

Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene na području Zagreba

Ostroški, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:691778>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA ZAGAĐENJE ZRAKA I
KLIMATSKE PROMJENE NA PODRUČJU ZAGREBA**

**THE IMPACT OF ROAD TRAFFIC ON AIR POLLUTION AND
CLIMATE CHANGE IN THE ZAGREB AREA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

Student: Lovro Ostroški

Komentor: Marko Švajda mag. ing. traff.

JMBAG: 0135263851

Zagreb, kolovoz 2024.

Zagreb, 11. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7467

Pristupnik: **Lovro Ostroški (0135263851)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene na području Zagreba**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati emisije štetnih plinova u cestovnom prometu urbanih sredina. Isto tako potrebno je analizirati postojeće alate i metode za izračun zagađenja zraka u cestovnom prometu. Također je potrebno primjenom određenog alata izračunati emisije štetnih plinova na području grada Zagreba, a rezultate je potrebno prikazati kroz pregledne karte emisija.

Mentor:



doc. dr. sc. Marijan Jakovljević



Marko Švajda, mag. ing. traff. (komentor)

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

SAŽETAK:

Emisije štetnih plinova zadnjih su nekoliko godina velik problem kako u Europi tako i u Svijetu, a odnose se na oslobađanje plinova u atmosferu koji negativno utječu na okoliš i zdravlje. Jedan od glavnih uzročnika ovog emitiranja odnosno zagađenja je dijelom i cestovni putnički i teretni promet. Najveće emisije štetnih plinova i zagađivača iz cestovnog prometa emitiraju se u urbanim sredinama poput grada Zagreba za koji se u ovom radu provodi izračun emisija i prikaz tih emisija na kartama. Same te emisije štetnih plinova predstavljaju veliki problem u borbi s klimatskim promjenama te loše utječu na ljudsko zdravlje. Alati za izračun zagađenja zraka u cestovnom prometu igraju veliku ulogu u daljnjem razvoju mjera za smanjenje emisija i normi koje postavljaju gornje granice dozvoljenih emisija iz prometa. Uporabom i usklađivanjem više programskih alata postiže se izrada karata sa emisijama odabranih štetnih plinova, te se prema njima dalje poduzimaju koraci za smanjenje emisija štetnih plinova.

Ključne riječi: emisije štetnih plinova, zagađenje zraka, cestovni promet, klimatske promjene, alati za izračun zagađenja i emisija, karte emisija

ABSTRACT:

Emissions of harmful gases have been a major issue in recent years, both in Europe and globally, as they involve the release of gases into the atmosphere that negatively affect the environment and health. One of the main contributors to these emissions, or pollution, is partly road passenger and freight traffic. The largest emissions of harmful gases and pollutants from road traffic occur in urban areas, such as the city of Zagreb, for which emission calculations and mapping are performed in this paper. These harmful gas emissions represent a significant challenge in the fight against climate change and have a detrimental impact on human health. Tools for calculating air pollution from road traffic play a crucial role in the further development of measures to reduce emissions and in setting standards that define upper limits for allowable traffic emissions. By using and aligning multiple software tools, maps showing emissions of selected harmful gases are created, and based on them, further steps are taken to reduce harmful gas emissions.

Keywords: harmful gas emissions, air pollution, road transport, climate change, pollution and emission calculation tools, emission maps

SADRŽAJ:

1. Uvod	1
2. Emisija štetnih plinova u cestovnom prometu u urbanim sredinama	2
2.1. Pregled štetnih plinova iz cestovnog prometa.....	2
2.2. Izvor emisija u urbanim sredinama	4
2.3. Faktori koji utječu na emisiju štetnih plinova	6
2.4. Utjecaj emisija štetnih plinova na zdravlje i okoliš.....	15
3. Alati za izračun zagađenja zraka u cestovnom prometu	17
4. Izračun emisija štetnih plinova u gradu Zagrebu primjenom alata Copert Street Level	21
4.1. Metodologija	21
4.2. Izračun emisija štetnih plinova.....	23
5. Evaluacija rezultata i karta emisije	28
6. Zaključak	33
Literatura	34
Popis slika:	37
Popis tablica:	37
Popis grafikona:	37

1. UVOD

Cilj ovog rada je predstaviti problematiku zagađenja zraka i klimatskih promjena iz cestovnog prometa, te predstaviti rješenja na vozilima koja smanjuju ili bar ograničavaju emisije štetnih plinova i čestica u atmosferu. Nadalje pomoću programskog alata Copert Street Level prikazati izračun i procjenu emisija štetnih plinova na području zone obuhvata odnosno grada Zagreba, te pomoću programskog alata QGIS prikazati karte emisija za CO₂, NO_x i štetne PM čestice. Karte emisija važan su faktor kod smanjenja utjecaja klimatskih promjena i emisija štetnih plinova. One pružaju vizualni prikaz izvora i razina zagađenja na određenim područjima, te je u ovom slučaju dobivena emisija štetnih plinova za svaku prometnicu u gradu Zagrebu što omogućuje bolje predočavanje kretanja štetnih plinova koja je nama u pravilu nevidljiva. Korištenjem tih karata mogu se precizno identificirati područja s najvišim razinama zagađenja i emisija. Također karte emisija olakšavaju praćenje učinka poduzetih mjera tijekom vremena čime se omogućuje prilagođavanje strategija za daljnje smanjenje emisija i klimatskih promjena.

Emisije štetnih plinova postale su jedan od najvećih ekoloških izazova s kojima su se ljudi u zadnjih nekoliko godina susreli. U uvodnom dijelu daje se opći pregled na zagađenje zraka i klimatske promjene uzrokovane cestovnim prometom. Štetni plinovi prikazani su u drugom poglavlju rada, te je objašnjen način njihovog emitiranja u atmosferu i štetne posljedice tog emitiranja. U drugom poglavlju rada također je prikazana uloga cestovnog prometa u tom zagađenju koja nije mala, te on sam čini značajan udio u ukupnim emisijama štetnih plinova, osobito u urbanim područjima s velikim brojem stanovnika.

Veliki gradovi poput Zagreba suočavaju se s intenzivnim prometom koji dodatno pojačava zagađenje zraka čime doprinosi globalnim, ekološkim i zdravstvenim problemima. U trećem poglavlju rada prikazani su alati pomoću kojih se može izračunati i procijeniti emisija štetnih plinova na zonama obuhvata, te su navedeni i objašnjeni alati koji se koriste u praksi i koji su priznati u Europi. U četvrtom poglavlju prikazan je izračun emisija u Copert Street Levelu i objašnjena je metodologija samog izračuna. U petom poglavlju rada dana je evaluacija izračunatih rezultata i prikazane su 3 karte emisija, 2 karte za štetne plinove (CO₂ i NO_x) i jedna karta za štetne PM čestice.

2. EMISIJA ŠTETIH PLINOVA U CESTOVNOM PROMETU U URBANIM SREDINAMA

Problem emisije štetnih plinova jedan je od ključnih izazova s kojima se suočava moderna civilizacija. Glavni uzročnici ovih emisija su: ugljikov dioksid (CO₂), ugljikov monoksid (CO), dušikovi oksid (NO_x), ugljikovodici (HC) i čestice (PM_{2.5} i PM₁₀). Ovi plinovi i same čestice nastaju uglavnom izgaranjem fosilnih goriva (poput nafte, ugljena i plina) u industriji, prometu, energetici i poljoprivredi. Njihova povećana koncentracija u atmosferi dovodi do globalnog zagrijavanja što uzrokuje porast prosječne temperature na Zemlji i izaziva klimatske promjene koje se reflektiraju kroz ekstremne vremenske uvjete poput suša, poplava i oluja. Osim toga zagađenje zraka uzrokovano ovim emisijama negativno utječe na zdravlje ljudi povećavajući rizik od respiratornih bolesti i drugih zdravstvenih problema. Klimatske promjene uz sve nabrojano ugrožavaju i bioraznolikost jer mnoge vrste životinja gube svoja prirodna staništa. Smanjenje emisija štetnih plinova zahtijeva globalnu suradnju i ulaganje u „zelenu“ energiju. Mjere EU-a za smanjenje emisija ugljičnog dioksida uključuju smanjenje emisija iz prometa za 90% u odnosu na razine iz 1990. godine do 2050. godine. U 2019. godini promet u Europskoj Uniji pridonio je otprilike četvrtini ukupnih emisija CO₂, a 71,7% tog broja potječe iz cestovnog prometa. Europska Unija također ima cilj smanjiti sve emisije CO₂ na nulte razine do 2050 godine. Emisije štetnih plinova u urbanim sredinama zahtijevaju sveobuhvatan pristup koji uključuje razvoj i unapređenje tehnologije, politike, promjene u ponašanju ljudi, te educiranje stanovništva. [2]

2.1. Pregled štetnih plinova iz cestovnog prometa

Onečišćenje zraka odnosi se na zagađenje okoliša kemijskim, fizičkim ili biološkim tvarima koje narušavaju prirodna svojstva atmosfere. Motorna vozila, industrijski pogoni i šumski požari često su izvori zagađenja zraka. Glavni štetni plinovi koji ugrožavaju javno zdravlje uključuju čestice, ugljični monoksid, ozon, dušikov dioksid i sumporov dioksid. Onečišćenje zraka može dovesti do respiratornih i drugih bolesti zbog čega se događa velik broj obolijevanja i smrtnosti. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije gotovo 99% svjetske populacije udiše zrak koji premašuje preporučene granice štetnih plinova i sadrži visoke razine zagađivača pri čemu su zemlje s nižim i srednjim životnim standardom najviše pogođene ovim problemom. Kvaliteta zraka usko je povezana s globalnom klimom i ekosustavima. Mnogi izvori onečišćenja zraka poput sagorijevanja fosilnih goriva, također doprinose emisiji stakleničkih plinova. [1]

PM_{2.5} su vrlo sitne čestice u zraku promjera 2,5 mikrona ili manje. Zbog svoje malene veličine ove čestice mogu prodrijeti duboko u pluća i ući u krvotok. Dugotrajna izloženost

visokim razinama PM2.5 čestica može imati ozbiljne posljedice za zdravlje. Na primjer mogu povećati rizik od srčanih bolesti uključujući hipertenziju i srčani udar, a također su povezane s većom šansom za razvoj raka, a posebno raka pluća. Zbog toga su PM2.5 čestice posebno opasne za ljudsko zdravlje i važno je pratiti njihovu koncentraciju u zraku.[2]

PM10 su čestice zagađenja u zraku promjera 10 mikrona ili manje. Ove čestice mogu ući u gornji dišni sustav i bronhe. Kada dospiju u pluća mogu izazvati kašalj i otežano disanje. Dugotrajna izloženost PM10 česticama povećava rizik od respiratornih infekcija te može pogoršati alergijske bolesti poput astme, peludne groznice i sl. Zbog toga je važno poduzeti mjere za smanjenje izloženosti posebno za osobe s osjetljivim dišnim sustavom. [2]

NOx spojevi poznati i kao dušikovi oksidi, su štetni plin koji zagađuju zrak. Glavni izvor ovih spojeva su ispušni plinovi iz motornih vozila. Dušikovi oksidi mogu oštetiti stanice imunološkog sustava u plućima što čini ljude sklonijima respiratornim infekcijama. Osobe s astmom mogu postati osjetljivije na alergene zbog prisutnosti NOx-a u zraku. Dugotrajno izlaganje ovom plinu može pogoršati respiratorna stanja i povećati rizik od različitih zdravstvenih problema. [2]

CO ili ugljični monoksid iznimno je toksičan plin koji nastaje kada fosilna goriva ili biogoriva nisu potpuno sagorjela. Kada se ljudi izlažu ovom plinu dulje vrijeme može doći do ozbiljnih promjena u kardiovaskularnom sustavu što uključuje probleme sa srcem i krvnim žilama. Ugljični monoksid može smanjiti količinu kisika koju krv može prenijeti na vitalne organe što može dovesti do različitih zdravstvenih problema. Zato je važno osigurati dobru ventilaciju u prostorijama gdje bi mogao biti prisutan (garaže bez ventilacije, zatvoreni prostori u kojima radi motor automobila, ...) kako bi se zaštitilo zdravlje. [2]

CO2 ili ugljični dioksid je plin koji se prirodno stvara na nekoliko načina: kroz vulkanske erupcije, šumske požare i ljudsko disanje. Međutim ljudske aktivnosti također doprinose njegovom povećanju osobito sagorijevanjem fosilnih goriva za proizvodnju energije i u prometu. Ugljični dioksid je poznat kao staklenički plin. To znači da djeluje zajedno s drugim plinovima u atmosferi kako bi stvorio efekt staklenika. Ovaj efekt staklenika zadržava toplinu u atmosferi što može uzrokovati porast globalne temperature i klimatskih promjena. Smanjenje emisije CO2 ključno je za smanjenje globalnog zagrijavanja i očuvanje stabilnih klimatskih uvjeta na Zemlji. [3]

HC ili ugljikovodici su organski spojevi koji se sastoje samo od atoma vodika i ugljika. Ovi spojevi nalaze se u fosilnim gorivima kao što su sirova nafta, prirodni plin i ugljen. Kada se koriste za energiju ugljikovodici se sagorijevaju i oslobađaju energiju, ali također mogu ispuštati štetne plinove i zagađivače u atmosferu. Grupirani su u pet glavnih skupina: alkani, alkeni, alkini, cikloalkani, alkadieni. [4]

2.2. Izvor emisija u urbanim sredinama

Osobni automobili

Automobili koriste fosilno gorivo kao izvor energije koje oslobađa dušikove okside doprinoseći stvaranju kisele kiše i smoga što ima teške učinke na prirodu. Prema istraživanju britanske organizacije Eco Experts potvrđeno je da vozači Češke emitiraju najviše štetnih plinova. Prema podacima iz 2020. godine Češki automobili ponovno su proglašeni najtoksičnijima u Europskoj Uniji. Češka ima vrlo mali postotak automobila na alternativne izvore energije (samo 0,7 %), a prosječna starost vozila u toj zemlji je 14,5 godina što ih stavlja na šesto mjesto po starosti u EU. Zbog ispušnih plinova u zraku Češka je treća najzagađenija zemlja na kontinentu. U Hrvatskoj na svakih 1000 stanovnika dolazi 425 automobila što znači da skoro svaki drugi Hrvat posjeduje vozilo. Manje automobila imaju samo Mađarska (390 na 1000 stanovnika), Bugarska (407 na 1000 stanovnika) i Sjeverna Makedonija (215 na 1000 stanovnika) dok su na vrhu liste Lihtenštajn (781 na 1000 stanovnika) i Luksemburg (681 na 1000 stanovnika). Prema istraživanju Centra za vozila Hrvatske prosječna starost automobila u Hrvatskoj je 14,34 godine što i Hrvatsku svrstava među zemlje koje imaju jedne od najstarijih automobila u Europi. [5]

Studija istraživača sa Sveučilišta u Torontu utvrdila je da 25% automobila i kamiona uzrokuje oko 90% ukupnog zagađenja zraka. Znanstvenici su na tom istraživanju proveli mjerenja na 100 tisuća vozila koja su prolazila pokraj sonde za testiranje zraka na jednoj od najprometnijih cesta u Torontu. Rezultati su pokazali da tih 25% vozila emitira 95% ugljikovog dioksida, 93% ugljičnog monoksida i 76% hlapljivih organskih spojeva poput benzena, selena i etilbenzena od kojih su neki poznati po tome da su kancerogeni. Razlike su bile vidljive ovisno o načinu vožnje, ubrzavanju, starosti vozila i načinu održavanja. [6]

Iako je u posljednjih godina došlo do porasta korištenja javnog prijevoza milijuni ljudi i dalje koriste automobile i kamione svakodnevno na cestama. Ključni prioritet postaje smanjenje negativnog utjecaja na atmosferu, te bi se zbog toga trebao koristiti javni prijevoz kako bi mobilnost ljudi i dalje bila održiva. [7]

Javni prijevoz

Korištenjem javnog prijevoza pomažemo smanjiti broj vozila na cestama što direktno smanjuje emisije štetnih plinova. Kada se više ljudi odlučuje za autobuse, tramvaje ili vlakove, manje je osobnih automobila na cesti. To znači manje zagađenja koje ulazi u atmosferu što pozitivno utječe na kvalitetu zraka i okoliša. Svaki put kada odaberemo javni prijevoz umjesto osobnog automobila, doprinosimo smanjenju prometnih gužvi, smanjujemo potrebu za gorivom i smanjujemo količinu štetnih tvari koje se svakodnevno ispuštaju u

atmosferu. Države širom svijeta pokreću različite inicijative kako bi potaknule ljude na korištenje javnog prijevoza i smanjile zagađenje zraka. Ove inicijative uključuju subvencije za vozne karte, razvoj modernijih i učinkovitijih sustava javnog prijevoza te poboljšanje infrastrukture. Zbog boljih i povoljnijih opcija sve više ljudi bira javni prijevoz umjesto korištenja osobnih automobila. [8]

EU ima cilj utrostručiti brzi željeznički promet do 2050. godine, smatrajući željeznicu ključnom za smanjenje emisija štetnih plinova i postizanje klimatskih ciljeva. Željeznički promet emitira znatno manje CO₂ u usporedbi s cestovnim i zračnim prijevozom što ga čini najodrživijom opcijom. Preusmjeravanjem putnika s automobila i aviona na željeznicu može značajno smanjiti zagađenje, a posebno u urbanim područjima s velikim brojem stanovnika. Kako bi željeznički promet postao atraktivniji, ključno je učiniti ga pristupačnijim i jednostavnijim za korištenje. Primjerice, Njemačka je uvela mjesečnu kartu od 49 eura koja omogućuje neograničen pristup lokalnoj i regionalnoj željezničkoj mreži, čime potiče prelazak građana s cestovnog na željeznički prijevoz. Slične subvencije uvedene su i u drugim zemljama poput Belgije gdje su smanjeni troškovi noćnih vožnji vlakova. Osim putničkog prijevoza EU nastoji udvostručiti i željeznički teretni promet do 2050. godine. Umjesto korištenja kamiona za prijevoz tereta i upotrebom vlakove mogu se značajno smanjiti emisije CO₂, posebno na dugim rutama gdje elektrifikacija cestovnog prometa predstavlja veći izazov. Željeznica je idealna za dekarbonizaciju teretnog sektora zbog niskog ugljičnog otiska i povećane učinkovitosti čime se smanjuje pritisak na elektrifikaciju cestovnog prometa. Ova tranzicija prema željezničkom prometu, poznata kao „modal shift“, ključna je za smanjenje negativnog utjecaja prometa na okoliš i klimatske promjene. EU stoga snažno podupire razvoj željezničke infrastrukture i potiče građane i tvrtke na korištenje održivijih načina prijevoza. [8]

Teška teretna vozila

Teška teretna vozila čine 25% emisija stakleničkih plinova iz cestovnog prometa u Europi zbog svojih velikih dizelskih motora koje koriste za pogon, iako predstavljaju manje od 2% svih vozila na cestama. Ako se ne poduzmu odgovarajuće mjere, ove emisije će nastaviti rasti. Postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine zahtijeva potpunu dekarbonizaciju flote kamiona u EU, što će biti moguće samo prelaskom na kamione s nultim emisijama. S obzirom na to da kamioni predstavljaju sredstva za rad koja se intenzivno koriste i koja tijekom svog životnog vijeka prijeđu više od milijun kilometara, troškovi operacija, uključujući električnu energiju ili gorivo i održavanje, značajno utječu na ukupne troškove vlasništva. Ti troškovi rastu s povećanjem prijeđenih kilometara. Europski proizvođači kamiona trenutno se usredotočuju na uvođenje baterijskih električnih kamiona na masovno tržište za sve segmente vozila, uključujući i duže rute, počevši od 2024. godine. Do 2025. najavljeno je

otprilike 30 modela kamiona s nultim emisijama koji će ući u masovnu proizvodnju za europsko tržište. Kako bi se ubrzao prijelaz ključna je izgradnja učinkovite i sveobuhvatne infrastrukture za punjenje električnih kamiona te izgradnja sustava proizvodnje zelene električne energije odnosno energije iz obnovljivih izvora jer u protivnom svi napori za uspostavu nulte emisije štetnih plinova i kod osobnih i kod teretnih vozila padaju u vodu.[9]

2.3. Faktori koji utječu na emisiju štetnih plinova

Jedan od najbitnijih faktora kod emisije štetnih plinova iz cestovnog prometa je vrsta goriva odnosno energije koja se koristi za pogon osobnih i teretnih automobila. U zadnjih desetak godina uvedena su nova ekološka pravila i norme koje proizvođači automobila moraju zadovoljiti, a sve to potaknulo je i tehnološki napredak automobila. Uz sve napore i nove tehnologije poput: električnih i hibridnih vozila, načina ubrizgavanja gorive smjese, upotrebe turo punjača, DPF filtera, GPF filtera, katalizatora i sl. emisije osobnih automobila ostale su i dalje visoke zbog velikog broja automobila koji se danas koristi. Ključ ka većem smanjenju emisije je kvalitetan i pouzdan javni prijevoz koji ima višestruku iskoristivost prijevoznih sredstava u odnosu na automobile u kojima se često prevozi jedan ili dva putnika. Promicanjem korištenja javnog prijevoza ili hodanja, pješačenja i bicikliranja gdje je to moguće može se znatno smanjiti emisije CO₂ i zagađenja što je glavni cilj u velikim gradovima poput grada Zagreba gdje se ovaj modal split može i realizirati.

Potpuno električno vozilo (Pure electric vehicles) prikazano je na slici broj 1. te takva vozila imaju samo elektromotor i nemaju motor s unutarnjim izgaranjem kao hibridi, plug in hibridi i blaga hibridna vozila već imaju velike baterije kapaciteta uglavnom 30 do 100 kWh. Električni motori imaju učinkovitost koja može premašiti 80% i nude značajno smanjenje stakleničkih plinova i onečišćivača zraka u usporedbi s klasičnim vozilima, ali samo ako energija koja se koristi za njihovo punjenje dolazi iz zelenih izvora energije kao što su hidroelektrane, solarne elektrane ili pak vjetroelektrane što danas predstavlja veliki izazov. Međutim viši troškovi, potrebe za infrastrukturom i kapacitet baterije su i dalje čimbenici koji ograničavaju masovno korištenje električnih vozila, a otprilike 80% troškova razvoja jednog električnog automobila odlazi na razvoj baterije za taj isti električni automobil. Električni automobil skladišti električnu energiju u punjivim baterijama koje potom pokreću električni motor koji okreće kotače i osigurava pogon vozila. Električni automobili ubrzavaju brže od vozila s motorima na fosilno gorivo pa pružaju osjećaj jednostavnije vožnje jer nema stupnjeva prijenosa te kod naprednijih sustava u automobilu moguća je vožnja samo jednom

pedalom koja funkcioniра tako da kad se pedala akceleratora počinje otpuštati elektro motori počnu lagano usporavati cijelo vozilo i ostvaruje se efekt sličan blagom kočenju. [10]



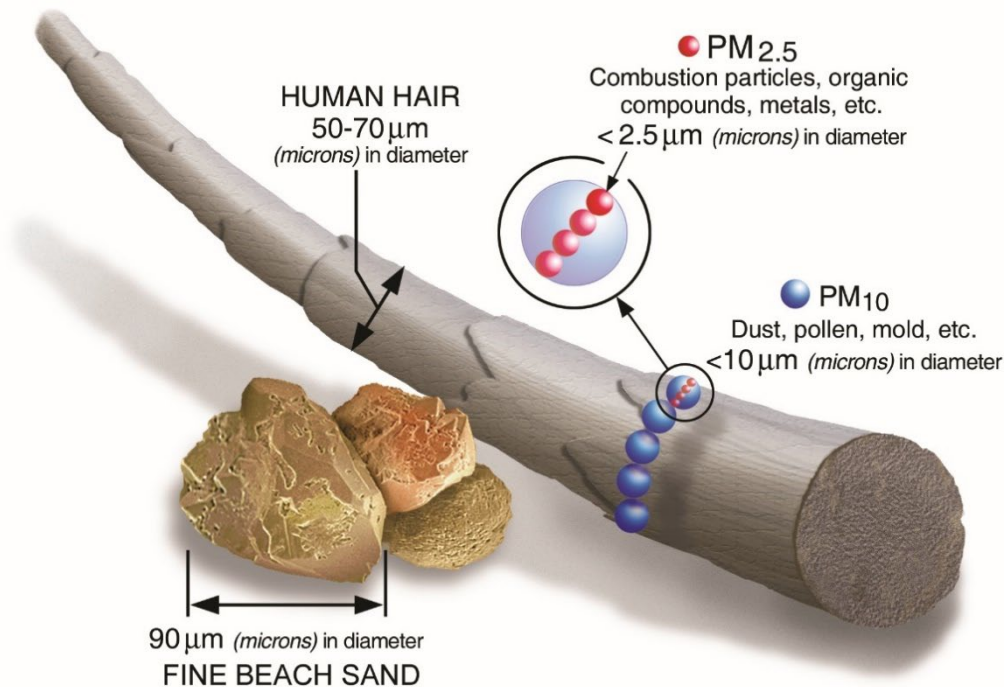
Slika 1. Sklop potpuno električnog vozila

Izvor [11]: <https://www.audiworld.com/how-tos/slideshows/audi-announces-new-tri-motor-e-tron-performance-models-606904#sporty-alternatives>

Uz umjerenu gradsku vožnju ili laganu vožnju otvorenim cestama najbolji električni automobili mogu prijeći 400 do 500 kilometara u stvarnim uvjetima eksploatacije, ali čim se snažnije pritisne papučica gasa domet se smanjuje pogotovo kod većih brzina. Ovo je posebno izraženo na autocesti, gdje rijetko koji električni automobil može pri stalnoj brzini od 120 do 130 km/h prijeći više od 300 kilometara. Uz to većini električnih automobila treba više od sat vremena za punjenje na najbržim punionicama što ih čini nepraktičnima za duža putovanja. Zimi pri niskim temperaturama domet se smanjuje za oko 30%. Najvažniji nedostatak električnih automobila je njihova visoka cijena skupa proizvodnja i sam razvoj jednog takvog vozila. [10]

Dizelski automobili su vodeća prijevozna sredstva u komercijalnom prijevozu poznata po svojoj ekonomičnosti, snazi i dugovječnosti. U Sjedinjenim Američkim Državama oko 80% tereta prevozi se vozilima koja koriste dizel motore. Ovi motori su također ključni za rad mnogih vrsta opreme koja se koristi u građevinskoj industriji, poljoprivredi, brodarstvu i kod lokomotiva. Iako dizelski motori imaju mnoge prednosti u pogledu učinkovitosti i trajnosti oni također ispuštaju velike količine štetnih plinova. Ovo uključuje dušikove okside, čestice i druge toksične zagađivače. Dizel motori igraju važnu ulogu u mnogim industrijama pa je potrebno raditi na smanjenju njihovih negativnih utjecaja na okoliš. Ispušni plinovi dizelskog motora sadrže mnoge štetne tvari, ali jedna od najvećih emisija su sitne PM čestice manje od

2,5 mikrona. Za usporedbu, ljudska kosa je otprilike debljine od 50 do 70 mikrona, a to znači da su ove čestice znatno manje što je i prikazano na slici broj 2. Zbog svoje malene veličine ove čestice mogu lako ući u najdublje dijelove pluća gdje mogu uzrokovati zdravstvene probleme. Osim toga ove ultra-fine čestice imaju sposobnost da privlače i da se povezuju s drugim toksičnim tvarima prisutnim u zraku. To povećava njihovu opasnost i može pogoršati štetne učinke na zdravlje ljudi. Stoga iako su dizelski motori učinkoviti i dugotrajni njihovi ispušni plinovi predstavljaju ozbiljan rizik za kvalitetu zraka i ljudsko zdravlje. [12]



Slika 2. Prikaz veličine PM čestica 2.5 i 10 mikrona

Izvor [12]: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>

Dizelski ispušni plinovi imaju značajan ekološki utjecaj zbog čestica crnog ugljika koje čine oko 70% čestica ispušnih plinova iz dizelskih motora. Crni ugljik je poznat kao jedan od glavnih uzroka klimatskih promjena odmah nakon ugljičnog dioksida. Iako crni ugljik ostaje u atmosferi samo nekoliko tjedana ili mjeseci za razliku od ugljičnog dioksida koji može ostati i do 100 godina, njegovo smanjenje može imati brze i značajne učinke na usporavanje klimatskih promjena. Dok crni ugljik potječe iz različitih izvora izgaranja, dizelski motori su najveći izvor crnog ugljika u Sjevernoj Americi. [12]

Dizelski motori ispuštaju manje CO₂ i stakleničkih plinova u usporedbi s benzinskim motorima. To je rezultat specifičnog goriva koje koriste i veće učinkovitosti dizelskih motora. Dizelsko gorivo ima viši omjer kompresije u usporedbi s benzinom što omogućuje bolje performanse. Zbog toga dizelski motori troše manje goriva za prelazak iste udaljenosti što

smanjuje emisije CO₂. Većina procjena pokazuje da dizelski motori ispuštaju oko 10% manje CO₂ nego benzinski motori iste kategorije. [12]

Hibridno vozilo koristi kombinaciju motora s unutarnjim izgaranjem i električnog motora za pogon. Motor s unutarnjim izgaranjem koristi fosilna goriva kao i kod standardnih vozila, dok baterija osigurava dodatnu električnu energiju koja pomaže motoru primjerice tijekom ubrzavanja ili pokretanja vozila iz stanja mirovanja. Baterija se obično puni prilikom kočenja ili usporavanja vozila i ima kapacitet od 0,5 i 2 kWh, i ne mogu se puniti na punionicama ili utičnicama. Hibridna vozila općenito imaju određene prednosti u odnosu na dosadašnje tehnologije jer smanjuju potrošnju goriva i emisije CO₂ do 35 % kao i emisije zagađujućih tvari u zraku. Razina smanjenja emisija ovisi o naprednosti hibridnog sustava čiji je sklop prikazan na slici broj 3. Benzinski hibridi nalaze se među najčišćim komercijalno dostupnim vozilima kada je riječ o reguliranim zagađivačima. [13]



Slika 3. Sklop hibridnog vozila

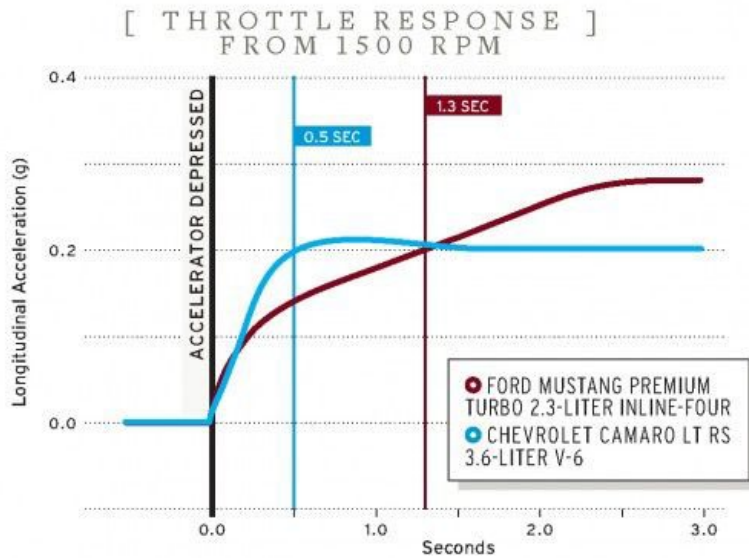
Izvor [14]: https://automania.hr/audi_a3_sportback_e_tron_je_spreman_za_serijsku_proizvodnju/

Benzinski automobili značajno doprinose zagađenju zraka. Prilikom sagorijevanja benzina u motorima nastaju razni štetni plinovi poput ugljičnog dioksida (CO₂), ugljičnog monoksida (CO) i dušikovih oksida (NO_x). Ugljični monoksid je otrovan plin koji može uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme posebno u urbanim područjima s velikim prometom. Hlapljivi organski spojevi koji također nastaju iz ispušnih plinova benzinskih motora, mogu reagirati s NO_x i sunčevom svjetlošću te stvoriti prizemni ozon još jedan opasan zagađivač. Sve ove emisije doprinose smanjenju kvalitete zraka.[15]

Motori s unutarnjim izgaranjem doživjeli su značajan napredak tijekom posljednjih godina koji je usmjeren na povećanje učinkovitosti, smanjenje emisija i poboljšanje

performansi. Tehnološke inovacije poput turbo punjača i direktnog ubrizgavanja omogućile su motorima da iz manjeg obujma ostvare više energije što rezultira boljim omjerom potrošnje goriva i izlazne snage. Izravno ubrizgavanje funkcionira tako što se precizno raspršuje gorivo i zrak izravno u svaki cilindar odnosno prostor za izgaranje. Dok elektroničko ubrizgavanje goriva (EFI) raspršuje smjesu goriva i zraka u usisni razvodnik, odakle se usisava u cilindre prilikom otvaranja ventila, međutim nova tehnologija omogućuje preciznije ubrizgavanje. Ova metoda značajno poboljšava potrošnju goriva u modernim vozilima jer omogućuje točnije doziranje goriva za svaki cilindar. Osim toga tehnologija izravnog ubrizgavanja primijenjena je i u suvremenim dizelskim i turbo-dizelskim motorima koji se kod Volkswagena nazivaju kraticom "TDI" (Turbo Direct Injection). [16]

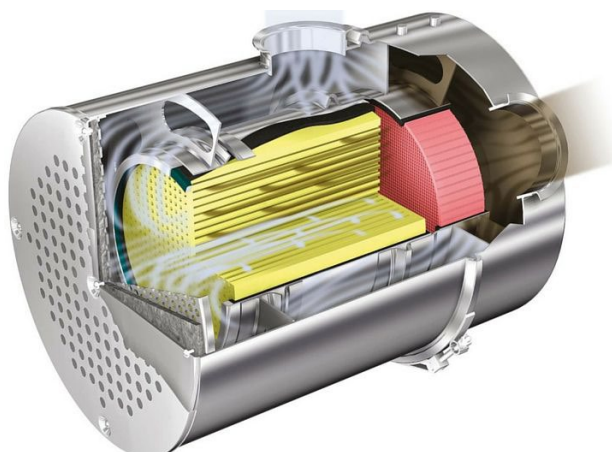
Kada su turbo punjači prvi put uvedeni u cestovne automobile 1970-ih godina, uglavnom su se povezivali sa sportskim vozilima. No danas su turbopunjači postali ključni za povećanje učinkovitosti rada motora, smanjenje potrošnje goriva, a pri tome i za smanjenje emisija štetnih plinova. Funkcioniraju tako da pomoću propelera turbine, kojeg pokreću ispušni plinovi, ubrizgavaju smjesu zraka i goriva u motor čime se poboljšava izgaranje i povećava snaga. Automobili s turbopunjačem mogu generirati više snage iz manjeg motora i postići bolju učinkovitost izgaranja goriva. S druge strane automobili bez turbopunjača oslanjaju se na prirodni usis zraka što može ograničiti njihovu snagu i učinkovitost. Dok su atmosferski motori jednostavniji i lakši za održavanje, turbodizelski motori nude značajne prednosti u performansama i ekonomičnosti. Automobili s turbopunjačem pružaju bolje ubrzanje u usporedbi s onima bez turba zbog sposobnosti turbopunjača da komprimira zrak i gorivo u motoru čime se povećava snaga i učinkovitost izgaranja. Ovo omogućuje brže ubrzanje i bolje performanse pri većim brzinama. Nasuprot tome automobili bez turbopunjača imaju slabije ubrzanje jer koriste samo prirodni usis zraka što je i prikazano na grafikonu broj 1 gdje se vidi pad ubrzanja kod postignutog broja okretaja. Turbo motori omogućuju brže i snažnije ubrzanje zahvaljujući dodatnom zraku i gorivu koje usmjeravaju u motor, ali bitno je spomenuti i tzv. turbo rupu koja nastaje dok se propeler turbine ne zavrti sa ispušnim plinovima motora. [16]



Grafikon 1. Razlika ubrzanja automobila bez turbo punjača i sa turbo punjačem

Izvor [17]: <https://www.caranddriver.com/news/a15348405/turbo-vs-non-turbo-putting-throttle-response-to-the-test/>

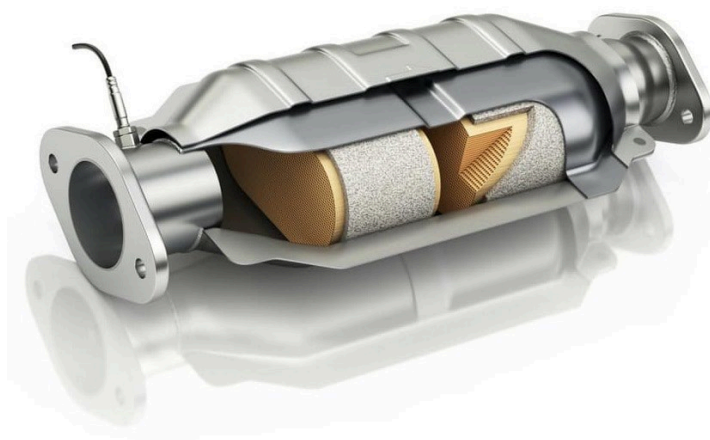
DPF ili Diesel Particulate Filter je uređaj koji zadržava i pohranjuje čestice čađe iz ispušnih plinova dizelskih automobila, sam presjek DPF filtera prikazan je na slici broj 4. Ovaj filter smanjuje štetne emisije no budući da ima ograničen kapacitet prikupljena čađa mora se povremeno ukloniti kroz proces poznat kao regeneracija samog filtera. Tijekom regeneracije višak čađe izgara u filteru čime se smanjuju štetni ispušni plinovi i sprječava pojava crnog dima koji se često vidi kod dizelskih vozila prilikom ubrzavanja. S uvođenjem Euro 5 norme za emisije 2009. godine DPF je postao obavezan za sva moderna dizelska vozila što je doprinijelo smanjenju emisija CO₂ i PM čestica. Kratka putovanja pri niskim brzinama glavni su uzrok začepljenih DPF filtera. Zbog toga proizvođači automobila često preporučuju vozačima koji se kreću uglavnom po gradu ili na kratkim relacijama da odaberu benzinski ili električni automobil umjesto dizelskog. Loše servisiranje također negativno utječe na DPF. Filter čestica u loše održavanom automobilu može otkazati brže nego kod dobro održavanog automobila, iako bi trebao trajati minimalno nekih 160 000 – 200 000 kilometara. Važno je koristiti odgovarajuću vrstu ulja koju preporučuje sam proizvođač jer neka ulja sadrže aditive koji mogu začepiti filtre. Izmjene performansi, upotreba goriva niske kvalitete pa čak i često pokretanje automobila s malo goriva mogu oštetiti DPF jer automobil može izbjeći regeneraciju filtera kako bi uštedio gorivo. [18]



Slika 4. Presjek DPF filtera

Izvor [18]: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/diesel-particulate-filters/>

Katalizator je dio automobila koji ima za cilj pretvoriti otrovne plinove i zagađivače sadržane u ispušnim plinovima motora s unutarnjim izgaranjem u manje štetne zagađivače. Trosmjerni katalizatori (TWC) čiji je presjek prikazan na slici broj 5, a glavna je tehnologija koja se koristi za kontrolu emisija iz motora s prisilnim paljenjem pomoću svjeće. Katalizator koristi keramičku ili metalnu podlogu s aktivnim premazom koji uključuje aluminijev oksid, cerijev oksid i druge okside te kombinacije plemenitih metala kao što su platina, paladij i rodij. Trosmjerni katalizatori rade u sustavu zatvorene petlje s lambda sondom ili senzorom kisika za regulaciju omjera zraka i goriva na benzinskim motorima. Katalizator zatim istovremeno oksidira ugljični monoksid i ugljikovodike u ugljični dioksid i vodu, dok reducira i spojeve NO_x-a u dušik. Toplinski izdržljiviji katalizatori s povećanom stabilnošću na visokim temperaturama omogućuju postavljanje katalizatora bliže motoru i produžuju njegov životni vijek, osobito tijekom zahtjevnih uvjeta vožnje. [19]



Slika 5. Presjek trosmjernog katalizatora

Izvor [20]: <https://www.ecotradegroup.com/en/FAQ/what-is-a-catalytic-converter>

GPF filter ili Gasoline Particulate Filter temelji se na dokazanoj tehnologiji zidnog protoka DPF-a. Dok je svrha DPF-a smanjenje emisija čestica iz dizelskih motora, GPF-ovi su razvijeni za smanjenje emisija finih čestica iz benzinskih vozila. GPF-ovi imaju istu sačastu strukturu prikazanu na slici broj 6 kao DPF filteri, ali su izrađeni od keramičkog materijala s mikrostrukturom stijenke posebno projektiranom za ispušne plinove benzinskih motora. Poroznost ovog materijala može biti veća nego kod DPF-a kako bi se omogućila filtracija finih čestica (PM_{2,5} ili manjih) koje prevladavaju u ispušnim plinovima benzinskih vozila. Također postoje razlike u konfiguracijama filtra unutar dizajna sustava. Ovi filtri mogu izdržati temperature iznad 1100°C i izuzetno su otporni na toplinske udare što omogućuje brzo zagrijavanje u hladnim uvjetima. Benzinski filtri čestica predstavljaju ključnu komponentu za kontrolu emisija u modernim benzinskim vozilima, posebno s obzirom na zahtjeve Euro 6 norme. Euro 6 norma, koja je stupila na snagu 2014. godine, postavlja stroge standarde za emisije ispušnih plinova kako bi se smanjio negativan utjecaj vozila na okoliš. [21]



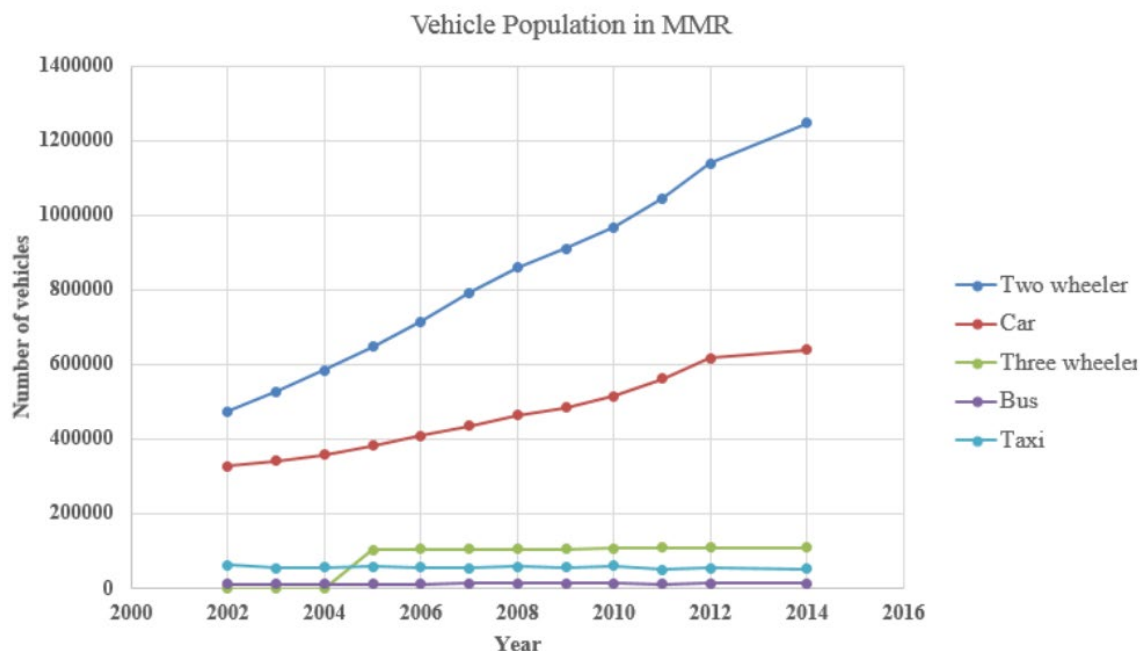
Slika 6. Presjek GPF filtera

Izvor [22]: https://www.researchgate.net/figure/Gasoline-Particulate-Filter-GPF-11_fig4_349196278

Starost voznog parka značajno utječe na emisije štetnih plinova s primjetnim razlikama između starijih i novijih vozila. Starija vozila često su opremljena manje naprednim sustavima za kontrolu emisija što rezultira većim emisijama štetnih plinova poput ugljičnog monoksida (CO), dušikovih oksida (NO_x) i čestica (PM). Ovi sustavi poput katalizatora i filtera čestica s vremenom mogu izgubiti učinkovitost zbog trošenja ili oštećenja što dodatno povećava emisije. Zastarjeli emisijski standardi također igraju ključnu ulogu. Vozila koja su proizvedena prije nego što su uvedeni stroži standardi emisije poput Euro 6 često emitiraju veće količine štetnih plinova. Na primjer starija vozila ne ispunjavaju standarde koje zahtijevaju niske emisije NO_x i PM a njihova učinkovitost u filtriranju i redukciji tih tvari nije na razini novijih modela. Ekološki utjecaj starijih vozila je značajan. Ona doprinose većem

zagađenju zraka što može imati negativne posljedice na zdravlje uključujući respiratorne bolesti i globalno zagrijavanje Zemlje. U mnogim zemljama vlasti nude poticaje za zamjenu starih vozila novijim modelima koji ispunjavaju strože emisijske norme. Ovi poticaji pomažu u smanjenju broja starih vozila na cestama čime se smanjuje ukupno zagađenje i poboljšava kvaliteta zraka. [23]

Motorna vozila poznata su kao najdominantniji izvor štetnih plinova u urbanim sredinama. Prometna zagušenja ili repovi čekanja mogu dovesti do značajnog pogoršanja kvalitete okolnog zraka osobito u blizini opterećenih prometnica i raskrižja. Rasprostranjena prometna zagušenja sada su sveprisutna značajka gradskog prijevoza u urbanim područjima. S povećanjem prometa i broja vozila što je prikazano na grafikonu broj 2. paralelno s tim dolazi i do povećanja zagušenja u gradovima, a samim tim i povećanja emisija stakleničkih plinova. Kad se vozilo češće zaustavlja i ponovno pokreće povećava se i emisija samih štetnih plinova u tim područjima. Repovi čekanja uzrokuju i veće potrošnje goriva jer vozila često rade u usporenim uvjetima što povećava količinu goriva koja se troši. Povećana potrošnja goriva dovodi do većih emisija stakleničkih plinova kao što je ugljični dioksid (CO₂). Studije su pokazale da uvođenje mjera za smanjenje gužvi, poput pametnog upravljanja prometom i poticanja alternativnih načina prijevoza, može značajno smanjiti emisije štetnih plinova. Također mjere za promicanje zelenijih tehnologija kod vozila doprinose smanjenju negativnih utjecaja prometnih zagušenja na okoliš. [24]



Grafikon 2. Povećanje broja prijevoznih sredstava od 2002 do 2014 godine

Izvor [24]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517305896>

2.4. Utjecaj emisija štetnih plinova na zdravlje i okoliš

Društveni troškovi mjere ukupnu štetu mirnog i lagodnog života ljudi, što se obično definira kao dug i zdrav život u čistom okolišu. Na dobrobit utječu zdravstveni problemi kao što su preuranjena smrtnost sa 76,1% ili bolesti koje čine 23,9% svih šteta na europskim lokacijama prema istraživanjima. Društveni troškovi uključuju izravno mjerljive gubitke poput zdravstvenih troškova (npr. bolnički prijemi), kao i neizravne gubitke koji se izražavaju na temelju iznosa novca koji su ljudi spremni platiti da ih izbjegnu (npr. skraćeni životni vijek i sl.). Veličina grada i razina onečišćenja ključni su čimbenici koji utječu na ukupne društvene troškove. Što je veća populacija, to je veći broj ljudi koji trebaju slobodne dane ili hospitalizaciju zbog bolesti uzrokovanih onečišćenjem. U apsolutnim brojkama, London bilježi najveći gubitak ugođe kod života ljudi s 8,8 milijuna stanovnika koji plaćaju ukupno 11,38 milijardi eura godišnje. Nakon Londona slijede Bukurešt (6,35 milijardi eura), Berlin (5,24 milijarde eura), Varšava (4,22 milijarde eura), Rim (4,11 milijardi eura), Pariz (3,50 milijardi eura), Milano (3,50 milijardi eura), Madrid (3,38 milijardi eura) i Budimpešta (3,27 milijardi eura). Među europskim gradovima postoje značajne razlike u godišnjim troškovima po stanovniku. U prosjeku, svaki stanovnik europskog grada plaća gubitak od preko 1.276 eura godišnje. Bukurešt ima najveći gubitak po glavi stanovnika, iznad 3.000 eura, dok Santa Cruz de Tenerife na Kanarskim otocima bilježi najmanji gubitak, ispod 400 eura zbog malih emisija i manjeg broja stanovnika koji žive na tom području. U najvećim europskim gradovima građani gube svoje godišnje prihode koji su prikazani u postotcima na društvene troškove i to u Londonu građani gube 6,2% svojih prihoda, u Parizu gube 4,8%, u Berlinu gube 3,8%, u Madridu gube 3,1% i u Rimu gube 2,4% svojih prihoda. Najveći društveni troškovi povezani sa zdravljem, između 8 i 10% zarađenog dohotka, zabilježeni su u gradovima srednje i istočne Europe, poput Bugarske, Rumunjske i Poljske. [25]

Smanjenje emisija štetnih plinova iz prometa u europskim gradovima treba biti glavni prioritet za poboljšanje dobrobiti gradskog stanovništva u Europi. Prema najnovijem izvješću Europske agencije za okoliš (EEA), tri su glavna zagađivača koja su odgovorna za najveći broj preuranjenih smrtnih slučajeva diljem Europe. Na samom vrhu nalazi se zagađivač PM10 i PM2,5 čestice koje su odgovorne za 412 000 preuranjenih smrti, slijedi ih NO₂ koji je odgovoran za 71 000 preuranjenih smrti i prizemni ozon odnosno O₃ koji je također odgovoran za 15 000 preuranjenih smrtnih slučajeva diljem Europe. Ispušni plinovi dizelskih vozila izravno emitiraju veće razine dušikovih oksida (NO_x) u usporedbi s benzinskim motorima. Dio NO_x pretvara se u NO₂ kada dospije u atmosferu. Smanjenjem vremena provedenog u automobilima za 1 posto, primjerice zbog zabrane ulaska u gradska središta smanjile bi se emisije i uštedio bi se velik dio novca koji inače otpada na zagađenja. Građani

Londona, Pariza, Berlina, Madrida i Rima ostvarili bi uštede na troškovima zagađenja zraka i to redom od 13,16 milijuna eura, 15,64 milijuna eura, 3,93 milijuna eura, 3,67 milijuna eura i 3,83 milijuna eura. Smanjenje duljine i vremena putovanja na posao kao i broja automobila, dokazano pozitivno utječe na kvalitetu zraka i smanjenje emisija štetnih plinova unatoč tome što je danas broj automobila po kućanstvu i dalje raste. [25]

3. ALATI ZA IZRAČUN ZAGAĐENJA ZRAKA U CESTOVNOM PROMETU

Danas se u svijetu koriste razni alati za izračun i procijene emisija štetnih plinova na područjima gradova u cestovnom prometu te oni znatno olakšavaju pristup problemu, postupak analize samog problema i na kraju imaju bitnu ulogu u donošenju rješenja koje je potrebno za stanje određenog područja ili grada. Cestovni promet je jedan od glavnih izvora zagađenja zraka te proizvodi različite štetne plinove i zagađivače, a pomoću ovih alata mogu se procijeniti emisije štetnih plinova: ugljičnog dioksida (CO₂), dušikova oksida (NO_x), ugljičnog monoksida (CO) i sumporovog dioksida (SO₂). Kada govorimo o zagađivačima zraka alati nam to služe za procjene količine: čestica (PM_{2.5} i PM₁₀), policiklički aromatski ugljikovodici (PAH), ozon (O₃) i hlapljivih organskih spojeva. Neki od najpoznatijih alata za izračun štetnih plinova i zagađivača zraka su:

- COPERT (Computer Program to calculate Emission from Road Transport)
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook
- MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)
- HBEFA (Handbook Emission Factor for Road Transport)
- GREET (Greenhouse Gases, Regulateg Emissions, and Energy use in Transportation)
- TRACI (Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts)
- TREMOVE

U slijedeća 4 odlomka ovog rada bit će detaljnije objašnjena i prikazana 4 alata (COPERT (Computer Program to calculate Emission from Road Transport), EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), HBEFA (Handbook Emission Factor for Road Transport)) koji se najviše koriste u praksi i koji su priznati i verificirani u Europi.

COPERT (Computer Program to calculate Emission from Road Transport)

Copert je alat za izračun i procjenu emisija iz cestovnog prometa i jedan je od najkorištenijih i priznatih modela u Europi. Osnovna svrha ovog alata je u sastavljanju i izračunu ukupne količine emisija, no njegova primjena seže i dalje. Copert se može koristiti kao alat za procjenu kvalitete mjera za smanjenje emisija u različitim vrstama ekoloških studija. Također on služi kao referentni izvor podataka i informacija o razinama emisije i potrošnji energije za nove i postojeće tipove vozila na europskim cestama što je prikazano na slici broj 7, uključujući i starije tehnologije koje su još uvijek u upotrebi. Model se sastoji od tri glavne sekcije: ulazne sekcije, sekcije s faktorima emisije i sekcije rezultata, gdje su prikazane izračunate emisije. [26]

Procijenjene emisije su grupirane prema tri izvora: emisije koje nastaju tijekom termički stabiliziranog rada motora (vruće emisije) i emisije koje se javljaju prilikom pokretanja motora pri temperaturi okoline (učinci hladnog pokretanja i zagrijavanja). Model također uključuje emisije čestica koje ne potječu iz ispušnih plinova, poput onih iz trošenja guma i kočnica. Ukupne emisije izračunavaju se kao produkt podataka o aktivnosti koje unosi korisnik i faktora emisije koji ovise o brzini, a koje softver izračunava. Prostorno mjerilo modela može varirati od razine ulice ili samo jedne prometnice pa do razine kontinenta ako posjedujemo potrebne podatke za unos u program. Model se može koristiti za analizu trendova te kao ulaz za modeliranje kvalitete zraka i elaborate procjene utjecaja štetnih plinova, bilo izravno ili uz određene prilagodbe, ponekad u kombinaciji s drugim modelima emisija. [26]

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Pollutant	Urban Off Peak [g/km]	Urban Peak [g/km]	Rural [g/km]	Highway [g/km]
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	CO	0.16	0.16	0.25	0.53
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 5	CO	0.25	0.25	0.25	0.44
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6	CO	0.24	0.24	0.22	0.37
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 RDE	CO	0.24	0.24	55	0.37
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	CO	42.36	42.36	21.19	16.21
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/00-01	CO	54	32.27	14.57	18.66
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/02	CO	27.63	27.63	10.38	8.18
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/03	CO	29.39	29.39	10.52	7.93
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/04	CO	17.1	17.1	5.99	12
Passenger Cars	Petrol	Small	Improved Conventional	CO	9.69			
Passenger Cars	Petrol	Small	Open Loop	CO	11.47			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 1	CO	2.94			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 2	CO	1.04			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 3	CO	0.49			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 4	CO	0.16			
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 5	CO	0.25	0.25	0.25	0.44

Slika 7. Prikaz emisije po kategorijama

Izvor [27]: https://copert.emisia.com/mediawiki/COPERT_5_forms

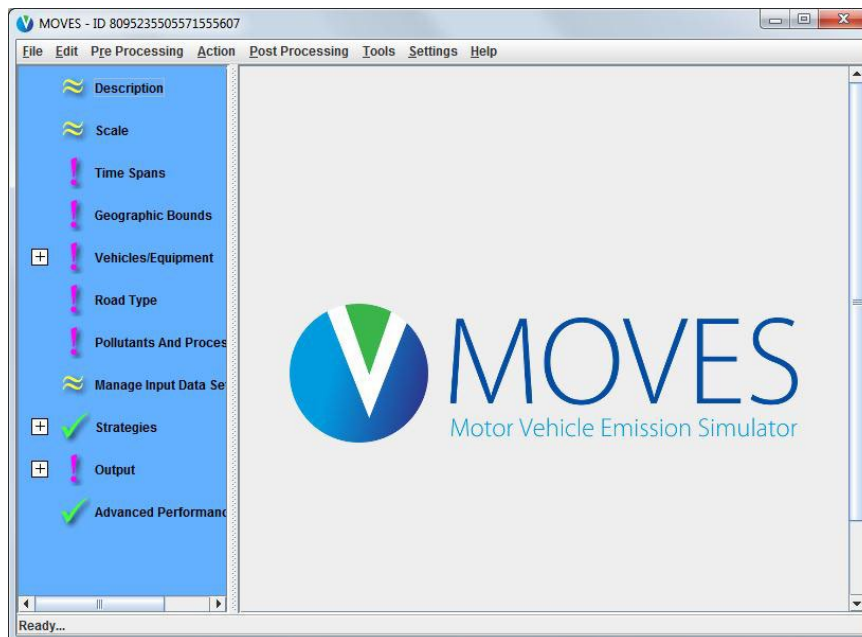
EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook

EMEP/EEA priručnik za inventar emisija štetnih tvari u zrak (ranije poznat kao EMEP CORINAIR priručnik za inventar emisija) pruža smjernice za procjenu emisija iz antropogenih i prirodnih izvora. Najčešće se koristi kao referenca u Europskim zemljama te je kao takav integriran i s Copert modelom. Informacije o najnovijim ažuriranjima priručnika dostupne su u dnevniku ažuriranja, koji je priložen uz objavljena poglavlja priručnika. On je dizajniran kako bi olakšao izvješćivanje o inventaru emisija za zemlje koje se pridržavaju UNECE - Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka i EU Direktive o nacionalnim gornjim granicama emisija (NECD). Priručnik je organiziran u nekoliko glavnih sekcija koje

pokrivaju različite aspekte procjene emisija, uključujući metodologiju, faktore emisije i specifične upute za različite sektore. Koristi se za analizu emisija, procjenu utjecaja i modeliranje kvalitete zraka u različitim scenarijima. Ovaj priručnik razvijen u suradnji s Europskom agencijom za okoliš (EEA) i EMEP (Europski program za mjerenje i evaluaciju onečišćenja zraka). [28]

MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)

Moves je model temeljen na prozorima koji se koristi za procjenu emisija stakleničkih plinova iz cestovnih vozila u svrhu izrade državnih i lokalnih inventara, a samo sučelje programa i izgled prikazani su na slici broj 8. Ovaj model procjenjuje emisije za mobilne izvore na nacionalnoj, regionalnoj i projektnoj razini, uključujući kriterije onečišćivača zraka, stakleničkih plinova i toksičnih tvari. Također Moves se može koristiti za procjenu ukupne potrošnje energije u cestovnom sektoru na istim razinama: nacionalnoj, regionalnoj i projektnoj. EPA-in (Environmental Protection Agency) Simulator emisija motornih vozila (MOVES) je napredni znanstveni sustav za modeliranje emisija, koji procjenjuje emisije mobilnih izvora na nacionalnoj, regionalnoj i projektnoj razini, uzimajući u obzir kriterije onečišćivača zraka, stakleničkih plinova i toksičnih tvari. [29]



Slika 8. Prikaz sučelja programa MOVES

Izvor [30]: <https://moves2014a.software.informer.com/>

Moves4 je najnovija službena verzija Moves-a, koja je ažurirana i poboljšana u odnosu na prethodnu verziju. Ova verzija uključuje ažuriranja u vezi s populacijom vozila, opskrbom gorivom, putničkim aktivnostima i stopama emisija. Također, uzima u obzir učinke EPA-inog

pravila niske razine NO_x za teške uvjete rada motora. MOVES 4 dodaje mogućnost modeliranja teških baterijskih električnih vozila, vozila na gorive ćelije. [29]

Najnovija verzija programa modelira emisije za različite vrste vozila, uključujući osobna vozila, kamione, autobuse i motocikle. Također uzima u obzir različite tehnologije pogona, poput električnih vozila i vozila na alternativna goriva. Može se primijeniti u izradi planova smanjenja emisija, analizama utjecaja novih propisa i za podršku u provedbi državnih i lokalnih planova zaštite okoliša. Program nudi grafičko korisničko sučelje koje omogućuje korisnicima da unose podatke, postavljaju simulacije i pregledavaju rezultate na intuitivan način. Povećana funkcionalnost uključuje mogućnost vizualizacije podataka i izvoza rezultata. [29]

HBEFA (Handbook Emission Factor for Road Transport)

Priručnik o faktorima emisije za cestovni promet HBEFA pruža faktore emisije za sve trenutno relevantne kategorije vozila, uključujući osobna vozila, lagana dostavna vozila, teške kamione, gradske autobuse, turističke autobuse i motocikle. Svaka kategorija je dodatno razvrstana prema različitim prometnim situacijama. Priručnik uključuje faktore emisije za sve regulirane tvari, kao i ključne neregulirane onečišćivače, zajedno s podacima o potrošnji goriva odnosno energije i emisiji CO₂. [31]

HBEFA je ključni izvor podataka za izračun emisija u mnogim studijama i primjenama. Razvijen je kroz zajednički rad agencija za financiranje i razvojnih partnera iz šest zemalja. U priručniku su navedeni faktori emisije za prometne aktivnosti na različitim razinama. Moguće razine raščlanjivanja uključuju faktore emisije prema vrsti emisije, kao što su hladni startovi, emisije pri radu i isparavanje. U priručniku su navedeni podaci za različite godine, od 1980. do 2020. godine, te su razdvojeni prema vrstama zagađivača poput CO, NO_x, PM, NH₃, N₂O, HC, kao i po potrošnji goriva. Osim toga, uključene su i prometne situacije, poput stani-kreni i semafora, start-stop uređaja na automobilima i slično. [31]

4. IZRAČUN EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA U GRADU ZAGREBU PRIMJENOM ALATA COPERT STREET LEVEL

Alat koji se koristi u izradi ovog rada je Copert Street Level, a to je alat za izračun emisija štetnih plinova koji se koristi za precizno računanje i tablični prikaz emisija štetnih plinova iz cestovnog prometa na gradskim područjima. Ovaj programski alat bio najpogodniji za izračun emisija koje su prikazane u ovom radu s obzirom na veliku dostupnost podataka i mreže. Model razvija i kontinuirano ažurira tvrtka EMISIA SA, koja je specijalizirana za analizu emisija i utjecaj prometa na zagađenje zraka. Metodologija na kojoj se model temelji zasniva se na izračunu faktora vruće emisije u skladu sa smjernicama vodiča EMEP/EEA (Europske agencije za okoliš) za emisije zagađujućih tvari u atmosferu. U početku Copert Street Level je razvijen da funkcionira zajedno s EMISIA-inim alatima za analizu prometa omogućujući precizno modeliranje i izračun emisija na različitim dijelovima cestovne mreže. Danas ovaj alat igra ključnu ulogu u procjeni utjecaja cestovnog prometa na kvalitetu zraka i emisije štetnih plinova dajući potrebne rezultate analiza za donošenje bitnih odluka u području zaštite okoliša i klimatskih promjena. [32]

Copert Street Level se često koristi u kombinaciji s GIS (Geografski informacijski sustavi) alatima što omogućava prostornu analizu i vizualizaciju emisija u gradskim područjima. Njegova primjena je ključna za izradu strategija za smanjenje zagađenja zraka omogućujući prikazivanje kritične točke zagađenja te se na temelju toga provode ciljane mjere za smanjenje emisija u gradovima. Program također podržava simulaciju scenarija što omogućava korisnicima da predviđaju učinke različitih promjena u prometnoj infrastrukturi na kvalitetu zraka. [32]

4.1. Metodologija

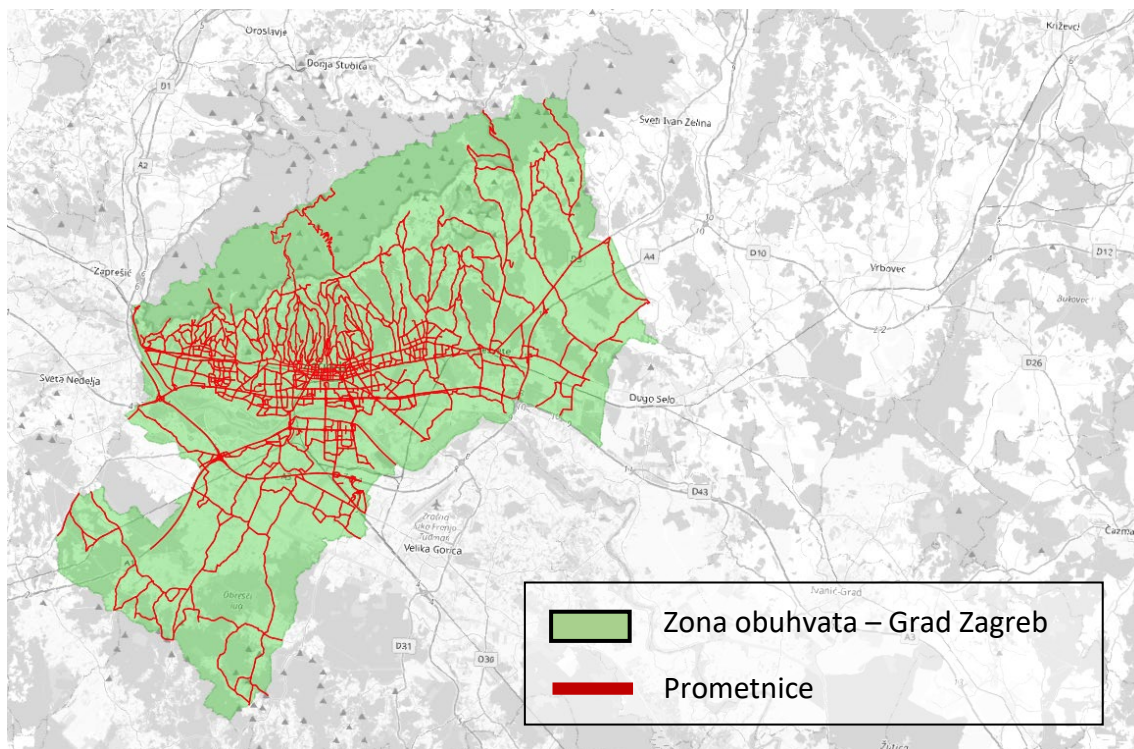
Za potrebe izračuna emisija štetnih plinova u ovom radu koristiti će se programski alati Copert Street Level i QGIS (GRASS GIS 7.2.2). U prvom koraku je kreirana zona obuhvata koja se odnosi isključivo na područje grada Zagreba u programu QGIS, a zatim nakon izračuna u Copert Street Levelu biti će prikazane i karte zagađenja i emisija odabranih štetnih plinova u programskom alatu QGIS na definiranoj zoni obuhvata i po svakoj od prometnica u toj zoni obuhvata.

U izradi ovog modela ključnu ulogu ima programski alat Copert Street Level, koji omogućava precizno izračunavanje emisija u gradskom prometu na razini pojedinačnih ulica. Podaci korišteni u modelu temelje se na informacijama i podacima iz Master plana grada Zagreba, koji pruža sveobuhvatan pregled prometne infrastrukture i dinamike odvijanja

prometa u zoni obuhvata. Prikaz rezultata i analiza provode se u programu QGIS, koji omogućava prostornu vizualizaciju emisija i prikaz kritično zagađenih prometnica u gradu Zagrebu. Ovaj model omogućuje analizu podataka koji osiguravaju prikaz utjecaja cestovnog prometa na kvalitetu zraka i emisije štetnih plinova u glavnom gradu Hrvatske. Izračun emisije štetnih plinova odnosi se na produkte koji nastaju prilikom izgaranja fosilnog goriva u motorima s unutarnjim izgaranjem kao što su benzin i dizel. Ti produkti uključuju nekoliko ključnih zagađivača i štetnih plinova:

- ugljikov monoksid (CO) koji je toksičan plin nastao nepotpunim izgaranjem,
- ugljikov dioksid (CO₂) koji je glavni staklenički plin povezan s globalnim zatopljenjem,
- dušikovi oksidi (NO_x) koji doprinose formiranju kiselih kiša i smanjuju kvalitetu zraka,
- lebdeće čestice (PM) koje mogu uzrokovati respiratorne i kardiovaskularne probleme,
- hlapljivi organski spojevi (VOC) koji mogu reagirati s drugim kemikalijama u atmosferi i uzrokovati smog i druge štetne učinke na zdravlje

U kontekstu modeliranja i analize zagađenja zraka u urbanim sredinama, poput grada Zagreba koji je zona obuhvata ovog rada sa svim linkovima odnosno prometnicama koje su preuzete iz Master plana grada što je i prikazano na slici broj 9. , alat Copert Street Level koristi specifične metodologije za što preciznije određivanje količine tih emisija na razini pojedinačnih linkova. Ove emisije se zatim vizualiziraju i analiziraju uz pomoć programa QGIS koji omogućava prikaz i prostornu analizu podataka vezanih za cestovni promet.



Slika 9. Prikaz zone obuhvata u programu QGIS

Metodologija izračuna temelji se na smjernicama Međuvladinog tijela za klimatske promjene (IPCC), konkretno na Revised 1996 IPCC Guidelines i 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Prema najnovijim smjernicama iz 2006. godine, postoje tri različite razine izračuna emisija štetnih plinova koje se razlikuju prema kvaliteti prikupljenih podataka i složenosti izračuna. Najprecizniji rezultati dobivaju se korištenjem složenog pristupa treće razine (Tier 3) koji zahtijeva opsežnu količinu podataka, strukturu voznog parka, duljinu cestovne mreže i operative brzine odnosno ograničenja brzine na prometnicama.

Emisije štetnih plinova u cestovnom prometu kategorizirane su prema nomenklaturi za izvještavanje (NFR), a koje su prikazane u tablici broj 1, koja se koristi za prijavu emisija u skladu s propisima Ekonomske komisije za Europu Ujedinjenih naroda (UNECE) i smjernicama Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka. Za detaljniju procjenu emisija, ove kategorije dodatno se razdvajaju prema broju prometnice, ograničenju brzine koja je postavljena na dionici, duljini dionice i prema PGDP-u odnosno prema prosječnom godišnjem dnevnom prometu. Emisije također ovise o vrsti goriva, tehnologiji izgaranja, uvjetima izgaranja, tehnologiji kontrole izgaranja i kvaliteti održavanja vozila što nije moguće obuhvatiti ovom analizom emisija.

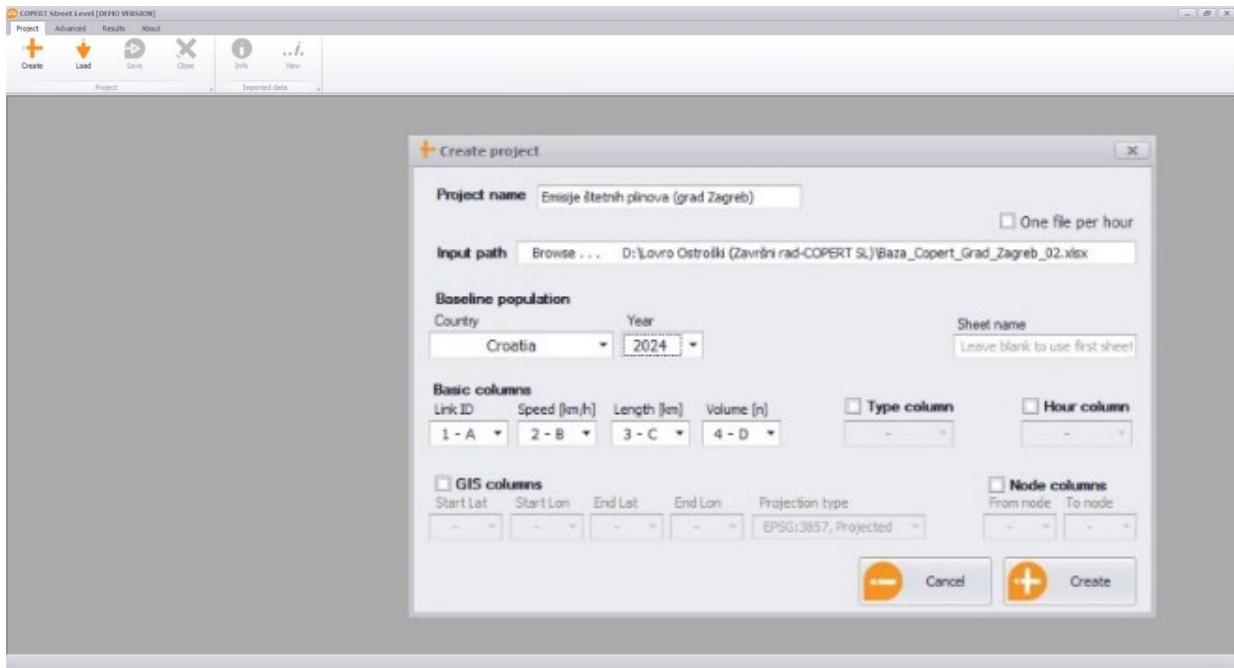
Tablica 1. Kategorije analizirane u skladu sa standardiziranom NFR nomenklaturom

KATEGORIJA	OPIS
1.A.3.b.i	Cestovni promet - osobna vozila
1.A.3.b.ii	Cestovni promet - gospodarska vozila
1.A.3.b.iii	Cestovni promet - teška teretna vozila
1.A.3.b.iv	Cestovni promet - motocikli

4.2. Izračun emisija štetnih plinova

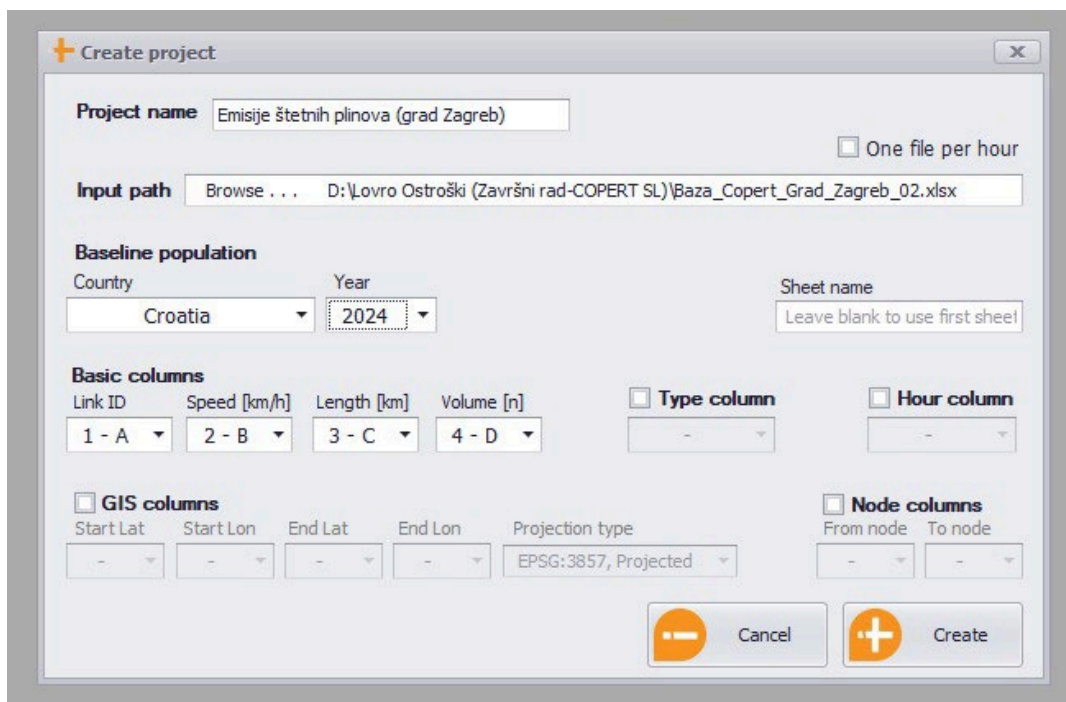
Izračun emisija štetnih plinova u programskom alatu Copert Street Levelu u kojem su izračunate emisije na području grada Zagreba u ovom radu i čije je sučelje prikazano na slici broj 10. , a koji se odvija kroz nekoliko bitnih koraka. Ovaj proces uključuje unos podataka, modeliranje i računanje emisija, analizu rezultata i njihov izvoz odnosno „export“ u željeni format (excel datoteka). Nakon što se program otvori treba se odabrati opcija za stvaranje novog projekta ili otvaranje postojećeg, ovisno o tome je li analiza već započeta. Ako se radi

o novom projektu, potrebno je definirati osnovne postavke, poput područja analize, vremenskog okvira i specifičnih parametara vezanih uz promet i emisije.



Slika 10. Prikaz sučelja programa COPERT Street Level-a

Potrebno je definirati osnovne postavke kod kreiranja novog projekta koje su prikazane na slici broj 11., naime sljedeći podatci su koji su uzeti iz Master plana grada Zgreba su redom oznaka prometnice ili Link ID, ograničenje brzine koje je postavljeno na određenoj prometnici u mjernoj jedinici km/h, duljina prometnice u mjernoj jedinici km te na kraju potrebno je i imati podatke o samom PGDP-u na svakoj od prometnica koje ulaze u izračun. Ovi podaci se moraju nalaziti u Excel tablicama zbog točnijeg izračuna. Podaci se u Copert Street Level unose putem opcije za uvoz podataka, gdje se korisnik može povezati s Excel datotekom i uvesti potrebne informacije u programski alat. Važno je da su svi podaci pravilno formatirani i da odgovaraju zahtjevima softvera kako bi se izbjegle pogreške pri unosu podataka jer u tom slučaju program neće funkcionirati.



Slika 11. Kreiranje projekta u programu COPERT Street Level-u

Nakon što su svi potrebni podaci uneseni Copert Street Level koristi ugrađene algoritme za izračun i procjene emisija štetnih plinova. Ovaj proces uključuje upotrebu složenih matematičkih modela. Program zatim generira procjene emisija za različite štetni plinove kao što su, kao što su ugljikov dioksid (CO₂), ugljikov monoksid (CO), dušikovi oksidi (NO_x), lebdeće čestice (PM) i hlapljivi organski spojevi (VOC). Copert Street Level nudi opcije za detaljnu analizu i vizualizaciju podataka te omogućuje korisnicima da pregledaju emisije na različitim razinama, od pojedinačnih ulica do cijelih područja odnosno zona. Za dodatnu analizu podatke postoji mogućnost izvoza ili „exporta“ rezultata u programu excel kao što je prikazano na slici broj 12. koja sadrži izvezene podatke iz programskog alata COPERT Street Level u mjernim jedinicama g/dan odnosno emisije na odabranim prometnicama prikazane su u gramima po danu.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	SPEED	L	PGDP	KOD		CO [g/dan]	CO2 [g/dan]	NOx [g/dan]	PM [g/dan]	VOC [g/dan]
2	1	40	0,108	98	10000694		6,828016709	1784,692867	1,156581532	0,043494996	2,252807607
3	2	40	0,108	3979	10000694		277,2314131	72462,17263	46,95957058	1,765985596	91,46858642
4	3	50	0,149	336	10000697		31,95423547	7880,464242	5,116661467	0,198008679	10,10723027
5	4	50	0,149	278	10000697		26,43832577	6520,14601	4,233428238	0,163828609	8,362529807
6	5	40	0,178	9062	10000698		1040,611939	271992,9935	176,2667846	6,62877873	343,3352014
7	6	50	0,208	98	10000699		13,01044934	3208,600653	2,083293931	0,080620983	4,115248119
8	7	50	0,205	3979	10000700		520,6317933	128396,7578	83,36599504	3,226164297	164,6775566
9	8	50	0,111	98	10000701		6,94307633	1712,282079	1,111757819	0,043023698	2,196117987
10	9	40	0,203	2096	10000702		274,4934971	71746,54182	46,4958015	1,748544858	90,56524974
11	10	50	0,121	28745	10000704		2219,987702	547487,1625	355,4748022	13,75644968	702,1894461
12	11	50	0,098	33254	10000705		2080,045588	512975,0295	333,0666172	12,88927972	657,925293
13	12	50	0,378	1655	10000739		399,2939071	98472,74739	63,93680584	2,474277913	126,2979823
14	13	50	0,378	1354	10000739		326,6730817	80563,2024	52,30842	2,02427329	103,3277752
15	14	50	0,043	5160	10000742		141,6188432	34925,6433	22,67667079	0,877560037	44,79450808
16	15	50	0,043	5991	10000742		164,4260639	40550,29632	26,32866951	1,018888019	52,00850734
17	16	50	0,152	4386	10000743		425,5152219	104939,3747	68,13548525	2,636761785	134,5918708
18	17	50	0,152	4292	10000743		416,3956526	102690,3321	66,67521722	2,580251159	131,7073209
19	18	50	0,514	438	10000746		143,6944898	35437,53347	23,00903303	0,890422058	45,45104197
20	19	50	0,769	6103	10000748		2995,522563	738747,4022	479,6570673	18,5621548	947,4936852
21	20	50	0,158	308	10000750		31,06066065	7660,093318	4,973578093	0,192471523	9,824589603
22	21	50	0,366	308	10000751		71,95064429	17744,2668	11,5210733	0,445851757	22,75822655
23	22	50	0,366	3340	10000751		780,2439997	192421,5945	124,9363144	4,834885936	246,7937554
24	23	50	0,146	3340	10000752		311,2448742	76758,34098	49,83798334	1,928670346	98,44778222
25	24	40	0,163	1417	10000756		149,0054655	38946,74	25,23968189	0,949176368	49,16224734
26	25	50	0,139	15571	10000758		1381,446881	340688,5689	221,2037285	8,560319719	436,9562135

Slika 12. Prikaz podataka iz programa Copert Street Level u program Excel

Prikaz dobivenih rezultata

Pri analizi emisija štetnih plinova u prometu ključan je izračun preciznih podataka kako bi se prikazao stvarni utjecaj na okoliš u ovom izračunu korišteni su podatci za zonu obuhvata (grad Zagreb) iz Master plana grada Zagreba. Za izračun emisija koristi se program COPERT Street Level koji omogućava detaljnu procjenu emisija na razini pojedinih ulica ili područja. Nakon što se podaci unesu u program i izvrši izračun, emisije budu prikazane u mjernoj jedinici (grama/danu). Međutim radi lakše interpretacije i usporedbe vrijednosti su pretvorene u mjernu jedinicu (tone/danu). Dobivena je emisija ugljičnog monoksida (CO) na području grada Zagreba iznosi 5.894.142 grama/danu odnosno 5,89 tona/danu. Dobivena emisija ugljičnog dioksida (CO₂) na području grada Zagreba iznosi 1.258.330.872 grama/danu odnosno 1.258 tona/danu. Dobivena emisija dušikovih oksida (NO_x) na području grada Zagreba iznosi 855.932 grama/danu odnosno 0,86 tona/danu. Dobivena emisija štetnih čestica (PM) na području grada Zagreba iznosi 31.344 grama/danu odnosno 0,03 tona/danu. Dobivena emisija hlapljivih organskih spojeva (VOC) na području grada Zagreba iznosi 1.616.516 grama/danu odnosno 1,62 tona/danu. Sve izračunate emisije i pretvorbe dane su u Tablici broj 2.

Tablica 2. Prikaz emisije štetnih plinova na području grada Zagreba

Vrsta štetnih plinova	grama/danu	tona/danu
CO	5.894.142	5,89
CO2	1.258.330.872	1.258
NOx	855.932	0,86
PM	31.344	0,03
VOC	1.616.516	1,62

Iz tablice broj 2. prikazane su vrijednosti emisija štetnih plinova u gradu Zagrebu vidljivo je kako je dominantna emisija ugljičnog dioksida (CO₂) s vrijednošću od 1.258 tone emitiranog plina po danu. To je plin koji nastaje kao produkt potpunog izgaranja fosilnih goriva (dizel i benzin) u motoru, uzimajući u obzir da ga emitiraju i dizelski i benzinski automobili bilo je i za očekivati da će emisija upravo tog plina biti najveća što je potvrđeno i samim izračunom u programu Copert Street Level-u.

5. EVALUACIJA REZULTATA I KARTA EMISIJE

Postupak analize

Analiza emisija štetnih plinova u prometu ključna je za procjenu njihovog utjecaja na okoliš. U ovom radu nakon izračuna u programu Copert Street Level-u prikazane se karte zagađenja koje se nalaze kao prilog u nastavku rada izrađene u programskom alatu QGIS. Rezultati su prvo prikazani u gramima po danu što je referenta mjerna jedinica u kojoj Copert Street Level radi izračune emisija štetnih plinova, ali zbog lakše i jednostavnije interpretacije i vizualizacije podataka napravljena je pretvorba u mjernu jedinicu tona/danu.

Karte emisija CO₂, NO_x i PM čestica na području grada Zagreba

Karte emisija koje se nalaze kao prilog ovog rada prikazuju emisije 2 najštetnija plina (CO₂ i NO_x-a) i emisiju štetnih PM čestica na području grada Zagreba po svakoj od prometnica. Na kartama emisije može se lijepo vidjeti kako različiti faktori u prometu i način vožnje utječu na količinu emisija štetnih plinova i PM čestica na području periferije grada i u samom centru grada. Na kartama postoji legenda prema kojoj debljina linka određuje količinu emisije na obuhvaćenim prometnicama. Najtanji link predstavlja najmanju emisiju dok najdeblji link predstavlja najveću emisiju. Iz karata se jasno vidi kako je najveća emisija navedenih štetnih plinova i PM čestica najveća na zapadnim i istočnim stranama grada zbog velikog broja vozila koja tamo svakodnevno prometuju.

Emisije CO₂

Od svih analiziranih štetnih plinova najviše emisije su postignute upravo kod ugljičnog dioksida (CO₂). Prometnice na rubovima grada koje imaju emisije CO₂ veće od 1,1 t/danu pa do 20,79 t/danu su: Slavonska Avenija, Ul. Vjekoslava Heinzela, Zagrebačka Avenija, Jadranska Avenija, Zagrebačka obilaznica i Avenija Dubrovnik što je na karti vidljivo iz makro prikaza. Emisije CO₂ nisu zanemarive ni u centru grada što je vidljivo iz mikro prikaza na karati emisije gdje se emitira od 0,31 do 1,1 t/danu tog plina, a na to značajno utječu repovi čekanja koji se stvaraju u centru grada, vožnja stani – kreni te velik broj automobila koji ulaze u sam centar grada koji predstavlja atraktor putovanja za ljude.

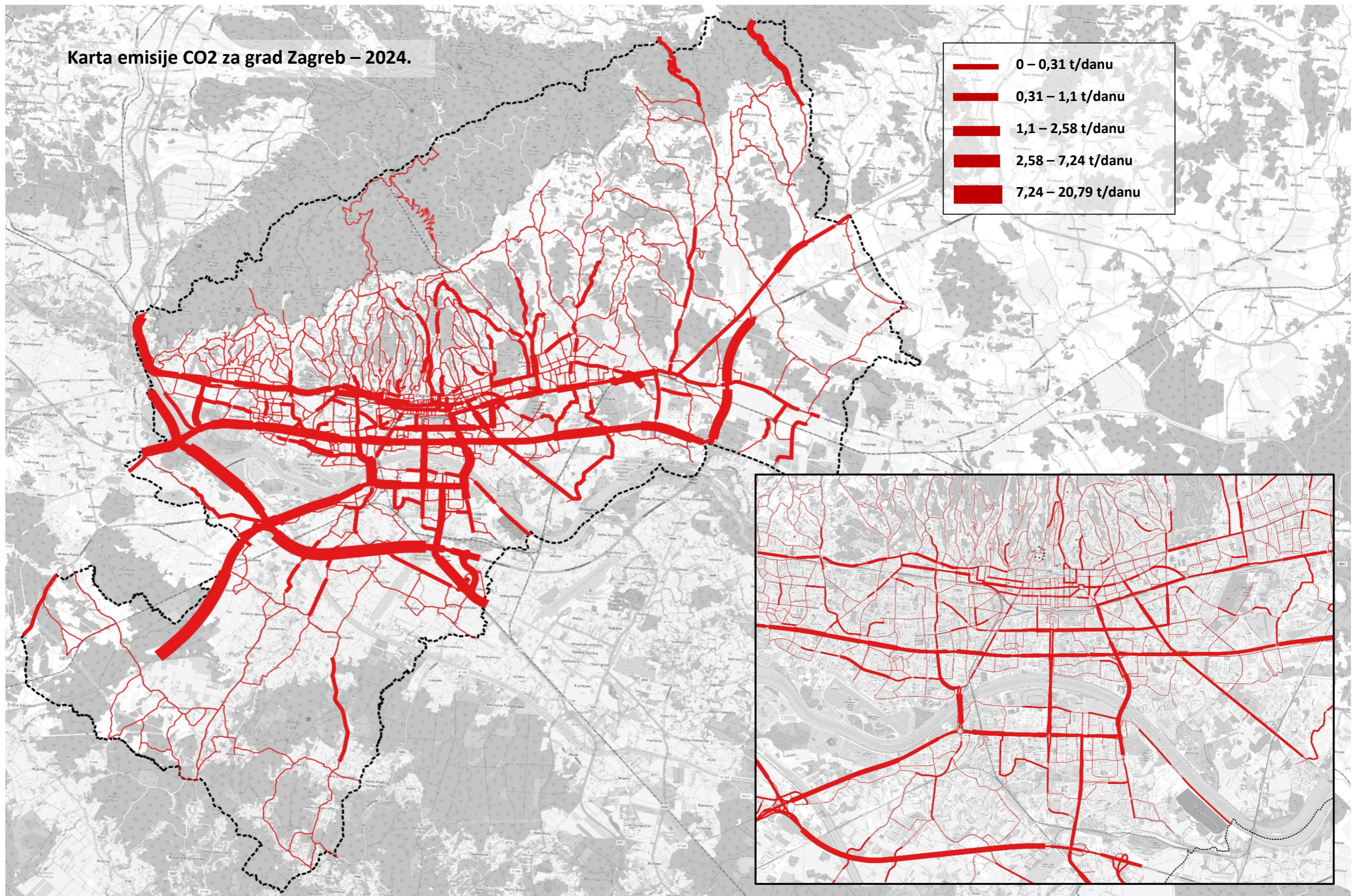
Emisije NO_x-a

Paralelno s emisijama CO₂ na počecima zone obuhvata koja predstavlja sam ulaz u grad Zagreb vidljivo je značajno emitiranje štetnih NO_x plinova. Emitiranje NO_x je značajno manje u usporedbi sa štetnim plinom CO₂, ali prostorna razdioba je jako slična. Prometnice koje imaju emisije NO_x od 0,89 t/danu do 15,95 t/danu su: Slavonska Avenija, Ul. Vjekoslava Heinzela, Zagrebačka Avenija, Jadranska Avenija, Zagrebačka obilaznica i Avenija Dubrovnik

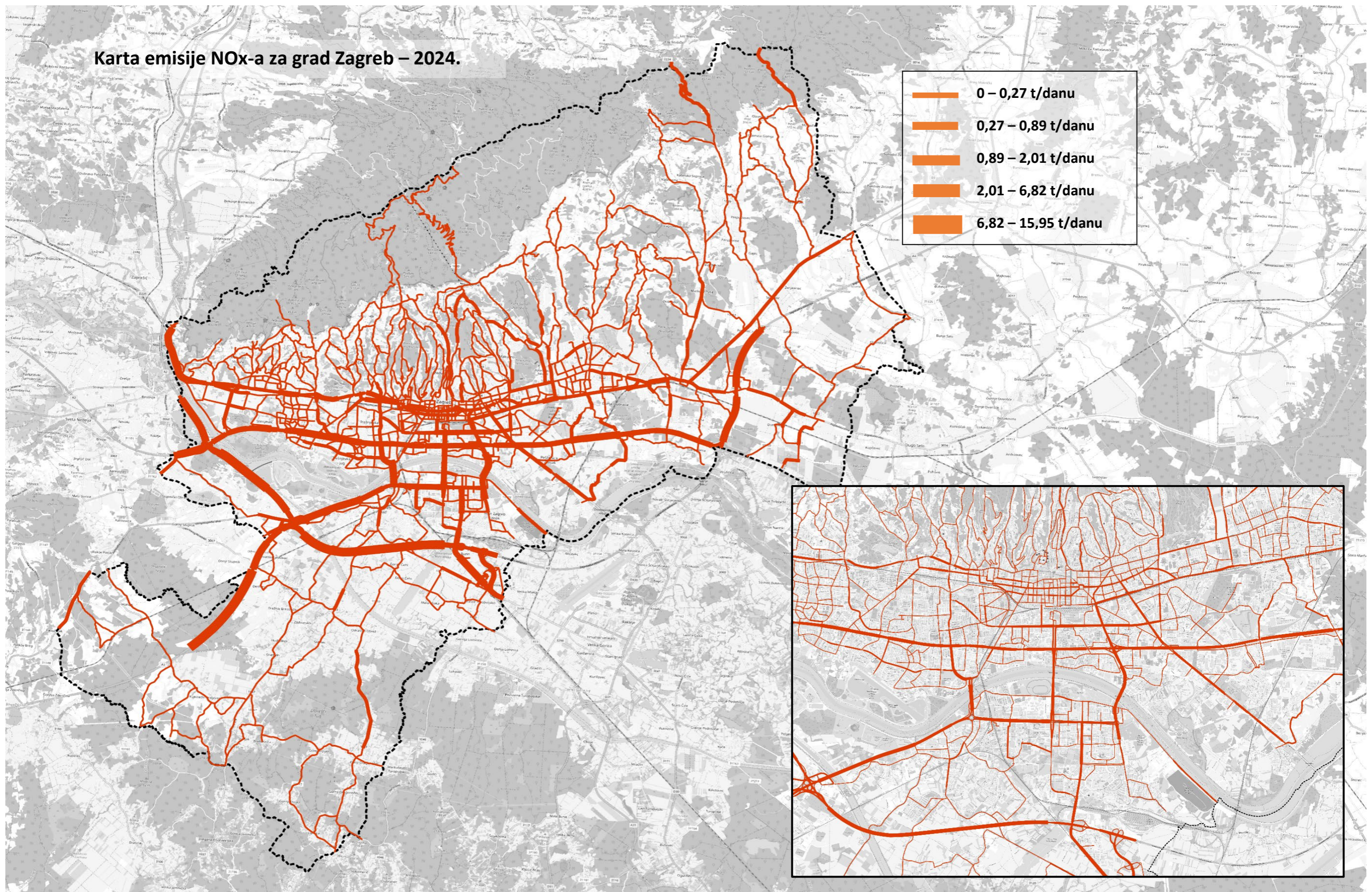
što je na karti vidljivo iz makro prikaza. Ove prometnice su jako opterećene tijekom vršnih sati te je ovakav rezultat bio očekivan obzirom na veliki PGDP koji je izmjeren na tim prometnicama. Emisije NOx u centru grada ostvaruju vrijednosti emisija od 0,29 t/danu da 0,89 t/danu što je manje u odnosu na emisije CO2 u centru grada što je vidljivo iz mikro prikaza na karti emisije .

Emisije PM čestica

PM čestice od 2,5 mikrona i 10 mikrona debljine jedne su od najopasnijih za ljudsko zdravlje jer zbog svoje veličine ulaze duboko u pluća čovjeka. Ove čestice najviše emitiraju dizelski automobili, ali novija istraživanja i standardi pokazuju da i benzinski automobili emitiraju PM čestice od 2,5 mikrona. Prema dobivenim kartama emisije vidljivo je da se PM čestice emitiraju najviše u rubnim dijelovima grada Zagreba (zapadni i istočni dio) gdje je i najveće prometno opterećenje. Vrijednosti emisija se kreću od 85 do 495 g/danu , a to su redom prometnice: Slavonska Avenija, Ul. Vjekoslava Heinzela, Zagrebačka Avenija, Jadranska Avenija, Zagrebačka obilaznica i Avenija Dubrovnik. U centru grada Zagreba emisije PM čestica kreću se od 33,9 do 85,6 g/danu što predstavlja zdravstveni problem za ljude koji žive na tom području. Emisije PM čestica su na kartama emisija prikazane u mjernoj jedinici g/danu jer bi se pretvaranjem u mjernu jedinicu t/danu izgubio velik dio emisije ovih opasnih čestica za ljudski organizam i podatci ne bi bili relevantni.

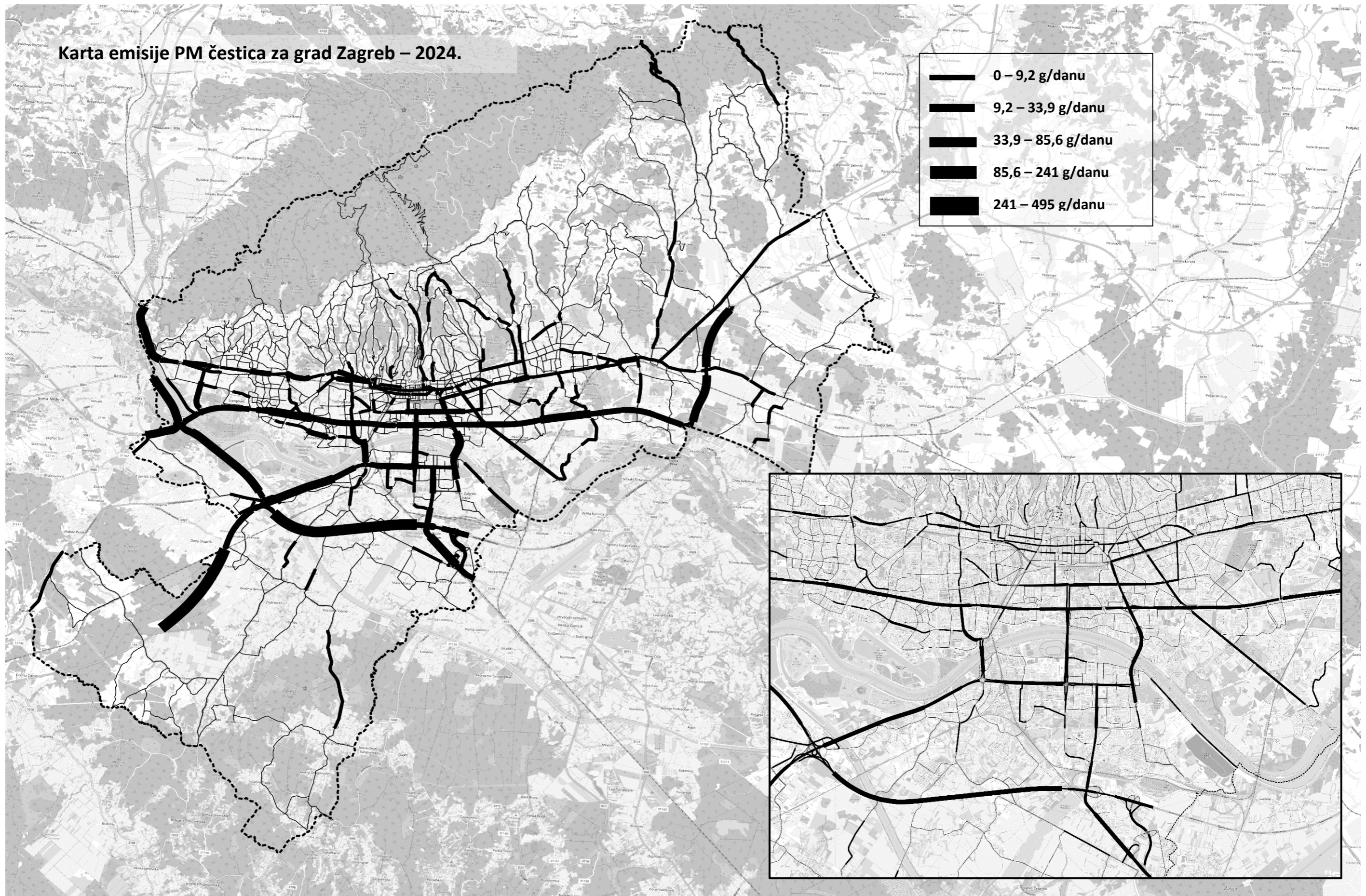


Slika 13. Karta emisije CO2 na području grada Zagreba



Slika 14. Karta emisije NOx na području grada Zagreba

Karta emisije PM čestica za grad Zagreb – 2024.



Slika 15. Karta emisije PM čestica na području grada Zagreba

6. ZAKLJUČAK

Emisije štetnih plinova općenito, a posebno iz grane cestovnog prometa predstavljaju ozbiljan problem s kojim se suočavaju urbane sredine odnosno veliki gradovi. Njihov utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje ne može se zanemariti. Grad Zagreb kao i mnogi drugi veliki gradovi suočen je s izazovom smanjenja emisija kako bi se poboljšala kvaliteta zraka, smanjenje smoga u gradu i kako bi se smanjio doprinos klimatskim promjenama. Jedno od vatrogasnih rješenja su bili zakoni koji propisuju gornje granice emisije za automobile koje su sami proizvođači morali zadovoljiti no emisije iz prometa se nisu značajno smanjile. Emisije cestovnog prometa imaju utjecaj i na zdravstveno stanje ljudi stoga je jako složeni problem za koji je potrebno naći rješenje.

Korištenjem alata za izračun i procjenu emisija poput Copert Street Level-a te korištenjem naprednih geo informacijskih alata poput QGIS-a izrađene su mape emisija štetnih plinova i PM čestica (CO₂, NO_x i PM čestice) na području grada Zagreba koji predstavlja zonu obuhvata u ovom radu.

Analize i karte emisija omogućuju prikaz specifičnih područja gdje su emisije najviše što je podloga za uvođenje konkretnih mjera za smanjenje emisija u gradu Zagrebu. Ove mjere uključuju uspostavu održivog prometnog sustava, poticanje korištenja ekološki prihvatljivih vozila i unapređenje javnog prijevoza što predstavlja ključ prema uspjehu za smanjenje emisija u gradu Zagrebu.

Rezultati izračuna emisije na području grada Zagreba ukazuju na visoke emisije CO₂ od 1.258 t/danu na području cijelog grada što uključuje sve prometnice, ovaj štetni plin je dominantan kao što je i bilo za očekivati s obzirom na veliki broj automobila i teretnih kamiona koji prometuju gradom svakog dana. Vrijednosti ostalih štetnih plinova i zagađivača koji se emitiraju na području grada su: CO sa emisijom od 5,89 t/danu, NO_x sa emisijom od 0,86 t/danu, PM čestice sa emisijom od 0,03 t/danu i VOC odnosno hlapljivi organski spojevi sa emisijom od 1,62 t/danu.

S obzirom na sve dosad navedeno može se zaključiti da precizna analiza i izračun emisija štetnih plinova uz pomoć alata poput Copert Street Level-a i vizualizacija putem karata emisija igraju veliku ulogu u smanjenju zagađenja i borbi protiv klimatskih promjena zbog lakše lokalizacije problema i prikaza područja s najvećim emisijama jer je sama emisija štetnih plinova u pravilu nevidljiva što je jako bitno kod donošenja rješenja i postupka za smanjenje emisije.

LITERATURA

- [1] WHO. Home. *Health topics. Air pollution*. (Pristupljeno: 2024, 08. 29). Preuzeto s: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- [2] Airly. *The Most Dangerous Types Of Air Pollution*. (Pristupljeno: 2024, 08. 29). Preuzeto s: <https://airly.org/en/the-most-dangerous-types-of-air-pollution/>
- [3] THG/ECO. *More Trees*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://www.moretrees.eco/blogs/why-is-carbon-dioxide-harmful-to-the-environment>
- [4] MAN. ES. *Discover | Stories Decarbonization Glossary MAN Energy Solutions Hydrocarbons*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://www.man-es.com/discover/decarbonization-glossary---man-energy-solutions/hydrocarbons>
- [5] REGIONALNI. CENTAR. *ČISTOG OKOLIŠA*. (Pristupljeno: 2024, 08. 29). Preuzeto s: <https://rcco.hr/stari-automobili-nuklearna-bomba-za-okolis/>
- [6] Savez. Za. Željeznicu. *25% automobila je uzrok 90% zagađenja zraka koji udišemo*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://szz.hr/25-automobila-je-uzrok-90-zagadenja-zraka-koji-udisemo>
- [7] Kunak. *Air pollution from transport, a reason to rely on air quality monitoring*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://kunakair.com/air-pollution-from-transport/>
- [8] Airly. *How Public Transport Reduce Air Pollution? 4 Facts*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://airly.org/en/how-public-transport-reduce-air-pollution-4-facts/>
- [9] T&E. *Europe's leading advocates for clean transport & energy*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://www.transportenvironment.org/>
- [10] Constellation. *What Is an Electric Vehicle and How Does It Work?*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://www.constellation.com/energy-101/energy-innovation/what-is-an-electric-vehicle.html>
- [11] AudiWorld. *Audi Announces New Tri-Motor E-Tron Performance Models*. (Pristupljeno: 2024, 08. 30). Preuzeto s: <https://www.audiworld.com/how-tos/slideshows/audi-announces-new-tri-motor-e-tron-performance-models-606904#sporty-alternatives>

- [12] EPA. *Particulate Matter (PM) Pollution*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- [13] EEA. *Explaining road transport emissions*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions/file>
- [14] AUTOMANIA. *Audi A3 Sportback e-tron je spreman za serijsku proizvodnju*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: https://automania.hr/audi_a3_sportback_e_tron_je_spreman_za_serijsku_proizvodnju/
- [15] Youmatter. *Diesel Or Petrol Engines: Which Pollutes More? A Complex Question*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://youmatter.world/en/category-economy-business/diesel-or-petrol-what-pollutes-more/>
- [16] Carloans. *Top ten advances in engine technology*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.carloans.com.au/secured-car-loans/top-ten-advances-in-engine-technology>
- [17] Caranddriver. *Turbo vs. Non-Turbo: Putting Throttle Response to the Test*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.caranddriver.com/news/a15348405/turbo-vs-non-turbo-putting-throttle-response-to-the-test/>
- [18] RAC. *Diesel particulate filters: everything you need to know about DPFs*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/diesel-particulate-filters/>
- [19] AECC. *Catalysts*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.aecc.eu/emissions-control-technology/catalysts/>
- [20] Ecotrade. *What is a catalytic converter?*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.ecotradegroup.com/en/FAQ/what-is-a-catalytic-converter>
- [21] Corning. *What is a Gasoline Particulate Filter (GPF)?*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.corning.com/worldwide/en/products/environmental-technologies/emissions-control/what-is-a-gasoline-particulate-filter.html>
- [22] Researchgate. *Gasoline Particulate Filter (GPF)*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: https://www.researchgate.net/figure/Gasoline-Particulate-Filter-GPF-11_fig4_349196278

- [23] Hindustantimes. *Strong correlation of car's age, mileage on emissions: Study*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.hindustantimes.com/cities/delhi-news/strong-correlation-of-car-s-age-mileage-on-emissions-study-101659981482239.html>
- [24] ScienceDirect. *Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai metropolitan region. Emissions*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517305896>
- [25] Europeandatajournalism. *Road traffic pollution costs billions in lost wellbeing in European cities*. (Pristupljeno: 2024, 08. 31). Preuzeto s: https://www.europeandatajournalism.eu/cp_data_news/road-traffic-pollution-costs-billions-in-lost-wellbeing-in-european-cities/
- [26] Joint Research Center (JRC). *Computer model to calculate emissions from road traffic*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: <https://web.jrc.ec.europa.eu/policy-model-inventory/explore/models/model-copert/>
- [27] COPERT. *COPERT 5 forms*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: https://copert.emisia.com/mediawiki/COPERT_5_forms
- [28] Tfeip-secretariat. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: <https://www.tfeip-secretariat.org/guidebook>
- [29] Software Informer. *Moves2014a*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: <https://moves2014a.software.informer.com/>
- [30] EPA. *Tools to Develop or Convert MOVES Inputs*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: <https://www.epa.gov/moves/tools-develop-or-convert-moves-inputs>
- [31] Dr. Worth & Dr. Theloke. *HBEFA*. (Pristupljeno: 2024, 08. 15). Preuzeto s: https://www.epd.gov.hk/epd/sites/default/files/epd/english/environmentinhk/air/guide_ref/files/HBEFA_COPERT.pdf
- [32] Chariton Kouridis. Leonidas Ntziachristos. Thomas Papageorgiou. „*Calculating emissions from road transport on a street level with COPERT4 and COPERT Street Level*“ (Pristupljeno: 2024. 09. 03). Preuzeto s: <https://copert.emisia.com/wp-content/uploads/files/workshops/2016/07%20Copert%20Street%20Level%20presentation.pdf>

POPIS SLIKA:

Slika 1: Sklop potpuno električnog vozila.....	7
Slika 2: Prikaz veličine PM čestica 2.5 i 10 mikrona	8
Slika 3: Sklop hibridnog vozila	9
Slika 4: Presjek DPF filtera	12
Slika 5: Presjek trosmjernog katalizatora	12
Slika 6: Presjek GPF filtera	13
Slika 7: Prikaz emisije po kategorijama	18
Slika 8: Prikaz sučelja programa MOVES	19
Slika 9: Prikaz zone obuhvata u programu QGIS	22
Slika 10: Prikaz sučelja programa COPERT Street Level-a	24
Slika 11: Kreiranje projekta u programu COPERT Street Level-u	25
Slika 12: prikaz podataka iz programa Copert Street Level u program Excel	26
Slika 13. Karta emisije CO2 na području grada Zagreba	30
Slika 14. Karta emisije NOx na području grada Zagreba	31
Slika 15. Karta emisije PM čestica na području grada Zagreba.....	32

POPIS TABLICA:

Tablica 1 Kategorije analizirane u skladu sa standardiziranom NFR nomenklaturom.....	23
Tablica 2 Prikaz emisije štetnih plinova na području grada Zagreba	27

POPIS GRAFIKONA:

Grafikon 1: Razlika ubrzanja automobila bez turbo punjača i sa turbo punjačem	11
Grafikon 2: Povećanje broja prijevoznih sredstava od 2002 do 2014 godine	14

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten 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.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene na području Zagreba, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 10.09.2024.

Student/ica:

Lovro Ostroski

(ime i prezime, potpis)