

Utjecaj brzine prometnog toka na emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj

Martinović, Mauricio

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:119:350320>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**UTJECAJ BRZINE PROMETNOG TOKA NA EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA NA
AUTOCESTAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ**

**INFLUENCE OF TRAFFIC FLOW SPEED ON HARMFUL GASES EMISSIONS ON
HIGHWAYS IN THE REPUBLIC OF CROATIA**

Mentor: doc.dr.sc. Marijan Jakovljević

Student: Mauricio Martinović

Komentor: mag. ing. traff. Marko Švajda

JMBAG: 0135263115

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 11. lipnja 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7498

Pristupnik: **Mauricio Martinović (0135263115)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**


Zadatak: **Utjecaj brzine prometnog toka na emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj**

Opis zadatka:


U radu je potrebno analizirati prometnice visoke razine uslužnosti u Republici Hrvatskoj sa stajališta emisije štetnih plinova. Potrebno je analizirati utjecaj brzine na emisije štetnih plinova. Također je potrebno izračunati emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj, a rezultate prikazati kroz pregledne karte emisija.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



doc. dr. sc. Marijan Jakovljević



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

SAŽETAK

Rad analizira koliki je utjecaj brzine prometnog toka na emisiju štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj. Upotrebom softverskog alata Copert Street Level, proučavane su emisije ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, dušikovih oksida, lebdećih čestica i hlapljivih organskih spojeva pri različitim brzinama i scenarijima. Analizirani su scenarij trenutnog stanja, smanjene operativne brzine i smanjene ograničenja brzine. Rezultati pokazuju kako se smanjenjem brzine mogu smanjiti emisije pojedinih štetnih plinova, dok se istovremeno može povećati razina emisije drugih. Evaluacijom rezultata prikazuju se ukupne emisije plinova na svima autocestama u Republici Hrvatskoj ovisno o svakom scenariju. Scenarij 0 za analizu podataka uzima propisano ograničenje brzine, scenarij 1 za analizu koristi operativnu brzinu na autocestama u Republici Hrvatskoj koja je veća od ograničenja brzine, a scenarij 2 temelji se na smanjenju postojećeg ograničenja brzine od 130 kilometara na sat na 120 kilometara na sat. Rad ističe važnost održavanja optimalne brzine prometnog toka, izbjegavanje znatno niskih i visokih brzina, poticanje ekološke vožnje i uporabu alternativnih goriva kako bi se smanjio utjecaj emisije štetnih plinova iz cestovnog prometa na okoliš.

KLJUČNE RIJEČI

Emisije štetnih plinova, brzina, autoceste, Copert Street Level

SUMMARY

The paper analyzes the influence of traffic flow speed on the emission of harmful gases on highways in the Republic of Croatia. Using the Copert Street Level software tool, emissions of carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxides, particulate matter and volatile organic compounds were studied at different speeds and scenarios. The scenario of the current state, reduced operating speeds and reduced permitted speeds were analyzed. The results show that by reducing the speed, the emissions of certain harmful gases can be reduced, while at the same time the emission level of others can be increased. The paper highlights the importance of maintaining the optimal speed of the traffic flow, avoiding significantly low and high speeds, encouraging ecological driving and the use of alternative fuels to reduce the impact of harmful gas emissions from road traffic on the environment.

KEY WORDS

Emissions of harmful gases, speed, highways, Copert Street Level

SADRŽAJ:

1. Uvod	1
2. Ceste visoke razine uslužnosti i emisije štetnih plinova	2
2.1. Autoceste u Republici Hrvatskoj	3
2.2. Razine uslužnosti ceste.....	4
2.3. Emisije štetnih plinova.....	5
2.4. Čimbenici koji utječu na emisije štetnih plinova.....	7
3. Utjecaj brzine na emisiju štetnih plinova	10
4. Izračun emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj primjenom alata Copert Street Level	13
4.1. Metodologija	13
4.2. Scenarij 0 – postojeće ograničenje.....	19
4.3. Scenarij 1 – operativna brzina	25
4.4. Scenarij 2 – smanjenje ograničenja brzine.....	31
5. Evaluacija rezultata i karta emisije	37
6. Zaključak	42
Literatura	43
Popis slika	45
Popis tablica	45
Popis grafikona	46

1. UVOD

Cestovni promet predstavlja važan dio svakodnevnice u transportu ljudi i dobara te doprinosi gospodarskom razvitku zemlje. Zbog svoje veće zastupljenosti u odnosu na druge prometne grane, važno je pratiti i promatrati njegov utjecaj na okolišne čimbenike. Obzirom da potražnja cestovnog prometa neprestano raste važno je uključiti mjere za smanjenje emisije štetnih plinova i držati korak s tehnologijom u pogledu cestovnih vozila. Boljim održavanjem vozila, cestovne infrastrukture i boljim upravljanjem prometom znatno se doprinosi smanjenju emisija štetnih plinova kao što su ugljikov dioksid, ugljikov monoksid, dušikovi oksidi, hlapljivi organski spojevi i lebdeće čestice

Cilj ovog rada je objasniti povezanost utjecaja brzine u odnosu na emisiju štetnih plinova na cestama visoke razine uslužnosti primjenom softverskog alata Copert Street Level te evaluacijom dobivenih rezultata prikazati spomenuti utjecaj. Rad je podijeljen u 6 cjelina:

1. Uvod
2. Ceste visoke razine uslužnosti i emisije štetnih plinova
3. Utjecaj brzine na emisiju štetnih plinova
4. Izračun emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj primjenom alata Copert Street Level
5. Evaluacija rezultata i karta emisije
6. Zaključak

Drugo poglavlje pruža uvid u obuhvaćene ceste visoke razine uslužnosti i opisuje štetne plinove i čimbenike koji utječu na njihovu emisiju

Trećim poglavljem proučena su provedena istraživanja o utjecaju brzine na emisiju te interpretirani rezultati.

Četvrto poglavlje analizira metodologiju rada softverskog sustava Copert Street Level i obradu podataka istim s ciljem formiranja skupa podataka o emisiji štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj.

Petim poglavljem donosi se interpretacija vrijednosti dobivenih u radu te njihova implementacija u kartu emisije.

2. CESTE VISOKE RAZINE USLUŽNOSTI I EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA

Ceste visoke uslužnosti, poput autocesta i brzih cesta, odlikuju se visokim standardima dizajna, održavanja i sigurnosti te igraju ključnu ulogu u prometnoj infrastrukturi. One omogućuju brzi i efikasni transport ljudi i robe, što je od velike važnosti za gospodarski razvoj i povezivanje različitih regija. Međutim, unatoč njihovim brojnim prednostima, ceste visoke uslužnosti, prvenstveno zbog velikog broja vozila, većih brzina i jačeg intenziteta prometa koji se na njima odvija značajno doprinose emisijama štetnih plinova. Iako ove ceste služe za povezivanje većih regionalnih sredina, omogućuju nesmetan protok prometa te samim time smanjuju zastoje što posljedično dovodi do smanjenja štetnih emisija po vozilu. Njihov utjecaj na okoliš je od velikog značaja. Jedan od najvećih izvora emisije štetnih plinova na cestama visoke razine uslužnosti su automobili s unutarnjim izgaranjem goriva. Vozila koja imaju unutarnje izgaranje goriva ispuštaju štetne plinove kao što su ugljični dioksid, dušikovi oksidi, čestice i hlapljivi organski spojevi. Iako su takve ceste konstruirane za veće prometno opterećenje i veće brzine kretanja, velike količine prometa povećavaju ukupnu količinu ispušnih plinova.

Nastavno, postoje pozitivni učinci takvih cesta u smislu smanjenja emisija. Smanjenje zastoja, slobodan prometni tok, povećanje brzine i održavanje te brzine konstantnom dovodi do smanjenja štetnih emisija po kilometru, budući da su vozila tada najučinkovitija zbog održavanja optimalne brzine i smanjenog napora motora.

Za smanjenje emisije štetnih plinova na autocestama i brzim cestama ključno je promicanje korištenje električnih vozila i drugih alternativnih goriva koji imaju manje štetan učinak na okoliš kao i promicanje EKO vožnje, koja smanjuje potrošnju goriva optimalnim upravljanjem vozila. [1]

Ceste visoke razine uslužnosti u većini slučajeva imaju više traka za oba smjera vožnje, jasno su označene kako bi se vozačima olakšala navigacija. Ove ceste opremljene su kvalitetnom infrastrukturom, kao što su sustavi odvodnje i rasvjeta što poboljšava sigurnost vožnje, nastavno tome, na takvim cestama se provode redovite inspekcije i održavanja samim time se održava razina sigurnosti vožnje, ali i vijek trajanja samih cesta. Uslužni objekti kao što su benzinske postaje i odmorišta smješteni su uz autoceste duž cijele njene trase kako bi omogućili u sudionicima u prometu gorivo i odmor ako je potreban. Zbog svog dizajna, ceste visoke razine uslužnosti podnose velike prometna opterećenja i time doprinose razvoju gospodarstva i transporta robe. [2]

2.1. Autoceste u Republici Hrvatskoj

Prva Hrvatska autocesta poznata kao autocesta Zagreb – Karlovac otvorena je za promet 1972. godine, bila je dio mreže Jugoslavenskih autocesta i označila je početak modernizacije cestovne infrastrukture u Hrvatskoj, Republika Hrvatska kako bi poboljšala povezanost svojih većih regionalnih središta i poboljšala svoj gospodarski razvoj, započela je sa izgradnjom autocesta, te je tijekom 1990-ih godina do 2000-ih godina izgrađena značajna mreža autocesta koja se i danas koristi, uključujući i autocestu A3 koja prolazi kroz Slavoniju i autocestu A1 koja povezuje Zagreb sa Dalmacijom. Razvoj autocesta potaknut je potrebom za povezivanje regija unutar Republike Hrvatske i činjenicom da se Hrvatska nalazi u srcu Europe s važnom ulogom kao tranzitne zemlje između središnje i jugoistočne Europe. U zadnjim desetljećima, Hrvatska je nastavila sa izgradnjom autocesta imajući u vidu sigurnost i ekološku održivost. Danas autoceste u Republici Hrvatskoj tvore jednu od najrazvijenijih cestovnih mreža u regiji i time značajno utječu na gospodarski razvoj, turizam, kvaliteti života i međunarodnom prometu.[3]

Trenutni koncesionari na autocestama u Republici Hrvatskoj su Bina Istra d.d., HAC d.o.o., ARZ d.d., AZM d.o.o., ta četiri društva upravljaju autocestama s naplatom cestarine u ukupnoj duljini 1313,8 kilometara. U Republici Hrvatskoj se nalazi 11 autocesta, nazivi A1-A11 propisani su odlukom o označavanju cesta koju je izdalo ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. [4]

Tablica 1. Autoceste u RH

Izvor: [3]

Oznaka	Naziv autoceste	Duljina [km]	Opis autoceste
A1	Zagreb-Split-Dubrovnik	554	Povezuje sjever i jug Hrvatske, u mreži međunarodnih E cesta od 1997.godine AGR sporazumom.
A2	Zagreb - Macelj	61	Završni je dio paneuropskog koridora Xa, početak izgradnje je u 1977. godini, a puštena u promet 1991.godine.
A3	Bregana-Zagreb-Lipovac	307	Dio paneuropskog koridora X, Dionica Bregana-Zagreb od 14 kilometar puštena je u promet 2000. godine, dionica Ivanja Reka – Lipovljani puštena je u promet 1980. godine.
A4	Zagreb-Goričan	97	Dio je paneuropske mreže autocesta koji se nalazi na Vb paneuropskom koridoru.
A5	Beli Manastir-Osijek-Svilaj	89	Izgrađena je 2007. godine, dio je međunarodnog Paneuropskog cestovnog koridora Vc.
A6	Bosiljevo-Orehovica	81,5	Dio cestovnog smijera E-65 Budimpešta- Varaždin-Zagreb-Rijeka, povezuje zemlje srednje Europe sa Lukom Rijeka.
A7	Rupa-Žuta Lokva	99	Priključuje se na prometni koridor V prema Veneciji i Milanu.

A8	Kanfanar-Lupoglav-čvorište Učka	64	Ovom autocestom omogućena je kvalitetna veza između Istre i matičnog područja Hrvatske.
A9	Umag-Pula	77	Nosi oznaku E-751, povezuje Pulu, zapadnu Istru sa koridorom V, u smjeru Ljubljane i Trsta.
A10	Pojezerje-čv.Metković-Nova Sela (granični prijelaz sa BiH)	9	2013. godine izgrađena je najkraća autocesta u RH, povezuje autocestu A1 s granicom BiH.
A11	Zagreb-Sisak	42	Nije izgrađena u potpunosti, do sada je izgrađeno 30 kilometara.

2.2. Razine uslužnosti ceste

Razine uslužnosti ceste (Level of Service - LOS) prikazuju mjerni sustav koji se upotrebljava kako bi se prikazala razina usluge određene prometnice na osnovi njenih performansi i na temelju kvalitete usluge koju pružaju korisnicima ceste. Takav sustav ocjenjivanja od velike je pomoći inženjerima u procjeni učinkovitosti prometne infrastrukture kao i u poboljšanju budućih prometnih infrastrukture.

Razine uslužnosti ceste upotrebljavaju se u planiranju, dizajniranju i upravljanju cestovnim prometnicama. Takav mjerni sustav daje uvid u potrebu za poboljšanjem i unaprjeđenjem prometne infrastrukture kao što je uvođenje dodatnih prometnih trakova, proširivanje kolnika i poboljšanje signalizacije. Razina usluge LOS određuje se prema skali od A do F, gdje svaka kategorija ima svoja specifična svojstva odnosno obilježja:

- LOS A: Predstavlja slobodan protok prometa bez ikakvih zastoja. Vozila se kreću željenom brzinom, a putnici doživljavaju visoku razinu udobnosti.
- LOS B: Vozila se u prometnom toku i dalje kreću slobodno, ali je nešto veća gustoća prometa.
- LOS C: Promet postaje gušći i potrebna je prilagodba brzine kao i opreznost vozača, manevriranje vozilom je smanjeno.
- LOS D: Cesta je blizu svog kapaciteta, brzine su smanjene, velika je gustoća prometa i mogućnost manevriranja je znatno smanjena. Putnici doživljavaju manju razinu udobnosti.
- LOS E: Prometnica funkcionira na ili vrlo blizu svog maksimalnog kapaciteta. Zastoji su sve češći, a brzine izrazito male-
- LOS F: Ova razina predstavlja prometnicu s preopterećenjem i prekoračenjem kapaciteta, vožnja se odvija u koloni sa stalnim i dugotrajnim zastojima.

Čimbenici koji utječu na razinu usluge ceste su gustoća prometa, brzina prometa, propusna moć prometnice, geometrija prometnice, signalizacija i kontrola prometa.[5]

2.3. Emisije štetnih plinova

Za kretanje vozila nužno je gorivo, ono izgara te stvara štetne plinove koji onečišćuju okoliš. Kako je kroz povijest rasla populacija ljudske vrste tako je s vremenom rasla i potreba za prometom, povećani obim prometa stvara veću potrebu za korištenjem goriva shodno tomu utjecaj na okoliš ljudske vrste i prometa ima značajniju ulogu.

Izgaranje goriva je proces oksidacije koji uz pomoć kemijskog procesa i kisika potrebnog za gorenje energiju fosilnih goriva pretvara u toplinsku energiju a zatim i u mehaničku energiju. Izgaranje goriva ključan je čimbenik za proizvodnju energije i pokretanje automobila, ali istovremeno dovodi do emisije raznih štetnih plinova i zagađivača okoliša.

Emisije štetnih plinova koje automobili proizvode su velik izvor zagađenja zraka te imaju negativne posljedice na zdravlje čovjeka i okoliš, najznačajnije emisije plinova su [6]:

- Ugljikov dioksid (CO₂)
- Ugljikov monoksid (CO)
- Dušikovi oksidi (NO_x)
- Čestice (PM)
- Hlapljivi organski spojevi(VOC)

Ostali štetni plinovi koje ispuštaju cestovna vozila su:

- Vodena para (H₂O)
- Ugljikovodici (HC)
- Sumporni oksidi (Sox)
- Olovo (Pb) i spojevi

Ugljikov dioksid je bezbojni neotrovni plin, koji prirodno nastaje u procesu disanja ljudi i životinja te je poznato da se najviše stvara sagorijevanjem fosilnih goriva poput ugljena, nafte i prirodnih plinova te pri izgaranju ugljika i organskih spojeva s pomoću dovoljne koncentracije kisika. Ključan je za prirodni ciklus jer ga biljke trošenjem prerađuju procesom fotosinteze. Iako nije otrovan pri normalnim razinama, u velikim koncentracijama može izazvati gušenje zbog smanjenja dostupnog kisika. Ugljikov dioksid je najvažniji staklenički plin koji doprinosi klimatskim promjenama i zagrijavanju, ključna uloga mu je održavanje topline na našem planetu pomoću procesa poznatog kao efekt staklenika. Pojavom industrijske revolucije razine ugljikovog dioksida su znatno porasle i dosegle razine rekordnih vrijednosti. Globalna mjerenja koncentracija ugljikovih dioksida dokazuju kontinuirani rast ugljikovog oksida u zemljinom omotaču. Kako bi se smanjile razine emisije ugljikovog dioksida mnoge zemlje uvode politike dekarbonizacije kao što je prelazak na obnovljive izvore energije, promet je jedan od vodećih proizvođača emisija CO₂, ovaj plin se također koristi i u industrijama kao na primjer, pri karbonizaciji pića. Nužan je za život, ali u prekomjernim količinama narušava prirodnu

ravnotežu što dodatno utječe negativno na klimatske uvjete jer s porastom ugljikovog dioksida raste i globalna temperatura. Smanjenje ugljikovog dioksida s mjerama za smanjenje emisija štetnih plinova manjom potrošnom fosilnih goriva i boljom efikasnošću korištenja obnovljivih izvora energije samim time i boljom energetsom učinkovitosti, ključno je za redukciju njegovih štetnih učinaka. [6]

Ugljikov monoksid je plin bez boje i mirisa koji je veoma otrovan i nastaje pri nepotpunom izgaranju fosilnih goriva. Takav plin veže se za hemoglobin brže od kisika te smanjuje mogućnost prenošenja kisika putem krvi, što može dovesti i do ozbiljnih zdravstvenih problema, male koncentracije izazivaju gubitak svijesti i trovanje, a u većim količinama dolazi i do smrti. Dugotrajna izloženost niskim razinama izaziva umor, glavobolju i poteškoće s koncentracijom, akutno trovanje ugljikovim monoksidom u zatvorenim prostorijama sa slabim dotokom kisika može biti smrtno. Najveći izvori ugljikovog monoksida su ispušni plinovi koje proizvode cestovna vozila, plinski uređaji i dimnjaci, a najveće emisije proizvode cestovna vozila s benzinskim motorima, posebice onih starijih te pri bogatim smjesama goriva. Minimalne razine ugljikovog monoksida ostvaruju se kada je faktor zraka $\lambda=1$, odnosno kada je omjer stvarno usisanog zraka i zraka teoretski potrebnog jednak. Modernija vozila s benzinskim motorima su pomoću katalizatora znatno smanjila emisiju ugljikovog monoksida. Ugroza na zdravlje stanovništva je najčešće u urbanim sredinama gdje se zbog povećanog intenziteta prometa događaju prometna zagušenja što dovodi do povećanih emisija ugljikovog monoksida. [6]

Dušikovi oksidi su niz spojeva nastali oksidacijom atmosferskog dušika pri procesima koji zahtijevaju visoke temperature poput sagorijevanja fosilnih goriva u motorima i industrijskim postrojenjima ili utjecajem elektromagnetskog izboja. Svi dušikovi oksidi su prisutni u atmosferi osim dušikova(I) oksida N_2O te su ovisni o faktoru zraka. Dušikovi oksidi su otrovni plinovi te imaju svoju ulogu u procesu kiselih kiša, fotokemijskog smoga i u razgradnji i stvaranju ozonskog sloja, te su važni čimbenici nitrifikacije. Njihov utjecaj na ljudsko zdravlje je štetan posebice na respiratorni sustav, stalna izloženost visokim koncentracijama dušikovitih oksida izaziva iritaciju dišnih puteva, kronične bolesti pluća te utječe na otpornost respiratornih infekcija. Najveći izvori emisija dušikovitih oksida u prometu su dizelski motori, katalizatori i selektivna katalitička redukcija koriste se za smanjenje emisija u industriji i kod automobila. [6]

Čestice PM (Particulate matter - PM) su sitne krutine i tekućine koje lebde u zraku i predstavljaju velik problem na zdravlje ljudi. Dvije glavne kategorije PM čestica su PM₁₀ i PM_{2,5}. Čestice PM₁₀ su čestice promjera manjeg od 10 mikrometara, a čestice PM_{2,5} su čestice manjeg promjera od 2,5 mikrometra. PM čestice nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva kao što su nafta odnosno dizelska goriva, što znači prometom, industrijskim procesima i

prirodnim procesima kao što su požari i vulkanske erupcije. Jedan od najvećih izvora su dizelski motori, zbog toga se PM čestice najčešće se javljaju u obliku čađe, dima, prašine i pepela te iz tih razloga su vozila s dizelskim motorima s unutarnjim izgaranjem primorana na korištenje filtera za čestice poznatog kao DPF filter. Manje čestice odnosno PM_{2,5} ulaze u pluća i u krvotok što može izazvati respiratorne i kardiovaskularne bolesti, visoke razine PM čestica u zraku povezane su s povećanom smrtnosti i hospitalizacijom zbog bolesti pluća i srca. [6]

Hlapljivi organski spojevi su svi organski spojevi kojima je je točka vrelišta jednaka ili niža od 250 °C i koja lako isparavaju na sobnoj temperaturi, raznolikog su utjecaja zbog njihovih kancerogenih, toksičnih i reaktivnih značajki izazivaju velike zdravstvene probleme te doprinose onečišćenju zraka. Izloženost visokim koncentracijama takvih organskih spojeva izaziva akutne i kronične probleme u ljudskom organizmu, kao što su iritacija dišnih sustava i očiju, mučnine, povraćanje, oštećenje jetre i bubrega, te povećavaju mogućnost pojave tumora. Hlapljivi organski spojevi koji su reaktivni dokazano je i da su kancerogeni. Nastaju iz raznih ugljikovodika, iz ispušnih plinova, posebice kod starijih vozila, a izvori su im odlagališta otpada, promet, petrokemijska i kemijska industrija i ostali, a mogu se naći i u proizvodima poput boja, lakova, otapala i ispušnim plinovima vozila. Uvođenjem obaveze katalizatora i strožim mjerama za ispušne plinove značajno se smanjuje emisija takvih plinova iz vozila. Hlapljivi organski spojevi su manji od drugih zagađivača, ali i dalje utječu na smanjenje kvalitete zraka, posebice u urbanim sredinama. U atmosferi imaju svoju ulogu u stvaranju prizemnog ozona i organskih aerosola, što doprinosi stvaranju smoga. Smanjenje emisija hlapljivih organskih spojeva provodi se mjerama koje uključuju, implementaciju tehnologije kontrole emisija u industrijama i pravilno skladištenje kemikalija. [7]

2.4. Čimbenici koji utječu na emisije štetnih plinova

Emisije štetnih plinova u cestovnom prometu ovise o nekoliko ključnih čimbenika. Glavni aspekti koji najviše utječu na emisije u tom sektoru su vrsta goriva, tip i starost vozila, tehnologija motora, kvaliteta goriva, stil vožnje, uvjeti vožnje, održavanje vozila, prometna infrastruktura, topografski uvjeti, korištenje klimatskih uređaja.

Vrsta goriva

Fosilna goriva: Benzin i dizel su najčešći izvori energije u cestovnom prometu, emitiraju znatne količine ugljičnog dioksida, dušikovih oksida i lebdećih čestica. Ovi plinovi znatno utječu na zagađenje zraka, globalno zagrijavanje i negativno utječu na okoliš, a samim time i na zdravlje ljudi. Vozila pogonjena na benzinski motor emitiraju znatno veće količine ugljičnog dioksida po kilometru, a manje dušikovih oksida i PM čestica u usporedbi sa vozilima pogonjenim na dizelske motore. Vozila pogonjena na dizelske motore su učinkovitija te

emitiraju znatno manje količine ugljikovih dioksida po kilometru, no proizvode znatno više količine čestica PM i dušikovih oksida, što više šteti čovjeku, njegovom zdravlju i okolišu [8]

Alternativna goriva: Biogorivo, vodik, prirodni plin i električna energija omogućuju održivije rješenje jer smanjuju emisiju štetnih plinova. Takva goriva omogućuju upotrebu vozila koja imaju značajno niže ili nulte emisije iz ispušnih plinova kao što su hibridna vozila, električna vozila i vozila na vodik. Kod takvih vozila potrebno je uzeti u obzir i emisije koje nastaju tijekom proizvodnje električne energije ili vodika. [9]

Tip i starost vozila

Starija vozila obično imaju višu razinu emisija jer nemaju modernu tehnologiju kontrole ispušnih plinova, starija vozila također troše i više goriva nego nova modernija vozila. Zbog istrošenosti svojih komponenti kao što je katalizator, smanjuje se mogućnost boljeg rada motora te se emisije ispušnih plinova povećavaju.

Veličina i težina vozila, vozila koja su veća i teža troše više goriva u odnosu na manja, što dovodi do povećanja emisija štetnih plinova, a posebno ugljikovog dioksida. Teretna vozila i SUV vozila imaju veće motore kojima treba i više energije za pokretanje, samom težinom vozila veća je potrošnja pneumatika i kočnica, što pridonosi emisiji PM čestica. Veća vozila imaju veću čeonu površinu i samim time stvaraju veći aerodinamički otpor te se potrošnja goriva se povećava. [10]

Tehnologija motora

Motori s unutarnjim izgaranjem u benzinskim i dizelskim vozilima su glavni izvor emisija. Napredne tehnologije poput start-stop sustava, učinkovitijih sagorijevanja, turbo punjača i hibridnih pogonskih sustava značajno smanjuju emisije štetnih plinova. [10]

Kvaliteta goriva

Kvaliteta goriva je ključan čimbenik koji utječe na emisiju štetnih plinova. Gorivo bolje kvalitete je čišće i s nižim udjelom sumpora smanjuju emisiju štetnih tvari poput dušikovih i sumpornih oksida. Poboljšanje kvalitete goriva kroz veću rafiniranost i uporabom aditiva smanjuje emisije ugljikovih spojeva, omogućuje bolju učinkovitost motora, smanjujući potrošnju i emisiju. [11]

Stil vožnje

Agresivna vožnja, koja uključuje nagla ubrzanja, čestu promjenu traka i česta kočenja znatno povećava potrošnju goriva i doprinosi istrošenosti kočnica i vozila, što rezultira većom emisijom štetnih plinova. Suprotno agresivnoj vožnji je ekološka vožnja koja se fokusira na konstantnoj brzini, blagovremenom kočenju i ubrzavanju, vožnja se često odvija u višim

stupnjevima prijenosa brzine čime se postiže manja potrošna goriva, učinkovitija vožnja i smanjenje štetnih emisija. Ekološka vožnja produljuje i vijek trajanja vozila te smanjuje troškove održavanja vozila [12]

Uvjeti vožnje

Uvjeti vožnje od značajnog su utjecaja na emisiju štetnih plinova zbog prometnih zagušenja i čestih zastoja. Pri gradskoj vožnji prometna gužva često dovodi do konstantnih zaustavljanja i pokretanja vozila, u takvoj usporenoj i vožnji u prekidima vozila troše veće količine goriva nego na otvorenoj cesti. Gradska vožnja podrazumijeva i veći broj križanja, semafora i pješćkih prijelaza samim time i potrošnja goriva raste.[13]

Održavanje vozila

Redovno održavanje motora, guma, sustava za kontrolu emisija kao što su katalizatori i DPF filteri bitno je za smanjenje emisija štetnih plinova i smanjenje potrošnje goriva boljim općim stanjem vozila. Pravovremeno održavanje i preventivna zamjena ulja, filtera i drugih elemenata vozila smanjuje se mehanički otpor motora i što se očituje manjom potrošnjom goriva i boljom efektivnosti vozila, dobrim održavanjem guma smanjuje se otpor kotrljanja i postiže se udobnija vožnja. Redovni pregledi i održavanje vozila poboljšava ekološku učinkovitost i doprinosi ekonomičnijoj i sigurnijoj vožnji. [10]

Prometna infrastruktura

Loše stanje kolnika, zastoji i loše upravljanje semaforima na križanjima uvelike doprinose emisiji štetnih plinova. Lošim održavanjem cesta nastaju oštećenja na istoj što dovodi do naglih kočenja i ubrzavanja. Lošom koordinacijom semafora dolazi do nehomogenog prometnog tok s čestim zastojima i prometnim zagušenjem. Bolja prometna infrastruktura omogućuje ne samo siguran promet već i doprinosi boljoj udobnosti vožnje i smanjenim emisijama štetnih plinova. [5]

3. UTJECAJ BRZINE NA EMISIJU ŠTETNIH PLINOVA

Svako cestovno vozilo doprinosi štetnom učinku na kvalitetu zraka koji se zagađuje pri ispuštanju štetnih plinova prilikom rada vozila. Na autocestama i cestama visoke razine uslužnosti očituje se velik broj cestovnih vozila, povećanim brojem vozila povećava se i emisija štetnih plinova. Smanjenje brzine na autocestama može poboljšati kvalitetu zraka, odnos između brzine, zdravlja i kvalitete zraka je povezan sa mnogobrojnim čimbenicima koji nisu još posve istraženi. Istraživanja provedena u Ujedinjenom Kraljevstvu pokazala su da bi smanjenjem prosječne brzine putovanja na autocestama od 16 kilometara/sat smanjila koncentracija dušikovih oksida za 7-12%, također smanjila bi se i koncentracija PM čestica za do 1%.[15]

Tablica 2. Istraživanja utjecaja brzine na okoliš

Izvor: [16]

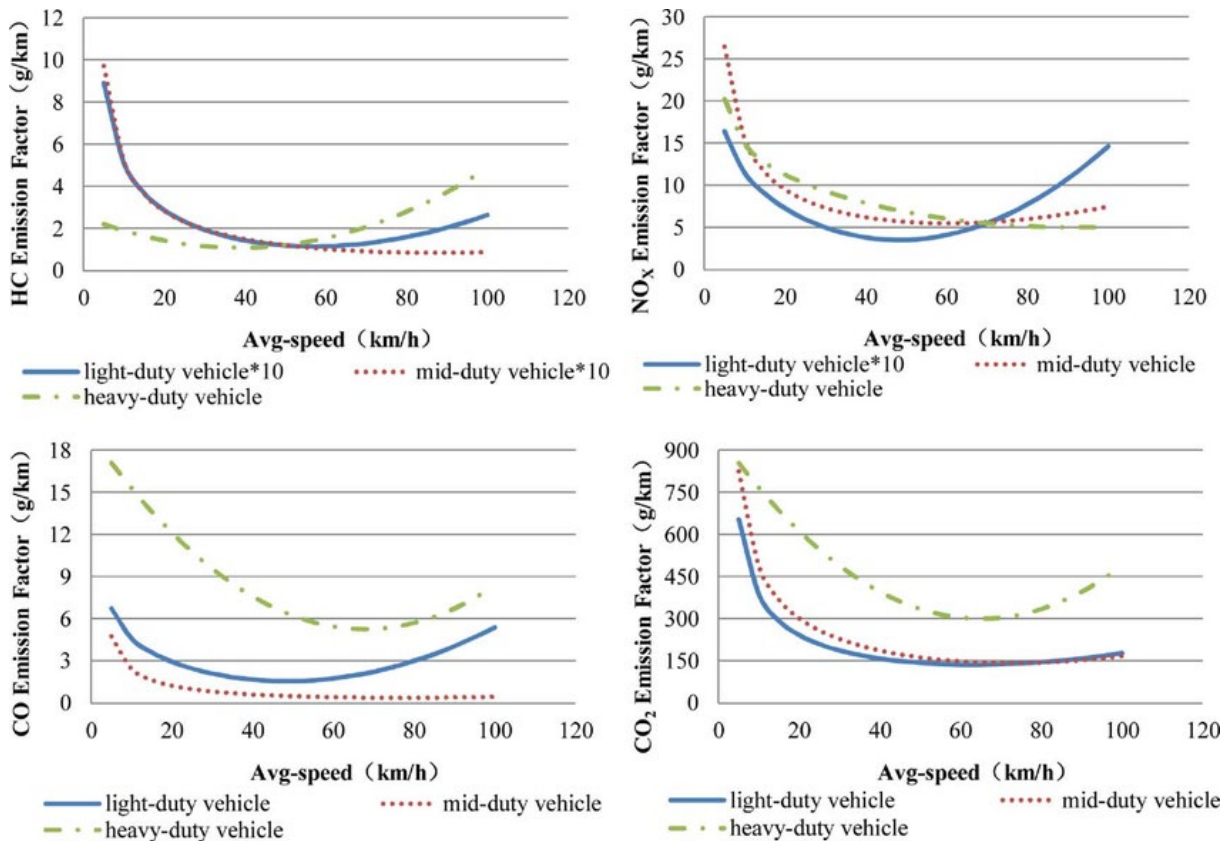
Autori	Mjesto i godina	Politika brzine	Utjecaj onečišćenja	Metoda mjerenja
Hagen i suradnici (2005)	Nacionalna cesta Oslo 4 (2004-2005)	Smanjena brzina s 80km/h na 60km/h	Smanjenje 35-40% za PM10 i 12-13% za NOx	Razlike
Dijkema i suradnici (2008)	Amsterdam (2004-2006)	Smanjeno ograničenje brzine s 100km/h na 80km/h	Smanjenje PM10 od 7,4%, Nox ostaje nepromjenjen.	Linearna regresija
Gonçalves i suradnici (2008)	Barcelona (2004)	Uvedeno ograničenje brzine od 80km/h	Smanjenje NO2 i PM10	Simulacija modela
Keller i suradnici (2008)	Švicarske autoceste	Smanjeno ograničenje brzine sa 120km/h na 80km/h	4% smanjenja NOx	-
Keuken i suradnici (2010)	Područja Amsterdama i Rotterdama (2005-2006)	Smanjeno ograničenje brzine sa 100km/h na 80km/h	Smanjenje 5-30% za Nox i 5-25% za PM10	Modeliranje i linearna regresija
Int Panis i suradnici (2011)	Mol i Barcelona	Hipotetska promjena ograničenja brzine (50km/h u odnosu na 30km/h)	Manje brzine povećavaju koncentracije NO2 i PM10 u makroskopskom pristupu, lošiji rezultati	Copert makroskopski
Madireddy i suradnici (2011)	Antwerp	Smanjenje brzine sa 50km/h na 30km/h	Smanjenje Nox emisija za oko 25%	Simulacija modela
Bel and Rosell (2013) (1) (2)	Gradsko područje Barcelone (2006-2010)	(1)Smanjeno ograničenje brzine sa 120/100 km/h na 80km/h	Povećanje od 1,7-3,2 za Nox i 5,3-5,9 PM10	DID (razlike u razlikama)

		(2) Sustav promjenjive brzine	Smanjenje 5,2-11,7% za NOx i 11,3-13,5% za PM10	DID (razlike u razlikama)
Van Benthem (2015)	Kalifornija, Washington i Oregon (1984-1990)	Povećanje ograničenja brzine sa 89km/h na 105km/h	Povećanje 8-15% u NO2 i nema promjene u PM česticama	DID (razlike u razlikama)
Bel i suradnici (2015) (1) (2)	Gradsko područje Barcelone	(1) Smanjeno ograničenje brzine sa 120/100 km/h na 80km/h	Povećanje Nox i PM10	DID (razlike u razlikama)
		2) Sustav promjenjive brzine	Smanjenje 8-17% NO2 i 14-17% PM10	DID (razlike u razlikama)
Gately i suradnici (2017)	Massachusetts (2012)	Stvarna brzina vozila	Povećanje emisija PM2,5 i NOx sa smanjenjem brzine teških kamiona	Simulacije podataka i modela
Vlada Ujedinjenog Kraljevstva (2017)	Ujedinjeno Kraljevstvo	Hipotetsko smanjenje ograničenja brzine sa 112km/h na 96km/h	Smanjenje štetnih emisija NOx	Simulacije modela
Tang i suradnici (2019)	Dublin (2013)	Hipotetsko smanjenje ograničenja brzine sa 50 km/h na 30km/h	Porast ukupnih koncentracija NO2 i PM10 za 2-3% u ulicama s malo prometa	Podaci i model

Istraživanjima je dokazano kako su u uskoj vezi smanjena brzina i povećanje emisija štetnih plinova, a smatra se da je odnos emisija štetnih plinova i prosječne brzine putovanja u obliku slova U. Gately i suradnici su na 280 000 cestovnih segmenata u Massachusettsu pomoću podataka o brzini mobilnih telefona u vozilima i GPS-om vozila proveli istraživanje koje proučava emisiju štetnih plinova, otkriveno je da ako brzina teških teretnih vozila padne ispod 55 km/h značajno se povećava stopa emisije čestica PM2,5, a emisije dušikovih oksida ujednačeno rastu sa smanjenjem brzine.

Istraživanje provedeno u Dublinu od strane Tang i suradnika, za svoje ulazne podatke korišteni su stvarni podatci u prometu koji su onda kombinirani s empirijskim i disperzijskim modelom. Otkriveno je kako bi hipotetsko povećanje ograničenja sa 30 km/h na 50 km/h dovelo do smanjenja razine NO2 i PM10. Uporabom alata Copert Int Panis i suradnici su proveli istraživanje u Barceloni i na Molu, rezultati tog istraživanja su slični rezultatima u Dublinu. Manje emisije štetnih plinova sa smanjenjem brzine zabilježene su i istraživanjem provedenom u Belgiji od strane Medireddy i suradnika 2011. godine, ukupno smanjenje ugljikovog dioksida i dušikovih oksida od oko 25% dobiveno je modelom smanjenja brzine za 20 km/h. [16]

Slika 1. prikazuje grafikone na kojima se vidi kako različita vozila kao što su teški teretni kamioni i lakši teretni kamioni utječu na emisiju štetnih plinova pri različitim brzinama, na slici se vidi kako oblik krivulje emisije ugljikovog monoksida i dušikovih oksida imaju oblik slova U, što je dokazano u prijašnjim istraživanjima.



Slika 1. Utjecaj vrste vozila i brzine na emisiju štetnih plinova

Izvor: [17]

Na prikazanoj slici se vidi kako su onečišćenja pri emisiji ugljikovodika najveća pri manjim brzinama do 25 kilometara na sat, zatim se pri povećanju brzine iznad 60 kilometara na sat uočava ponovni porast onečišćenja. Emisije dušikovih oksida pri manjim brzinama od 40 kilometara na sat su povišene te je zabilježen porast emisija nakon većih brzina od 70 kilometara na sat. Na grafu koji prikazuje emisije ugljikovog monoksida, može se uočiti kako pri brzinama manjim od 20 kilometara na sat i pri brzinama većim od 80 kilometara na sat je emisija znatno veća. Razina emisije ugljikova dioksida povećana je pri manjim brzinama do 40 kilometara na sat.

4. IZRAČUN EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA NA AUTOCESTAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ PRIMJENOM ALATA COPERT STREET LEVEL

U radu su obrađene sve autoceste u Republici Hrvatskoj od A1 do A11 primjenom alata Copert Street Level. Softverski program Copert koristi se za izračun štetnih emisija koje proizlaze iz prometa, takav program radi na principu matematičkih modela koji ubrajaju sve čimbenike štetnih emisija po tipu i tehnologiji vozila. Copert je razvijen sukladno IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) smjernicama za izračun štetnih emisija, omogućuje standardiziran način prikupljanja podataka o emisijama u skladu sa EU zakonima. Copert Street Level je alat, napravljen tako da ga svi korisnici koje zanima emisija štetnih plinova mogu jednostavno i lako izračunati uz potrebne podatke o duljini prometnice, prosječnoj brzini vozila i prosječnom godišnjem opterećenju, specijaliziran je za procjenu emisija štetnih plinova na mikrolokacijama, što znači da ima mogućnost računanja emisije na razini države, grada, naselja ili određene prometnice. Razvijen je kao dodatna grana alat Copert, koji je specijaliziran za procjenu emisija na makrolokacijama odnosno na nacionalnim razinama.

Osim Copert Street Level programa, moguće je izračunati emisije štetnih plinova i pomoću drugih softverskih alata i modela kao što su HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport), Moves (Vehicle Emission Simulator), AERMOD, TREMOVE, VEIN (Vehicle Emission Inventory). Copert Street Level je jedini relevantan alat za procjenu emisija na našem dijelu Europe, a neke od važnijih karakteristika alata Copert Street Level su :

- Mikro lokacijska analiza, omogućava detaljnu analizu na razini pojedinih ulica.
- Vrsta emisije, omogućuje izračun emisija CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, NO_x, VOC
- Ulazni podaci, može procijeniti emisiju na osnovu brzine kretanja vozila, duljine prometnice i prosječnog godišnjeg opterećenja.
- Primjena, vrlo lako je dostupan i jednostavan za korištenje.
- Integracija s drugim alatima, može se integrirati s GIS (Geografski Informacijski Sustav) alatom za vizualizaciju rezultata.[18]

4.1. Metodologija

Za izračun emisija štetnih plinova korišteni su stvarni podaci o prometu na autocestama u Republici Hrvatskoj, skup podataka sadrži ključne informacije za svaku dionicu autoceste, kao što su:

- Ukupna duljina svake dionice autoceste, izražena u kilometrima.
- Zakonsko ograničenje brzine vožnje

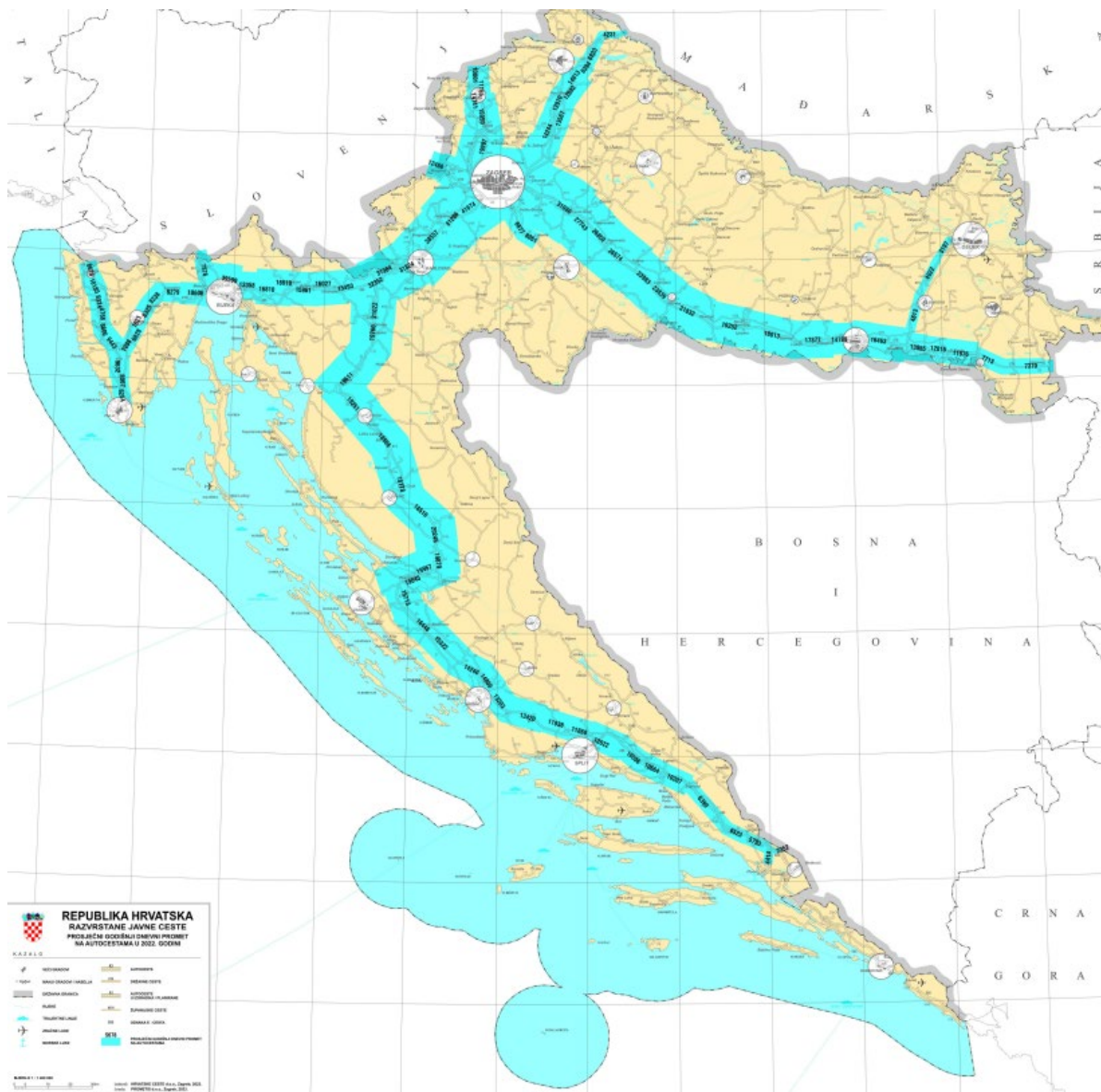
- Operativna brzina
- Smanjeno ograničenje brzine
- Prosječni godišnji dnevni promet, koji nam prikazuje koliko je vozila u godini dana prošlo određenom dionicom.

Podaci su prikupljeni za sve dionice autocesta u Hrvatskoj kako bi se omogućio sveobuhvatan pregled karakteristika svake dionice.

Izračun rezultata emisije štetnih plinova obrađen je softverskim alatom Copert Street Level, takav program omogućava modeliranje i precizne izračune emisija na temelju različitih ulaznih parametara koji sadrže prometne karakteristike, brzinu vožnje, vrstu goriva, vrstu vozila i tehnologiju motora. Izračun na temelju podataka je obrađen prema sljedećem postupku:

- Unos podataka, za svaku dionicu autoceste uneseni su podaci o prosječnoj brzini, duljini i prometnom opterećenju.
- Klasifikacija vozila prema tipu (npr. osobna vozila, autobusi, teretna vozila...), vrsti goriva i europskim standardima (npr. EURO 4, EURO 5, EURO 6).
- Izračun specifičnih emisija, program koristi unaprijed definirane emisijske faktore (g/km) za svaku vozilo, kako bi izračunao ukupne emisije štetnih plinova za svaku dionicu.
- Za svaku dionicu zbrojene su emisije svake kategorije vozila, dobivena ukupna emisija štetnih plinova može biti izražena u gramima po kilometru ili tonama po kilometru.

Na slici 2. prikazan je ukupan godišnji promet na razini hrvatskih autocesta, slika se temelji na brojanju vozila koja prolaze kroz naplatne kućice na svim dionicama autocesta u Republici Hrvatskoj. Na istoj se može vidjeti kako su dionice u blizini glavnog grada Zagreba prometno opterećenije nego u ostalim dijelovima Hrvatske.



Slika 2. Ukupan promet na autocestama u RH

Izvor: [19]

Na tablici 3. prikazani su ulazni podaci korišteni za izračun emisija štetnih plinova pomoću softverskog alata Copert Street Level, obuhvaćaju naziv i duljinu svake dionice, ograničenje brzine kretanja i prosječni godišnji dnevni promet.

Tablica 3. Ulazni podaci za izračun emisija na A1

Izvor: [19]

Autocesta	Duljina [km]	Brzina [km/h]	Dionica	PGDP
A1	15,4	130	Lučko - D. Zdenčina	41.674
A1	6,7	130	D. Zdenčina - Jastrebarsko	41.206
A1	18,2	130	Jastrebarsko - Karlovac	38.557
A1	11,5	130	Karlovac - Novigrad	31.824
A1	13,6	130	Novigrad - Bosiljevo 1	31.384
A1	3,9	100	Bosiljevo 1 - Bosiljevo 2	32.352
A1	21,1	130	Bosiljevo 2 - Ogulin	21.022
A1	28,3	130	Ogulin - Brinje	19.760
A1	11,1	130	Brinje - Žuta Lokva	19.611
A1	11,5	130	Žuta Lokva - Otočac	19.251
A1	32,1	100	Otočac - Perušić	18.886
A1	11,2	130	Perušić - Gospić	18.778
A1	23	130	Gospić - Gornja Ploča	18.510
A1	5,6	130	Gornja Ploča - Sveti Rok	20.246
A1	32,7	100	Sveti Rok - Maslenica	19.870
A1	7,2	130	Maslenica - Posedarje	19.957
A1	3,6	130	Posedarje - Zadar 1	19.045
A1	9	130	Zadar 1 - Zadar 2	15.713
A1	16,4	130	Zadar 2 - Benkovac	16.448
A1	21,5	130	Benkovac - Pirovac	15.322
A1	9,8	130	Pirovac - Skradin	14.240
A1	9,2	130	Skradin - Šibenik	14.800
A1	14,6	130	Šibenik - Vrpolje	13.303
A1	17,5	130	Vrpolje - Prgomet	13.420
A1	14,2	130	Prgomet - Vučevica	11.838
A1	14,1	130	Vučevica - Dugopolje	11.868
A1	10,2	130	Dugopolje - Bisko	12.622
A1	18,1	130	Bisko - Blato na Cetini	10.506
A1	6,9	130	Blato na Cetini - Šestanovac	10.664
A1	11,5	130	Šestanovac - Zagvozd	10.207
A1	29,7	130	Zagvozd - Ravča	63.99
A1	9,7	130	Ravča - Vrgorac	6.523
A1	10,3	130	Vrgorac - Ploče	5.793
A1	5,4	130	Ploče - Karamatići	4.414

Tablica 4. obuhvaća ulazne podatke korištene za izračun emisija štetnih plinova s pomoću softverskog alata Copert Street Level za sve dionice autocesta A2 i A3.

Tablica 4. Ulazni podaci za autoceste A2 i A3

Izvor: [19]

Autocesta	Duljina [km]	Brzina [km/h]	Dionica	PGDP
A2	7,5	130	Trakošćan - Đurmanec	10.001
A2	10,3	130	Đurmanec - Krapina	11.165
A2	4,8	130	Krapina - Začretje	14.741
A2	12,8	130	Začretje - Mokrice	15.950
A2	16,5	130	Mokrice - Zaprešić	19.997
A3	2,5	130	Slovenije - Bobovica	12.468
A3	16,5	130	Rugvica - Ivanić Grad	31.080
A3	9,5	130	Ivanić Grad - Križ	27.743
A3	13,4	130	Križ - Popovača	26.574
A3	17,7	130	Popovača - Kutina	26.574
A3	14,3	130	Kutina - Lipovljani	23.983
A3	6,8	130	Lipovljani - Novska	23.839
A3	24,8	130	Novska - Okučani	21.832
A3	15,4	130	Okučani - Nova Gradiška	19.252
A3	22,5	130	Nova Gradiška - Lužani	18.013
A3	20,3	130	Lužani - Slavonski Brod (zapad)	17.877
A3	11,5	130	Slavonski Brod (zapad) - S.B.(istok)	14.789
A3	20,1	130	Slavonski Brod (istok) - Sredanci	16.463
A3	7,5	130	Sredanci - Velika Kopanica	13.055
A3	12,6	130	Velika Kopanica - Babina Greda	12.016
A3	12,2	130	Babina Greda - Županja	11.976
A3	17,2	130	Županja - Spačva	7.713
A3	12,8	130	Spačva - Lipovac	7.370

Tablicom 5. obuhvaćeni su ulazni podaci za izračun emisija s pomoću softverskog alata Copert Street Level za autocesta A4, A5, A6 i A7.

Tablica 5. Ulazni podaci za autoceste A4, A5, A6 i A7

Izvor:[19]

Autocesta	Duljina [km]	Brzina [km/h]	Dionica	PGDP
A4	14	130	Goričan - Čakovec	4.231
A4	8,2	130	Čakovec - Ludberg	6.833
A4	7,2	130	Ludberg - Varaždin	8.394
A4	6,3	130	Varaždin - Varaždinske Toplice	14.013
A4	8,3	130	Varaždinske Toplice - Novi Marof	12.882
A4	9,7	130	Novi Marof - Breznički Hum	12.970

A4	12,3	130	Breznički Hum - Komin	13.567
A4	10,6	130	Komin - Sveta Helena	14.244
A5	25,1	130	Beli Manastir - Osijek	1.234
A5	8,8	130	Osijek - Čepin	3.197
A5	23,8	130	Čepin - Đakovo	4.022
A5	21	130	Đakovo - Sredanci	4.613
A5	2,6	130	Sredanci - Svilaj	1.495
A6	13,8	130	Bosiljevo 2 - Vrbovsko	15.493
A6	15,3	130	Vrbovsko - Ravna Gora	16.027
A6	11	130	Ravna Gora - Delnice	15.961
A6	8,9	130	Delnice - Vrata	16.910
A6	12,4	130	Vrata - Oštrovica	16.810
A6	9	130	Oštrovica - Kikovica	13.358
A7	9,5	130	Rupa - Jurdani	7.876
A7	6	130	A8 - D427	39.599

Tablicom 6. prikazani su ulazni podaci potrebni za izračun emisija štetnih plinova s pomoću softverskog alata Copert Street Level za autoceste A8, A9, A10 i A11.

Tablica 6. Ulazni podaci za autoceste A8, A9, A10 i A11

Izvor: [19]

Autocesta	Duljina [km]	Brzina [km/h]	Dionica	PGDP
A8	7,3	130	Kanfanar - Žminj	7.098
A8	10,9	130	Žminj - Rogovići	6.828
A8	5,8	130	Rogovići - Ivoli	7.621
A8	4,9	130	Ivoli - Cerovlje	8.325
A8	12,8	130	Cerovlje - Lupoglav	8.238
A8	5,9	130	Lupoglav - Vranja	9.279
A8	9,7	130	Vranja - Veprinec	10.606
A9	6	110	Umag - Buje	8.678
A9	6,2	110	Buje - Nova Vas	10.185
A9	14,3	110	Nova Vas - Višnjan	9.324
A9	7,6	110	Višnjan - Baderna	8.768
A9	7,7	110	Baderna - Medaki	8.806
A9	7,4	110	Medaki - Kanfanar	9.443
A9	14,5	110	Kanfanar - Vodnjan (sjever)	9.632
A9	6,2	110	Vodnjan (sjever) - Vodnjan (jug)	8.067
A9	6,9	110	Vodnjan (jug) - Pula	8.254
A10	9	130	Kula Norinska - Ploče	2.352
A11	11,2	130	Buševac - Lekenik	8.051

4.2. Scenarij 0 – postojeće ograničenje

Za Scenarij 0 korišteni su podaci prikupljeni na svim autocestama u Republici Hrvatskoj pomoću naplate cestarine na autocestama te su s pomoću softverskog alata Copert Street Level ti podaci obrađeni. Ukupne emisije štetnih plinova ugljikovog monoksida, ugljikovog dioksida, dušikovih oksida, čestica PM i hlapljivih organskih spojeva za lakše prikazivanje sumirane su po pojedinačnim autocestama.

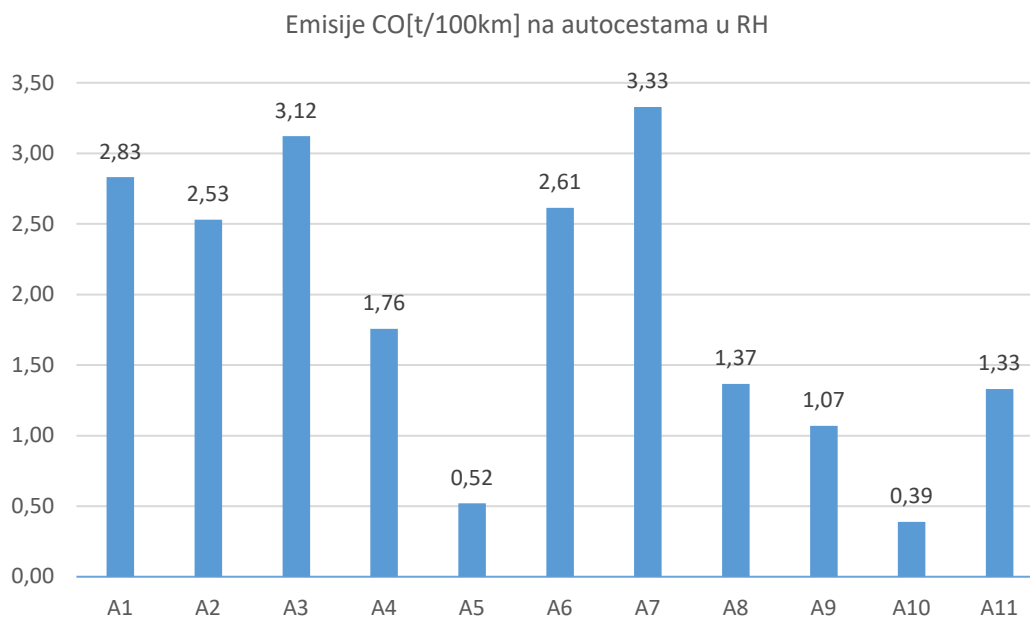
Ugljikov monoksid (CO)

Najviše tona u danu ugljikovog monoksida se stvara na autocesti A1 što se ublažuje njenom duljinom. Najkritičnija autocesta u Republici Hrvatskoj po stvaranju emisije ugljikovog monoksida je autocesta A7 koja stvara na 100 kilometara trase autoceste 3,33 tone ugljikovog monoksida, što je vidljivo i na grafikonu 1.

Tablica 7. Emisije CO na svakoj autocesti u RH

Ugljikov monoksid (CO)				
Autocesta	Duljina [km]	CO[g]	CO[t]	CO [t/100km]
A1	484,8	13.727.182	13,73	2,83
A2	51,9	1.312.807	1,31	2,53
A3	257,6	8.040.887	8,04	3,12
A4	76,6	1.345.341	1,35	1,76
A5	81,3	422.131	0,42	0,52
A6	70,4	1.839.463	1,84	2,61
A7	15,5	515.983	0,52	3,33
A8	57,3	783.359	0,78	1,37
A9	76,8	820.338	0,82	1,07
A10	9	34.961	0,03	0,39
A11	11,2	148.926	0,15	1,33

Na tablici 7. prikazani su podaci emisija ugljikovog monoksida podijeljeni prema pojedinačnim autocestama u Republici Hrvatskoj. Dobivene vrijednosti su izračunate pomoću softverskog alata Copert Street Level. Na temelju podataka iz tablice 7. moguće je prikazati grafikonom 1. emisiju ugljikovog monoksida na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara.



Grafikon 1. Emisije CO na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.

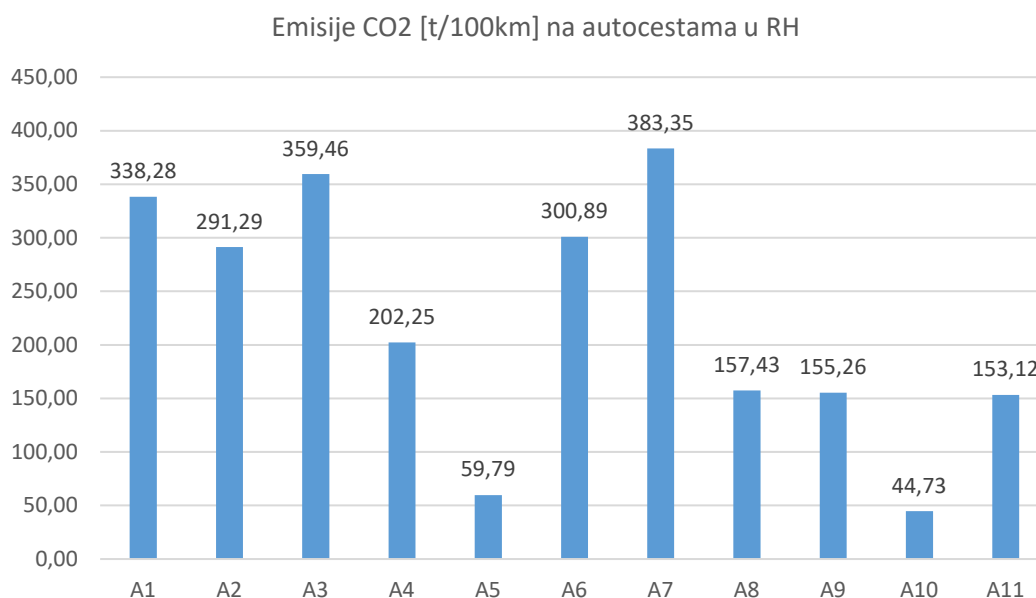
Ugljikov dioksid (CO₂)

Autocesta A1 zbog svoje duljine i velikog broja vozila na njoj emitira 1639,97 tona ugljikovog dioksida u danu što je ujedno i najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj. Gledajući emisiju ugljikovog dioksida po tonama na 100 kilometara autoceste što je od veće važnosti, autocesta A7 proizvodi znatno više ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara od ostalih autocesta Republike Hrvatske. Druga po količini emisije ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara autoceste je autocesta A3 koja proizvede 359,46 tonu na svojih 100 kilometara trase što je vidljivo i na grafikonu 2. Važno je za spomenuti i autocestu A1 koja proizvede na svojih 100 kilometara trase 338,28 tona.

Tablica 8. Emisije CO₂ na svakoj autocesti u RH

Ugljikov dioksid (CO ₂)				
Autocesta	Duljina [km]	CO ₂ [g]	CO ₂ [t]	CO ₂ [t/100km]
A1	484,8	1.639.968.281	1639,97	338,28
A2	51,9	151.179.532	151,18	291,29
A3	257,6	925.968.473	925,97	359,46
A4	76,6	154.926.163	154,93	202,25
A5	81,3	48.611.544	48,61	59,79
A6	70,4	211.827.935	211,83	300,89
A7	15,5	59.419.338	59,42	383,35
A8	57,3	90.209.607	90,21	157,43
A9	76,8	119.239.968	119,24	155,26
A10	9	4.026.006	4,03	44,73
A11	11,2	17.149.932	17,15	153,12

Na tablici 8. koja prikazuje emisiju ugljikovog dioksida na autocestama u Republici Hrvatskoj može se uočiti znatno veća količina emisije ugljikovog dioksida u usporedbi s emisijama ugljikovog monoksida. Temeljem tablice 8. prikazuje se grafikon o emisijama ugljikovog dioksida na pojedinačnim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara.



Grafikon 2. Emisije CO2 na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Na tablici 8. prikazani su podaci o emisiji dušikovih oksida na svakoj autocesti u Republici Hrvatskoj na temelju podataka o brojanju prometa na autocestama i pomoću softverskog alata Copert Street Level.

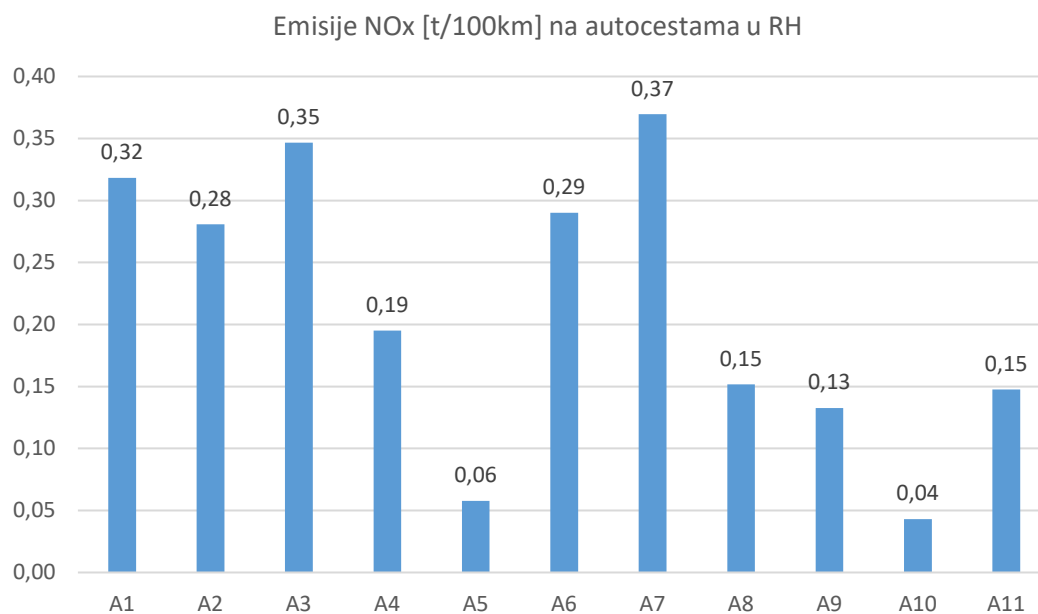
Dušikovi oksidi (NOx)

Autocesta A1 prepoznatljiva je po velikom prometnom opterećenju i po svojoj duljini te s toga proizvodi 1,54 tona po danu emisija dušikovih oksida što je ujedno i najviše. U emisiji dušikovih oksida u tonama na 100 kilometara autoceste najviše se emisije proizvodi na autocesti A7 koja na 100 kilometara svoje duljine proizvede 0,37 tona. Na grafikonu 3. vidi se da je emisija dušikovih oksida znatno veća na autocestama A1, A2, A3, A6 i A7, a isto tako se vidi kako autoceste A5 i A10 proizvode i do 8 puta manju količinu dušikovih oksida.

Tablica 9. Emisije NOx na svakoj autocesti u RH

Dušikovi oksidi (NOx)				
Autocesta	Duljina [km]	NOx[g]	NOx[t]	NOx[t/100km]
A1	484,8	1.542.549	1,54	0,32
A2	51,9	145.743	0,15	0,28
A3	257,6	892.670	0,89	0,35
A4	76,6	149.355	0,15	0,19
A5	81,3	46.863	0,05	0,06
A6	70,4	204.210	0,20	0,29
A7	15,5	57.283	0,06	0,37
A8	57,3	86.966	0,09	0,15
A9	76,8	101.849	0,10	0,13
A10	9	3.881	0,00	0,04
A11	11,2	16.533	0,02	0,15

Na temelju tablice 9. moguće je prikazati grafikon 3. koji sadrži grafički prikaz emisija dušikovih oksida na svim autocestama u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 3. Emisije NOx na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Lebdeće čestice (PM)

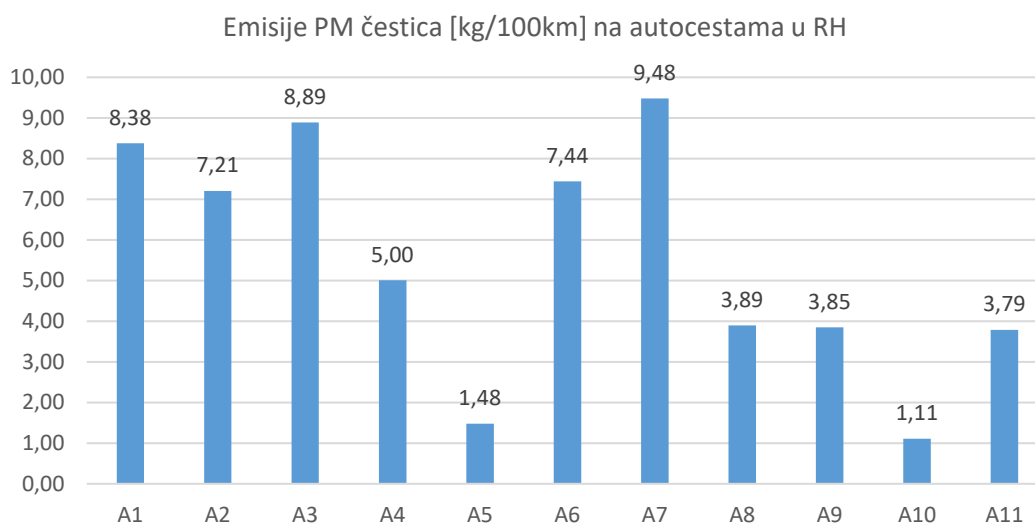
Emisije PM čestica na svim autocestama u Republici Hrvatskoj prikazane su u kilogramima na 100 kilometara autoceste. Autoceste koje proizvode najveće emisije lebdećih čestica u danu su A1, A3 i A6, što je vidljivo i na tablici 10. Na grafikonu 4. je vidljivo kako autocesta A7 proizvodi 9,48 kilograma na 100 kilometara autoceste što je najviše na

autocestama u Republici Hrvatskoj, također znatno više proizvode emisija lebdećih čestica autoceste A1, A2, i A3 od ostalih autocesta.

Tablica 10. Emisije PM čestica na svakoj autocesti u RH

<i>Lebdeće čestice (PM)</i>				
Autocesta	Duljina [km]	PM[g]	PM[kg]	PM[kg/100km]
A1	484,8	40.628	40,63	8,38
A2	51,9	3.740	3,74	7,21
A3	257,6	22.905	22,90	8,89
A4	76,6	3.832	3,83	5,00
A5	81,3	1.202	1,20	1,48
A6	70,4	5.240	5,24	7,44
A7	15,5	1.470	1,47	9,48
A8	57,3	2.231	2,23	3,89
A9	76,8	2.957	2,96	3,85
A10	9	100	0,10	1,11
A11	11,2	424	0,42	3,79

Ovisno o tablici 10. prikazan je grafikon 4. na kojem se vidi prikaz emisija čestica PM na svakoj autocesti u Republici Hrvatskoj u kilogramima na 100 kilometara.



Grafikon 4. Emisije čestica PM na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Iz grafikona 4. uočljivo je kako su emisije PM čestica najmanje na autocestama A5 i A10 dok su znatno veće vrijednosti dobivene mjerenjem na autocestama A1, A2, A3, A6 i A7.

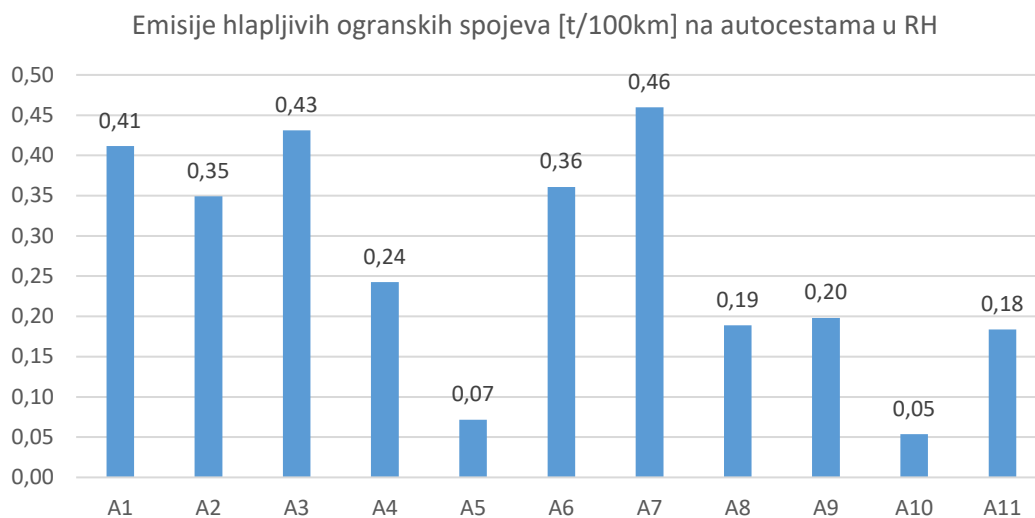
Hlapljivi organski spojevi (VOC)

Na autocesti A1 se proizvede 2 tone hlapljivih organskih spojeva što je znatno najviše u usporedbi s drugom najvećom autocestom po emisiji hlapljivih organskih spojeva A3 koja proizvede 1,11 tona u danu. Kada se gleda emisija po tonama u kilometrima autocesta A7 proizvodi 0,46 tona na 100 kilometara svoje trase, vidljivo je u grafikonu 5. da najviše emisije po tonama u kilometru proizvode autoceste A1, A2, A3, A6 i A7.

Tablica 11. Emisije hlapljivih organskih spojeva na svakoj autocesti u RH

Hlapljivi organski spojevi (VOC)				
Autocesta	Duljina [km]	VOC[g]	VOC[t]	VOC[t/100km]
A1	484,8	1.995.277	2,00	0,41
A2	51,9	181.276	0,18	0,35
A3	257,6	1.110.309	1,11	0,43
A4	76,6	185.769	0,19	0,24
A5	81,3	58.289	0,06	0,07
A6	70,4	253.998	0,25	0,36
A7	15,5	71.248	0,07	0,46
A8	57,3	108.168	0,11	0,19
A9	76,8	152.213	0,15	0,20
A10	9	4.827	0,00	0,05
A11	11,2	20.564	0,02	0,18

Tablica 11. prikazuje obrađene podatke emisija hlapljivih organskih spojeva na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara trase autoceste. Temeljem tablice 11. prikazan je grafikon 5. na kojem se može uočiti kako su na autocestama A5 i A10 emisije najmanje.



Grafikon 5. Emisije hlapljivih organskih spojeva na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

4.3. Scenarij 1 – operativna brzina

Za izračun emisija štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj korišteni podaci dobiveni su internim mjerenjima zavoda za prometno planiranje na Fakultetu prometnih znanosti. Korištene su vrijednosti prosječne operativne brzine ovisno o dozvoljenom ograničenju. Prosječna operativna brzina vožnje ovisno o dozvoljenom ograničenju brzine dionice na autocesti izračunata je zbrajajući sve vrijednosti operativne brzine ovisno o dozvoljenom ograničenju brzine i dijeljenjem broja operativnih brzina ovisno o dozvoljenom ograničenju brzine.

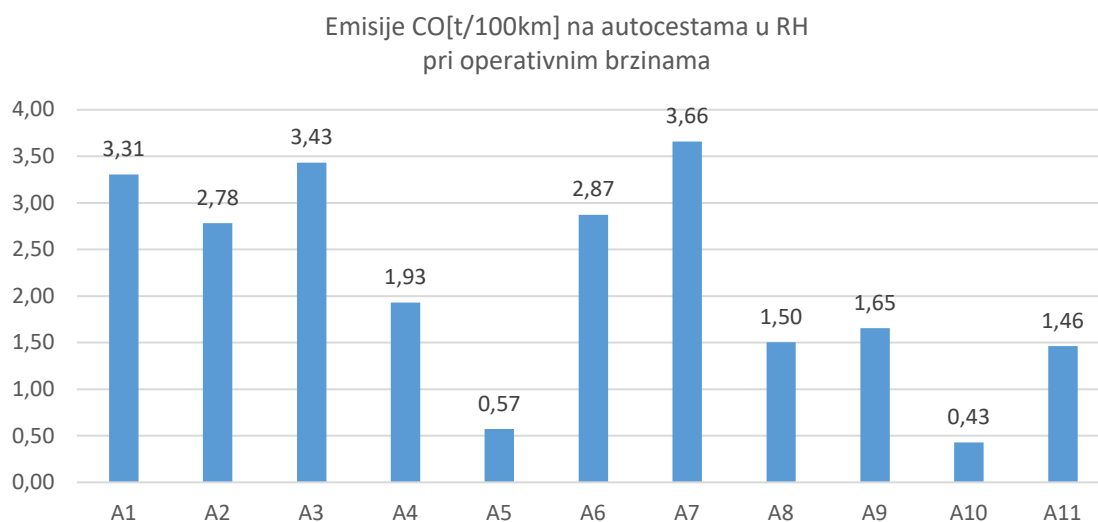
Ugljikov monoksid (CO)

Najviše tona u danu ugljikovog monoksida se stvara na autocesti A1 što je ublaženo njenom duljinom kada se gleda emisija ugljikovog monoksida po toni na 100 kilometara. Najkritičnija autocesta u Republici Hrvatskoj po stvaranju emisije ugljikovog monoksida je autocesta A7 koja stvara na 100 kilometara trase autoceste 3,66 tone ugljikovog monoksida zatim je slijedi autocesta A3 koja proizvodi 3,43 tona na 100 kilometara autoceste, što je vidljivo i na grafikonu 6.

Tablica 12. Emisije CO pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH

Ugljikov monoksid (CO)				
Autocesta	Duljina [km]	CO[g]	CO[t]	CO [t/100km]
A1	484,8	16.025.773	16,03	3,31
A2	51,9	1.443.359	1,44	2,78
A3	257,6	8.840.515	8,84	3,43
A4	76,6	1.479.129	1,48	1,93
A5	81,3	464.109	0,46	0,57
A6	70,4	2.022.388	2,02	2,87
A7	15,5	567.295	0,57	3,66
A8	57,3	861.259	0,86	1,50
A9	76,8	1.270.177	1,27	1,65
A10	9	38.437	0,04	0,43
A11	11,2	163.735	0,16	1,46

Temeljem tablice 12. izrađen je grafikon 6. na kojem se vidi povećanje emisija ugljikovog monoksida pri prosječnim operativnim brzinama na autocestama u Republici Hrvatskoj u odnosu na grafikon 1. gdje je prikazana emisija ugljikovog monoksida pri zakonskim ograničenjima brzina.



Grafikon 6. Emisije CO pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

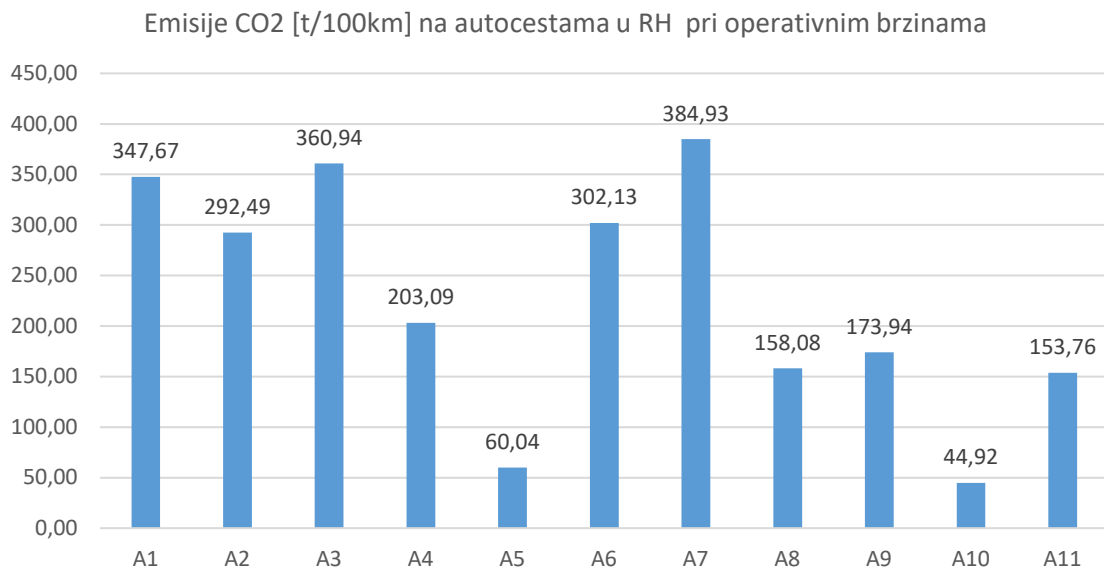
Ugljikov dioksid (CO₂)

Autocesta A1 zbog velikog broja vozila emitira 1685,48 tona ugljikovog dioksida u danu što je ujedno i najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj. Na tablici 13. vidi se kako osim autoceste A1 autoceste A2, A3, A6 i A7 proizvode značajno veće emisije ugljikovog dioksida nego ostale autoceste u Republici Hrvatskoj. Gledajući emisiju ugljikovog dioksida po tonama na 100 kilometara autoceste je od velike važnosti, pa tako autocesta A7 proizvodi više ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara točnije 384,93 tona na 100 kilometara autoceste. Druga po količini emisije ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara autoceste je autocesta A3 koja proizvede 360,94 tone na svojih 100 kilometara trase što je vidljivo i na grafikonu 7. Važno je za spomenuti i autocestu A1 koja proizvede na svojih 100 kilometara trase 347,67 tona.

Tablica 13. Emisije CO₂ pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH

Ugljikov dioksid (CO ₂)				
Autocesta	Duljina [km]	CO ₂ [g]	CO ₂ [t]	CO ₂ [t/100km]
A1	484,8	1.685.483.507	1685,48	347,67
A2	51,9	151.802.846	151,80	292,49
A3	257,6	929.786.245	929,79	360,94
A4	76,6	155.564.924	155,56	203,09
A5	81,3	48.811.970	48,81	60,04
A6	70,4	212.701.303	212,70	302,13
A7	15,5	59.664.324	59,66	384,93
A8	57,3	90.581.542	90,58	158,08
A9	76,8	133.588.799	133,59	173,94
A10	9	4.042.605	4,04	44,92
A11	11,2	17.220.641	17,22	153,76

Tablici 13. prikazuje emisiju ugljikovog dioksida na autocestama u Republici Hrvatskoj može se uočiti znatno veća količina emisije ugljikovog dioksida u usporedbi s ugljikovim monoksidom. Temeljem tablice 13. prikazuje se grafikon o emisijama ugljikovog dioksida na pojedinačnim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara.



Grafikon 7. Emisije CO₂ pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

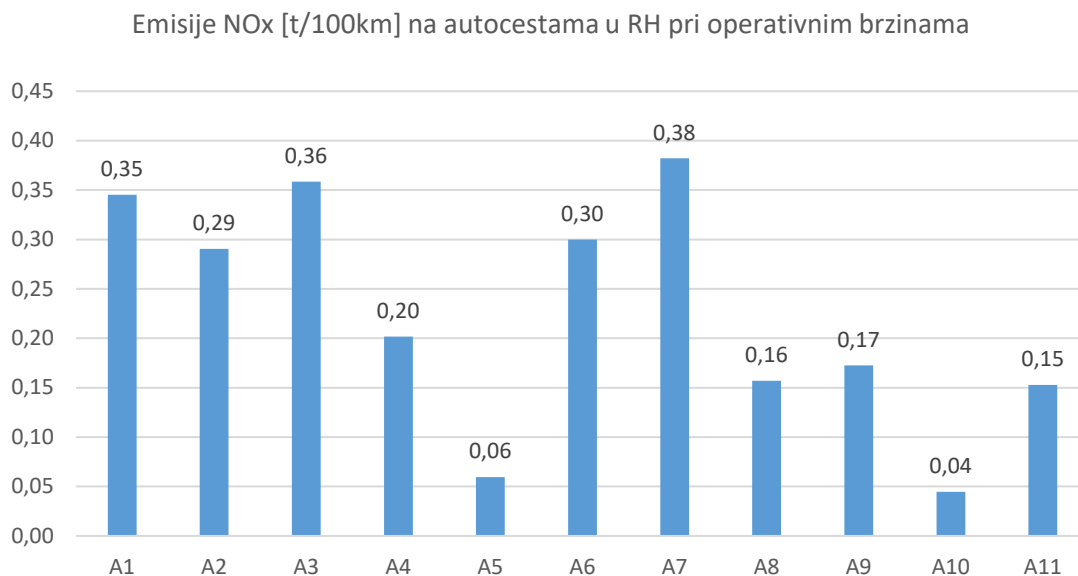
Dušikovi oksidi (NO_x)

Autocesta A1 prepoznatljiva je po velikom prometnom opterećenju te s toga proizvodi 1,67 tona po danu emisija dušikovih oksida što je znatno više od ostalih autocesta u Republici Hrvatskoj. Druga autocesta po količini emisije dušikovih oksida u tonama po danu je autocesta A3 koja proizvede 0,92 tone u danu, dok su ostale i 8 puta manje po emisijama dušikovih oksida što se vidi na tablici 14. Gledajući emisiju dušikovih oksida u tonama na 100 kilometara autoceste najviše se emisije proizvodi na autocesti A7 koja na 100 kilometara svoje duljine proizvede 0,38 tona. Na grafikonu 8. vidi se da je emisija dušikovih oksida znatno veća na autocestama A1, A2, A3 i A6, a isto tako vidi se kako autoceste A5 i A10 proizvode i najmanju količinu emisije dušikovih oksida.

Tablica 14. Emisije NOx pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH

Dušikovi oksidi [NOx]				
Autocesta	Duljina [km]	NOx[g]	NOx[t]	NOx[t/100km]
A1	484,8	1.673.568	1,67	0,35
A2	51,9	150.730	0,15	0,29
A3	257,6	923.213	0,92	0,36
A4	76,6	154.465	0,15	0,20
A5	81,3	48.467	0,05	0,06
A6	70,4	211.198	0,21	0,30
A7	15,5	59.243	0,06	0,38
A8	57,3	89.941	0,09	0,16
A9	76,8	132.644	0,13	0,17
A10	9	4.014	0,004	0,04
A11	11,2	17099	0,02	0,15

Na temelju tablice 14. izrađen je grafikon 8. koji prikazuje emisije dušikovih oksida po pojedinim autocestama u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 8. Emisije NOx pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Lebdeće čestice (PM)

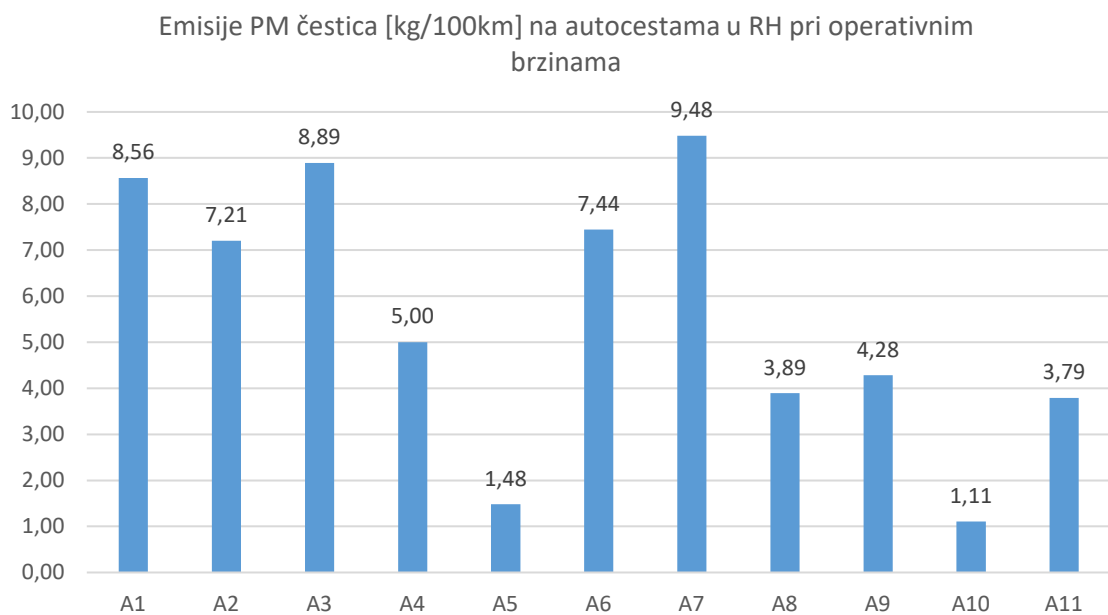
Emisije Lebdećih čestica na svim autocestama u Republici Hrvatskoj prikazane su za kretanje cestovnih vozila operativnim brzinama. Autoceste koje proizvode najveće emisije lebdećih čestica u kilogramima po danu su A1 koja ujedno proizvodi 41,52 kilograma što je skoro dvostruko više od sljedeće najveće autoceste po emisiji lebdećih čestica po kilogramu u danu ,a to je autocesta A3, ostale autoceste su A6 i A7, što je vidljivo i na tablici 15. Na

grafikonu 9. je vidljivo kako autocesta A7 proizvodi 9,57 kilograma na 100 kilometara autoceste što je ujedno i najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj.

Tablica 15. Emisije PM čestica pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH

Lebdeće čestice (PM)				
Autocesta	Duljina [km]	PM[g]	PM[kg]	PM[kg/100km]
A1	484,8	41.521	41,52	8,56
A2	51,9	3.740	3,74	7,21
A3	257,6	22.905	22,90	8,89
A4	76,6	3.832	3,83	5,00
A5	81,3	1.202	1,20	1,48
A6	70,4	5.240	5,24	7,44
A7	15,5	1.470	1,47	9,48
A8	57,3	2.231	2,23	3,89
A9	76,8	3.291	3,29	4,28
A10	9	100	0,10	1,12
A11	11,2	424	0,42	3,79

Na temelju tablice 15. prikazan je grafikon 9. na kojem se vidi prikaz emisija čestica PM na svakoj autocesti u Republici Hrvatskoj u kilogramima na 100 kilometara.



Grafikon 9. Emisije PM čestica pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.

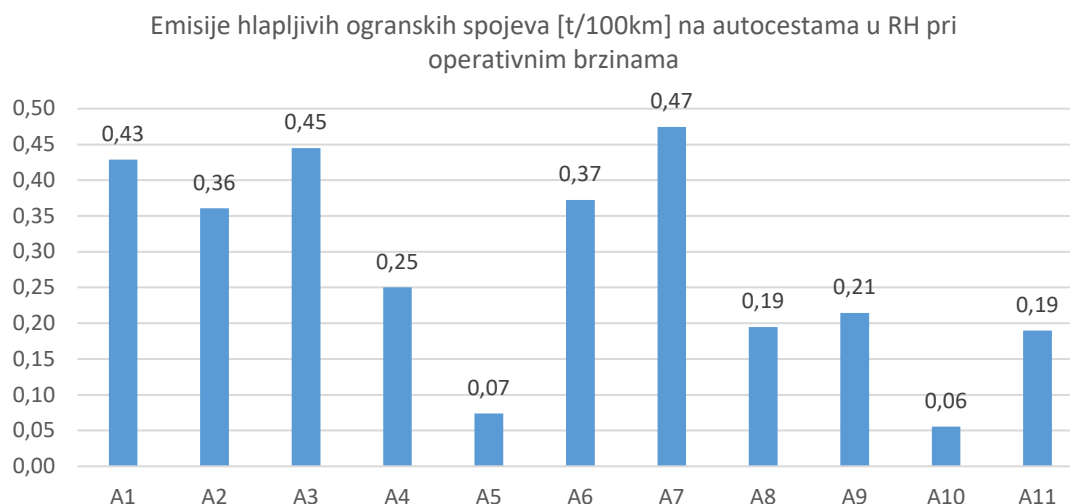
Hlapljivi organski spojevi (VOC)

Na autocesti A1 se proizvede 2,08 tona hlapljivih organskih spojeva što je znatno najviše u usporedbi s drugom najvećom autocestom po emisiji hlapljivih organskih spojeva A3 koja proizvede 1,15 tona u danu što je prikazano tablicom 16. Kada se gleda emisija po tonama u kilometrima autocesta A7 proizvodi 0,47 tona na 100 kilometara svoje trase, vidljivo je na grafikonu 10. da najviše emisije po tonama na 100 kilometara proizvode autoceste A1, A2, A3, A6 i A7.

Tablica 16. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH

Hlapljivi organski spojevi (VOC)				
Autocesta	Duljina [km]	VOC[g]	VOC[t]	VOC[t/100km]
A1	484,8	2.078.379	2,08	0,43
A2	51,9	187.189	0,19	0,36
A3	257,6	1.146.524	1,15	0,45
A4	76,6	191.828	0,19	0,25
A5	81,3	60.190	0,06	0,07
A6	70,4	262.283	0,26	0,37
A7	15,5	73.572	0,07	0,47
A8	57,3	111.697	0,11	0,19
A9	76,8	164.729	0,16	0,21
A10	9	4.985	0,00	0,06
A11	11,2	21.235	0,02	0,19

Tablicom 16. određen je grafikon 10. na kojem je prikazana emisija hlapljivih organskih spojeva po tonama na 100 kilometara svih autocesta u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 10. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

4.4. Scenarij 2 – smanjenje ograničenja brzine

Izračun emisija štetnih plinova na autocestama obrađen je pomoću softverskog alata Copert Street Level i ulaznih podataka scenarija 0, uz pretpostavku da je ograničenje brzine kretanja od 130 kilometara na sat smanjeno na 120 kilometara na sat.

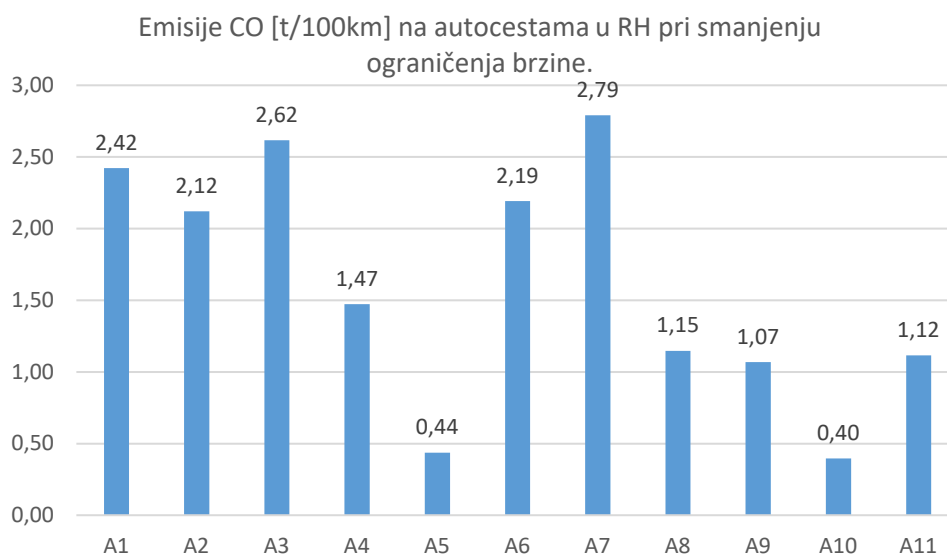
Ugljikov monoksid (CO)

Najviše ugljikovog monoksida se stvara na autocesti A1 ukupno 11,74 tona po danu, što je karakteristično za tako veliku autocestu s puno prometnog intenziteta. Autocesta sa osobito velikim emisijama ugljikovog monoksida u tonama po danu je autocesta A3 na kojoj se proizvede 6,74 tona ugljikovog monoksida u danu kao što je vidljivo na tablici 17. Najkritičnija autocesta u Republici Hrvatskoj po generiranju emisije ugljikovog monoksida je autocesta A7 koja stvara na 100 kilometara trase autoceste 2,79 tona ugljikovog monoksida, značajno veće emisije ugljikovog monoksida u tonama na 100 kilometara su i na autocestama A1, A2, A3 i A6 u odnosu na ostale autoceste u Republici Hrvatskoj što je prikazano i na grafikonu 11.

Tablica 17. Emisije CO pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH

Ugljikov monoksid (CO)				
Autocesta	Duljina [km]	CO[g]	CO[t]	CO [t/100km]
A1	484,8	11.743.107	11,74	2,42
A2	51,9	1.100.929	1,10	2,12
A3	257,6	6.743.147	6,74	2,62
A4	76,6	1.128.213	1,13	1,47
A5	81,3	354.002	0,35	0,44
A6	70,4	1.542.587	1,54	2,19
A7	15,5	432.707	0,43	2,79
A8	57,3	656.930	0,66	1,15
A9	76,8	820.338	0,82	1,07
A10	9	35.701	0,04	0,40
A11	11,2	124.890	0,12	1,12

Na tablici 17. prikazani su podaci emisija ugljikovog monoksida podijeljeni prema pojedinačnim autocestama u Republici Hrvatskoj. Dobivene vrijednosti su izračunate pomoću softverskog alata Copert Street Level. Na temelju podataka iz tablice 17. prikazan je grafikonom 11. emisija ugljikovog monoksida pri smanjenju ograničenja brzine na svim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara.



Grafikon 11. Emisije CO pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

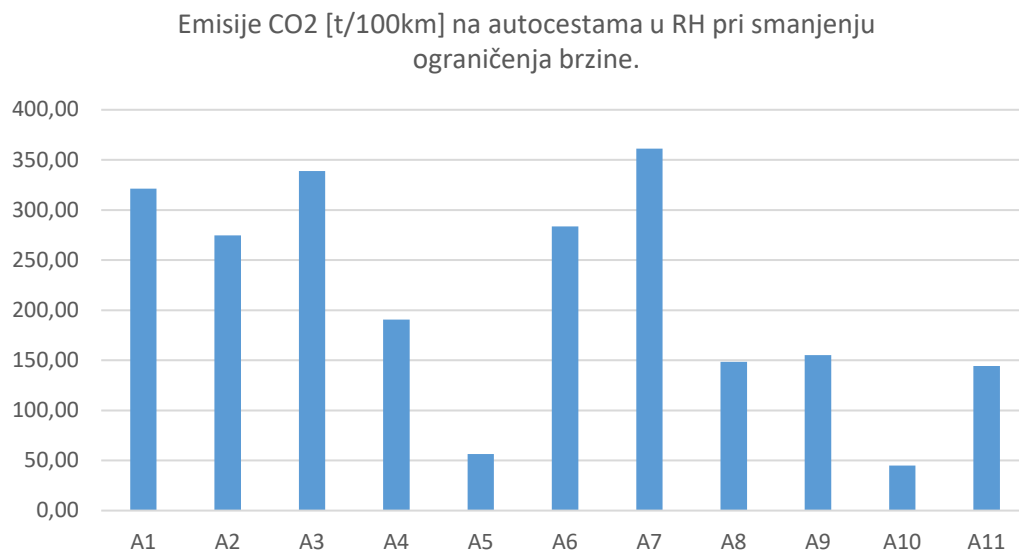
Ugljikov dioksid (CO₂)

Autocesta A1 zbog velikog broja vozila emitira 1558,35 tona ugljikovog dioksida u danu što je ujedno i najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj, najmanje emisija ugljikovog dioksida generira se na autocesti A10 stvara ukupno 4,06 tona u danu. Gledajući razine emisija ugljikovog dioksida po tonama na 100 kilometara autoceste što je od veće važnosti, autocesta A7 proizvodi više ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara od ostalih autocesta Republike Hrvatske. Druga po količini emisije ugljikovog dioksida u tonama na 100 kilometara autoceste je autocesta A3 koja proizvede 338,74 tone na svojih 100 kilometara trase što je vidljivo na grafikonu 12. Važno je za spomenuti i autocestu A1 koja proizvede na svojih 100 kilometara trase 321,44 tone ugljikovog dioksida.

Tablica 18. Emisije CO2 pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH

Ugljikov dioksid (CO2)				
Autocesta	Duljina [km]	CO2 [g]	CO2 [t]	CO2 [t/100km]
A1	484,8	1.558.349.960	1558,35	321,44
A2	51,9	142.463.597	142,46	274,50
A3	257,6	872.583.728	872,58	338,74
A4	76,6	145.994.224	145,99	190,59
A5	81,3	45.808.949	45,81	56,35
A6	70,4	199.615.446	199,62	283,54
A7	15,5	55.993.642	55,99	361,25
A8	57,3	85.008.764	85,01	148,36
A9	76,8	119.239.968	119,24	155,26
A10	9	4.056.858	4,06	45,08
A11	11,2	16.161.189	16,16	144,30

Na temelju tablice 18. prikazan je grafikon 12. na kojem je prikazana emisija ugljikovog dioksida na pojedinačnim autocestama u Republici Hrvatskoj u tonama na 100 kilometara.



Grafikon 12. Emisije CO2 pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Dušikovi oksidi (NOx)

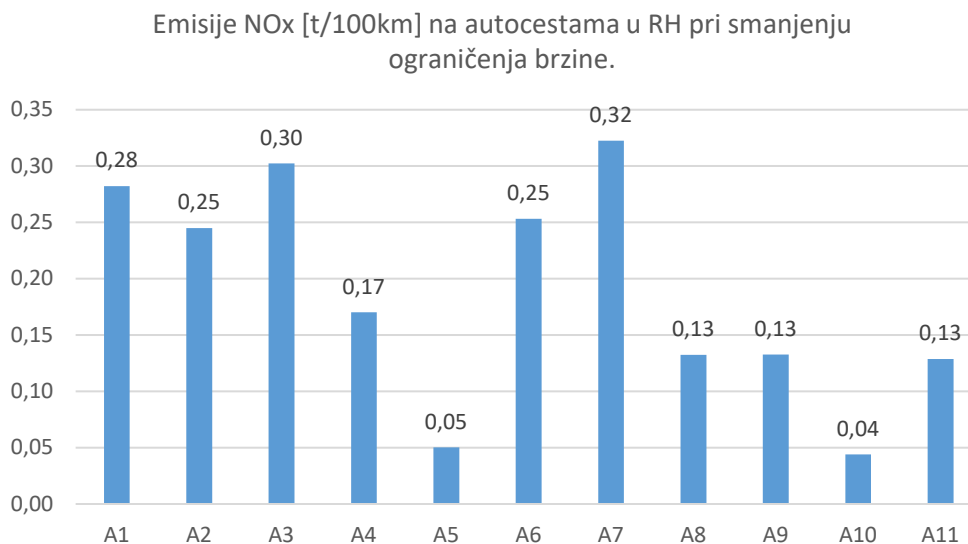
Autocesta A1 prepoznatljiva je po većem intenzitetu prometa te s toga proizvodi 1,37 tona po danu emisija dušikovih oksida što je ujedno i najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj. Tablicom 19. prikazane su autoceste koje generiraju znatno manje emisija dušikovih oksida u usporedbi s autocestama A1 i A3. U emisiji dušikovih oksida u tonama na 100 kilometara autoceste najviše se emisije proizvodi na autocesti A7 koja na 100 kilometara svoje duljine proizvede 0,32 tona. Na grafikonu 13. vidi se da je emisija dušikovih oksida znatno veća

na autocestama A1, A2, A3, A6 i A7, a isto tako se vidi kako autoceste A5 i A10 stvaraju najmanju količinu dušikovih oksida.

Tablica 19. Emisije NOx pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH

Dušikovi oksidi (NOx)				
Autocesta	Duljina [km]	NOx[g]	NOx[t]	NOx[t/100km]
A1	484,8	1.368.582	1,37	0,28
A2	51,9	127.165	0,13	0,25
A3	257,6	778.882	0,78	0,30
A4	76,6	130.317	0,13	0,17
A5	81,3	40.890	0,04	0,05
A6	70,4	178.180	0,18	0,25
A7	15,5	49.981	0,05	0,32
A8	57,3	75.880	0,08	0,13
A9	76,8	101.849	0,10	0,13
A10	9	3.955	0,004	0,04
A11	11,2	14.426	0,01	0,13

Posljedično navedenim podacima u tablici 19. prikazan je grafikon 13. koji sadrži grafički prikaz emisija dušikovih oksida pri smanjenom ograničenju brzine na svim autocestama u Republici Hrvatskoj.



Grafikon 13. Emisije NOx pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

Lebdeće čestice (PM)

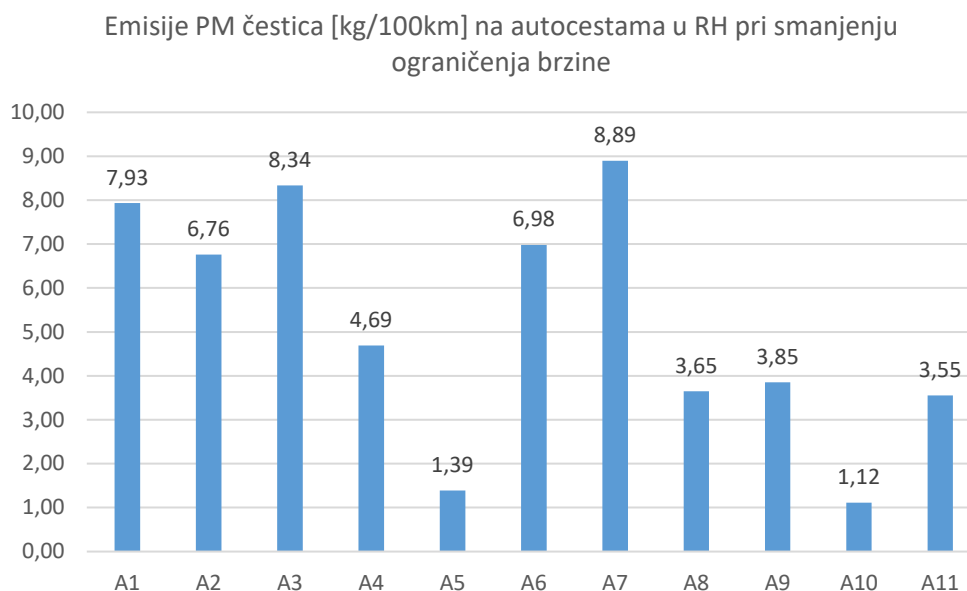
Emisije PM čestica sa smanjenim ograničenjem brzina na autocestama u Republici Hrvatskoj prikazane su na grafikonu 14. u kilogramima na 100 kilometara. Autoceste s najvećim emisijama lebdećih čestica u kilogramima po danu su A1 i A3, podaci iz tablice 20.

prikazuju kako te dvije autoceste značajno više emitiraju emisije lebdećih čestica u odnosu na druge. Na grafikonu 14. je vidljivo kako autocesta A7 proizvodi 8,89 kilograma na 100 kilometara autoceste što je najviše na autocestama u Republici Hrvatskoj, također znatno više emisija lebdećih čestica koje generiraju autoceste su na autocestama A1, A2, A3 i A6.

Tablica 20. Emisije PM čestica pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH.

Lebdeće čestice (PM)				
Autocesta	Duljina [km]	PM[g]	PM[kg]	PM[kg/100km]
A1	484,8	38.453	38,45	7,93
A2	51,9	3.507	3,51	6,76
A3	257,6	21.482	21,48	8,34
A4	76,6	3.594	3,59	4,69
A5	81,3	1.128	1,13	1,39
A6	70,4	4.914	4,91	6,98
A7	15,5	1.379	1,38	8,89
A8	57,3	2.093	2,09	3,65
A9	76,8	2.957	2,96	3,85
A10	9	100	0,10	1,11
A11	11,2	398	0,40	3,55

Ovisno o tablici 20. prikazan je grafikon 14. na kojem se vidi prikaz emisija čestica PM na svakoj autocesti pri smanjenju ograničenja brzine u Republici Hrvatskoj u kilogramima na 100 kilometara.



Grafikon 14. Emisije PM čestica pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

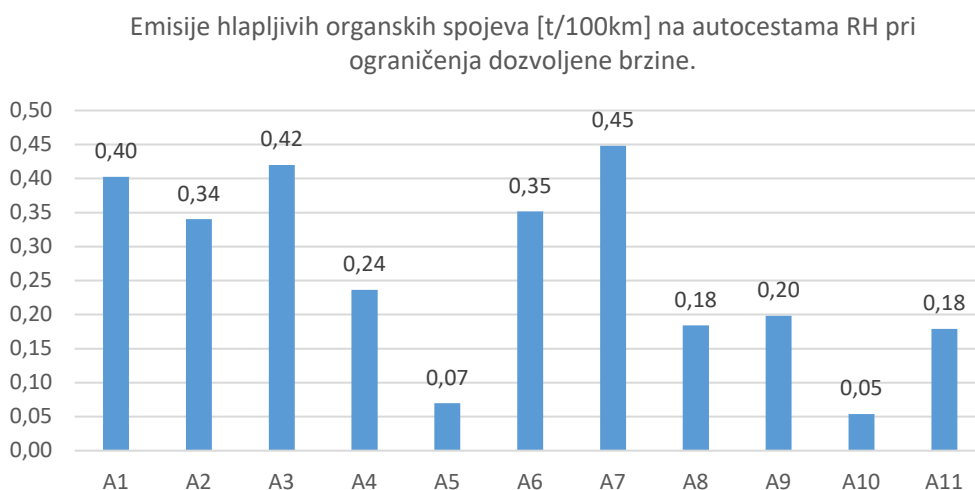
Hlapljivi organski spojevi (VOC)

Na autocesti A1 se stvara 1,95 tona hlapljivih organskih spojeva što je znatno najviše u usporedbi s drugom po emisiji hlapljivih organskih spojeva najvećom autocestom A3 koja u danu proizvede 1,08 tona što je prikazano tablicom 21. Gledajući emisiju hlapljivih organskih spojeva po tonama u kilometrima autocesta A7 proizvodi 0,45 tona na 100 kilometara svoje trase, na grafikonu 15. se može uočiti da najviše emisije hlapljivih organskih spojeva po tonama na 100 kilometra proizvode autoceste A1, A2, A3, A6 i A7.

Tablica 21. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH

Hlapljivi organski spojevi (VOC)				
Autocesta	Duljina [km]	VOC[g]	VOC[t]	VOC[t/100km]
A1	484,8	1.952.036	1,95	0,40
A2	51,9	176.659	0,18	0,34
A3	257,6	1.082.026	1,08	0,42
A4	76,6	181.037	0,18	0,24
A5	81,3	56.804	0,06	0,07
A6	70,4	247.528	0,25	0,35
A7	15,5	69.434	0,07	0,45
A8	57,3	105.413	0,11	0,18
A9	76,8	152.213	0,15	0,20
A10	9	4.843	0,005	0,05
A11	11,2	20.040	0,02	0,18

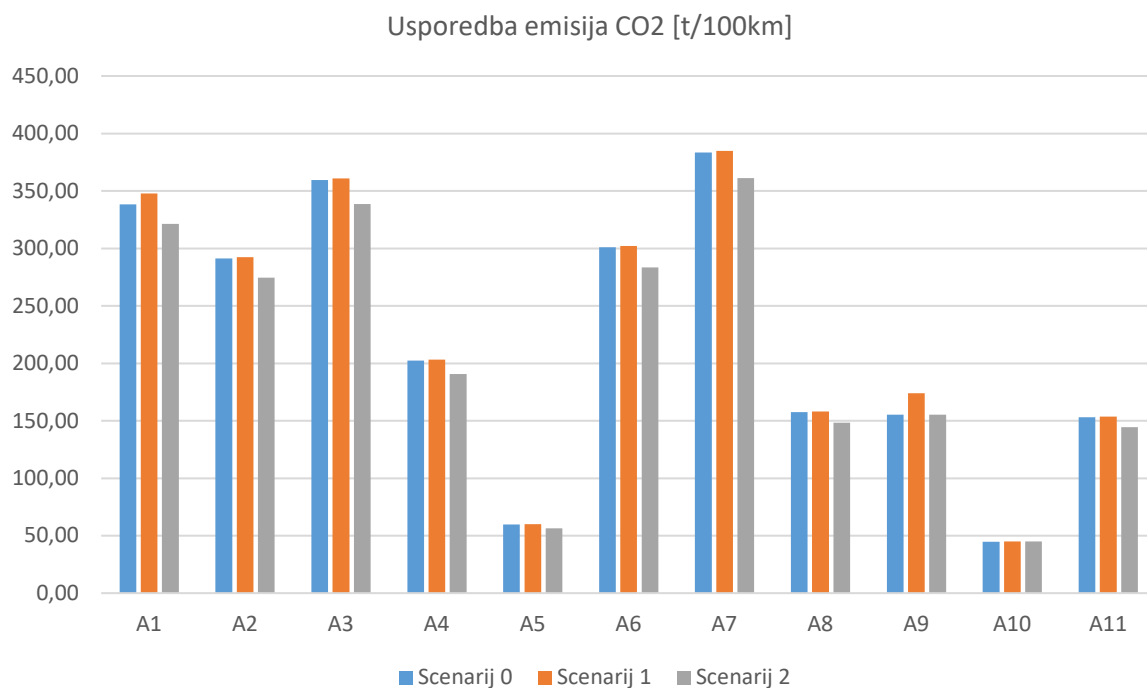
Na osnovu tablice 21. prikazan je grafikon 15. na kojem se može uočiti kako su na autocestama A5 i A10 emisije hlapljivih organskih spojeva najmanje.



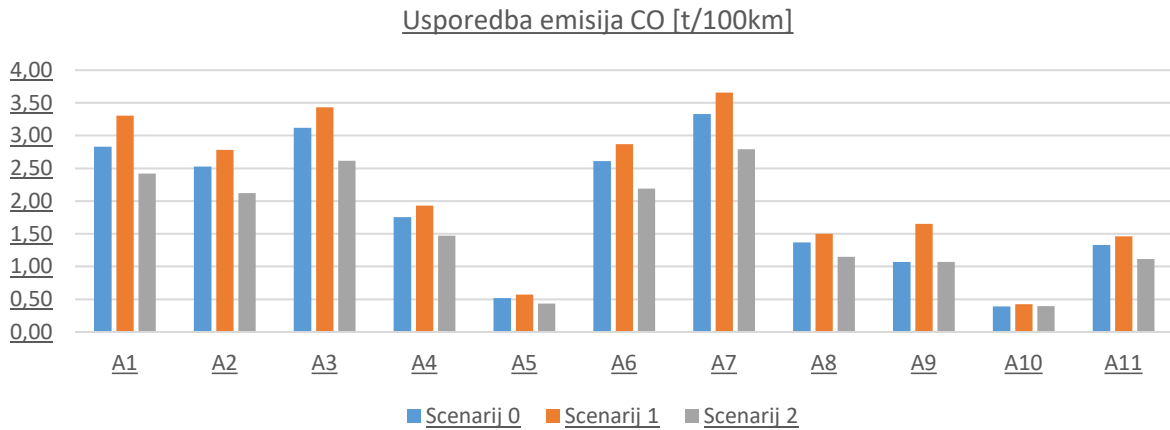
Grafikon 15. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara

5. EVALUACIJA REZULTATA I KARTA EMISIJE

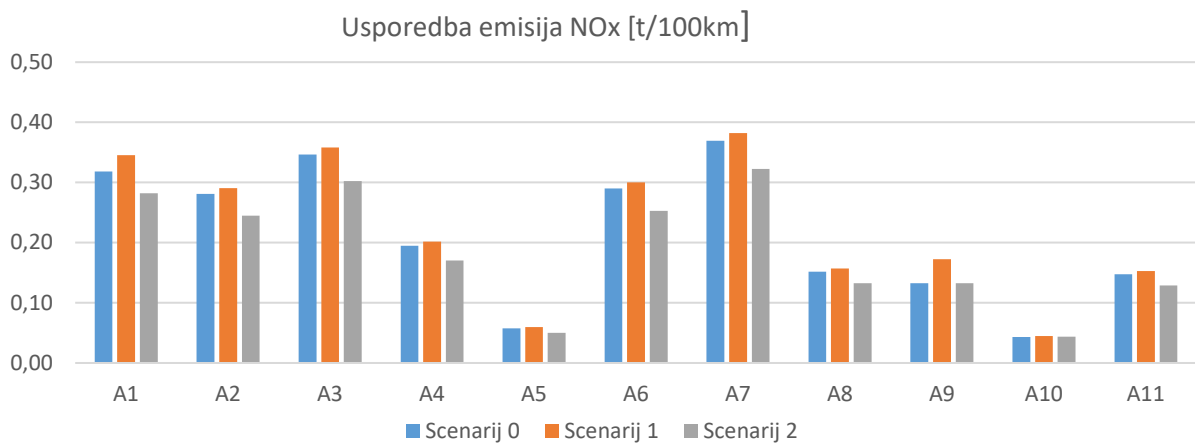
Za evaluaciju dobivenih rezultata korišteni su postojeće ograničenje brzine koje se odnosi na scenarij 0, operativna brzina scenarij 1 i smanjenje ograničenja brzine scenarij 2. Scenarij 0 pobliže opisuje emisiju štetnih plinova uz pretpostavku da se sva vozila na autocestama u Republici Hrvatskoj kreću po postojećem ograničenju brzine. Scenarij 1 prikazuje povećanje razine emisija štetnih plinova na svim autocestama u Republici Hrvatskoj što je posljedica toga da je operativna brzina na autocestama u Republici Hrvatskoj znatno veća nego što je postojeće ograničenje. Scenarij 2 proveden je uz smanjenje postojećeg ograničenja brzine na dionicama od 130 kilometara na sat na 120 kilometara na sat. Za ostale dionice sa propisanim ograničenjem brzine manjim od 130 kilometara na sat, vrijednosti ograničenja brzina ostala su nepromijenjena. Temeljem analize rezultata može se uočiti kako je emisija štetnih plinova u pozitivnoj korelaciji s brzinom. Vrijednosti emisija ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, dušikovih oksida, lebdećih čestica i hlapljivih organskih spojeva na autocestama u Republici Hrvatskoj u pozitivnoj korelaciji s brzinom prikazane su na grafikonima 16., 17., 18., 19., i 20.



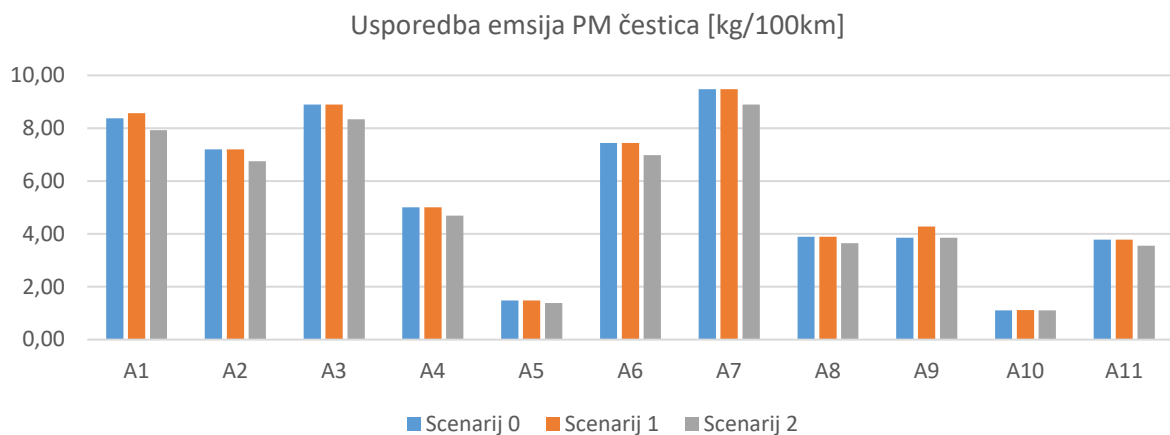
Grafikon 16. Usporedba rezultata emisije CO₂



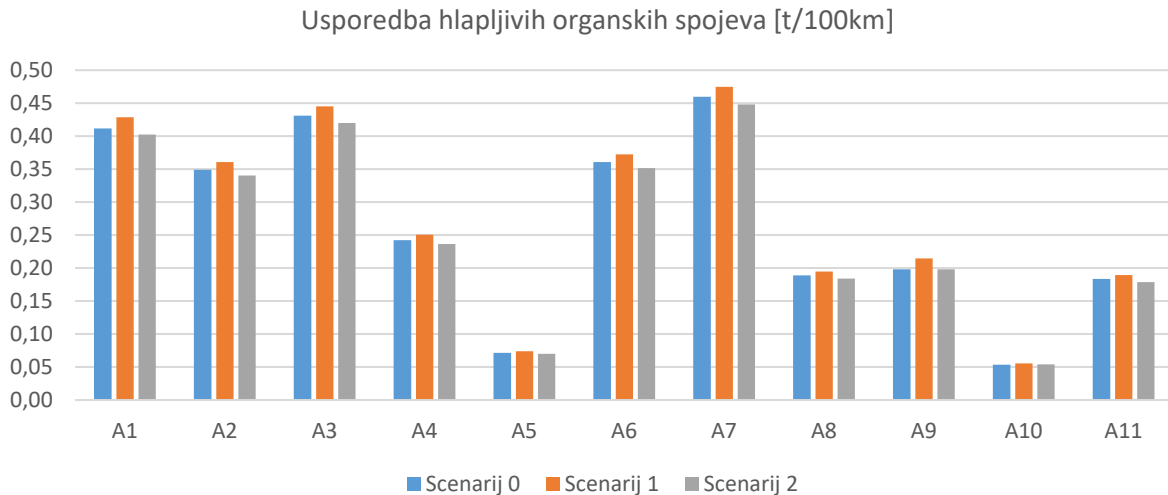
Grafikon 17. Usporedba rezultata emisije CO



Grafikon 18. Usporedba rezultata emisije NOx



Grafikon 19. Usporedba rezultata emisije PM čestica



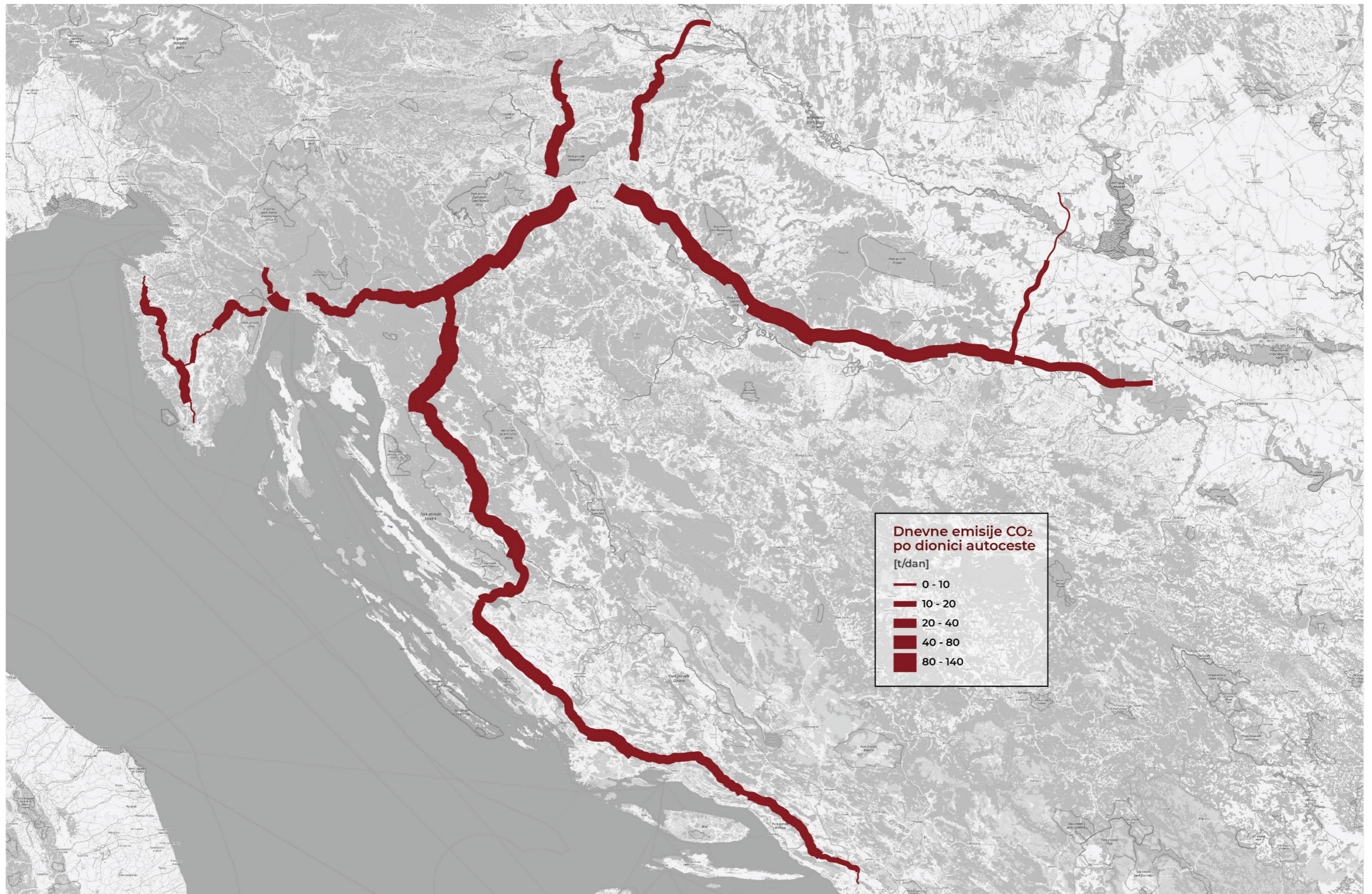
Grafikon 20. Usporedba rezultata emisije hlapljivih organskih spojeva

Isto tako uz analizu emisije štetnih plinova po scenarijima provedena je i prostorna analiza onečišćenja štetnim plinovima na svim analiziranim autocestama po dionicama. U skladu s navedenim prikaz onečišćenja ugljikovim dioksidom prikazano je kartom emisije u nastavku na slici 3.

Tablicom 22. prikazana je ukupna emisija ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, dušikovih spojeva, lebdećih čestica i hlapljivih organskih spojeva na autocestama u Republici Hrvatskoj. Prikazani su u postocima porast i smanjenje pri operativnoj brzini i pri smanjenju ograničenja brzine na 120 kilometara na sat .

Tablica 22. Ukupne količine štetnih plinova po autocesti u odnosu na scenarije (2022.)

	Ugljikov dioksid (CO ₂) [t]			Ugljikov monoksid (CO) [t]			Dušikovi oksidi (NO _x) [t]			Lebdeće čestice (PM) [kg]			Hlapljivi organski spojevi (VOC) [t]		
	Scenarij 0	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 0	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 0	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 0	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 0	Scenarij 1	Scenarij 2
A1	1.640	1.685,5	1.558,4	13,7	16,0	11,7	1,5	1,7	1,4	40,6	41,5	38,5	2,0	2,1	2,0
A2	151,2	151,8	142,5	1,3	1,4	1,1	0,2	0,2	0,1	3,7	3,7	3,5	0,2	0,2	0,2
A3	926,0	929,8	872,6	8,0	8,8	6,7	0,9	0,9	0,8	22,9	22,9	21,5	1,1	1,2	1,1
A4	154,9	155,6	146,0	1,4	1,5	1,1	0,2	0,2	0,1	3,8	3,8	3,6	0,2	0,2	0,2
A5	48,6	48,8	45,8	0,4	0,5	0,4	0,1	0,1	0,0	1,2	1,2	1,1	0,1	0,1	0,1
A6	211,8	212,7	199,6	1,8	2,0	1,5	0,2	0,2	0,2	5,2	5,2	4,9	0,3	0,3	0,3
A7	59,4	59,7	56,0	0,5	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,4	0,1	0,1	0,1
A8	90,2	90,6	85,0	0,8	0,9	0,7	0,1	0,1	0,1	2,2	2,2	2,1	0,1	0,1	0,1
A9	119,2	133,6	119,2	0,8	1,3	0,8	0,1	0,1	0,1	3,0	3,3	3,0	0,2	0,2	0,2
A10	4,0	4,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
A11	17,2	17,2	16,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0
	3.423	3.489 +2%	3.245 -5%	29	33 +14%	25 -15%	3,3	3,5 +7%	2,9 -12%	85	86 +1%	80 -6%	4,1	4,3 +4%	4,1 -2%



Slika 3. Prostorni prikaz emisija CO₂ na Hrvatskim autocestama po dionici za 2022. godinu

6. ZAKLJUČAK

Zaključak ovog rada obuhvaća ključne spoznaje o utjecaju brzine prometnog toka na emisije štetnih plinova na autocestama u Republici Hrvatskoj. Provedenom analizom na temelju prikupljenih podataka i primjenom softverskog alata Copert Street Level utvrđeno je kako prometni tok na cestama visoke razine uslužnosti, s posebnim naglaskom na autoceste značajno doprinosi ukupnim emisijama štetnih plinova. Značajan utjecaj na emisiju ugljikovog dioksida, ugljikovog monoksida, dušikovih oksida, lebdećih čestica i hlapljivih organskih spojeva imaju različite operativne i dozvoljena ograničenja brzine. Analizom se pokazalo kako smanjenje brzine vozila može dovesti do smanjenja emisija pojedinih plinova poput dušikovih oksida, ali i do povećanja emisija drugih plinova kao što je ugljikov monoksid.

Rezultati analize ukazuju na postojanje optimalne brzine vožnje pri kojoj je emisija štetnih plinova najniža, što potvrđuje teoriju da emisije štetnih plinova ovisno o brzini prate krivulju oblika slova U. Vrlo male brzine, kao i iznimno velike brzine povećavaju emisiju štetnih plinova što ukazuje na važnost dobrog održavanja prometnog toka u rasponu optimalnih brzina.

Zaključno, rezultati rada ističu potrebu za strateškim upravljanjem brzinama i učinkovitijom regulacijom prometa u budućnosti, s ciljem smanjenja štetnog utjecaja cestovnog prometa na okoliš. Evaluacija rezultata na temelju scenarija 0, 1 i 2 ukazala je na pozitivnu korelaciju emisija štetnih plinova s brzinom. Emisije ugljikovog dioksida na autocestama u Republici Hrvatskoj pri operativnoj brzini su za 2% veće nego pri ograničenju brzine od 130 kilometara na sat, a smanjenjem ograničenja na 120 kilometara na sat u odnosu na postojeće ograničenje, ukupna emisija ugljikovog dioksida smanjila bi se za 5%. Najznačajniji porast i smanjenje emisija na autocestama u Republici Hrvatskoj imao bi ugljikov monoksid koji bi pri operativnoj brzini bio veći za 14% u odnosu na postojeće ograničenje, a pri smanjenju ograničenja brzine na 120 kilometara na sat u odnosu na trenutno ograničenje od 130 kilometara na sat ukupna emisija na autocestama u Republici Hrvatskoj smanjila bi se za 15%. Mjerama za smanjenje štetnog utjecaja na okoliš sugerira se na uvođenje ekoloških mjera poput smanjenja ograničenja brzina na određenim dionicama, promicanje ekološke vožnje te šire korištenje alternativnih goriva i električnih vozila kako bi se emisije smanjile i povećala kvaliteta zraka.

LITERATURA

- [1] J. Dankić, "Mogućnost implementacije naprednih telematičkih rješenja na autocestama", Završni rad, Fakultet Prometnih znanosti, Sveuč. Zagreb, 2015
- [2] M. Slavulj, "Analiza prometnih tokova autoceste Zagreb-Karlovac primjenom neuronskih mreža," Diplomski rad, Fakultet Prometnih znanosti, Sveuč. Zagreb, Zagreb, 2021.
- [3] K. Filipović, "Klasifikacija autocesta u Republici Hrvatskoj prema stanju sigurnosti cestovnog prometa", Diplomski rad, Fakultet Prometnih znanosti, Sveuč. Zagreb, Zagreb, 2017.
- [4] Republika Hrvatska, Odluka o označavanju autocesta, izdanje NN 2/2022, Narodne novine, 2022 [Internet]. Dostupno: Odluka o označavanju autocesta (nn.hr). [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].
- [5] V. Cerovac, *Tehnika i sigurnost prometa*, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2001.
- [6] L. Raštegovac, "Projekt smanjenja emisija štetnih plinova iz generatora pare," Diplomski rad, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, Hrvatska, 2023.
- [7] N. Milosavljević, "Spaljivanje hlapljivih organskih spojeva na modificiranim manganovim oksidnim katalizatorima," Završni rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [8] T. Senčić, B. Bojković, and T. Mrakovčić, "Simulacija potrošnje goriva i emisija automobila s različitim pogonom," *Polytechnic: Journal of Technology Education*, vol. 6, no. 1, pp. 17-22, 2022. [Internet]. Dostupno: Simulacija potrošnje goriva i emisija automobila s različitim pogonom (srce.hr). [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].
- [9] Ana Papić, "Primjena alternativnih goriva u urbanom prometu," Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet Rijeka, 2021.
- [10] M. Perić, "Doprinos analizi utjecaja pametne logistike gradova na okoliš," disertacija, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2016.
- [11] Ž. Dobovišek, N. Samec i F. Kokalj, "RAZVOJ MOTORA S UNUTARNJIM IZGARANJEM I KVALITETA GORIVA", *Goriva i maziva*, vol.42, br. 1, str. 5-19, 2003. [Online]. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/7394>. [Pristupljeno: 05.09.2024.]
- [12] D. Bakić, "Utjecaj cestovnog prometa na klimatske promjene i mjere zaštite," *Završni rad*, Fakultet Prometnih znanosti, Sveuč. Zagreb, Zagreb, 2020.
- [13] N. Lacković, "Usporedba potrošnje goriva i emisija automobila," Završni rad, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2024.

- [14] Y. Zhong, K. L. Wert i T. Fang, *An Adsorption Air-Conditioning System to Reduce Engine Emissions and Fuel Consumption for Heavy-Duty Vehicles*, International Refrigeration and Air Conditioning Conference, Purdue University, 2010.
- [15] University of Birmingham, "Reducing motorway speed may improve air quality, but more real-world studies are needed," *University of Birmingham News*, Jan. 2023. [Internet]. Dostupno: <https://www.birmingham.ac.uk/news/2023/reducing-motorway-speed-may-improve-air-quality-but-more-real-world-studies-are-needed>. [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].
- [16] S. K. Singh, J. P. Yadav, R. Kumar, and S. S. Das, "Traffic speed impacts air quality: Evidence from real-world experiments on highway," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 77, pp. 205-218, Feb. 2020. [Internet]. Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919314002?via%3Dihub>. [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].
- [17] J. Chen, Z. Fu, H. Sun, i Y. Liu, "Vehicle emission curves of different vehicle types", *ResearchGate*, [Internet]. Dostupno: https://www.researchgate.net/figure/ehicle-emission-curves-of-different-vehicle-types-color-figure-available-online_fig1_262959257. [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].
- [18] M. Bunjevac, "Procjena emisija iz cestovnog prometa programom Copert Street Level," Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [19] Hrvatske ceste d.o.o., "Brojenje prometa na cestama RH 2022," Bilten, 2022. [Internet]. Dostupno: https://hrvatske-ceste.hr/uploads/documents/attachment_file/file/1712/Brojenje_prometa_na_cestama_RH_2022..pdf. [Pristupljeno: 04. rujna 2024.].

POPIS SLIKA

Slika 1. Utjecaj vrste vozila i brzine na emisiju štetnih plinova.....	12
Slika 2. Ukupan promet na autocestama u RH.....	15
Slika 3. Prostorni prikaz emisija CO ₂ na Hrvatskim autocestama po dionici za 2022. godinu.....	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Autoceste u RH.....	3
Tablica 2. Istraživanja utjecaja brzine na okoliš	10
Tablica 3. Ulazni podaci za izračun emisija na A1	16
Tablica 4. Ulazni podaci za autoceste A2 i A3	17
Tablica 5. Ulazni podaci za autoceste A4, A5, A6 i A7	17
Tablica 6. Ulazni podaci za autoceste A8, A9, A10 i A11.....	18
Tablica 7. Emisije CO na svakoj autocesti u RH	19
Tablica 8. Emisije CO ₂ na svakoj autocesti u RH	20
Tablica 9. Emisije NO _x na svakoj autocesti u RH.....	22
Tablica 10. Emisije PM čestica na svakoj autocesti u RH	23
Tablica 11. Emisije hlapljivih organskih spojeva na svakoj autocesti u RH	24
Tablica 12. Emisije CO pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH	25
Tablica 13. Emisije CO ₂ pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH.....	26
Tablica 14. Emisije NO _x pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH.....	28
Tablica 15. Emisije PM čestica pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH	29
Tablica 16. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri operativnim brzinama na svakoj autocesti u RH	30
Tablica 17. Emisije CO pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH	31
Tablica 18. Emisije CO ₂ pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH	33
Tablica 19. Emisije NO _x pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH.....	34
Tablica 20. Emisije PM čestica pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH.	35
Tablica 21. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri smanjenju ograničenja brzine na svakoj autocesti u RH	36
Tablica 22. Ukupne količine štetnih plinova po autocesti u odnosu na scenarije (2022.).....	40

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Emisije CO na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	20
Grafikon 2. Emisije CO ₂ na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	21
Grafikon 3. Emisije NO _x na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara	22
Grafikon 4. Emisije čestica PM na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	23
Grafikon 5. Emisije hlapljivih organskih spojeva na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	24
Grafikon 6. Emisije CO pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	26
Grafikon 7. Emisije CO ₂ pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	27
Grafikon 8. Emisije NO _x pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	28
Grafikon 9. Emisije PM čestica pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	29
Grafikon 10. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri operativnim brzinama na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	30
Grafikon 11. Emisije CO pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	32
Grafikon 12. Emisije CO ₂ pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	33
Grafikon 13. Emisije NO _x pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	34
Grafikon 14. Emisije PM čestica pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.	35
Grafikon 15. Emisije hlapljivih organskih spojeva pri smanjenju ograničenja brzine na autocestama u RH u tonama na 100 kilometara.....	36
Grafikon 16. Usporedba rezultata emisije CO ₂	37
Grafikon 17. Usporedba rezultata emisije CO.....	38
Grafikon 18. Usporedba rezultata emisije NO _x	38
Grafikon 19. Usporedba rezultata emisije PM čestica.....	38
Grafikon 20. . Usporedba rezultata emisije hlapljivih organskih spojeva.....	39

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 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 BRZINE PROMETNOG TOKA NA EMISIJE ŠTETNIH PLINOVA NA AUTOCESTAMA U REPUBLICI HRVATSKOJ, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 11.09.2024

Student:



Mauricio Martinović