

# Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka

---

Jambrešić, Filip

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:369968>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

**ZAVRŠNI RAD**

**UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA ZAGAĐENJE ZRAKA**

**THE IMPACT OF ROAD TRAFFIC ON AIR POLLUTION**

Mentor: doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

Komentor: Marko Švajda mag. ing. traff.

Student: Filip Jambrešić

JMBAG: 0135257847

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 3. travnja 2024.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 7626

Pristupnik: **Filip Jambrešić (0135257847)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj cestovnog prometa na zagađenje zraka**


### Opis zadatka:

U sklopu rada potrebno je provesti analizu zagađenja zraka i objasniti njegov štetan utjecaj na čovjeka i okoliš. Temeljem analize zagađenja zraka potrebno je objasniti vezu između zagađenja zraka i cestovnog prometa te sukladno zaključcima predložiti mjere za smanjenje zagađenja zraka u cestovnom prometu. Sukladno postojećoj svjetskoj praksi također je potrebno komentirati trendove zagađenja zraka sa stajališta razvoja cestovnog prometa.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

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

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

## **SAŽETAK:**

Rad detaljno analizira utjecaj štetnih tvari koje nastaju kao rezultat cestovnog prometa s naglaskom na njihov dugoročni učinak na okoliš i ljudsko zdravlje. U radu su opisani različiti tipovi zagađivača, uključujući čestice, plinove i druge spojeve, te njihovo štetno djelovanje na ljude, biljke i životinje. Fiziološki učinci na organizme su analizirani kroz utjecaj na respiratorni sustav, ali i šire, na opće zdravstveno stanje populacije. Rad naglašava i utjecaj štetnih tvari na ekosustave, posebno kroz zakiseljavanje tla i vode. Detaljno je opisana količina zagađenja u velikim urbanim sredinama gdje je promet najintenzivniji, kao i socioekonomske posljedice za društvo. Analizirani su i pozitivni primjeri iz prakse gdje su uvedene mjere za smanjenje zagađenja poput električnih vozila, boljeg javnog prijevoza i strožih ekoloških standarda. Kroz usporedbu trenutnih podataka s prognozama za budućnost, daje se uvid u moguće scenarije razvoja cestovnog prometa i borbe protiv onečišćenja. Rad naglašava potrebu za interdisciplinarnim pristupom kako bi se postigla održiva rješenja.

**Ključne Riječi:** Cestovni promet, zagađenje zraka, štetni plinovi, CO<sub>2</sub>, mjere za smanjenje onečišćenja, energija

## **ABSTRACT:**

The paper provides a detailed analysis of the impact of harmful substances resulting from road traffic, with an emphasis on their long-term effects on the environment and human health. The paper describes various types of pollutants, including particles, gases, and other compounds, as well as their harmful effects on humans, plants, and animals. The physiological effects on organisms are analyzed through the impact on the respiratory system, but also more broadly on the overall health of the population. The paper also highlights the impact of harmful substances on ecosystems, particularly through soil and water acidification. The level of pollution in large urban areas, where traffic is most intense, is thoroughly described, along with the socioeconomic consequences for society. Positive examples from practice are analyzed, where measures to reduce pollution have been implemented, such as electric vehicles, improved public transport, and stricter environmental standards. By comparing current data with future projections, the paper provides insights into possible scenarios for the development of road traffic and the fight against pollution. The paper emphasizes the need for an interdisciplinary approach to achieve sustainable solutions.

**Keywords:** Road traffic, air pollution, harmful gases, CO<sub>2</sub>, measures to reduce pollution, energy

## SADRŽAJ:

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Zagađenje zraka i njegov štetan utjecaj na čovjeka i okoliš</b> .....	<b>2</b>
2.1. Vrste zagađivača zraka .....	3
2.2. Uzroci zagađenja .....	6
2.3. Utjecaj na čovjeka.....	7
2.4. Utjecaj na okoliš .....	9
<b>3. Zagađenje zraka i cestovni promet</b> .....	<b>10</b>
3.1. Količina zagađivača zraka iz cestovnog prometa .....	10
3.2. Dodatni faktori zagađenja iz cestovnog prometa .....	12
<b>4. Mjere za smanjenje zagađenja u cestovnom prometu</b> .....	<b>14</b>
4.1. Razvoj i poboljšanje javnog prijevoza.....	14
4.2. Promicanje upotrebe vozila s niskim emisijama .....	16
4.3. Kontrola emisija i standardi kvalitete zraka .....	16
4.4. Uvođenje zona s niskim emisijama .....	17
4.5. Poticanje biciklizma i pješačenja .....	18
4.6. Dodaci i sustavi na vozilima .....	18
4.7. Prometni menadžment i optimizacija .....	19
<b>5. Budući trendovi</b> .....	<b>21</b>
5.1. Trend prometa.....	22
5.2. Alternativna goriva i njihov razvoj.....	24
5.3. Povećana regulacija i stroži emisijski standardi .....	27
5.4. Tehnologije budućnosti .....	29
5.5. Problemi budućnosti .....	30
<b>6. Zaključak</b> .....	<b>31</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>32</b>
<b>POPIS PRILOGA</b> .....	<b>35</b>

## 1. UVOD

Cestovni promet ima sve veću ulogu, kako u životu ljudi, tako i u prometu. Omogućio je stvari koje su se prije par stoljeća, pa čak i desetljeća činile nemogućim. Dolazak od jednog mjesta na Zemlji do drugog, za koje su trebali dani, ponekad i tjedni, cestovni promet je omogućio u istom danu. Međutim, kao i većina tehnoloških napredaka, uz dobre stvari, cestovni promet donosi i neke probleme. U ovom radu uzete su u obzir sve stvari i njihovi pozitivni, odnosno negativni, utjecaj na čovjek i prirodu. Temeljni faktori koje su gledani su efekti zagađenja zraka, te kao povratna sprega, njegov utjecaj na čovjeka i ostatak prirode.

Ovi problemi se prostiru kroz cijeli spektar pozitivnog i negativnog, te će uvijek postojati neke dobre i neke loše stvari u svakom faktoru. Cilj ovog rada je procijeniti naginje li to na cjelokupni plus ili minus, te kakva su sadašnjost i budućnost ceste i prometa na njoj, te ljudi i prirode zbog njega. Sama cestovna industrija je poprilično kompleksna; njezin rad, organizacija, te kako funkcionira. S obzirom na vrlo širok i velik raspon svih stavki, radi lakšeg praćenja istih Rad je podijeljen u 6 cjelina:

1. Uvod
2. Zagađenje zraka i njegov štetan utjecaj na čovjeka i okoliš
3. Zagađenje zraka i cestovni promet
4. Mjere za smanjenje zagađenja u cestovnom prometu
5. Budući trendovi
6. Zaključak

Drugo poglavlje daje prikaz pojmova i općih informacija o onečišćenju i zagađenju zraka, kako bi se lakše i bolje pratilo ostatak rada. U ovom poglavlju opisani su štetni plinovi koji nastaju iz cestovnih vozila, te njihov utjecaj zagađenja na čovjeka i okoliš.

U trećem poglavlju fokus je na kvantiteti plinova koji se stvaraju iz cestovnih vozila, te određenim svojstvima vozila i vozača koja utječu na zagađenje.

Velik broj različitih mjera za smanjenje, su okosnica četvrtog poglavlja. Ovo poglavlje opisuje velik broj različitih mjera koje se danas koriste za smanjenje štetnih plinova.

Predzadnje poglavlje sadržava informacije o budućnosti, prognoze, kao i logički slijed i pravac u kojem je usmjereno zagađenje, odnosno borba protiv njega i cestovni promet.

Zadnje poglavlje zaokružuje ovaj rad, uzimajući u obzir dobro i loše, sadašnjost i budućnost, te daje objektivan i subjektivan odgovor na pitanje: „Je li pred nama zelenija budućnost, i mogu li mjere i tehnologija anulirati velik broj prepreka za kvalitetniji zrak, time i kvalitetniju budućnost?“, koje je zapravo i sami temelj ovog rada.

## 2. ZAGAĐENJE ZRAKA I NJEGOV ŠTETAN UTJECAJ NA ČOVJEKA I OKOLIŠ

Svjetska zdravstvena organizacija procjenjuje, da svake godine 7 milijuna ljudi premine zbog posljedica zagađenja zraka. Prosječna osoba udahne 22.000 puta dnevno, unoseći u organizam zrak. Zrak ulazi kroz usta ili nos, prolazi kroz dišne trakte (ako je ušao kroz nos), te nastavlja do ždrijela, grkljana, dušnika, pluća, pa do bronhi, te naposljetku do zračnih vrećica (alveola) [1]. Taj cijeli proces traje par sekundi, a neophodan je za funkcioniranje čovjeka.

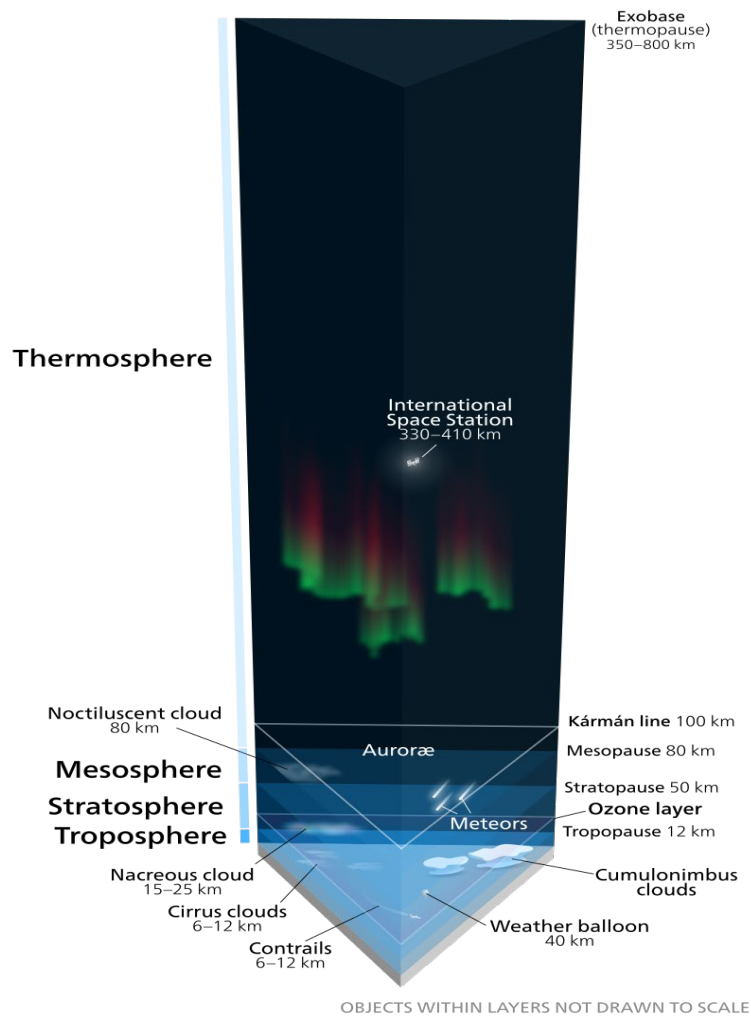
Zrak je plinska smjesa koja je nevidljiva golim okom. Plinovi koje sadrži prikazuju se u tablici 1. Od svih njih najvažniji su oni najzastupljeniji, a to su dušik i kisik. Kisik nastaje pomoću procesa fotosinteze kao produkt, uz šećere, iz ugljikovog dioksida i vode, pomoću sunčeve svjetlosti. Procjenjuje se da oko 70 % kisika dolazi iz oceana i fitoplanktona (mali organizmi koji plutaju blizu površina rijeka i oceana), 20 % iz šuma, a ostatak iz raznih organizama, travnjaka i močvara [38].

Tablica 1. Podjela spojeva u zraku

Plin	Simbol	Udio u zraku (%)
Dušik	N <sub>2</sub>	78.084
Kisik	O <sub>2</sub>	20.946
Argon	Ar	0.934
Ugljični dioksid	CO <sub>2</sub>	0.042
Neon	Ne	0.00182
Helij	He	0.00052
Metan	CH <sub>4</sub>	0.00019
Kripton	Kr	0.00011

Izvor [29]

Više slojeva plinske smjese zraka, čini atmosferu, omotač koji štiti Zemlju, smanjuje temperaturne razlike, omogućava zadržavanje topline i stvaranje uvjeta za život. Od postanka Zemlje, ovo je treća formirana atmosfera, nastala prije otprilike 2,4 milijarde godina. Atmosfera zapravo označava prostor koji se dijeli u 5 slojeva: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera i egzosfera, kao što je prikazano na slici 2. Sloj koji je najbitniji za čovjeka i prirodu je troposfera, koji se proteže do visine do 12 kilometara iznad Zemljine površine. U stratosferi se nalazi ozonski omotač koji blokira 97-99 % ultraljubičaste Sunčeve svjetlosti, koja je vrlo štetna za gotovo sve oblike života na površini. Jedna od posljedica zagađenja zraka je oštećenje omotača, te povećanje prolaznosti štetne svjetlosti. [2]



Slika 1. Slojevi atmosfere

Izvor [30]

## 2.1. Vrste zagađivača zraka

Do nečistoće zraka dolazi kada se krute i tekuće čestice, te neki plinovi raspršuju u zraku, koje se inače prirodno tamo ne nalaze, a onemogućavaju normalno disanje, prirodne pojave i stanje atmosfere.

Probleme u zraku i utjecaj štetnih tvari možemo podijeliti na dvije glavne vrste:

- Onečišćenje zraka, odnosno kada u odstupanju od njegovog normalnog sastava dolaze čestice koje se kratkotrajno zadržavaju, i ne uzrokuju izravnu štetu ljudskom organizmu, niti okolišu.
- Zagađenje zraka, koje označava unošenje tvari u zrak u toj koncentraciji koja kroz određeni period uzrokuje izravnu štetu okolišu i živim bićima, odnosno čovjeku. Također u odnosu na onečišćenje zraka, tvari koje zagađuju zrak, zadržavaju se dugoročno u atmosferi.



Veliki problem prometa dolazi od činjenice da, osim što je kvantitativno veliki zagađivač zraka, kvalitativno također proizvodi ogroman broj raznih štetnih čestica.

Glavni štetni spojevi koje stvaraju cestovna vozila su [11]:

- a) Ugljični monoksid (CO)
- b) Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)
- c) Aerosoli (fine čestice), čađa
- d) Ugljikovodici
- e) Ozon (O<sub>3</sub>)

### ***Ugljični monoksid (CO)***

Kada fosilno gorivo u motoru izgara na temperaturama koje nisu dovoljne za potpuno izgaranje, dolazi do produkcije ugljičnog monoksida. To je kemijski spoj koji je napravljen od 1 atoma kisika, koji je trostrukom vezom spojen za 1 atom ugljika. Svojstva ovog plina su da je zapaljiv, otrovan, bez boje, mirisa i okusa. Jedan je od ključnih sastojaka u mnogim procesima industrijske kemije. Njegova svojstva velike otrovnosti su izražene zbog lakoće kojom se veže na hemoglobin u crvenim krvnim zrnima, te onemogućuje vezanje kisika.

Najviše ovog plina izlazi van kad se vozilo tek upali, a u vožnji kada vozilo stoji. Trovanje ugljičnim monoksidom najčešći je tip smrtnog trovanja zrakom u velikom broju država. Jedan je od primjera gdje su niske koncentracije korisne, i služe kao neurotransmiter (slanje i primanje informacija), a visoke koncentracije su otrovne. Postotak ugljikovog monoksida u zraku oko 0,01 % stvara glavobolju i vrtoglavicu, a udjel od 0,065-0,07 % može prouzročiti smrt. [13, 14]

### ***Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)***

NO<sub>x</sub> u kemijskom smislu je skraćena za 2 spoja koja su najrelevantniji za onečišćenje zraka, a to su dušikov oksid i dušikov dioksid. Ti plinovi su ključni u stvaranju smoga i kiselih kiša, te utječu i na ozon. Prirodno dušikov oksid nastaje tijekom grmljavinskih oluja zbog ekstremnog zagrijavanja i hlađenja. Međutim, količine koje nastaju od udara groma su procijenjene na oko 8,6 milijuna tona godišnje, dok su količine koje izlaze iz stvaranja goriva procjenjuju na 28,5 milijuna tona. Do njegovog stvaranja još dolazi tokom gnojidba, te neke posebne biljke, stvaraju veće količine NO<sub>x</sub> od ostalih (javor, tulipan...). [15]

Za vrijeme vožnje, dušikovi oksidi nastaju tijekom izgaranja goriva koja sadrže dušik. Dok se vrši proces izgaranja, dušik se oslobađa, te se pretvara u N<sub>2</sub> ili NO spajajući se s kisikom. Smatra se da postoje 2 primarna načina nastanka dušikovih oksida tijekom rada motornih vozila. Prvi način je oksidacijom dušika za vrijeme početnih faza izgaranja, i tu nastaje većina štetne tvari, jer je količina hlapljive tvari i vrste goriva puno veća nego u drugom slučaju. U drugom slučaju, dušik nastaje kod izgaranja dijela goriva koji je pougljen. Reakcija je sporija od hlapljive faze, i proizvodi oko 20 % dušika. [16]

## **Aerosoli**

Aerosoli imaju velik broj sličnih definicija, vrlo ih je lako definirati kao krute čestice ili kapljice tekućina u zraku ili drugoj vrsti plina. Problem nastaje kod toga što aerosoli obuhvaćaju puno vrsta različitih spojeva, koji imaju različita svojstva koja se često pridodaju definiciji aerosoli. Te čestice su ljudskom oku nevidljive, vrlo često manje od 1 mikrometra u plinu. Po prirodi one stvaraju maglu, dim ili prašinu, a u atmosferu još dolaze vulkanskom aktivnošću, kondenzacijom vode itd. Ljudskom upotrebu, u prirodu dolaze iz sprejeva (dezodoransi, parfemi), raspršivača (poljoprivreda), električnih cigareta, mnogih drugih izvora, i naravno motornih vozila. Svoju posebnu problematiku imaju jer za razliku od drugih izvora onečišćenja koje proizvode vozila, gotovo uvijek ne mijenjaju svoj kemijski sastav u doticaju s drugim elementima. Dodatno svojstvo koje imaju, je da što su manje, to mogu prodrijeti dalje u tijelu, pa budući da ne mijenjaju sastav, ljudi direktno udišu čestice koje imaju vrlo štetna svojstva. Čestice potiču razvoj respiratornih i kardiovaskularnih problema, te bolesti poput Parkinsonove bolesti i Alzheimerera. [17]

Čestice koje nastaju kao produkt cestovnih vozila imaju većinski negativna svojstva. Nastaju na 2 načina:

- a) Izgaranjem goriva
- b) Trošenjem guma i kočnica, podizanjem prašine

Često im se daje naziv ovisno o njihovoj veličini, poznate su PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>. Problem budućnosti s ovim česticama, je taj da će ih biti nemoguće potpuno izbaciti iz „proizvodnje“ cestovnog prometa. Čak i ako se uvedu vozila koja ih neće proizvoditi kao jedan od nusprodukata goriva, i dalje će nastajati kod trošenja guma, kočnica, ili kao prašina. [17]

## **Ugljikovodici**

Vrlo jednostavni spojevi koji sadrže samo molekule ugljika i vodika nazivaju se ugljikovodicima. Smatraju se matičnim tvarima svih organskim spojeva. Općenito su bezbojni i imaju svojstvo hidrofobni, slabog mirisa sličnog benzinu. Mogu biti u velikom broju struktura, i faza (plinovi, tekućine, krute tvari, polimeri). U prirodi se nalaze u sirovoj nafti, ugljenu i prirodnom plinu. Koriste se kao izvor zapaljivog goriva.

Kod vozila, nastaju kod nepotpunog izgaranja, koje se uglavnom događa kod loše održanih motora, i kod korištenja goriva loše kvalitete. Ubačeni u zrak doprinose stvaranju ozona, te je kao jedan od produkata izgaranja ugljikovodika i ugljični dioksid. Posebno su štetni aromatski i klorirani ugljikovodici. Stvaraju probleme sa zdravljem, i specifično loše utječu na mozak. Drugi način na koji ugljikovodici zagađuju okoliš je kod izlivanja u tlo, kojem promijene njegova mikrobiološka, kemijska i fizikalna svojstva. Kod izlivanja u tlo mijenjaju prirodni rast vegetacije, te ih je vrlo teško izvući iz kontaminiranog tla. [18]

## **Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon je molekula kemijske formule O<sub>3</sub>. To je plin oštrog mirisa, i plavkaste boje. Nazvan je sekundarnim onečišćivačem jer se ne ispušta direktno iz vozila, već nastaje nakon kemijske reakcije između dušikovih oksida i drugih organskih spojeva pod utjecajem topline i sunčeve svjetlosti. Mjesta gdje nastaju veće količine ozona su kabine zrakoplova, uredi s fotokopirnim strojevima, sa sterilizatorima i sličnom aparaturom. Ozon je otrovna tvar, ali ima vrlo brzo vrijeme poluraspada od oko 25 sati u uvjetima sobne temperature. Brzo vrijeme poluraspada nas štiti od puno većeg problema, koje bi ozon stvarao da ima veću stabilnost atoma. Vrlo je zanimljiv zbog svojih korisnih i štetnih svojstava, ovisno o tome gdje se nalazi u atmosferi. Bez ozona u ozonskom omotaču život na Zemlji ne bi bio moguć, jer on štiti od ultraljubičastog zračenja.

Ozon na tlu, nazvan još i prizemni ozon stvara velike zdravstvene probleme, pogotovo u plućima. Kratkoročna izloženost većim količinama ozona dovodi do otežanog disanja, piskanja i kašlja, što može pogoršati bolesti poput astme, ili kroničnih plućnih bolesti. Dugoročna izloženost ozonu povećava smrtnost od uzroka krvožilnog i dišnog sustava, povećava šanse za hospitalizacijom osoba s već urođenim dišnim bolestima, te povećava rizik od razvoja raznih sindroma povezanih s respiratornim sustavom. [19]

### **2.2. Uzroci zagađenja**

Definirajući zagađenje zraka kao prisutnost otrovnih tvari u atmosferi, postoji 5 glavnih načina na koji se zrak zagađuje [3]:

- a) Izgaranje fosilnih goriva (cestovni promet, razne vrste energije...)
- b) Emisije iz industrija i tvornica
- c) Poljoprivredne aktivnosti
- d) Proizvodnja i zbrinjavanje otpada
- e) Prirodne nepogode (zapaljenje, vulkanske aktivnosti...)

Ugljen, nafta i zemni plin definiraju se kao fosilna goriva jer nastaju raspadanjem zakopanih mrtvih organizama, te period koji je potreban da od organizma nastane gorivo je otprilike milijun godina. Danas su osnovni izvor energije na Zemlji. Sadrže visoke postotke ugljikovodika i ugljika. Kod njih dolazi do problema da se njihovim izgaranjem oslobađaju velike količine ugljičnog monoksida i dioksida, sumpornog dioksida i sličnih plinova, koji imaju štetan utjecaj na okoliš. Osim svoje štetnosti, njihov problem je i u ograničenoj količini, te će kroz neki vremenski period (50-200 godina) biti istrošene. Zbog tih razloga dolazi do velike potrebe za alternativnim i obnovljivim izvorima energije kao što su: nuklearna, solarna, energija vjetra, hidro-električna i slične.

Mnogi procesi u industrijskoj proizvodnji ispuštaju razne zagađivače u zrak, najviše ugljični monoksid i sumporov dioksid. Dok kemijska postrojenja ispuštaju HOS spojeve i NO<sub>x</sub> koji su specifično štetni za respiratorni sustav, i pridonose smogu. Na ovom problemu se mukotrpno radi još od 2010., kada je 24. studenog iste godine donesena Direktiva o industrijskim emisijama, koja radi pritisak na države da koriste „najbolju dostupnu tehnologiju“, i dodatno plaćaju bilo kakve propuste u smislu smanjenog zagađenja zraka. [34]

Poljoprivreda i onečišćenje zraka imaju vrlo zanimljivu dvosmjernu povezanost. Dvosmjerna povezanost dolazi od toga da poljoprivreda zagađuje zrak, te povratno, zagađeni zrak ima loš utjecaj na biljke, odnosno usjeve, i životinje. Poljoprivreda, točnije proizvodnja hrane, odgovorna je za oko 25 % emisija stakleničkih plinova, proizvodi oko 95 % ukupnog amonijaka i samim time oko 58 % finih čestica. Pesticidi, herbicidi, te gnojiva su odgovorna za najveći postotak zagađenja, no ne samo da ti spojevi loše utječu na zrak i njegovu kvalitetu na prostoru gdje su korišteni, nego dospijevaju u obližnja susjedstva, i agrikulturne prostore, gdje imaju negativne efekte. Poboljšanjem kvalitete zrake, poboljšat će se kvalitete usjeva, te će samim time potrebe za već spomenutim dodacima biti manje, te se dolazi do kruga gdje će se i manje zagađivati zrak iz poljoprivrede. [35]

Otpad ima vrlo zanimljivo mjesto u društvu. Kao skup stvari koje imaju malu, ili nikakvu funkciju, cijelo društvo se pokušava riješiti otpada. Problem otada i njegovih odlagališta je što osim neugodnih mirisa ispušta i ogromne količine metana, štetnog stakleničkog plina. Zbrinjavanje otpada je također vrlo česta djelatnost kojom se bave ljudi iz sivih i crnih područja djelatnosti, zbog svoje lakoće oko pripisivanja troškova i pranja novaca. Problem nastaje što adekvatnije zbrinjavanje i saniranje, košta puno više novaca. Neka od rješenja ovih problema su stavljanja svih odlagališta u gradska i državna vlasništva, te vrlo stroge norme i zakoni koji će regulirati ponašanje i kvalitetu odlagališta otpada.

Način na koji štetni plinovi nastaju prirodnim putem je kao nusprodukt prirodnih nepogoda. Glavni izvori su vulkanske erupcije, pješčane oluje, i šumski požari. Na ove događaje se ne može previše utjecati, a kod požara nastaju velike količine dima i CO<sub>2</sub>, dok vulkani ispuštaju sumporov dioksid i pepeo, a pješčane oluje najviše zagađuju raznim česticama. Smanjenje se može očitovati jedino kod smanjenje požara, i to onih za koje je odgovoran čovjek.

### **2.3. Utjecaj na čovjeka**

Zagađenje zraka može imati direktan i indirektan utjecaj na čovjeka. Indirektno zagađuje biljke i životinje koje on konzumira, te mijenja prirodu na negativan način, te mu time šteti. Te posljedice je teže mjeriti, jer je potrebno ukloniti promjenjive varijable u faktoru

životinja i prirode, kojih je bezbroj. Neke druge indirektno posljedice koje dolaze do izražaja zbog problema sa zdravljem su nejednakosti u zdravlju, budući da su ranjive skupine djeca i stariji više pogođeni zagađenjem. Opterećenje zdravstvenih ustanova i cijelog ekonomskog sustava su također neizbježni, smanjenje kvalitete života pojedinaca i obitelji. Stvari koje ekonomski utječu su te da svaki pojedinac ako je bolestan, smanjuje produktivnost sustava. Dodatni oportunitetni trošak koji još može nastati je smanjen turizam, jer zagađene destinacije gube na atraktivnosti. Direktno posljedice je puno lakše primijetiti i opisati, u njih spadaju problemi sa zdravljem.

Dišni sustav je direktno i najviše pogođen onečišćenjem zraka. Na njega najviše djeluju čestice ozona i dušikovog dioksida, te bilo kakve tvari kojih prirodno nema u zraku. Kratkotrajne posljedice uključuju kašalj, nadraženost grla i otežano disanje. Dugoročne posljedice su puno gore, i u njih spadaju povećani rizik od razvoja kroničnih bolesti dišnog sustava, npr. astme, kronične opstruktivne plućne bolesti i raka pluća. Najosjetljiviji na ove posljedice su djeca i starije osobe. Procjenjuje se da oko 43 % plućnih bolesti nastaje zbog zagađenog zraka.

Drugo područje koje jako pati je kardiovaskularni sustav. Ovdje su posebno opasna čestice PM<sub>2,5</sub> koje mogu prodrijeti u pluća i doći do krvotoka, povećavajući upale i stres na organizam koji potiču razvoj srčanih bolesti. Dugotrajna prisutnost onečišćenog zraka dovodi do povećanog rizika od srčanog i moždanog udara, te hipertenzije. Podaci pokazuju da su izloženost onečišćenom zraku i smrti od uzroka povezanih sa srcem proporcionalne.

Živčani sustav dolazi do poteškoća zbog zagađivača PM<sub>2,5</sub> i NO<sub>2</sub>. S njima se povezuje kognitivni pad, te potencijalni povećani razvoj neurorazvojnih poremećaja kod djece. Kod starijih se zagađenje povezuje s povećanim rizikom od Parkinsonove bolesti, te nekih oblika Alzheimerera. Smatra se da do tih posljedica dolazi zbog oštećenja moždanih stanica i oksidativnog stresa.

Kod reproduktivnog zdravlja, onečišćenje ostavlja potencijalne probleme tijekom trudnoće na dijete. Neki od ishoda su mala porođajna težina, prijevremeni porod i kašnjenje u razvoju. Neke tvari u zraku poput olova, mogu uzrokovati urođene mane.

Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC), klasificirala je onečišćenje zraka kao kancerogenu skupinu 1, što znači da postoji dovoljan broj dokaza koji upućuju na izazivanje raka. Stavljajući u perspektivu od onečišćenja zraka umire između 7-9 milijuna ljudi, a od pušenja 8 milijuna. U prometnim nesrećama pogine 1.3 milijuna ljudi godišnje, 6-7 puta manje nego ih premine od kvalitete zraka. [4, 5]

## 2.4. Utjecaj na okoliš

Okoliš, kao sve žive i nežive stvari, biljke, životinje i prirodni materijali koji okružuju čovjeka, podložni su svakoj promjeni beskonačnog broja faktora prirode. Veliki faktor je disanje i aerobne sposobnosti živih bića. Prilagođavanje bića uvjetima prirode je oduvijek bio jedan od najvećih faktora opstanka i evolucije. Problem nastaje što za veće promjene organizmima trebaju deseci, stotine, ponekad i tisuće godina, jer tako promjene nastaju i u prirodi. Kod zagađenja, došlo je naglo do velikih promjena u sastavu zraka, te utjecaju zraka na prirodu, ne dajući joj vremena za prilagodbu; također se na zagađenje i specifične čestice u zraku vrlo teško prilagoditi.

Posljedica onečišćenja je kisela kiša, koja nastaje zbog sumpornog dioksida ( $\text{SO}_2$ ) i dušikovih oksida ( $\text{NO}_x$ ), i njihovog reagiranja s vodenom parom u atmosferi, stvarajući sumornu i dušičnu kiselinu. Kisele kiše oštećuju šume, jezera i tla. Mijenjaju pH vrijednost vodi, slabe biljni i životinjski život.

Oštećenje ozonskog omotača za kojeg su najviše zaslužni klorofluorouglijci, kao posljedicu ostavlja Zemlju nezaštićenu od štetnog ultraljubičastog zračenja. UV zračenje povećava stope raka kože kod ljudi i životinja, te znatno oštećuje morski ekosustav.

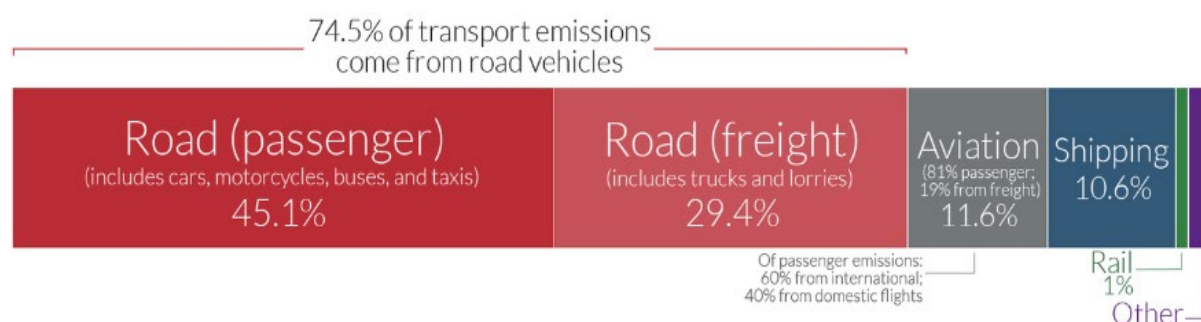
Smog i smanjenje vidljivosti imaju vrlo očite loše posljedice za ljude, međutim stvaraju velike probleme i životinjskom i biljnom svijetu, jer smanjuju kvalitetu zraka, onemogućuju fotosintezu, i smanjuju kvalitetu usjeva. Velike probleme imaju i životinjske vrste koje provode većinu vremena u zraku, zbog neprirodnih uvjeta koji otežavaju, let, lov i život. [6]

Zagađenje zraka ima velik utjecaj na klimatske promjene. U zagađenom zraku se nalaze čestice ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), dušikov oksid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) i fluorirani plinovi. Oni zadržavaju toplinu koju stvara Sunce u Zemljinoj atmosferi, te dovode do stvaranja „efekta staklenika“ koji vodi do globalnog zatopljenja. Sićušne čestice aerosoli koje se nalaze u atmosferi također imaju učinak na klimu, tako da reflektiraju svjetlost, te time ili hlade ili zagrijavaju neki prostor (ovisno o smjeru reflektiranja svjetlosti). Aerosoli stvaraju oblake koji također utječu na reflektiranje svjetlosti, te mogu imati toplinski efekte, ili učinke hlađenja.

Zbog klimatskih promjena, odnosno globalnog zatopljenja dolazi do prosječnog povećanja temperature, što sa sobom dovodi velik broj posljedica: topljenje ledenjaka, povećanje broja šumskih požara, kiseljenje oceana, klimatske promjene u određenim regijama... Većina tih promjena dovodi do negativnog lokalnog i globalnog utjecaja na cijeli okoliš, što mijenja cijelu sliku određenih područja, i uvjete za život, a sve prvenstveno zbog početnog zagađenja zraka.

### 3. ZAGAĐENJE ZRAKA I CESTOVNI PROMET

Promet je jedan od najvećih zagađivača zraka. Sam promet je vrlo širok pojam, koji obuhvaća velik broj prijevoznih sredstava, načina transporta i vrste trošenja energije, te načina zagađenja zraka. Iz prometa, bitno je izdvojiti cestovni promet kao daleko najvećeg zagađivača. Kao što je prikazano na slici 3, cestovni promet je odgovoran za oko 75 % emisija CO<sub>2</sub> od svih vrsta prometa. Ako se uzme informacija da cijeli promet proizvodi oko 20 % globalnih emisija ugljičnog dioksida, dolazi se do zaključka da je sam cestovni promet odgovoran za oko 15 % ukupne globalne emisije CO<sub>2</sub>. [7]



Slika 2. Podjela prometa po zagađenju

Izvor [7]

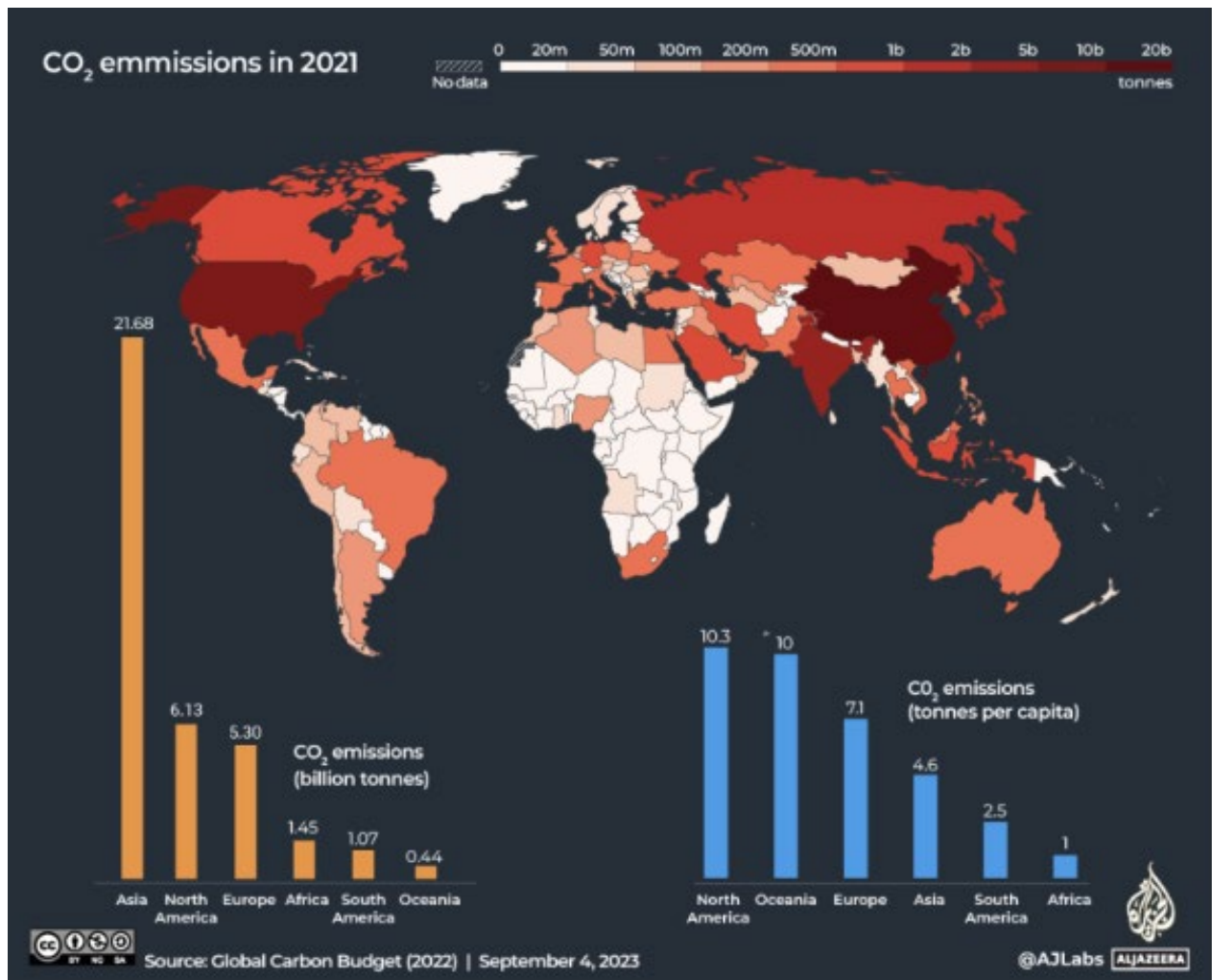
#### 3.1. Količina zagađivača zraka iz cestovnog prometa

Priča o problemima cestovnog prometa započeta je procesima industrijalizacije i motorizacije, no moderni problemi, u koje spada i zagađenje, počeli su kada je prosječna osoba mogla posjedovati auto. Ti počeci se vežu uz period od pedesetih godina 20. stoljeća do devedesetih godina istog stoljeća, ovisno o modernim regijama i područjima.

Danas, nije lako odrediti za koji točno postotak ili količinu štetnih tvari u zraku je odgovoran cestovni promet, ali što se može odrediti je da čini ogromnu razliku, ne samo u globalnom smislu, nego i u lokalnom. Ljudi koji žive bliže cestama su u prosjeku puno podložniji svim zdravstvenim problemima koji su navedeni u odlomku 2.2.1. Jedna od studija procjenjuje da je oko 8 % slučajeva astme kod djece, u okrugu Los Angelesa pripisano životu u blizini glavne ceste. Istraživanja također pokazuju da život na udaljenosti većoj od 150 metara, smanjuje koncentracije nekih onečišćivača za više od 50 %. [8]

Urbane sredine pate mnogo više od ostalih prostora. U njima cestovni promet može biti odgovoran za do 50 % više onečišćenja zraka. Dušikovi oksidi su u gradovima povećani za 40-50 % zbog prometa na cestama. Štetne čestice PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> su prisutnije za 25-30 %. Primarno zbog ispušnih plinova, također u manjoj mjeri zbog trošenja kočnica, guma i prašine koju vozila stvaraju. U Europskoj uniji 30 % ukupnih emisija CO<sub>2</sub> se pripisuje cestovnim vozilima, te se ona uzimaju kao i vodeći izvori NO<sub>x</sub> i čestica aerosoli. [9, 10]

**Ugljični dioksid (CO<sub>2</sub>)** je primarni staklenički plin koji emitira cestovni promet. Globalno svake godine promet pridonese nastanku oko 7,2 gigatona CO<sub>2</sub>. Prosječni automobil proizvede oko 4,6 metričkih tona. Na slici 3. prikazana je globalna produkcija CO<sub>2</sub> iz svih izvora.



Slika 3. Globalno zagađenje zraka (CO<sub>2</sub>).

Izvor [33]

**Dušikovi oksidi (NO<sub>x</sub>)** su jedni od najštetnijih zagađivača cestovnog prometa. Globalno je promet odgovoran za 30-50 % emisija dušikovih oksida, ovisno o regiji. U EU-u procjena je da je iz prometa došlo 39 % ukupnih Nox u 2020. godini. U većim gradovima taj postotak je još veći, do više od 50 % (npr. London).

**Čestice (PM)** su nisu količinski toliko povećane zbog utjecaja cestovnog prometa, no njihova velika štetnog i potencijalno ugrožavanje zdravlja svakako predstavljaju ozbiljan problem. Za čestice PM<sub>2,5</sub> cestovni promet je odgovoran za 13 % ukupne količine, dok je za čestice PM<sub>10</sub>, odgovoran za oko 10 % ukupnog broja.



**Ugljični monoksid (CO)**, iako u padu, i dalje stvara značajni dio štetnih plinova. U EU-u je cestovni promet emitirao oko 2,7 milijuna tona CO u 2020, dok je u SAD-u emitirao oko 13,2 milijuna tona, većina u obje regije je od lakih teretnih vozila.

**Hlapljivi organski spojevi (VOC)** količinski nastaju 1-2 grama po kilometru. Njihova količina se povećava kod starijih vozila. U Europi cestovni promet čini oko 15-20% ukupnih emisija, dok je u SAD-u ta brojka nešto veća i penje se na 25-30 %.

Tablica 2. prikazuje udio svakog kemijskog spoja u ispušnim plinovima, ovisno o vrsti motora.

Tablica 2. Tipični kemijski sastav ispušnih plinova cestovnih vozila.

KOMPONENTE	VOZILA S OTTO MOTOROM °%	VOZILA SA DIZELSKIM MOTOROM %	SREDNJI KEMIJSKI SASTAV %
Dušik N <sub>2</sub>	74 - 77	76 - 78	75 - 77
Kisik O <sub>2</sub>	0,3 - 8,0	2 - 18	4 - 9
Vodena para	3 - 5,5	0,5 - 4,0	2 - 4
CO <sub>2</sub>	5,0 - 12,0	1,0 - 10,0	5 - 12
CO	5,0 - 10,0	0,01 - 0,5	1 - 10
NO <sub>x</sub>	0,0 - 0,8	0,0002 - 0,5	0 - 0,8
Ugljikovodici (CH)	0,2 - 3,0	0,009 - 0,5	0,2 - 3,0
Čađa, g/m <sup>3</sup>	0,0 - 0,04	0,1 - 1,1	0,0 - 1,1

Izvor [12]

### 3.2. Dodatni faktori zagađenja iz cestovnog prometa

Svako cestovno vozilo zagađuje zrak u raznim količinama, na slične načine. Osim tvorničkih postavki vozila, svaki vozač, njegov pristup vožnji i vozilu utječu na količine zagađenja.

Benzinski i dizel motori proizvode različite količine zagađenja. Dizelski motori proizvode veće količine NO<sub>x</sub> i finih čestica, ali manje količine CO<sub>2</sub> od benzinskih motora zbog veće učinkovitosti goriva. Međutim, benzinski motori su dobili veliki napredak u tehnologiji u nedavnom periodu, te je povećanjem njihove učinkovitosti, značajno smanjen broj emisija. Veliki broj faktora ovisi o tome koji motor više zagađuje, pogotovo jer su način rada, sastav smjesa i način rada sustava drugačiji, te nije lako izolirati primjere ta dva ista motora budući da ih ne koriste isti modeli vozila.

Starija vozila, te vozila kod kojih održavanje nije bilo redovno emitiraju više štetnih tvari. Veće zagađenje kod starijih vozila očituje se, zbog toga što nova vozila imaju napredniju

tehnologiju, poštuju strože ekološke propise i učinkovitost goriva im je poboljšana. Tijekom vremena kod trošenja vozila, dolazi do degradacije sustava, u koje spadaju i oni za kontrolu emisija vozila, istrošeni katalizatori i neispravni ispušni sustavi. Ovaj faktor najveći je u zemljama u razvoju, gdje se na cestama nalazi veći broj zastarjelih vozila.

Zanimljiv faktor ovdje je i vrsta vozila, gdje će SUV vozila proizvoditi puno više štetnih tvari, nego manji automobili. Najveći problem ovdje stvaraju teška vozila kao što su kamioni i autobusi. Iako čine mali postotak voznog parka, zagađenje im je nerazmjerno veće. Dizelski kamion može proizvesti do 20 puta više određenih štetnih plinova po kilometru od automobila. Motocikli kao posebna skupina, iako sami po sebi ne troše puno goriva, imaju manje učinkovite sustave kontrole emisija, pogotovo stariji modeli. Istraživanja pokazuju da SUV vozila proizvode više štetnih plinova nego stara vozila. [36]

Brzina i stil vožnje su jedna od stvari na kojima pojedinac može najlakše poraditi da smanji onečišćenje. Iako su veliki faktor mogućnost vožnje i situacije na cesti, jer gužve i stalno zaustavljanje, te ponovno pokretanje stvaraju najveće potrošnje i zagađenje. Optimalnom vožnjom, smanjenjem agresivne vožnje, čestog ubrzavanja, i visokih brzina, pojedinac može smanjiti svoju potrošnju i samim time i količinu ispušnih plinova. Naglo ubrzanje uzrokuje nepotpuno izgaranje goriva, što kao posljedicu ima ispuštanje većih količina ugljikovog monoksida. Faktor kao što je intenzitet prometa je ključan za ovo, ali samim povećanjem kulture vožnje, i on se može poboljšati.

## **4. MJERE ZA SMANJENJE ZAGAĐENJA U CESTOVNOM PROMETU**

Zadržavajući se u svijetu prometa, cestovni promet sam po sebi čini vrlo specifičnu skupinu. Mane kao što su, nemogućnost masovnog prijevoza, male brzine, najveća sklonost nezgodama i nesrećama, najveće zagađenje, te ograničeni domet u odnosu na ostale oblike prijevoza, gotovo su anulirani svim prednostima koje cestovni promet nudi. Ogromna fleksibilnost i mogućnost dostava na točno određenu adresu, univerzalna dostupnost, univerzalna pristupačnost, prilagodljivost i ekonomičnost, kako za korisnika vozila, tako i za ekonomski sustav (ceste su puno jeftinije od luka ili aerodroma), te neovisnost i privatnost. Broj načina za smanjenje zagađenja je jednako velik, kao i broj vrsta zagađenja koja stvara promet. Važno je napomenuti da ne postoji jedno konačno rješenje, nego niz mjera, sustava, tehnologije, pravila i alternativa koje sve „samo“ smanjuju onečišćenje u nekom postotku.

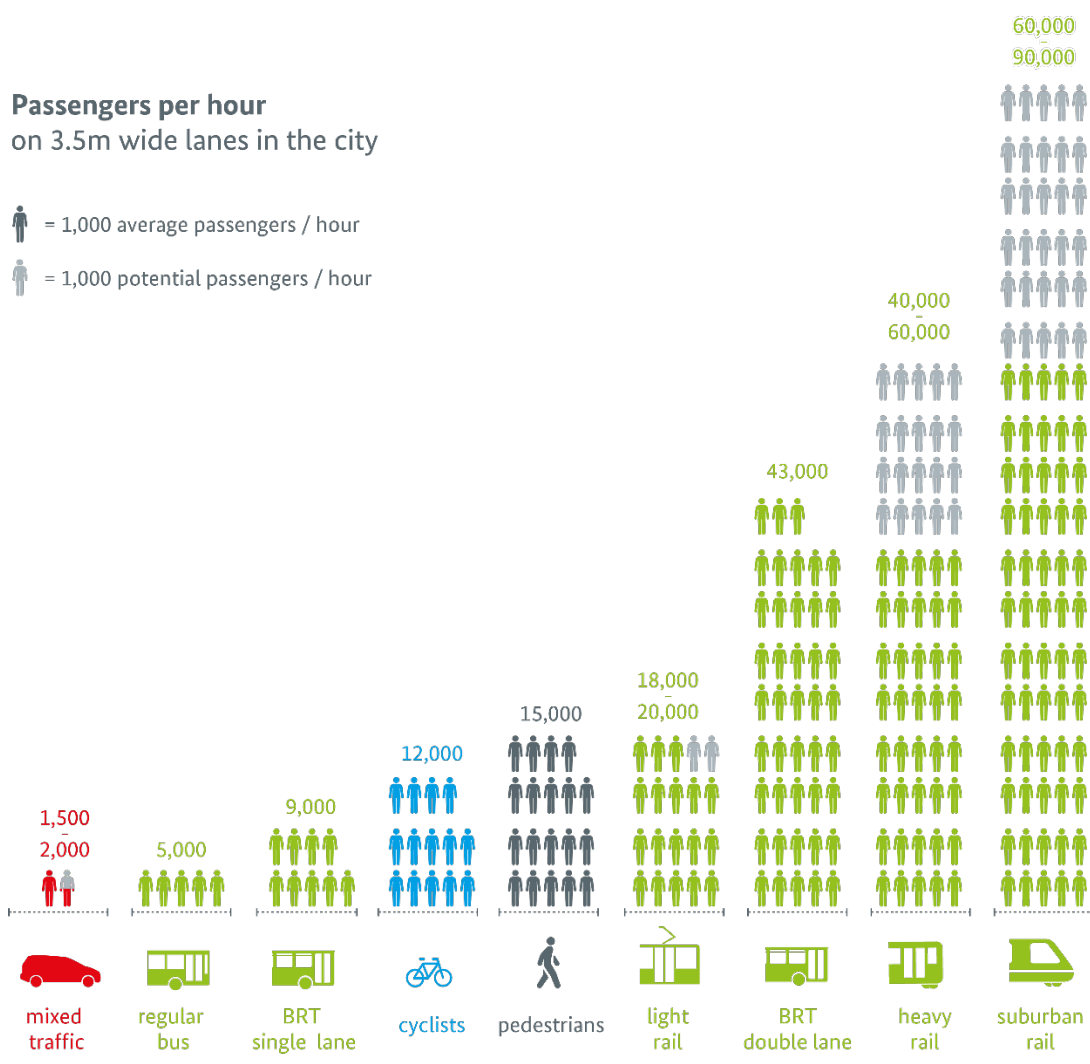
### **4.1. Razvoj i poboljšanje javnog prijevoza**

Javni prijevoz definira se kao sustav grupnog putovanja, koji se obično odvija prema rasporedu i utvrđenim rutama. U njega spadaju gradski autobusi, tramvaju, laka željeznica, putnički vlakovi, podzemna željeznica i trajekti. Javni prijevoz se obično subvencionira od strane vlade iz socijalnih, ekonomskih i ekoloških razloga.

Način na koji javni prijevoz smanjuje zagađenje je vrlo jednostavan. Veći broj korisnika, koji bi inače koristili (u prosjeku) vlastiti automobil, koriste veće prijevozno sredstvo, koje zbog svoje konstrukcije omogućuje veći broj ljudi na manjem prostoru. Samim time, povećava kapacitete prijevoza, brzinu transporta, i smanjuje zagađenje. Kao dodatni benefit javni prijevoz smanjuje gužve i korištenje zemljišta. Razlika u brzini transporta kod javnog prijevoza, u odnosu na motorni promet na cesti je prikazana na slici 4.

Sa stajališta sigurnosti u prosjeku su nesreće i ozljede prisutne u puno manjem postotku, te je broj žrtava značajno smanjen. Zajednice koje se fokusiraju na javni prijevoz imaju 20 % žrtava, u odnosu na zajednice koje su orijentirane na prijevoz automobilima. Problemi kod sigurnosti nastaju što su osobe u javnom prijevozu češće mete kradljivaca, te većina nesigurnosti dolazi od drugih putnika, ali je broj rizičnih putnika neznatno malen. [20]

Naravno javni prijevoz smanjuje komfor pojedinca, koji s vlastitim automobilom može doći na točno određeno mjesto, ima udobnost vlastitog prostora u kojem sam bira uvjete, te kreće, staje, odmara i bira sve ostale dijelove i faktore svojeg putovanja.



Slika 4. Prikaz kapaciteta putnika u različitim modovima transporta

Izvor [31]

Velik broj različitih vrsta javnog prijevoza koristi struju, ili goriva koja zagađuju manje od goriva koja koriste automobili. Procjene su da javni prijevoz smanjuje zagađenje 45-70 %, ovisno o vrsti štetnog spoja, točnoj vrsti javnog prijevoza i duljini putovanja po osobi.

Tijekom Olimpijade u Pekingu 2008. većina stanovnika morala je koristiti javni prijevoz ili bicikl, jer su bila postavljena znatna ograničenja za kretanje automobila. Kao posljedica kvaliteta zraka se značajno poboljšala: PM10 je smanjen za 28 %, CO za 19,3 %, NO<sub>2</sub> za 12,3 % i O<sub>3</sub> za 25,2 %. Slična se situacija dogodila i kod Olimpijade u Atlanti 1996., kada je pad štetnih plinova bio oko 30 %. [21]

## **4.2. Promicanje upotrebe vozila s niskim emisijama**

Većina cestovnih vozila pokreće se na dizel ili benzin, odnosno njihov motor koristi jedno od ta 2 goriva. U zadnjem desetljeću na popularnosti su jako dobila alternativna goriva, odnosno izvori energije za vozila. Danas je broj vozila koji koriste alternativno gorivo vrlo malen, međutim zakonske regulative planiraju u skoroj budućnosti potpuno izbaciti motore na dizel i benzin iz opticaja.

Izuzimajući brigu za okoliš, koja je sporedna stvar većem broju ljudi; većina ljudi će pri korištenju vozila imati 2 faktora, performanse vozila, i troškovi. U tom pogledu, zakon može teže utjecati na performanse sa strane brzine, udobnosti, izgleda i sličnih stvari, ali može imati veliki utjecaj na troškove.

Danas postoje razne subvencije i financijski poticaji, te porezne olakšice za kupnju hibrida, električnih vozila i generalno vozila s nižim emisijama. Dok su vozila na benzin i dizel, odnosno ona koja više zagađuju skuplja, plaćaju posebne poreze, te mogu imati razne dodatne troškove na temelju nekih zakona.

Najpopularnija alternativna goriva su:

- Električna energija
- Prirodni plin
- Biodizel
- Vodik
- Etanol
- Propan
- Obnovljivi dizel

Detaljnije o njima je opisano u poglavlju 5.2.

## **4.3. Kontrola emisija i standardi kvalitete zraka**

Svako vozilo dolazi iz tvornice određenog proizvođača vozila, gdje je pažljivo sastavljen svaki njegov dio. Svaki dio, prije je proizveden i napravljen po vrlo visokim standardima točne preciznosti raznih veličina (duljina, visina, težina, tvrdoća, boja...). Razne regulative, ograničenja i zakoni od strane vladajućih tijela, o dopuštenoj količini štetnih plinova koji su produkt od svakog vozila, „tjeraju“ proizvođače na vrlo visoke i skupe standarde opreme, dijelova i cijelog načina rada vozila.

U Europi, ovi zakoni su postavljeni kao standardi emisija 2019. godine u Uredbi 2019/631., te su omogućili smanjenje CO<sub>2</sub> u Europi za nove osobne automobile 27 % između

2019. i 2022., a 10 % za kombije u istom periodu. 19. travnja 2023. Europski parlament i vijeće su dodatno pojačali standarde za emisije CO<sub>2</sub> novim izmjenama Uredbe. [24]

Sjedinjene Države prate slične uvjete, te je njihova Agencija za zaštitu okoliša u ožujku ove godine, objavile nove uredbe i pojačane mjere za smanjenje štetnih plinova iz cestovnih vozila. Kod njih su vrlo bitni standardi „Corporate Average Fuel Economy“ koji zahtijevaju od proizvođača određene ciljeve učinkovitosti vozila.

Kvaliteta goriva je također jedan od ključnih faktor zagađenja, na koji zakoni imaju velik utjecaj. U ovom scenariju, direktive o kvaliteti goriva tjeraju naftne kompanije da gorivo bude što čišće i što veće kvalitete. Najčešće ograničenje na koje se zakoni fokusiraju vezano za gorivo, je količina sumpora u dizelu i benzinu.

#### **4.4. Uvođenje zona s niskim emisijama**

Dodatni način ograničenja i smanjenja štetnih plinova je ograničenje prisutnosti vozila na određenim područjima, kao što su centar grada, mjesta velikih gužvi itd. gdje se stvaraju sustavi u kojima vozila stoje, i rade na velikoj potrošnji, stvarajući velika zagađenja. U to spadaju i mjesta gdje živi velik broj ljudi i velika je protočnost vozila, koja se zakonom mogu ograničiti. Ta ograničenja se mogu provesti na 2 načina: potpunom zabranom vožnje na određenom području, ili uvođenjem bilo kakve vrste plaćanja kod ulaza/izlaza na to područje.

Provedba zona s niskim emisijama, ovisi o specifičnim ciljevima prostora na kojima se one uvode. Prolazak kroz te zone, naplaćuje se vozilima koja ne zadovoljavaju određene standarde. Najčešće su to standardi Euro 4 ili Euro 6, međutim u nekim gradovima kao što su Pariz i London, uvedene su „Zone ultra niskih emisija“, koje imaju još stroža ograničenja i više naknade za vozila koja nisu usklađena. Osim geografskog ograničenja, razna područja mogu biti i vremenski ograničena, odnosno da tijekom specifičnog vremenskog perioda, na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj ili godišnjoj bazi, se to područje smatra zonom s niskim emisijama, a inače je područje koje nije pod utjecajem ove vrste regulacija.

Iako je plan smanjenje globalnog zagađenja, smanjenje na urbanističkim područjima gdje živi najveći broj ljudi i gdje je zagađenje cestovnog prometa najveće, će dugoročno smanjiti opterećenje na zdravlje ljudi koji su zagađenju najviše izloženi. Također, pozitivno će se odraziti na globalno zagađenje, jer će „natjerati“ ljude na prihvatljivije oblike transporta.

Kritike ove vrste regulacija, dolaze od činjenice da će uvođenje ovih područja više pogađati pojedince s nižim prihodima, koji koriste starija vozila s visokim emisijama. Zato je uz ovu mjeru, važno davanje dovoljne podrške pojedincima za prijelaz na prihvatljiva i ekološki ispravna vozila. Također potrebna su velika ulaganja u infrastrukturu (kamere) koja će pratiti vozila, te baze podataka, kao i osiguravanje javne svijesti i razumijevanja propisa. Važna

činjenica za regulacije dolazi i od opasnosti „curenja onečišćenja“. Odnosno, da se premještanjem prometa iz zona koje su regulirane, ne zagade ostala okolna područja, i ne natjera ljude na veće korištenje vozila, da bi se izbjegle zone niskih emisija.

#### 4.5. Poticanje biciklizma i pješčenja

Zdraviji i aktivniji načini prijevoza i transporta, kao što su korištenje bicikla, hodanje, vožnje romobila i slične stvari, počinju od zakonskih regulativa, obrazovanja stanovnika i edukacije. Aktivni prijevoz je u svakom pogledu zdraviji, ima mnoge benefite za zdravlje, smanjuje troškove cijelom društvu, te je ekološki puno prihvatljiviji. Redovita tjelesna aktivnost povezana je s nizom zdravstvenih prednosti, uključujući smanjeni rizik od pretilosti, bolesti srca, moždanog udara i drugih kroničnih bolesti. Aktivni prijevoz susreće se s dva najveća problema. Prvi je nedostatak infrastrukture, koji može biti riješen samo na zakonodavnoj razini, te ta infrastruktura i projekti njezine gradnje moraju biti potaknuti od strane vlade. Drugi problem je nedostatak edukacije kod stanovništva, pogotovo starije životne dobi. Razni kurikulumi, besplatne radionice, edukacije i vijesti važne su da dostavljanje informacija o benefitima aktivnog prijevoza.

#### 4.6. Dodaci i sustavi na vozilima

Cestovna vozila imaju velik broj komponenata koje su posebno dizajnirane za smanjenje onečišćenja zraka. Uz redovno održavanje vozila kao što su redovni servisi, izmjene ulja, punjenje guma kako bi se omogućio optimalan rad vozila, omogućuje se i kvalitetan rad ovih sustava.

**Katalizator** je uređaj, koji služi za pročišćavanje ispušnih plinova motora s unutarnjim izgaranjem. Katalizator ima 4 glavna dijela: lambda-sonda, keramički ili metalni uložak sa slojem, žičana obloga i kućište. **Lambda-sonde** su senzori ispred i iza katalizatora koje očitavaju postotak zraka u ispušnom plinu koji dolazi u katalizator. Katalizator ima dvije funkcije, s pomoću lambda sonde javlja udio zraka u ispušnim plinovima, i ako nije ispravan, računalo poveća ili smanji količinu ubrizganog goriva u motoru. Druga funkcija je da vrši proces oksidacije (smanjuje količinu ugljičnog monoksida) ili redukcije (smanjuje količinu dušikovih monoksida). Taj sustav funkcionira u katalizatoru tako da se on zagrijava na visoke temperature, te s pomoću katalizirajuće redoks reakcije smanjuje ispušne plinove.

**EGR ventil** je sustav odnosno vrsta ventila koja preusmjerava 5-15 % ispušnih plinova iz motora natrag u motor. Usisava plinove iz ispušne grane, te ih vraća u usisnu granu. Koristi se i u dizel i u benzinskim motorima. Smanjuje i reciklira veliki postotak NO<sub>x</sub> plinova.

**Dizel filter čestica**, koristi se samo kod dizel motora, i njegova uloga je najviše vezana za uklanjanje čađe, koju smanjuje za 85 %-100 %. Filter radi tako da zadržava štetne čestice i sprječava njihovo ispuštanje u okoliš. Postoje dvije vrste, jednokratni, koji se odlažu nakon određene količine nakupljenog pepela. Druga vrsta su višekratni koji rade na način kada sakupe dovoljne količine štetnih čestica, uz pomoć drugih sustava, sagorijevaju te štetne čestice. Taj proces se zove proces regeneracije.

**Selektivna katalitička redukcija** radi na način da se u ispušni tok motora ubacuju otopine DEF ili AdBlue, te one djeluju kao katalizator na NO<sub>x</sub>, i razgrađuju ga u dušik i vodu. Ovo je jedan od najučinkovitijih sustava smanjenja NO<sub>x</sub>. Ovaj se sustav koristi samo kod dizel motora.

**Sustav za kontrolu emisija isparavanjem**, još je jedan u nizu sustava koji „pazi“ na čistoću našeg zraka. To je sustav koji detektira istjecanje para nastalih od isparavanja goriva. Gorivo se nalazi u spremniku za gorivo, i pare koje se tamo stvaraju se propuštaju u spremnik za skladištenje para. Kada se vozilo pokrene, spremnik za pohranu ispušta te pare u usisnu granu koje izgaraju. Tu postoji modul pogonskog sklopa vozila (PCM) koji cijelo vrijeme pazi da strujanje svih ovih tvari radi kako je zamišljeno, u slučaju da dođe do neke greške, i ako se otkrije curenje, sustav će pokrenuti šifru greške.

U principu svaki sustav koji optimizira rad vozila u nekoj mjeri smanjuje zagađenje. Navedeni sustavi su specifični jer im je primarna svrha smanjenje zagađenja, dok je ostalim sustavima to sekundarna svrha. Još neki od sustava koji doprinose smanjenju zagađenja i optimizaciji rada vozila su sustav promjenjivog vremena ventila, sustav za ubrizgavanje zraka, te upravljačka jedinica motora koja kao mozak vozila, pazeći na rad svi sustava, pazi na nos čovjeka.

#### **4.7. Prometni menadžment i optimizacija**

Poboljšanjem cijelog postojećeg prometnog sustava, može se znatno utjecati na zagađenje zraka. Naravno, prioritet treba biti na područjima s velikom gustoćom prometa i velikim gužvama. Postoji velik broj rješenja kojima se promet može optimizirati na više načina.

Implementacija inteligentnih sustava za upravljanje prometom, koji bi utjecali na protok prometa na optimalan način, i radili drugačije tijekom vršnih sati. To bi uključivalo pametne semafore, regulacije brzine, praćenje prometa, a sve s ciljem brže protočnosti prometa.

Poticanje fleksibilnog radnog vremena je jedan od načina, na koji se značajno mogu smanjiti gužve, pogotovo u urbanim sredinama. Dovoljno je vidjet ako se ova situacija uzme u vakuumu, i da svi ljudi koji su zaposleni rade od 9-5 ili da svakih 4 % zaposlenih radi u različitom

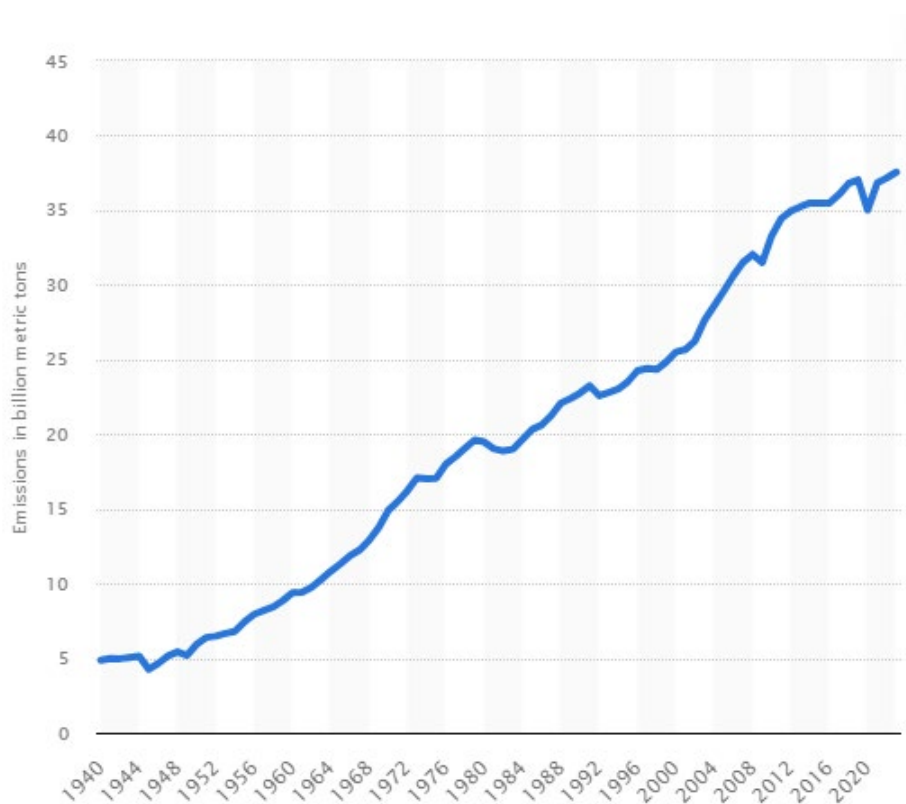


periodu od 8 sati. Naravno ovo su primjeri ekstremnih situacija koji nisu društveno održivi, ali daju sliku o važnosti fleksibilnog radnog vremena.

Rad na daljinu, ako je moguć, je najbolji način na koji se smanjuje zagađenje prometa, jer uopće ne dolazi do transporta. Bitno je poticati tvrtke, da optimiziraju i potiču rad zaposlenika od svojih stambenih prostora što je više moguće.

## 5. BUDUĆI TRENDОВИ

Priča o budućnosti, počinje u sadašnjosti s pogledom na prošlost. Buduće trendove je vrlo teško gledati na globalnoj skali, razlike u razvoju unutar samih kontinenata su ogromne, a pogotovo će doći do izražaja uspoređujući države s različitim prostora. Trend štetnih plinova je počeo stagnirati, ili biti u padu zadnjih par godina kod najrazvijenijih država, što je najvažnije, jer su zbog činjenice da su najrazvijenije i najveći zagađivači. Globalno je situacija nešto lošija. Graf 1 prikazuje globalni trend produkcije CO<sub>2</sub>, koji nije previše mjerodavan za vrijeme Corona virusa (2020.-2022.), koji je svakako smanjio globalno zagađenje na više načina.



Graf 1. Produkcija CO<sub>2</sub> (globalno).

Izvor [32]

Ako se uzme podjela Zemlje na kontinente, njih je moguće svrstati u 3 kategorije, u koju spada većina država tog prostora, to su visoko razvijeni, u razvoju i nerazvijeni.

U visoko razvijene kontinente bi se svrstali Europa, Sjeverna Amerika i Australija. Oni su prošli određenu razinu industrijalizacije i urbanizma, većina prostora je razvijena, te ljudi imaju visok ili dobar standard života. To sve omogućuje korištenje velikog broja „sredstava“ za

smanjenje zagađenja, ali s druge strane, razvijeniji i moderniji način života, proizvodi puno više štetnih plinova.

U kontinente u razvoju moguće je svrstati Aziju i Južnu Ameriku, koje imaju velike razlike između samih država, čak i regija u samim državama. U prosjeku su tu države u razvoju, koje prolaze snažne procese industrijalizacije, te pokušaja globalnog razvoja. Samim time, oni su najveći zagađivači zraka, upravo zbog toga što imaju tehnologiju koja proizvodi štetne plinove, a regulacije su vrlo slabe ili nikakve. Ova situacija se posebno očitava u 2 najveća svjetska zagađivača, Indiji i Kini.

U nerazvijene kontinente, tj. kontinent spadala bi Afrika, gdje je većina stanovništva siromašna, te je većina prostora nerazvijena. Veći dio Afrike ne posjeduje tehnologije za zagađenje zraka. Zagađenja dolaze od razvijeniji država na sjeveru kontinenta.

Zbog velikih nejednakosti važno je razviti i provesti globalno strategiju razvoja i smanjenja štetnih emisija.

Stvar koja je možda i važnija od trenutnog stanja zagađenje, koje je prikazano na slici 3, je trend (prikazan na grafu 1.), povećava li se ili smanjuje zagađenje u odnosu na prošlost. Iako Amerika i Europa spadaju u „veće“ zagađivače, imaju pozitivan trend smanjivanja štetnih plinova iz godine u godinu. Australija također smanjuje svoje zagađenje svake godine. S druge strane, Azija ima negativni trend koji se pokušava ispraviti zadnjih godina donošenjem velikog broja zakona. Iako doneseni zakoni i mjere smanjuju zagađenje pojedinca, velikim rastom broja stanovnika, broj pojedinaca koji prouzrokuju zagađenje je veći, budući da svaka osoba na nekim način doprinosi zagađenju. Južna Amerika ima trend smanjenja zagađenja u par najvećih gradova, ali okolni prostor ne prati te trendove. U slučaju potencijalnog ekonomskog procvata tog područja, moguć je razvoj situacije u više smjerova.

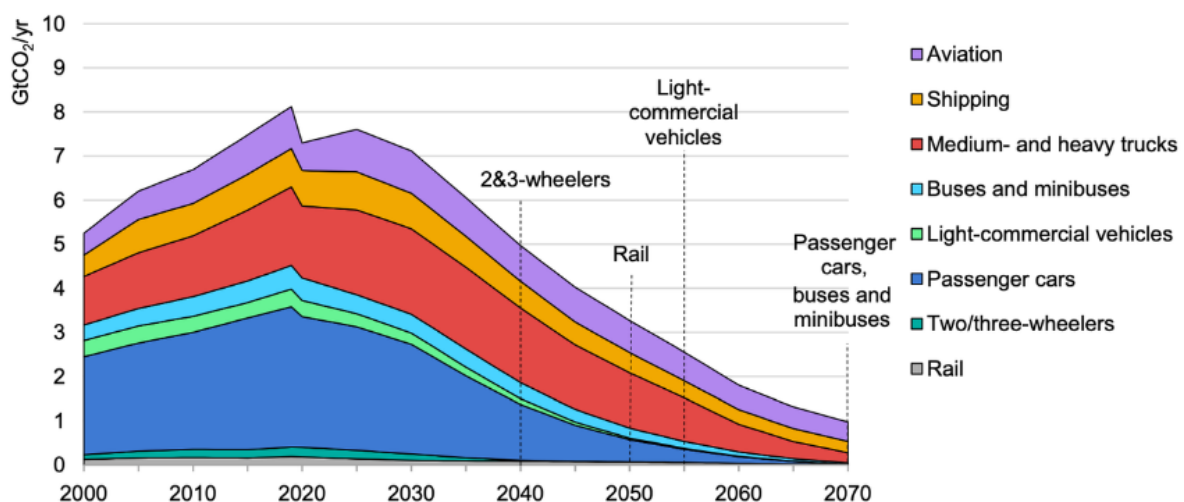
### **5.1. Trend prometa**

Prijevoz je beskonačno važan dio modernog društva. U budućnosti s povećanjem populacije, povećanjem prihoda, te sve većim brojem opcija u smislu načina prijevoza, sve će više ljudi koristiti neki oblik prijevoza. U auto industriji, sve će više ljudi posjedovati automobil, te će samim time, biti i više vozila na cestama. Pretpostavke su da će se globalni promet (putnički kilometri) udvostručiti, stop vlasništva automobila povećati za 60 %, a zrakoplovna industrija utrostručiti do 2070. [25]

Trenutna je procjena da ukupan broj cestovnih vozila iznosi oko 1,4 milijarde; do 2040. ta brojka će premašiti 2 milijarde. Veliki dio ovih vozila doći će s tržišta Indije, Kine i Afrike, dok će razvijene zemlje stagnirati ili smanjivati svoj broj vozila, najviše zbog urbanih trendova, i

popularnih modernih načina mobilnosti (Uber, Lyft, dijeljenje automobila). Europa i Sjeverna Amerika očekuju pad vlasništva automobila po kućanstvu za 10-15%. Povećanjem mikromobilnosti, cestovna vozila trebala bi biti gotovo potpuno izbačena za kratke relacije do 10 kilometara. Procjena je da će se cestovna vozila koristiti više za duža putovanja, čak da će optimizacijom prometa potpuno zamijeniti letove na udaljenostima 300-500 kilometara. Gradske gužve bi se trebale povećati za 30-50% do 2030. u mnogim gradovima gdje urbanizacija i posjedovanje automobila nadmašuje razvoj infrastrukture; najviše na prostorima Azije i Afrike. [25]

Stvari koje mogu zaustaviti nagli porast zagađenja, te ga čak i smanjiti su sve mjere iz poglavlja 4, samo tehnološki bolje razvijene kroz vrijeme, i optimiziranije, te šire uvedene. Planovi, za smanjenje u prometu pokazani su na slici 5. „Scenarij Održivog razvoja“ za postizanje nulte net emisije CO<sub>2</sub> do 2070. Scenarij Međunarodne agencija za energije (IEA) ima plan anulirati emisije iz motocikala do 2040., željeznice do 2050., te malih kamiona do 2060. [25]



Slika 5. CO<sub>2</sub> emisije prometa prema planu Održivog razvoja (2000-2070).

Izvor [7]

Ogroman fokus i pritisak se stavlja na cestovni promet iz 2 razloga. Cestovni promet je najveći zagađivač zraka, te iako nema veliku stop rasta u postotcima kao zrakoplovstvo, kao daleko najraširenija vrsta prometa brojčano bi imala najveće povećanje po broju korisnika. Drugi razlog, je težina dekarbonizacije ostalih oblika prijevoza. Zrakoplovstvo i brodski prijevoz, čak i veliki kamioni u cestovnom prijevozu stvaraju velike probleme, i ostavljaju jako malo mjesta za potencijalna smanjenja zagađenja, zbog velike potrebe za snagom motora i dometa. Također, puno je teže testirati bilo kakve nove tehnologije na njima, nego na prosječnom automobilu.

## **5.2. Alternativna goriva i njihov razvoj**

S ograničenim kapacitetima benzina i dizela, alternativna goriva, koja se mogu nazvati i goriva budućnosti, za sada nose najveću težinu za smanjenje onečišćenja vezanog za promet. Svaka vrste goriva je izuzetno specifična, i iako se po nekim karakteristikama podudara s nekim drugim, međusobno uvijek postoje neke značajnije razlike.

Najveća mana cijelog ovog područja, dolazi iz činjenice da je velik dio alternativnih goriva u fazama razvoj, jer za funkcioniranje cijelog sustava na nekoj vrsti goriva, potrebno je cijeli sustav podrediti ogromnom broju faktora, kao i vidjeti mogućnosti masovne produkcije tog goriva. Vrlo je bitno paziti i na potencijalne posljedice masovne produkcije, ili znatnog povećanja proizvodnje bilo koje vrste goriva, da se ne izazovu određeni ekološki problemi.

### ***Električna energija***

Električna vozila koriste litij-ionsku bateriju koja se može puniti električnom energijom. Ona je spojena na električni motor u vozilu. Prednosti ovog tipa vozila dolaze od činjenice da nema ispušnih plinova. Dio energije koji se gubi tijekom kočenja se vraća i ponovno puni bateriju, te je općenito u prosjeku 58 % jeftiniji u smislu troška goriva od benzinskog automobila. Iako su trenutno u prosjeku dosta skuplja i teže pristupačna od klasičnih automobila, električna vozila imaju i manje troškove održavanja, te državne potpore omogućuju lakšu kupnju istog. Problemi ovog vozila dolaze od njegove tehnologije vezano uz bateriju i njezino zbrinjavanje. Punjenje baterije električnog vozila može trajati do par sati, čak i više ako je baterija starija. Domet baterije je manji od dometa benzin ili dizel motora, te zahtjeva ekonomičniji način vožnje i planiranje putovanja. Zbrinjavanje i odlaganje baterije koja više nije u upotrebi je trenutno vrlo skupo. Iako vozilo ne proizvodi štetne plinove, vrlo često će se u produkciji baterije oslobađati štetne tvari. [22]

### ***Hibridno vozilo***

Uzimajući najbolje od oba svijeta, hibridna vozila koriste 2 izvora energije. Baterije za elektromotor, i gorivo (dizel ili benzin) za motor s unutarnjim izgaranjem. Najčešće se baterija koristi kod kretanja vozila nakon stajanja ili starta, te u početnim situacijama kada je potrošnja najveća. Nakon toga se prebacuje na motor s unutarnjim izgaranjem koji dalje vozi. Ovo vozilo smanjuje zagađenje u odnosu na automobile koji nemaju elektromotor, ali zagađuju više od automobila koji su samo električni. S druge strane smanjuju nedostatke električnih automobila, jer ih je lako i brzo napuniti, te imaju domet kao i klasični automobili. Jedna od mana je težina baterija koja kada se potroši, stvara veću potrošnju goriva zbog dodatnog tereta. Također ovi automobili su u prosjeku dosta skuplji, i tehnički dosta kompliciraniji.

### **Prirodni plin**

Prirodni plin je plinska smjesa ugljikovodika koji se sastoji od 95% metana. Prirodni plin je fosilno gorivo koje nastaje kada je organska tvari podvrgnuta anaerobnim uvjetima, i jakoj toplini i pritisku kroz dugi vremenski period (milijuni godina). Dvije vrste koje se koriste u vozilima su stlačeni prirodni plin (CNG) i ukapljeni prirodni plin (LNG). CNG se proizvodi kompresijom prirodnog plina, a LNG se proizvodi pročišćavanjem prirodnog plina i njegovim hlađenjem, pretvarajući ga u tekuće stanje. Prirodni plin je obnovljiv i vrlo efikasan izvor energije. Mane dolaze od malog broja vozila dizajniranih za njihov rad i malog broja postaja za gorivo. CNG ima potencijala za širu upotrebu u automobilskoj industriji, dok LNG zbog težine skladištenja i nešto skuplje proizvodnje je puno prikladniji za kamione kojima omogućuje veći domet. [23]

### **Biodizel**

Obnovljivo, razgradivo gorivo proizvedeno od biljnih ulja, životinjskih masti ili reciklirane masti. Biodizel je zapravo komercijalni naziv za metil-ester. Trenutno se biodizel koristi kao dodatak dizel motorima, i još se čeka mogućnost izravne zamjene, jer su potrebne preinake na motorima. Njegove prednosti dolaze od toga da je iz organskih spojeva, te povećava mazivost goriva smanjujući habanje materijala. Problemi se javljaju kod skladištenja gdje kod previsokih temperatura biodizel razvija plijesan, a kod preniskih se pretvara u tvar koja poprima oblika i svojstva gela. [23]

### **Vodik**

H<sub>2</sub> tj. vodik je alternativno gorivo zanimljivih svojstava. Vodik se nalazi u prirodi svuda oko nas, u vodi, ugljikovodicima i mnogim organskim spojevima. Trenutno je problem potrošnje energije tijekom njegove ekstrakcije iz ovih spojeva. Vodik se koristi zajedno s električnim motorom uz pomoć gorivne ćelije, te je 2-3 puta učinkovitiji od motora s unutarnjim izgaranjem. Vodik se miješa s kisikom u gorivnoj ćeliji, te daje energiju električnom motoru. Iz ekološkog stajališta je vrlo visoke kvalitete, jer je jedini ispušni plin vodena para, lako se i brzo puni. Manjkavost vodika dolazi iz njegove novine, kao izvora energije, i nedostatka vremena i tehnologije da se izgrade infrastruktura i vozila. Također sam proces stvaranja vodika, odnosno „izbijanja“ iz drugih spojeva, skladištenja i transporta troši dosta energije. Uz optimiziranje ovih procesa, vodik ima velikog potencijala u budućnosti. [23]

### **Etanol**

Poznat kao etilni alkohol, kemijskog spoja CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH, etanol je alkohol koji se proizvodi procesom fermentacije šećera pomoću kvasca, ili hidratacijom etilena. Koristi se u alkoholnim pićima i jedna je od najviše konzumiranih stvari na svijetu. U gorivu se koristi kao dodatak

benzinu, najčešće u postotku od 10 %. Velik broj goriva u današnjoj ponudi automatski ima određeni postotak etanola u sebi. Energetski ga je lakše proizvesti nego istu količinu goriva, lako se miješa, te ima pozitivna svojstva na rad motora. Međutim, naposljetku jedina prednost etanola je smanjenje štetnih plinova, pogotovo ugljičnog dioksida. Etanol u većem udjelu smanjuje domet vozila za par posto, nije kompatibilan sa starim vozilima, i ako je u višem udjelu stvara probleme sa startom pri niskim temperaturama. [23]

### ***Propan***

Propan je kemijski spoj s 3 ugljikova atoma  $C_3H_8$ . Kod sobne temperature je plin, ali se može stlačiti u tekućinu. On je treće najpopularnije gorivo u svijetu. U spremniku se čuva kao tekućina bez boje i mirisa, pod pritiskom. Kod oslobađanja pritiska, propan isparava i pretvara se u plin koji se koristi za izgaranje. Ima visoku oktansku vrijednost, što pospješuje njegovo korištenje kod motora sa svjećicom. Njegova šira upotreba očituje se u stvarima kao što su prijenosne peći, rashladna sredstva, sirovina za izradu plastike, te gorivo u mnogim svrhama. Kod vozila koja ga koriste kao pogonsko gorivo, stvara niže emisije od benzina ili dizela, jeftiniji je za točenje, i motori su zbog njega jednostavniji za održavanje, infrastruktura ga podržava, i dostupan je na velikom broj benzinskih pumpi. Njegove mane proizlaze iz opasnosti da je vrlo zapaljivo sredstvo, koje kod curenja može lagano onemogućiti disanje osobe, te predstavlja veliku opasnost od eksplozije i požara (ako procuri), zbog svojih svojstva nakupljanja u niskim prostorima i brzog širenja. Njegova proizvodnja zahtjeva dosta energije, jer nastaje kao nusprodukt iz 2 procesa, prerade prirodnog plina i rafiniranja nafte. [23]

### ***Hidrotretirano biljno ulje (obnovljivi dizel)***

Pomoću kemijskih procesa obrade biljnog ulja, dobiva se hidrotretirano biljno ulje. U komercijalnom smislu koristi se još i naziv obnovljivi dizel. U zadnjih par godina, njegova proizvodnja i upotreba su se višestruko povećale. Obnovljivi dizel ima velik broj prednosti, iako je još u ranoj fazi razvoja. Proizvodi se iz obnovljivih izvora energije (velik broj raznih načina i kemijskih postupaka za nastanak) kao što su biljna ulja i životinjske masti, smanjuje štetne plinove u usporedbi s dizelom (do 90 %), može se koristiti kod dijela (oni koji su odobrili) dizel motora, kao djelomična ili potpuna zamjena, jednostavan je za skladištenje, ne zahtijeva gotovo nikakve dodatne modifikacije motora ili sustava u vozilu. Trenutno sve mane koje su kod ove vrste goriva, dolaze od činjenice da je novo, i nije u širokoj primjeni. Za sada je skupo, te je infrastrukturno slabo rašireno. U slučaju da dođe u širu primjenu, u budućnosti bi mogao biti problem kod pretjeranog iskorištavanja prirode za njegovu proizvodnju. [23]

Sažetak svojstva svih alternativnih goriva prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Svojstva alternativnih goriva

Vrsta goriva	Emisije	Infrastruktura	Trošak	Pozitivne strane	Negativne strane
Električna energija	Nula emisija iz cijevi	Raste, ali ograničeno	Visok početni trošak	Bez emisija, obnovljiva energija	Ograničene stanice za punjenje, odlaganje baterija
Hibridi	Niže od benzina i dizela	Postojeća	Visok početni	Snaga, domet, postojeća infrastruktura	Motor na unutarnje izgaranje i dalje zagađuje
Vodik	Nula emisija iz cijevi	Vrlo ograničeno	Visoka cijena proizvodnje	Nula emisija, brzo punjenje	Ograničena infrastruktura, visoki troškovi proizvodnje
Etanol	Manje od benzina, nije nula	Široko dostupno	Slično benzinu	Obnovljiv, može koristiti postojeću strukturu	Niža gustoća energije od benzina
Biodizel	Smanjene aerosoli i CO	Dostupno u nekim područjima	Nešto više od dizela	Obnovljiv, niže emisije od dizela	Potencijalno slabije performanse pri hladnom vremenu
Prirodni plin	Niže od benzina i dizela	Dostupno u nekim područjima	Niže od benzina	Niže emisije, velika ponuda	Ograničene postaje za punjenje goriva
Propan	Niže od benzina i dizela	Dostupno u nekim područjima	Niže od benzina	Niže emisije, široka dostupnost	Manji sadržaj energije po galonu u usporedbi s benzinom
Obnovljivi dizel	Puno niže od benzina i dizela	Ograničeno, nova tehnologija	Jeftina proizvodnja	Malo štetnih plinova, obnovljiv izvor energije	Nova tehnologija, potrebno puno istraživanja

### 5.3. Povećana regulacija i stroži emisijski standardi

U svijetu, 3 su glavne sile koje su odgovorne za najveće zagađenje, ali protiv njega imaju i najveće regulacije koje se odnose na prostor vlastite uprave. To su Amerika, Kina i Europa.

Amerika ima planove smanjiti CO<sub>2</sub> za 10 % između 2023. i 2026. Do 2030. cilj je da 50 % svih prodanih vozila bude električno, hibridno ili na vodikov pogon [37].

Kina koja ima najveće svjetsko tržište automobila, ima cilj da „Nova energetska vozila“ čine 20 % ukupne prodaje do 2025. Do 2035. Kina planira potpuno ukinuti proizvodnju i prodaju vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem.

Republika Hrvatska nema značajniji utjecaj na svjetsko zagađenje zraka, njezini planovi, programi, razvoj i zakoni, te borba protiv onečišćenja, bit će usko povezani i pratiti one Europske unije. Europska unija, koja prednjači u borbi protiv zagađenja, ima cilj klimatske



neutralnosti do 2050. Ti planovi uključuju niz mjera, koje su vrlo bitne za prometnu industriju [27]:

- a) Do 2030. smanjenje emisija iz automobila za 55 %
- b) Od 2035. svi novi automobili na tržištu ne smiju ispuštati CO<sub>2</sub>
- c) Proizvodni proces električnih baterija treba biti CO<sub>2</sub> neutralan
- d) Rad na micanju CO<sub>2</sub> iz atmosfere, skladište kapaciteta 50 milijuna tona za pohranu CO<sub>2</sub> do 2030., 280 milijuna tona do 2040.
- e) 2027. uvodi se sustav trgovanja emisijama (ETS) u cestovni promet za dobavljače goriva

Međutim, kako postoje nacionalne dugoročne strategije, tako i Hrvatska ima svoje. Kao glavni cilj navedeno je „Pokrenuti promjene u hrvatskom društvu koje će pridonijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova, i koje će odvojiti gospodarski rast od emisija stakleničkih plinova.“ Vezano za transport, plan je smanjiti zagađenje za 44 %-51.4 % do 2030., te dodatnih 28.3 %-55.4 % do 2050. Procjene su da će ovo zahtijevati investicije u iznosu 8.7 milijardi eura do 2030., te dodatnih 22.2 milijarde eura u periodu 2030.-2050. [28].

**Euro 7 standardi** su regulacije, koje planira uvesti Europska unija do 2025. godine. Prema njima, značajno će se smanjiti dozvoljene emisije NO<sub>x</sub> (60 mg/km na 30 mg/km) i čestica iz vozila. Novi pristup, koji se očituje i u bori protiv čestica kod situacija kao što su istrošenost guma i kočiona prašina trebali bi dati značajne rezultate, pogotovo u velikim gradovima koji su ovim onečišćenjem i najviše opterećeni.

**Prijelaz na vozila s nultom emisijom (ZEVs)** je jedan od najistaknutijih trendova u budućnosti cestovnog prometa. Ova strategija planira uvođenje vozila koja koriste alternativna goriva i tehnologije, koje ne zagađuju okoliš. Ova politika je globalna, no svaka država (osim EU kao cjeline), ima vlastite planove uvođenja što većeg broja ZEV vozila. 2035. je godina koja je postavljena kao granica na prostorima mnogih teritorija, najznačajnije EU i Kalifornije (koja u SAD-u prednjači u borbi protiv onečišćenja), za potpuno ili gotovo potpuno uvođenje samo vozila s nultom emisijom u prodaju.

**Standardi učinkovitosti goriva** bi trebali biti kratkoročna rješenja koja će natjerati proizvođače da učinkovitost goriva bude veća, kod novih vozila, dok cestovni sustav potpuno ne prijeđe na vozila koja će dugoročno zadovoljavati ciljeve (električna, hibrid, vozila na vodik i slična).

#### 5.4. Tehnologije budućnosti

IEA procjenjuje da će dvije trećine smanjenja emisija, doći iz tehnologija koje još nisu javno dostupne. Samim time, velika težina i pritisak ostaju na stalnom razvoju i poboljšanjima. Svi sustavi koji optimiziraju promet, direktno smanjuju onečišćenje, tako da sustav koji nije nužno dizajniran za svrhu smanjenja zagađenja i dalje može imati veliki utjecaj.

**Autonomna vozila** kao jedna od najuzbudljivijih tehnologija budućnosti nudi velik broj prednosti u odnosu na ljudskog vozača. Ona mogu komunicirati međusobno, i s okolnom infrastrukturom, te se njihovi podaci mogu lakše pratiti i brojati. Kretanje im je optimalnije od ljudskog, te smanjuju nagla kočenja i stalna mijenjanja traka. Omogućuju korištenje tehnike „platooning“, gdje grupa autonomnih vozila putuje zajedno na malim udaljenostima i sinkroniziranim brzinama. Jedna od prednosti je i parkiranje, gdje samovozeća vozila imaju mogućnost kruženja, napuštanja mjesta, odlaska na drugu lokaciju itd.

**Pametni sustavi upravljanja prometom** počinju s prilagodljivim prometnim signalima, koji će moći očitati stvarne podatke i situacije na cesti, te optimizirati svoje komponente da najviše odgovaraju prometu. Umjetna inteligencija će kao i u svim područjima, ovdje biti od velike pomoći. Algoritmi koji će moći predvidjeti situacije na cesti, analizirajući podatke, bit će izuzetne važnosti. Ovi sustavi već postoje u Singapuru i Tokiju. Dinamičko upravljanje trakom, kao dodatak će također pomoći u optimizaciji. To su sustavi koji će otvarati trake na cestama (najčešće magistralama i autocestama), da bi bolje odgovarale prometu u tome trenutku.

**Tehnologije povezanih vozila (V2X)** su komunikacijski sustavi koji će imati značajan utjecaj na optimiziranje prometa. Ova tehnologija radi na 3 načina: komunikacija vozilo-vozilo, komunikacija vozila-infrastruktura, komunikacija vozilo-pješak. Ona će omogućavati međusobno komuniciranje sustava, te time omogućiti pravovremene odluke koje vozaču nisu moguće. Na primjer ako se vozilo vozi prema semaforu na kojemu će se uskoro upaliti crveno, vozač nema tu informaciju, ali vozilo će ju imati, te će moći početi kočiti i prije nego se pojavi crveno svjetlo, ili će znati da treba ubrzati, smanjujući potrošnju i povećavajući učinkovitost prometa.

**Pametna infrastruktura i projektiranje cesta** osim vozila, veliki napredak očekuje se i na području prometnica, gdje bi pametne ceste, odnosno ceste opremljene s velikim brojem senzora, solarnim panelima i led rasvjetama trebale pomoći u optimizaciji prometa. Vrlo zanimljiva tehnologija javlja se i pod nazivom samozacjeljujućih cesta. Ona se odnosi na posebne vrste asfalta i betona koje imaju ugrađene mikrokapsule koje otpuštaju sredstvo za zacjeljivanje kada nastanu pukotine.

## 5.5. Problemi budućnosti

Problemi vezani za onečišćenje su vrlo jednostavni i lako uočljivi, rješenja su s druge strane vrlo često komplicirana i s planske i financijske strane. Prvi problem budućnosti vezan za zagađenje ima 3 faktora koji međusobni djeluju eksponencijalno, a ne proporcionalno. Faktori su:

- a) Veći broj ljudi
- b) Veća kupovna moć (razvijanje države)
- c) Slabe regulacije (država i zakonodavstvo)

Ovi problemi najbolje se očitavaju u Kini i Indiji. Dvije države koje su u naglom rastu, te bi kroz 20-30 godina mogle preuzeti svjetski vrh (Kina je već tamo, Indija na putu). Obje države imaju ogroman rast stanovnika (Puno veći u Indiji, u Kini regulirani), ogroman rast ekonomije, veliko povećanje kupovne moći stanovnika, a izrazito slabe regulacije vezano za onečišćenja zraka [26]. Slični problemi mogli bi se javiti u potencijalno rastućim ekonomijama Južne Amerike, i nekih ostalih prostora.

Globalni sukobi u vojnom smislu, otvaraju vrata ekološkoj katastrofi. U slučaju ratnih operacija, onečišćenje i ekološki čimbenik neće biti nikakvi faktori u donošenju odluka. Općenito cijela vojna industrija stvara velike probleme kod zagađenja. Broj negativnih stvari koje zagađuju zrak je beskonačan: Vojna sredstva (bombe, metci, oružje) koja ostaju u prirodi, ispitivanje nuklearnog oružja, ogromne uporabe fosilnih goriva za svoja vozila, spaljivanje otpada, ciljanje kemijskih i industrijskih postrojenja, testiranje ili upotreba biološkog i kemijskog oružja.

## 6. ZAKLJUČAK

Zaključak rada obuhvaća sve ključne aspekte utjecaja cestovnog prometa na zagađenje zraka, kao i mjere koje se mogu poduzeti za smanjenje negativnih posljedica. Jasno je da cestovni promet predstavlja značajan izvor zagađenja zraka, prvenstveno zbog emisije štetnih plinova, čestica i drugih zagađivača. Ovi zagađivači imaju direktan utjecaj na zdravlje ljudi, uzrokujući respiratorne i kardiovaskularne bolesti, dok također štetno djeluju na okoliš narušavajući ekosustave, kiselost tla i vodnih površina.

Mjerenja pokazuju da najveći udio zagađenja u urbanim područjima dolazi upravo od cestovnog prometa, što upućuje na potrebu za hitnim akcijama u ovom sektoru. Mjere za smanjenje zagađenja iz cestovnog prometa, poput poticanja razvoja javnog prijevoza, promicanja upotrebe vozila s niskim emisijama te uvođenja zona s niskim emisijama, već pokazuju pozitivne rezultate u mnogim gradovima širom svijeta. Povećanje regulacije i uvođenje strožih emisijskih standarda dodatno će doprinijeti smanjenju emisija.

Razvoj alternativnih goriva poput električne energije i vodika te novih tehnologija za smanjenje emisija može značajno promijeniti buduću sliku cestovnog prometa. Ipak, izazovi ostaju, uključujući troškove implementacije novih tehnologija i prijelazno razdoblje u kojem će se stara vozila zamjenjivati ekološki prihvatljivijim opcijama.

Prometni menadžment, uključujući optimizaciju prometnih tokova i bolje planiranje infrastrukture, također igra ključnu ulogu u smanjenju zagađenja. Istovremeno, promicanje biciklizma i pješaćenja kao održivih oblika prijevoza može smanjiti potrebu za automobilima, osobito u urbanim sredinama.

Važno je napomenuti da su promjene koje su usmjerene na smanjenje zagađenja dugoročne i zahtijevaju interdisciplinarni pristup koji uključuje suradnju vlada, industrije i građane. Pitanje zagađenja zraka i cestovnog prometa globalni je problem, stoga su međunarodna suradnja i zajednički naponi ključni za uspjeh.

U konačnici, budući trendovi u tehnologiji i regulaciji zagađenja zraka pokazuju optimistične izgleda za smanjenje utjecaja cestovnog prometa na okoliš ali je potrebno kontinuirano raditi na razvoju održivih rješenja. Budući problemi, poput povećanja broja vozila i izazova povezanih s urbanizacijom, moraju se rješavati pravovremeno kako bi se osigurao balans između razvoja prometa i zaštite okoliša. Samo kroz strateško planiranje i implementaciju učinkovitih mjera možemo smanjiti zagađenje zraka i njegov negativan utjecaj na čovjeka i prirodu te ostvariti održivu budućnost za sve.

## LITERATURA

- [1] TeensHealth. Lungs and Respiratory System. Preuzeto s: <https://kidshealth.org/en/teens/lungs.html> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [2] NASA. Earth's Upper Atmosphere. Preuzeto s: <https://www.nasa.gov/image-article/earths-upper-atmosphere/#.VHg5AzHF8vY> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [3] Solarimpulse - How to improve air quality? Preuzeto s: <https://solarimpulse.com/air-pollution-solutions> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [4] Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), Global Burden of Disease Study 2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. Preuzeto s: [https://www.healthdata.org/sites/default/files/files/policy\\_report/2019/GBD\\_2017\\_Booklet.pdf](https://www.healthdata.org/sites/default/files/files/policy_report/2019/GBD_2017_Booklet.pdf) [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [5] UNEP. Pollution Action Note. Preuzeto s: <https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [6] Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*  
Preuzeto s: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [7] Our World in Data. Hannah Ritchie – Cars, planes, trains: where do CO<sub>2</sub> emissions from transport come from? Preuzeto s: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [8] U.S. Department of Transportation. Preuzeto s: <https://www.transportation.gov/mission/health/proximity-major-roadways> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [9] IEA org. Preuzeto s: <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [10] European Environment Agency, *Air Quality in Europe 2020 Report*  
Preuzeto s: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [11] Tallano-technologies. What type of pollution is caused by road traffic? Preuzeto s: <https://www.tallano-technologies.com/en/faq/pollutioncausedoradtraffic/> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [12] Domagoj B. *Utjecaj cestovnog prometa na klimatske promjene i mjere zaštite*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2020. Preuzeto s: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A2156/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [13] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. ; *ugljikov monoksid* . Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/ugljikov-monoksid> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [14] Dent, Matthew R.; Rose, Jason J.; Tejero, Jesús; Gladwin, Mark T. (2024-01-29). "*Carbon Monoxide Poisoning: From Microbes to Therapeutics*". Annual Review of Medicine. Preuzeto s: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-med-052422-020045> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [15] Schumann, U.; Huntrieser, H. (2007). "*The global lightning-induced nitrogen oxides source*"  
Preuzeto s: <https://acp.copernicus.org/articles/7/3823/2007/> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [16] Rui Hu, Fan Zhang, Zhijun Peng, Yiqiang Pei, The NO<sub>x</sub> emission characteristics of gasoline vehicles during transient driving cycles, Transportation Research Part D: Transport and

- Environment, Volume 109, 2022. Preuzeto s:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920922002140> [Pristupljeno: srpanj, 2024.]
- [17] Hinds, William C., *Aerosol Technology* (2nd ed.). Wiley - Interscience. (1999).
- [18] ResearchGate, *Microbial Degradation of Xenobiotics* (pp.439-469). Preuzeto s:  
[https://www.researchgate.net/publication/226738847\\_Microbial\\_Degradation\\_of\\_Alkanes](https://www.researchgate.net/publication/226738847_Microbial_Degradation_of_Alkanes)  
 [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [19] Malig, B. J.; Pearson, D. L.; Chang, Y. B.; Broadwin, R.; Basu, R.; Green, R. S.; Ostro, B. "A time-stratified case-crossover study of ambient ozone exposure and emergency department visits for specific respiratory diagnoses in California (2005–2008)"; *Environmental Health Perspectives*. 124 (6): 745–753; (2015). Preuzeto s:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892911/> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [20] Todd Litman , *A New Transit Safety Narrative* , Victoria Transport Policy Institute, *Journal of Public Transportation* , Vol. 17, no 4 (2014). Preuzeto s: [https://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2014/12/JPT17.4\\_Litman.pdf](https://www.nctr.usf.edu/wp-content/uploads/2014/12/JPT17.4_Litman.pdf) [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [21] Clarity blog. Air pollution and traffic. Preuzeto s: <https://www.clarity.io/blog/air-pollution-traffic-monitoring-strategies-for-reducing-emissions-in-big-cities> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [22] Fuelmate. 10 Alternative Fuels for Vehicles. . Preuzeto s: <https://www.fuelmate.co.uk/news-advice/alternative-fuels-for-vehicles> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [23] AFDC Energy. Preuzeto s: <https://afdc.energy.gov/fuels/natural-gas-basics> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [24] EU Climate. CO<sub>2</sub> emission performance standards for cars and vans. . Preuzeto s:  
[https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en) [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [25] IEA org. Preuzeto s: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>  
 [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [26] Pu Wang, Dachuan Liu, Arideep Mukherjee, Madhoolika Agrawal, Huawei Zhang, Evgenios Agathokleous, Xue Qiao, Xiaobin Xu, Yan Chen, Tong Wu, Mengye Zhu, Eri Saikawa, Shashi Bhushan Agrawal, Zhaozhong Feng, *Air pollution governance in China and India: Comparison and implications*, *Environmental Science & Policy*, Volume 142, 2023. Preuzeto s:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462901123000394> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [27] EU Strategy and Policy. Preuzeto s: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)  
 [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [28] EU Strategy and Policy Preuzeto s: [https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies\\_en](https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/implementation-eu-countries/energy-and-climate-governance-and-reporting/national-long-term-strategies_en) [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [29] NASA. The Atmosphere. <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/greenhouse-gases/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [30] Wikipedia. Atmosphere of Earth. Preuzeto s:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere\\_of\\_Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth) [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [31] Wikipedia. Public Transport. Preuzeto s: [https://en.wikipedia.org/wiki/Public\\_transport](https://en.wikipedia.org/wiki/Public_transport)  
 [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]

- [32] Statista. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [33] Aljazeera. How much does Africa contribute to global carbon emissions? Preuzeto s: <https://www.aljazeera.com/news/2023/9/4/how-much-does-africa-contribute-to-global-carbon-emissions> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [34] EU Law. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [35] Clarity. The two-way relationship between agriculture and air pollution. Preuzeto s: <https://www.clarity.io/blog/the-two-way-relationship-between-agriculture-and-air-pollution> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [36] The Guardian. Preuzeto s: <https://www.theguardian.com/environment/2023/oct/16/suvs-emit-more-climate-damaging-gas-than-older-cars-do-study-finds> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [37] EPA. Preuzeto s: <https://www.epa.gov/regulations-emissions-vehicles-and-engines> [Pristupljeno: kolovoz, 2024.]
- [38] ThomasNet. Preuzeto s: <https://www.thomasnet.com/insights/you-may-be-surprised-where-most-of-earth-s-oxygen-comes-from/> [Pristupljeno: rujan, 2024.]

## POPIS PRILOGA

Slika 1. Slojevi atmosfere.....	3
Slika 2. Podjela prometa po zagađenju .....	10
Slika 3. Globalno zagađenje zraka (CO <sub>2</sub> ).....	11
Slika 4. Prikaz kapaciteta putnika u različitim modovima transporta.....	15
Slika 5. CO <sub>2</sub> emisije prometa prema planu Održivog razvoja (2000-2070).....	23
Graf 1. Produkcija CO <sub>2</sub> (globalno).....	21
Tablica 1. Podjela spojeva u zraku.....	2
Tablica 2. Tipični kemijski sastav ispušnih plinova cestovnih vozila. ....	12
Tablica 3. Svojstva alternativnih goriva.....	27



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, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 5.9.2024. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Filip Jambrešić \_\_\_\_\_  
(ime i prezime, potpis)