utvrdilo kako se koncentracija PM_{10} smanjila od 2004. do 2009., stoga je važno i dalje pratiti te kontrolirati emisije PM_{10} kako bi se poboljšala kvaliteta života u dolini Klang.

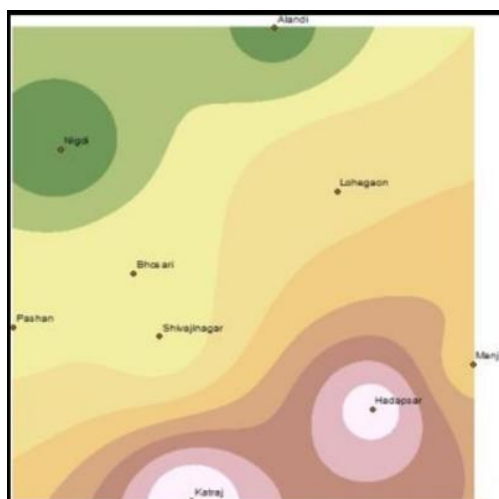
E) Praćenje kvalitete zraka za grad Pune – Indija [52]

U ovom istraživanju dolazi do procjene podataka o kvaliteti zraka za važne onečišćivače poput PM_{10} , $PM_{2,5}$, ozona i NO_x , a predstavljeni su u GIS-u za cijeli grad Pune pomoću IDW metode. Vremenska analiza provodila se za

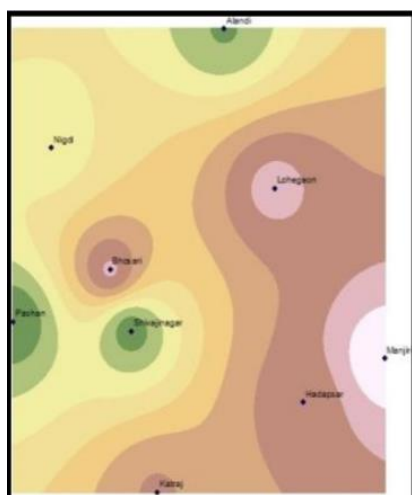
mjesec: veljaču, ožujak i travanj 2015. godine. Interpolacija je tehnika u kojoj možemo precizno izračunati vrijednosti neuzorkovanih površina koje su stvarno izračunate pomoću uzorkovanih površina, a rezultat interpolacije u ovom slučaju je kartografski prikaz s devet mjernih postaja. GIS karta nam može prostorno prikazati koji onečišćivači su prisutni na kojem području i za koje vremensko razdoblje.



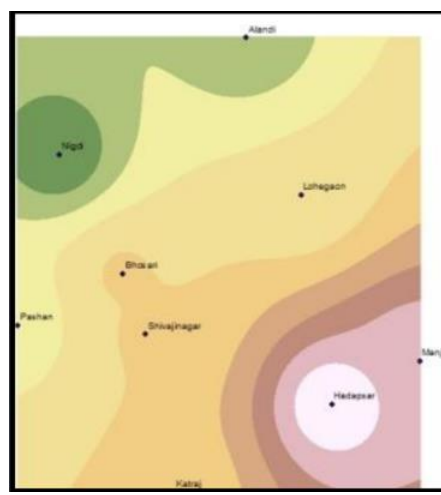
Slika 20. Radni dan u 6h [52]



Slika 21. Radni dan u 12h [52]



Slika 22. Vikend u 6h [52]

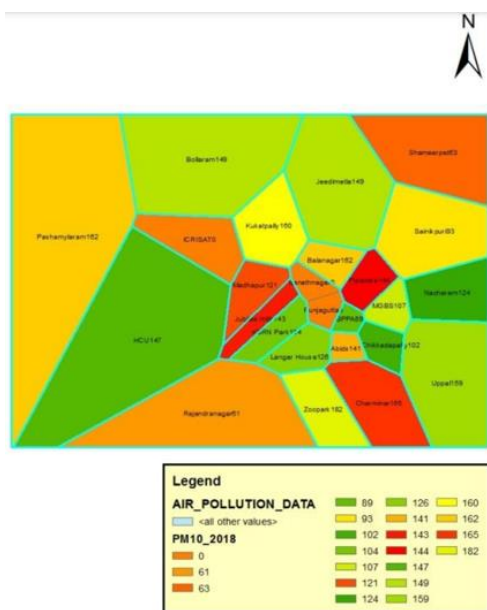


Slika 23. Vikend u 12h [52]

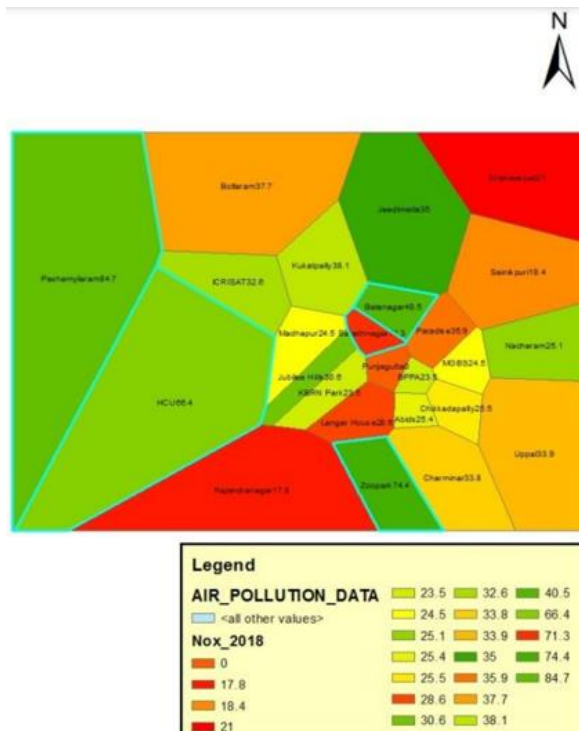
Pomoću slika (20, 21, 22, 23) možemo primijetiti kako radni dani imaju lošiju kvalitetu zraka od vikenda, a to se uglavnom događa radi primjerice smanjene razine prometa, rada industrija i dr. Pomoću ovakvih karata s obzirom na visoke koncentracije lakše je odrediti izvor onečišćenja.

F) Praćenje kvalitete zraka za grad Hyderabad – Indija [53]

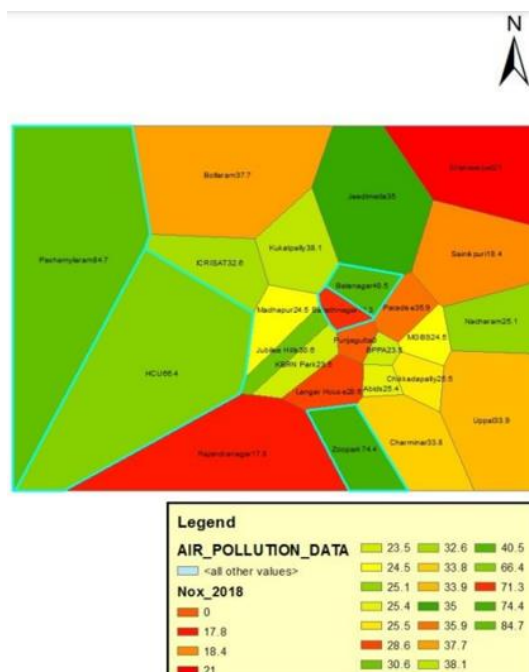
Onečišćenje zraka je sve veći problem u gradu Hyderabad čiji je gotovo svaki kutak onečišćen; uglavnom zbog ljudskih aktivnosti poput brze industrijalizacije, povećane aktivnosti vozila koja dovodi do velike potrošnje goriva i svih drugih aktivnosti poput izgradnje, proizvodnje električne energije. Visoke konstrukcije utječu na protok količine zraka što rezultira izmjenom zraka i raspršivanjem ili širenjem onečišćujućih tvari. GIS je korišten u ovom istraživanju za mapiranje različitih podataka o onečišćenju i analizi područja koja su najviše pogođena onečišćenjem. U ovom slučaju prikupljali su se podaci o koncentracijama onečišćivala za 2018. godinu, kao i lokacije gdje su izmjereni podaci, isti podaci su prebačeni u ArcGIS sustav, gdje se stvorio kartografski prikaz promatranih onečišćivača (Slika 24., 25., 26.).



Slika 24. Koncentracije PM₁₀ za 2018.g. [53]



Slika 25. Koncentracije SO_2 za 2018.g. [53]

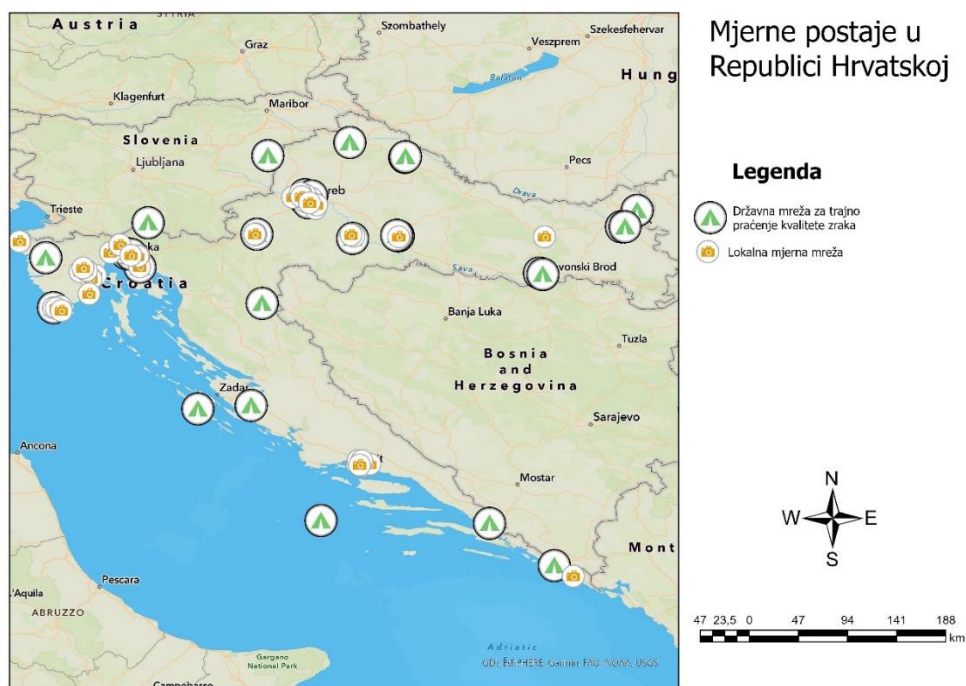


Slika 26. Koncentracije NO_2 za 2018.g. [53]

Onečišćenje zraka u ovom gradu i dalje raste te je potrebno stalno pratiti kvalitetu zraka i smanjiti izvore onečišćenja zraka. GIS u ovom slučaju pomaže za prikaz i lako shvaćanje kvalitete zraka.

G) Republika Hrvatska – NO_x 2021.godine

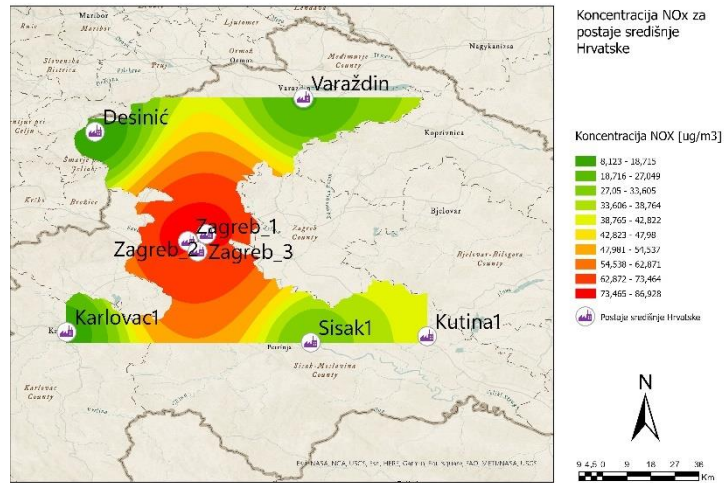
Slika 27 prikazuje mjerne postaje lokalne i državne mreže za trajno praćenje kvalitete zraka u Republici Hrvatskoj. Broj mjernih postaja kao i koncentracija onečišćivala u zraku mijenjao se tokom godina.



Slika 27. Mjerne postaje u Republici Hrvatskoj

U današnje vrijeme sve je veća potražnja podataka o koncentracijama onečišćivala u zraku, povodom toga ti podaci mogu se pronaći online kako bi građani mogli i sami motriti te podatke.

Tako primjerice, slika 28 prikazuje GIS kartu onečišćenja NO_x za postaje središnje Hrvatske. Podaci su uzimani sa 8 mjernih stanica; Zagreb1, Zagreb2, Zagreb3, Desinić, Varaždin, Karlovac1, Sisak1 i Kutina. Tamnija boja svake mjerne postaje na karti nam prikazuje veće onečišćenje. Možemo primijetiti da je najveće onečišćenje oko grada Zagreba. Najveći razlog onečišćenja u Zagrebu predstavlja cestovni promet i velika industrijska područja.



Slika 28. Koncentracija NO_x za postaje središnje Hrvatske

3 ZAKLJUČAK

Danas, gotovo velika većina Europljana govori kako im je bitna zaštita okoliša, a njih gotovo 8 od 10 željelo bi provjeravanje provode li se adekvatno zakoni zaštite okoliša u njihovim zemljama. Onečišćenje se može definirati kao neželjena promjena koja utječe štetno na okoliš, ljudski život, kulturna dobra i dr. Onečišćenje zraka mješavina je čestica i plinova koje dosežu štetne koncentracije, koje štete ljudskom zdravlju i čini naše životne uvjete nesigurnima. Malo je problema s onečišćenjem zraka ograničeno na jedno mjesto, već je prošireno skoro na sve dijelove svijeta. Za probleme onečišćenja koji su zajednički i drugim lokacijama postoji prednost u korištenju metoda koje dopuštaju usporedbu između dobivenih rezultata. Učinak onečišćenja zraka na javno zdravlje i okoliš ovisi o nekoliko čimbenika poput kemijskog sastava pojedinog onečišćivača, razine koncentracije, zdravstvenog stanja pojedinaca i vremena izloženosti. Važna je procjena utjecaja kakvoće zraka osim na zdravlje ljudi također i na biljke, životinje, prirodne ekosustave, ekosustave. Bolja karakterizacija osjetljivih skupina stanovništva omogućila bi poboljšanje pristupa sprječavanju utjecaja i smanjenja broja ljudi koji pate od simptoma izloženosti onečišćenju zraka. Kvaliteta zraka važna je za naše zdravlje i okoliš, ali izvori onečišćenja su česti i teško ih je pratiti. GIS tehnologija upravlja statističkim i prostornim podacima kako bi lakše prikazala odnos loše i bolje kvalitete zraka, te samim time kvalitetu okoliša. Na taj način GIS pomaže u praćenju emisija onečišćujućih tvari u zraku (CO, SO₂, NO_x, O₃, PM₁₀, PM_{2,5} i drugih). GIS tehnologija nam omogućuje i da lociramo odakle dolaze onečišćivači te omogućuje da nadziremo ta područja kako bismo očuvali kvalitetu našeg zraka. Danas bi u svijetu bilo malo manje onečišćivala u zraku kada bi postojalo puno više zakona i pravilnika s kažnjavanjem ne poštivanja istih, te kada bi zemlje barem većim firmama nudile ekonomski poticaj da se ispuštanje štetnih tvari (plinova i čestica) u atmosferu puno više kontrolira, te da se sve više uvode nove tehnologije upravljanja istih kod ispuštanja u atmosferu. Također, moramo očekivati kako će razina sprječavanja i kontrole onečišćenja učinkovitosti budućih tehnologija s vremenom biti sve bolja. Čist zrak nam je ključan radi održavanja kvalitete života na Zemlji.

4 LITERATURA

1. Onečišćenje | Hrvatska enciklopedija. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45153>. Datum pristupa: 20.12.2022.
2. Bhergava R., Environmental pollution: Sources, causes, effect and effect and control control, ppt. Dostupno na: https://www.iitr.ac.in/wfw/web_ua_water_for_welfare/education/proceeding_of_short-term_training/diploma/Environmental_Sciences_May_24-28_2007/Lecture_notes/Env_Pollution-rb.pdf. Datum pristupa: 20.12.2022.
3. Zakon o zaštiti okoliša. Narodne novine NN 80/13. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_06_80_1659.html. Datum pristupa: 20.12.2022.
4. Nacionalna strategija zaštite okoliša. Narodne novine NN 46/02. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2002_04_46_924.html. Datum pristupa: 03.01.2023.
5. Zavod za zaštitu okoliša i prirode | mingor.gov.hr. Dostupno na: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/zavod-za-zastitu-okolisa-i-prirode-7310/7310>. Datum pristupa: 03.01.2023.
6. Zaštita okoliša | Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost. Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/zastita-okolisa/1341>. Datum pristupa: 03.01.2023.
7. Zakon o zaštiti prirode. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/403/Zakon-o-za%C5%A1titi-prirode>. Datum pristupa: 03.01.2023.
8. Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine. Dostupno na: <https://mksmtk.gov.ba/file/konvencija-o-zastiti-svjetske-kulturne-i-prirodne-bastine/43>. Datum pristupa: 03.01.2023.
9. Onečišćenje voda | meaning.com . Dostupno na: <https://hr.about-meaning.com/11033593-water-contamination>. Datum pristupa: 03.01.2023.

10. Suaad Hadi Hassan Al-Taai. (2021.). Water pollution Its causes and effects. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/352534658_Water_pollution_Its_causes_and_effects. Datum pristupa: 03.01.2023.
11. Kumar S. Sources and Causes of Water Pollution – natural and human. Dostupno na: <https://www.indiacelebrating.com/environmental-issues/sources-and-causes-of-water-pollution/>. Datum pristupa: 04.01.2023.
12. Rodríguez Eugenio N., McLaughlin M., Pennock D. (2018.). Soil pollution: A hidden reality. Dostupno na: <https://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf>. Datum pristupa: 04.01.2023.
13. Onečišćenje tla | HR Mozaik digitalno obrazovanje i učenje. Dostupno na: https://www.mozaweb.com/hr/Extra-3D_scene-Oneciscenje_tla-146877. Datum pristupa: 26.01.2023.
14. Rehman Hakeem K., (2015.). Soil remediation and plants: prospects and challenges.
15. Soil, Thermal, Nuclear pollution. Dostupno na: https://www.sbsc.in/pdf/resources/1585914664_Soil,_Thermal,_Nuclear_pollution.pdf. Datum pristupa: 04.01.2023.
16. Buka | preventa.hr. Dostupno na: <https://preventa.hr/zastita-na-radu-upit/buka-na-radu>. Datum pristupa: 09.01.2023.
17. Zakon o zaštiti buke. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/125/Zakon-o-za%C5%A1titi-od-buke>. Datum pristupa: 09.01.2023.
18. Rasna R., (2014.). Light Pollution and Impact of Light Pollution. Dostupno na: <https://www.ijsr.net/archive/v3i10/T0NUMTQyMTA=.pdf>. Datum pristupa: 10.01.2023.
19. International Dark Sky Association. Dostupno na: <https://www.darksky.org/>. Datum pristupa: 10.01.2023.

20. Light pollution map. Dostupno na: <https://www.lightpollutionmap.info/#zoom=6.00&lat=44.7267&lon=17.0362&layers=B0FFFFFFFTFFFFFFFFFFFF>. Datum pristupa: 10.01.2023.
21. Pénard-Morand C., Annesi-Maesano I., (2004). Air pollution: from sources of emissions to health effects. Dostupno na: <https://breathe.ersjournals.com/content/breathe/1/2/108.full.pdf>. Datum pristupa: 13.01.2023.
22. Choudhary DrM, Garg V., (2013.) Causes, Consequences and Control of Air Pollution
23. Zašto dolazi do onečišćenja zraka | ekologija.com.hr. Dostupno na: <https://www.ekologija.com.hr/zasto-dolazi-do-oneciscenja-zraka/>. Datum pristupa: 17.01.2023.
24. Air pollution measuring methods. Chapter 9. Dostupno na: https://www.env.go.jp/earth/coop/coop/document/apctm_e/01-apctme-09.pdf. Datum pristupa: 13.01.2023.
25. Khouni I., Louhichi G., Ghrabi A., (2021.). Use of GIS based Inverse Distance Weighted interpolation to assess surface water quality: Case of Wadi El Bey, Tunisia | Environmental Technology & Innovation. Datum pristupa: 14.01.2023.
26. Nejadkoorki F., (2011.). Advanced Air Pollution
27. Admassu M., Wubeshet M., (2006.). Air pollution | University of Gondar. Dostupno na: https://www.cartercenter.org/resources/pdfs/health/ephti/library/lecture_notes/env_health_science_students/airpollution.pdf. Datum pristupa: 20.01.2023.
28. Kvaliteta zraka u Republici Hrvatskoj. Dostupno na: <http://iszz.azo.hr/iskzl/help.htm>. Datum pristupa: 23.01.2023.
29. Zakon o zaštiti zraka. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/269/Zakon-o-za%C5%A1titi-zraka>. Datum pristupa: 27.12.2022.

30. An introduction to Air quality. Dostupno na: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/09/DEF_AQ_AirQuality_digital.pdf. Datum pristupa: 28.12.2022.
31. Izvješće o praćenju kvalitete zraka 2021.g. | DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD. Dostupno na: <http://iszz.azo.hr/iskzl/datoteka?id=139090>. Datum pristupa: 30.01.2023.
32. Air Quality Guidelines. Chapter 7.4 | Sulfur dioxide. Dostupno na: https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0020/123086/AQG2ndEd_7_4Sulfurdioxide.pdf. Datum pristupa: 09.01.2023.
33. Liberti A., MODERN METHODS FOR AIR POLLUTION MONITORING. Dostupno na: file:///C:/Users/Tina/Downloads/10.1351_pac197544030519.pdf. Datum pristupa: 15.01.2023.
34. Nitrogen Oxides (NO_x), Why and How They are Controlled. (1999).
35. Izvješće o praćenju kvalitete zraka na području Republike Hrvatske za 2017.g. | DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD. Dostupno na: <http://iszz.azo.hr/iskzl/datoteka?id=81453>. Datum pristupa: 09.01.2023.
36. Air Quality Guidelines, Chapter 5.5 | Carbon monoxide. Dostupno na: https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0020/123059/AQG2ndEd_5_5Carbonmonoxide.PDF. Datum pristupa: 09.01.2023.
37. Villányi V, Turk B, Franc B, Csintalan Z. Ozone Pollution and its Bioindication. (2010.).
38. Amann M., Derwent D., Forsberg B., Hänninen O., Hurley F., Krzyzanowski M., Frank de Leeuw, J. Liu S., Mandin C., Schneider J., Schwarze P., Simpson D., (2008.). Health risks of ozone from long-range transboundary air pollution
39. Air Quality Guide for Particle Pollution. Dostupno na: <https://www3.epa.gov/region1/airquality/pdfs/airqualityguideparticles.pdf>. Datum pristupa: 17.01.2023.

40. Zagađenost zraka lebdećim česticama | Otvoreni zrak – Možemo!. Dostupno na: <https://zrak.mozemo.hr/>. Datum pristupa: 27.01.2023.
41. University of Washington, (2012.). Fast Facts about Health Effects of Air Pollution. Dostupno na: https://deohs.washington.edu/sites/default/files/FastFacts_AirPollution_12MAY10.pdf. Datum pristupa: 14.01.2023.
42. Utjecaj onečišćenja zraka na zdravlje | Europska agencija za okoliš. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/signals-2013/graficki-informacije/utjecaj-oneciscenja-zraka-na-zdravlje-2/view>. Datum pristupa: 30.01.2023.
43. Ershad M, Ali E., (2020.). Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components.
44. GIS. Dostupno na: <https://gisgeography.com/>. Datum pristupa: 25.01.2023.
45. Dobson J., (2004.). The GIS Revolution in Science and Society.
46. Hazenauer A. PRIMJENA GIS-a U PLANIRANJU POLJOPRIVREDNE PROIZVODNJE U ZAŠTIĆENIM PROSTORIMA. (2017.). Diplomski rad. Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet
47. Briggs D., (2006.). The Role of Gis: Coping With Space (And Time) in Air Pollution Exposure Assessment. Dostupno na: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15287390590936094>. Datum pristupa: 15.01.2023.
48. Rohayu Haron Narashid, Wan Mohd Naim Wan Mohd (2010.). Air quality monitoring using remote sensing and GIS technologies
49. Saleh T., Khader A., (2022.). Urban Particulate Matter Hazard Mapping and Monitoring Site Selection in Nablus, Palestine
50. Xiang Zhang, Chenjiao Ma, Xingming Li, Lina Xiong, Silin Nie, (2022.). Assessing the Impact of Air Pollution on Inbound Tourism along the Yangtze

River across Space and Time. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/17/10944>. Datum pristupa: 30.01.2023.

51. Siti Haslina Mohd Shafe¹, Mahmud M., Mohamad S., Nor Lita Fadilah Rameli, Abdullah R.; Mohamed A.-F., (2022.). Influence of urban air pollution on the population in the Klang Valley, Malaysia: a spatial approach. Dostupno na: <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-021-00342-0>. Datum pristupa: 30.01.2023.

52. R.S.Kanakiya, Singh S, U.Shah., (2015.). GIS Application for Spatial and Temporal Analysis of the Air Pollutants in Urban Area

53. Vaddiraju S., (2019.). Mapping Of Air Pollution Using GIS: A Case Study of Hyderabad

POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Onečišćenje vode [9]</i>	4
<i>Slika 2. Voda na Zemlji</i>	5
<i>Slika 3. Onečišćenje vode kanalizacijama [11]</i>	5
<i>Slika 4. Onečišćenje tla [13]</i>	6
<i>Slika 5. Sredstva za zaštitu sluha [16]</i>	7
<i>Slika 6. Svjetlosno onečišćenje na području RH [20]</i>	9
<i>Slika 7. Onečišćenje zraka industrijskim postrojenjem [23]</i>	10
<i>Slika 8. Dušikov dioksid ispušten u RH za 2017.godinu [35]</i>	15
<i>Slika 9. Usporedba lebdećih čestica sa veličinom [40]</i>	17
<i>Slika 10. Utjecaj onečišćenja zraka na ljudsko zdravlje [42]</i>	18
<i>Slika 11. Što je GIS? [44]</i>	19
<i>Slika 12. Tematski slojevi kod izrade GIS-a [46]</i>	20
<i>Slika 13. CO koncentracija [48]</i>	23
<i>Slika 14. PM₁₀ koncentracija [48]</i>	23
<i>Slika 15. Karta onečišćenja zraka – PM [49]</i>	25
<i>Slika 16. Razdoblje 2002.-2005.g [50]</i>	26
<i>Slika 17. Razdoblje 2006.-2009.g. [50]</i>	26
<i>Slika 18. Razdoblje Razdoblje 2010.-2012.g. [50]</i>	26
<i>Slika 19. Karta praćenja onečišćenja zraka sa PM₁₀ [51]</i>	28
<i>Slika 20. Radni dan u 12h [52]</i>	29
<i>Slika 21. Radni dan u 6h [52]</i>	29
<i>Slika 22. Vikend u 6h [52]</i>	29
<i>Slika 23. Vikend u 12h [52]</i>	29
<i>Slika 24. Koncentracije PM₁₀ za 2018.g. [53]</i>	30
<i>Slika 25. Koncentracije SO₂ za 2018.g. [53]</i>	31
<i>Slika 26. Koncentracije NO₂ za 2018.g. [53]</i>	31
<i>Slika 27. Mjerne postaje u Republici Hrvatskoj</i>	32
<i>Slika 28. Koncentracija NO_x za postaje središnje Hrvatske</i>	33

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Indeks kvalitete zraka</i>	12
--	----

POPIS I OBJAŠNENJE KRATICA KORIŠTENIH U RADU

GIS – Geografski informacijski sustav

SO₂ – sumporov dioksid

NO_x – dušikovi oksidi

NO – dušikov oksid

NO₂ – dušikov dioksid

HNO₃ – dušična kiselina

CO – ugljikov monoksid

O₃ – ozon

PM – lebdeće čestice

PM₁₀ – lebdeće čestice čiji je promjer manji od 10 mikrometara

PM_{2,5} – lebdeće čestice čiji je promjer manji od 2,5 mikrometara

RH – Republika Hrvatska

dB – decibel

TV – televizija

LED – svjetleća dioda (eng. *light-emitting diode*)

IDW – metoda interpolacije temeljena na udaljenosti (eng. *Inverse Distance Weighted*)

GV – granična vrijednost

ESRI – Institut za istraživanje sustava okoliša (eng. *Environmental System Research Institute*)

CAQUM - stanice za praćenje kontinuirane kvalitete zraka (eng. *Continuous Air Quality Monitoring Stations*)

WHO – Svjetska zdravstvena organizacija (eng. *World Health Organization*)

YREB – gospodarski pojas oko rijeke Yangtze (eng. *Yangtze River Economic Belt*)