

# Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene u Republici Hrvatskoj

---

**Manjarić, Jasmin**

**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:119:615494>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## ZAVRŠNI RAD

**UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA ZAGAĐENJE ZRAKA I  
KLIMATSKE PROMJENE U REPUBLICI HRVATSKOJ**

**THE IMPACT OF ROAD TRAFFIC ON AIR POLLUTION AND  
CLIMATE CHANGE IN THE REPUBLIC OF CROATIA**

Mentor: doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

Komentor: Marko Švajda mag. ing. traff.

Student: Jasmin Manjarić

JMBAG: 0135260204

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 11. lipnja 2024.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7479

Pristupnik: **Jasmin Manjarić (0135260204)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Gradski promet**


Zadatak: **Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene u Republici Hrvatskoj**

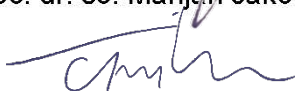
### Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati emisije štetnih plinova u cestovnom prometu na području Europske unije. 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 u Republici Hrvatskoj.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
\_\_\_\_\_  
doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

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

## SAŽETAK

Ovaj rad istražuje utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka i klimatske promjene u Republici Hrvatskoj. Cestovni promet je jedan od glavnih izvora emisije štetnih plinova, uključujući ugljikov dioksid [CO<sub>2</sub>], dušikove okside [NO<sub>x</sub>] i čestice [PM], koji značajno doprinose zagađenju zraka. U radu se analizira postojeća situacija u Republici Hrvatskoj, a također se razmatraju posljedice zagađenja zraka na zdravlje ljudi i ekosustave, kao i doprinos prometa klimatskim promjenama, posebno kroz emisiju stakleničkih plinova. U radu se također prikazuje trend promjene količine emisija prethodnih godina kao i prognozu budućih količina emisija ispušnih plinova, te uključujući promicanje održive mobilnosti i korištenje alternativnih izvora energije. Izračun emisija u radu se vrši pomoću alata COPERT, a dobiveni rezultati daju uvid u buduće kretanja emisija.

**Ključne riječi:** cestovni promet, zagađenje zraka, klimatske promjene, ispušni plinovi, Republika Hrvatska, izračun emisija, copert

## SUMMARY

This paper explores the impact of road traffic on air pollution and climate change in the Republic of Croatia. Road traffic is one of the main sources of harmful gas emissions, including carbon dioxide [CO<sub>2</sub>], nitrogen oxides [NO<sub>x</sub>], and particulate matter [PM], which significantly contribute to air pollution. The paper analyzes the current situation in the Republic of Croatia and examines the effects of air pollution on human health and ecosystems, as well as the contribution of traffic to climate change, particularly through the emission of greenhouse gases. The paper also presents the trend in emission changes over previous years and provides a forecast for future exhaust gas emissions, including the promotion of sustainable mobility and the use of alternative energy sources. Emission calculations are carried out using the COPERT tool, and the obtained results provide insight into future emission trends.

**Key words:** road traffic, air pollution, climate change, exhaust gases, Republic of Croatia, emission calculations, copert

## **SADRŽAJ:**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Uvod</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>2. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA U CESTOVNOM PROMETU EUROPSKE UNIJE</b> .....                   | <b>2</b>  |
| 2.1. Štetni plinovi u cestovnom prometu.....   | 3         |
| 2.2. Staklenički plinovi.....  | 6         |
| 2.3. Klimatsko stanje Republike Hrvatske i Europske unije .....                              | 10        |
| 2.4. Ekološke regulacije i inicijative Europske unije.....                                   | 12        |
| <b>3. ALATI ZA IZRAČUN ZAGAĐENJA ZRAKA U CESTOVNOM PROMETU</b> .....                         | <b>15</b> |
| <b>4. IZRAČUN EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA U REPUBLICI HRVATSKOJ PRIMJENOM ALATA COPERT</b> ..... | <b>17</b> |
| 4.1. Metodologija .....  | 17        |
| 4.2. Izračun emisije štetnih plinova.....  | 21        |
| 4.2.1. Trend kretanja emisija posljednjih 30 godina .....                                    | 21        |
| 4.2.2. Predviđanje promjene emisija do 2050. godine .....                                    | 25        |
| <b>5. Zaključak</b> .....  | <b>32</b> |
| <b>Literatura</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>POPIS SLIKA</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>POPIS TABLICA</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>POPIS GRAFIKONA</b> .....   | <b>36</b> |

## 1. UVOD

Cestovni promet je najrasprostranjenija grana prometa u cijelom svijetu te najbitniji način prijevoza ljudi osobnim automobilima i vozilima javnog prijevoza, a prijevoz tereta teškim i lakim teretnim vozilima. Isto tako cestovni promet emitira najviše zagađenja u odnosu na druge vrste prometa što dovodi do ljudske borbe sa stakleničkim plinovima, ispušnim plinovima, klimatskim promjenama i drugim problemima. Sva navedena problematika ima direktne i indirektne posljedice za ljudsko zdravlje, okoliš, te na biljni i životinjski svijet.

Svrha i cilj ovog završnog rada je općeniti prikaz posljedica navedene problematike koja proizlazi iz cestovnog prometa, stanje zagađenja emisijama unutar Europske unije, te detaljan prikaz zagađenja u Republici Hrvatskoj prethodnih 30 godina i prognoziranje kretanja budućih emisija za sljedećih 25 godina.

Rad je podijeljen u pet poglavlja sa pripadajućim pod poglavljima, a glavna poglavlja su:

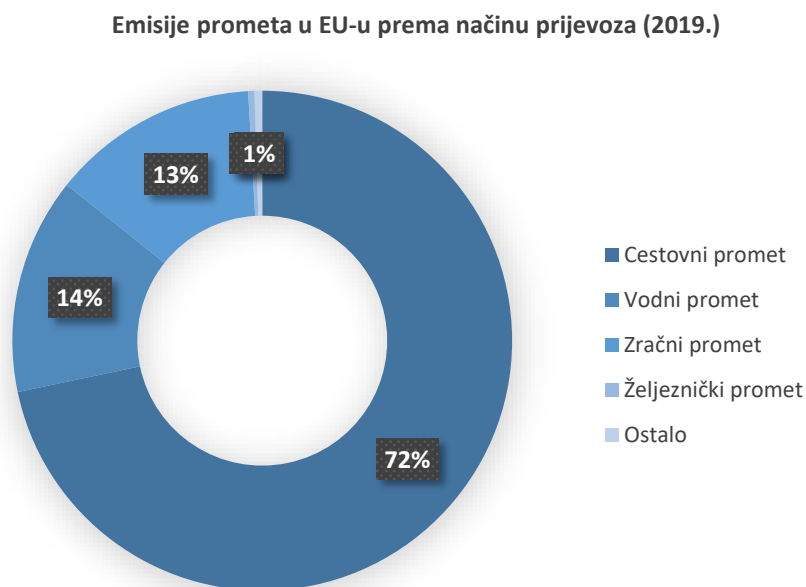
1. Uvod
2. Emisija štetnih plinova u cestovnom prometu Europske unije
3. Alati za izračun zagađenja zraka u cestovnom prometu
4. Izračun emisija štetnih plinova u Republici Hrvatskoj primjenom alata COPERT
5. Zaključak

U drugom poglavlju detaljno su obrađeni štetni plinovi kao primarni i sekundarni zagađivači, cestovni promet kao glavni izvor zagađenja, klimatsko stanje u Republici Hrvatskoj i Europskoj uniji, te najbitniji sporazumi, protokoli, euro standardi, politike i standardi s ciljem smanjenja zagađenja. Treće poglavlje obuhvaća detaljniji opis alata COPERT koji se koristi za izračun emisija, dok je u četvrtom poglavlju opisana metodologija proračuna i grafički prikaz podataka koji su dobiveni izračunima za Republiku Hrvatsku. Također uspoređene su promjene porasta i smanjenja emisija kroz prognozirani period.

## 2. EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA U CESTOVNOM PROMETU EUROPSKE UNIJE

Jedan od najvećih zagađivača zraka u cijelom svijetu je promet. Najveći dio zagađenja se pripisuje cestovnom prometu zbog velike količine motornih vozila koja prometuju svakodnevno te iznosi oko 25 % ukupnih zagađenja [4]. Razlozi putovanja variraju prema osobnim potrebama pa su prema tome najučestalija putovanja na posao, u svrhu edukacije, društvena putovanja, te druge osobne potrebe.

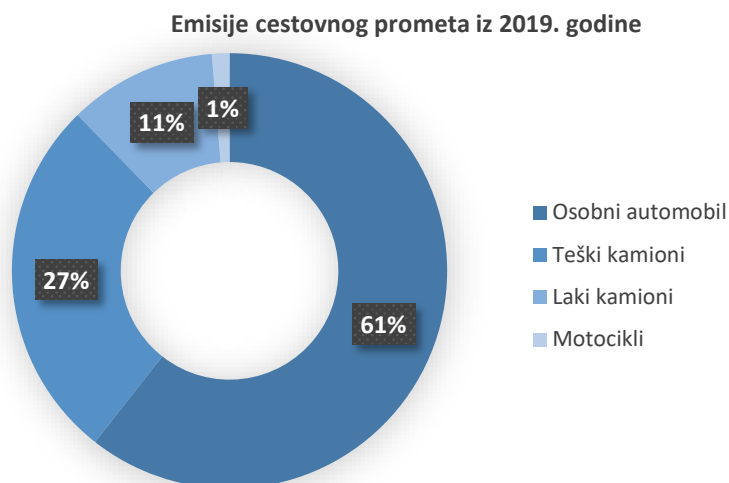
Kao što je vidljivo u grafikonu 1. iz mjerenja 2019. godine unutar područja Europske unije, od svih načina prometa, cestovni promet emitira najviše zagađenja u okoliš s 72 % što je više od polovice ukupnih emisija. Također cestovni promet je odgovoran za oko petinu emisija stakleničkih plinova unutar EU-u [4]. Iako druge vrste prometa u odnosu na cestovni promet stvaraju manje zagađenja, u većini država te vrste nisu dovoljno razvijene ili su neisplative pa je tako prevladava cestovni prijevoz koji se i najviše kroz povijest razvijao.



Grafikon 1. Emisije prometa u EU-u prema načinu prijevoza iz 2019. godine

Izvor: [4]

Emisije zagađenja iz putničkog i teretnog prometa značajno se razlikuju ovisno o načinu prijevoza, pa je tako vidljivo iz grafikona 2. da su osobni automobil glavni zagađivači s ukupnim udjelom od 61 %, teški kamioni 27 %, laki kamioni 11 %, te motocikli 1 % [4]. Velika razlika je zbog velikog korištenja osobnog automobila na svim područjima, dok je motocikl prijevozno sredstvo samo tijekom toplijih mjeseci.



*Grafikon 2. Emisije cestovnog prometa prema vrsti vozila iz 2019. godine*

Izvor: [4]

Najčešći izbor načina putovanja je osobno vozilo zbog komfora putovanja i bez potrebe za čekanjem određenog načina javnog prijevoza. Taj način putovanja dovodi do zagušenja prometnica i repova čekanja u vršnim satima, a isto tako i do velikog povećanja emisija ispušnih plinova. Veliki utjecaj na korištenje osobnog automobila u odnosu na javni prijevoz je nerazvijenost sustava javnog prijevoza u pojedinim državama, a isto i u Republici Hrvatskoj. Ulaganjem i promoviranjem sustava javnog prijevoza smanjio bi se broj osobnih automobila na prometnicama, a ponajviše u gradskim središtima.

## 2.1. Štetni plinovi u cestovnom prometu

**Ispušni plinovi** su plinovi izgaranja goriva u različitim motorima s unutarnjim izgaranjem te se slobodno ispuštaju u okoliš i u atmosferu, a time stvaraju onečišćenje okoliša [1].

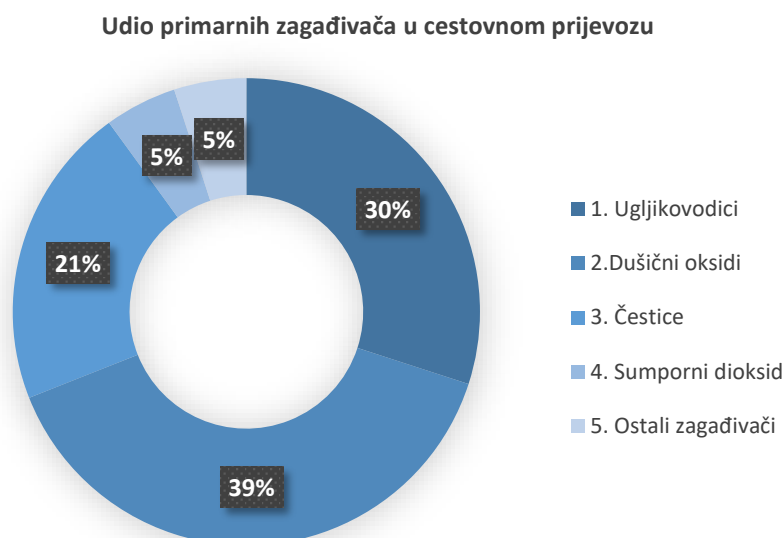
Najučestaliji zagađivači su [2]:

1. **Ugljični monoksid (CO)** – najveći je zagađivač je po težini, a rezultat je nepotpunog izgaranja do kojeg dolazi u procesu izgaranja. Emitiranje ugljičnog monoksida nije moguće u potpunosti eliminirati, no moguća je redukcija katalizatorima koji se koriste u većini motornih vozila. Ugljični monoksid je u velikim koncentracijama otrovan jer smanjuje sposobnost krvi da prenosi kisik, pa je tako najopasniji na raskrižjima i u tunelima gdje se pojavljuje zagušenje.
2. **Ugljikovodici (CH)** – su hlapivi organski spojevi koji se nalaze u gorivu, a ne izgore u potpunosti. Uključeni su u stvaranje fotokemijskog smoga, a reduciraju se katalitičkim konverterima. Prijevoz je bio najveći izvor ispuštanja ugljikovodika, no do danas se njegov udio smanjio na 30 %



3. **Dušični oksidi (NO<sub>x</sub>)** – nastaju zagrijavanjem zraka na visokoj temperaturi, a ispušne plinove iz vozila teško je kontrolirati jer sredstva koja reduciraju ispuštanje ugljičnog monoksida i ugljikovodika, izgaranjem benzina na višim temperaturama, istovremeno povećavaju ispuštanje dušičnih oksida. Štetno djelovanje dušičnih oksida izraženo je stvaranjem smoga kojem daju smeđu boju, te stvaranju kiselih kiša. Udio prijevoza u ispuštanju dušičnih oksida iznosi 39 %.
4. **Čestice (PM<sub>2,5</sub> , PM<sub>10</sub>)** – su mali dijelovi tvrde ili tekuće tvari veličine pepela do mikroskopskih čestica, a dizelski motori ih stvaraju puno više u odnosu na benzinske motore, što je vidljivo po crnom dimu iz ispušnih cijevi kao što je vidljivo na slici 2. Pojavljuju se u smogu gdje apsorbiraju druge plinove, te zajedno padaju na tlo. Prijevoz stvara 21 %, a većina čestica se stvara prilikom grijanja, iz tvornica i elektrana. Čestice su prisutne cijele godine, a problem je što se udišu u dišni sustav te kasnije stvaraju respiratorne probleme.
5. **Sumporni dioksid (SO<sub>2</sub>)** – je najopasniji zagađivač zraka i glavna komponenta klasičnog smoga. Najgore utječe na respiratorni sustav i može izazvati smrt kod osoba koje boluju od bronhitisa. Većina sumpornog dioksida dolazi iz izgaranja ugljena i nafte, a prijevoz je odgovoran za 5 % u zagađivanju zraka.

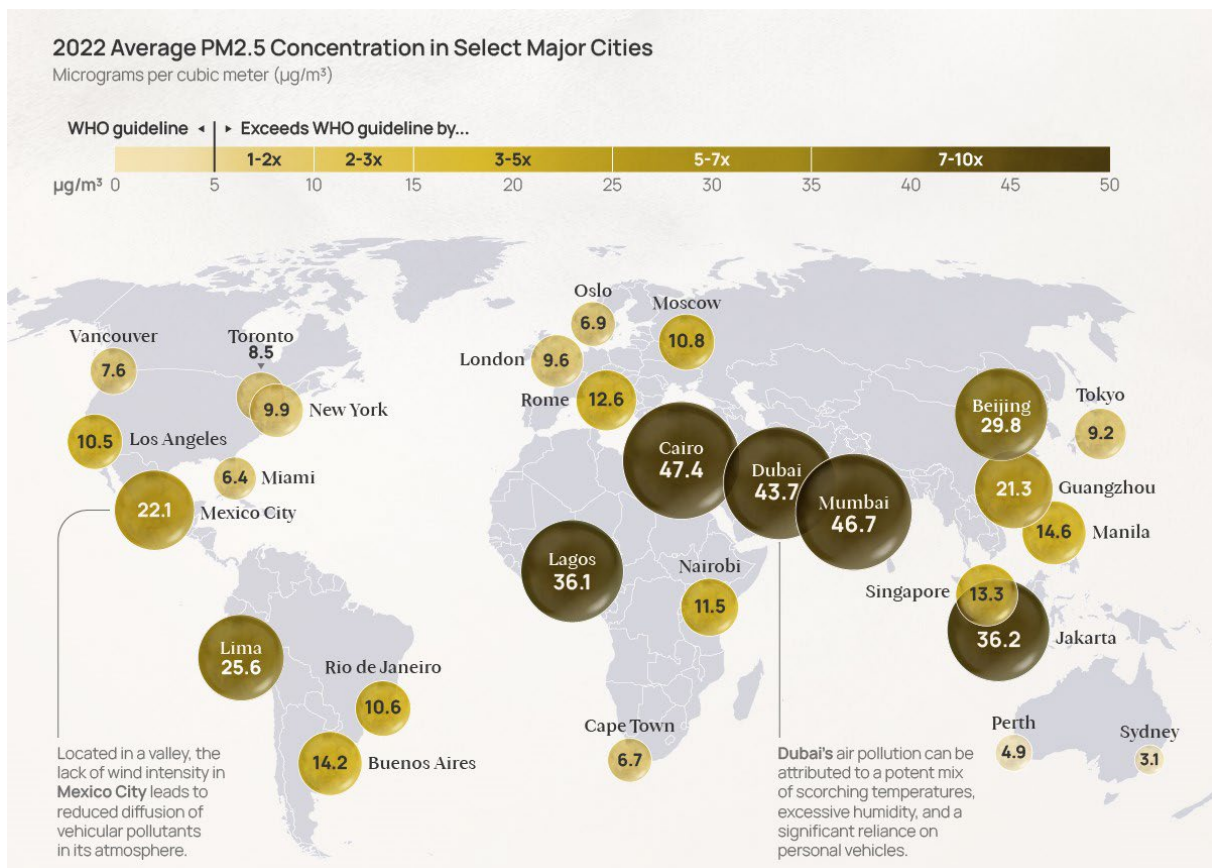
Udio pojedinih navedenih zagađivača zraka za koje je odgovoran cestovni prijevoz vidljiv je u grafikonu 3. Najveći udio čine ugljikovodici i dušični oksidi oko 70 % ukupnih zagađenja.



Grafikon 3. Udio primarnih zagađivača zraka za koje je odgovoran cestovni prijevoz

Izvor:[2]

Najštetnije od svih zagađenja su čestice [PM<sub>2,5</sub>] koje se udišu izravno u dišni sustav, a kao što je i ranije spomenuto mogu izazivati širok spektar bolesti kao što su srčane bolesti, moždani udar, rak pluća i druge kronične respiratorne bolesti. U današnje vrijeme čestice su prisutne diljem Zemlje kao što je vidljivo na slici 1. koja prikazuje kartu svijeta zagađenja česticama u 2022. godini. Kartu je izradila Svjetska zdravstvena organizacija, a vidljivo je da su najveći dijelovi svijeta u kojima se emitiraju čestice dijelovi zapadne Afrike, Srednji istok, jugoistočna Azija, te dijelovi Sjeverne i Južne Amerike. Europska područja u usporedbi sa ostatkom svijeta se nalaze u sredini po emitiranju čestica.

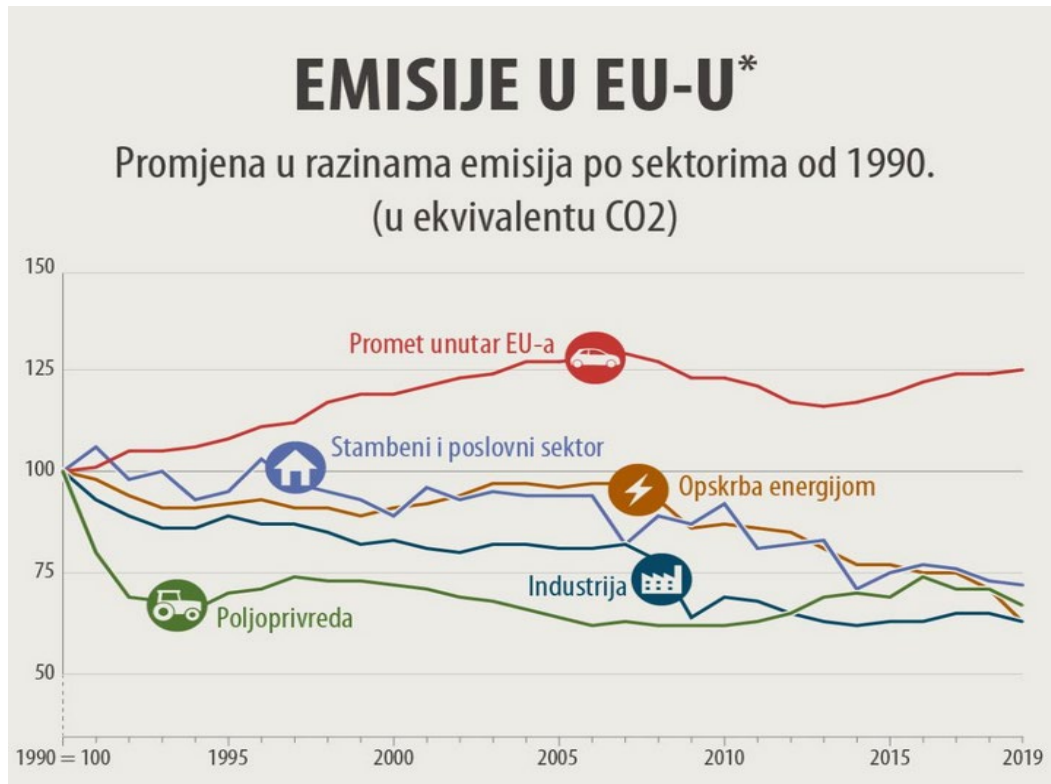


Slika 1. Emitiranje čestica - karta svijeta iz 2022. godine

Izvor:[3]

Osim negativnih učinaka buke i estetike, prometu se pripisuje i negativni učinak zagađenja zraka. Prema analizi od 1990. do 2019. godine, promet je na prvom mjestu ukupnog zagađenja unutar Europske unije kao što je vidljivo na slici 2. Sa svojim udjelom kao najveći zagađivač u stalnom je porastu, međutim promet je neophodan za svakodnevnu mobilnost ljudi kao i tereta pa je ta količina s obzirom na količinu kretanja opravdana. Tolika količina zagađenja se može i reducirati implementacijom poboljšanih ispušnih sustava kao i poboljšanjem kvalitete

goriva, korištenjem alternativnih goriva ili korištenjem obnovljivih izvora energije. Ostali zagađivači okoliša u odnosu na promet u konstantom su padu s povremenim odskakanjima.



Slika 2. Emisije EU od 1990. do 2019. godine prema sektorima

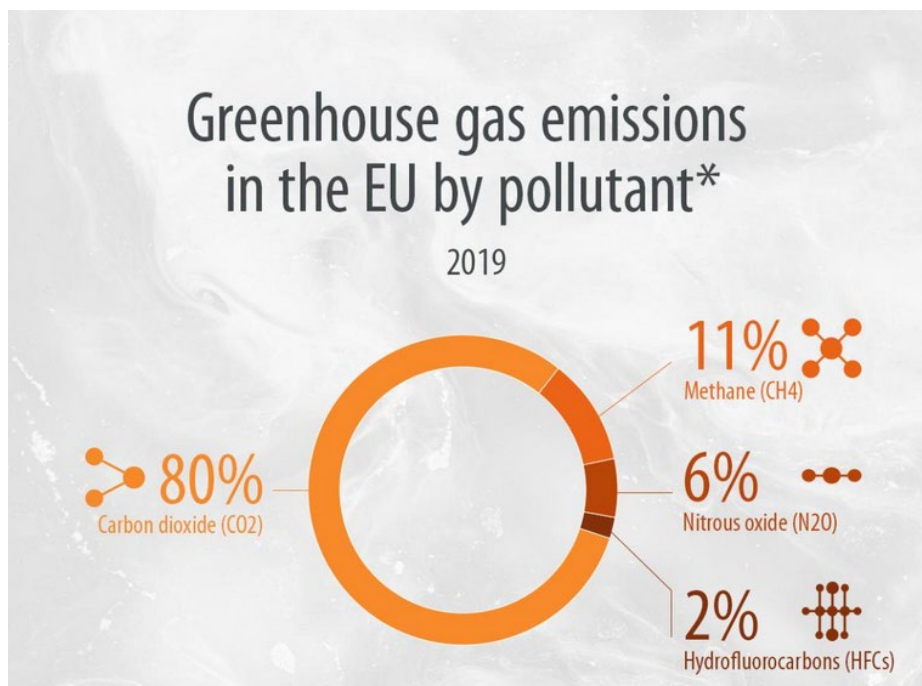
Izvor: [4]

## 2.2. Staklenički plinovi

**Staklenički plinovi** su plinovi koji uzrokuju efekt staklenika u planetarnoj atmosferi, a glavni izvor su prerada i izgaranje fosilnih goriva, te fotokemijski smog koji također nastaje iz prometa [2]. Najčešći staklenički plinovi koji imaju utjecaj na okoliš i atmosferu su [4]:

- Vodena para
- Ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)
- Metan (CH<sub>4</sub>)
- Dušikov oksid (N<sub>2</sub>O)

Kao što pokazuje slika 3., ugljikov dioksid je staklenički plin koji se najviše emitira, međutim tu su i ostali opasni staklenički plinovi koji se emitiraju u manjim količinama. Postoci koji prikazuju emisije su iz 2019. godine za područje Europske unije.



*Slika 3. Emisija stakleničkih plinova 2019. godine u EU*

Izvor:[4]

**Ugljikov dioksid** je postao glavni pokazatelj onečišćenja zbog velike količine emitiranja u zrak i okoliš. Također je postao glavni zagađivač koji vodi prema klimatskom zatopljenju, a osim tog problema stvara otežano disanje, ubrzava ritam srca, nastaje glavobolja, vrtoglavica, prekomjerno znojenje, nemir, dezorijentacija, smetnje te drugi slični problemi za ljudski organizam. Prema istraživanjima izlaganje koncentraciji CO<sub>2</sub> od [5]:

- 10 % u vremenu od jedne i pol minute uzrokuje očno svjetlucanje i nadraženost, te grčenje mišića.
- Više od 10 % u vremenu od 15 minuta uzrokuje teško disanje, smanjenje sluha, mučninu, povraćanje, gušenje i gubitak svijesti.

CO<sub>2</sub> je trenutačni i budući problem za koji se treba pronaći rješenje te smanjiti njegov udio u što većem postotku i u što kraćem vremenu.

Aktivnosti ljudi od zagađenja do prenaseljenosti svakodnevno uzrokuju podizanje temperature Zemlje na veoma visoke razine te i s time fundamentalno mijenjaju cijeli svijet. Efekt staklenika služi planeti Zemlji kako bi ostala zagrijana tijekom noći kada nema sunca. Kada sunčeva svjetlost dopire do Zemljine površine, dio svjetlosti se apsorbira i time zagrijava tlo, a dio se odražava natrag u svemir. To je mogućnost koju omogućava Zemljina atmosfera koja ima utjecaj kao i staklenik koji noću zagrijava biljke koje rastu u njemu. Glavni uzroci efekta staklenika su plinovi u atmosferi kao što su vodena para, metan, ugljični dioksid, dušikov oksid i klorofluorougijci koji propuštaju sunčevu svjetlost, ali sprječavaju izlazak dijela

topline kao što to čine i staklene stijenke staklenika. S većom količinom stakleničkih plinova u atmosferi, povećava se i toplina koja je zarobljena unutar Zemljine atmosfere, čime se pojačava efekt staklenika i povećava sama temperatura Zemlje. Veliko povećanje stakleničkih plinova u atmosferi zagrijalo je planet velikom brzinom te se moraju što prije poduzimati mjere za smanjivanje Zemljine temperature jer u suprotnome će posljedice postati kobne za cijeli okoliš i čovjeka [6]. Na slici 4. je grafički prikaz efekta staklenika na Zemlju.



*Slika 4. Grafički prikaz efekta staklenika*

Izvor: [7]

Klimatske promjene također imaju velike posljedice na široki aspekt ljudi i okoliša. Te posljedice obuhvaćaju vremenske promjene, oceane, ljudsko zdravlje, izvore hrane, životinjski i biljni svijet te na druge slične aspekte. Utjecaj je mnogo veći na samu prirodu i okoliš, to jest direktnije djeluje na biljke, životinje i okoliš nego na samog čovjeka, no indirektnim putem i čovjek je uključen u posljedice klimatskih promjena.

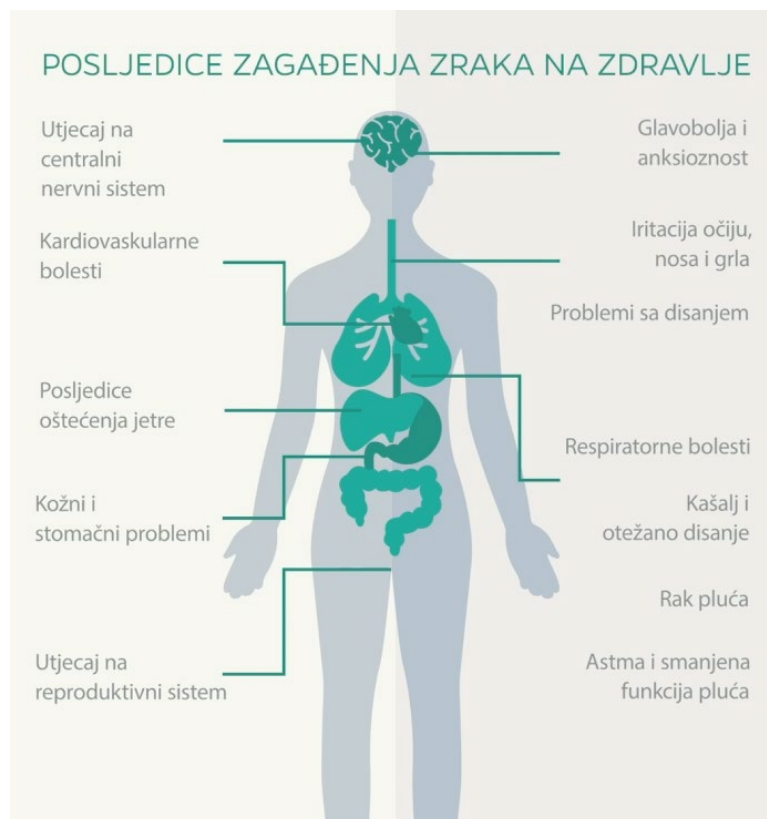
Područja u kojima živi biljni i životinjski svijet mijenjaju se što dovodi do promjene njihovog staništa i u potragu za drugim staništem što dovodi do dolaska životinja na ljudska područja. Klimatske promjene također imaju utjecaj na ljude, točnije fizičko zdravlje. Izloženost višim razinama smoga može uzrokovati zdravstvene probleme kao što su astma, bolesti srca, bolesti dišnih puteva, rak pluća i druge slične bolesti [8].



Zdravlje svake osobe jedna je od najvažnijih stvari te bi trebala biti pravo svake osobe, pa je tako prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji pojam zdravlja definiran kao: „Zdravlje je stanje potpunog fizičkog, mentalnog i društvenog blagostanja, a ne samo odsutnost bolesti ili slabosti.“ [9]

Čistoća zraka bitan je faktor svakoj osobi kao se ne bi pogoršalo zdravstveno stanje, međutim cestovni promet ne pridonosi tome. Zrak je također neophodan za život, a svakodnevno osoba udiše sve plinove koji se emitiraju iz prometa i motornih vozila. Ti plinovi kao što su ozon, dušični dioksidi, sumporni dioksidi i čestice su već ranije navedeni kao problematika koja nastaje iz motornih vozila te imaju različite učinke na ljudsko tijelo i organizam. Pa tako te emisije imaju utjecaj prema slici 5. [10]:

- $\text{SO}_2$  – utječe na glavobolje i tjeskobu
- PM – utječe na središnji živčani sustav, dišni sustav u vidu nadraživanja, upale, infekcije, astmu, smanjuje funkcije pluća, kronične smetnje zbog respiratornih bolesti, utjecaj na reproduktivni sistem
- PM,  $\text{O}_3$  i  $\text{SO}_2$  – utječe na kardiovaskularne bolesti
- $\text{NO}_2$  – utječe na jetru, slezenu i krv
- $\text{O}_3$  – iritacija očiju, nosa i grla



Slika 5. Posljedice zagađenja zraka na ljudski organizam

Izvor: [10]

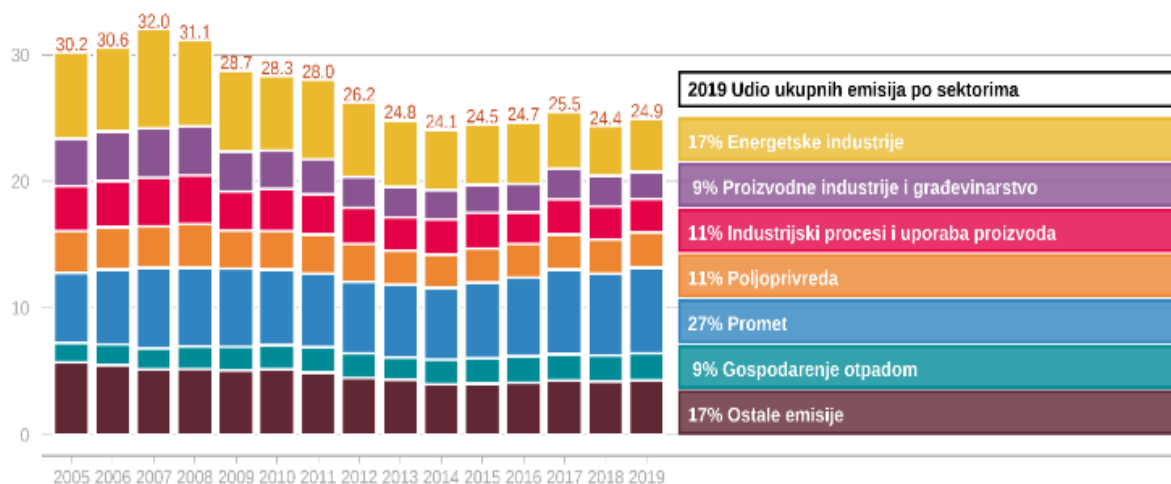
### 2.3. Klimatsko stanje Republike Hrvatske i Europske unije

Ulaskom u Europsku uniju, Republika Hrvatska preuzela je zajednički europski cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova. Ukupne emisije Hrvatske 2019. godine iznosile su 0,7 % od ukupnih emisija EU-a, te u usporedbi s 2005. godine do 2019. godine smanjile za 17 %. 2018. godine u Hrvatskoj se proizvelo 19,3 milijuna tona ekvivalenta CO<sub>2</sub>, što je također smanjenje od 35 % za razliku od 2005. godine [11].

S ciljem ispravljanja visokih i stalno rastućih razina emisija koje su usko povezane s prometom, u hrvatskom je nacionalnom energetske i klimatskom planu predstavljeno 13 različitih mjera. Ondje se ističe [11]:

- ključna uloga biogoriva i elektro mobilnosti
- ciljevi za 2030.godinu:
  - uključuju udio od 13,2 % obnovljivih izvora energije u konačnoj potrošnji energije u prometnom sektoru i povećanje učinkovitosti
  - povećanje učinkovitosti kojim se postiže smanjenje potrošnje od 4,48 [PJ] u usporedbi s postojećim mjerama
- predviđanja za 2030. godinu
  - ukupno 3,5 % aktivnosti putnika u cestovnom prometu ostvarivati putem hibridnih i električnih vozila te vozila s pogonom na vodik

Najveći doprinos smanjenju emisija stakleničkih plinova može se ostvariti preko elektroenergetike od oko 95 % smanjenja do 2050. u odnosu na 1990. godinu, zatim kućanstva i usluge oko 90 %, industrija oko 85 % i promet oko 60 % [19]. Također na slici 6. je vidljivo ukupni udio emisija po sektorima u Hrvatskoj za 2019. godinu. Gotovo trećinu, odnosno 27 % proizvodi promet.

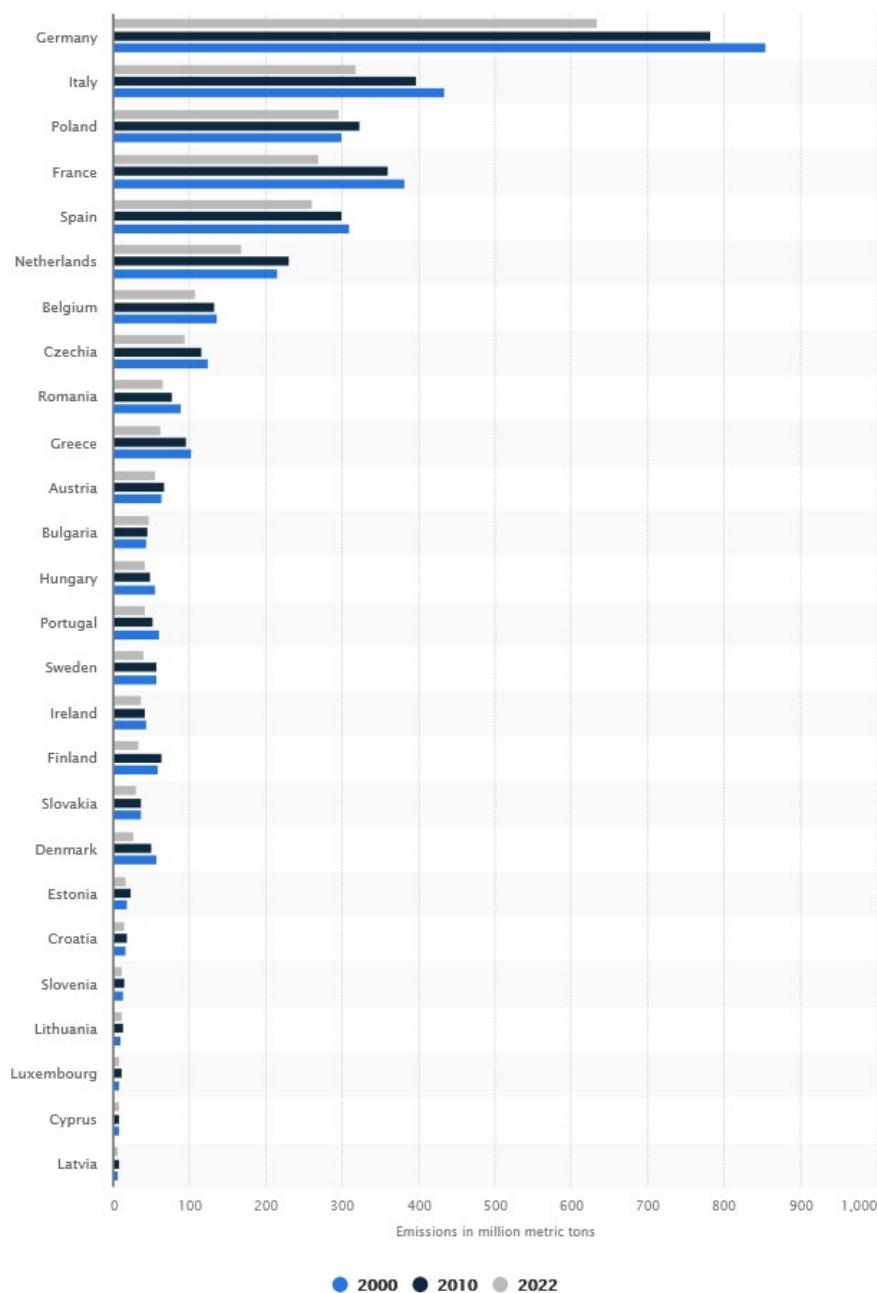


Slika 6. Udio ukupnih emisija po sektorima za Republiku Hrvatsku

Izvor: [11]

Klimatske promjene već imaju široke posljedice na ekosustavima, gospodarskim sektorima, te zdravlju i dobrobiti ljudi na području cijele Europe. Učinci su uglavnom negativni, no u nekim slučajevima ima prednosti poput potražnja za manjim grijanjem i bolji uvjeti za poljoprivredu u sjevernoj Europi [4].

Europska unija ima 27 država članica te su odgovorne za proizvodnju oko 20 % globalnog ugljičnog dioksida [12]. Slika 8. prikazuje statistiku za države članice Europske unije. Podaci su prikazani za posljednjih 30 godina. Republika Hrvatska je po emitiranju zagađenja na 21. mjestu s uvelike manjim emisijama od navedenih država koje najviše proizvode zagađenje.



Slika 7. Emisija CO2 po državama članica EU

Izvor [12]



## 2.4. Ekološke regulacije i inicijative Europske unije

Promet je okosnica europske integracije i ključan je za ostvarenje slobodnog kretanja osoba, usluga i robe dok uvelike doprinosi i gospodarstvu udjelom većim od 9 % bruto dodane vrijednosti Europske Unije, a sama prometna politika Europske unije pomaže u rastu europskoga gospodarstva razvojem moderne infrastrukturne mreže koja putovanja čini bržima i sigurnijima te promicanjem održivih i digitalnih rješenja [13].

Euro norme za emisije iz motornih vozila su standardi koje je Europska unija uvela kako bi regulirala emisiju štetnih plinova iz vozila s unutarnjim izgaranjem, a te norme iniciraju na smanjenje zagađenja zraka i zaštitu okoliša s ciljem boljeg i kvalitetnijeg života [14]. Norme su donošene od 1992. godine do 2014. godine, te su sljedeće [14]:

*Euro 1 (1992):* Prva je generacija norma koja je bila usmjerena na smanjenje emisije ugljičnog monoksida (CO) i ne izgoranih ugljikovodika (HC) iz osobnih automobila. Glavna promjena je bila uvođenje katalizatora kao obaveznog dijela automobila s benzinskim motorom, a uvedeno je i ograničenja emisija dušikovih oksida i čestica kod vozila s dizelskim motorom.

*Euro 2 (1996):* Glavni cilj Euro 2 norme je bilo smanjenje emisija CO, HC, NO<sub>x</sub> i PM, dok su ograničenja u odnosu na Euro 1 bila puno stroža. Uvodom norme, uvele su se granične vrijednosti emisija za vozila s dizel i benzinskim motorom.

*Euro 3 (2000):* Glavni cilj je bio daljnje smanjenje emisija NO<sub>x</sub>, HC i CO, dok su prvi put odvojene granice za emisiju ugljikovodika i dušikovih oksida za benzinske motore, a kod dizelskih motora su uvedene strože granice za emisiju čestica.

*Euro 4 (2005):* Kao glavni cilj bilo je znatno smanjenje emisija čestica i dušikovih oksida s posebnim naglaskom na dizelska vozila, te uvođenje filtera za čestice kod istih vozila. Uvođenjem filtera se dodatno smanjila emisija čestica, a ovom normom su se također postavila ograničenja za poboljšanje tehnologije izgaranja i kontrole ispušnih plinova.

*Euro 5 (2009):* Za glavni cilj je bilo daljnje smanjenje emisija čestica i uvođenje ograničenja za emisiju ne izgoranih ugljikovodika. Uvela se nova tehnologija kao što je sustav za selektivnu redukciju emisija i uvođenje aditiva za smanjenje emisija NO<sub>x</sub> kod dizelski vozila.

*Euro 6 (2014):* Kao glavni cilj je zadano značajno smanjenje emisija čestica i dušikovih oksida, a uvedene su nove strože granice za emisije NO<sub>x</sub>-a što je i zahtijevalo razvoj tehnologija za kontrolu emisija i razvoj sustava za smanjenje NO<sub>x</sub>-a u ispušnim plinovima. Također u ovoj normi su smanjenje granice za ispuštanje količinu čestica kod benzinskih motora s izravnim ubrizgavanjem.

Euro 6d (2021): Kao glavni cilj je zadano značajno smanjenje emisija NOx-a , ograničenja na čestice s naglaskom na dizelska vozila u urbanim područjima gdje je zagađenje u najvećim količinama. Bitna novost norme je uvođenje RDE testa (*Real Driving Emissions*) koji se provodi u laboratorijskim i stvarnim uvjetima na prometnicama, a osigurava zadržavanje niskih emisija za svakodnevne uvjete vožnje.

Euro 7 (predviđanje za 2025): Nadolazeća norma će dodatno proširiti regulaciju emisija za sve vrste vozila uključujući električna i hibridna vozila na području Europske unije te je dio strategije za smanjenje emisija do 2050. godine. Cilj je daljnje smanjenje zagađenja zraka i unaprjeđenje RDE testa za različite slučajeve vožnje kao što su različiti cestovni uvjeti i veće temperature.

Europska unija je osim norma usvojila i niz politika i strategija kako bi smanjila zagađenje povezano s prometom. Te inicijative uključuje smanjenje emisija štetnih plinova, promoviranje održivog prijevoza, te poticanje inovacija u tehnologiji vozila i infrastrukturi.

Neke od strategija i politika su:

- Europski zeleni plan jedna je od usvojenih strategija, a teži se postizanju klimatsku neutralnost do 2050. godine s prometom kao ključnim sektorom. Cilj je smanjiti emisije iz prometa za 90 %, a to uključuje i dekarbonizaciju cestovnog prometa, kao i unapređenje ostalih grana prometa. Europski zeleni plan također sadržava plan s mjerama za unapređenje učinkovitog iskorištavanja resursa prelaskom na čisto kružno gospodarstvo, te obnovu biološke raznolikosti i smanjenje onečišćenja, a obuhvaća sve gospodarske sektore s posebnim naglaskom na promet [15].
- Direktiva o kvaliteti zraka je direktiva za koju su 2022. godine predložene izmjene i nadopune na direktive iz 2004. i 2008. godine. Izmjene obuhvaćaju strože granične i ciljanje vrijednosti za sve emisije i štetne tvari u zraku za 2030. godinu, te odredbe o kvaliteti zraka za Europsku uniju i njihove članice koje bi pomogle ostvarivanju neutralnosti od onečišćenja do 2050. godine [16].

S ciljem poboljšanja kvalitete zraka, zaštitu okoliša i zdravlja, Europska komisija je donijela ciljeve za nulto onečišćenje s predviđanjem za 2030. godinu, a ciljevi su širi dio Europskog zelenog plana. Ključni ciljevi vezani uz cestovni promet su [16]:

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 55 % u odnosu na količinu plinova iz 1990. godine, te promicanje upotrebe obnovljivih izvora energije, povećanje njezine učinkovitosti i dekarbonizacija prometa i ostalih sektora.

- Poboljšanje kvalitete zraka s ciljem smanjenja smrtnih slučajeva koji su povezani s onečišćenjem zraka za 55 % u odnosu na 2005. godinu i postrožiti standarde za emisije čestica, dušikovih oksida i ozona.

S ciljem smanjenja ispušnih plinova iz dizel i benzinskih vozila, također se donose i odluke o sufinanciranju, odnosno poticaju za kupnju električnih vozila. Prema podacima iz 2024. godinu Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost nastavlja s programom sufinanciranja kupnje energetska učinkovitih vozila. Za građane Republike Hrvatske subvencija je moguća do 40 % po vozilu, a ovisi o vrsti samog vozila [17].

Izgradnja i ulaganje u infrastrukturu za alternativna goriva je također poticaj za njihovo korištenje. Prometni sustav raste na korištenju obnovljivih izvora energije što dovodi do zagađenja zraka. Ako se želi omogućiti daljnji razvoj prometa, a s druge strane smanjiti negativni utjecaj prometa na okoliš i ovisnost o uvozu nafte, potrebno je stvarati infrastrukturu za alternativna goriva. Ulaganje je jedan od ključnih dijelova strategije Europske unije za dekarbonizaciju prometa i smanjenja emisija stakleničkih plinova [16].

Ulaganje Europske unije obuhvaća proširenje mreže za punjenje električnih vozila, infrastrukture na vodik i pomicanje upotrebe biogoriva i sintetičkih goriva, a glavna obilježja za ulaganja su [16]:

1. Električna infrastruktura – proširenje mreže punionica za električna vozila na glavnim cestama i autocestama s punjačem na svakih 60 [km], poticaji za instalaciju punionica na javnim i privatnim mrežama, te ulaganje u pametnu infrastrukturu.
2. Infrastruktura za vodik – ulaganja u razvoj vodikove infrastrukture, odnosno izgradnja mreže vodikovih punionica na svakih 150 [km] na glavnim prometnicama do 2030. godine kao i proizvodnja zelenog vodika koji se proizvodi iz obnovljivih izvora energije.
3. Infrastruktura za biogoriva i sintetička goriva – već postoji, ali cilj je povećati njezin kapacitet i postići veću dostupnost, a ulaganja su usmjerena na istraživanje i razvoj sintetičkih goriva koja mogu biti zamjena fosilnim gorivima.

Europska unija zajedno s državama članicama aktivno radi na donošenju novih mjera, standarda i poboljšanja s ciljem smanjenja zagađenja zraka, stakleničkih plinova i drugih onečišćenja iz prometa. Jedan od ključnih aspekata na tom putu je i prognoziranje budućih zagađenja kao i utvrđivanje postojećeg stanja i postojeće količine emisija i onečišćenja.

### 3. ALATI ZA IZRAČUN ZAGAĐENJA ZRAKA U CESTOVNOM PROMETU

Izračun zagađenja zraka u cestovnom prometu je proces koji zahtijeva upotrebu različitih alata ili modela za procjenu emisija štetnih tvari. Prilikom izračuna potrebno je prikupiti podatke o vozilima, brzinama, gorivu te druge slične podatke koji se onda unose u alat za izračun. Iz unesenih podataka alati rade izračun emisija štetnih plinova. Neki od alata za izračun emisija su:

- MOVES
- HBEFA
- TREMOD
- PHEM
- CALINE3 AND CAL3QHC
- AERMOD
- COPERT

Iako svi navedeni alati za izračun emisija daju dobre rezultate, a s obzirom na dostupne podatke i potrebe rada za proračun emisija korišten je alat COPERT. COPERT je razvijen od strane Europske Agencije za Okoliš (European Environment Agency - EEA), a koristi se za procijene emisija različitih zagađivača i štetni plinovi [18]. COPERT uključuje i izračune za različite tipove vozila, a koristi opsežne baze podataka o voznim parkovima, tehničkim karakteristikama vozila, različite tipove goriva i slično tome. Prednosti COPERT alata u odnosu na ostale slične računalne alate i programe za proračun štetnih emisija su [18]:

- Temelji se na znanstvenim istraživanjima i kontinuirano se ažurira s najnovijim podacima za svaku godinu.
- Fleksibilnost – prilagodljiv je različitim korisničkim potrebama i omogućuje detaljne procijene za različite situacije.
- Rasprostranjenost – dostupni podaci za sve države članice EU (27 država).

COPERT je također koristan alat za stvaranje prometnih ekoloških politika, istraživanje, procjene i upravljanjem emisijama iz cestovnog prometa, te za izradu strategija za smanjenje onečišćenja zraka. Alat COPERT je moguće koristiti na lokalnoj razini kao i na državnoj razini, a postoji mogućnost proračuna za pojedini vozni park. U ključne karakteristike COPERT modela se ubrajaju [18]:

**1. Vrste emisija:**

- Emisije iz ispušnih sustava (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, HC, CO)
- Emisije od trošenja guma i kočnica
- Isparljive emisije (isparavanje goriva, maziva i raznih tekućina)

**2. Podržane kategorije vozila:**

- Osobna vozila
- Laka gospodarska vozila
- Kamioni i teška teretna vozila
- Autobusi
- Motocikli i mopedi

**3. Ulazni podaci:**

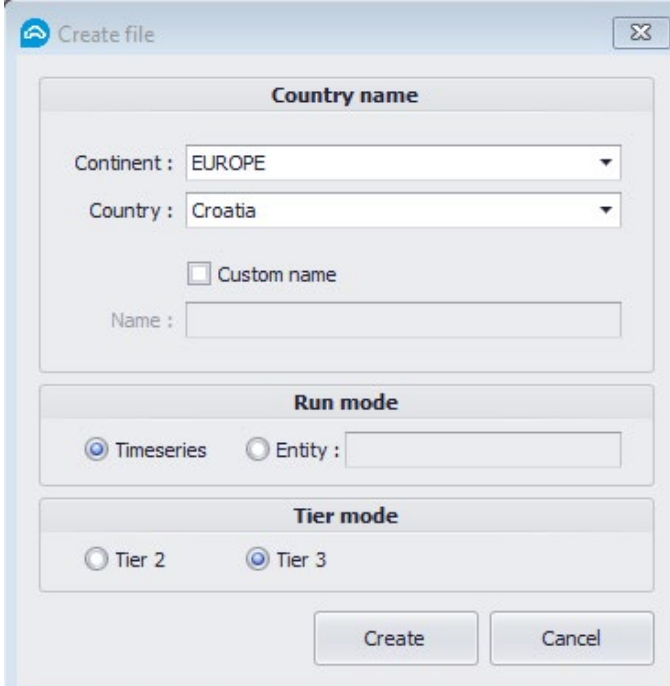
- Podaci o voznom parku
- Podaci o aktivnosti vozila na određenom području
- Podaci o kvaliteti goriva
- Klimatski uvjeti (temperatura, vlažnost zraka i slično)

## 4. IZRAČUN EMISIJA ŠTETNIH PLINOVA U REPUBLICI HRVATSKOJ PRIMJENOM ALATA COPERT

Dobiveni podaci za izračun emisija uz Republici Hrvatskoj su podaci od 1990. do 2022. godine. Podaci sadrže informacije o količini registriranih vozila, zastupljenosti pojedinih vozila na pojedinim vrstama ceste, količinu prodanog goriva za različite vrste goriva, podatke o temperaturama i vlažnosti zraka, informacije o gorivima i mazivima i druge slične podatke koji su potrebni za proračun štetnih emisija.

### 4.1. Metodologija

Proračun emisija pomoću alata za izračun emisija COPERT sastoji se od 12 koraka. Prije pokretanja samih koraka, potrebno je kreirati datoteku unutar alata, gdje je moguće odabrati državu za koju se rade proračuni. Također se može izabrati mod Entitet ili Vremenska serija. Moguće je i odabrati različite razine koje se odnose na različite razine složenosti i točnosti za izračunavanje emisija. Slika 8. prikazuje početni izbornik za odabir navedenih opcija.



Slika 8. Početni izbornik u alatu COPERT

Mod entitet se odnosi na izvršavanje specifičnog modela entiteta ili scenarija unutar softvera odnosno može biti za određena vrsta vozila ili vozni park, te skup geografskih uvjeta. Mod vremenska serija odnosi na niz podataka ili vrijednosti koje prikazuju emisije kroz vrijeme. Alat se upućuje da izračuna i generira podatke o emisijama za određeni zagađivač ili skup

zagađivača kroz niz vremenskih intervala. Ti intervali mogu biti dnevni, mjesečni ili godišnji, ovisno o dostupnim podacima. Vremenska serija uključuje [27]:

- **Vremensku analizu** - što omogućuje prikaz emisija koje se mijenjaju tijekom vremena, a služi za prepoznavanje trendova, sezonskih varijacija ili utjecaja promjena u politici na emisije.
- **Više vremenskih točaka** - što omogućuje generiranje podataka o emisijama za jednu vremensku točku, a dobiveni podatci su izračunati za svaki korak u seriji, stvarajući kronološki slijed rezultata.
- **Izlazni podaci** – dobiveni podaci mogu biti prikazani u različitim oblicima, poput grafova ili tablica, koji pokazuju kako se emisije za svaki zagađivač mijenjaju tijekom odabranog razdoblja.

Za odabir tier moda složenosti i točnosti moguće je odabrati tier 2 ili tier 3 mod. Tier 3 nudi detaljniji pristup u usporedbi s tier 2 modom, odnosno daje najdetaljniju i najtočniju procjenu emisija. Tier 3 uključuje [27]:

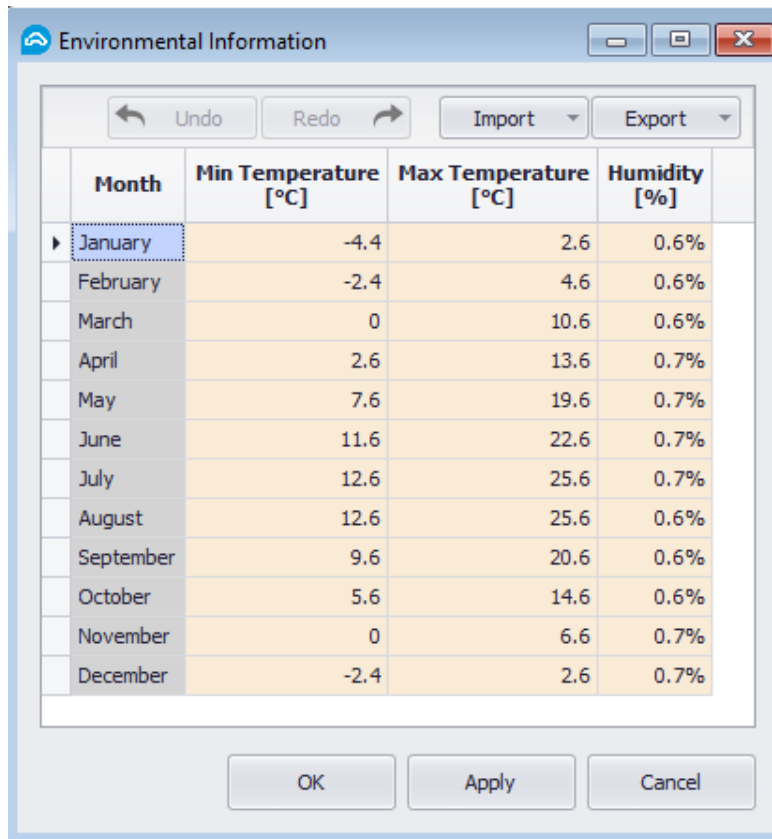
- **Razina djelatnosti** - koristi složene modele koji uzimaju u obzir širok raspon varijabli, kao što su tehnologija vozila, ponašanje vozača, vrste cesta i lokalni okolišni uvjeti.
- **Detaljna segmentacija vozila** - omogućava vrlo preciznu segmentaciju vozila, uključujući specifične tipove vozila, motora, starost vozila i druge tehničke karakteristike.
- **Specifični uvjeti vožnje** - u obzir se uzimaju specifični uvjeti vožnje, poput brzina, opterećenja, gradskih i izvangradskih uvjeta, što omogućava točniju procjenu emisija.
- **Ulazni podaci** - zahtijeva najdetaljnije i najpreciznije podatke, uključujući stvarne uvjete vožnje, mjerenja emisija iz vozila i napredne modele.
- **Točnost** - pruža najvišu razinu točnosti u procjeni emisija, a često se koristi za detaljne procjene politika i u regijama gdje su dostupni opsežni podaci.

Za proračun u ovom završnom radu odabrani mod je vremenska serija i tier 3 mod složenosti i točnosti.

Nakon kreiranja datoteke redom koraci su:

1. Odabir posljednje godine za koju su dostupni podaci.
2. Odabir aktivne godine, odnosno trenutne godine za koju se vrši izračun emisija.

- Unos podataka o najmanjoj i najvećoj temperaturi tijekom svih mjeseca posljednje godine za koju su dostupni podaci, te vlažnost zraka. Uneseni podaci vidljivi su na slici 9.



The screenshot shows a software window titled "Environmental Information". It contains a table with four columns: "Month", "Min Temperature [°C]", "Max Temperature [°C]", and "Humidity [%]". The table lists data for each month of the year. The "January" row is highlighted with a blue selection box. Above the table are buttons for "Undo", "Redo", "Import", and "Export". Below the table are buttons for "OK", "Apply", and "Cancel".

| Month     | Min Temperature [°C] | Max Temperature [°C] | Humidity [%] |
|-----------|----------------------|----------------------|--------------|
| January   | -4.4                 | 2.6                  | 0.6%         |
| February  | -2.4                 | 4.6                  | 0.6%         |
| March     | 0                    | 10.6                 | 0.6%         |
| April     | 2.6                  | 13.6                 | 0.7%         |
| May       | 7.6                  | 19.6                 | 0.7%         |
| June      | 11.6                 | 22.6                 | 0.7%         |
| July      | 12.6                 | 25.6                 | 0.7%         |
| August    | 12.6                 | 25.6                 | 0.6%         |
| September | 9.6                  | 20.6                 | 0.6%         |
| October   | 5.6                  | 14.6                 | 0.6%         |
| November  | 0                    | 6.6                  | 0.7%         |
| December  | -2.4                 | 2.6                  | 0.7%         |

Slika 9. Podaci o minimalnoj i maksimalnoj temperaturi i vlažnosti zraka

- Unos podataka o specifikacijama goriva kao što su potrošnja energije, količinu vodene pare tijekom izgaranja fosilnih goriva, te količina štetnih tvari koja se nalazi u pojedinom gorivu.
- Unos specifikacija o mazivu koji obuhvaćaju količinu štetnih tvari koja se nalazi u pojedinom mazivu.
- Unos podataka o prodanoj količini goriva benzina, dizela, ukapljenog naftnog plina, stlačenog prirodnog plina, biodizela, bio etanola i količini potrošene električne energije za posljednju godinu za koju su dostupni podaci.
- Odabir vrsta vozila za koja se žele napraviti proračuni emisija kao što su osobna vozila, teretna vozila, laka teretna vozila, autobusi i slično.
- Unos podataka o vozilima kao što su količina pojedinih registriranih vozila, srednja aktivnost koja se odnosi se na prosječnu razinu korištenja vozila tijekom određenog



razdoblja izražena u kilometrima i kumulativna aktivnost koja se odnosi na ukupnu količinu aktivnosti koju je vozilo akumuliralo odnosno sve prijeđene udaljenosti prikazane u kilometrima.

- Unos podataka o zastupljenosti vozilima na pojedinim vrstama ceste kao što su autocesta, ruralna područja i slično, u određenim vremenskim periodima kao što su vršni i izvan vršni sat, te prosječne brzina na navedenim cestama i vremenskim periodima. Na slici 10. su prikazani uneseni podaci o zastupljenosti vozila i o prosječnoj brzini.

| Vehicle        |        |         |                       | Share          |                    |           |             | Speed             |                       |              |                |     |
|----------------|--------|---------|-----------------------|----------------|--------------------|-----------|-------------|-------------------|-----------------------|--------------|----------------|-----|
| Category       | Fuel   | Segment | Euro Standard         | Urban Peak [%] | Urban Off Peak [%] | Rural [%] | Highway [%] | Urban Peak [km/h] | Urban Off Peak [km/h] | Rural [km/h] | Highway [km/h] | Min |
| Passenger Cars | Petrol | Mini    | Euro 4                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Mini    | Euro 5                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Mini    | Euro 6 a/b/c          | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Mini    | Euro 6 d              | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | PRE ECE               | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | ECE 15/00-01          | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | ECE 15/02             | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | ECE 15/03             | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | ECE 15/04             | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Improved Conventional | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Open Loop             | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Euro 1                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Euro 2                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Euro 3                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Euro 4                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |
| Passenger Cars | Petrol | Small   | Euro 5                | 11.6%          | 23.4%              | 34%       | 31%         | 24                | 34                    | 69           | 105            |     |

Slika 10. Podaci o zastupljenosti vozila i prosječnoj brzini

- Balans goriva koji se odnosi na količinu goriva koja se potroši u odnosu na količinu goriva koja se procjenjuje kao korištena, a važan je aspekt procesa procjene emisija jer pomaže osigurati da podaci o potrošnji goriva budu usklađeni s očekivanim korištenjem i emisijama.
- Izračun emisija za zagađivače kao što su CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> i drugi slični zagađivači.
- Prikaz rezultata dobivenih proračunima koji su zatim izvučeni u Excel tablice.

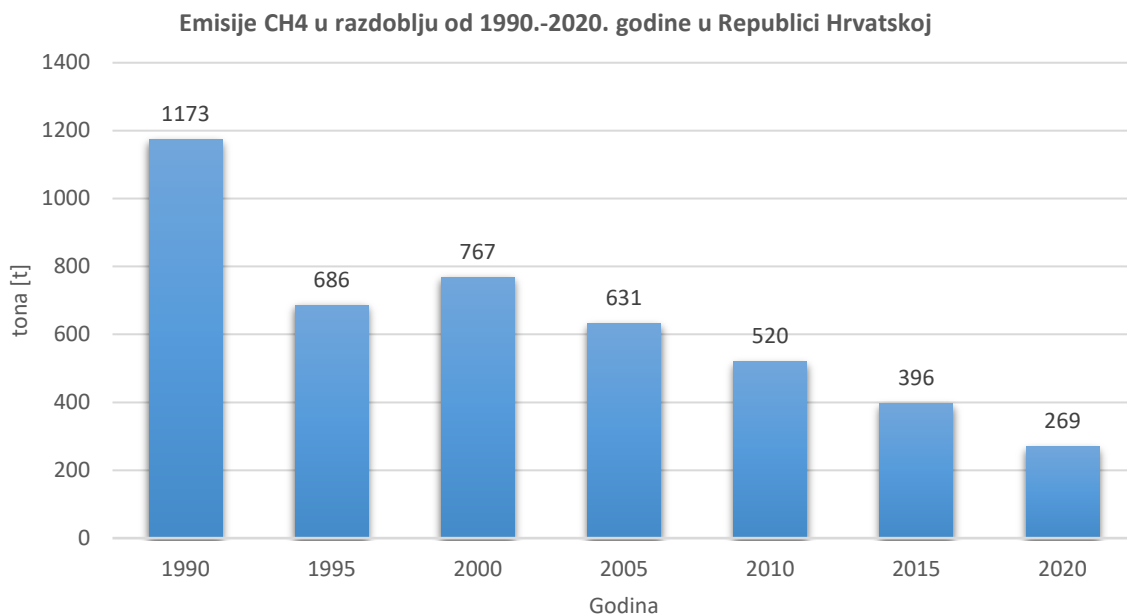
## 4.2. Izračun emisije štetnih plinova

Sukladno provedenim trend analizama i dobivenim rezultatima u prethodnom poglavlju procijenjen je budući trend emisija štetnih plinova u razdoblju do 2050. godine. Procjena budućih trendova provedena je za metan, ugljični monoksid, ugljikov dioksid te lebdeće čestice PM2,5 i PM10.

### 4.2.1. Trend kretanja emisija posljednjih 30 godina

#### **Metan – CH<sub>4</sub>**

Prema podacima iz grafikona 4. vidljivo je da su emisije metana [CH<sub>4</sub>] u stalnom padu tijekom posljednjih 20 godina, a u odnosu na 1990. godinu, emisije su se smanjile za 77,2 %.

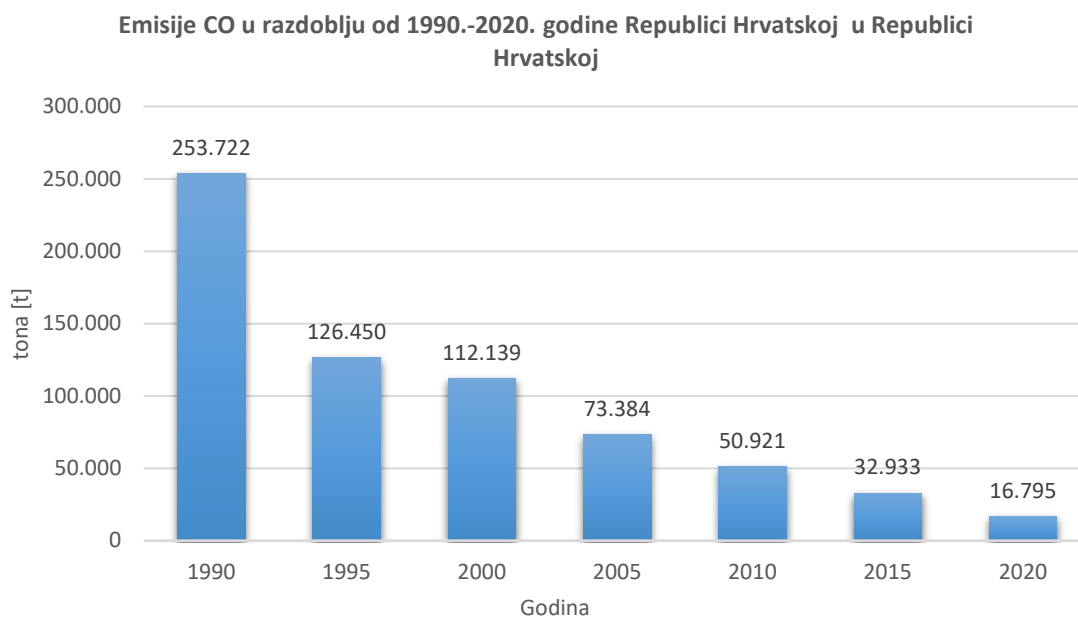


*Grafikon 4. Emisije CH<sub>4</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj*

Izvor [19]

#### **Ugljikov monoksid - CO**

Emisije ugljičnog monoksida [CO] u razdoblju od 1990. – 2020. godine vidljive su u grafikonu 5., te su u stalnom padu tijekom godina. U razdoblju od 30 godina smanjile su se ukupno za 93,2 %.

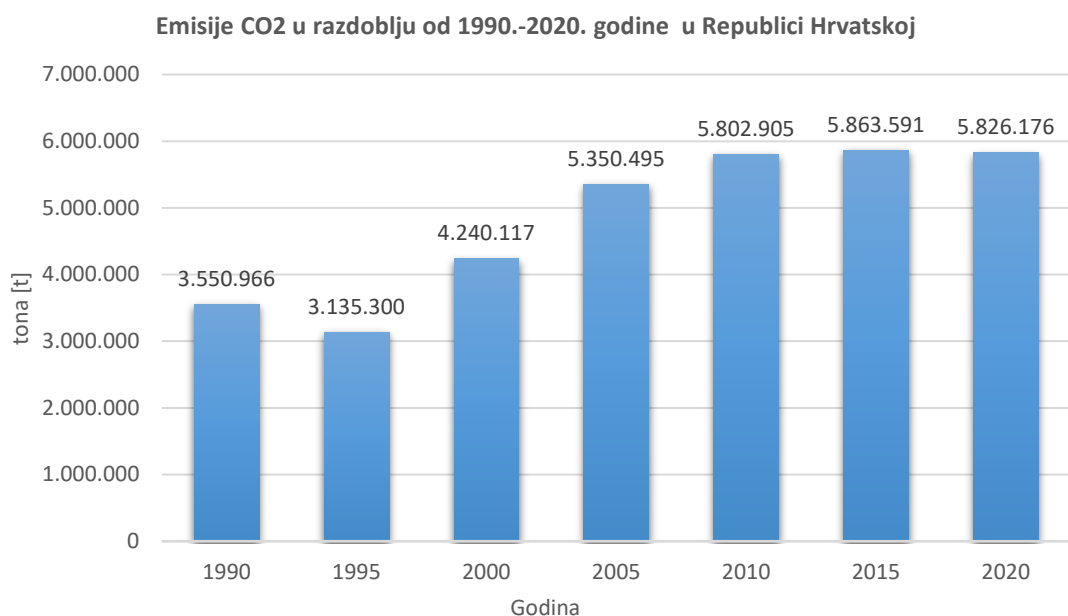


*Grafikon 5. Emisije CO u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj*

Izvor [19]

### **Ugljikov dioksid – CO<sub>2</sub>**

Prema podacima iz grafikona 6. emisije ugljikovog dioksida [CO<sub>2</sub>] u konstantnom su porastu, osim pada 1995. godine, te 2020. godine koja je povezana sa smanjenim kretanjem vozila zbog pandemije. Povećanje emisija unutar posljednjih 30 godina iznosi 39,5 %.

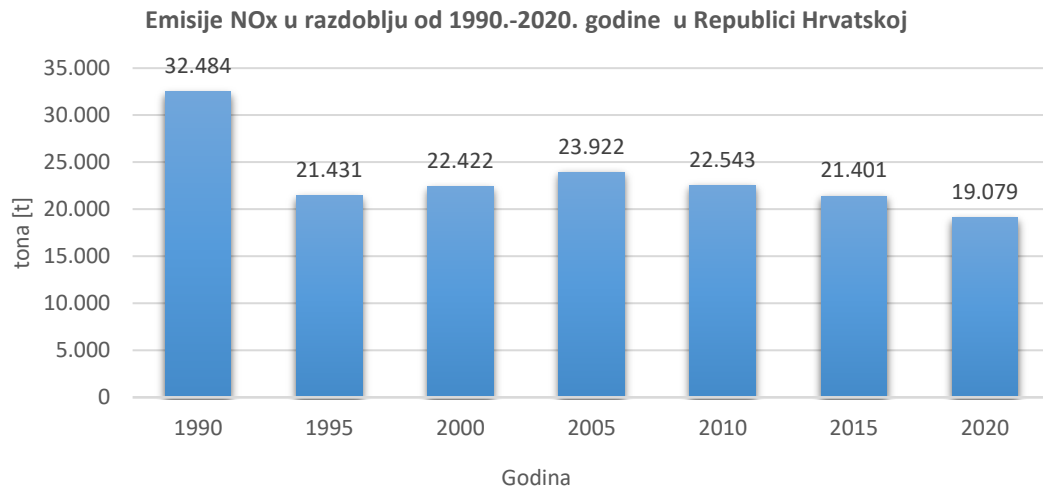


*Grafikon 6. Emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj*

Izvor [19]

## Dušikov oksid – NOx

Kretanje zagađenja emisijama dušikovih oksida [NOx] vidljivi su u grafikonu 7. Najveća količina emisija je zabilježena 1990. godine, a kroz period od 30 godina bilježeni su blagi rastovi i padovi u količini emisija dušikovih oksida. Ukupni pad emisija u posljednjih 30 godina iznosi 41,27 %

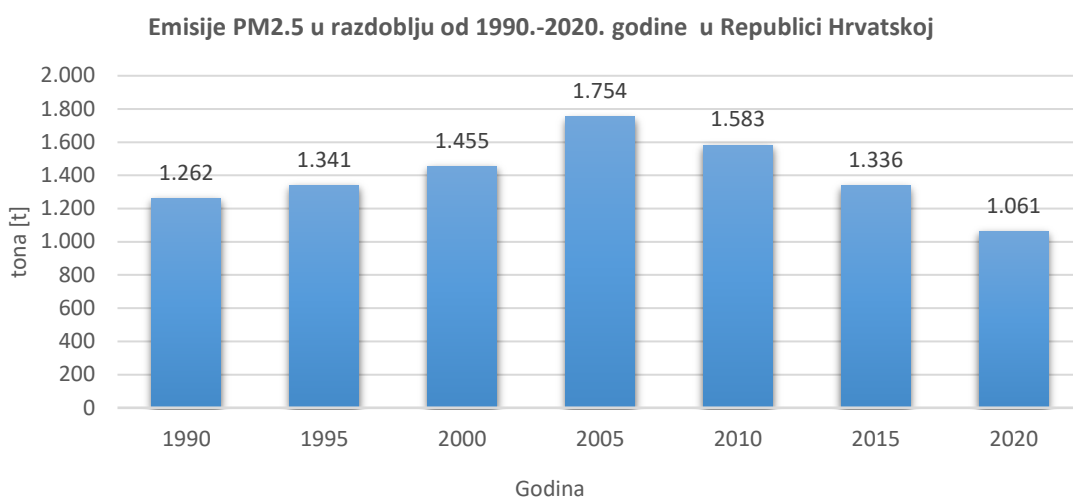


Grafikon 7. Emisije NOx u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj

Izvor [19]

## Čestice – PM<sub>2.5</sub>

Kretanje količina emisija čestica [PM<sub>2.5</sub>] u razdoblju od 1990.-2020. godine prikazani su u grafikonu 8., te variraju tijekom tok perioda. Do 2005. godine emisije su u stalnom porastu, dok od 2005. do 2020. godine u konstantnom padu. U 2020. godinu u odnosu na 1990. godine, emisije čestica su se smanjile za 16 %.

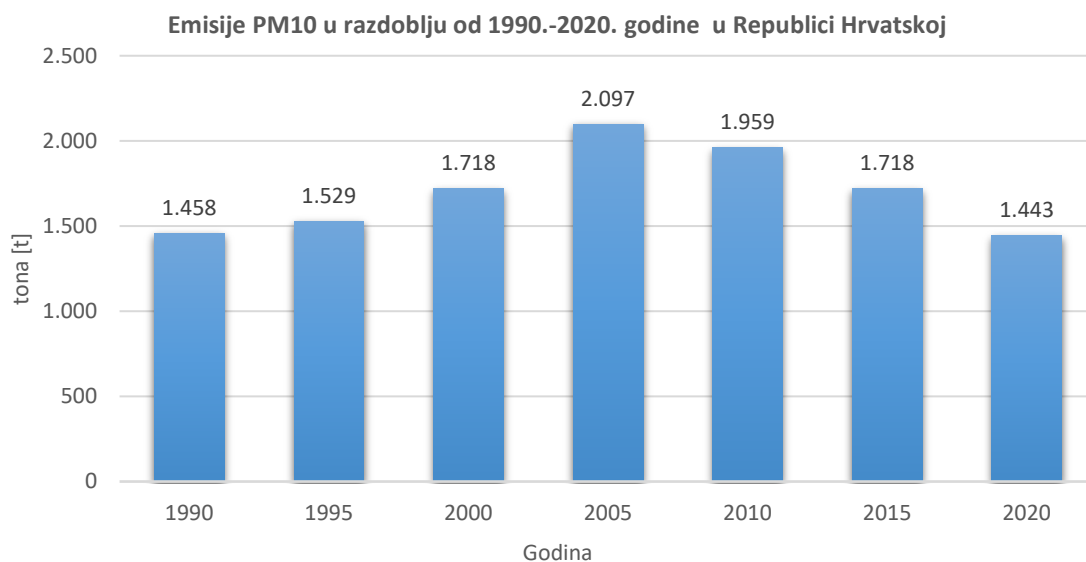


Grafikon 8. Emisije PM<sub>2.5</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj

Izvor [19]

## Čestice – PM<sub>10</sub>

Kretanje količina emisija čestica [PM<sub>10</sub>] u razdoblju od 1990.-2020. godine prikazani su u grafikonu 9., te variraju tijekom tok perioda u sličnim intervalima kao i kod čestica [PM<sub>2.5</sub>]. Do 2005. godine emisije su u stalnom porastu, dok od 2005. do 2020. godine u konstantnom padu. U 2020. godinu u odnosu na 1990. godine, emisije čestica su se smanjile za oko 1 % što i nije veliko smanjenje.



Grafikon 9. Emisije PM<sub>10</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj

Izvor [19]

Ukupna količina emisija koje su prikazane u prethodnim grafikonima, u periodu od prethodnih 30 godina prikazana je u tablici 1. te iznosi 34.625.331,65 [t]. Najveći udio u ukupnom zagađenju ima ugljikov dioksid [CO<sub>2</sub>] od 33.769.550,64 [t], odnosno udio oko 98 % ukupnih zagađenja.

Tablica 1. Ukupna količina emisija u periodu od 1990.-2020. godine prikazana u tonama

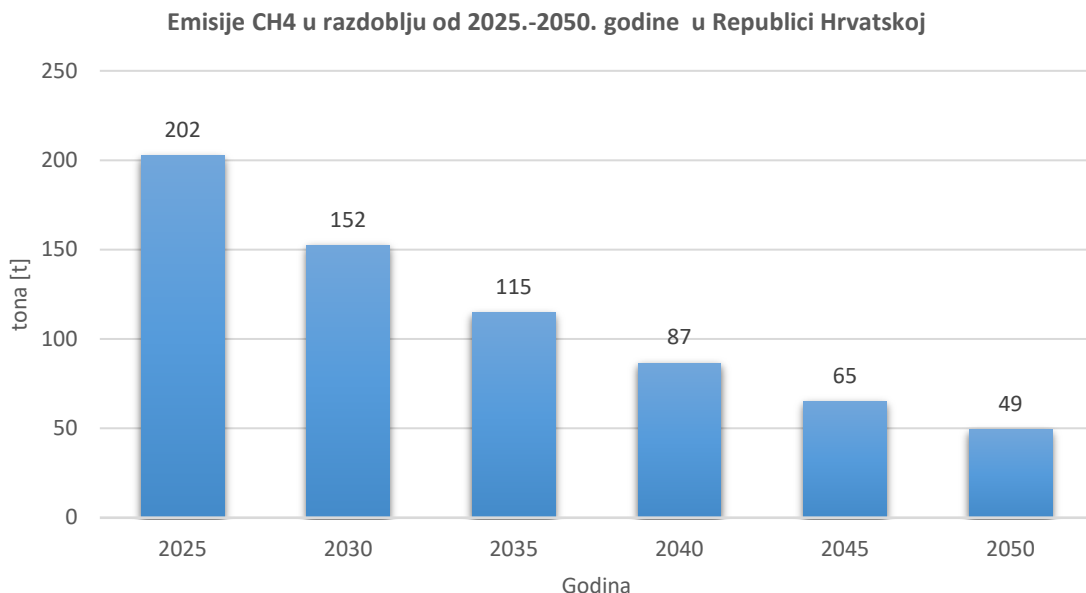
| Vrsta emisije     | Ukupna količina [t] |
|-------------------|---------------------|
| CH <sub>4</sub>   | 4.441               |
| CO                | 666.343             |
| CO <sub>2</sub>   | 33.769.550          |
| NO <sub>X</sub>   | 163.281             |
| PM <sub>2.5</sub> | 9.792               |
| PM <sub>10</sub>  | 11.921              |
| <b>Ukupno</b>     | <b>34.625.331</b>   |

#### 4.2.2. Predviđanje promjene emisija do 2050. godine

Prognoza promjene zagađenja vršila se za emisije metana, ugljičnog monoksida, ugljikovog dioksida, dušikovih oksida, te čestica PM2,5 i PM10 za razdoblje od 2025. godine do 2050. godine za svakih 5 godina. Prognoza promjena se pretpostavila na način da su se uzeli postoci porasta ili pada između 5 godina, za posljednjih 15 godina, te s prosjekom dobivenih postotaka množila svaka dobivena vrijednost za narednih 5 godina.

##### **Metan – CH<sub>4</sub>**

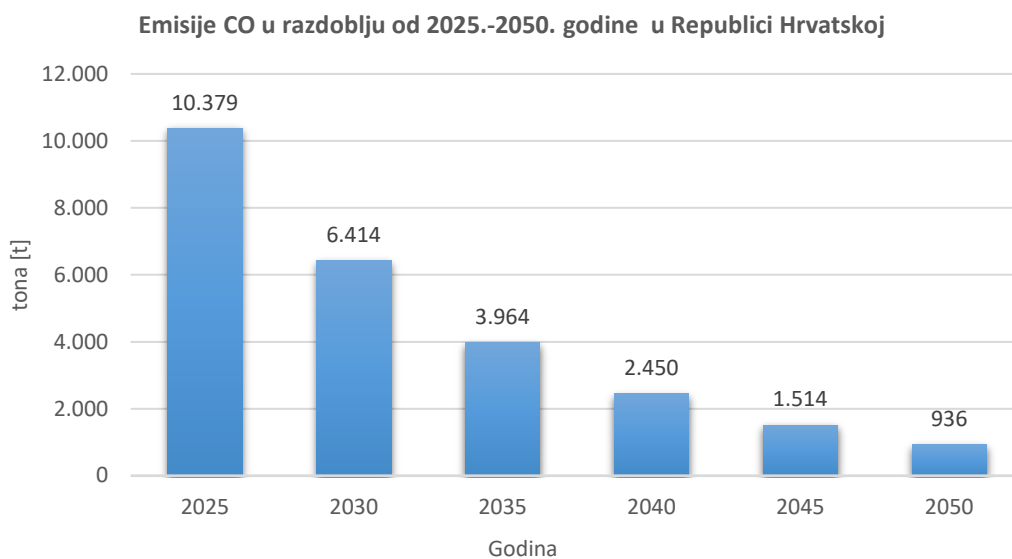
Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno smanjenje emisije metana za oko 25 % za vremenski period od pet godina. U skladu s navedenim podacima iz grafikona 10. vidljivo je da su emisije metana i dalje u konstantnom padu u narednom periodu od 25 godina. Do 2050. godine emisije metana bi se trebale smanjiti za 76 %



*Grafikon 10. Emisije CH<sub>4</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*

##### **Ugljikov monoksid - CO**

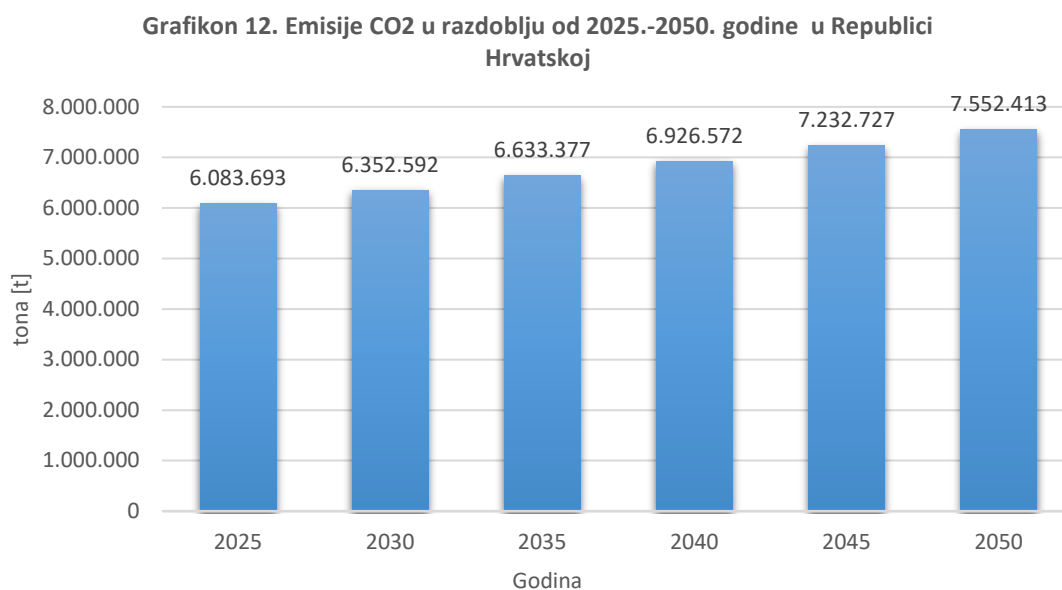
Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno smanjenje emisije ugljikovog monoksida za oko 38 % za vremenski period od pet godina. Emisije ugljičnog monoksida za buduće razdoblje od 2025. – 2050. godine vidljive su u grafikonu 11. Prognoza emisija za narednih 25 godina i dalje pokazuje pad, te bi se do 2050. godine trebale smanjiti za 91 % što je ujedno i najveće smanjenje emisija od svih zagađivača za koje je vršena prognoza.



*Grafikon 11. Emisije CO u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*

### **Ugljikov dioksid – CO<sub>2</sub>**

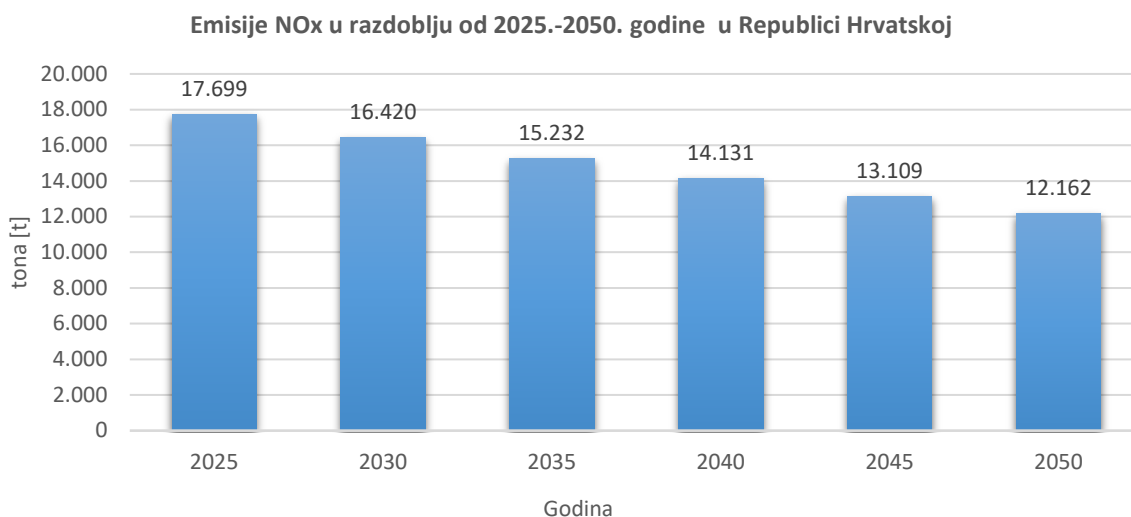
Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno povećanje emisije ugljikovog dioksida za oko 5 % za vremenski period od pet godina. Prema prognoziranim podacima iz grafikona 12. emisije ugljikovog dioksida i dalje su u konstantnom porastu za budući period od 25 godina. Ugljikov dioksid je također i zagađivač koji se najviše proizvodi među emisijama za koja je vršena prognoza te jedini koji se ne smanjuje nego povećava. Do 2050. godine emisije CO<sub>2</sub> bi se trebale povećati za 19,45 %.



*Grafikon 12. Emisije CO<sub>2</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*

### **Dušikov oksid – NO<sub>x</sub>**

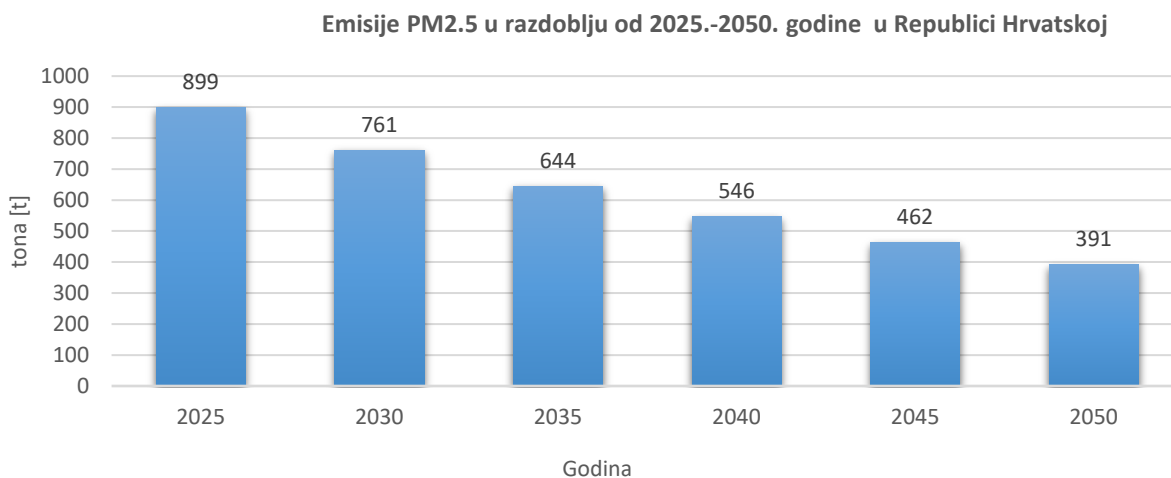
Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno smanjenje emisije dušikovih oksida za oko 7 % za vremenski period od pet godina. Prognoza emisija dušikovih oksida za narednih 25 godina vidljivi su u grafikonu 13., te su u konstantnom padu. U razdoblju od 2025. godine do 2050. godine emisije dušikovih oksida trebale bi se smanjiti za 31,29 %.



*Grafikon 13. Emisije NOx u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*

### **Čestice – PM<sub>2.5</sub>**

Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno smanjenje emisije čestica [PM<sub>2.5</sub>] za oko 15 % za vremenski period od pet godina. Prognoza kretanja emisija čestica u razdoblju od 2025. - 2050. godine prikazani su u grafikonu 14., te su i dalje u padu. U periodu od narednih 25 godina emisije čestica PM<sub>2.5</sub> bi se trebale smanjiti za 56,5 %.

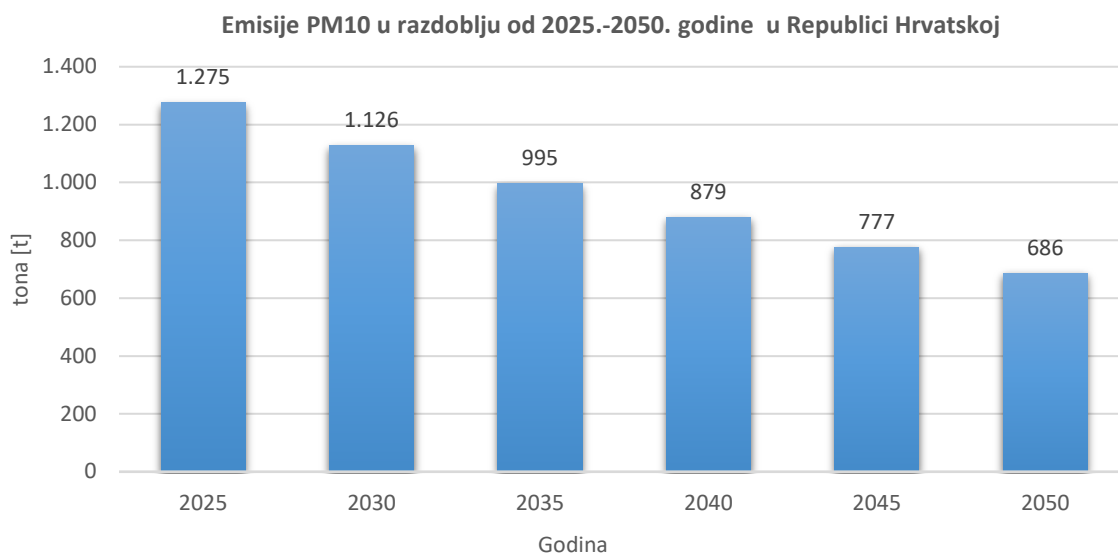


*Grafikon 14. Emisije PM2.5 u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*



## Čestice – PM<sub>10</sub>

Prema prethodno opisanim grafikonima i podacima emisija za prijašnje godine utvrđeno je prosječno smanjenje emisije čestica [PM<sub>10</sub>] za oko 12 % za vremenski period od pet godina. Predviđena prognoza za čestice za narednih 25 godina prikazana je u grafikonu 15., te je u konstantom padu za taj period. Do 2050. godine količina emisija čestica PM<sub>10</sub> trebala bi se smanjiti za 46,38 %.



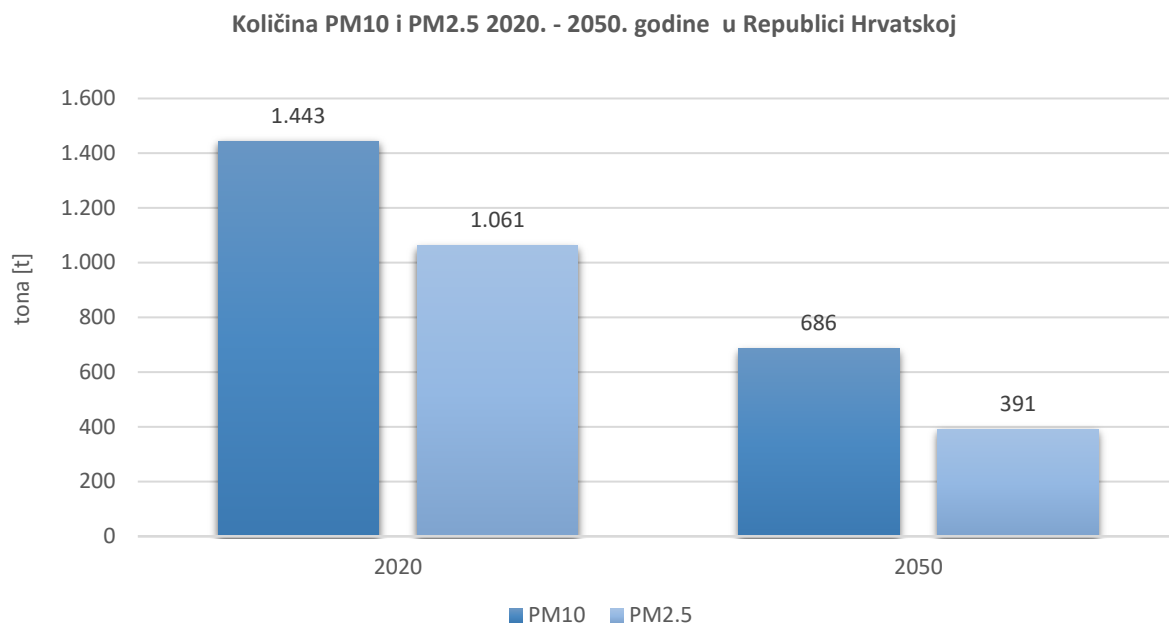
*Grafikon 15. Emisije PM<sub>10</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj*

Ukupna predviđena količina emisija koje su prikazane u prethodnim grafikonima, za naredni periodu od 25 godina prikazana je u tablici 2. te iznosi 40.905.896 [t]. Kao i u prethodnoj tablici 2. koja prikazuje ukupne količine emisija za prethodnih 30 godina i dalje najveći udio od svih zagađivača ima ugljikov dioksid [CO<sub>2</sub>] od 40.781.373 [t], odnosno udio od preko 99 % ukupnih zagađenja.

*Tablica 2. Ukupna prognozirana količina emisija u periodu od 2025.-2050. godine prikazana u tonama*

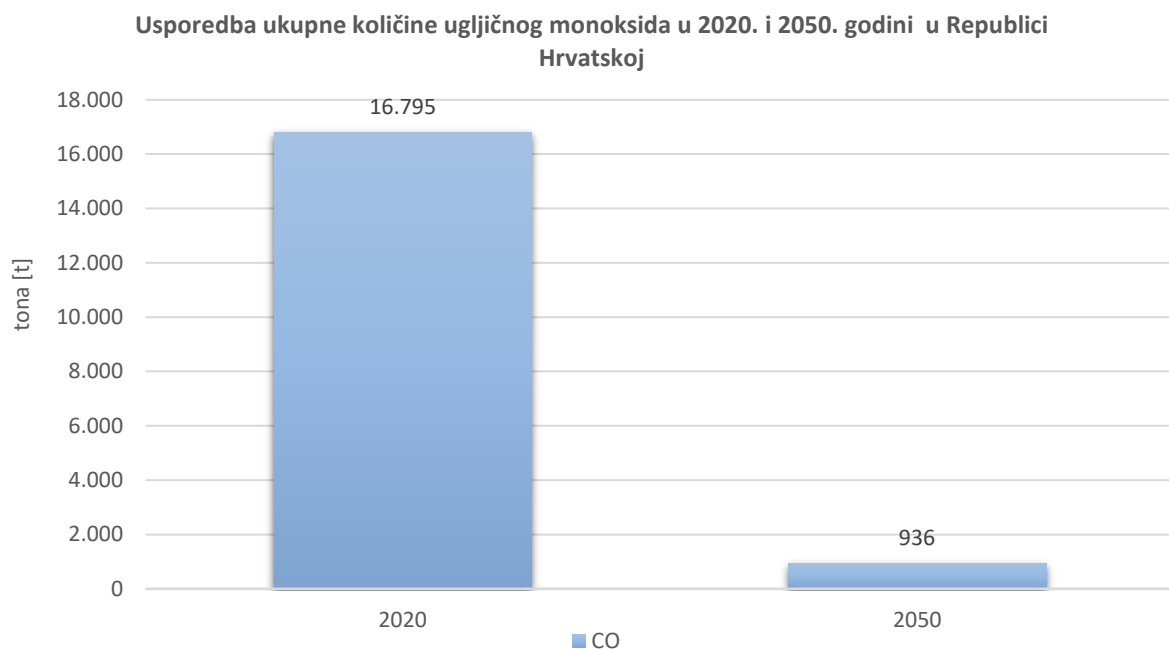
| Vrsta emisije     | Ukupna količina [t] |
|-------------------|---------------------|
| CH <sub>4</sub>   | 670,55              |
| CO                | 25.656              |
| CO <sub>2</sub>   | 40.781.373          |
| NO <sub>x</sub>   | 88.753              |
| PM <sub>2.5</sub> | 3.703               |
| PM <sub>10</sub>  | 5.737               |
| <b>Ukupno</b>     | <b>40.905.896</b>   |

Usporedba ukupne količine emisija čestica u razdoblju od 2020. godine do 2050. godine za vidljiva je u grafikonu 16. te su emisije čestica u padu za prognozirani period.



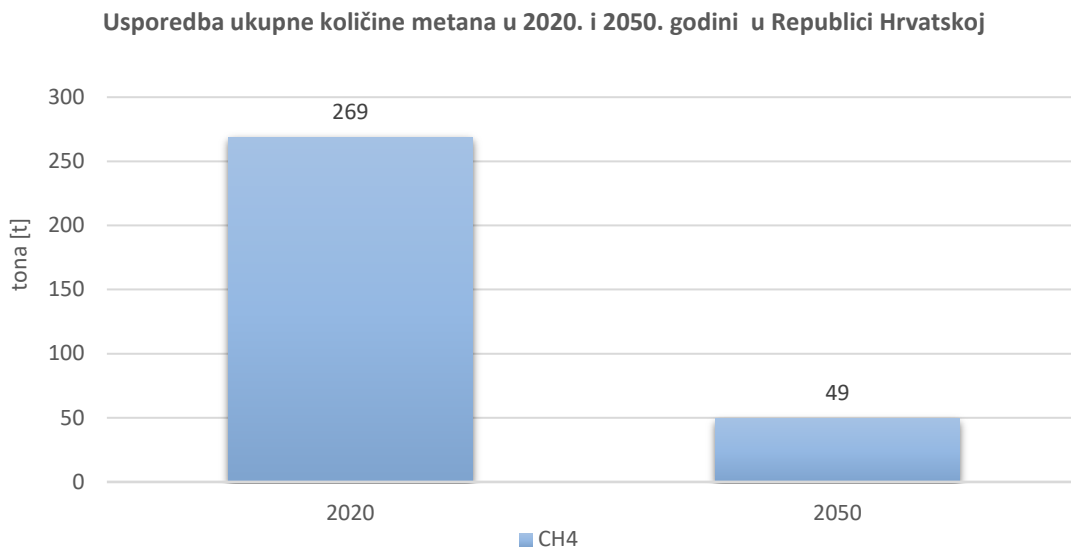
*Grafikon 16. Usporedba ukupne količine čestica u 2020. godini i 2050. godini u Republici Hrvatskoj*

Usporedba ukupne količine emisija ugljičnog monoksida u razdoblju od 2020. godine do 2050. vidljiva je u grafikonu 17. te su emisije ugljičnog monoksida u padu za prognozirani period.



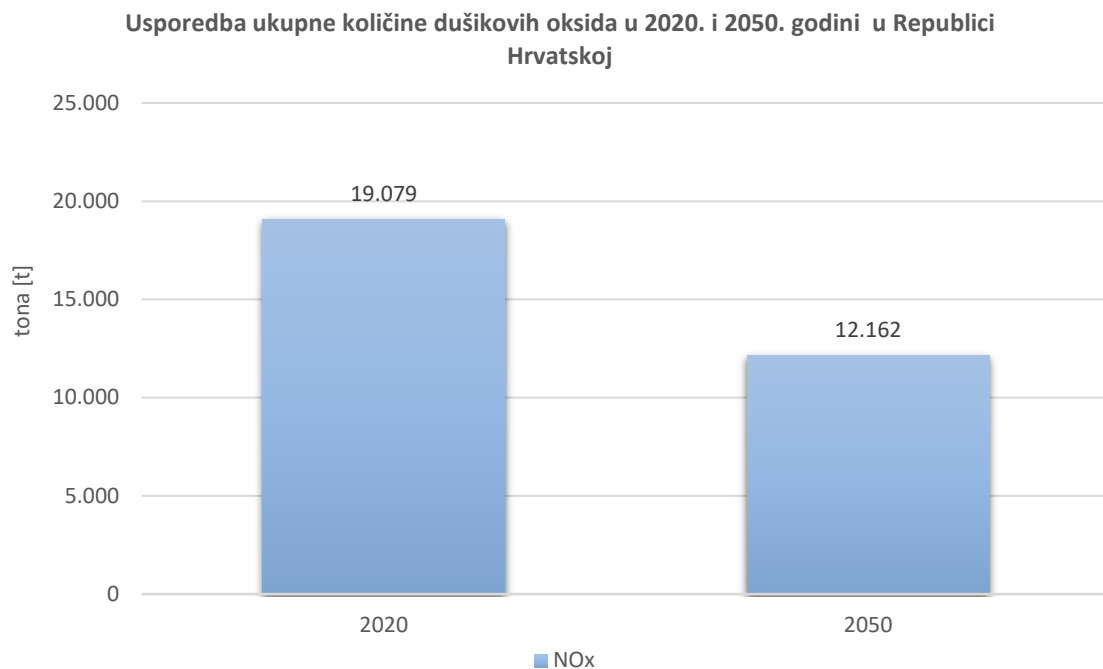
*Grafikon 17. Usporedba ukupne količine ugljičnog monoksida u 2020. i 2050. godini u Republici Hrvatskoj*

Usporedba ukupne količine emisija metana u razdoblju od 2020. godine do 2050. vidljiva je u grafikonu 18. te su emisije metana u padu za prognozirani period.



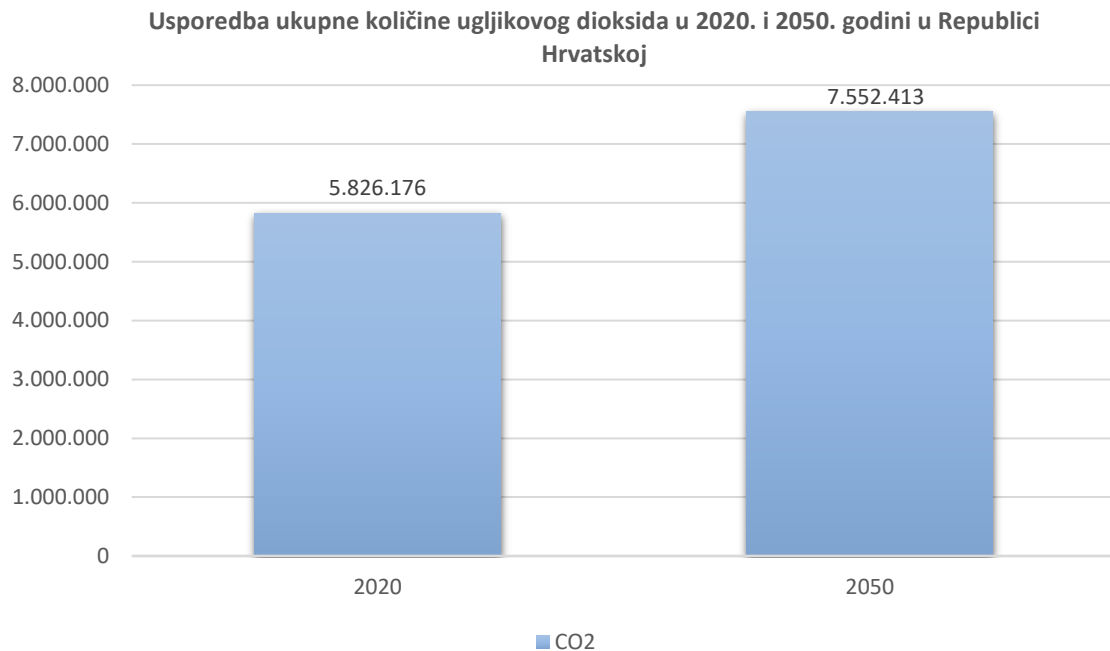
*Grafikon 18. Usporedba ukupne količine ugljikovog dioksida u 2020. i 2050. godini u Republici Hrvatskoj*

Usporedba ukupne količine emisija dušikovih oksida u razdoblju od 2020. godine do 2050. vidljiva je u grafikonu 19. te su emisije dušikovih oksida u padu za prognozirani period.



*Grafikon 19. Usporedba ukupne količine dušikovih oksida u 2020. i 2050. godini u Republici Hrvatskoj*

Usporedba ukupne količine emisija ugljikovog dioksida u razdoblju od 2020. godine do 2050. godine vidljiva je u grafikonu 20. te su emisije ugljikovog dioksida u porastu za prognozirani period.



*Grafikon 20. Usporedba ukupne količine ugljikovog dioksida u 2020. godini i 2050. godini u Republici Hrvatskoj*

Iz prethodnih grafikona, vidljivo je da su sve emisije koje su prognozirane za razdoblje do 2050. godine u padu, osim ugljikovog dioksida koji je u stalnom porastu. Iako se Europska unija bori sa smanjenjem svih emisija, najviše pažnji za smanjenje se daje česticama, metanu i drugim emisijama koji imaju direktne posljedice za zdravlje. To je vidljivo i u prognoziranim rezultatima jer je prognozirano smanjenje. Pad emisija je povezan s uvođenjem novih normi i razvijanjem novih tehnologija kao što su filteri za čestice, katalizator koji smanjuje emisije ugljičnih monoksida i dušikovih oksida te razvojem novih tehnologija. Ugljični dioksid koji je u prognoziranoj porastu nije direktno štetan za ljudsko zdravlje pri malim količinama emisija, ali je ključan staklenički plin koji pridonosi klimatskim promjenama pa njegovo emitiranje ima dugoročan utjecaj na zdravlje i okoliš. Za smanjenje emisija ugljičnog dioksida trebala bi se pridodati pažnja na razvoj novih tehnologija i donošenja norma koje bi smanjile količinu emisija CO<sub>2</sub>.

## 5. ZAKLJUČAK

Prometu se pripisuje da je jedan od najvećih zagađivača okoliša s naglaskom na cestovni promet. Stvaranje ispušnih i stakleničkih plinova iz cestovnog prometa uvelike doprinosi klimatskim promjenama te ima negativan utjecaj na ljudsko zdravlje, životinjski i biljni svijet te okoliš. Ponajviše, ispušne emisije imaju teške posljedice za zdravlje ljudi te može doći do preuranjene smrt zbog tih posljedica.

Prema podacima koji su prikupljeni za prethodni period sve emisije su u padu s povremenim blagim porastom osim emisija ugljikovog dioksida koje su u konstantnom porastu te ga čine najvećim zagađivačem. Blagi porast pojedinih zagađivača se bilježi oko 2005. godine, te već u sljedećem periodu bilježe konstanto smanjenje. Ta smanjenja se mogu povezati sa sporazumima i protokolima koji su stupili na snagu od 2007., 2008. i 2012. godine u kojima Republika Hrvatska također sudjeluje, poboljšanjem kvalitete goriva i maziva, te poboljšanjem i unapređenjem same kvalitete vozila i novih euro norma. Također svoju ulogu imaju i strategije koje za cilj imaju smanjenje emisija u budućim periodima.

Prognozirani trend pada za većinu zagađivača na području Republike Hrvatske za koje je napravljen proračun je idealan jer dolazi do smanjenja od preko 90 %, no najveća problematika se i dalje javlja u emisijama ugljikovog dioksida koji se neprestano povećava i ispušta u okoliš iz godine u godinu. Trend porasta ugljikovog dioksida je zabrinjavajući zbog podatka da se godišnje ispušta oko 60 000 [t] emisija kao i sama prognoza količine emisije za predviđeni period. Takav trend rasta stvara zabrinutost jer ugljikov dioksid ima velike posljedice na ljudsko zdravlje, a s njegovim porastom i veće posljedice.

Buduća smanjenja količine emisija ugljikovog dioksida su moguća uz donošenja novih sporazuma i protokola, donošenjem novih norma, postavljanjem strožih granica, postavljanje ciljeva, unapređenjem tehnologija vozila, povećanjem kvalitete goriva, korištenjem obnovljivih izvora energije kao pogonsko gorivo, korištenjem bio goriva, korištenjem električne energija kao pogon te uz druga slična unaprjeđenja i promjene u kojima bi Republika Hrvatska trebala sudjelovati s ciljem smanjenja emisija i poboljšanjem kvalitete zraka i samog ljudskog zdravlja.

Osim spomenutih mjera za poboljšanje, odnosno smanjenje emisija ispušnih plinova potrebno je promicanje održive urbane mobilnosti i implementacija planova održive urbane mobilnosti.

## LITERATURA

- [1] proleksis.hr (14.05.2024.). Ispušni plinovi [online] Dostupno: <https://proleksis.lzmk.hr/28330/>
- [2] Štefančić G., Tehnologija gradskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb,2010.
- [3] visualcapitalist.com (15.05.2024.). Zagađenje zraka u svijetu [online] Dostupno: <https://www.visualcapitalist.com/mapped-air-pollution-levels-around-the-world-2022/>
- [4] europarl.eu (14.05.2024.). Klimatske promjene [online] Dostupno: <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20230316STO77629/klimatske-promjene-i-staklenicki-plinovi>
- [5] zzhzdanz.hr (15.05.2024.). Okoliš i zdravlje [online] Dostupno: <https://www.zzjzdnz.hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/362>
- [6] geek.hr (15.05.2024.). Efekt staklenika [online] Dostupno: <https://geek.hr/znanost/clanak/efekt-staklenika/>
- [7] carnet.hr (15.05.2024.). Efekt staklenika [online] Dostupno: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/spektroskopija-i-efekt-staklenika.html>
- [8] gcos.wmo.int (15.05.2024.). Indikatori klimatskih promjena [online] Dostupno: <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>
- [9] who.int (15.05.2024.). Okoliš i zdravlje [online] Dostupno: <https://www.who.int/about/mission/en>
- [10] zrakubh.ba (16.05.2024.). Čistoća zraka [online] Dostupno: <https://zrakubih.ba/bs/tekst/o-projektu/24>
- [11] europarl.europa.pa (16.05.2024.). Klimatsko djelovanje u Hrvatskoj trenutno stanje [online pdf.] Dostupno: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690662/EPRS\\_BRI\(2021\)690662\\_HR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/690662/EPRS_BRI(2021)690662_HR.pdf)
- [12] ccpi.org (16.05.2024.). Države s najviše zagađenja [online] Dostupno: <https://ccpi.org/which-european-countries-are-the-worst-climate-polluters-and-why/>
- [13] european-union (20.05.2024.). Siguran, održiv i povezan promet [online] Dostupno: [https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/transport\\_hr](https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/transport_hr)
- [14] rac.uk (20.05.2024.). Euro norme 1-6 [online] Dostupno: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>
- [15] mingo.hr (20.05.2024.). Europski zeleni plan [online] Dostupno: <https://mingo.gov.hr/europski-zeleni-plan-5703/5703>

[16] europa.eu (20.05.2024.). Kvaliteta zraka EU [online] Dostupno:  
<https://www.consilium.europa.eu/hr/policies/air-quality/>

[17] fzo.eu.hr (21.05.2024.). Sufinanciranje nabave energetske učinkovitijih vozila [online]  
Dostupno: <https://www.fzo.eu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetske-ucinkovitijih-vozila/7713>

[18] copert.emisia.com (27.05.2024.). Metodologija i način rada [online] Dostupno:  
<https://copert.emisia.com>

[19] copert.emisia.com (20.08.2024.). Podaci o emisijama za Republiku Hrvatsku od 1990. do 2020. godine.

## POPIS SLIKA

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Emitiranje čestica - karta svijeta iz 2022. godine.....               | 5  |
| Slika 2. Emisije EU od 1990. do 2019. godine prema sektorima.....              | 6  |
| Slika 3. Emisija stakleničkih plinova 2019. godine u EU .....                  | 7  |
| Slika 4. Grafički prikaz efekta staklenika .....                               | 8  |
| Slika 5. Posljedice zagađenja zraka na ljudski organizam .....                 | 9  |
| Slika 6. Udio ukupnih emisija po sektorima za Republiku Hrvatsku .....         | 10 |
| Slika 7. Emisija CO2 po državama članica EU .....                              | 11 |
| Slika 8. Početni izbornik u alatu COPERT.....                                  | 17 |
| Slika 9. Podaci o minimalnoj i maksimalnoj temperaturi i vlažnosti zraka ..... | 19 |
| Slika 10. Podaci o zastupljenosti vozila i prosječnoj brzini.....              | 20 |

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Ukupna količina emisija u periodu od 1990.-2020. godine prikazana u tonama .....             | 24 |
| Tablica 2. Ukupna prognozirana količina emisija u periodu od 2025.-2050. godine prikazana u tonama..... | 28 |



## POPIS GRAFIKONA

|  |    |
|--|----|
| Grafikon 1. Emisije prometa u EU-u prema načinu prijevoza iz 2019.godine .....   | 2  |
| Grafikon 2. Emisije cestovnog prometa prema vrsti vozila iz 2019. godine .....   | 3  |
| Grafikon 3. Udio primarnih zagađivača zraka za koje je odgovoran cestovni prijevoz.....                                | 4  |
| Grafikon 4. Emisije CH <sub>4</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                      | 21 |
| Grafikon 5. Emisije CO u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                                   | 22 |
| Grafikon 6. Emisije CO <sub>2</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                      | 22 |
| Grafikon 7. Emisije NO <sub>x</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                      | 23 |
| Grafikon 8. Emisije PM <sub>2.5</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                    | 23 |
| Grafikon 9. Emisije PM <sub>10</sub> u razdoblju od 1990.-2020. godine u Republici Hrvatskoj .....                     | 24 |
| Grafikon 10. Emisije CH <sub>4</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                     | 25 |
| Grafikon 11. Emisije CO u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                                  | 26 |
| Grafikon 12. Emisije CO <sub>2</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                     | 26 |
| Grafikon 13. Emisije NO <sub>x</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                     | 27 |
| Grafikon 14. Emisije PM <sub>2.5</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                   | 27 |
| Grafikon 15. Emisije PM <sub>10</sub> u razdoblju od 2025.-2050. godine u Republici Hrvatskoj .....                    | 28 |
| Grafikon 16. Usporedba ukupne količine čestica u 2020. godini i 2050. godini<br>u Republici Hrvatskoj.....             | 29 |
| Grafikon 17. Usporedba ukupne količine ugljičnog monoksida u 2020. i 2050. godini u<br>Republici Hrvatskoj.....        | 29 |
| Grafikon 18. Usporedba ukupne količine ugljikovog dioksida u 2020. i 2050. godini u<br>Republici Hrvatskoj.....        | 30 |
| Grafikon 19. Usporedba ukupne količine dušikovih oksida u 2020. i 2050. godini<br>u Republici Hrvatskoj.....           | 30 |
| Grafikon 20. Usporedba ukupne količine ugljikovog dioksida u 2020. godini i<br>2050. godini u Republici Hrvatskoj..... | 31 |

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 promijene u Republici Hrvatskoj, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 10.09.2024

Student/ica:



(ime i prezime, potpis)